

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة محمد بوضياف - المسيلة

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

كلية التكنولوجيا

FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الإلكترونيك

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : Génie électrique

OPTION : Technologie des systèmes électro- énergétiques des sources
renouvelables

THEME

***Modélisation et commande d'un système photovoltaïque
connecté au réseau électrique***

Proposé et dirigé par : Bellouti .A

Réalisé par : Korichi Taki Eddine

N° D'ordre: S3ER11

PROMOTION: JUIN 2016

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma chère maman

Mon cher père

Mes chers frères

A ma grande famille

A tous mes amis qui me

Sont chers

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

Je remercie mon encadreur monsieur [A.BALLOUTI](#) maître-assistant à l'université de m'sila, pour m'avoir suivi durant mon travail dans le cadre de ce mémoire, pour ses conseils précieux et la compétence de son encadrement.

Mes remerciements les plus élogieux à toute ma grande famille et surtout surtout MA MERE. MON PERE.

Je remercie également à TOUS MES AMIS avec qui j'ai divisé tant de moments de la vie, contente et difficile, et qui m'a aidé à croiser certains essais au cours de cette période.

Sommaire

Introduction générale.....1

Chapitre 1 : Pollution harmoniques dans les réseaux électriques.

1.1. Introduction.....3

1.2. Définition d'un harmonique.....3

1.3. problématique des harmoniques4

1.3.1. Notion des Charges4

1.3.1. 1. Les charges linéaires.....4

1.3.1. 2. Les charges non linéaires.....5

1.4 Origine des harmoniques5

1.4.1 Emission en tension :6

1.4.2 Emission en courant :6

1. 5.Caractérisation des harmoniques6

1.5.1. Taux harmonique de rang n.....6

1.5.2. Taux global de distorsion harmonique7

1. 5.3. Facteur de Puissance7

1. 6 Problèmes créés par les harmoniques7

1.7 solutions aux perturbations harmoniques8

1.7.1.Solutions traditionnelles de dépollution.....8

1.7.2 solutions modernes à base d'électronique de puissance10

1.7.2.1 Filtres actifs11

1.7.2.1.1 Filtre actif parallèle-FAP11

1.7.2.1.2 Filtre actif série-FAS12

1.7.2.1.3 Filtres actifs hybrides13

1.8 Etat de l'art des filtres actifs parallèles14

1.9 Conclusion15

Chapitre 2 : Production d'énergie photovoltaïque

| | |
|--|----|
| 2.1 Introduction..... | 16 |
| 2.2 Effet photovoltaïque | 16 |
| 2.2.1 Notions préliminaires sur le rayonnement solaire..... | 16 |
| 2.2.1.1 Rayonnement direct..... | 16 |
| 2.2.1.2 Rayonnement diffus..... | 17 |
| 2.2.1.3 Rayonnement réfléchi..... | 17 |
| 2.3. Description de la cellule | 17 |
| 2.3.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque..... | 17 |
| 2.3.2 Type des cellules photovoltaïques : | 18 |
| 2.3.3 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque..... | 20 |
| 2.3.4 Paramètres d'une cellule photovoltaïque | 21 |
| 2.3.4.1 Courant de court-circuit (I_{sc}) | 21 |
| 2.3.4.2 Tension de circuit-ouvert (V_{co}) | 21 |
| 2.3.4.3 facteur de forme..... | 21 |
| 2.3.4.4 Rendement énergétique | 22 |
| 2.4 Groupement des Cellules Photovoltaïques | 22 |
| 2.4.1 Groupement en série | 22 |
| 2.4.2 Groupement en parallèle | 23 |
| 2.4.3 Groupement mixte..... | 23 |
| 2.5 Influence de l'éclairement et la température sur les caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$ d'une cellule..... | 23 |
| 2.6 Etage d'adaptation entre un générateur PV et une charge | 24 |
| 2.7 Convertisseur DC-DC pour les systèmes d'énergie solaire | 25 |
| 2.7.1 Hacheur Buck..... | 25 |

Sommaire

| | |
|--|----|
| 2.7 .2 Hacheur boost..... | 28 |
| 2.7.3 Hacheur Buck-Boost | 30 |
| 2.8 Commande MPPT..... | 32 |
| 2.9Méthode de poursuite du point de puissance maximale | 33 |
| 2.9.1 Méthodes de la dérivée de la puissance | 33 |
| 2.9.1.1 Méthode de la perturbation et l'observation (P&O)..... | 33 |
| 2.10 Conclusion | 34 |

Chapitre 3: Filtre actif parallèle et stratégie de commande

| | |
|---|----|
| 3.1 Introduction..... | 35 |
| 3.2 Principe de filtre actif parallèle..... | 35 |
| 3-3 Structure d'un filtre actif parallèle | 36 |
| 3 .3.1 Etude de la partie puissance | 37 |
| 3.3.1.1 L'onduleur de tension..... | 37 |
| 3.3.1.2 Système de stockage d'énergie..... | 37 |
| 3.3.1.3 Filtre de sortie..... | 38 |
| 3 .3.2 Etude de la partie commande du FAP triphasé | 38 |
| 3 .3.2.1 les courants harmoniques de référence..... | 38 |
| 3 .3.2.2 Estimation du courant de référence de source | 38 |
| 3.3.3.Commande par hystérésis de l'onduleur du FAP..... | 41 |
| 3.4 Conclusion | 42 |

Chapitre 4 : Simulation du système de compensation photovoltaïque

| | |
|---|----|
| 4 .1 Introduction..... | 43 |
| 4.2. Le Système de Compensation Photovoltaïque proposée | 43 |

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| 4.3. Simulation du générateur PV | 44 |
| 4.3.1. Simulation du générateur (GPV) à éclairement et température Constante | 44 |
| 4.3.2 Simulation du générateur (GPV) à éclairement et température variable | 45 |
| 4.3.2.1. L'influence de l'éclairement sur la caractéristique($I_{pv}=f(V_{pv})$) | 46 |
| 4.3.2.2. L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$ | 46 |
| 4.3.2.3. L'influence de la température sur la caractéristique $I_{pv}=f(V_{pv})$ | 47 |
| 4.3.2.4. L'influence de la température sur la caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$ | 47 |
| 4.4 Simulation du hacheur boost avec la commande MPPT | 48 |
| 4.4.1. Modèle de simulation | 48 |
| 4.4.2. Résultat de simulation | 49 |
| 4.4.3 Simulation du hacheur boost à éclairement variable | 50 |
| 4.5 Simulation PV raccordé au réseau | 51 |
| 4.5.1 Modélisation de réseau BT | 51 |
| 4.5.2 Modèle de simulation globale | 52 |
| 4.5.2.1 Simulation du système global à éclairement maximale sans FAP | 52 |
| 4.5.2.2 Simulation du système avec filtre actif shunt | 53 |
| 4.6 conclusion | 58 |
| Conclusion générale | 59 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau (2.1) : Table de vérité de l'algorithme « perturbation et observation »..... | 33 |
| Tableau (4.1) : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque dans les conditions standards «CST»..... | 44 |
| Tableau (4.2) : Paramètres de simulation du SAPF..... | 53 |

liste des figures

| | |
|---|----|
| Fig. 1.1 : Charge linéaire. | 4 |
| Fig. 1.2 : Charge non-linéaire | 5 |
| Fig. 1.3 : Spectre de fréquences d'un courant non-sinusoidale | 6 |
| Fig. 1.4 : Différents types de filtres harmoniques passifs | 9 |
| Fig.1. 5 : Raccordement d'un filtre passif. | 10 |
| Fig.1. 6 : Filtre actif parallèle | 12 |
| Fig. 1. 7: Filtre actif série..... | 13 |
| Fig. 1.8 : Filtre actif série avec un filtre passif parallèle. | 14 |
| Fig. 2.1 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque | 18 |
| Fig.2.2 : Cellules, modules et panneau photovoltaïques..... | 18 |
| Fig.2.3 : Des cellules photovoltaïques | 19 |
| Fig. 2.4 : Schéma équivalent électrique de la cellule PV | 20 |
| Fig.2. 5 : Caractéristiques courant-tension de la cellule photovoltaïque | 20 |
| Fig. 2.6 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$ | 23 |
| Fig. 2.7 : L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$ | 23 |
| Fig. 2.8 : L'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$ | 24 |
| Fig.2.9 : Symbole d'un convertisseur DC-DC | 25 |
| Fig.2.10 : Schéma électrique d'un hacheur buck | 25 |
| Fig.2. 1 : Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur buck..... | 26 |
| Fig.2. 12 : Schéma électrique d'un hacheur buck fermé | 26 |
| Fig.2. 13 : Schéma électrique d'un hacheur buck ouvert | 27 |
| Fig.2. 14 : Schéma électrique d'un hacheur boost..... | 28 |
| Fig.2. 15 : Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur boost | 28 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Fig.2.16: Schéma électrique d'un hacheur boost fermé | 29 |
| Fig.2.17: Schéma électrique d'un hacheur boost ouvert | 29 |
| Fig.2.18: Schéma électrique d'un hacheur buck- boost | 30 |
| Fig.2.19: Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur buck-boost:..... | 30 |
| Fig.2.20: Schéma électrique d'un hacheur buck- boost fermé | 31 |
| Fig.2.21: Schéma électrique d'un hacheur buck- boost ouvert | 31 |
| Fig.2.22: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec MPPT | 32 |
| Fig.2.23: Organigramme d'algorithme (P&O) | 33 |
| Fig. 3.1 : Principe du filtrage actif parallèle | 35 |
| Fig. 3.2 : schéma synoptique d'un filtre actif parallèle | 36 |
| Fig. 3.3 : schéma du circuit de puissance d'un filtre actif parallèle à structure tension | 37 |
| Fig. 3.6 : Principe de contrôle du courant par hystérésis. | 40 |
| Fig. 3.7 : bande hystérésis..... | 40 |
| Fig. 4.1 : schéma synoptique d'un système photovoltaïque relié au réseau électrique | 43 |
| Fig. 4.2 : Modèle de simulation d'un générateur PV..... | 44 |
| Fig.4.3 : Caractéristique (courant-tension) du GPV | 44 |
| Fig.4.4 : Caractéristique (puissance-tension) du GPV..... | 45 |
| Fig. 4.5 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique $I_{pv}=f(V_{pv})$ | 46 |
| Fig. 4.6 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique($P_{pv}=f(V_{pv})$)..... | 46 |
| Fig. 4.7 : Influence de la température sur la caractéristique $I_{pv}=f(V_{pv})$ | 47 |
| Fig. 4.8 : Influence de la température sur la caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$ | 48 |
| Fig. 4.9 : Modèle de simulation d'un PV avec un hacheur commandé en MPPT | 48 |
| Fig.4.10 : Caractéristique $V_{pv}=f(t)$ et $V_s= f(t)$ du hacheur boost | 49 |
| Fig.4.11 : le courant du panneau PV..... | 49 |
| Fig.4.12 : La puissance du module photovoltaïque | 50 |
| Fig.4.13 : Caractéristique de la puissance à éclairement variable | 50 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Fig. 4.14 : Caractéristique de sortie du hacheur à éclairement variable | 50 |
| Fig. 4.15 : Système de tensions triphasé équilibré..... | 51 |
| Fig. 4.16 : Modèle de simulation de réseau triphasé | 51 |
| Fig.4.17 : Modèle de simulation du système de compensation photovoltaïque..... | 52 |
| Fig. 4.18: Formes d'onde des courants avant compensation photovoltaïque..... | 52 |
| Fig. 4.19 :Caractéristique de puissance active et réactive..... | 52 |
| Fig. 4.20 : Analyse spectrale du courant de source avant la mise en service du SAPF..... | 53 |
| Fig. 4.21 : le courant et la puissance du GPV | 54 |
| Fig.4.22 : Résultats de simulation du transitoire lors de la fermeture du SAPF pour une charge non-linéaire [RL1]..... | 55 |
| Fig.4.23 : Analyse spectrale des signaux après la mise en service du SAPF : | 55 |
| Fig.4.24 : Résultats de simulation du transitoire lors de la variation de la charge | 56 |
| Fig.4.25 : Allure de la tension du bus continu | 57 |
| Fig.4.26 : Allures des puissances instantanées pour une variation de la charge non linéaire..... | 57 |

Liste des figures

Abréviation utilisée

| | |
|-----------|--|
| PV | : Photovoltaïque. |
| GPV | : Générateur Photovoltaïque. |
| FF | : Facteur de forme. |
| MPP | : Maximum Power Point Tracking. |
| P&O | : Perturbation et Observation. |
| DC | : Courant Continu |
| AC | : Courant Alternatif |
| THD | : Taux de distorsion harmonique. |
| λ | : longueur d'onde en mètre. |
| V_{th} | : La tension thermique. |
| K | : constant de Boltzmann ($1,38.10^{-23}J/K$). |
| q | : La charge de l'électron ($1,6.10^{-19} C$). |
| I_{pv} | : Courant générer par la cellule photovoltaïque. |
| I_{ph} | : Courant de la cellule PV (Photo-Courant). |
| Rsh | : Résistance shunt de la cellule PV. |
| RS | : Résistance série de la cellule PV. |
| VOC | : Tension du circuit ouvert. |
| ISC | : Courant de court circuit. |
| NS | : Nombres des cellules en sérier. |
| NP | : Nombres des cellules en parallèle. |
| η | : Rendement. |
| BT | : Basse tension |
| FAP | : Filtre Actif Parallèle |
| C_{dc} | : Capacité du condensateur étage continu. |
| C_h | : Composante harmonique de rang h. |
| h | : Ordre d'harmonique. |
| Ki | : Gain d'un régulateur intégral. |
| Kp | : Gain d'un régulateur proportionnel. |
| I_c | : Valeur efficace du courant de la charge |
| I_f | : Valeur efficace du courant injecté par le FAP |

Abréviation utilisée

| | |
|----------|---|
| I_h | : Valeur efficace du Courant harmonique du rang h |
| IGBT | : Insolated Gate Bipolar Transistor |
| PI | : Proportionnel-Intégral |
| V_{dc} | : Tension aux bornes du condensateur |
| V_s | : Tension simple efficace de la source |

INTRODUCTION GENERALE

Introduction :

Au niveau mondial, le marché des systèmes photovoltaïques connaît, depuis plus de **10 ans**, un taux de croissance très élevé, de l'ordre de **30 à 40%** par an. Cette croissance exceptionnelle, due principalement aux systèmes photovoltaïques raccordés au réseau de distribution d'électricité, se traduit bien évidemment par des innovations technologiques et une baisse de coûts des modules photovoltaïques mais aussi à des efforts importants de recherche et développement dans le domaine de l'électronique de puissance.

En effet, les performances techniques et la fiabilité des convertisseurs statiques utilisés pour le raccordement des systèmes photovoltaïques au réseau de distribution d'électricité, sont des paramètres qui peuvent très fortement faire varier la production d'énergie électrique annuelle et donc la rentabilité financière d'un système.

Cependant, le raccordement des systèmes PV au réseau de distribution peut avoir quelques impacts sur les réseaux électriques : impacts sur le changement des flux de puissance (bidirectionnel), sur le plan de tension, sur le plan de protection, sur la qualité de l'énergie ou sur la planification du réseau... D'un autre côté, les caractéristiques, le fonctionnement et les perturbations sur les réseaux de distribution peuvent influencer le fonctionnement des systèmes

Le document présenté est rédigé en quatre chapitres principaux qui se résument dans ce qui suit :

Le premier débute avec la problématique des harmoniques, leurs origines, leurs conséquences et la réglementation. Ensuite, les différentes solutions traditionnelles et modernes de filtrage possibles sont présentées : filtrage passif, actif et hybride on se focalisera ensuite sur le filtrage actif parallèle.

Dans le deuxième chapitre, on fait une généralité sur les générateurs photovoltaïques. On présente le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses paramètres, et on étudie quelques types de convertisseurs DC-DC, utilisés dans les systèmes photovoltaïques. tout, on décrit la commande MPPT des convertisseurs DC-DC basée sur la méthode de P&O.

Le troisième chapitre propose une solution moderne à base d'un filtre actif parallèle (FAP) afin de lutter contre la pollution harmonique provoquée par les redresseurs à diodes et limiter leur propagation dans le réseau. En premier lieu, nous présenterons le principe de fonctionnement du filtre actif parallèle de puissance, la structure générale du FAP, et étudier la méthode d'identification des courants harmoniques, et la méthode de régulation du bus de tension continu, ainsi que la commande de l'onduleur.

