

REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj
Faculté des Sciences et de la technologie
Département d'Electromécanique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Par

SACI IMADEDDINE

YAHIOUCHE BILLEL

Intitulé

Implémentation d'une Charge de Puissance Constante dans un Système Multi-Convertisseur

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Zebiri Fouad</i>	<i>MCB.</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Choudar Adel</i>	<i>MCB.</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Benhenniche Abdelhak</i>	<i>MCA.</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Merabet Elkhier</i>	<i>Pr.</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

Résumé

Ces dernières années, les énergies renouvelables sont très populaires, et à cet égard, dans cette note, nous avons étudié les petits réseaux, leur fonctionnement et la nature de leurs composants, en particulier les convertisseurs CC, et nous avons analysé les performances de ces convertisseurs dans leur état normal (sans charges de puissance constantes), et dans le second cas, nous avons ajouté un convertisseur comme charge de puissance constante afin de les comparer et de connaître le degré de stabilité et de réactivité

Mots-clés: micro-réseaux, convertisseurs DC-DC, charge de puissance constante.

Abstract

In recent years, renewable energies have been very popular, and in this regard, in this note, we have studied micro-grids, their operation and the nature of their components, in particular DC converter, and we have analyzed the performance of these converters in their normal state (without constant power loads), and in the second case, we have added a converter as a constant power load in order to compare them and find out the degree of stability and reactivity

Keywords: micro-grids, DC-DC converters, constant power load .

ملخص

خلال السنوات الأخيرة تعرف الطاقات المتجددة إقبالا كبيرا وفي هذا الصدد قمنا في هذه المذكرة بدراسة تخصص الشبكات الصغيرة و كيفية عملها و طبيعة مكوناتها خاصة محولات التيار المستمر وقمنا بتحليل أداء هذه المحولات في حالتها الطبيعية (بدون أحمال طاقة ثابتة) و في الحالة الثانية قمنا بإضافة محول كحمل طاقة ثابت وذلك بهدف المقارنة بينهما ومعرفة درجة استقرارها و تجاوبها

كلمات مفتاحية: شبكات مصغرة, محولات تيار مستمر-تيار مستمر , حمل طاقة ثابت .

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail en premier lieu à nos parents qui nous 'ont soutenu pour nous permettre de réaliser tous nos objectifs et qu'ils trouvent ici toutes nos reconnaissances et nos gratitude.

A nos frères, nos sœurs, nos pères Abdelkader, Messaoud, nos mères aussi et toute la famille YAHIOUCHE, SACI

A toute la promotion de l'électromécanique

A tous nos enseignants depuis le primaire jusqu'à maintenant surtout nos Enseignants du département et a tous nos camarades et nos amis

Remerciements

AVANT TOUT, NOUS REMERCIONS ALLAH, LE TOUT
PUISSANT, DE NOUS AVOIR DONNÉ LE COURAGE ET
LA VOLONTÉ POUR ACCOMPLIR CE TRAVAIL.

NOUS TENONS À REMERCIER NOTRE ENCADREUR
PR. CHOUDER ADEL D'AVOIR POSÉ UN SUJET TRÈS
INTÉRESSANT ET POUR SES CONSEILS, SA
DISPONIBILITÉ ET POUR NOUS AVOIR FAIT PROFITER
DE SA CONNAISSANCE ET DE SA QUALITÉ TANT
PROFESSIONNELLE QU'HUMAINES.

NOS RESPECTUEUX REMERCIEMENTS À L'ENSEMBLE
DES MEMBRES DU JURY.

POUR L'INTÉRÊT PORTÉ SUR NOTRE TRAVAIL.
NOUS TENONS À REMERCIER TOUS CEUX QUI NOUS
A AIDÉS DANS CE TRAVAIL DE PRÈS OU DE
LOIN.

Sommaire

Introduction Générale.....	01
Chapitre 01 Micro-Réseau DC	
1.1 Introduction.....	03
1.2 Définitions.....	04
1.3 Micro-Réseau Avantages et Inconvénient.....	06
1.3.1 Avantages.....	06
1.3.2 Inconvénient.....	07
1.4 Classifications De Micro-Réseau	07
1.5 Technologies Des Resource Energétiques Distribuées Pour MG	07
1.6 Système Photovoltaïque Solair.....	08
1.7 Système De Conversion De l'énergie Eolienne.....	09
1.8 Production Hydroélectrique A Petite Echelle.....	10
1.9 Biomasse	11
1.10 Énergie Géothermique.....	12
1.11 Moteur Stirling	12
1.12 Piles A Combustible	13
1.13 Micro Turbine.....	13
1.14 Technologie Des Systèmes De Stockage D'énergie.....	14
1.15 Micro-Réseau Protection.....	15
1.16 Revue Des Principaux Convertisseurs Electroniques De Puissance Utilisés En MG.....	16
1.17 Facteur Et Symboles Utilisés Dans Le Système D'alimentation CC	16
1.18 Micro-Réseaux Et Cpl.....	17
1.19 Conclusion	20
Chapitre 02 :Charge De Puissance Constante	
2.1 Introduction.....	22
2.2 Rôle Des Convertisseurs DC-DC	23
2.3 Applications Des Convertisseurs DC/DC.....	23

2.4 Différents Types Des Hacheurs	24
2.4.1 Hacheurs Réversibles.....	24
2.4.2 Hacheurs Non Réversibles.....	25
2.5 Les Type Des Hacheurs Non Réversible.....	25
2.5.1 Hacheur Survolteur (Boost).....	25
2.5.2 Convertisseur Buck Boost	25
2.5.3 Convertisseur Buck.....	26
2.6 Principe De Fonctionnement Buck.....	26
2.7 Charge De Puissance Constant	28
2.8 Charge De Puissance Constant Entretienue Par Un Convertisseur Abaisseur.....	29
2.9 Comment Un Convertisseur Abaisseur Agit Comme Une Charge De Puissance Constante.....	29
2.10 Problemes De Stabilité Avec Les CPL Et Solution Possibles.....	31
2.11 Conclusion	32
Chapitre 03 : Analyse Et Simulation Des Convertisseur Abaisseur Et Elévateur	
3.1 Introduction.....	34
3.2 Modèle D'espace D'état Du Convertisseur Abaisseur CC-CC	34
3.3 Modèle D'espace D'état Du Convertisseur Boost CC-CC.....	41
3.4 Conclusion.....	47
Conclusion Général.....	49

Liste des Figures

Chapitre 01 Micro-Réseau DC

Figure 1.1: Le Paradigme du Micro-réseau.....	05
Figure1.2 : Ressources énergétiques distribuées utilisées en MG	08
Figure 1.3 Système photovoltaïque	09
Figure 1.4 Systèmes de conversion de l'énergie éolienne	10
Figure 1.5 Micro-énergie hydroélectrique	11
Figure 1.6 Schéma du système de gazéification de la biomasse	11
Figure 1.7 Système d'énergie géothermique	12
Figure 1.8 Moteur Stirling	12
Figure 1.9 Hydrogen Fuel Cell Operation	13
Figure 1.10 Schéma fonctionnel de la micro-turbine et du combustible	14
Figure 1.11 Positionnement de la technologie de stockage d'énergie	15
Figure1.12 présente les caractéristiques d'impédance incrémentale négative des CPLs	19
FIGURE 1.13 Infographie nationale sur la recherche sur la compensation de l'instabilité de la charge d'énergie constante dans le monde	19
Chapitre 02 : Charge De Puissance Constante	
Figure2.1 DC DC convertisseur.....	23
Figure 2.2 Différents types de hacheurs.....	24
Figure 2.3 Circuit électrique de base du hacheur survolteur.....	25
Figure 2.4 : .Circuit électrique de base du hacheur survolteur/dévolteur.....	26
Figure 2.5: Circuit électrique de base du hacheur dévolteur	26
Figure2.6 . Caractéristique de la tension et des courants	28
Figure 2.7 : Variation de la tension de charge avec le courant de charge pour un convertisseur Buck	28
Figure2.8 : diagramme de convertisseur abaisseur	29
Figure2.9:Un convertisseur abaisseur avec une charge à puissance constante	30
Chapitre 03 : Analyse et Simulation de Convertisseur DC- DC Abaisseur et Elévateur	
Figure.3.1. Circuits équivalents idéaux pour convertisseur Buck	34
Figure3.2 simulation d'un convertisseur Buck par matlab simulink	37

Figure3.3	représentation de tension au niveau de convertisseur Buck	37
Figure3.4	représentation de tension avec les périodes (Buck)	38
Figure3.5	représentation de courant au niveau de convertisseur Buck	38
Figure3.6	représentation de courant moyen (Buck)	39
Figure3.7	simulation d'un convertisseur Buck avec cpl	39
Figure3.8	représentation de tension au niveau de convertisseur Buck avec cpl	40
Figure3.9	représentation de valeur moyenne de tension au niveau de buck avec cpl	40
Figure3.10	circuit équivalents idéaux pour convertisseur boost	41
Figure3.11	simulation d'un convertisseur boost par matlab simulink	42
Figure3.12	représentation de tension au niveau de convertisseur boost	43
Figure3.13	représentation de valeur moyenne de tension au niveau de boost	43
Figure3.14	représentation de courant au niveau de convertisseur boost	44
Figure3.15	simulation d'un convertisseur boost avec cpl par matlab simulink	44
Figure3.16	représentation de tension au niveau de convertisseur boost avec cpl	45
Figure3.17	représentation de tension au niveau de convertisseur boost avec cpl (0 a 0.2)	45
Figure3.18	représentation de courant au niveau de convertisseur boost avec cpl	46
Figure3.19	représentation de courant moyen au niveau de convertisseur boost avec cpl	46

LISTE DES ABREVIATIONS

DC Direct courant

CC courant continue

MG micro-réseaux

DER Distribué Energie Ressources

PV photovoltaïque

PVS système solaire photovoltaïque

CPL constant power load = charge de puissance constante

AC courant alternatif

IEEE institut des ingénieurs électriciens et électroniciens

SER source d'énergie renouvelable

WECS système de conversion de l'énergie éolienne

Introduction

Général

Introduction Général

L'énergie est une partie importante de la vie humaine, en particulier avec le développement technologique qui a eu lieu ces dernières années, et l'un des développements les plus importants dans le domaine de l'électronique, nous avons donc fait une recherche où nous avons abordé Dans ce mémoire les micro réseaux basse tension généralement situé du côté du consommateur, comprenant des générateurs distribués, un système de stockage et certaines unités de contrôle afin de fournir une énergie électrique propre et fluide de manière optimale . Ces dernières années, alors que la demande d'énergie électrique augmente rapidement pour répondre aux besoins quotidiens, les sources d'énergie renouvelables se sont révélées très efficaces.

Parmi les plus important composant dans les micro- réseaux c'est les convertisseurs et dans notre travail nous avons abordé les convertisseurs DC DC L'utilisation des convertisseurs de puissance et plus généralement des systèmes d'électronique de puissance pour des applications, devient de plus en plus importante. Les domaines d'application sont principalement les applications domestiques (téléphonie mobile, ordinateurs, électroménager, etc.), l'industrie automobile (avec surtout l'électrification de fonctions et l'apparition de véhicules hybrides et électriques), l'aéronautique (avec principalement l'avion plus électrique), le domaine ferroviaire, les énergies renouvelables (panneaux solaires photovoltaïques, éoliennes, etc.), les réseaux de transport d'énergie électrique (avec l'appariation des liaisons à courant continu), etc.

Dans ces travaux, nous nous intéressons à la famille des convertisseurs continu-continu car elle représente en quelque sorte la base des topologies connues en électronique de puissance abaisseur, élévateur,

Pour mener à bien ce travail, la représentation du mémoire est structurée en trois chapitres, et répartie comme suit :

- Le premier chapitre présente le Micro –Réseaux DC
- Le deuxième chapitre présente Charge De Puissance Constante
- Le dernier chapitre Analyse et simulation Convertisseur DC DC Abaisseur et Elévateur

Enfin, on terminera ce mémoire par une conclusion générale.

Chapitre 1

Micro-réseau DC

1.1.Introduction

Nos systèmes électriques actuels reposent en grande partie sur des contraintes des systèmes de distribution établis il y a plus d'un siècle. Alimentation AC systèmes ont permis une transformation efficace des tensions d'un niveau à l'autre, permettant à la puissance d'être transportée sur de longues distances avec des pertes en ligne minimales [1]. Ce fait a rendu le courant alternatif réseaux le principal choix pour la transmission d'énergie et Distribution. Cependant, les fonds limités pour construire de nouveaux grands centrales électriques et coût élevé des lignes de transmission longue distance (plus de 1 million USD/km [2]) sont quelques-unes des contraintes répondre aux demandes énergétiques croissantes, en particulier pour les régions non électrifiées.

Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), 1,3 milliards de personnes vivant dans les pays en développement, soit 20% population mondiale n'a pas accès à une électricité fiable Les micro-réseaux sont des systèmes de distribution d'électricité contenant des charges et des ressources énergétiques distribuées telles que des générateurs, des systèmes de stockage d'énergie ou des charges contrôlables qui peuvent être exploitées de manière contrôlée et coordonnée, soit lorsqu'elles sont connectées au réseau, soit lorsqu'elles sont isolées.

Les solutions typiques pouvant être déployées par les entreprises comprennent la production sur site, les systèmes de stockage d'énergie, l'infrastructure de recharge des véhicules électriques, les alimentations sans coupure, les centrales électriques virtuelles multi sites, les mesures d'efficacité énergétique, la charge contrôlée dynamiquement et la gestion active du réseau.

Les micro-réseaux peuvent apporter une variété d'avantages économiques, techniques et de durabilité, qui sont maintenant reconnus à l'échelle internationale. Le marché mondial des micro-réseaux devrait passer d'un peu plus de 16,5 milliards de livres sterling en 2018 à plus de 29 milliards de livres sterling d'ici 2023.[4]

L'intégration des sources d'énergie renouvelables dans le système d'alimentation électrique est essentielle pour dé carbonisation de ce système.

Le raccordement de la production renouvelable au système électrique est être exécuté sous une forme centralisée (grandes centrales électriques renouvelables comme les centrales éoliennes ou solaires raccordé au réseau de transport) et de manière décentralisée (par le raccordement de production dispersée connectée au système de distribution).

Le raccordement de la production renouvelable au niveau de la distribution, avec d'autres sources de production ainsi que des systèmes de stockage d'énergie (la dite DER, Distribué Energie Ressources) à proximité des lieux de consommation, promeut le développement de micro-réseaux : installations DER qui ont la capacité de fonctionner connectées au réseau et grille isolée. L'incertitude et la variabilité des sources d'énergie renouvelables qui intègrent micro-réseaux, ainsi que la nécessité d'une coordination avec d'autres sources d'énergie, posent des défis dans l'exploitation, protection, contrôle et planification des micro-réseaux.

1.2 Définitions

En fait, le premier de Thomas Edison centrale électrique construite en 1882 – la gare de Manhattan Pearl Street – était essentiellement un micro-réseau, puisqu'un réseau centralisé n'avait pas encore été établi.

En 1886, La firme d'Edison avait installé 58 micro-réseaux à courant continu (DC). Cependant, peu de temps après, la évolution des services électriques l'industrie a évolué vers un marché monopolistique réglementé par l'État, supprimer les incitations à développement de micro-réseaux.

Le concept fondamental d'un micro-réseau peut se résumer comme suit : une énergie intégrée système composé de distribution ressources énergétiques et multiples chargés électriques fonctionnant comme un réseau unique et autonome soit en parallèle ou « isolé » du réseau électrique existant (Figure 1). Dans les plus courantes configurations, énergie distribuée les ressources sont liées ensemble sur leur propre chargeur, qui est ensuite relié au plus grand réseau en un seul point de couplage commun.

Peut-être les plus convaincants caractéristiques d'un micro-réseau est la capacité Se séparer et s'isoler -connu sous le nom d'"îlotage" – du système de distribution du service public pendant les baisses de tension ou les pannes d'électricité.

Dans le cadre des protocoles de réseau actuels, toute la production distribuée, Qu'elle soit renouvelable ou fossile, doit s'arrêter pendant les périodes de puissance pannes, à moins qu'il ne puisse contrôler tension et ne pas renvoyer l'alimentation au plus grand réseau de distribution. Ce fait exaspère les défenseurs des micro- réseaux, qui prétendent que c'est précisément lorsque ces sources sur place pourraient offrir la plus grande valeur aux

deux propriétaires d'actifs de production et société.

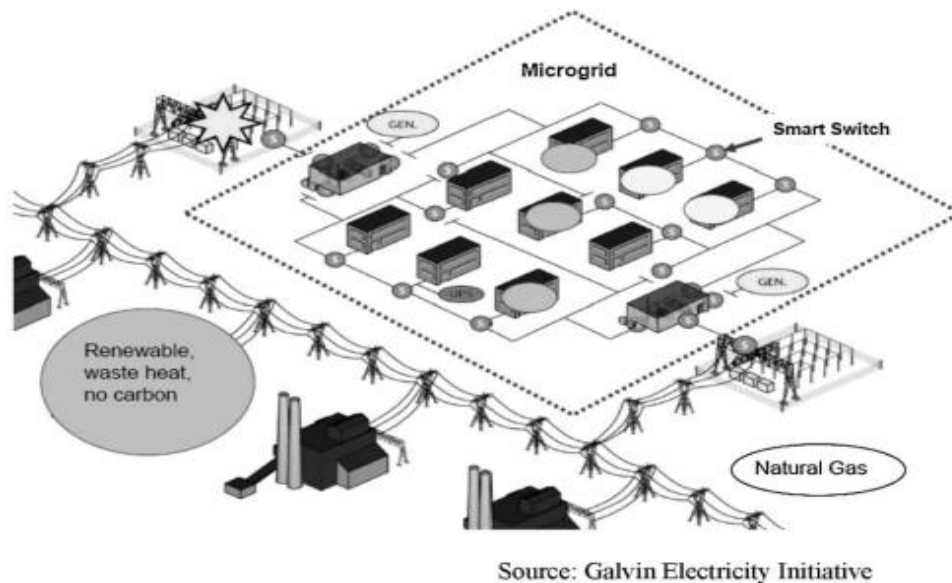


Figure 1.1: Le Paradigme du Micro-réseau

De telles sources pourraient fournir des services d'alimentation lorsque le système de grille plus grand a échoué consommateurs.

