**UNIVERSITE D’ANTANANARIVO**

**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D’ANTANANARIVO**

**MENTION ELECTRONIQUE**

**MEMOIRE EN VUE DE L’OBTENTION DU DIPLOME DE LICENCE**

**Domaine :** Sciences de l’Ingénieur

**Mention :** Electronique

**Parcours :** Systèmes Electronique et Informatique

**TITRE**

**Présenté par :**

(Noms et prénoms de candidats)

RA…..

**Soutenu le :**

**N° d’ordre :** ( à remplir après la soutenance) **Année universitaire :** 2021-2022

**UNIVERSITE D’ANTANANARIVO**

**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D’ANTANANARIVO**

**MENTION ELECTRONIQUE**

**MEMOIRE EN VUE DE L’OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER**

**Domaine :** Sciences de l’Ingénieur

**Parcours :** Systèmes Electronique et Informatique

TITRE : xxxxxx

**Présenté par :**

(Noms et prénoms de candidats)

RA…..

**Devant les membres du Jury composés de :**

* Nom et prénoms - Président
* Nom et prénoms -Examinateur
* Nom et prénoms - Encadreur

**Soutenu le :**

**N° d’ordre :** ( à remplir après la soutenance) **Année universitaire :** 2021-2022

# Remerciements

# RESUME

# TABLE DES MATIERES

[Remerciements i](#_Toc180315880)

[RESUME ii](#_Toc180315881)

[TABLE DES MATIERES iii](#_Toc180315882)

[LISTE DES FIGURES v](#_Toc180315883)

[LISTE DES TABLEAUX vi](#_Toc180315884)

[LISTE DES ABREVIATIONS vii](#_Toc180315885)

[INTRODUCTION GENERALE 1](#_Toc180315886)

[Chapitre 1. Analyse des fonctionnements et modélisation des convertisseurs DC – DC et DC - AC 2](#_Toc180315887)

[1.1 Introduction 2](#_Toc180315888)

[1.2 Convertisseur DC-DC Buck 2](#_Toc180315889)

[1.2.1 Principe de fonctionnement du Buck 2](#_Toc180315890)

[1.2.2 Modélisation du convertisseur Buck en DCM 3](#_Toc180315891)

[1.2.3 Modélisation du convertisseur Buck en CCM 3](#_Toc180315892)

[1.2.4 Comparaison entre le mode DCM et le mode CCM 4](#_Toc180315893)

[1.3 Étude des topologies Push-Pull et Full-Bridge pour un convertisseur DC – AC 5](#_Toc180315894)

[1.3.1 Topologie Push-Pull 5](#_Toc180315895)

[1.3.2 Topologie Full-Bridge 6](#_Toc180315896)

[1.4 Impact des conditions de fonctionnement sur les performances 7](#_Toc180315897)

[1.4.1 Effet de l'irradiation et de la température sur le rendement des convertisseurs 7](#_Toc180315898)

[1.4.2 Analyse des pertes et rendement global 7](#_Toc180315899)

[1.5 Conclusion 7](#_Toc180315900)

[Chapitre 2. Algorithmes de Contrôle Basés sur le Reinforcement Learning 8](#_Toc180315901)

[2.1 Introduction au Reinforcement Learning (RL) 8](#_Toc180315902)

[2.1.1 Concepts fondamentaux du RL 8](#_Toc180315903)

[2.1.2 Types d'algorithmes de RL : Q-learning, Deep Q-Networks (DQN) 8](#_Toc180315904)

[2.2 Application du Reinforcement Learning pour le Contrôle des Convertisseurs 8](#_Toc180315905)

[2.2.1 Architecture de l'algorithme de contrôle RL pour le MPPT 8](#_Toc180315906)

[2.2.2 Algorithme RL pour le contrôle du convertisseur DC-AC 8](#_Toc180315907)

[2.3 Simulation des Algorithmes de RL sous MATLAB/Simulink 8](#_Toc180315908)

[2.3.1 Intégration des algorithmes de RL dans le modèle de simulation 8](#_Toc180315909)