INTRODUCTION GENERALE

Dans le quatrième chapitre, nous présentons les résultats de simulation du système proposé de compensation et d'injection.

Enfin, nous terminons notre projet par une conclusion générale relative aux résultats de simulations.

Chapitre 1 :

*Pollution harmoniques dans les réseaux
électriques*

1.1. Introduction

Depuis les dernières décennies, il y a une forte augmentation des charges non-linéaires connectées au réseau électrique telles que les : ordinateurs, télécopieurs, lampes à décharge, fours à arc, chargeurs de batterie, systèmes de l'électronique de puissance, alimentations électroniques [1,2].

L'inconvénient de ces dispositifs c'est qu'ils se comportent comme des charges non linéaires et absorbent des courants avec des formes d'ondes différentes des tensions d'alimentation. Dans ce cas, l'évolution des courants n'est pas liée directement aux variations sinusoïdales des tensions. Ces courants périodiques non sinusoïdaux circulent au travers des impédances des réseaux et donnent naissance à des tensions non sinusoïdales et des déséquilibres qui viennent se superposer à la tension initiale au point de raccordement. Ils peuvent générer aussi une consommation de puissance réactive. Ces perturbations périodiques régulières sont désignées comme des perturbations harmoniques. Ces perturbations ont des conséquences préjudiciables sur le bon fonctionnement des appareils électriques et ont des effets à la fois instantanés et à long terme. Il est donc important pour une installation donnée de savoir définir, analyser et quantifier les harmoniques. Dans ce premier chapitre, des notions élémentaires d'analyse harmonique, les origines et les conséquences de la pollution harmonique sont exposés.

1.2. Définition d'un harmonique

Un harmonique est défini comme étant une composante sinusoïdale d'un signal périodique, ayant une fréquence multiple de l'onde fondamentale. Le domaine des fréquences qui correspond à l'étude des harmoniques est généralement compris entre 100 HZ et 2000 HZ (entre les harmoniques de rangs $h=2$ et $h=40$). Il peut exister dans la tension des réseaux des sous harmoniques [3].

L'amplitude de rang 1 est appelée la composante fondamentale du signal électrique périodique; dans notre cas c'est la (50 HZ ou 60 HZ). L'harmonique d'ordre zéro correspond à la composante directe du signal, l'amplitude de chaque harmonique est inversement proportionnelle à son ordre. Les premiers rangs harmoniques ont des amplitudes élevées, d'où l'importance des courants injectés, raison pour laquelle il faut limiter ces harmoniques dans les normes. L'amplitude de l'harmonique de rang (h) du côté de la source est donnée par :

$$I_h = I / h \quad (1.1)$$

h : harmonique d'ordre h

I_1 : Amplitude du courant fondamentale

I_h : Amplitude de l'harmonique de rang (h)

1.3. Problématique des harmoniques

La problématique des harmoniques dans le réseau électrique, également appelée pollution harmonique, n'est pas un phénomène nouveau. Néanmoins, du fait que de plus en plus de charges non linéaires se connectent au réseau, la problématique des harmoniques est devenue très répandue. Les charges non linéaires provoquent une distorsion des courants et donc des tensions, ce qui peut entraîner un mauvais fonctionnement des dispositifs raccordés au réseau. D'où, l'intérêt d'éliminer ou de minimiser ces harmoniques [4].

Un récepteur d'énergie est considéré par le réseau électrique comme une charge perturbatrice s'il absorbe des courants non sinusoïdaux ou des courants déséquilibrés ou s'il consomme de la puissance réactive. Les deux premiers types de perturbations peuvent déformer ou déséquilibrer les tensions du réseau lorsque l'impédance de celui-ci n'est pas négligeable. Le troisième réduit la capacité de production ou de transmission de la puissance active des générateurs, des transformateurs et des lignes électriques [4].

1.3.1. Notion des Charges

Les récepteurs peuvent être classés en deux familles principales [1-4] :

⇒ Les récepteurs linéaires (ou charges linéaires).

⇒ Les récepteurs non-linéaires (ou charges non-linéaires).

1.3.1. 1. Les charges linéaires

Une charge est dite "**linéaire**" si le courant qu'elle absorbe est sinusoïdal lorsqu'elle est alimentée par une tension sinusoïdale. Ce type de récepteur ne génère pas d'harmonique.

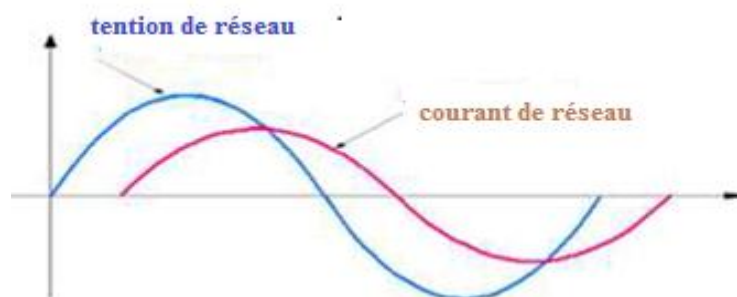


Fig. 1. 1 : Charge linéaire.

1.3.1. 2. Les charges non linéaires

Une charge est dite "**non linéaire**" si le courant absorbé n'est pas sinusoïdal lorsqu'elle est alimentée par une tension sinusoïdale. Ce type de récepteur est générateur des courants harmoniques. Les charges non linéaires déforment les signaux électriques du courant et de la tension.

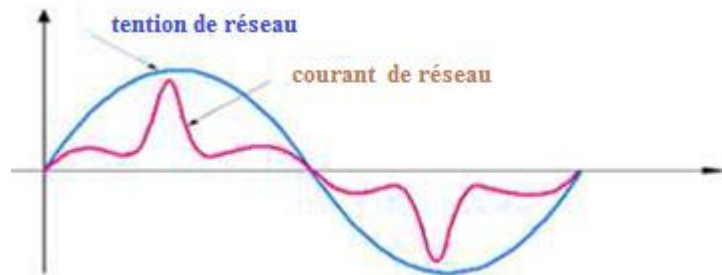


Fig. 1.2 : Charge non-linéaire

✚ Exemples des charges non-linéaires :

Les principales sources des harmoniques sont :

- ⇒ Les équipements industriels (machines à souder, fours à arc, fours à induction, redresseurs,...) ;
- ⇒ Les variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones ou moteurs à courant continu ;
- ⇒ Les appareils de bureautique (ordinateurs, photocopieurs, fax, ...) ;
- ⇒ Les appareils domestiques (TV, fours micro-onde, éclairage néon, ...) ;

1.4 Origine des harmoniques

L'apparition des équipements électriques utilisant des convertisseurs statiques a entraîné ces dernières années une augmentation sensible du niveau de pollution harmonique des réseaux électriques. Ces équipements électriques sont examinés comme des charges non linéaires distribuant des courants harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale, ou parfois à des fréquences quelconques. Le passage de ces courants harmoniques dans les impédances du réseau électrique peut entraîner des tensions harmoniques aux points de raccordement et ainsi polluer les consommateurs alimentés par le même réseau électrique.

1.4.1 Emission en tension :

L'émission harmonique en tension due aux matériels de réseaux entre pour une faible part, et avec des taux généralement faible, dans la distorsion des réseaux. Elle est due aux imperfections de construction (dissymétrie, distribution non sinusoïdale du champ dans les alternateurs, saturation des circuits magnétiques etc....) des bobinages des machines tournantes et des transformateurs [5].

1.4.2 Emission en courant :

Les charges non linéaires consomment un courant qui n'est pas sinusoïdale. Elles représentent les principales sources d'émission en courants harmoniques sur les réseaux.

1. 5.Caractérisation des harmoniques

Différentes grandeurs sont définies pour quantifier les perturbations harmoniques. Parmi celles-ci les plus utilisées sont :

1.5.1. Taux harmonique de rang n

Le taux harmonique (tension ou courant) est défini par le rapport entre l'amplitude de la composante harmonique d'ordre n et l'amplitude de la composante du terme fondamental.

$$S_n = \frac{C_n}{C_1} \quad (1.2)$$

Où : C_n représente la composante harmonique de rang n,

C_1 : représente la composante fondamentale.

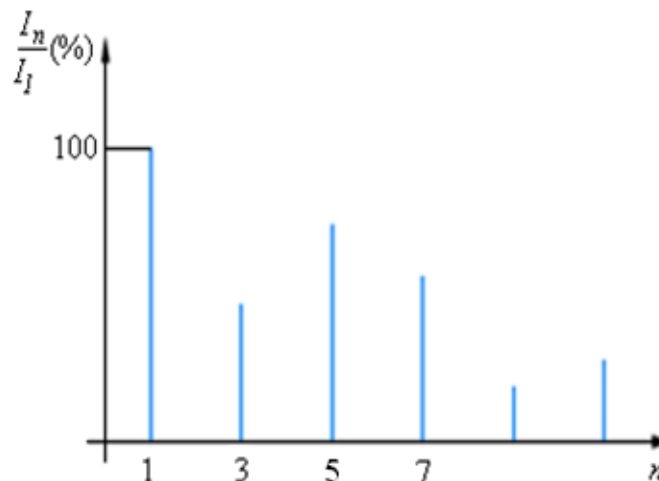


Fig. 1.3 :Spectre de fréquences d'un courant non-sinusoïdale

1.5.2. Taux global de distorsion harmonique

Le taux global de distorsion harmonique THD (Total Harmonic Distortion) représente le rapport de la valeur efficace des harmoniques à la valeur efficace du fondamental. Lorsque le THD est égal à zéro, on peut conclure qu'il n'y a pas d'harmoniques sur le réseau. Il est défini par la relation :

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{X_n}{X_1}\right)^2} \quad (1.3)$$

Avec X : soit un courant ou une tension.

1.5.3. Facteur de Puissance

Normalement, pour un signal sinusoïdal le facteur de puissance est donné par le rapport entre la puissance active P et la puissance apparente S , $FP = P^2/(P^2+Q^2)$. Les générateurs, les transformateurs, les lignes de transport et les appareils de contrôle et de mesure sont dimensionnés pour la tension et le courant nominaux. Une faible valeur du facteur de puissance se traduit par une mauvaise utilisation de ces équipements [2]

1.6 Problèmes créés par les harmoniques

Les tensions et les courants harmoniques ajoutées et superposées à l'onde fondamentale provoquent sur les récepteurs:

✚ Des effets immédiats:

- Dégradation du facteur de puissance.
- Réduction de la puissance des moteurs (couple négatif).
- surcharges des câbles, transformateurs et moteurs
- Augmentation du bruit dans les moteurs.
- Erreur d'enregistrement dans les compteurs.
- Surdimensionnement des câbles.
- Réduction de la capacité du réseau.
- Mauvais fonctionnement des contacteurs.
- Perturbation des systèmes électroniques.

✚ Des effets à moyen et long terme:

- Réduction de la durée de vie des moteurs.
- Détérioration des batteries de condensateurs.
- Réduction de la durée de vie des transformateurs.
- Vieillesse accélérée des isolants et des diélectriques.

Chapitre 1 : Pollution harmonique dans les réseaux électriques

- Pertes Fer (*Ironlosses*), pertes créées par le champ magnétique plus pertes dues aux courants de Foucault, entraînant un déclassement des transformateurs et des moteurs

1.7 Solutions aux perturbations harmoniques

Pour minimiser les perturbations en tension ou en courant, il est possible d'agir à deux niveaux :

- ✓ Du côté de la source en filtrant la tension du réseau ou en améliorant le réseau de transport et celui de distribution ;
- ✓ Du côté du client en rendant le courant de ligne le plus sinusoïdal possible.

Deux groupes de solutions de dépollution pour compenser toutes les perturbations peuvent être distingués : les solutions traditionnelles et les solutions modernes.

1.7.1. Solutions traditionnelles de dépollution

Il s'agit notamment de mettre en œuvre les moyens suivants :

- ✓ Inductance anti-harmonique de protection des condensateurs
- ✓ Inductance de lissage des courants
- ✓ Confinement des harmoniques
- ✓ L'utilisation de transformateurs à couplage approprié permettant de limiter la circulation des courants harmoniques
- ✓ Augmentation de l'indice de modulation
- ✓ Les filtres passifs qui sont utilisés pour empêcher les courants harmoniques de se propager dans les réseaux électriques ; peuvent être utilisés pour compenser la puissance réactive. Malgré leur large utilisation dans l'industrie, ces dispositifs peuvent présenter beaucoup d'inconvénients :

- Manque de souplesse à s'adapter aux variations du réseau et de la charge.
- Equipment volumineux.
- Problèmes de résonance avec l'impédance du réseau.
- ✓ Filtrage passif.

Il s'agit des premiers dispositifs utilisés pour l'élimination d'harmoniques. Ils sont composés par des éléments passifs comme des inductances, des capacités et des résistances. En général, les filtres d'harmoniques sont connectés en parallèle avec les charges injectant des courants harmoniques (les redresseurs à diodes ou à thyristors, fours à arcs électrique, etc.). Les différents types possibles de filtres passifs destinés à compenser les courants harmoniques sont représentés sur la figure (1.4) [7].

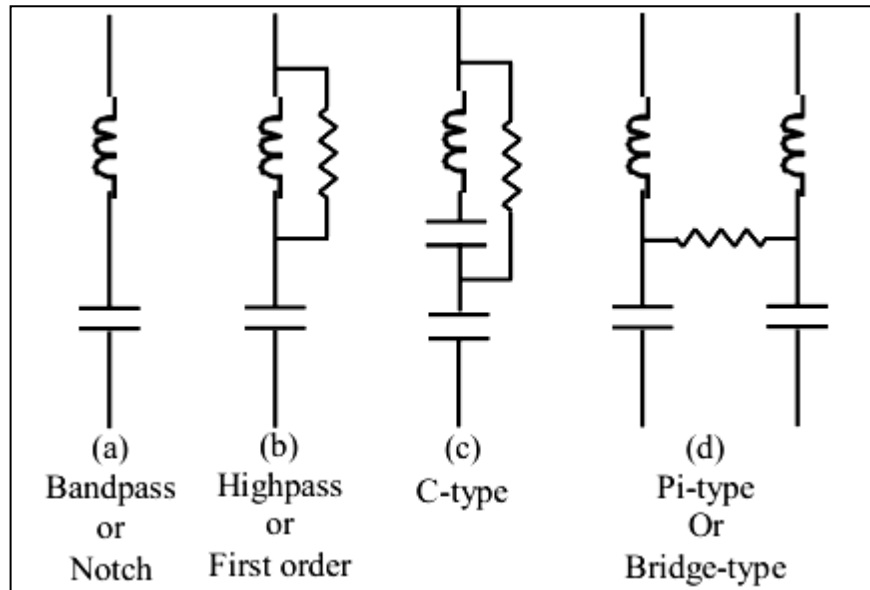


Fig. 1.4 : Différents types de filtres harmoniques passifs.

Le filtre harmonique passe-bande illustré sur la figure 1.4 (a) est le plus simple et est largement appliqué. Son avantage est l'impédance presque nulle à la fréquence d'accord, conduisant à un filtre presque parfait à cette fréquence. Son inconvénient est la possibilité d'occasionner une résonance avec l'impédance du réseau pour les fréquences en dessous de sa fréquence de coupure et en d'autres termes d'amplifier d'autres composantes harmoniques [7].

La figure 1.4 (b) montre le filtre harmonique passe-haut qui peut être un compromis entre filtrer une fréquence bien ciblée et atténuer les harmoniques des fréquences supérieures. Ce filtre est généralement ajusté aux 7^{ème} ou 11^{ème} rangs harmoniques. Le filtre harmonique de type C, illustré sur la figure 1.4 (c), a des caractéristiques similaires au filtre harmonique passe-haut, avec l'avantage que la résistance ne consomme pas de puissance à la fréquence fondamentale du réseau. Il est souvent employé dans les applications de four à arc où il existe des inters harmoniques [7].