Avec plus avancées technologiques et ingénierie et gouvernement normes, ces micro-réseaux pourraient fournissent également des services auxiliaires qui aiderait leur distribution hôte

Les services publics maintiennent la fiabilité à un moindre coût global.

Les progrès récents des onduleurs, nécessaire pour le solaire PV et petites éoliennes à convertir Génération de courant continu en courant alternatif (AC) à une tension de 60 hertz Niveau à synchroniser avec le réseau électrique, préparent le terrain

Pour un marché viable des micro-réseaux évoluer. Les nouveaux onduleurs permettent « Îlotage » sûr ; ils permettent ces RDEG renouvelables jusqu'à continuer à fonctionner lorsque le plus grande grille descend, donc éviter les problèmes de défaut du chargeur associé à la synchronisation générateurs, qui peuvent prendre 2, 5 ou même 10 secondes pour répondre à un panne de réseau.

Les ingénieurs des services publics on historiquement opposé au concept« îlotage » sur la base de la sécurité et le manque de contrôle de réseau de distribution.

L'Institut de Électricité et Électronique Norme des ingénieurs P1547 nécessite une mise en place automatique et rapide déconnexion de tous les DEG pendant pannes de réseau. Pendant plus de cinq ans, l'IEEE travaille à l'élaboration d'un « guide » sur l'îlotage. Ce guide – P1547.4 – reçu une approbation de 90 pour cent en vote fin 2009.

Ce vote est un événement majeur pas en avant, car non seulement épeler les protocoles d'utilitaires sûrs pour îlotage, mais met en place normes de puissance réactive, qui permettra aux micro-réseaux de vendre des services auxiliaires allés services publics de distribution beaucoup dans Lede la même manière que les fournisseurs DR faire actuellement dans bien développé des marchés tels que le Transmission Pennsylvanie-New Jersey Maryland (PJM)zone de contrôle du réseau.

Bien que P1547.ne ne puisse pas devenir une obligation standard pour les opérateurs de services publics pour encore cinq à 10 ans, c'est un étape majeure pour cette émergence industrie.

Les onduleurs ne se limitent pas à sources d'énergie renouvelables. En réalité, la technologie qui a été commercialisée grâce à la L'effort de R&D du CERTS est de 100 kW Production combinée de chaleur et d'électricité (CHP) technologie de génération qui ne peut panse fournissent à la fois que de l'électricité et de la chaleur à partir d'un seul combustible, mais en toute sécurité isolez un micro-réseau via son onduleur.

Des onduleurs « intelligents » sont également conçu qui pourrait permettre micro-réseaux pour accéder aux compteurs intelligentes appuyez sur la tarification de la puissance de pointe programmes pour aider à fournir des services auxiliaire services au réseau de distribution, aussi.[5]

1.3 Micro-Réseau Avantages Et Inconvénient

1.3.1 Avantages

- MG a la capacité, pendant les perturbations du réseau public, de s'isoler du réseau et continuer à fournir d'autres chargements en toute sécurité;

- Pendant les périodes de pointe, MG aide le réseau public de services publics à En injectant plus d'électricité dans le réseau public;

- MG participe par l'intégration des énergies renouvelables pour extraire l'environnement Les avantages de maintenir des générateurs à très faible ou à zéro émission;

- La combinaison de l'électricité et de la chaleur permet d'augmenter l'énergie globale Efficacité;

- L'amélioration de la qualité et de la fiabilité de l'alimentation est rendue possible par :
 - décentralisation des sources d'alimentation ;
 - meilleure gestion de l'énergie ;
 - réduction de l'impact des pannes de transport et de production à grande échelle ;
 - Minimisation des temps d'arrêt et amélioration du processus de restauration par le noir Des micro-sources.

Un démarrage en noir est le processus de restauration d'un d'une centrale Électrique ou d'une partie d'un réseau électrique à exploiter sans compter sur le réseau de Transmission externe.

1.3.2 Inconvénient

- Le système de stockage d'énergie nécessite plus d'espace et d'entretien;
- La resynchronisation avec le réseau d'électricité est difficile;
- La protection contre les mg est l'un des défis importants que pose la mise en œuvre de la MG.

1.4 Classifications De Micro-Réseau

Il existe différentes classifications de MG qui sont résumées en quatre catégories principales

- Grandes MG connectées au réseau : elles concernent les applications sur les grands campus et les bases militaires raccordés à un réseau public principal ou fonctionnant en mode îlot;
- Petites MG connectées au réseau : avec un seul générateur pris en charge par un système de stockage d'énergie et les énergies renouvelables;
- Grands micro réseaux éloignés, comme les services publics insulaires avec plusieurs générateurs et sous-stations distribution;
- Petits MG éloignés : il n'y aura habituellement pas plus d'une génératrice et la plus petite peut ne pas en avoir. Certaines des très petites entreprises peuvent avoir une distribution Les méthodes de facturation et de paiement pourraient grandement accroître le potentiel de ces types de MG.

1.5 Technologies Des Ressources Energétiques Distribuées Pour MG

Les ressources énergétiques distribuées (DER) utilisées dans le MG sont connues comme une combinaison de Sources d'énergie renouvelables (SER) ou producteurs d'électricité non classiques.

Le MG a la souplesse nécessaire pour intégrer les sources d'énergie non classiques et les Sources d'énergie renouvelables, y compris la cogénération Former un système à haut rendement, comme le montre la figure 1.2

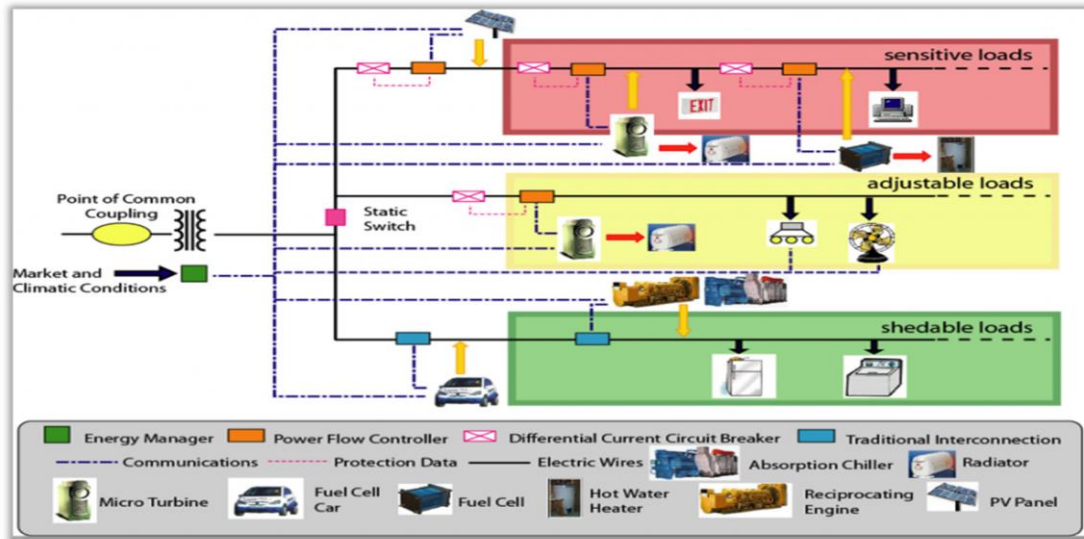


Figure 1.2 : Ressources Energétiques Distribuées Utilisées En MG

De nombreux chercheurs étudient les possibilités d'utiliser un système hybride avec Diverses technologies de stockage d'énergie comme le volant d'inertie, les batteries Et les ultra-condensateurs, Le choix optimal d'un DER dépend principalement du climat, de la topologie de la région et de la disponibilité du carburant. Les DER prospectifs pour la MG sont principalement Fondés sur :

- systèmes solaires photovoltaïques (PV);
- les systèmes de conversion de l'énergie éolienne ;
- production hydroélectrique à petite échelle;
- la biomasse;
- l'énergie géothermique;
- moteurs Stirling;
- les piles à combustible;
- Système de stockage d'énergie (batterie, volant d'inertie, ultra condensateur).

1.6 Système Photovoltaïque Solaire

Le système solaire photovoltaïque (PVS) (voir figure 1.4) produit de l'électricité à partir de l'irradiation de l'énergie solaire et ses principaux avantages sont:

- la nature durable de l'énergie solaire;

- impact environnemental minimal;
- réduction des factures d'électricité des clients;
- longue durée de vie de plus de 30 ans avec un entretien minimal;
- Fonctionnement silencieux.

Aujourd'hui, la technologie PVS est encouragée par les gouvernements, les organisations environnementales et commerciales à fournir une partie importante des besoins énergétiques mondiaux. Il a été étudié que les petites installations PVS sont plus rentables que les plus grandes, ce qui indique l'efficacité de l'alimentation de la génération PVS directement dans les circuits clients des réseaux de distribution basse tension (MG). Toutefois, la nature de la production de PVS étant CC, des circuits de conversion de puissance appropriés doivent être utilisés pour convertir l'alimentation CC en CA au niveau de fréquence spécifié .

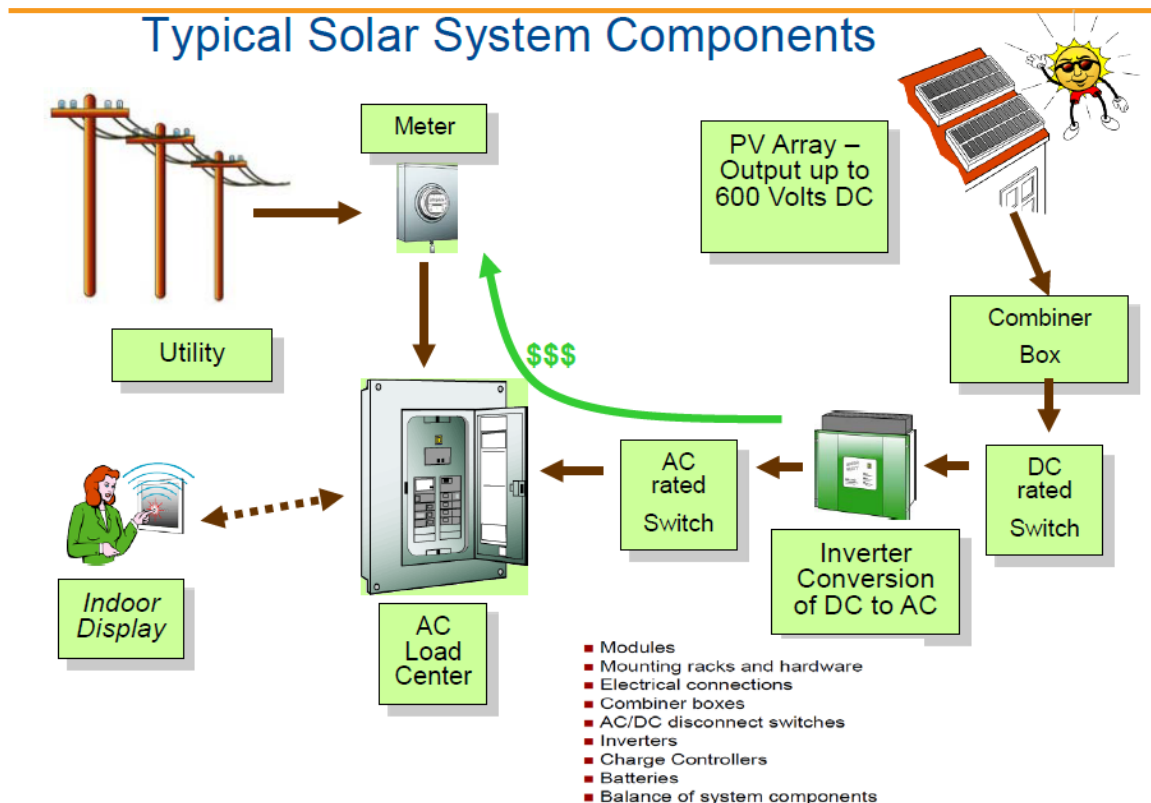


Figure 1.3 Système photovoltaïque

1.7 Système De Conversion De l'énergie Eolienne

Le système de conversion de l'énergie éolienne (WECS) basé éoliennes qui convertissent l'énergie éolienne en énergie mécanique par une boîte de vitesses multiple, puis à l'énergie électrique par l'intermédiaire du générateur. Les principales parties d'une éolienne illustrées à la figure 1.3 sont les suivantes :

- la tour;
- le rotor;
- La nacelle.

L'éolienne capte l'énergie cinétique du vent qui traverse les pales du rotor et transfère l'énergie du côté du générateur d'induction par la boîte de vitesses (Edremitlioglu, 2010).

L'arbre de la génératrice est entraîné par l'éolienne pour produire de l'électricité. Les éoliennes peuvent avoir une configuration horizontale ou verticale. La taille moyenne des turbines commerciales du WECS était de 300 kW jusqu'au milieu des années 1990, mais récemment des machines de plus grande capacité, jusqu'à 5 MW, ont été développées et installées.

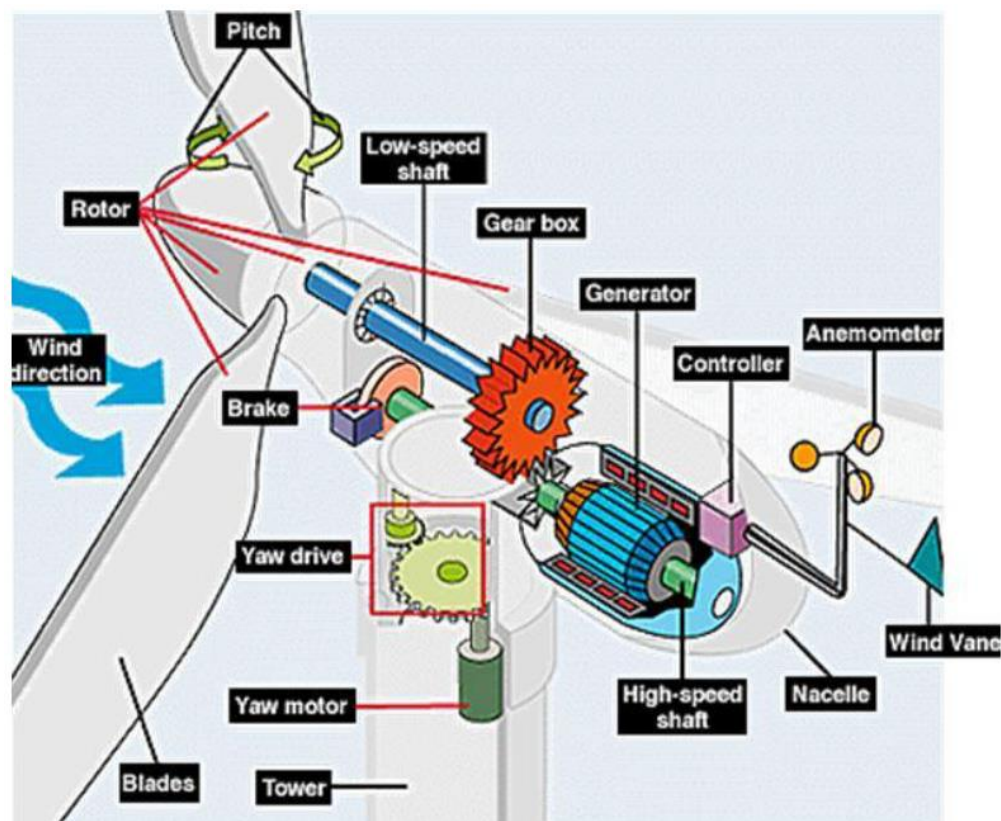


Figure 1.4 Systèmes de conversion de l'énergie éolienne

1.8 Production Hydroélectrique a Petite Echelle

La production hydroélectrique à petite échelle, comme le montre la figure 1.5, dessert une petite collectivité ou une installation industrielle limitée qui correspond au concept de production décentralisée.