[2.3.2 Analyse des performances et comparaison avec les algorithmes classiques 8](#_Toc180315910)

[2.3.3 Résultats de simulation pour le MPPT et la conversion DC-AC 8](#_Toc180315911)

[CONCLUSION GENERALE 10](#_Toc180315912)

[ANNEXE 11](#_Toc180315913)

[REFERENCES 12](#_Toc180315914)

# LISTE DES FIGURES

**Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.**

# LISTE DES TABLEAUX

**Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.**

# LISTE DES ABREVIATIONS

* **AC**: Alternating Current
* **CCM** : Continuous Conduction Mode
* **DC**: Direct Current
* **DCM**: Discontinuous Conduction Mode
* **IGBT**: Insulated Gate Bipolar Transistors
* **MOSFET**: Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors
* **PID**: Proportional-Integral-Derivate
* **PWM**: Pulse Width Modulation

# INTRODUCTION GENERALE

# Analyse des fonctionnements et modélisation des convertisseurs DC – DC et DC - AC

## Introduction

Les convertisseurs DC-DC et DC-AC sont des dispositifs essentiels dans de nombreux systèmes électroniques et électriques. Ils permettent de convertir une tension ou un courant d'une forme à une autre pour répondre aux exigences des différents composants du système. Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur l'analyse des convertisseurs DC-DC, en particulier le convertisseur Buck, ainsi que sur leur modélisation dans différents modes de fonctionnement : le mode à conduction discontinue (DCM) et le mode à conduction continue (CCM). Nous aborderons également les méthodes de modélisation en boucle ouverte et en boucle fermée.

## Convertisseur DC-DC Buck

Le convertisseur Buck est un type de convertisseur abaisseur qui réduit la tension d'entrée à une tension de sortie inférieure tout en conservant la continuité du courant à travers une inductance. Il est largement utilisé dans les applications où une tension continue plus faible est nécessaire, comme dans les alimentations de dispositifs électroniques.

### Principe de fonctionnement du Buck

Le fonctionnement du convertisseur Buck repose sur le contrôle de l'interrupteur (généralement un transistor) pour ajuster la tension de sortie. Le cycle de fonctionnement est divisé en deux modes principaux en fonction du courant dans l'inductance : le mode à conduction continue (CCM) et le mode à conduction discontinue (DCM).

#### En mode DCM

Le mode à conduction discontinue (DCM) survient lorsque le courant dans l'inductance devient nul pendant une partie du cycle de commutation. Cela se produit à faible charge ou à faible rapport cyclique, lorsque l'énergie stockée dans l'inductance n'est pas suffisante pour maintenir le courant tout au long du cycle. Dans ce mode, l'analyse est légèrement plus complexe car il faut prendre en compte l'interruption du courant.

#### En mode CCM

En mode à conduction continue (CCM), le courant dans l'inductance ne descend jamais à zéro pendant le cycle de commutation. Cela se produit généralement à des niveaux de charge élevés et permet une modélisation plus simple car l'énergie est continuellement transférée à la charge.

### Modélisation du convertisseur Buck en DCM

La modélisation du convertisseur Buck en mode DCM nécessite une analyse des différentes phases du cycle de commutation, en particulier la période pendant laquelle l'inductance ne conduit plus de courant. La modélisation en DCM est plus complexe que celle en CCM car elle doit tenir compte de cette discontinuité du courant.

#### Analyse en boucle ouverte

L'analyse en boucle ouverte consiste à étudier le comportement du convertisseur sans utiliser de rétroaction. Cela permet de comprendre comment la tension de sortie réagit aux variations du rapport cyclique ou aux changements de la charge.

#### Analyse en boucle fermée

L'analyse en boucle fermée implique l'ajout d'un système de contrôle (généralement par rétroaction) pour maintenir la tension de sortie constante, même en cas de perturbations externes, comme une variation de la charge ou de la tension d'entrée. La modélisation en boucle fermée permet de concevoir des régulateurs pour stabiliser le système.