La figure 1.4 (d) illustre le filtre harmonique de type Pi qui est essentiellement composé de deux filtres passe-bande avec une résistance connectée au point médian. L'intérêt principal de ce filtre est sa bonne caractéristique de filtrage aux deux fréquences de résonance.

a) Filtre passif connectée au réseau

Le courant circulera alors dans l'impédance la plus faible, c'est à dire dans le filtre passif et donc plus dans l'impédance de court-circuit du réseau comme l'illustre la figure (1.5)

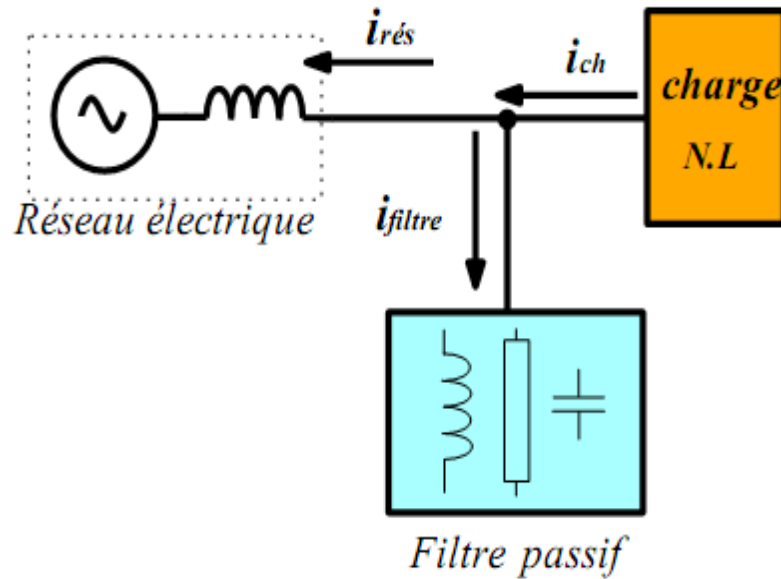


Fig.1.5 : Raccordement d'un filtre passif.

Equation des courants :

$$i_{CH} = i_{fond} + i_{h5} + i_{h7} + \dots \quad (1.4)$$

$$i_{FILTRE} = i_{h5}$$

Malgré l'efficacité, le pouvoir de corriger le facteur de puissance, la simplicité et le coût, cette configuration de filtres passifs pose tout de même certains problèmes :

- Le dimensionnement dépend du spectre harmonique de la charge et de l'impédance de la source, cette dernière est d'ailleurs susceptible d'engendrer des résonances.
- Les filtres passifs sont encombrants et présentent des risques de dérive de la fréquence au fur et à mesure que les composants vieillissent

1.7.2 Solutions modernes à base d'électronique de puissance

Les inconvénients inévitables aux filtres passifs et l'apparition de nouveaux composants semi-conducteurs, comme les thyristors GTO et les Transistors IGBT et la recherche scientifique ont permis l'émergence des moyens modernes et efficaces pour faire face aux différentes perturbations (harmoniques, puissance réactive, fluctuations, creux de tension) affectant les systèmes électriques [2]. Parmi ces moyens modernes, nous pouvons citer :

- les filtres actifs : parallèles, séries, hybrides et combinaisons des structures.
- les alimentations sans interruption.
- les convertisseurs à prélèvement sinusoïdal.

1.7.2.1 Filtrés actifs

Le but de ces filtres est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à ce que le courant et la tension du réseau soient rendus sinusoïdaux et parfois avec un facteur de puissance unitaire. Un filtre actif de puissance se compose d'un onduleur commandé par modulation de largeur d'impulsion (MLI/PWM), connecté au réseau par l'intermédiaire d'un filtre passif, et d'un bus continu. Ce convertisseur PWM constituant le filtre actif peut avoir deux structures différentes en fonction de l'élément de stockage du bus continu. Le convertisseur de type tension (onduleur de tension) ou VSC (Voltage Source Converter) utilise un condensateur pour stocker l'énergie au niveau du bus DC et imposer ainsi la nature source de tension à l'entrée de l'onduleur. Le condensateur peut être remplacé par une inductance, qui joue alors le rôle d'une source de courant continu. Dans ce cas, ce type de convertisseur prend la dénomination d'onduleur de courant [8].

Les avantages de ces filtres actifs par rapport aux filtres passifs sont les suivants [5]:

- le volume physique du filtre est plus réduit.
- la capacité de filtrage est supérieure.
- la flexibilité et adaptabilité sont très supérieures.

Pourtant, ils présentent quelques inconvénients :

- Leur coût élevé a limité leur implantation dans l'industrie.
- Les pertes sont plus élevées.

En fonction de leur mode de connexion au réseau, les filtres actifs sont dissociés en deux familles : les filtres actifs parallèle et série [2].

1.7.2.1.1 Filtre actif parallèle-FAP

Le filtre actif connecté en parallèle sur le réseau appelé aussi compensateur shunt, présenté sur la figure (1.4) est constitué d'un onduleur de tension et d'un filtre inductif en sortie. Ainsi, l'inductance en sortie de l'onduleur donne la nature de source de courant au filtre actif. Généralement, une analyse préalable de la charge permet d'identifier les perturbations et de les compenser au niveau du réseau via le filtre actif parallèle. Le courant résultant côté réseau est de forme sinusoïdale, voire en phase avec la tension au point de raccordement dans le cas d'une compensation d'harmoniques et du fondamental réactif [9].

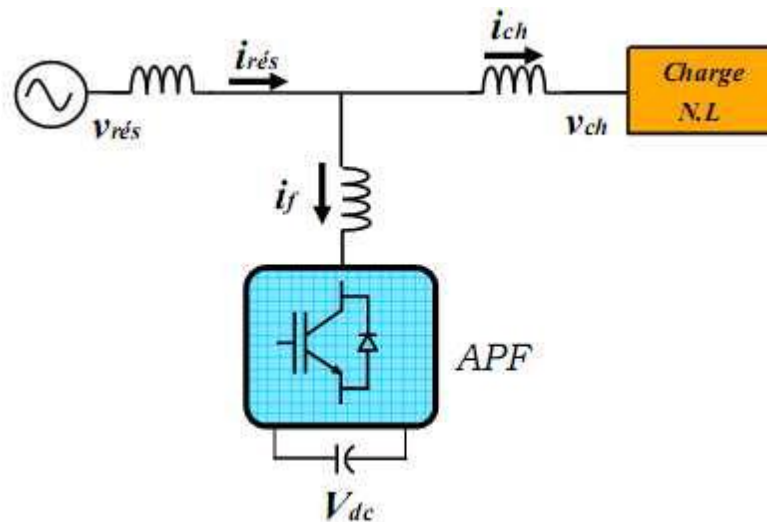


Fig.1.6 : Filtre actif parallèle

Il est préférable d'utiliser un seul filtre actif pour toutes les charges car, dans ce cas, le coût du filtrage est moindre. Cependant, lorsque la puissance des charges polluantes est élevée, la solution d'un filtre actif par charge s'avère nécessaire. Cette dernière méthode est bien sûr plus coûteuse mais elle possède l'avantage d'éviter que la stabilité des harmoniques vienne perturber le réseau dans le cas où un filtre actif est défectueux.

1.7.2.1.2 Filtre actif série-FAS

a) Principe de fonctionnement

Le filtre actif série se comporte comme une source de tension qui s'oppose aux tensions perturbatrices (creux, déséquilibre, harmoniques) venant de la source et également à celles provoquées par la circulation des courants perturbateurs à travers l'impédance de réseau. Le but du filtre actif série est de créer une impédance en série avec le réseau qui sera nulle pour le fondamental et de valeur élevée pour les harmoniques. En revanche, le filtrage série ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge. En plus, ce filtre nécessite une protection complexe contre les courts-circuits des réseaux. En effet, lors d'un court-circuit côté réseau, ce dernier peut être amené à supporter tout le courant de court-circuit. [8] [2]

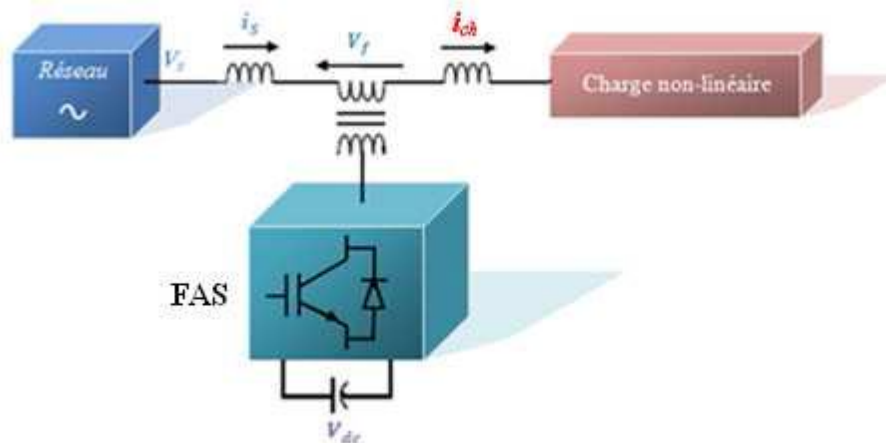


Fig. 1.7: Filtre actif série.

B) Mise en œuvre

Le filtre actif Série (F.A.S) est une solution adaptée à la compensation des tensions perturbatrices, harmoniques, déséquilibrées et des creux de tension. Ces perturbations trouvent généralement leurs origines dans le réseau lui-même mais peuvent parfois être provoquées par les charges elles-mêmes.

En 1976, une famille de filtres actifs séries avec des onduleurs à transistors contrôlés en MLI a été présentée. Un compensateur statique pour le rééquilibrage de la tension du réseau électrique a été proposé en 1985. La génération, par l'onduleur à thyristors, des composantes non désirées, ayant une faible fréquence de commutation, a découragé l'avancement pratique de cette solution.

En 1990, un compensateur de tension à base d'onduleur de tension triphasé a été proposé pour compenser le déséquilibre de tension de réseau électrique. Depuis, beaucoup de travaux ont été consacrés à l'amélioration de la qualité de compensation du déséquilibre de la tension du réseau. D'autres articles ont introduit le problème des creux de tension et la solution de compensation par le compensateur actif série [2].

1.7.2.1.3 Filtres actifs hybrides

Le filtre actif hybride (Fig. 1.8) est constitué d'un filtre passif connecté directement en série avec le filtre actif. Connecté avec ou sans transformateurs au réseau, il est considéré comme l'une des meilleures solutions pour filtrer les harmoniques de courant des réseaux de distribution. Une des principales raisons de l'utilisation du filtre actif hybride est liée au développement des semi-conducteurs de puissance tels que les transistors de puissance de types *MOSFET* ou *IGBT*. De plus, du point de vue économique, le filtre hybride présente un atout majeur, il permet de réduire le coût de filtre actif, qui est

actuellement l'obstacle majeur à l'utilisation de ce type des filtres. On peut distinguer trois configurations du filtre actif hybride [10,11] :

- Combinaison du filtre actif série et du filtre passif parallèle
- Combinaison du filtre actif parallèle et du filtre passif parallèle
- Filtre actif parallèle connecté en série avec un filtre passif

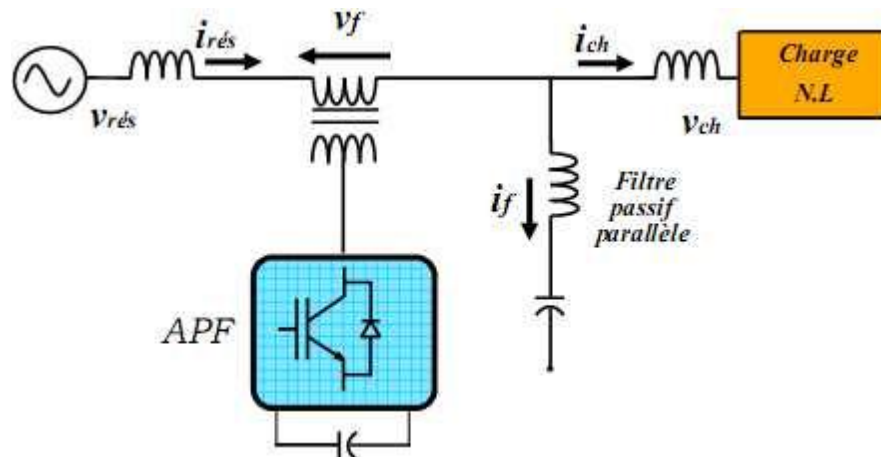


Fig. 1.8 : Filtre actif série avec un filtre passif parallèle.

1.8 Etat de l'art des filtres actifs parallèles

Les filtres actifs parallèles sont créés à partir d'onduleurs à thyristors commandés en MLI. Ces filtres ont été développés pour éliminer les harmoniques générés par les convertisseurs utilisés dans les systèmes de transmission de courant continu à haute tension. Par la suite, des progrès importants ont été accomplis avec la commercialisation de composants d'électronique de puissance qui commutent des puissances de plus en plus importantes avec des fréquences de plus en plus élevées. Ainsi, en 1982, le premier FAP de 800KVA, composé d'un commutateur de courant à MLI et thyristors GTO" a été installé pour la compensation d'harmoniques [8].

Plus tard, de nombreux onduleurs de puissance commandés en MLI ont été développés pour des applications de filtrage actif [8]. En conséquence, les filtres actifs parallèles ont commencé à être commercialisés et installés à travers le monde et surtout au Japon, où en 1996, il y avait plus de cinq cents filtres actifs parallèles installés avec des puissances allant de 50KVA à 2 MVA. Les filtres actifs modernes, en plus de compenser et amortir les courants harmoniques, compensent les déséquilibres de courant, contrôlent la puissance réactive. Au cours de l'année 1997, la topologie multi-niveaux a débuté aussi pour des applications de filtrage actif. Les années qui ont suivi ont vu de nombreuses publications

Chapitre 1 : Pollution harmonique dans les réseaux électriques

sur les filtres actifs multi-niveaux avec différentes topologies. Cependant, de nos jours, la plupart des filtres actifs parallèles utilisent des convertisseurs clampés par le neutre.

1.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé le problème des harmoniques et des perturbations affectant la tension du réseau et dégradant ainsi la qualité de l'énergie électrique. Après avoir recensé les origines et les conséquences néfastes des harmoniques sur les différents éléments constitutifs du réseau. Ensuite, nous avons présenté les différents moyens, traditionnels et modernes, de réduction des harmoniques. Nous avons montré que la solution classique à base de filtres passifs est souvent pénalisée. En revanche, la solution des filtres actifs parallèles et séries avec leurs combinaisons se présente comme la meilleure jusqu'à ce jour pour tous types de perturbations susceptibles d'apparaître dans le réseau électrique.

Chapitre 2 :

Production d'énergies photovoltaïques

2.1 Introduction

Face aux prévisions d'épuisement inéluctable des ressources mondiales en énergie fossile (pétrole, gaz, charbon...), en énergie d'origine thermonucléaire (uranium, plutonium...), face aux multiples crises pétrolières, économiques, aux changements climatiques dus à l'effet de serre, la science s'est tout naturellement intéressée aux ressources dites " renouvelables " et notamment vers la plus ancienne, le soleil, qui déverse chaque jour l'équivalent de 100 000 milliards de TEP (tonnes équivalent pétrole).

Vue l'importance de cette source d'énergie qui est le soleil. Il nous faut apprendre à capter, à transformer, à stocker etc. Capter cette énergie solaire et la transformer directement en électricité par effet photovoltaïque. Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface de la terre malgré une atténuation importante lors de la traversée de l'atmosphère. [8]

Ce chapitre présente une introduction au système photovoltaïque, il a pour but d'expliquer le principe de fonctionnement de ce système. Nous décrirons ensuite, une étude préliminaire des convertisseurs utilisés dans les systèmes photovoltaïques et leurs modèles mathématiques, et leur commande basée sur les algorithmes de maximisation.

2.2 Effet photovoltaïque

2.2.1 Notions préliminaires sur le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est constitué de photons transportant chacun une énergie E_{ph} qui répond, elle même, à la relation suivante :

$$E_{ph} = hc/\lambda \quad (2.1)$$

Où

E_{ph} représente la quantité d'énergie, λ la longueur d'onde, h la constante de Planck et c la vitesse de la lumière.

Au niveau du sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes principales :

2.2.1. 1 Rayonnement direct :

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère. [14].

2.2.1.2 Rayonnement diffus :

C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère. [14].