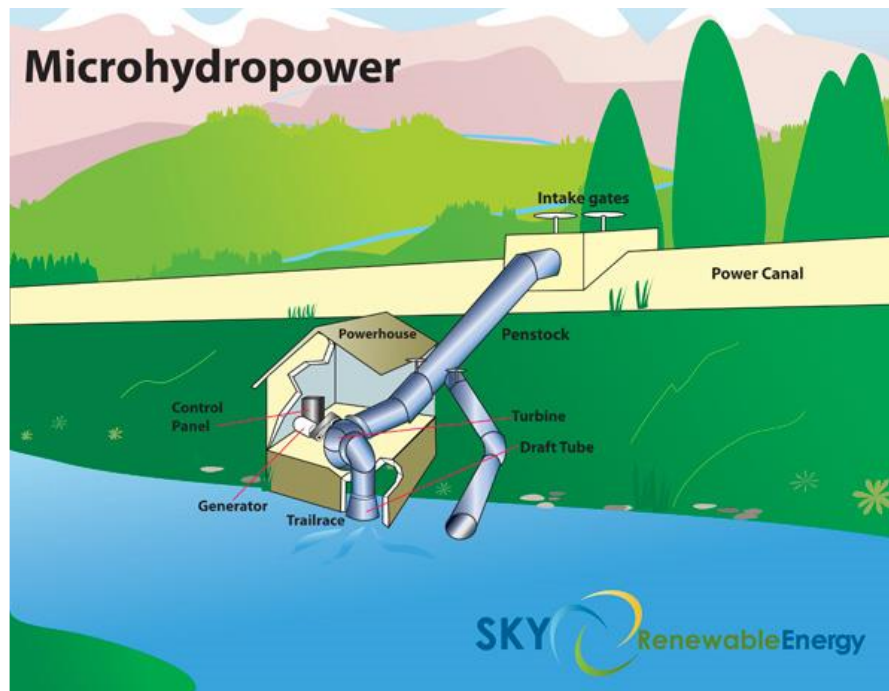


Figure 1.5 Micro-énergie hydroélectrique .

1.9 Biomasse

Le terme biomasse désigne la végétation terrestre et aquatique, les déchets organiques et les organismes photosynthétiques comme le bois, les graminées, les cultures, les déchets agricoles et municipaux.

La biomasse peut être brûlée pour produire de la chaleur qui sert à produire de la vapeur pour transformer les turbines en Produire de l'électricité.

la biomasse et les déchets sont souvent appelés bioénergie. La figure 1.6 montre la gazéification processus .

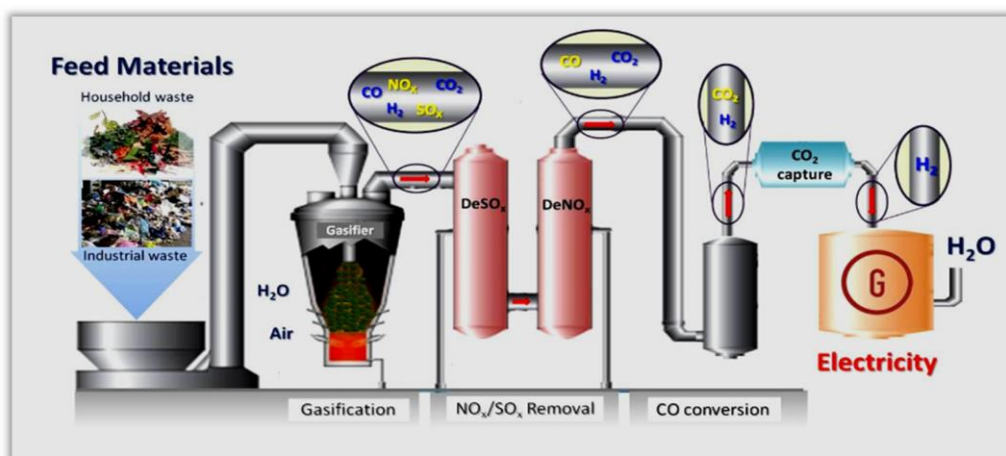


Figure 1.6 Schéma du système de gazéification de la biomasse

1.10 Énergie Géothermique

L'énergie géothermique est la chaleur produite à partir du noyau de la terre et ensuite distribuée entre les couches de la terre par induction thermique où elle est exploitée. L'énergie thermique (voir la figure 1.7) produit de la vapeur pour une turbine qui la convertit en électricité au moyen d'un générateur ((A.P.E.S), 2012; Setel, Gordan et Gordan, 2016).

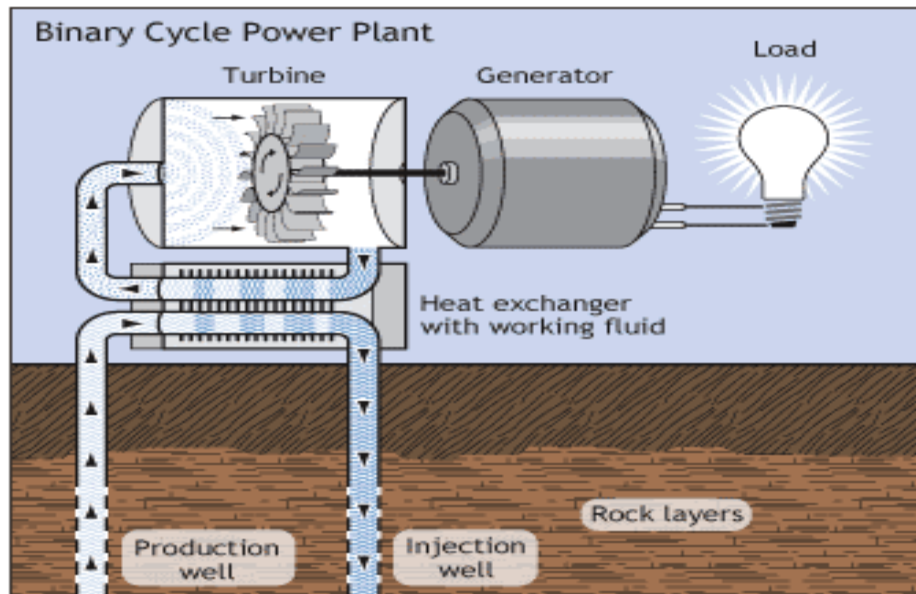


Figure 1.7 Système d'énergie géothermique

1.11 Moteur Stirling

Le moteur Stirling (figure 1.8) est un moteur thermique à piston à cycle fermé dont le gaz de travail est contenu en permanence dans le cylindre.

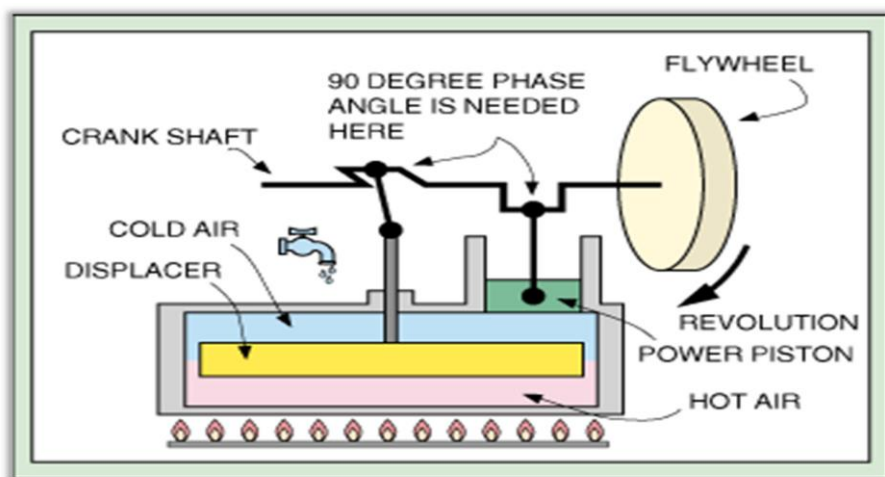


Figure 1.8 Moteur Stirling

1.12 Piles à Combustible

Une pile à combustible convertit l'énergie chimique d'un combustible directement en énergie électrique (voir la figure 1.9).

Il se compose de deux électrodes (une anode et une cathode) et d'un électrolyte, conservés dans une matrice. La figure 1.9 résume les types de piles à combustible en cours de développement.

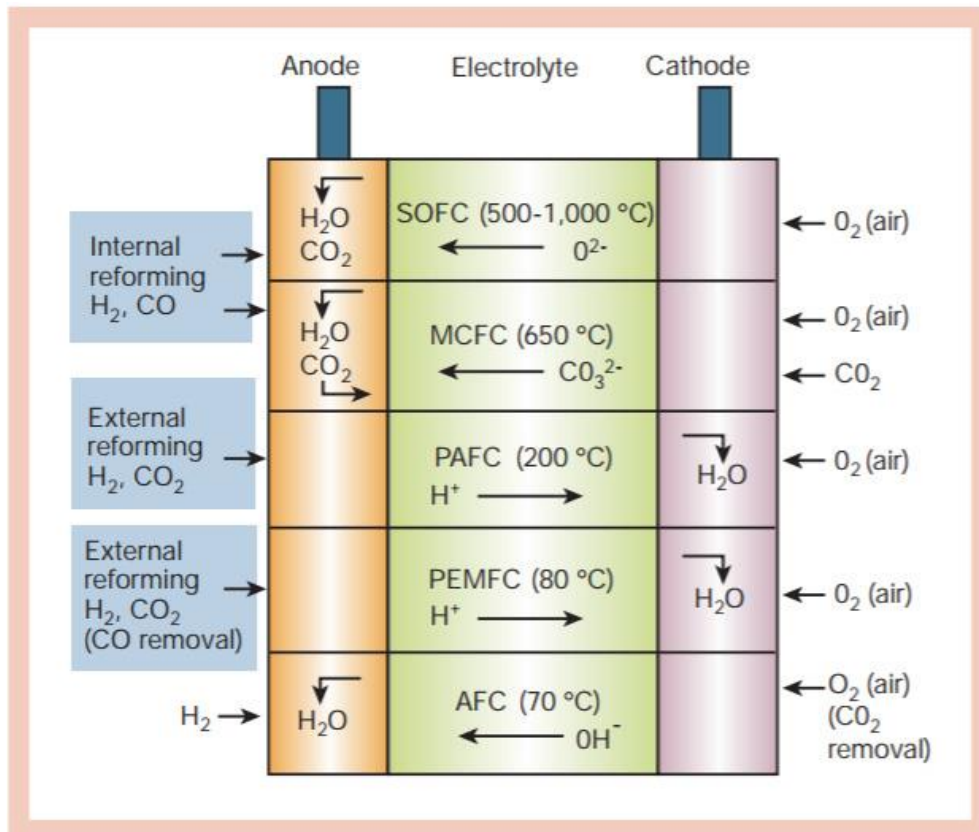


Figure 1.9 Hydrogen Fuel Cell Operation

1.13 Micro Turbine

Les micro-turbines sont très populaires en tant qu'unités génératrices dans les systèmes de générateurs répartis (DG) et en tant que producteurs d'énergie dans les systèmes de cogénération. À l'heure actuelle, ils offrent une perspective maximale pour être utilisés comme micro-sources pour le micro-réseau . Les micro-turbines sont de petites turbines à gaz à cycle simple. La figure 1.10 montre le diagramme des micro-turbines et des micro-turbines hybrides.

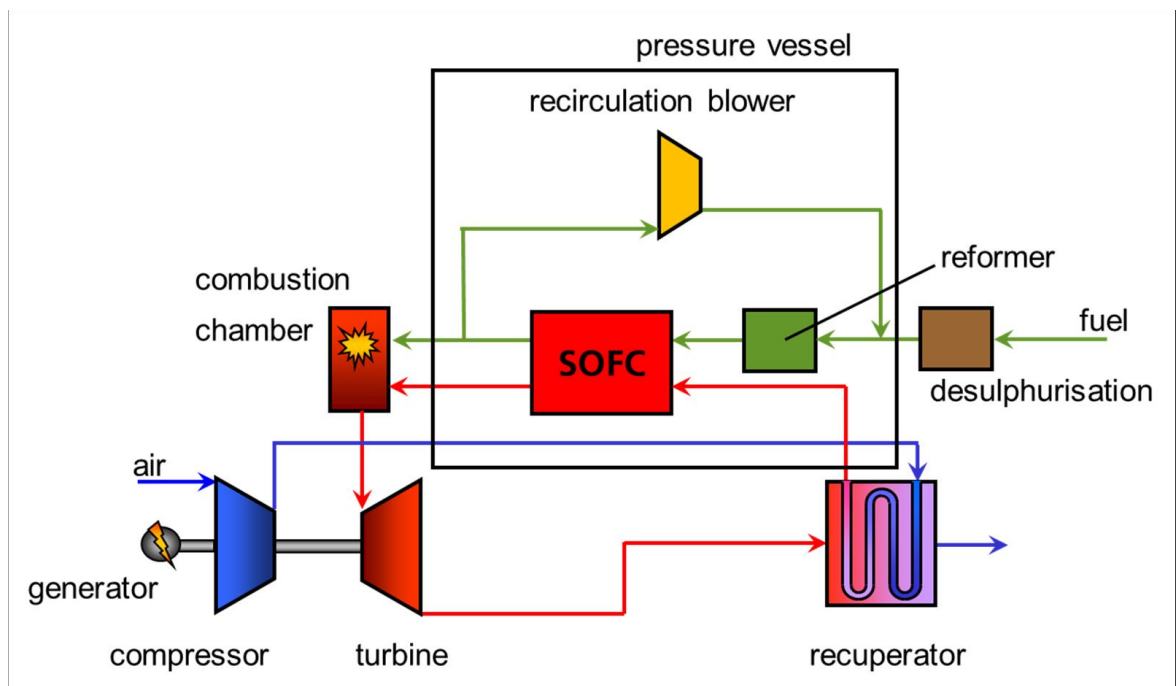


Figure 1.10 Schéma fonctionnel de la micro-turbine et du combustible

1.14 Technologie Des Systèmes De Stockage D'énergie

La nature variable des différentes sources d'énergie qui constituaient les MGs nécessite, dans la plupart des cas, la présence d'un système de stockage d'énergie (SSE) pour compenser les fluctuations possibles. L'ESS permet au réseau d'électricité de stocker l'énergie supplémentaire et de fournir les charges en période de pointe. Le stockage d'énergie à partir de diverses ressources pour desservir économiquement les charges mobiles en fonction des prix de l'électricité et servir les charges non permutables pendant les heures de pointe est l'une des nombreuses applications du SSE. Le graphique suivant (voir la figure 1.11) montre les caractéristiques et le rendement de différentes technologies de stockage d'énergie .

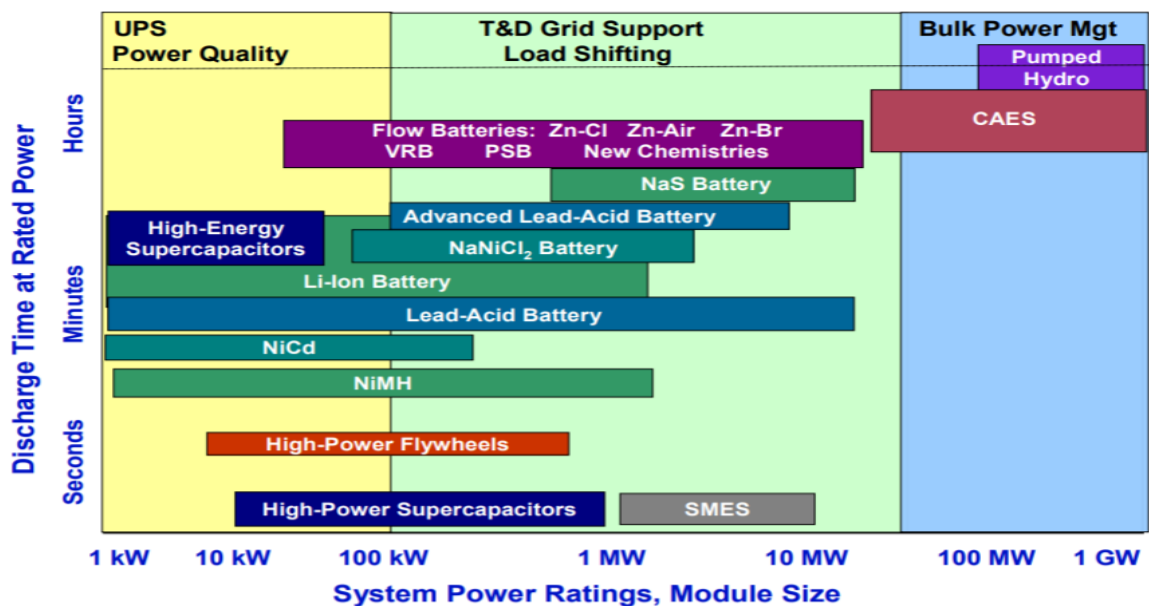


Figure 1.11 Positionnement de la technologie de stockage d'énergie

1.15 Micro-Réseau Protection

MG nécessite une protection élevée pour pouvoir s'adapter à toutes les conditions indésirables comme les courants de défaut, la réduction de la capacité de courants de défaut, la perturbation de la détection des défaillances et la sensibilité à la protection. Compte tenu de ces problèmes,

De nombreuses études ont étudié le thème de la protection des MG. L'étude de (Nikkhajoei&Lasseter, 2007) explique l'intégration de la protection dans la génération afin de détecter la surintensité par la détection de la magnitude de courants comme une faille. Dans (Ustun, Ozansoy&Ustun, 2013), un modèle d'arc est présenté pour étudier les défauts de série dans les MGs CC basse tension. Dans (Jayawarna et al. 2005), la distribution du courant de défaut est étudiée et un système d'électrode de mise à la terre est mis au point pour assurer la sécurité des MG. Dans (Ustun, Ozansoy&Zayegh, 2011), (Etemadi&Iravani, 2013), la hiérarchie des relais, la technique de surcharge et la méthode anti-fausse alarme sont présentées. De nombreuses autres mesures de protection en DC et en AC sont largement discutées dans (Prasai et al. 2010), (Park &Candelaria, 2013).