### Modélisation du convertisseur Buck en CCM

La modélisation du convertisseur Buck en mode à conduction continue (CCM) est plus simple et largement utilisée dans les applications où la charge est suffisamment élevée pour que le courant dans l'inductance ne devienne jamais nul pendant le cycle de commutation. Ce mode permet un transfert d'énergie continu de la source à la charge et est souvent préférable pour les systèmes nécessitant une faible ondulation et une haute efficacité.

#### Analyse en boucle ouverte

En boucle ouverte, le comportement du convertisseur est déterminé par ses paramètres intrinsèques, tels que le rapport cyclique *D*, la tension d'entrée Vin, et les caractéristiques des composants (inductance L, capacité C et résistance de charge *R*). L'équation fondamentale qui décrit la tension de sortie dans le cas idéal est :

Dans ce cas, le rapport cyclique *D* (durée pendant laquelle l'interrupteur est fermé) est directement proportionnel à la tension de sortie, et la continuité du courant permet une analyse simple. L'ondulation du courant dans l'inductance et l'ondulation de la tension de sortie sont deux paramètres clés à évaluer en boucle ouverte.

#### Analyse en boucle fermée

L'analyse en boucle fermée intègre un système de contrôle pour maintenir une tension de sortie constante, malgré les variations de la charge ou de la tension d'entrée. Un régulateur, tel qu'un contrôleur PI (Proportionnel-Intégral) ou PID (Proportionnel-Intégral-Dérivé), ajuste dynamiquement le rapport cyclique *D* afin de minimiser l'erreur entre la tension de sortie mesurée et la tension de sortie souhaitée.

La modélisation du convertisseur en boucle fermée peut se faire à l'aide de la fonction de transfert du système, qui relie les variations de la tension de sortie aux variations du rapport cyclique. Cela permet d'analyser la stabilité du système et de concevoir un contrôleur optimal.

Les équations de fonctionnement du convertisseur en boucle fermée peuvent être exprimées en utilisant des méthodes comme la modélisation par petits signaux, où les variations autour d'un point d'équilibre sont linéarisées pour simplifier l'analyse.

### Comparaison entre le mode DCM et le mode CCM

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Caractéristique** | **Mode CCM** | **Mode DCM** |
| Courant dans l’inductance | Continu, ne tombe jamais à zéro | Discontinu, tombe à zéro |
| Charge | Adapté aux charges élevées | Adapté aux faibles charges |
| Ondulation du courant | Faible | Plus élevé |
| Rendement | Généralement plus élevé | Moins efficace à cause des pertes de commutation |
| Complexité de la modélisation | Plus simple à modéliser | Modélisation plus complexe à cause de la discontinuité |
| Réponse dynamique | Plus stable pour des charges importantes | Moins stable, nécessite des techniques de commande adaptées |
| Dimensions des composants | Composants plus grands (inductances plus grosses) | Composants plus petits, mais plus d’ondulation |
| Contrôle | Plus simple à contrôler en boucle fermée | Contrôle plus complexe, besoin de techniques avancées |

Le choix entre le mode DCM et le mode CCM dépend des besoins en termes de rendement, de taille des composants, de stabilité, et de complexité du système de commande. Le mode CCM est généralement préféré pour les systèmes nécessitant une alimentation continue et stable avec des charges plus élevées, tandis que le mode DCM est souvent utilisé dans des applications à faible puissance où une certaine ondulation et complexité sont acceptables.

## Étude des topologies Push-Pull et Full-Bridge pour un convertisseur DC – AC

Les convertisseurs DC-AC, également appelés onduleurs, permettent de convertir une tension continue (DC) en une tension alternative (AC). Les deux topologies couramment utilisées pour cette conversion sont la topologie Push-Pull et la topologie Full-Bridge. Ces deux configurations jouent un rôle crucial dans l'efficacité, la complexité et la performance des onduleurs dans diverses applications.

### Topologie Push-Pull

#### Principe de fonctionnement

La topologie Push-Pull est une architecture simple et efficace, souvent utilisée dans les convertisseurs DC-AC de faible à moyenne puissance. Dans ce système, deux transistors ou interrupteurs fonctionnent de manière alternée pour « tirer » et « pousser » le courant à travers un transformateur à partir d'une source DC.