2.2.1.3 Rayonnement réfléchi :

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lieu appelé Albédo (ϵ) avec $0 \leq \epsilon \leq 1$

2.3. Description de la cellule

C'est l'élément de base qui grâce à lui la conservation est faite, les photopiles ou **cellules photovoltaïques** sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité. Elles sont réalisées à l'aide des matériaux semi-conducteurs ayant des propriétés intermédiaires entre conducteurs et isolants. Le matériau de base est dans la plupart des cas le **silicium**. Selon le procédé de fabrication, on obtiendra des photopiles plus ou moins performantes, sous forme amorphe, poly-cristalline ou monocristalline. D'autres matériaux sont utilisables : **Arséniure de gallium (AsGa)**, **Tellurure de cadmium (CdTe)**. [13]

2.3.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement à base silicium. Elle est réalisée à partir de deux couches, une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule [12]. Le terme photovoltaïque vient du grec " phos, photos " qui désigne la lumière et de " voltaïque ", mot dérivé du physicien italien Alessandro VOLTA, connu pour ses travaux sur l'électricité [12].

Le Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est illustré dans la figure (2-1) :

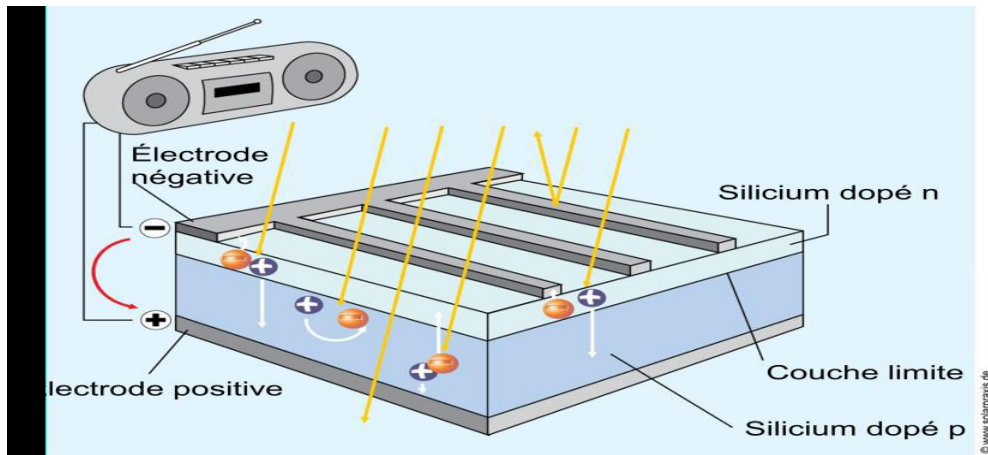


Fig. 2.1 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Typiquement une cellule photovoltaïque produit moins de 2 watt sous approximativement 0,5 v. Une association série de plusieurs cellules donne un module et une association série et/ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un panneau photovoltaïque. Le passage d'un module à un panneau se fait par l'ajout de diodes de protection, une en série pour éviter les courants inverses et une en parallèle, dite diode by-pass, qui n'intervient qu'en cas de déséquilibre d'un ensemble de cellules pour limiter la tension inverse aux bornes de cet ensemble et minimiser la perte de production associée.

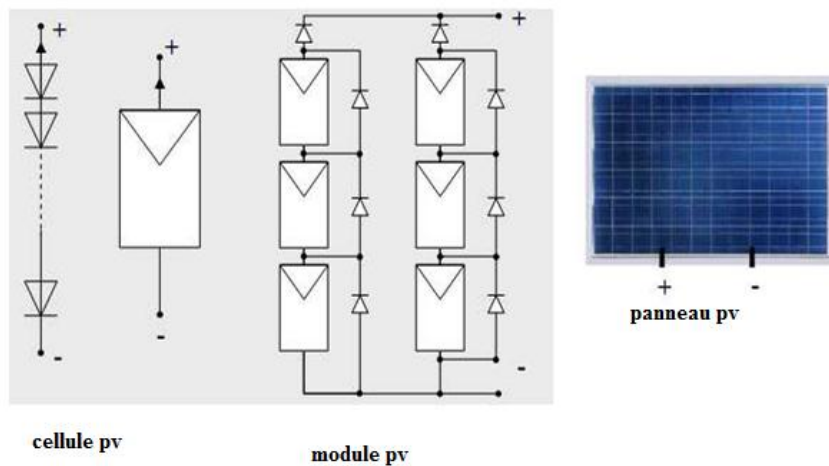


Fig.2.2- Cellules, modules et panneau photovoltaïques

2.3. 2 Type des cellules photovoltaïques

Dans cette partie, nous présentons les différents types des cellules photovoltaïques :

a) Cellules inorganiques :

Il y a deux types :

- Cellule silicium
- Cellules en couches minces

b) Cellules de Grätzel :

La couche active de ces cellules est composée d'une matrice poreuse de nano-cristallites d'oxyde métallique semi-conducteur (TiO₂, ZnO, SnO₂, Nb₂O₅) recouverte d'une monocouche de colorant (complexe de ruthénium ou de dite trabyty l'ammonium).

c) Cellules organiques :

Les cellules connaissent un développement rapide et leur rendement de conversion ont franchi récemment la barre des 8%. [15].



Fig.2. 3: Des cellules photovoltaïques

d) Cellule hybride :

Les cellules hybrides sont composées d'un semi-conducteur organique et d'un semi-conducteur inorganique ; Le principal avantage de ces cellules par rapport aux cellules organiques est l'absence de 6,6-phényle-C61-butyric acide méthyle.

2.3.3 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

La figure (2.4) présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairage. Elles constituent d'un générateur de courant I_{ph} monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce modèle.

Ces résistances influencent sur la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule [16]:

Chapitre 2 : production d'énergie photovoltaïque

La résistance série (R_s) est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles;

La résistance shunt (R_{sh}) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée..

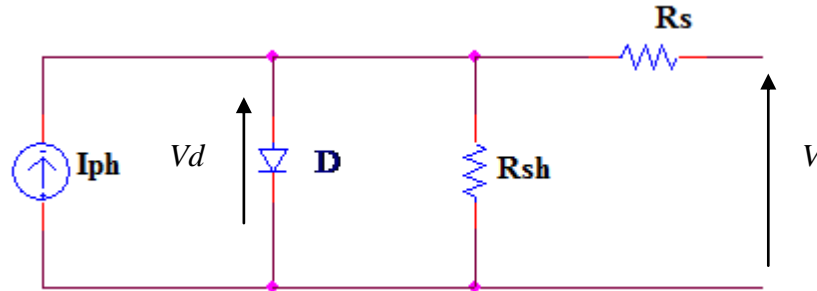


Fig. 2.4 : Schéma équivalent électrique de la cellule PV

En appliquant la loi des nœuds, on trouve :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{e(V + I.R_s)}{\alpha.K.T}\right) - 1 \right) - \frac{V + I.R_s}{R_{sh}} \quad (2.2)$$

Où

α : Facteur d'idéalité de la diode et La valeur typique de α est 1.3.

T : est la température de la cellule en K ,

e : est la charge de l'électron $e = 1.61010^{-19}$ C

K : est la constante de Boltzmann $K = 1.3854 \cdot 10^{-23}$ J.K⁻¹.

La figure 2.5 montre la caractéristique courant-tension d'une cellule PV à une température fixée et à une certaine ambiante irradiation G_a .

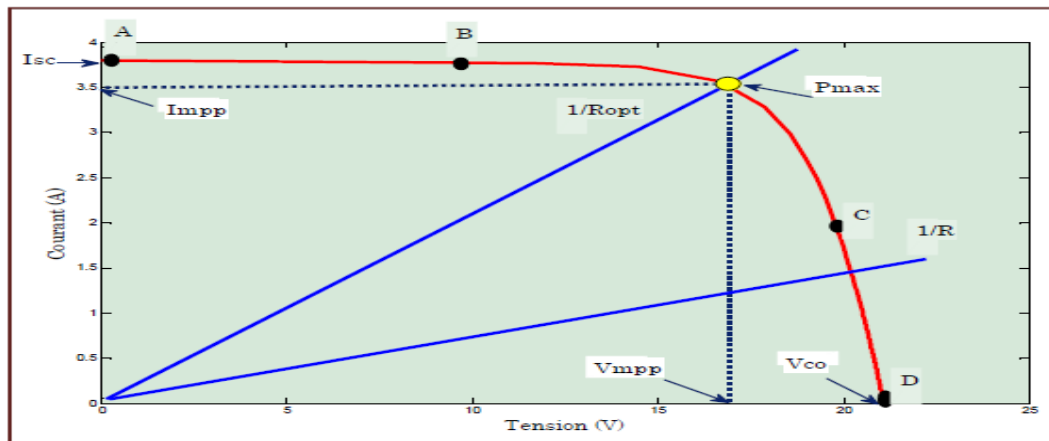


Fig.2. 5: Caractéristiques courant-tension de la cellule photovoltaïque

2.3.4 Paramètres d'une cellule photovoltaïque

Ces paramètres peuvent être déterminés à partir des courbes courant-tension, ou de l'équation caractéristique. Les plus usuels sont les suivantes:

2.3.4.1 Courant de court-circuit (I_{sc})

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle. Dans le cas idéal (R_s nulle et R_{sh} infinie), ce courant se confond avec le photo courant I_{ph} dans le cas contraire, en annulant la tension V dans l'équation (2.2)

Dans ce cas on peut écrire $I_{sc} \approx I_{ph}$ du fait que $R_s \ll R_{sh}$

2.3.4.2 Tension de circuit-ouvert (V_{co})

C'est la tension V_{co} pour laquelle le courant débité par la cellule est nul (la tension maximale d'une cellule).

Il est exprimé comme suit :

$$V_{co} = V_t * \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (2.3)$$

Avec : $V_t = \frac{\alpha.K.T}{e}$ qui représente la tension thermique et I_0 le courant de saturation de la diode D.

2.3.4.3 facteur de forme

On appelle facteur de forme FF, dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (fill factor), c'est le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule P_{max} (I_{opt}, V_{opt}) et le produit du courant de court-circuit I_{sc} par la tension de circuit-ouvert V_{co} (c'est-à-dire la puissance maximale d'une cellule idéale). Le facteur de forme indique la qualité de la cellule ; plus il s'approche de l'unité plus la cellule est performante, Il est de l'ordre de 0.7 pour les cellules performantes ; il diminue avec la température. Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites R_s et R_{sh}

Il exprime comme suite:

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} * V_{co}} \quad (2.4)$$

2.3.4.4 Rendement énergétique

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule P_{max} (I_{opt}, V_{opt}) et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} \quad (2.5)$$

Chapitre 2 : production d'énergie photovoltaïque

Avec : P_{inc} est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

Les principales pertes sont dues à :

- ❖ une absorption incomplète des photons,
- ❖ les photons très énergétiques voient la part d'énergie supérieure perdue en chaleur,
- ❖ la collecte des paires d'électrons trous n'est pas optimum, certaines paires d'électrons trous se recombinent avant d'atteindre la jonction.
- ❖ la grille en face avant ne favorise pas la transmission optique maximale du rayonnement solaire. Sa forme géométrique est cependant très optimisée par les constructeurs. Chez certains la grille est faite par laser pour en diminuer la surface.
- ❖ pertes dues à la résistance série (résistance de contact des deux grilles)

2.4 Groupement des Cellules Photovoltaïques

La puissance fournie par une seule cellule solaire étant très faible, plusieurs cellules dont les caractéristiques sont semblables doivent être électriquement associées et encapsulées dans un plastique pour former un GPV pratique [19]. Dans ce qui suit, différents groupements possibles des cellules solaires sont présentés, ainsi que les précautions à prendre pour contourner quelques aléas.

2.4.1 Groupement en série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la tension générale de panneaux solaires est égale à la somme des tensions de chaque cellule.

2.4.2 Groupement en parallèle

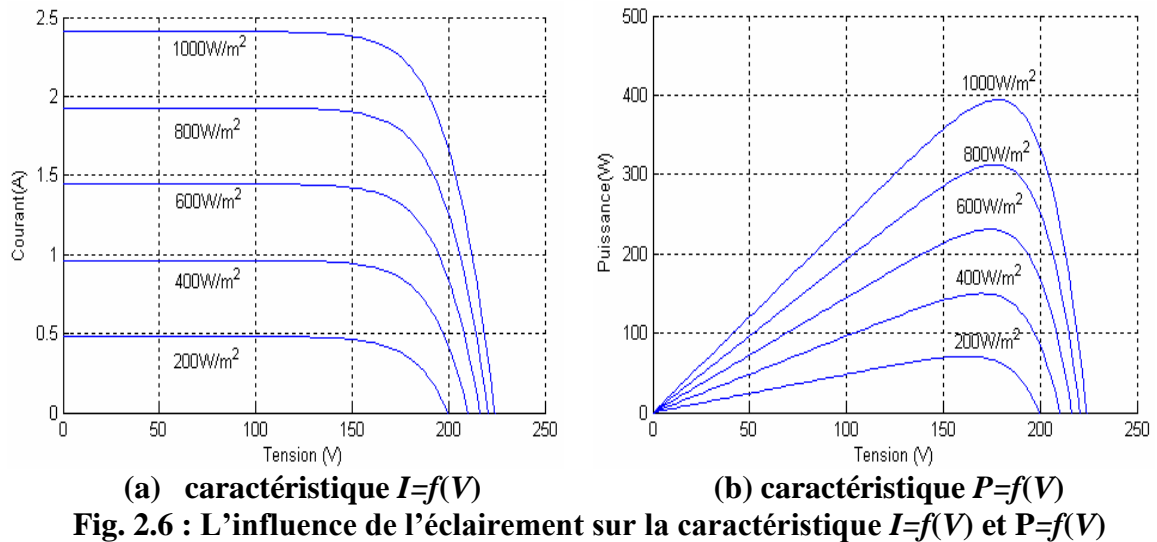
Dans ce groupement on associe plusieurs cellules en parallèle le courant générale de panneaux solaires est égale à la somme des courants de chaque branche [19].

2.4.3 Groupement mixte

Dans ce type de groupement on fait regrouper les cellules en série et parallèle

2.5 Influence de l'éclairement et la température sur les caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$

A une température constante, La (figure (2.6).a) montre que la variation de l'éclairement influe sur le courant, mais par contre la tension varie légèrement. Car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique



Aussi la **figure (2.6).b** illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$ [21]

La figure (2.7) montre l'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$. Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique $I=f(V)$; dont le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influence négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution [22].

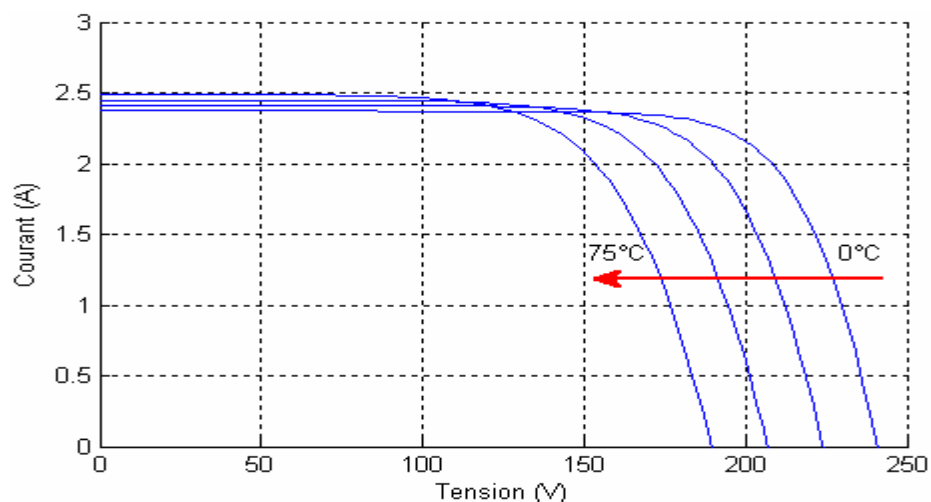


Fig. 2.7: L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$

Chapitre 2 : production d'énergie photovoltaïque

La figure (2.8) illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs de la température, ce qui nous permet de déduire l'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$ [21].