1.16 Revue des principaux convertisseurs électroniques de puissance utilisés en MG

De nombreux DER ne sont pas adaptés pour être directement connectés au réseau MG. Par conséquent, les convertisseurs électroniques de puissance sont tenus d'interfacier leur intégration afin d'améliorer la qualité de l'énergie, la fréquence et la gestion de l'énergie.

Il existe quatre catégories de convertisseurs:

- CC/CA : L'onduleur fait référence au convertisseur lorsque l'alimentation passe de la CC au côté CA ;
- CA/CC : Le redresseur fait référence à un convertisseur lorsque l'alimentation est CA vers le côté CC convertisseurs;
- CA/CA désigne un convertisseur qui change une forme d'onde CA en une autre CA avec une tension, une fréquence, une phase ou une forme différente;
- CC/CC : Il s'agit d'un convertisseur qui convertit une source de courant continu (CC) d'un niveau de tension à un autre (niveau supérieur ou inférieur) ;

Avant d'explorer les différents types de convertisseurs, certains facteurs et symboles de base sont très nécessaires pour comprendre le rôle et les fonctionnalités des convertisseurs.

1.17. Facteur et symboles utilisés dans le système d'alimentation CC

Nous définissons la valeur instantanée de la tension CC de sortie à v_d et la valeur moyenne V_d .

Une tension CC pure n'a pas d'ondulation; elle est alors appelée tension CC sans ondulation. Autrement, une tension CC

La tension est déformée et se compose d'un composant CC et d'harmoniques CA. Sa Valeur rms est V_{drms} . Pour une tension CC déformée, la V_{drms} est constamment Supérieure à la V_d . Le facteur d'ondulation (RF) est défini comme suit :

$$RF = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2}}{V_d} \quad (1.1)$$

Où V_h est l'harmonique du nième ordre.

Le facteur de forme (FF) est défini comme suit :

$$FF = \frac{V_{d-rms}}{V_d} = \frac{\sqrt{\sum_{h=0}^{\infty} V_h^2}}{V_d} \quad (1.2)$$

Par conséquent, nous obtenons $FF > 1$, et la relation sera

$$RF + \sqrt{FF^2 - 1} \quad (1.3)$$

Le facteur de forme FF et le facteur d'ondulation RF sont utilisés pour décrire la qualité des paramètres de forme d'onde CC de tension et de courant. Pour une tension CC pure, $FF = 1$ et $RF = 0$. [6]

1.18 Micro-Réseaux Et CPL

Le secteur de l'énergie connaît un changement sans précédent dans l'ensemble du système, le transport et la distribution, alimentés par des recherches approfondies sur les systèmes énergétiques de la prochaine génération et l'épuisement des ressources en combustibles classiques.

En raison de la disponibilité dans la nature et de la production d'énergie respectueuse de l'environnement, les spécialistes et les professionnels du secteur de l'énergie préfèrent adopter les ressources d'énergie renouvelable, comme l'as de leur manche, pour faire face à la crise énergétique de la prochaine génération.

Pour utiliser les ressources en énergie renouvelable, des systèmes de micro-réseaux ont déjà été construits et utilisés pour fournir de l'électricité dans les régions isolées du réseau et pour répondre à la demande générale dans les installations industrielles. Le micro-réseau - un groupe localisé de sources et de charges d'électricité - fonctionne comme une seule entité contrôlable et est synchronisé avec le réseau de services publics classiques pour fournir un soutien en cas de demande accrue. Selon les conditions physiques et économiques, il peut être exploité indépendamment et peut être isolé du réseau de services publics en cas de situation indésirable [7], [8].

Dans le système électrique de la prochaine génération, le micro-réseau est une option préférable pour un certain nombre de raisons. Tout d'abord, la plupart des industries, des organisations professionnelles et des établissements d'enseignement ont besoin d'une

alimentation électrique de secours fiable en raison de la nature incertaine et interrompue de l'alimentation électrique du réseau de services publics.

Les sauvegardes de puissance disponibles telles que la production privée, les systèmes de stockage d'énergie, et les moteurs diesel sont très coûteux. En adoptant un système de micro-réseau il est possible de se débarrasser de cela, et l'expérience d'un coût efficace et fiable solution en cas de crise d'électricité.

En dehors de cela, considérant une image plus large, il est possible d'économiser des milliards de dollars si quelques centaines d'heures de pointe d'été peuvent être gérés par des techniques de transfert de charge ou de rasage de charge.

De plus, la fiabilité est l'une des clés pour adopter des micro-réseaux à plus grande échelle. La Chine a déjà introduit des systèmes de micro-réseaux largement et expérimenté des performances appréciables avec la durabilité. Étant donné que la sécurité énergétique est l'une des principales préoccupations de l'industrie de l'énergie, les micro-réseaux peuvent offrir à l'ensemble du système l'efficacité souhaitée. Il est également possible de résoudre les problèmes de cyber sécurité en utilisant des systèmes de micro-réseau en raison de leurs zones de fonctionnement plus petites et de la technique de contrôle facile [9], [10].

Dans le réseau de services publics, une quantité considérable d'électricité est perdue en raison de la transmission. Dans les applications de micro-réseaux, cette perte de transmission peut être considérablement réduite.

De plus, il n'est pas nécessaire d'investir dans le carburant pour produire de l'électricité, ce qui permet de minimiser les coûts globaux. Les endroits où il est impossible d'obtenir des connexions au réseau de services publics peuvent avoir le privilège de l'électricité indépendamment de l'infrastructure de transport en employant des systèmes de micro-réseaux; par conséquent, il assure électrification de masse [11].

Avec les progrès de la technologie, les applications des dispositifs électroniques de puissance augmentent, augmentant ainsi les charges de puissance constantes (CPL) à une vitesse énorme qui a d'énormes effets sur la stabilité des systèmes d'alimentation, en particulier dans les systèmes de puissance distribués tels que les micro-réseaux.

Les micro-réseaux traitent beaucoup avec le nombre croissant de charges de puissance constante (CPL) telles que les charges basées sur les onduleurs. Les charges de puissance constantes présentent une impédance incrémentale négative et causent donc de graves problèmes d'instabilité dans le système d'alimentation.

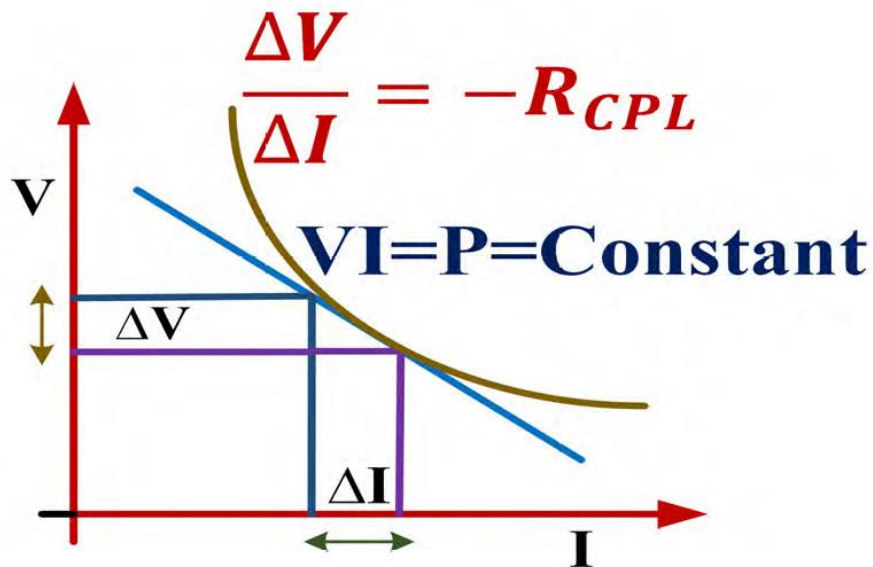


Figure 1.12 présente les caractéristiques d'impédance incrémentale négative des CPLs.

Pour compenser l'instabilité du CPL, un certain nombre de recherches ont été menées dans le monde entier. Bien que les recherches concernant l'instabilité des micro-réseaux aient commencé au début de 1998-1999, avec l'industrie croissante de l'électrification de masse, Et finalement la technologie des micro-réseaux, cette question a attiré l'attention de milliers de chercheurs à travers le monde avec le temps et la nécessité croissante.

La croissance de la recherche de la compensation de l'instabilité de la charge de puissance Constante.

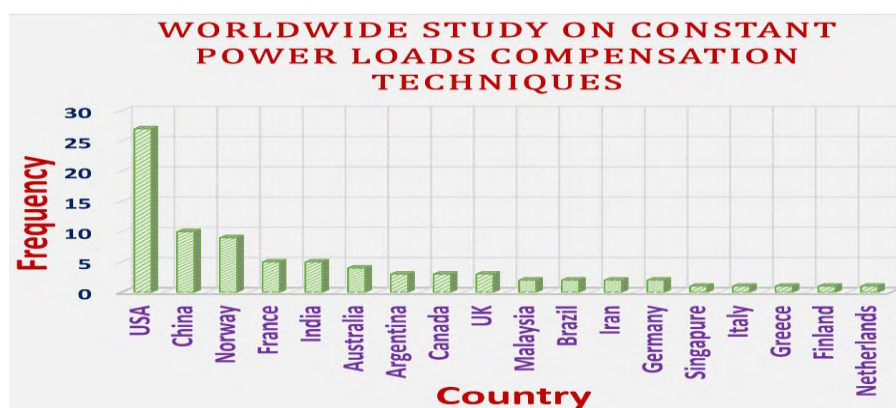


FIGURE 1.13 Infographie nationale sur la recherche sur la compensation de l'instabilité de la charge d'énergie constante dans le monde.

Les États-Unis sont en tête et devancent clairement les autres, la Norvège projetant une solide chance de rattraper la Chine, qui est actuellement en deuxième place.

À partir de cette illustration, il est évident que la recherche concernant la technologie des micro-réseaux a considérablement augmenté après 2010. Pour annuler toute possibilité d'erreur, il est nécessaire de mentionner que cet examen exhaustif est préparé à partir d'articles de recherche publiés jusqu'en mai 2016.

À part que, bien que les États-Unis d'Amérique mènent la recherche sur la technologie des micro-réseaux et la compensation de l'instabilité, la Chine, la Norvège, la France et l'Inde contribuent également à cette recherche de manière significative. L'infographie nationale pour la recherche sur la compensation de l'instabilité de la charge de puissance constante dans la technologie de micro réseaux est illustrée à la figure 1.13

La contribution de cet article de revue est définie comme suit. Dans la deuxième section, la modélisation générique ainsi que mathématique des micro-réseaux CC et AC sont présentées avec les diagrammes de circuits équivalents simples.[12].

1.19 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les types de micro-réseaux et leurs applications possibles dans les zones reculées et le type de réseau connecté pour fournir et connecter l'énergie nécessaire à la population et identifier les avantages et les inconvénients et les méthodes d'installation qui nécessitent un système de contrôle serré pour atteindre l'objectif .

Chapitre 2

Charge de Puissance Constant

2.1 Introduction

Les convertisseurs DC-DC sont des circuits d'électronique de puissance. Ils sont largement utilisés dans les équipements pour munir en puissance plusieurs instruments électroniques comme les PC, et aussi en applications spécialisés de la haute puissance telle que le chargement des batteries, la gravure, la soudure, ...etc. En plus du contrôle et la transformation abaisseur et ou élévatrice de la tension continue, les circuits convertisseurs DC-DC peuvent aussi engendrer une isolation de tension à travers un petit convertisseur à haute fréquence. La variété étendue des topologies des circuits convertisseurs DC-DC va du simple interrupteur (convertisseurs Buck, Boost, et Buck-Boost) à des configurations complexes comprenant deux à quatre interrupteurs et employant la simple commutation ou les techniques de résonance pour commander la commutation d'abaissement ou d'élévation.

Les convertisseurs continu-continu ou commercialement appelés DC-DC constituent une partie essentielle des alimentations de puissance. En effet, on trouve ces convertisseurs dans de nombreuses applications à différents niveaux de puissance. Les convertisseurs DC-DC en général réalisent deux fonctions : modifier le niveau de tension (élever ou abaisser) et réguler la tension.

La conversion DC-DC qui a pour but de contrôler l'écoulement de l'énergie entre le panneau solaire et la charge. Pour ce type de convertisseur, la gamme de puissance que l'on peut traiter s'étend de quelques watts, à des centaines de kilowatts.

Cependant, l'apparition de composants de puissance sans cesse plus performants, permet d'envisager le traitement de puissances plus élevées.

Dans cette partie nous présentons le principe des trois types de convertisseurs DC-DC : Buck, Boost et Buck – Boost. Ces convertisseurs sont constitués essentiellement de composants réactifs tels que les selfs et les capacités qui consomment peu ou pas d'énergie. C'est pour cette raison qu'ils sont caractérisés par un grand rendement. Pour notre travail nous utiliserons le convertisseur Buck.

2.2 Rôle Des Convertisseurs DC-DC

Pour la conversion de puissance, il est essentiel que le rendement soit maintenu élevé pour éviter la dissipation de la puissance et pour éviter les échauffements excessifs dans les composants électroniques. Pour cette raison toute la conversion de puissance échangée doit être réalisée autour des composants de stockage d'énergie (inductances et condensateurs) et les commutateurs.

Les commutateurs de puissance utilisés dépendent du niveau de la puissance à convertir ou à commander. Les MOSFETS (transistors à effet de champ d'oxyde de métal) sont habituellement utilisés à la puissance relativement basse (quelques kW) et les IGBTs (transistors bipolaires à gâchette isolée) à des puissances plus élevées. Les thyristors ont été généralement utilisés et acceptés dans les plus hauts niveaux de puissance. La figure 2.1 montre la représentation d'un convertisseur DC/DC, qui peut être utilisé comme interface entre la source et la charge [13]

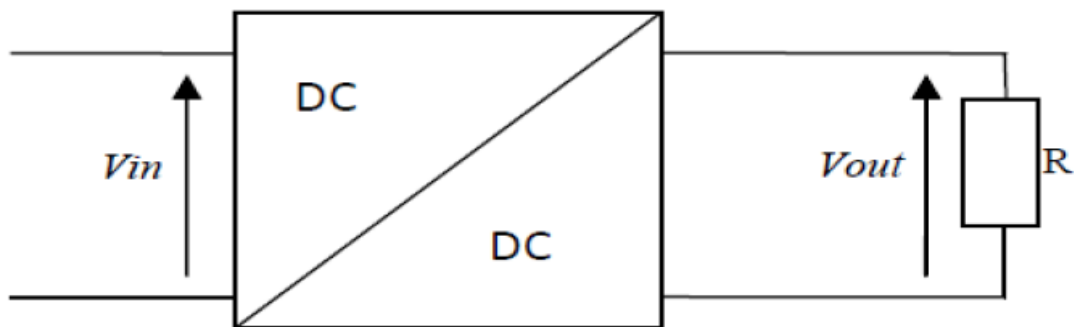


Figure 2.1 : DC DC convertisseur

2.3 Applications des convertisseurs DC/DC

Les niveaux de puissance que l'on trouve dans les convertisseurs vont de moins d'un watt dans les convertisseurs des équipements portables, à une dizaine ou centaine de watts dans les alimentations des ordinateurs de bureau, aux kilowatts ou mégawatts dans la commande des moteurs à vitesse variable, et jusqu'aux térawatts dans les centrales électriques du secteur.

Nous intéressons dans ce travail à la très basse puissance, inférieure au watt, des applications portables où le rendement et le volume du convertisseur sont critiques. Les convertisseurs DC-DC en général réalisent deux fonctions: modifier le niveau de tension (élever ou abaisser) et réguler la tension. L'électronique de conversion se trouve à l'interface entre les batteries

(la source d'énergie en général) et l'ensemble des blocs constitutifs du système considéré, des circuits électroniques numériques et analogiques, des écrans, des actionneurs, des claviers, etc. Plus de 5 à 6 niveaux de tensions peuvent cohabiter dans un ordinateur portable [14].

2.4 Différents types des hacheurs

On distingue deux catégories de hacheurs : réversibles et non réversibles (Figure 2.2) :

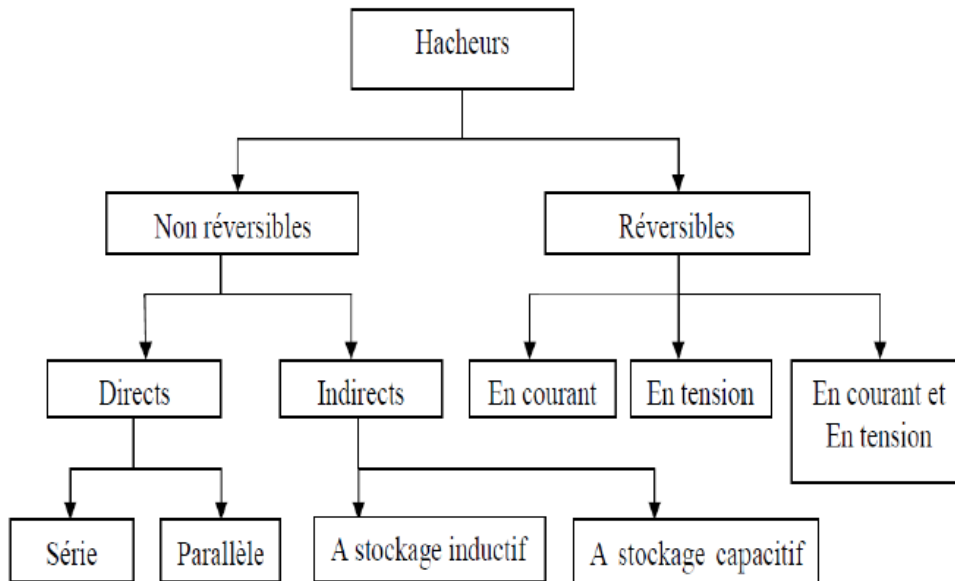


Figure 2.2 : Différents types de hacheurs

2.4.1 Hacheurs réversibles

Ce sont des structures qui assurent une réversibilité en tension et/ou en courant. Ainsi, il est possible d'inverser le sens de parcours de l'énergie. Alors, une source peut devenir une charge et inversement. Ce type de comportement se rencontre usuellement dans les systèmes d'entraînement électrique. Ainsi, un moteur en sortie d'un hacheur représente une charge.