Le principe de fonctionnement repose sur la commutation de deux interrupteurs (souvent des MOSFETs ou des IGBTs), qui se ferment alternativement pour appliquer la tension d'entrée aux extrémités opposées du primaire du transformateur. Cela induit une tension alternative dans l'enroulement secondaire du transformateur, qui est ensuite redressée pour obtenir une sortie AC.

Les avantages de la topologie Push-Pull incluent :

* Une structure simple avec peu de composants actifs.
* Une bonne isolation galvanique grâce au transformateur.
* Adaptée aux applications de faible à moyenne puissance.

Cependant, les inconvénients incluent :

* Les contraintes élevées sur les transistors à cause des surtensions liées au transformateur.
* Des pertes plus élevées à cause de la dissipation de puissance dans les composants commutateurs.

#### Modélisation et simulation sous MATLAB

### Topologie Full-Bridge

#### Principe de fonctionnement

La topologie Full-Bridge est une architecture plus complexe que la Push-Pull, mais elle offre une meilleure performance pour les applications de moyenne à haute puissance. Elle utilise quatre interrupteurs actifs (MOSFETs ou IGBTs) pour contrôler la tension aux bornes de la charge.

Le principe de fonctionnement repose sur la commutation de deux paires de transistors en diagonale, permettant de créer une tension alternative à la sortie en inversant la polarité de la tension d'entrée. Cette configuration permet un meilleur rendement, moins de contraintes sur les interrupteurs, et une meilleure utilisation de la tension d'entrée.

Les avantages de la topologie Full-Bridge sont :

* Plus efficace pour des puissances élevées.
* Moins de contraintes sur les interrupteurs par rapport à Push-Pull.
* Une forme de tension de sortie plus proche d'une sinusoïde avec un filtrage adapté.

Cependant, elle présente quelques inconvénients :

* Un plus grand nombre de composants actifs, augmentant la complexité.
* Des coûts de fabrication plus élevés.

#### Modélisation et simulation sous MATLAB

#### Comparaison entre Push-Pull et Full-Bridge

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Caractéristique** | **Push-pull** | **Full-bridge** |
| Complexité | Faible | Plus élevée |
| Puissance | Faible à moyenne | Moyenne à élevée |
| Nombre d’interrupteurs | 2 | 4 |
| Rendement | Moins efficace | Plus efficace pour des puissances élevées |
| Ondulation | Plus élevée | Moins élevée, meilleure qualité de la sortie AC |
| Coût | Moins coûteux | Plus coûteux |
| Contraintes sur les composants | Fortes (surtensions sur les interrupteurs) | Moindre (meilleure répartition des tensions) |

## Impact des conditions de fonctionnement sur les performances

### Effet de l'irradiation et de la température sur le rendement des convertisseurs

### Analyse des pertes et rendement global

## Conclusion

# Algorithmes de contrôle basés sur le Reinforcement Learning

## Introduction au Reinforcement Learning (RL)

### Concepts fondamentaux du RL

#### Agent, Environnement, États, Actions, Récompenses

#### Exploration vs Exploitation

### Types d'algorithmes de RL: Q-learning, Deep Q-Networks (DQN)

## Application du Reinforcement Learning pour le Contrôle des Convertisseurs

### Architecture de l'algorithme de contrôle RL pour le MPPT

#### Environnement et paramètres d'apprentissage

#### Exploration des actions (tensions et courants)

#### Critères de récompense : maximisation de la puissance extraite

### Algorithme RL pour le contrôle du convertisseur DC-AC

#### Adaptation des signaux de commande pour le Push-Pull et Full-Bridge

#### Optimisation du rendement en fonction des conditions de charge

## Simulation des Algorithmes de RL sous MATLAB/Simulink

### Intégration des algorithmes de RL dans le modèle de simulation

### Analyse des performances et comparaison avec les algorithmes classiques

### Résultats de simulation pour le MPPT et la conversion DC-AC

# CONCLUSION GENERALE

# ANNEXE

# REFERENCES

**Aucune source spécifiée dans le document actif.**