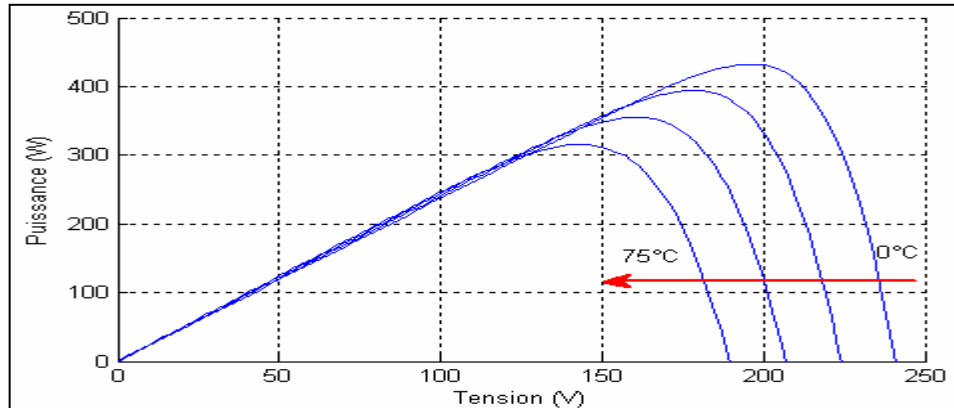


Fig.2.8: L'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$

2.6 Etage d'adaptation entre un générateur PV et une charge

Afin d'extraire, à chaque instant, le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de la transférer à la charge, un étage d'adaptation est utilisé. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments. Il assure, à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur, l'adaptateur communément utilisé en PV est un convertisseur statique (convertisseur de puissance DC/DC). La structure de conversion est choisie en fonction de la charge à alimenter.

Elle peut être survoltrice ou dévoltrice. Si par exemple la charge est une batterie au plomb, ce sont ses plages de tension de charge et de décharge qui vont permettre d'établir la structure la plus adéquate.

2.7 Convertisseur DC-DC pour les systèmes d'énergie solaire

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé [24].

L'hacheur se compose de condensateurs, d'inductance et de commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a de bons rendements dans les hacheurs.

Chapitre 2 : production d'énergie photovoltaïque

Les convertisseurs DC-DC (ou hacheurs) sont utilisés dans les systèmes d'énergie solaire pour adapter la source continue à amplitude variable (panneau PV) à la charge qui demande en général une tension DC constante.

Les trois configurations de base sont :

- **Convertisseur dévolteur(ou Buck)**
- **Convertisseur survolteur (ou boost)**
- **Convertisseur dévolteur- survolteur (Buck-boost)**

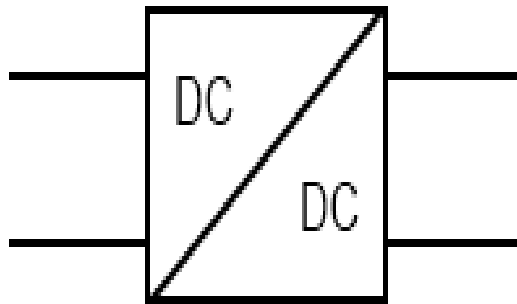


Fig.2.9: Symbole d'un convertisseur DC-DC

2.7 .1 Hacheur Buck

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type tension continue et la charge de sortie continue de type source de courant. L'interrupteur K peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage) [25].

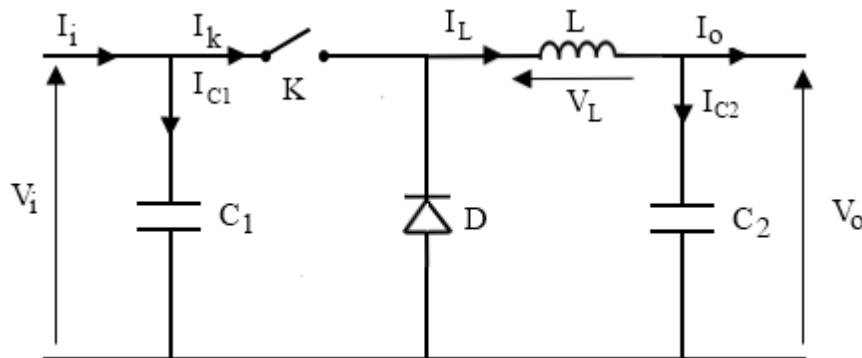


Fig.2. 10: Schéma électrique d'un hacheur buck

a) Fonctionnement :

Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée αT_e la tension appliquée aux bornes de la diode est V_i l'interrupteur est commandé à la fréquence de découpage $f_e = 1/T_e$ La source V_i fournit de l'énergie à la charge et à l'inductance. Pendant le temps $T_e[\alpha T_e; T_e]$ l'interrupteur s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation

Chapitre 2 : production d'énergie photovoltaïque

du courant dans la diode de roue libre D. La tension à ses bornes est donc nulle [26]. Les chronogrammes (tracés dans le cas idéal) de la figure (fig.2.11) sont tracés dans le cas d'une conduction continue, c'est-à-dire que le courant ne repasse jamais par zéro. Pour calculer la relation entre la tension d'entrée et celle de sortie, on exprime que la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle [26]:

$$V_0 = \alpha \cdot V_i \quad (2.6)$$

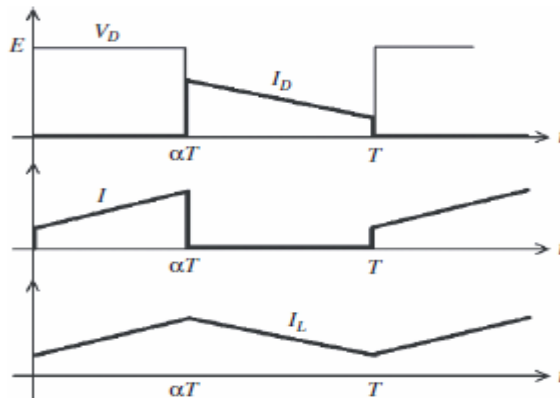


Fig.2. 11 : Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur buck

b) Modèle mathématique équivalent :

Pour savoir le comportement réel nous devons faire la représentation du circuit équivalent par les deux états du commutateur et de tirer par suite le modèle mathématique reliant les variables d'entrée/sortie. La figure (fig.2.12) montre le schéma du circuit équivalent d'un convertisseur dévolteur avec le commutateur fermé, tandis que la figure (fig.2.13) représente le convertisseur dévolteur avec le commutateur ouvert pendant $(1-\alpha)T_e$. [24]

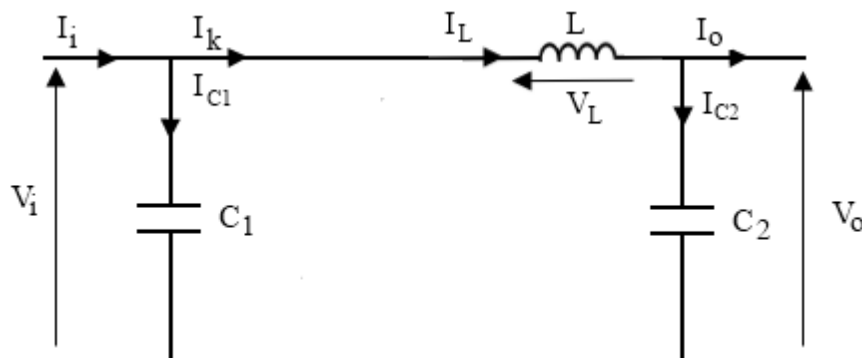


Fig.2. 12 : Schéma électrique d'un hacheur buck fermé

Lorsqu'on applique la loi de Kirchhoff sur le circuit ci-dessus on aura les circuits équivalents suivants :

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_l(t) \quad (2.7)$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_0(t)}{dt} = I_l(t) - I_0(t) \quad (2.8)$$

$$V_L = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_0(t) \quad (2.9)$$

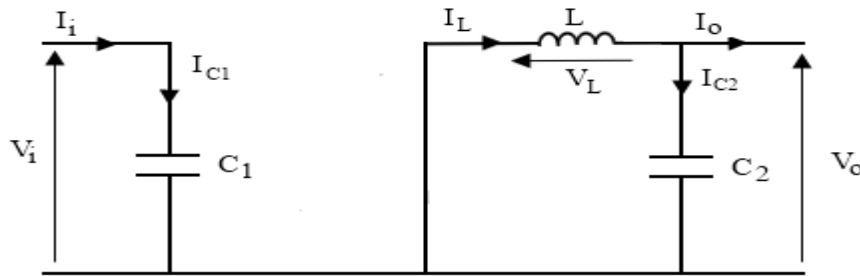


Fig.2. 13: Schéma électrique d'un hacheur buck ouvert

Les équations suivantes sont déduites de la figure (fig.2.13) :

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) \quad (2.10)$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_0(t)}{dt} = I_l(t) - I_0(t) \quad (2.11)$$

$$V_L = L \frac{dV_L(t)}{dt} = -V_0(t) \quad (2.12)$$

2.7 .2 Hacheur boost

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec la charge résistive). L'interrupteur K peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage) [25].

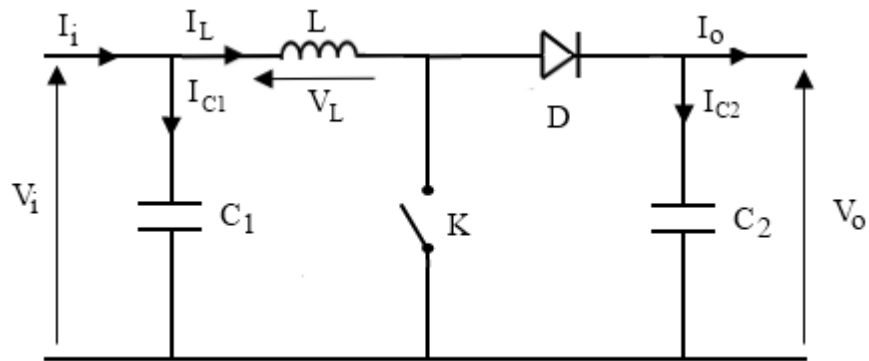


Fig.2. 14: Schéma électrique d'un hacheur boost

a) Fonctionnement :

Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée, αT_e le courant dans l'inductance croît linéairement. La tension aux bornes de K est nulle. Pendant le temps $T_e \in [\alpha T_e; T_e]$ l'interrupteur s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D. On a alors $V_s = V_k$ En écrivant que la tension aux bornes de l'inductance est nulle, on arrive à [26] :

$$V_i = (1 - \alpha) V_0 \quad (2.13)$$

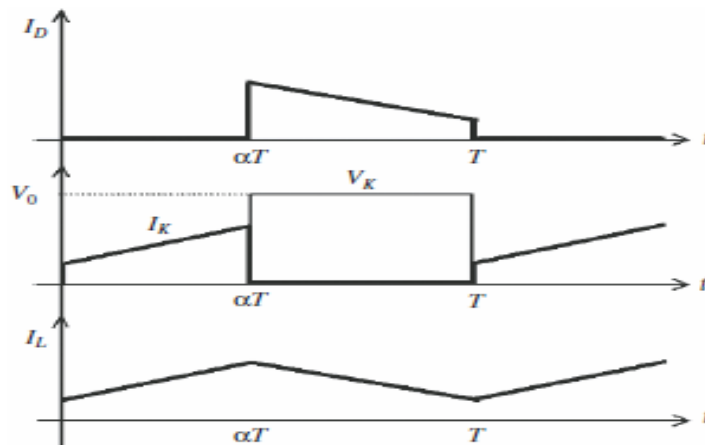


Fig.2. 15: Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur boost

b) Modèle mathématique équivalent :

Afin de pouvoir synthétiser les fonctions du hacheur survolteur à l'état d'équilibre, il est nécessaire de présenter les schémas équivalents du circuit à chaque position de l'interrupteur K. celui de la figure (fig.2.16), présente le circuit équivalent du boost lorsque K est fermé c.-à-d. entre $[0, \alpha T_e]$ [24].

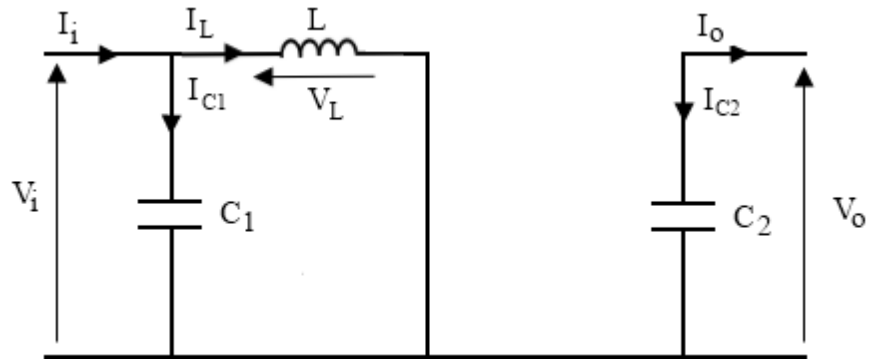


Fig.2. 16: Schéma électrique d'un hacheur boost fermé

Comme pour le circuit buck, l'application des lois de Kirchhoff sur les circuits équivalents des deux phases de fonctionnement donne :

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_l(t) \quad (2.14)$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = -I_o(t) \quad (2.15)$$

$$V_L = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_i(t) \quad (2.16)$$

À l'état ouvert de l'interrupteur K, le circuit équivalent au fonctionnement du Boost est le suivant:

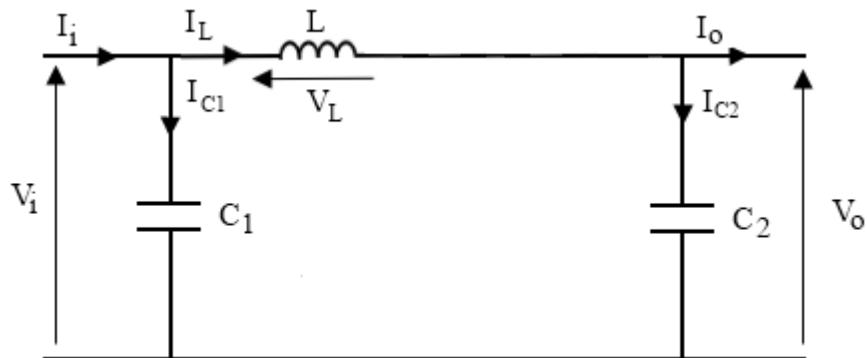


Fig.2. 17: Schéma électrique d'un hacheur boost ouvert

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_l(t) \quad (2.17)$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_l(t) - I_o(t) \quad (2.18)$$

$$V_L = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \quad (2.19)$$

2.7.3 Hacheur Buck-Boost

Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriétés des deux convertisseurs précédents, il est utilisé comme un transformateur idéal de n'importe quelle tension d'entrée pour n'importe quelle tension de sortie désirée; son schéma de base est illustré par la figure (2.18) [24] :

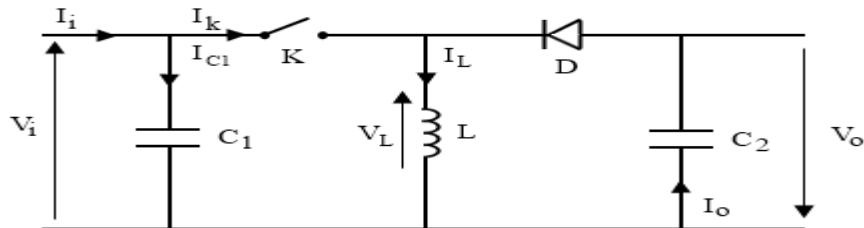


Fig.2. 18: Schéma électrique d'un hacheur buck- boost

a) Fonctionnement :

Cette structure de convertisseur permet d'obtenir des tensions négatives à partir de tension positive. Le schéma de principe est présenté figure (fig. 2.19). Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée αT_e , le courant augmente linéairement. La tension est égale à V_i . À l'ouverture de K, la diode prend le relais et la tension V_L est égale à $-V_0$. Par définition la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle. Il en résulte que [26] :

$$V_i \cdot \alpha T_e = V_0(1-\alpha)T \quad (2.20)$$

quand le rapport cyclique $\alpha > 0.5$ le hacheur buck-boost fonction comme un hacheur boost et si le rapport cyclique $\alpha < 0.5$ le hacheur buck-boost fonction comme un hacheur buck.