Cependant, si on veut réaliser un freinage, le moteur va devenir un générateur, ce qui va entraîner un renvoi d'énergie à la source (mieux qu'un simple freinage mécanique).

On peut caractériser un convertisseur DC-DC par l'indication de sa ou de ses réversibilités communes à la source de tension et à la source de courant :

- Un convertisseur réversible en tension relie deux sources réversibles.
- Un convertisseur réversible en tension relie deux sources réversibles en tension.
- Un convertisseur réversible en courant relie deux sources réversibles en courant.

- Un convertisseur réversible en courant et en tension relie deux sources toutes deux réversibles en courant et en tension

2.4.2 Hacheurs non réversibles

Nous traitons dans cette partie les convertisseurs unidirectionnels en courant et en tension. Cela implique que la fluence d'énergie ne peut se faire, au sein du convertisseur, que dans un seul sens.

Cela revient également à considérer :

- des sources de tension unidirectionnelles en courant, dont la tension qu'elles imposent ne peut être que d'un seul signe.
- des sources de courant unidirectionnelles en tension, dont le courant qu'elles imposent ne peut être que d'un seul signe.

Cela conduit à l'étude des convertisseurs DC-DC les plus simples qui puissent être. Dans ce cadre, on distingue trois familles de hacheurs :

- Hacheur série ou abaisseur (ou Buck),
- Hacheur parallèle ou élévateur (ou Boost),
- Hacheur série-parallèle ou abaisseur-élévateur (Buck-Boost) [15].

2.5 Les type des hacheurs non réversibles

2.5.1 Hacheur survolteur (Boost)

Ce dernier est un convertisseur survolteur, connu aussi sous le nom de « boost » ou Hacheur parallèle ; son schéma de principe de base est celui de la figure I.4. Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie supérieure

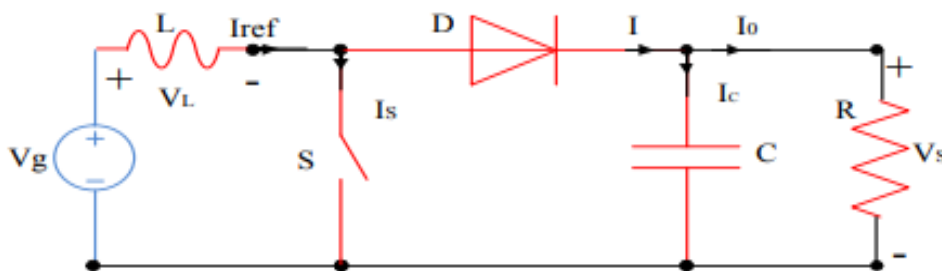


Figure 2.3 : Circuit électrique de base du hacheur survolteur.

2.5.2 Convertisseur Buck Boost

La deuxième topologie de base du DC/DC est donnée par la figure 2. 1 Dans ce dispositif, La tension peut être augmentée ou diminuée selon le mode de commutation. Cependant, La

Tension de sortie est de signe opposé à la tension d'entrée. Tandis que, lorsque le thyristor est sur la position (on) le courant dans l'inductance augmente, l'énergie est stockée ; et quand le commutateur se met sur la position (off) l'énergie stockée se transfère vers la charge via la diode.

Dans les bornes de la charge décrivant le fonctionnement par l'équation suivante :

$$V_i = \frac{D}{1-D} V_S \tag{2.1}$$

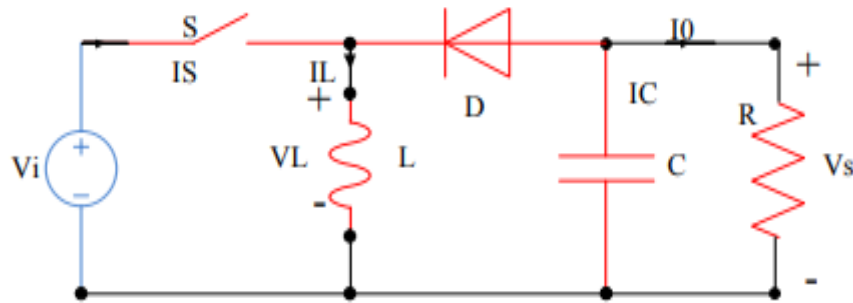


Figure 2.4 : .Circuit électrique de base du hacheur survolteur/dévolteur.

2.5.3 Convertisseur Buck

Le convertisseur dévolteur peut être souvent trouvé dans la littérature sous le nom de Hacheur Buck ou hacheur série. La figure 2.5 présente le schéma de principe du convertisseur dévolteur. Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie inférieure

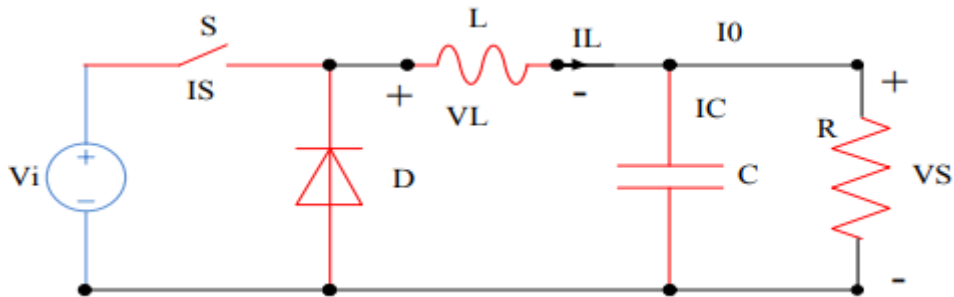


Figure 2.5: Circuit électrique de base du hacheur dévolteur

2.6 Principe De Fonctionnement Buck

Le commutateur peut être un transistor MOSFET ou un IGBT qui peut se commuter sur deux positions, marche ou arrêt rapidement. La tension de la source doit être plus grande que

la tension aux bornes de la charge. L'équation mathématique caractérisant le courant de l'inductance est donnée par l'équation suivante.

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \frac{V_i - V_s}{L} \quad (2.2)$$

IL : Le courant dans l'inductance

Le processus de commutation est décrit par la position de l'interrupteur (S). Dans le premier laps de temps (αT) le transistor est dans un état de saturation, alors l'inductance (L) se charge d'énergie avec augmentation du courant IL. Dans le deuxième laps de temps ($\alpha - 1$) T, l'inductance (L) libère cette énergie à la charge avec une diminution de courant IL.

En négligeant la chute de tension à travers la diode, le taux de changement du courant est donné par :

$$\frac{\partial I}{\partial t} = -\frac{V_i}{L} \quad (2.3)$$

Lorsque le courant de l'inductance ne se décroît pas vers zéro avant la commutation du Transistor, le convertisseur fonctionne dans le mode de conduction continu, comme illustré sur la figure (2.6), et dans ce cas, si la tension de charge dépend seulement de la tension de source et du rapport cyclique :

$$\alpha \frac{T_{on}}{T} \quad (2.4)$$

La tension aux bornes de la charge :

$$V_s = \alpha V_i \quad (2.5)$$

Dans le mode de conduction discontinu le courant de l'inductance s'annule dans un cycle de commutation entre le transistor (S) et la diode. Dans ce cas, la tension de charge dépend d'une manière plus complexe du rapport cyclique et le courant de la charge, la figure (2.6) montre comment la tension de charge varie. Les caractéristiques des courants et la tension représentant le fonctionnement du hacheur dévolteur sont données par la figure (2.7) [16]

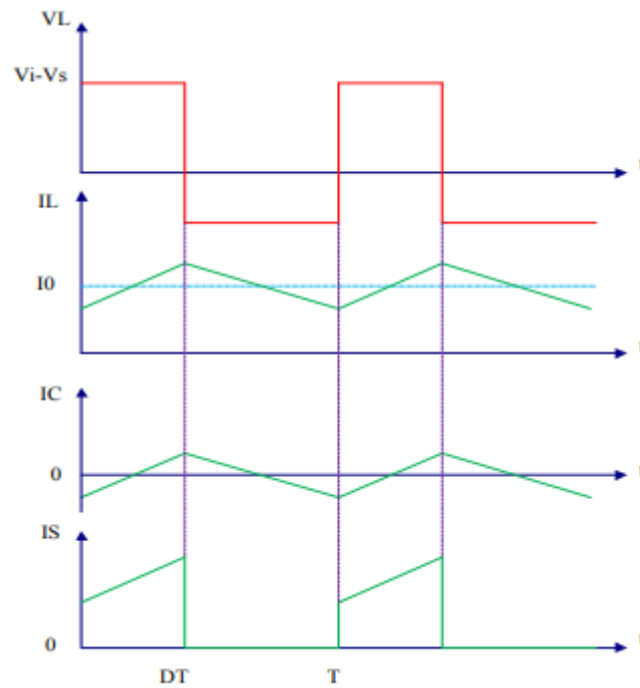


Figure 2.6: Caractéristique de la tension et des courants dans le transistor et l'inductance d'un convertisseur Buck.

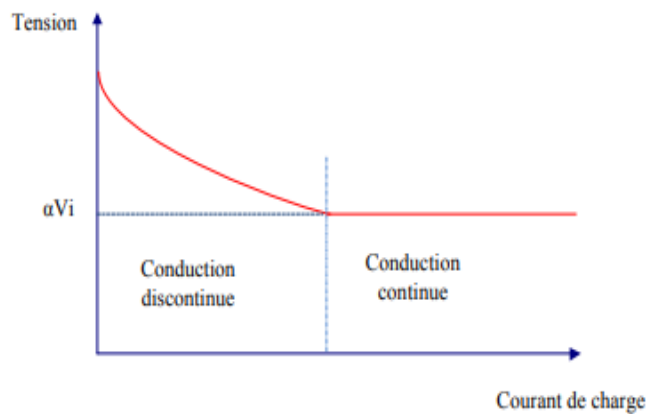


Figure 2.7 : Variation de la tension de charge avec le courant de charge pour un convertisseur Buck.

2.7 Charge De Puissance Constante

Dans une CPL, la charge maintient un niveau de puissance constant en tirant plus ou moins de courant comme l'exige la situation. Par exemple, si la tension d'entrée diminue, le courant d'entrée augmente ; ou si la tension d'entrée augmente, le courant d'entrée diminue

afin de maintenir un niveau de puissance constant. Ce trait d'un CPL « effet déstabilisateur connu sous le nom d'instabilité d'impédance négative » [17]

2.8 Charge De Puissance Constante Entretien Par Un Convertisseur Abaisseur

Un convertisseur abaisseur est un convertisseur abaisseur: il prend la tension d'entrée et réduit la tension de sorte que la sortie soit inférieure à l'entrée. Un convertisseur abaisseur est un circuit simple composé d'une source, de deux commutateurs (généralement un transistor et une diode), d'une inductance, d'un condensateur et d'une charge. La figure 2.8 est un exemple de circuit convertisseur abaisseur simple. Les convertisseurs de puissance tels qu'un convertisseur abaisseur sont utilisés en raison de leur capacité de contrôle de tension de sortie étroite, ce qui leur permet de répondre presque immédiatement aux modifications du système.

Cet avantage du convertisseur abaisseur est un inconvénient lorsqu'il agit comme un CPL. Un convertisseur abaisseur régule la tension du condensateur de sortie (tension aux bornes de C sur la Figure) en contrôlant le rapport cyclique, Ceci est accompli en fermant une boucle de commande de la tension de sortie. Typiquement, la tension de sortie est maintenue constante indépendamment de la tension d'entrée. Cela rend la puissance consommée par R load constante et, par conséquent, le convertisseur abaisseur ressemble à un CPL.

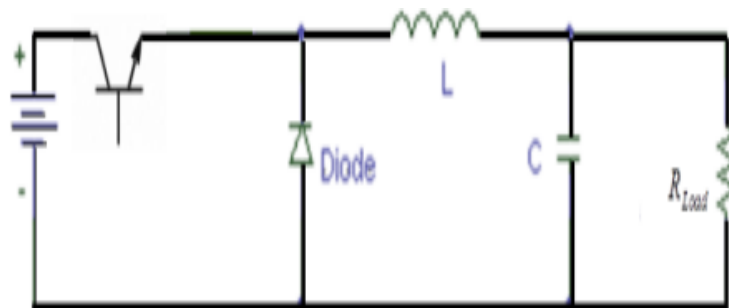


Figure 2.8 : diagramme de convertisseur abaisseur

2.9 Comment Un Convertisseur Abaisseur Agit Comme Une Charge De Puissance Constante

Un convertisseur abaisseur agit comme un CPL aux bornes d'entrée en raison de la façon dont la charge apparaît sur les bornes de sortie. Quelques équations de base sont nécessaires pour expliquer mathématiquement la façon dont la charge apparaît. D'après la loi d'Ohm, $V = IR$ est où V est la tension, I est le courant et R est la résistance. La puissance P est donnée par $P = IV$ et mesurée en Watts (W). En substituant la loi d'Ohm dans l'équation de puissance,

on obtient

$$p = \frac{V^2}{R} \quad (2.6)$$

qui a été utilisé pour mesurer la charge. En raison de la régulation étroite de la tension de sortie du convertisseur de puissance, la tension de sortie est maintenue constante à 5 V DC. Lorsque la charge $2 V R$ augmente car R diminue, le convertisseur de puissance nécessite plus de courant d'entrée pour maintenir la tension de sortie constante. Une charge est généralement considérée comme une résistance, et lorsque des résistances sont ajoutées en parallèle, la résistance totale diminue en raison de:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (2.7)$$

Parce que la tension de sortie du convertisseur abaisseur ne va pas changer en d'autres termes, il maintient une constante de 5 V CC aux bornes de sortie la seule façon de modifier la charge ou le niveau de puissance dans l'équation (2.5) est de changer la valeur de la résistance. Au fur et à mesure que la charge change, le niveau de puissance change et la stabilité à la borne d'entrée du convertisseur abaisseur est affectée. Encore une fois, une CPL est une caractéristique créée lors de l'utilisation de l'électronique de puissance, et la régulation presque parfaite de l'électronique de puissance est à l'origine de l'effet d'instabilité négatif. La figure 2.9 est un exemple de convertisseur abaisseur. La fermeture d'une boucle de contrôle sur V_0 fait que le convertisseur abaisseur agit comme un CPL.

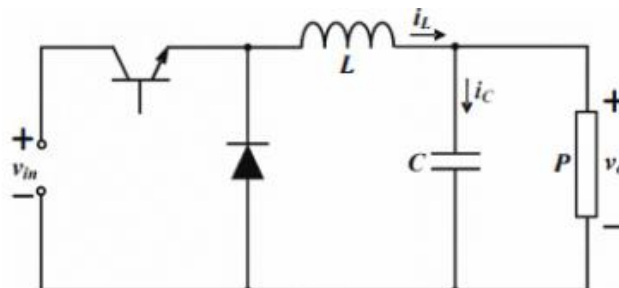


Figure 2.9: Un convertisseur abaisseur avec une charge à puissance constante

2.10 Problèmes de Stabilité Avec les CPLs et Solutions Possibles

Les charges de puissance constante créent un effet déstabilisant dans les circuits auxquels elles sont connectées en raison de l'instabilité de l'impédance négative. Cette impédance négative provient de la façon dont la tension et le courant d'entrée réagissent lorsqu'une charge. Lorsque la tension diminue et que le courant augmente ou vice versa, ce changement de tension ou de courant est l'effet déstabilisateur d'une CPL.

Une solution possible consiste à ne pas les contrôler aussi étroitement; cela peut cependant causer d'autres problèmes car le contrôle est étroitement régulé de sorte qu'une tension ou un courant constant est maintenu à un certain point d'intérêt. Une autre solution consiste à mettre un condensateur de découplage ou d'apaisement en parallèle avec la source avant le convertisseur de puissance. Nous montrons dans les résultats expliqués comment notre expérience de simulation et de matériel d'origine a agi avec la valeur initiale de notre condensateur, puis montrez comment cela a été affecté lorsque nous avons augmenté la capacité.

Le résultat est que la tension d'entrée en régime permanent du convertisseur abaisseur avait une ondulation plus petite car elle était plus stable avec une capacité plus grande.

L'augmentation de la capacité également diminution du transitoire de mise sous tension et de l'ondulation observée après le changement de charge. La réduction de l'inductance de la source est un autre remède utile. En diminuant l'inductance de la source, la le circuit réagit de la même manière que lorsque la capacité est augmentée. En diminuant l'inductance ou en augmentant la capacité, l'impédance de la source est finalement abaissée. L'abaissement de l'impédance de la source a un effet positif sur le circuit du point de vue de la stabilité.

Placer un condensateur de couplage ou un condensateur de filtre (C_f) en parallèle avec la source et le convertisseur de puissance est important car le condensateur fait une différence significative. La plus grande capacité de mes simulations et expériences a fait une différence significative dans la diminution de l'ondulation comme mentionné ci-dessus. La diminution de l'ondulation est importante car un appareil légèrement stable ne décompose pas immédiatement un appareil tel qu'un microprocesseur, et une tension d'ondulation de 1 volt a des effets à long terme plus négatifs sur l'espérance de vie de l'équipement qu'une tension d'ondulation plus petite.

Lorsqu'une inductance plus petite était placée dans le circuit, ou lorsque l'inductance était éliminée (comme en court-circuitant celle du circuit), la tension d'ondulation était considérablement réduite. Il est également important de réaliser que la distance entre CPL et l'inductance et le condensateur a un effet distinct sur le circuit car l'impédance des câbles ou des lignes électriques s'accumule avec la distance. En bref, l'inductance et le condensateur doivent être aussi proches que possible du CPL. [18] [19] [20] [21]

2.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les convertisseurs DC DC et le principe de fonctionnement de chaque type et les éléments de base qui entrent dans l'installation de chaque convertisseur et la méthode de travail de chacun d'eux au besoin.

Chapitre 3

Analyse et Simulation Convertisseur DC-DC Abaisseur et Elevateur

3.1 Introduction

Modélisation des convertisseurs de puissance abaisseur et élévateur selon la méthode de moyen-âge, ci-après, la linéarisation des modèles et la conception des contrôleurs sont étudiés, par conséquent, les résultats de simulation (contrôle de la valeur du courant d'inductance et de la valeur de la tension du condensateur de sortie) sont fournis et discutés.

3.2 Modèle D'espace D'état Du CC-CC Convertisseur Abaisseur

Les deux modèles instantanés du convertisseur abaisseur sont représentés sur la Figure 3.1

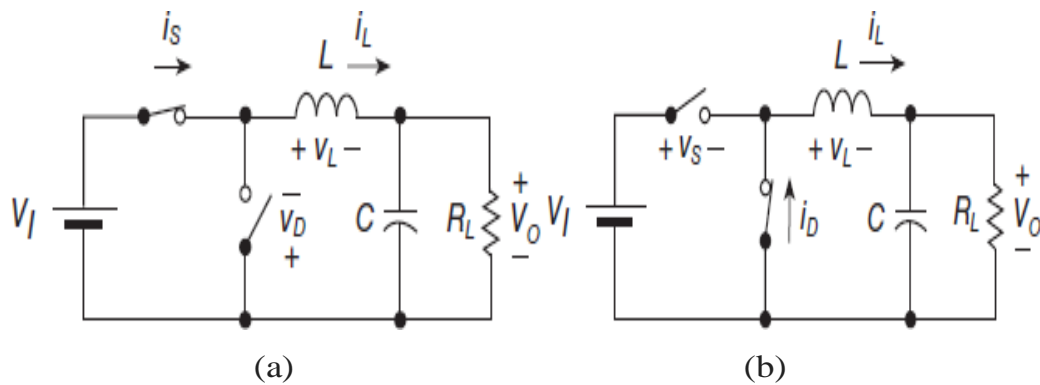


Figure.3.1. Circuits équivalents idéaux pour convertisseur Buck

- (a) Circuit équivalent lorsque l'interrupteur est allumé- la diode est éteinte.
- (b) Circuit équivalent lorsque l'interrupteur est éteint- la diode est allumée

Élément (inducteur) et élément de stockage de potentiel (condensateur), ce qui signifie que les sous-systèmes mentionnés dans (Fig.3.1.a) et (Fig.3.1.b) sont de deuxième ordre.

De la figure 3.1. a), nous avons :

$$\begin{cases} i_L(t) = \frac{1}{L} \int V_L(t) dt \\ V_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt \end{cases} \leftrightarrow \begin{cases} \dot{i}_L = \frac{1}{L} [V_L(t)] = \frac{1}{L} [V_I - v_c(t)] (v_c(t) = v_o) \\ v_c(t) = \frac{1}{C} [i_L(t) - i_o] = \frac{1}{C} \left[i_L(t) - \frac{v_c(t)}{R_L} \right] \end{cases} \quad (3.1)$$

Lorsque la représentation de l'espace d'état (Condensateur de tension est la sortie) du circuit équivalent lorsque l'interrupteur est allumé (pendant $T_{on} = D.T_s$, T_s : Période de commutation) peut être écrite comme suit :

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RLC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_I] \\ v_c(t) = [0 \ 1] \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} + [0][V_I] \end{cases} \quad (3.2)$$

De la figure 3.1. b, nous avons :

$$\begin{cases} i_L(t) = \frac{1}{L} \int V_L(t) dt \\ V_c(t) = \frac{1}{C} \int i_c(t) dt \end{cases} \leftrightarrow \begin{cases} i_L = \frac{1}{L} [V_L(t)] = \frac{1}{L} [-v_c(t)] (v_c(t) = v_0) \\ v_c(t) = \frac{1}{C} [i_L(t) - i_0] = \frac{1}{C} \left[i_L(t) - \frac{v_c(t)}{R_L} \right] \end{cases} \quad (3.3)$$

Où la représentation de l'espace d'état du circuit équivalent lorsque l'interrupteur est éteint (pendant T Off = (1-D).Ts, Ts : Période de commutation) peut être écrite comme équation (3.4).

Les représentations de l'espace d'état (équation 3.2 et 3.4) sont connues sous le nom de : grands modèles de signal (modèles d'instantons) pendant {Ton = (D.Ts)} et {T Off = (1 - D). Ts} respectivement. À l'aide de la méthode de moyenne de l'espace d'état, consiste à calculer les valeurs moyennes de toutes les variables d'état (x au lieu de x) Période de commutation Ts, cependant, si la période de commutation Ts est très petite par rapport aux valeurs constantes de temps des éléments de stockage (Ts << (L/R) et Ts << (RC)), cette moyenne sera significative

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RLC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} [V_I] \\ v_c(t) = [0 \ 1] \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} + [0][V_I] \end{cases} \quad (3.4)$$

$$\bar{i}_L = \frac{\int_0^{T_s} i_L(t) dt}{T_s} = \frac{\int_0^{dT_s} i_L(t)_{Ton} + \int_{dT_s}^{T_s} i_L(t)_{Toff} dt}{T_s} = d \cdot i_L(t)_{Ton} + (1 - d) \cdot i_L(t)_{Toff} \quad (3.5)$$

$$\begin{bmatrix} I_L \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{i_L(t)} \\ \overline{v_C(t)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_C(t) \end{bmatrix} d + \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_C(t) \end{bmatrix} (1 - d) \quad (3.6)$$

En substituant les équations (3.2), (3.4) à (3.6), nous trouvons :

$$\begin{bmatrix} I_L \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{R_L C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L \\ V_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{d}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_I] = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{R_L C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L \\ V_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_I}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [d] \quad (3.7)$$

L'équation d'état (3.7) présente le grand modèle de signal du convertisseur abaisseur CC-CC, l'entrée de commande de ce modèle est d (rapport cyclique) au lieu de la tension d'entrée VI qui est considérée comme un paramètre du système, le choix du rapport cyclique comme variable de contrôle d'entrée est plus logique du point de vue de l'approche de contrôle, en fait VI est généralement constant.

Pour trouver l'équation de sortie, la même approche est utilisée, en raison de la non-existence de l'effet feed-forward (la matrice D est zéro), l'équation de sortie toujours la même que celles mentionnées sur les équations 3.4 et 3.2

L'équation (3.8) illustre le modèle de grand signal moyen du convertisseur DC-DC, il est clair que le modèle du système est linéaire, donc les méthodes linéaires de conception du contrôleur sont applicables

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} I_L \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{R_L C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L \\ V_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{d}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_I] = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{R_L C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L \\ V_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_I}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [d] \\ V_C = [0 \ 1] \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_C(t) \end{bmatrix} + [0][V_I] \end{cases} \quad (3.8)$$

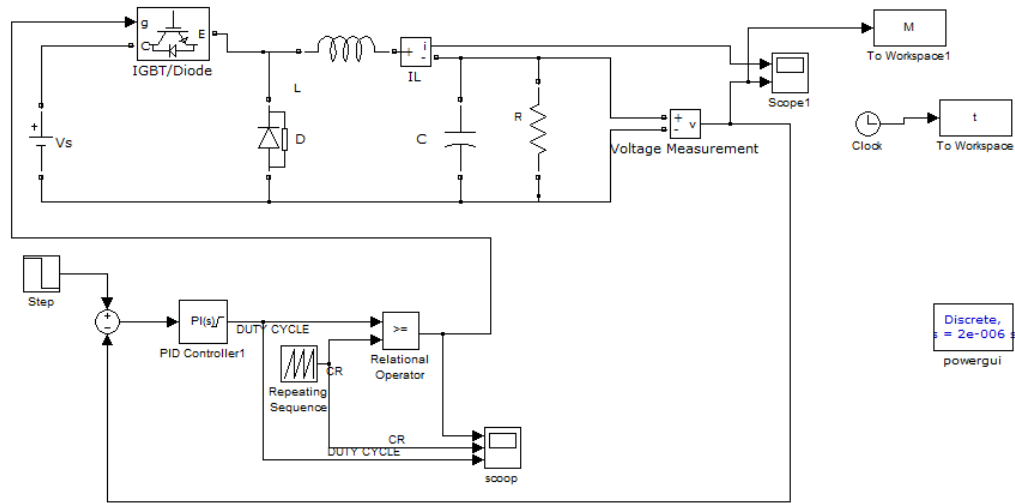


Figure3.2 simulation d'un convertisseur Buck par matlab simulink

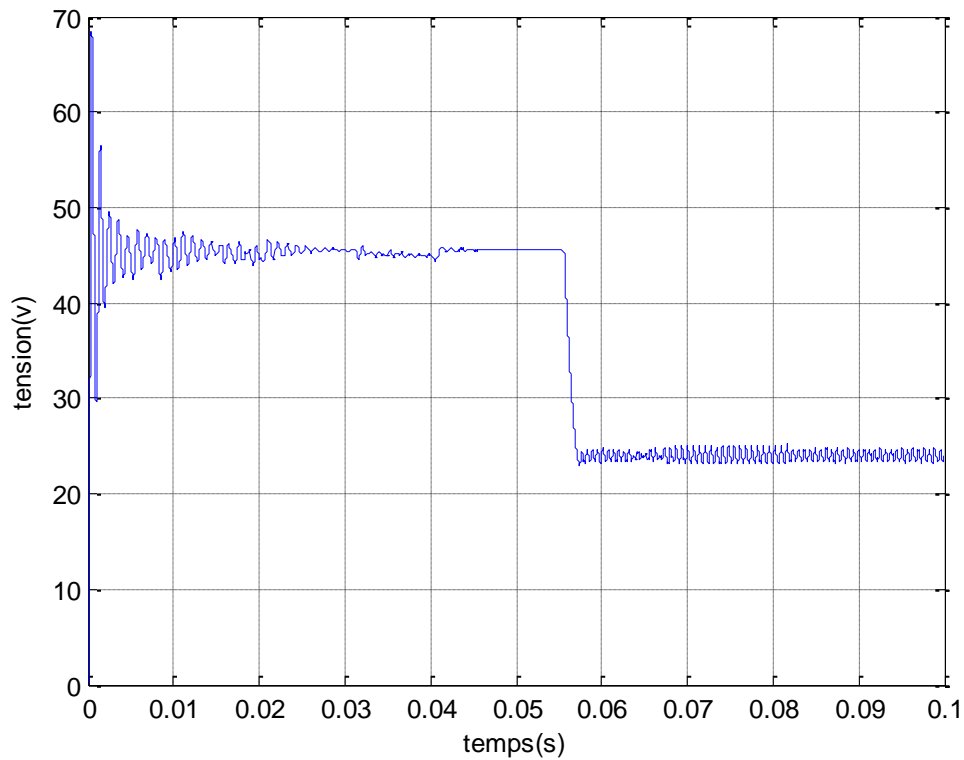


Figure3.3 représentation de tension au niveau de convertisseur Buck

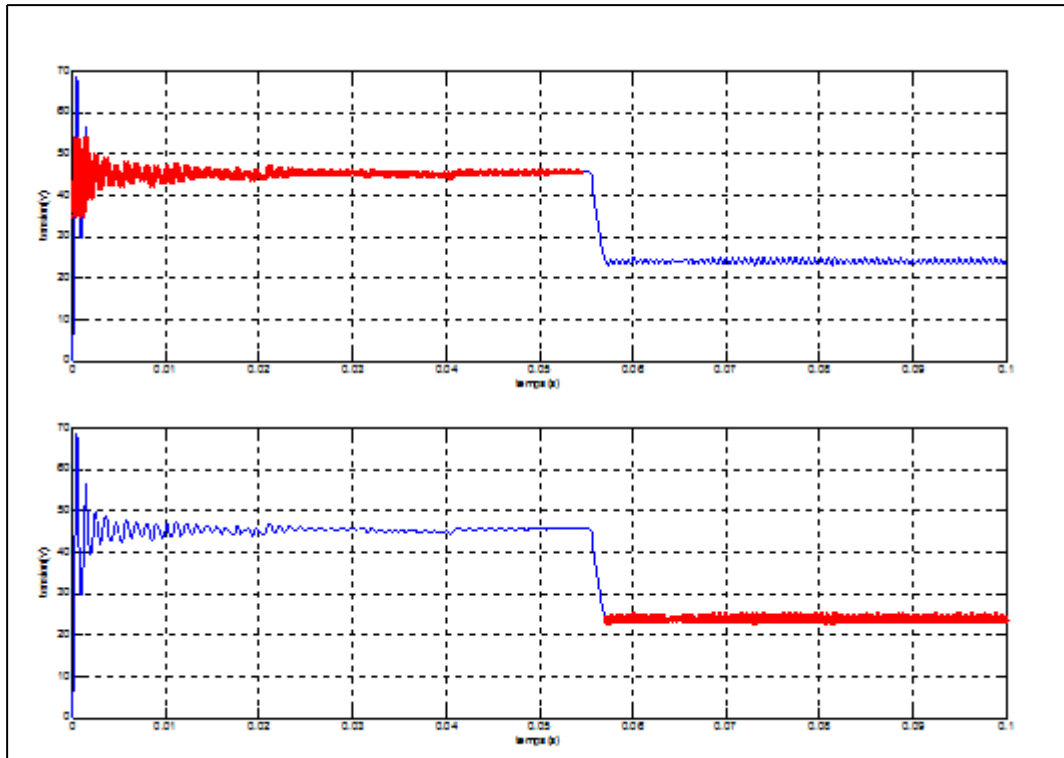


Figure 3.4 représentation de tension avec les périodes (buck)

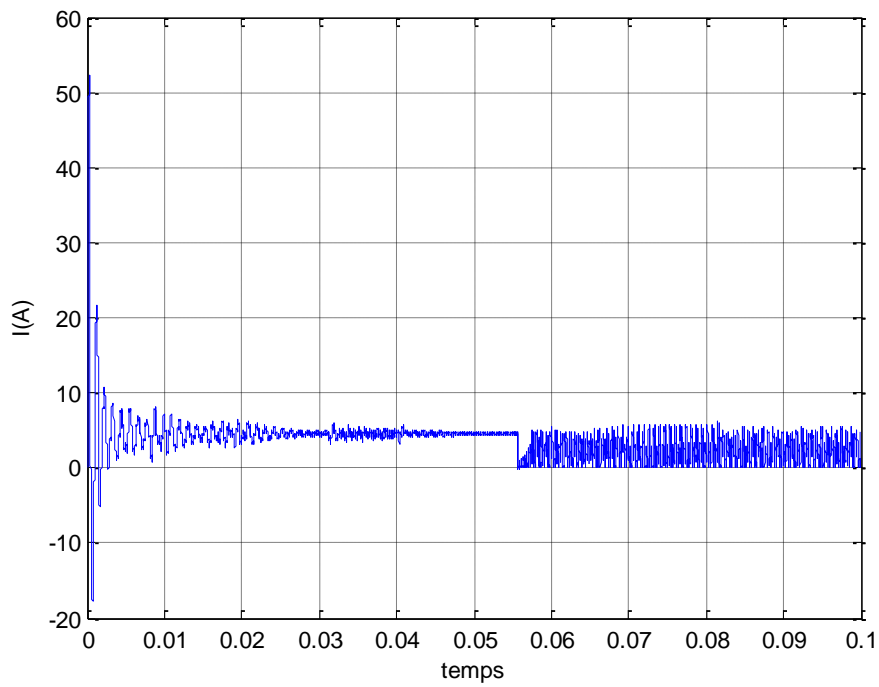


Figure3.5 représentation de courant au niveau de convertisseur Buck

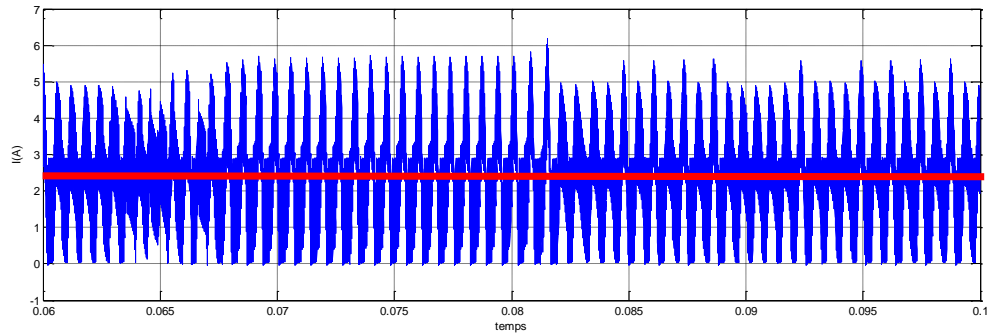


Figure 3.6 représentation de courant moyen (buck)