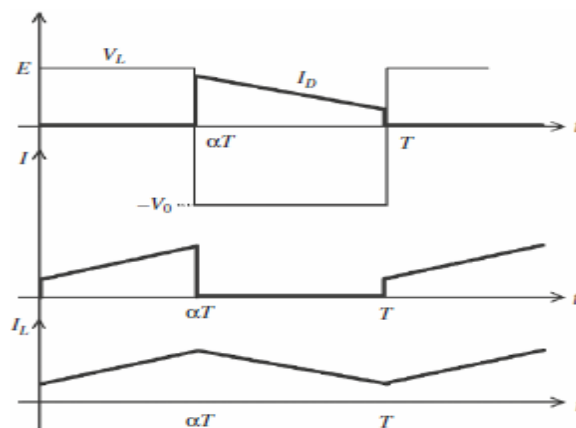


Fig.2. 19 : Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur buck-boost

b) Modèle mathématique équivalent :

Lorsque l'interrupteur K est fermé le circuit équivalent est montré sur la figure (fig.2.20)

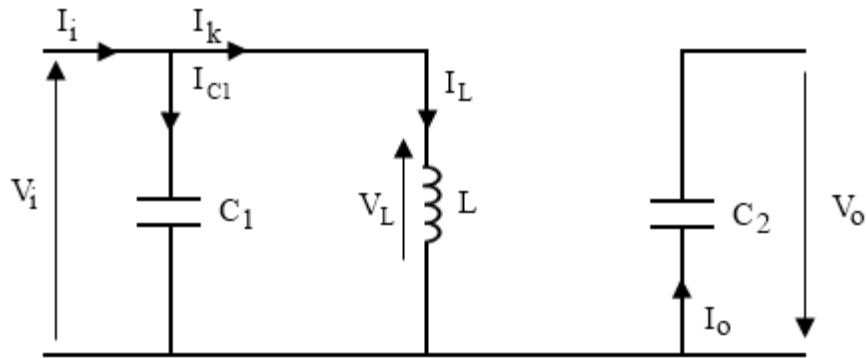


Fig.2. 20: Schéma électrique d'un hacheur buck- boost fermé

En appliquant la loi de Kirchhoff à ce circuit on obtiendra les équations suivantes :

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \quad (2.21)$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = - I_o(t) \quad (2.22)$$

$$V_L = L \frac{dI_L(t)}{dt} = V_i(t) \quad (2.23)$$

Lorsque l'interrupteur K est ouvert le circuit équivalent apparaît à la figure (fig.2.21)

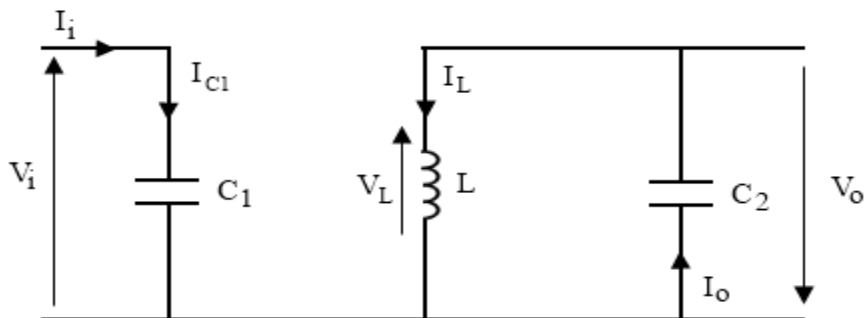


Fig. 2. 21: Schéma électrique d'un hacheur buck- boost ouvert

Le circuit équation dans cette configuration est comme suit :

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) \quad (2.24)$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_L(t) - I_o(t) \quad (2.25)$$

$$V_L = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_0(t) \quad (2.26)$$

2.8 Commande MPPT

Nous pouvons classer d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique: analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant de les classer selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT. Bien qu'il existe un grand nombre de publications scientifiques qui présentent des commandes MPPT plus ou moins complexes

La figure (2.22) montre le diagramme synoptique d'un système photovoltaïque, avec son contrôleur MPPT qui a pour entrées la tension et le courant de sortie du module. Dans la plupart des cas, on fait une maximisation de la puissance fournie par le module solaire.

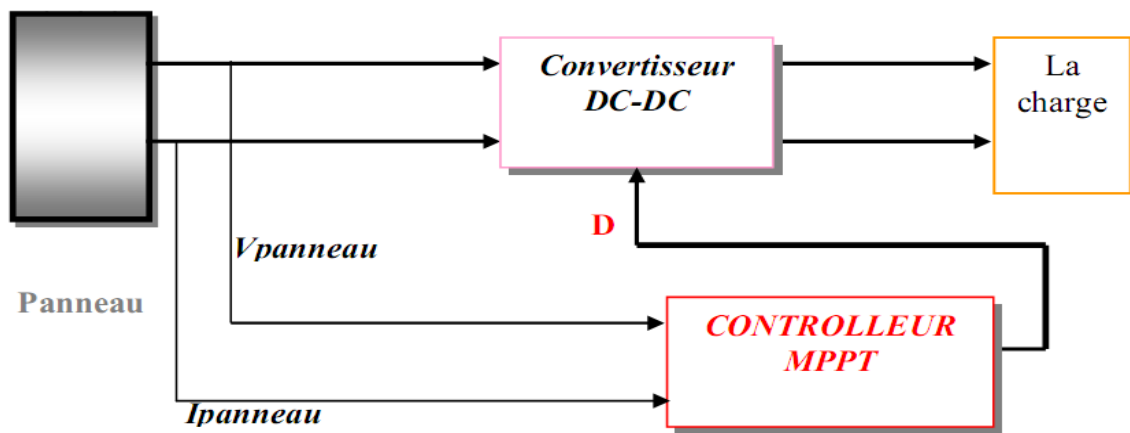


Fig. 2. 22: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec MPPT

2.9 Méthode de poursuite du point de puissance maximale

2.9.1 Méthodes de la dérivée de la puissance

Cette méthode est basée sur la recherche de l'extremum de la courbe de puissance $P_{pv} = f(V_{pv})$ obtenue directement de la caractéristique du GPV. Le (PPM) est obtenu lorsque la dérivée de la puissance par rapport à la tension est nul, c'est-à-dire, lorsque $(dP_{pv}/dV_{pv}=0)$ [8]

2.9.1.1 Méthode de la perturbation et l'observation (P&O)

La méthode P&O est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation. Comme son nom l'indique, cette méthode fonctionne en perturbant le système et en observant l'impact sur la puissance à la sortie du GPV. Si la tension de fonctionnement est perturbée dans une direction donnée et que la puissance augmente ($dP/dv > 0$) alors il est clair que la perturbation a déplacé le point de fonctionnement vers le MPP. L'algorithme P&O continuera à perturber la tension dans la même direction. Par

Chapitre 2 : production d'énergie photovoltaïque

contre, si la puissance diminue ($dP=dV < 0$), L'algorithme inversera la direction de la perturbation suivante. Cet algorithme est résumé sur le tableau (2.1) [27][28]et l'organigramme de la figure (2.27)

| Perturbation | Changement dans la Puissance | Perturbation suivante |
|--------------|------------------------------|-----------------------|
| + | + | + |
| + | - | - |
| - | + | - |
| - | - | + |

Tableau (2.1) :Table de vérité de l'algorithme « perturbation et observation ».

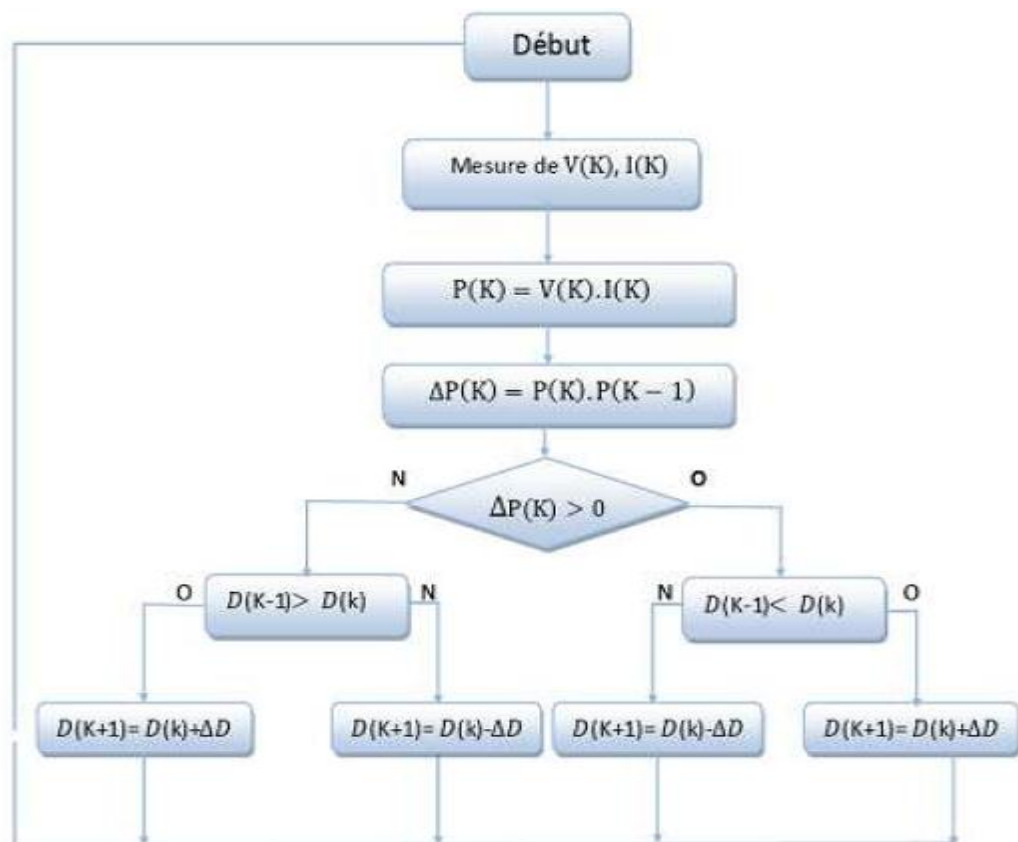


Fig. 2.23 : Organigramme d'algorithme (P&O) .

2.10 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'analyse du générateur photovoltaïque GPV et leurs différents groupements possibles. Et on a étudié quelques types convertisseurs DC-DC, utilisés dans les systèmes photovoltaïques. Comme le hacheur dévolteur, le hacheur survolteur et le hacheur mixte (dévolteur-survolteur), on a présenté aussi la commande MPPT du générateur photovoltaïque.

Chapitre 3 :

Filtre actif parallèle et stratégie de commande

3.1 Introduction

Nous venons de voir dans un premier chapitre les différentes perturbations susceptibles de nuire au bon fonctionnement des systèmes électriques, en particulier les harmoniques, ainsi que les solutions appropriées pour la dépollution notamment le filtrage actif.

Le filtre actif parallèle de puissance (FAP) est une solution moderne et adéquate permet de remédier aux perturbations en courant. Ce compensateur peut être utilisé pour compenser les courants harmoniques, les courants déséquilibrés et le fondamental réactif. Il s'insère entre le réseau et la charge non linéaire. Les performances d'un filtre actif parallèle dépendent en grande partie du type de modulation mise en œuvre pour la commande des interrupteurs, du dimensionnement des éléments de couplage au réseau et du système de stockage (généralement capacitif), de la dynamique des algorithmes d'extraction et de contrôle des courants. Les objectifs de ce chapitre sont de comprendre la structure du filtre actif parallèle ainsi que son fonctionnement général. Nous examinerons le rôle des multiples éléments le composant et aussi, nous présentant ces principaux types de commande.

3.2 Principe de filtre actif parallèle

Les progrès dans le domaine des semi-conducteur de puissance a permis de concevoir de dispositif d'élimination des harmoniques appelés filtres actifs dont l'objectif est l'élimination des problèmes intrinsèque des filtre passif, l'association des filtre actif et passif peut aussi conduire a des solutions qui augmentent leur performance et leur potentialité d'application; la combinaison des filtre actif et passif a été élu et retenu comme l'idéale solution pour réduire les harmonique et améliore le facteur de puissance. [30]

L'utilisation des filtres actifs contribue à la minimisation des harmoniques survenant dans les réseaux de distribution de l'énergie électrique causés par la connexion des charges non linéaires. [2]



Fig. 3.1 : Principe du filtrage actif parallèle

Ce filtre est le plus souvent commandé comme un générateur de courant, il génère des courants harmoniques, en opposition de phase avec le réseau, afin que la somme avec ceux-ci soit nulle. Il permet donc de supprimer au point de raccordement tous les harmoniques de courants de charge non linéaire [31].

3-3 Structure d'un filtre actif parallèle

Le filtre actif parallèle se compose de deux parties distinctes: La partie puissance et la partie commande.

La partie puissance est constituée d'un élément de stockage d'énergie, d'un pont onduleur triphasé et d'un filtre de sortie généralement du premier ordre. Pour la partie commande, on a un bloc d'identification des courants de références, un bloc de contrôle des courants injectés au réseau ainsi que la commande des interrupteurs.

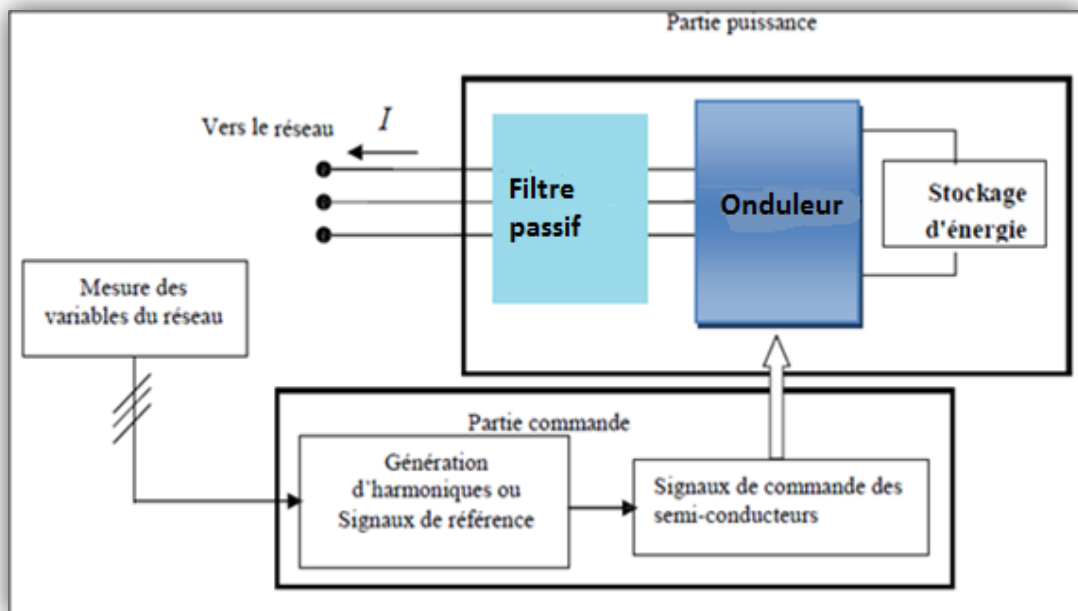


Fig.3.2 : schéma synoptique d'un filtre actif parallèle

3.3.1 Etude de la partie puissance

3.3.1.1 L'onduleur de tension

L'onduleur de tension connecté en parallèle au réseau est illustré par la figure (3.3). La capacité C_f joue le rôle d'une source de tension continue. La tension V à ses bornes doit être positive et maintenue quasiment constante. Ses fluctuations doivent être faibles d'une part pour ne pas dépasser la limite en tension des semi-conducteurs constituant les interrupteurs, d'autre part pour ne pas dégrader les performances du filtre actif [32].