Dans ce graphe en remarque que la tension commence a diminuée entre la seconde 0.05 et 0.06 sachant que la tention de la source est 48V et on a déterminé la tension référentielle (step) par 24V (convertisseur abaisseur)

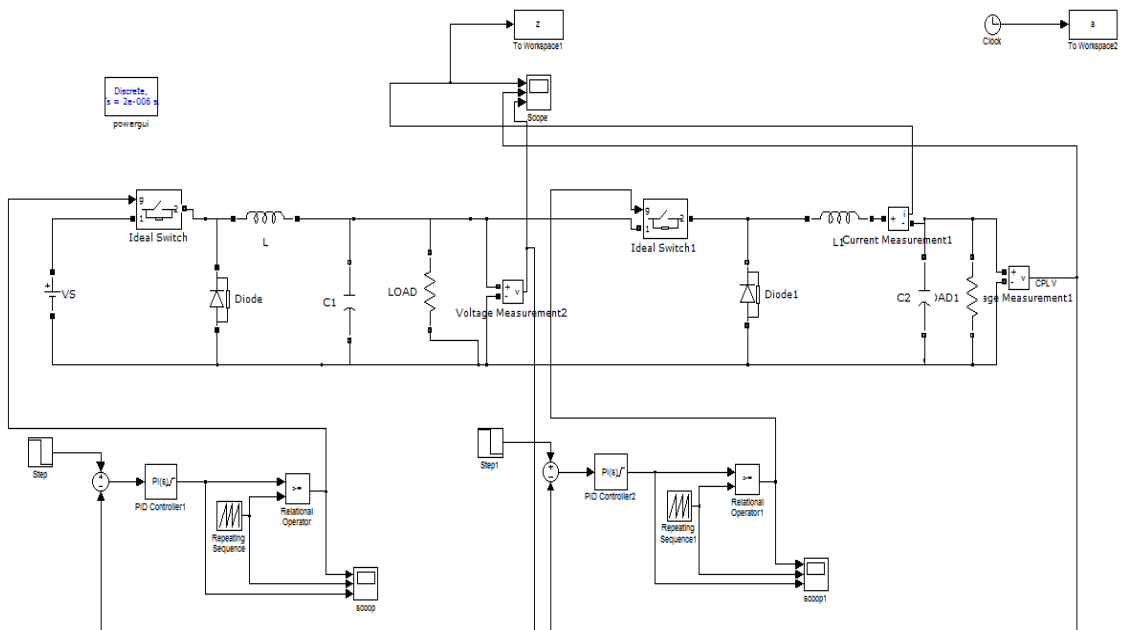


Figure3.7 simulation d'un convertisseur Buck avec cpl

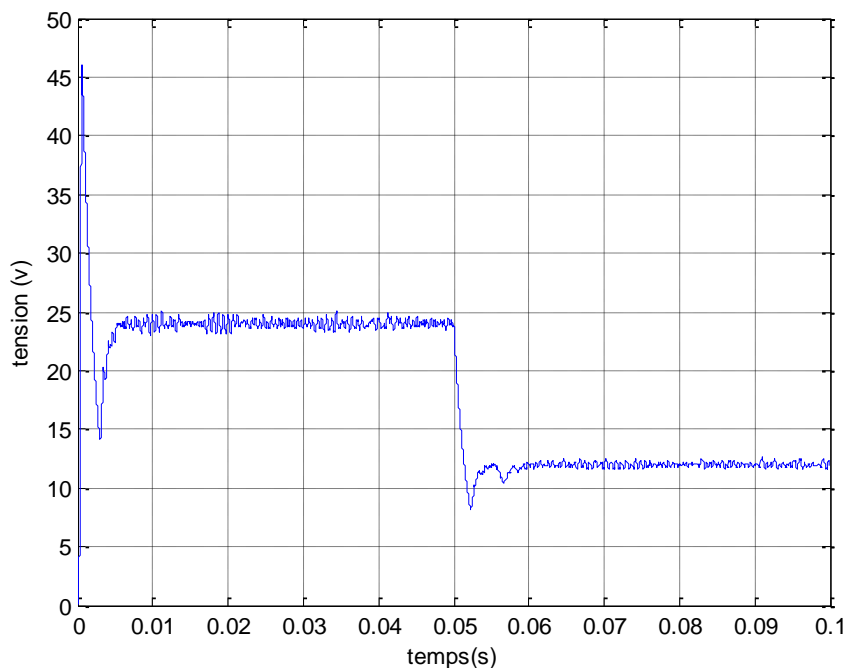


Figure3.8 représentation de tension au niveau de convertisseur Buck avec cpl

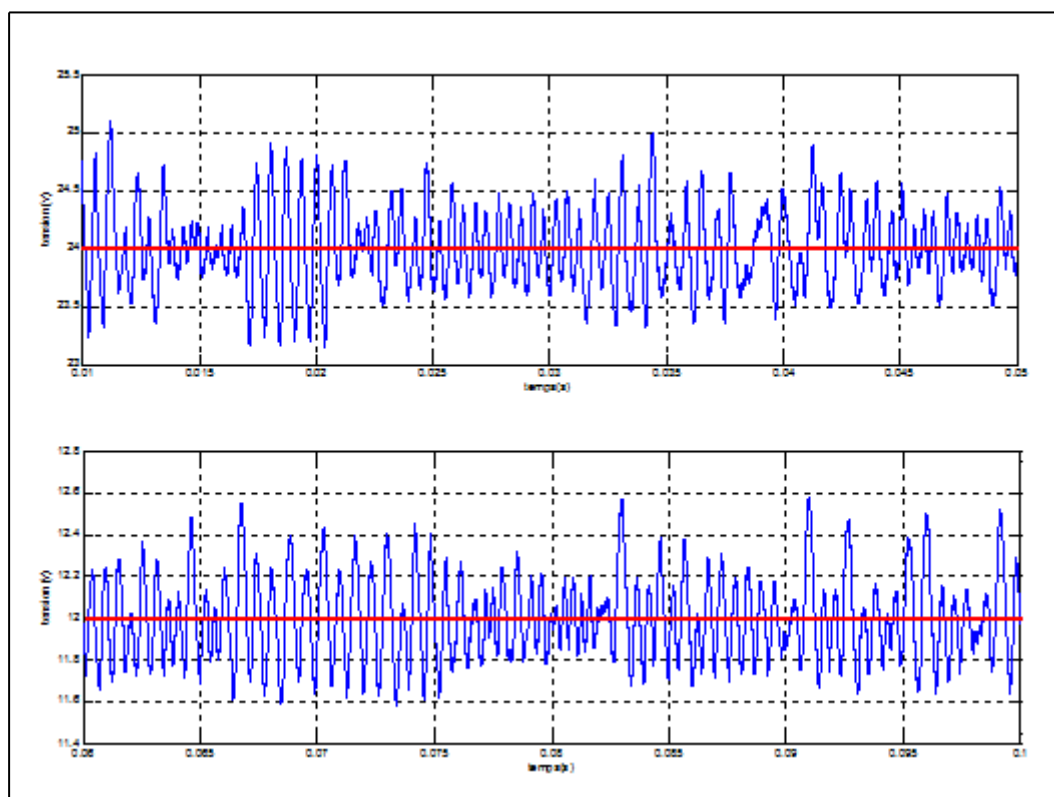


Figure 3.9 Representation de valeur moyen de tension au niveau de buck avec cpl

On a placé une source de 24V a l'entrée Espérons de le réduire a 50% a la sortie par un contrôle PI qui fonctionne avec la tension référentielle et Comme indiqué dans la courbe La chute de tension comence a 0.052 S et puis ca ce stabilise a la valeur 12V dans 0.06

3.3 Modèle d'espace d'état du CC-CC Convertisseur Boost

Les deux modèles instantanés du convertisseur Boost sont représentés sur la Figure 3.10

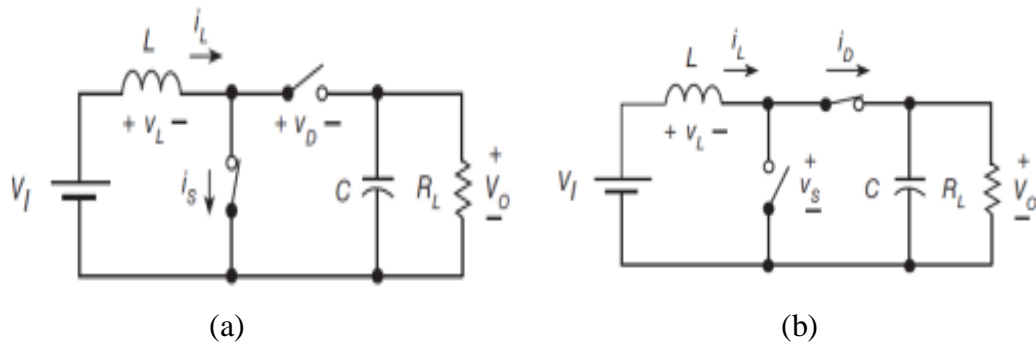


Figure.3.10 Circuits équivalents idéaux pour convertisseur boost

(a) Circuit équivalent lorsque l'interrupteur est allumé- la diode est éteinte.

(b) Circuit équivalent lorsque l'interrupteur est éteint- la diode est allumée

$$\begin{cases} i_L(t) = \frac{1}{L} \int V_L(t) dt \\ v_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt \end{cases} \leftrightarrow \begin{cases} \dot{i}_L(t) = \frac{1}{L} [V_L(t)] = \frac{1}{L} [v_I] \\ v_C(t) = \frac{1}{C} [-i_0] = -\frac{1}{C} \left[\frac{v_C(t)}{R_L} \right] \end{cases} \quad (3.9)$$

De la figure (3.10. b), nous avons :

$$\begin{cases} i_L(t) = \frac{1}{L} \int V_L(t) dt \\ v_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt \end{cases} \leftrightarrow \begin{cases} \dot{i}_L(t) = \frac{1}{L} [V_I - v_C(t)] \\ v_C(t) = \frac{1}{C} [i_L(t) - i_0(t)] = \frac{1}{C} \left[i_L(t) - \frac{v_C(t)}{R_L} \right] \end{cases} \quad (3.10)$$

Les modèles d'espace d'état du convertisseur de suralimentation pendant la période où le commutateur est allumé $\{T_{on} = (D.T_S)\}$ et le commutateur est éteinte. $\{T_{off} = (1 - D).T_S\}$ Représenté par les équations (3.11) et (3.12)

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{I}_L \\ \dot{V}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{R_L C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_I] \\ V_C = [0 \ 1] \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} + [0][V_I] \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{I}_L \\ \dot{V}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{R_L C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_I] \\ V_C = [0 \ 1] \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} + [0][V_I] \end{cases} \quad (3.12)$$

Le modèle de grand signal moyenné du convertisseur Boost peut être obtenu de manière identique à celui du convertisseur abaisseur DC-DC ((3.11).(d) +(3.12)(1-d)) comme représenté dans(3.13)

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{I}_L \\ \dot{V}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{(1-d)}{L} \\ \frac{(1-d)}{C} & -\frac{1}{R_L C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L \\ V_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_I] \\ V_C = [0 \ 1] \begin{bmatrix} i_L(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} + [0][V_I] \end{cases} \quad (3.13)$$

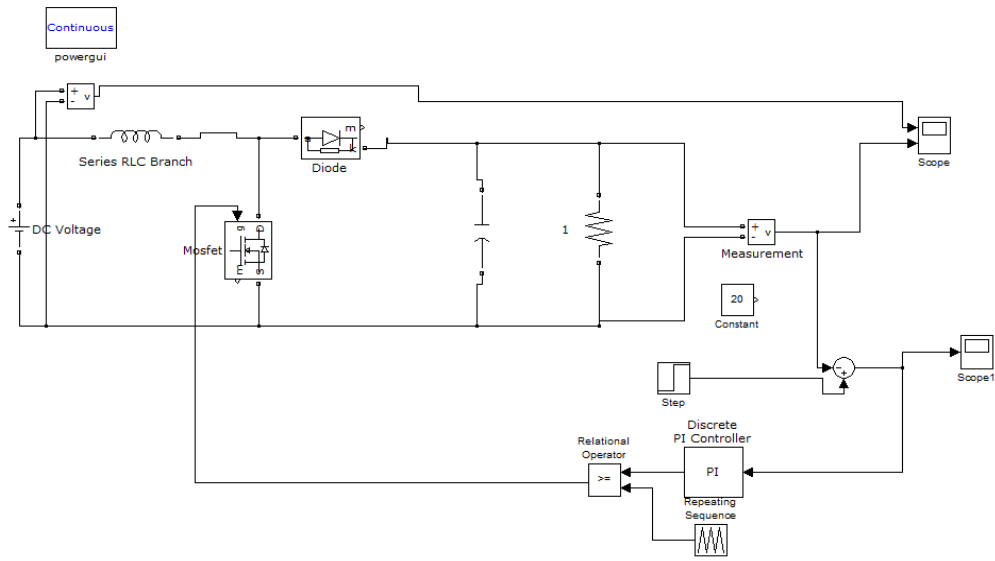


Figure3.11 simulation d'un convertisseur boost par matlab simulink

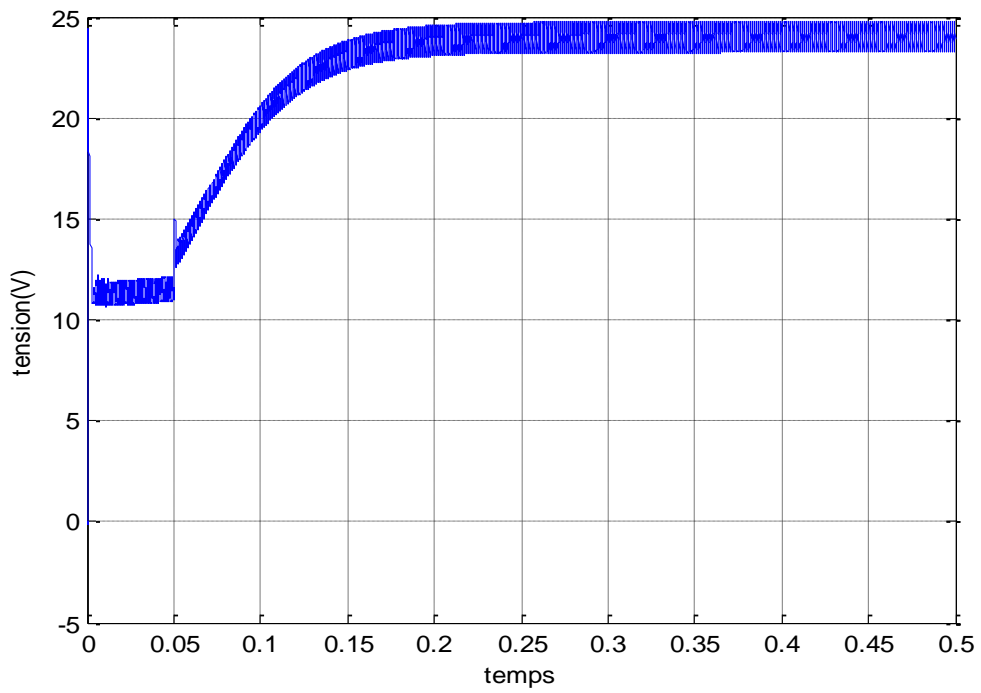


Figure3.12 représentation de tension au niveau de convertisseur boost

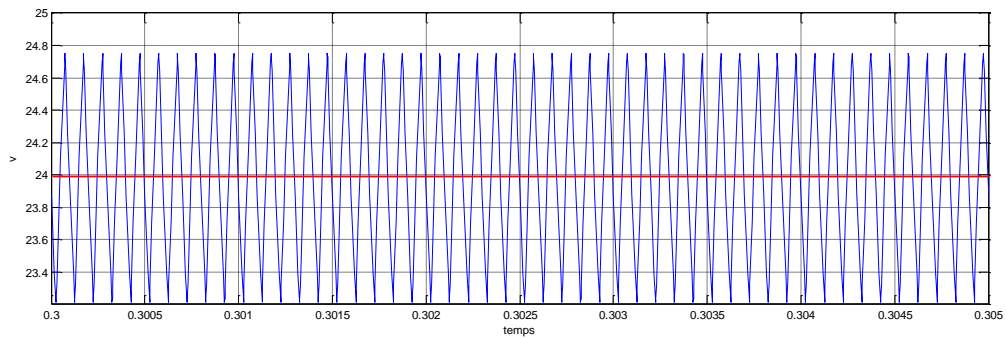


Figure 3.13 représentation de valeur moyen de tension au niveau de convertisseur boost