Chapitre 3 : Filtre actif parallèle et stratégie de commande

L'onduleur de tension est relié au réseau par l'intermédiaire d'un filtre passif. Deux rôles sont dévolus à ce filtre: d'une part transformer les variations de tension V_f en variations de courant, d'autre part filtrer les fréquences de commutation des bras d'onduleur. Les interrupteurs de l'onduleur sont réversibles en courant. Ils sont constitués de semi-conducteurs commandés à l'ouverture et à la fermeture en anti-parallèle avec une diode roue libre [32]

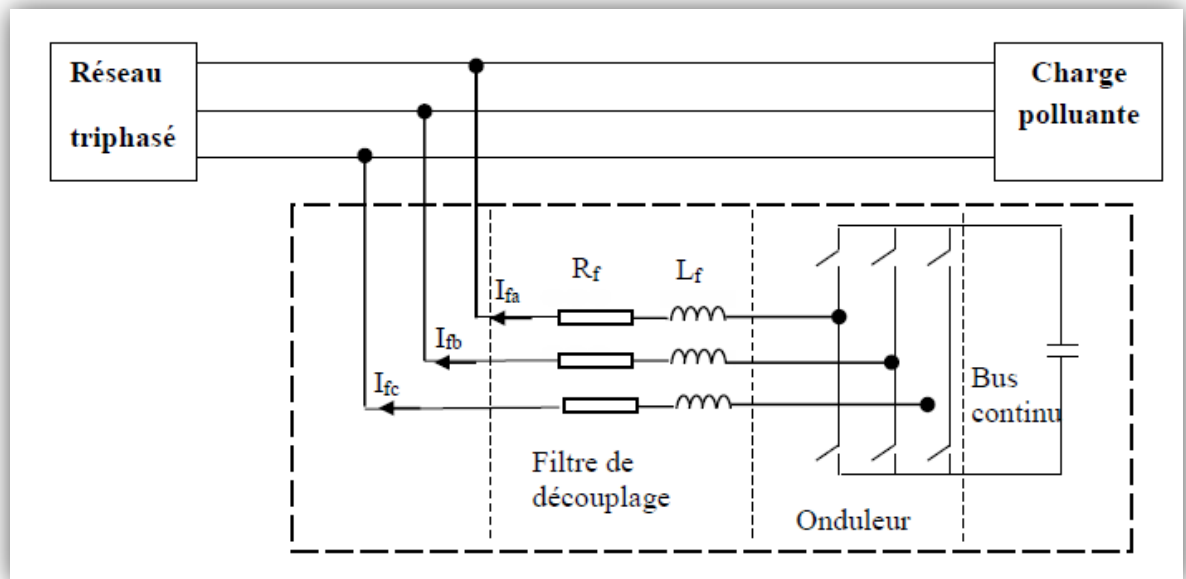


Fig. 3.3 : Schéma du circuit de puissance d'un filtre actif parallèle à structure tension

3.3.1.2 Système de stockage d'énergie

Le stockage de l'énergie du côté continu se fait souvent par un système de stockage capacitif représenté par un condensateur C_{dc} qui joue le rôle d'une source de tension continue V_{dc} comme le montre la figure (3.3). Le choix des paramètres du système de stockage (V_{dc} et C_{dc}) se répercute sur la dynamique et sur la qualité de compensation du filtre actif parallèle. En effet, une tension V_{dc} élevée améliore la dynamique du filtre actif. De plus, les ondulations de la tension continue (V_{dc} , causées par les courants engendrés par le filtre actif et limitées par le choix de C_{dc} peuvent dégrader la qualité de compensation du filtre actif parallèle. Ces fluctuations sont d'autant plus importantes que l'amplitude du courant du filtre est grande et que sa fréquence est faible [2].

3.3.1.3 Filtre de sortie

Le filtre de sortie est un filtre passif utilisé pour connecter l'onduleur de tension au réseau électrique. Ce filtre permet d'une part de convertir le compensateur en un dipôle de

courant du point de vue du réseau, et d'autre part à limiter la dynamique du courant, de façon à le rendre plus facile à contrôler [8].

3.3.2 Etude de la partie commande du FAP triphasé

La partie commande dépend de :

- L'algorithme de commande utilisé pour identifier les références des courants ou de tensions
- La boucle de régulation de la tension du réservoir capacitif
- Le mode de contrôle utilisé pour la génération des ordres de commande des interrupteurs de puissance

Puisque, le but étant d'améliorer les caractéristiques du filtrage tout en utilisant une méthode de commande de complexité réduite. Pour ce dernier facteur, la stratégie de commande qui fait l'objet de notre étude sur le FAP triphasé est la commande par hystérésis classique.

3.3.2.1 les courants harmoniques de référence

Le but du filtrage actif est la génération de courants harmoniques de même amplitude mais en opposition de phase avec ceux absorbés par la charge. Ainsi, le courant absorbé au réseau sera sinusoïdal. Il est donc nécessaire d'identifier avec précision les courants harmoniques de la charge polluante [33].

3.3.2.2 Estimation du courant de référence de source

Les courants de référence instantanés i_{sa} , i_{sb} , i_{sc} sont calculés à partir de la multiplication de trois sinus unitaires ($I \sin(\omega t)$, $I \sin(\omega t + 2\pi/3)$, $I \sin(\omega t + 4\pi/3)$) par la valeur crête de courant de référence de la source I_{sm} [33].

Cette méthode exige que la tension du réseau doit être saine (sinusoïdale et équilibrée), sinon elle n'est pas applicable. Puisque la tension du réseau est souvent perturbée et/ou déformée, et afin de généraliser l'application de cette méthode d'identification que nous avons adoptée à tout type de tension, l'utilisation de la boucle à verrouillage de phase (phase-locked-loop) est indispensable pour la synthèse des trois sinus unitaires.

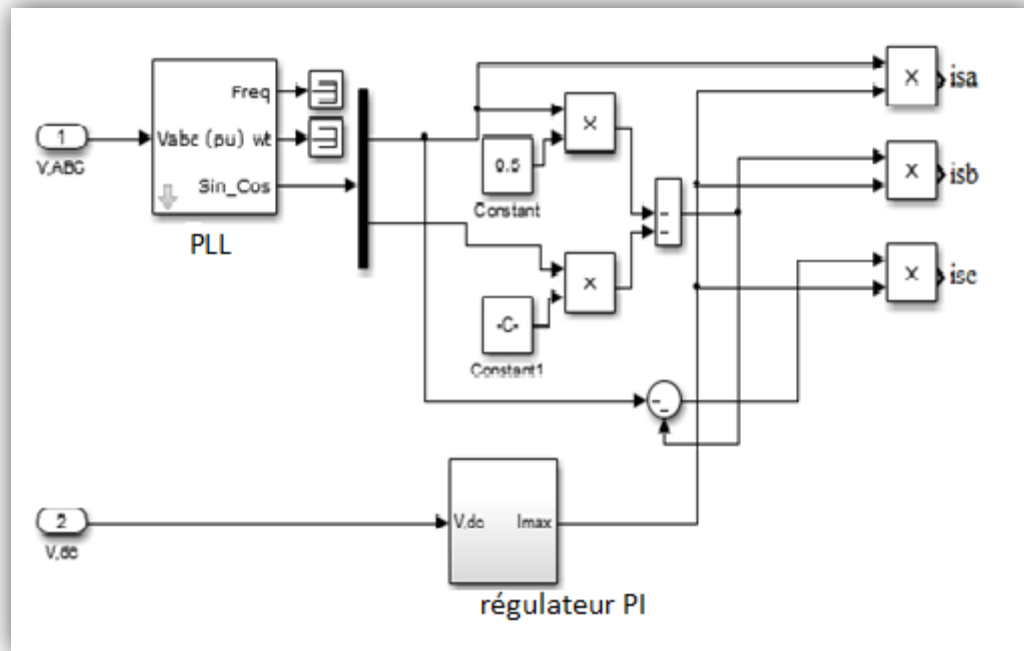


Fig. 3.4. Schéma de calcul des courants de référence de source avec le régulateur PI.

3.3.2.1 régulation de la tension du bus continu

La régulation du bus continu est basée sur le principe de deux boucles en cascades, une boucle interne en courant et une autre externe en tension. [33]. Le rôle de la boucle de régulation de la tension du bus continu est de maintenir cette tension à une valeur de référence constante, en contrôlant le processus de la charge et de décharge du condensateur. La tension du bus continu V_{dc} est détectée et comparée à une tension de référence V_{dc}^* , le résultat de cette comparaison (l'erreur) est appliqué au régulateur PI pour obtenir l'amplitude des trois courants de référence de la source I_{sm} .

Ensuite cette amplitude sera multipliée par trois signaux sinusoïdaux d'amplitude égale à l'unité pour l'obtention des trois courants de référence instantanés de source.

3.3.3 Commande par hystérésis de l'onduleur du FAP

La commande conventionnelle par hystérésis est très couramment utilisée de par sa simplicité d'utilisation et sa robustesse. En fait, cette stratégie assure un contrôle satisfaisant du courant sans exiger une connaissance du système à contrôler ou de ses paramètres. Ce contrôle du courant par hystérésis consiste à maintenir le courant dans une bande enveloppant sa référence. Chaque violation de cette bande donne un ordre de commutation aux interrupteurs (figure 3.6). La différence entre le courant de référence et celui mesuré est appliquée à l'entrée d'un comparateur à hystérésis dont la sortie fournit l'ordre de commande du bras correspondant du pont.

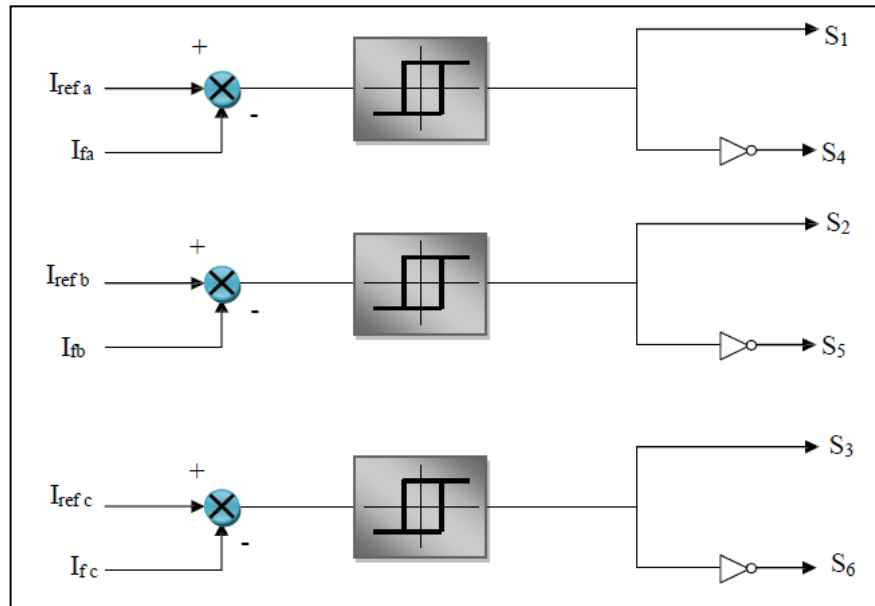


Fig. 3.5. Principe de contrôle du courant par hystérésis.

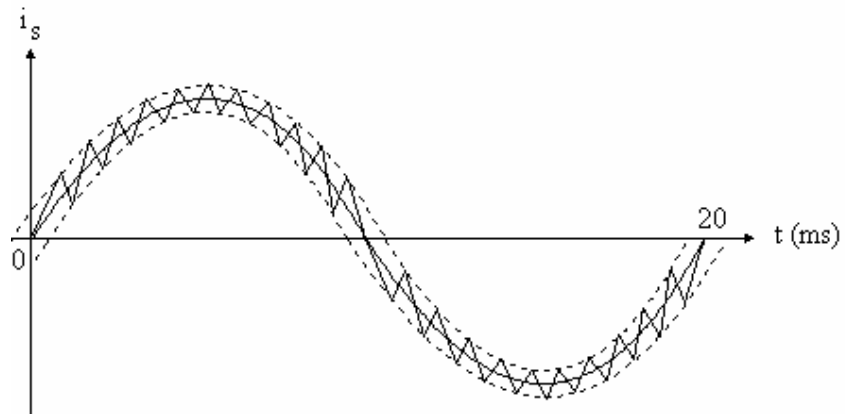


Fig. 3.6 : bande hystérésis

3.4 Conclusion

Nous avons présenté et défini, dans ce chapitre, la plupart des éléments constituant la structure du filtre actif parallèle. Cette structure a été partagée en deux parties, la partie puissance et la partie commande.

Nous avons présenté aussi la stratégie de commande de l'onduleur par hystérésis couramment utilisée dans les applications des filtres actifs. La commande par hystérésis est très simple et très rapide tandis que sa fréquence instantanée des commutations n'est pas contrôlable.

Chapitre 4 :

*Simulation du système de compensation
photovoltaïque*

4.1 Introduction

Dans ce quatrième chapitre nous allons démontrer la faisabilité du système d'injection et de compensation proposé, au début on simule le système réseau charge non-linéaire, puis on simule le système globale de compensation par le raccordement du GPV au réseau toute on injectant de la puissance a ce dernier via le filtre active.

4.2. Système de Compensation Photovoltaïque proposée

Le système de compensation proposé contient un générateur photovoltaïque, un convertisseur survolteur de type Boost, une commande MPPT, un onduleur de tension (DC-AC) commandé par hystérésis, un bus DC, un filtre de sortie ; une charge non linéaire et un réseau électrique figure (4.1).

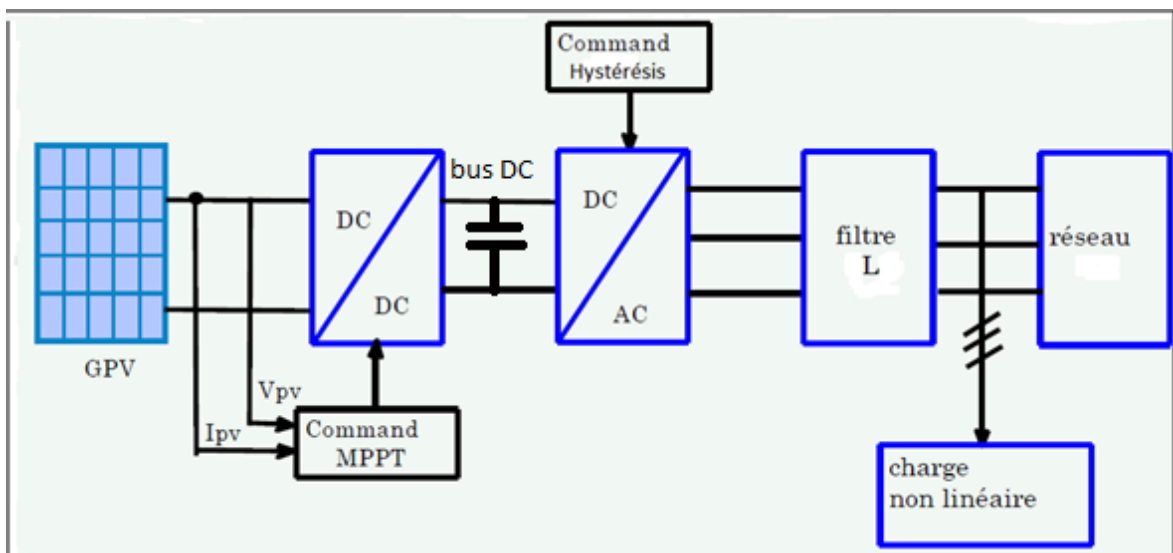


Fig.4.1 : schéma synoptique d'un système photovoltaïque relié au réseau électrique

Les modèles ont été réalisées en utilisant le logiciel de simulation MATLAB et nous ont permis d'analyser les performances et la faisabilité du système de compensation des harmoniques aussi bien dans le domaine temporel que spectral.

4.3 Simulation du générateur PV

Le module photovoltaïque contient 72 cellules solaires, et fournit une puissance maximum nominale de 123W. Les caractéristiques physiques et électriques de ce panneau photovoltaïque sont données par le tableau suivant :

Chapitre 4 : Simulation du système de compensation photovoltaïque

| | |
|---|----------------------|
| Eclairement standard G | 1000w/m ² |
| Température standard T | 25°C |
| Puissance maximale Pmax | 123W |
| Tension à Pmax ou tension optimale Vopt | 34.8V |
| Courant à Pmax ou courant optimale Iopt | 3.537A |
| Courant de court- circuit Isc | 3.8A |
| Tension à circuit ouvert Voc | 43.5V |
| Nombre des cellules en séries | 72 |

Tableau (4.1) : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque dans les conditions standards «CST»

Le schéma représentatif du modèle mathématique courant tension d'un module photovoltaïque sous matlab-simulink est donné par la figure 4.2.