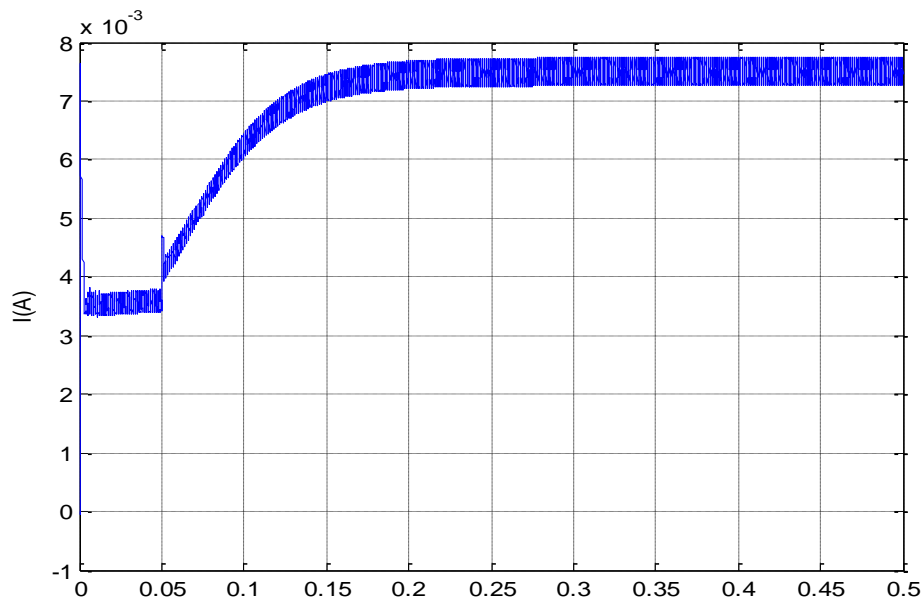


Figure3.14 représentation de courant au niveau de convertisseur boost

Dans le but de doubler la valeur de tension on a utilisé le convertisseur boost avec une commande PI qui commande l'angle d'amorçage pour arrivé a la valeur de tension référentielle déterminé et dans notre courbe on remarque la début d'augmentation de tension a l'instant 0.05s au 0.25s et après cette étape c'est la stabilité dans la résultat attendu

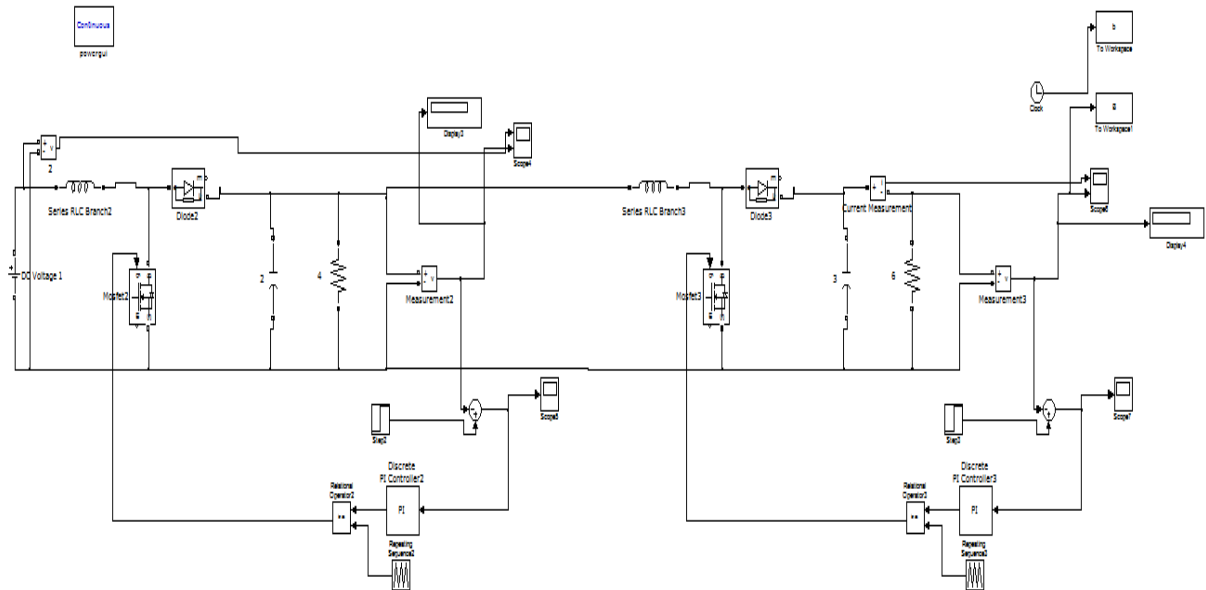


Figure3.15 simulation d'un convertisseur boost avec un cpl par matlab simulink

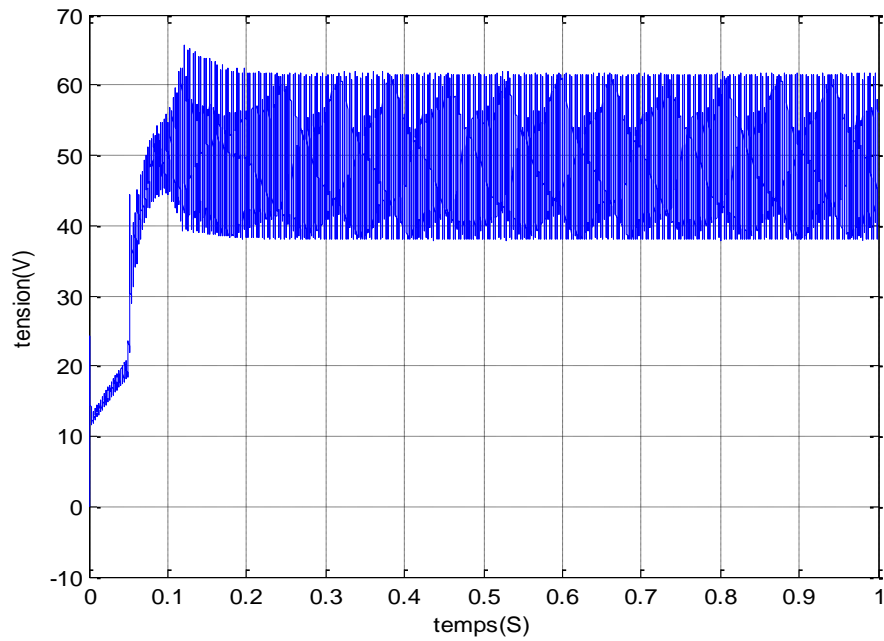


Figure3.16 représentation de tension au niveau de convertisseur boost avec cpl

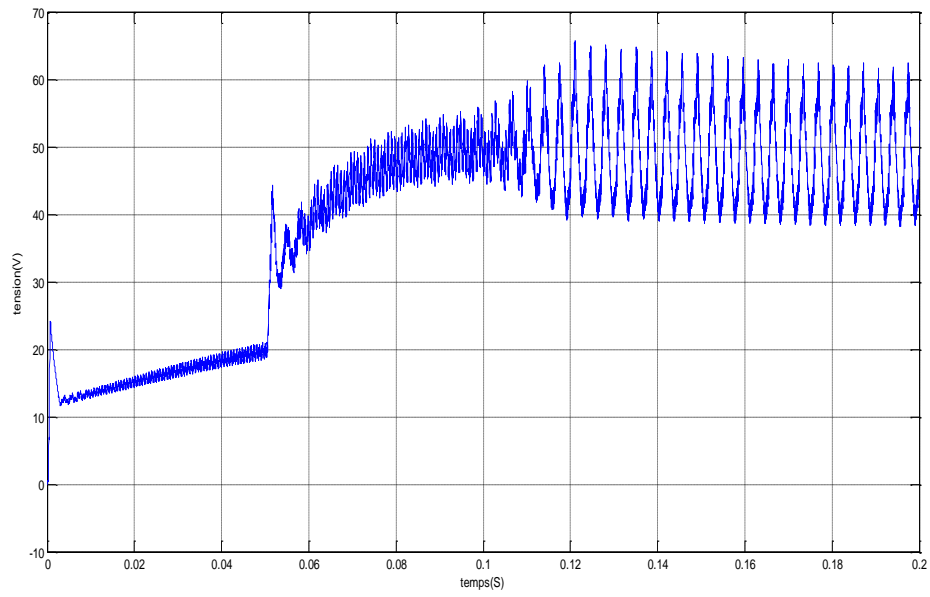


Figure3.17 représentation de tension au niveau de convertisseur boost avec cpl (0 a 0.2)

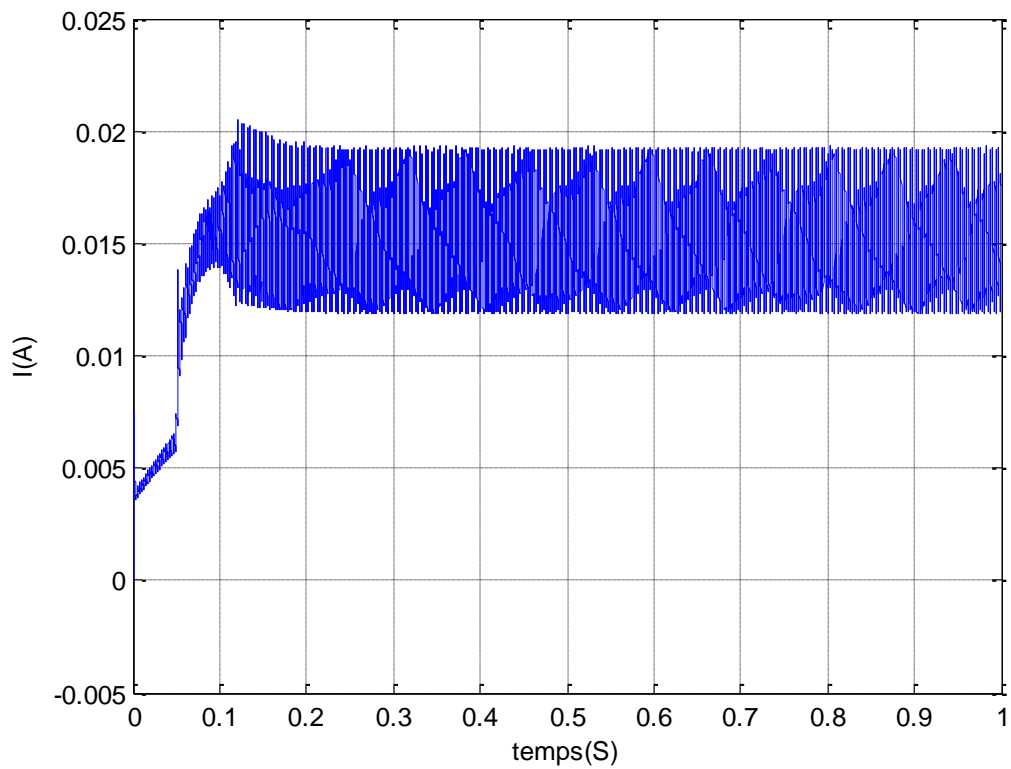


Figure3.18 représentation de courant au niveau de convertisseur boost avec cpl

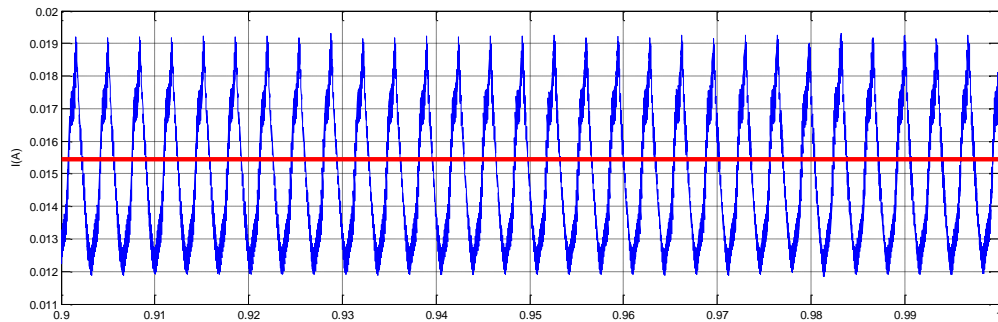


Figure3.18 représentation de courant moyen au niveau de convertisseur boost avec cpl

Cette fois en a fait presque le même travail précédent avec un autre convertisseur boost considéré comme un cpl et aussi une tension référentielle plus élevée et en remarque la présence des perturbation

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait la modélisation des convertisseurs DC DC Buck et boost simple et ensuite en fait la simulation de fonctionnement de chaque convertisseur par le matlab pour étudier la nature de performance Et puis, par souci de comparaison, nous avons ajouté les cpl dans notre simulation dans ce cas on a ajouté des autre convertisseur Buck et boost comme un cpl Voir l'étendue de son impact sur la performance et le travail des convertisseurs.

Conclusion

Général

Conclusion général

Conclusion Général

Dans le premier chapitre, nous avons examiné les types de micro réseaux et leurs applications possibles dans les zones reculées, le type de réseau connecté pour fournir et connecter l'énergie nécessaire à la population, et d'identifier les avantages, les inconvénients et les méthodes d'installation qui nécessitent un système de contrôle serré pour atteindre l'objectif

En suite Dans le deuxième chapitre Nous avons étudié les convertisseur DC-DC, le principe de fonctionnement de chaque type, les éléments de base qui entrent dans l'installation de chaque convertisseur et le mode de fonctionnement de chacun d'eux selon les besoins,

Et dans le dernier chapitre , nous avons fait une modélisation simple du convertisseur DC DC buck et boost , puis nous avons suivi la simulation du fonctionnement de chaque convertisseur par Matlab pour étudier la nature des performances, puis, à titre de comparaison, nous avons ajouté des CPLs dans notre simulation, dans ce cas, nous avons ajouté un autre convertisseur buck et boost en tant que CPLs pour voir comment cela affecte les performances et le travail du convertisseur.

Et a la fin on a exploré l'influence des CPLs a les performances des convertisseurs Et on a conclu que les CPLs a un effet direct sur la stabilité des réseaux .

Bibliographies

Bibliographies

Bibliographies

- [1] R. Singh and K. Shenai, "DC microgrids and the virtues of local electricity," IEEE Spectrum, 2014.
- [2] P. Brinckerhoff, "Electricity Transmission Costing Study: An independent report endorsed by the Institute of Engineering & Technology," ed: London, 2012.
- [3] "World energy outlook 2015," International Energy Agency, vol. 1, 2015.
- [4] <https://ukpowernetworksservices.co.uk/insights-and-news/introduction-to-microgrids/>
- [5] Peter Asmus "The Electricity Journal" December 2010, Vol. 23.
- [6] Souleyman Tidjani FADOUL "POWER MANAGEMENT AND CONTROL STRATEGIES OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES FOR MICRO-GRID APPLICATION ,2017.
- [7] E. Hossain, E. Kabalci, R. Bayindir, and R. Perez, "Microgrid testbeds around the world: State of art," Energy Convers. Manage., vol. 86, pp. 132153, Oct. 2014.
- [8] R. Bayindir, E. Hossain, E. Kabalci, and R. Perez, "A comprehensive study on microgrid technology," Int. J. Renew. Energy Res., vol. 4, no. 4, pp. 10941107, 2014.
- [9] V. A. Evangelopoulos, P. S. Georgilakis, and N. D. Hatziargyriou, "Optimal operation of smart distribution networks: A review of models, methods and future research," Electr. Power Syst. Res., vol. 140, pp. 95106, Nov. 2016.
- [10] F. H. Malik and M. Lehtonen, "A review: Agents in smart grids," Electr. Power Syst. Res., vol. 131, pp. 7179, Feb. 2016.
- [11] R. Bayindir, E. Hossain, E. Kabalci, and K. M. M. Billah, "Investigation on north American microgrid facility," Int. J. Renew. Energy Res., vol. 5, no. 2, pp. 558574, 2015.
- [12] Eklas Hossain , P. Sanjeevikumar , Adel Nasiri "A Comprehensive Review on Constant Power Loads Compensation Techniques" June 2018.
- [13] FERRAH FATEH, " Etude et simulation d'un étage mppt pour un système à énergie renouvelable ", Mémoire de Master, Université Larbi ben M'Hidi– Oum El Bouaghi. 2013.
- [14] SAHAR GHANDOUR, " Conception de convertisseurs DC/DC à base de mems ", Thèse de Doctorat, Université de Grenoble. 2011.
- [15] BOUZGHAYA IMED, " Etude d'un hacheur à stockage capacitif " Mémoire de Master, Université Larbi ben M'Hidi– Oum El Bouaghi. 2014.

Bibliographies

- [16] AIT-CHEIKH, SALAH MOHAMED, "Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques," Ecole Nationale Polytechnique Mémoire de Magister, 2007.
- [17] A. Emadi, A. Khaligh, C. H. Rivetta and G. A. Williamson, "Constant power loads and negative impedance instability in automotive systems: definition, modeling, stability, and control of power electronic converters and motor drives," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 55, pp. 1112–1125, 2006.
- [18] C. Rivetta, A. Emadi, G. A. Williamson, R. Jayabalan and B. Fahimi, "Analysis and control of a buck DC-DC converter operating with constant power load in sea and undersea vehicles," IEEE Transactions on Industry Applications, pp. 1146–1153 vol. 2, 2004.
- [19] J. G. Ciezki and R. W. Ashton, "The design of stabilizing controls for shipboard DCto-DC buck choppers using feedback linearization techniques," IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 335–341 vol. 1, 1998.
- [20] V. Grigore, J. Hatonen, J. Kyyra and T. Suntio, "Dynamics of a buck converter with a constant power load," IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 72–78 vol. 1, 1998.
- [21] S. D. Sudhoff, S. F. Glover, P. T. Lamm, D. H. Schmucker and D. E. Delisle. "Admittance space stability analysis of power electronic systems", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, pp. 965-973, 2000.