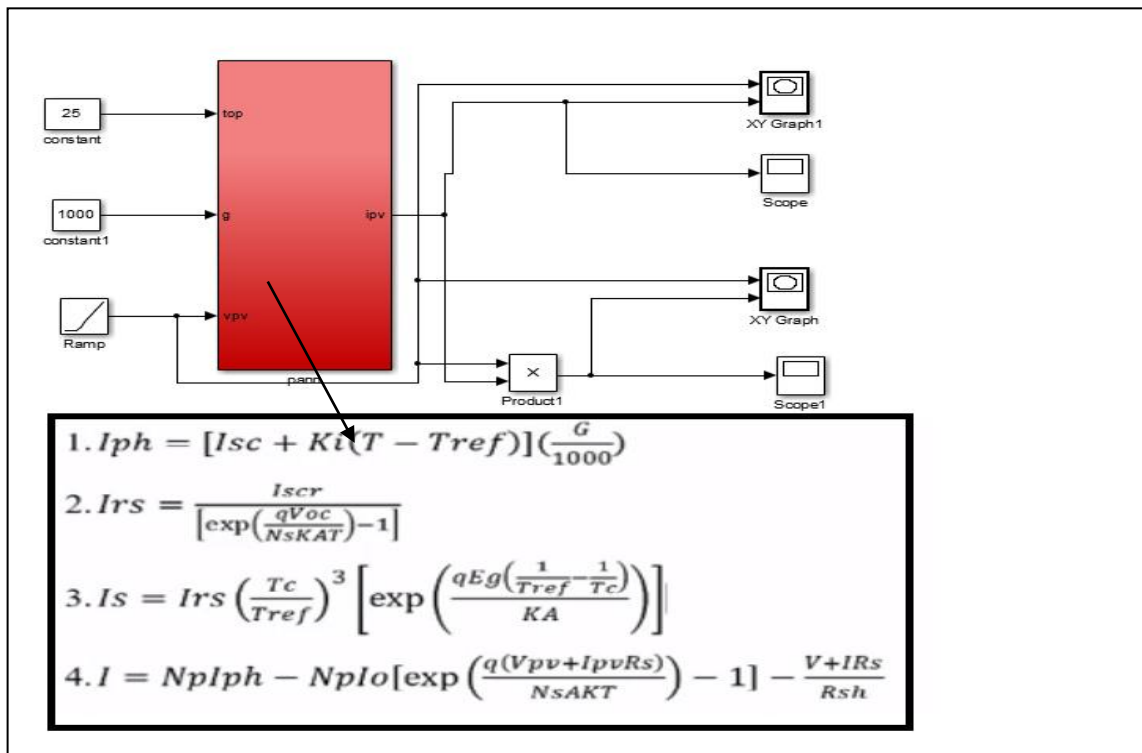


Fig. 4.2 : Modèle de simulation d'un générateur PV

Chapitre 4 : Simulation du système de compensation photovoltaïque

4.3.1. Simulation du générateur (GPV) à éclairage et température Constante

La caractéristique, ($I_{pv}=f(V_{pv})$) est donnée par la figure (4.3) :

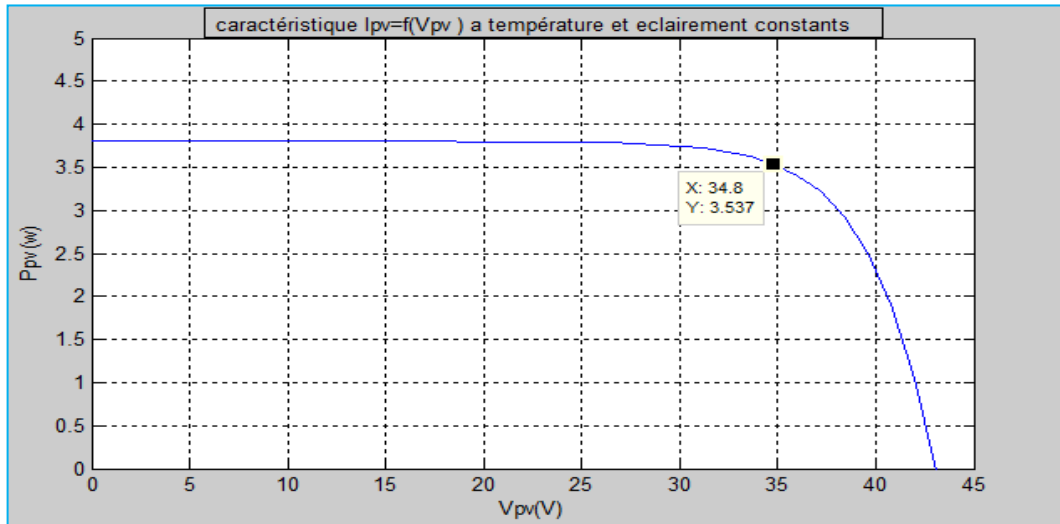


Fig.4.3 : Caractéristique (courant-tension) du GPV.

La caractéristique, ($P_{pv}=f(V_{pv})$) est donnée par la figure (4.4) :

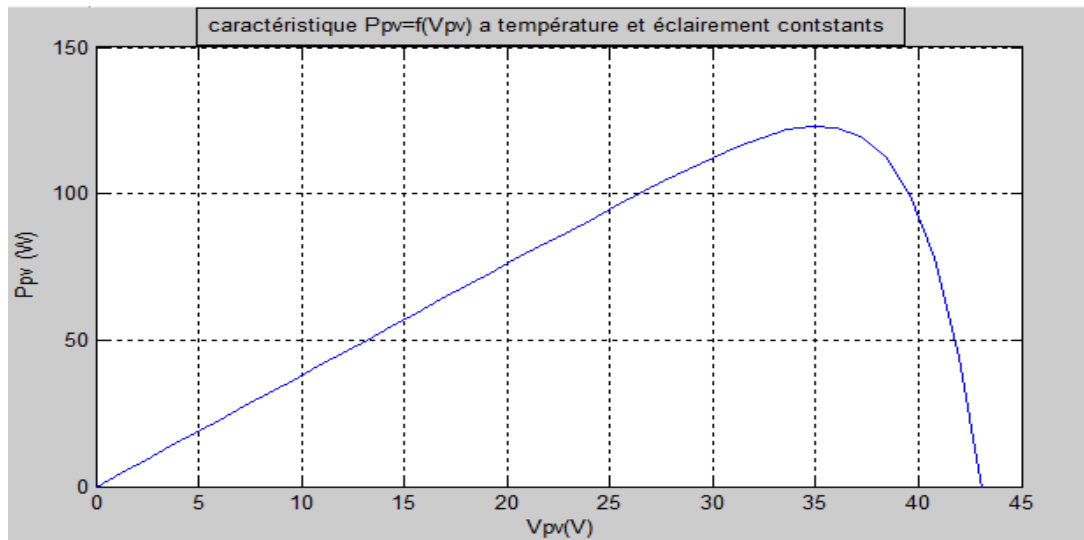


Fig.4.4 : Caractéristique (puissance-tension) du GPV.

4.3.2 Simulation du générateur (GPV) à éclairage et à température variable

Afin d'observer l'influence des conditions externes éclairage et température sur les caractéristiques $I_{pv}=f(V_{pv})$ et $P_{pv}=f(V_{pv})$ nous avons adopté la méthode suivante :

Chapitre 4 : Simulation du système de compensation photovoltaïque

✚ Pour visualiser l'influence de l'éclairement, on fixe la température ambiante $T=25$ C° et on fait varier l'éclairement dans une gamme suffisante.

✚ Pour un éclairement constant ($G_a=1000\text{w/m}^2$) nous ferons varier la température afin de voir l'influence de celle-ci par rapport aux caractéristiques du GPV.

4.3.2.1. L'influence de l'éclairement sur la caractéristique ($I_{pv}=f(V_{pv})$)

En faisant varier l'éclairement (G) entre (400w/m^2 et 1000w/m^2) avec un pas de (200w/m^2) la caractéristique $I_{pv}=f(V_{pv})$ est donnée par la figure (4.5).

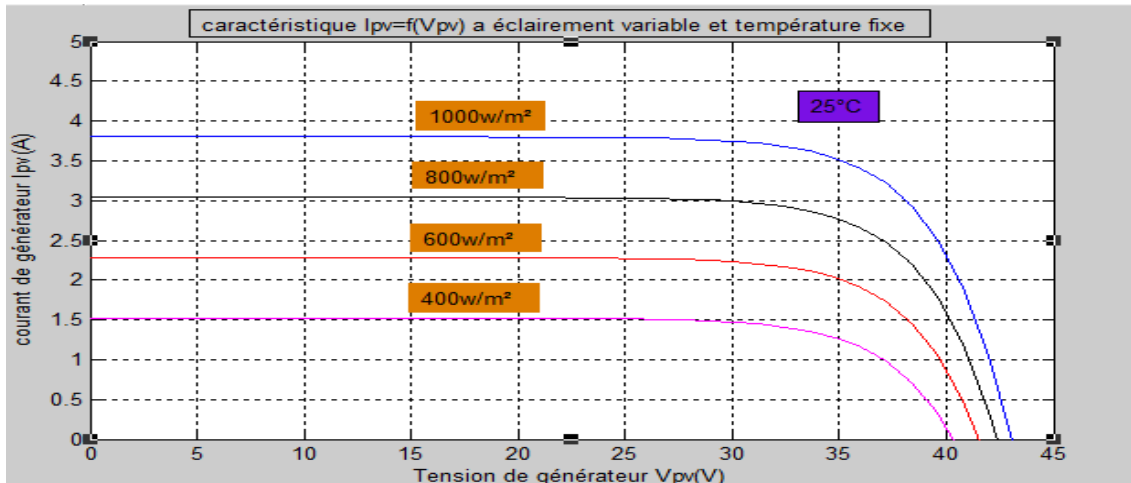


Fig. 4.5 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique $I_{pv}=f(V_{pv})$

D'après la figure (4.5) on remarque le changement de l'éclairement entraîne une forte diminution du courant de court-circuit et une faible diminution de la tension du circuit ouvert.

4.3.2.2. L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$

En faisant varier l'éclairement (G) entre (400w/m^2 et 1000w/m^2) avec un pas de (200w/m^2) la caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$ est donnée par la figure (4.6).

On remarque d'après la figure (4.6) que la variation de l'éclairement influe sur la puissance du GPV, plus l'éclairement augmente plus la puissance augmente.

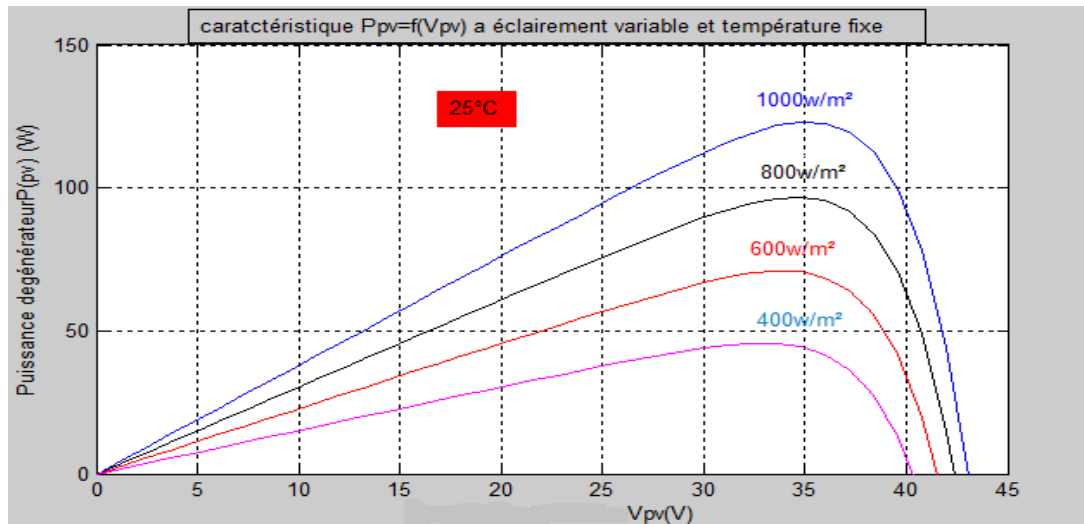


Fig. 4.6 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique ($P_{pv}=f(V_{pv})$)

4.3.2.3. L'influence de la température sur la caractéristique $I_{pv}=f(V_{pv})$

En faisant varier la température entre (0 C° et 75C°) avec un pas de (25C°) la caractéristique $I_{pv}=f(V_{pv})$ est donnée par la **figure (4.7)**. Pour un éclairement $G=1000w/m^2$.

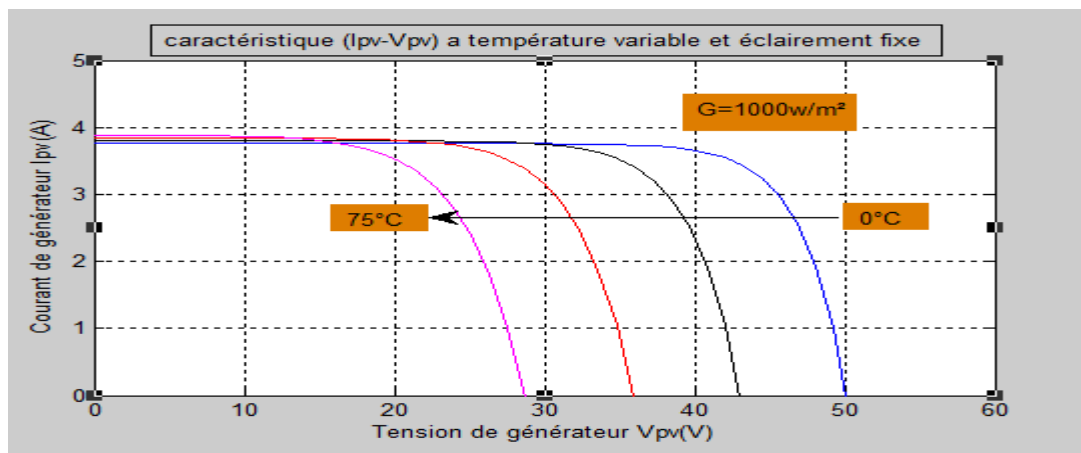


Fig. 4.7 : Influence de la température sur la caractéristique $I_{pv}=f(V_{pv})$

On constate d'après la figure (4.7) que la tension de circuit ouvert V_{oc} d'un module photovoltaïque (une cellule solaire) diminue avec l'augmentation de la température. Par contre, Le courant de court-circuit, augmente légèrement avec la température du module PV (de la cellule solaire).

4.3.2.4. L'influence de la température sur la caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$

La caractéristique ($P_{pv}=f(V_{pv})$) est donnée par la **figure (4.8)**.

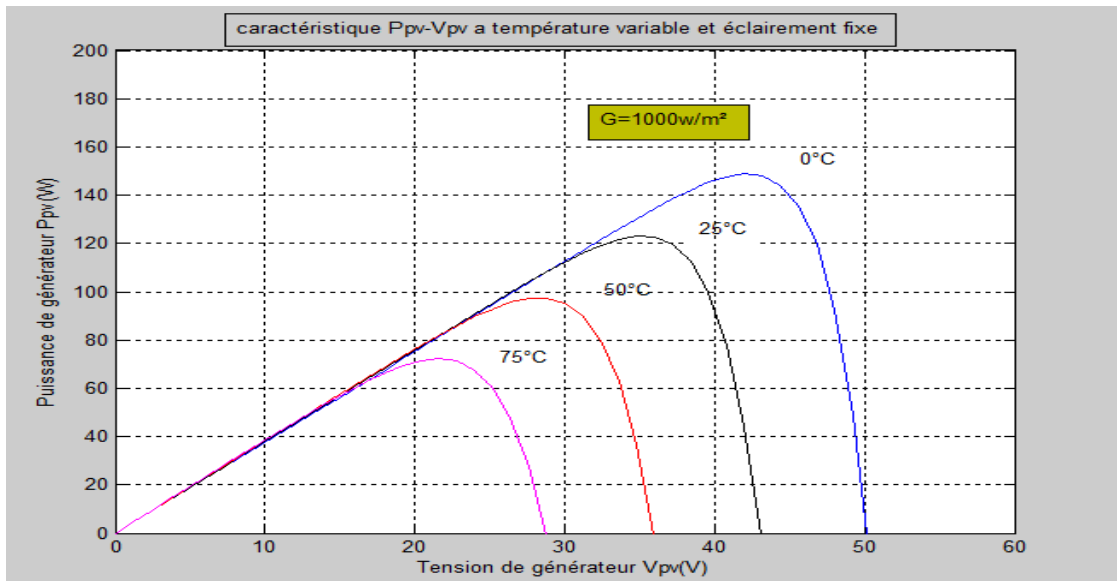


Fig. 4.8 : Influence de la température sur la caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$

On peut remarquer sur la figure (4.8) que l'augmentation de la température se traduit par une diminution de la puissance maximale disponible.

4.4 Simulation du hacheur Boost avec la commande MPPT

Dans cette simulation on a utilisé un générateur PV et un hacheur boost caractérisé par:

- Inductance d'entrée ($l=0.01H$)
- Capacité d'entrée ($C=2*(10^{-3}) F$)
- Capacité de sortie ($C=2*(10^{-3}) F$)
- IGBT et une diode de puissance

On a utilisé aussi une commande MPPT de type P&O et Charge($R=500\Omega$)

4.4.1. Modèle de simulation :

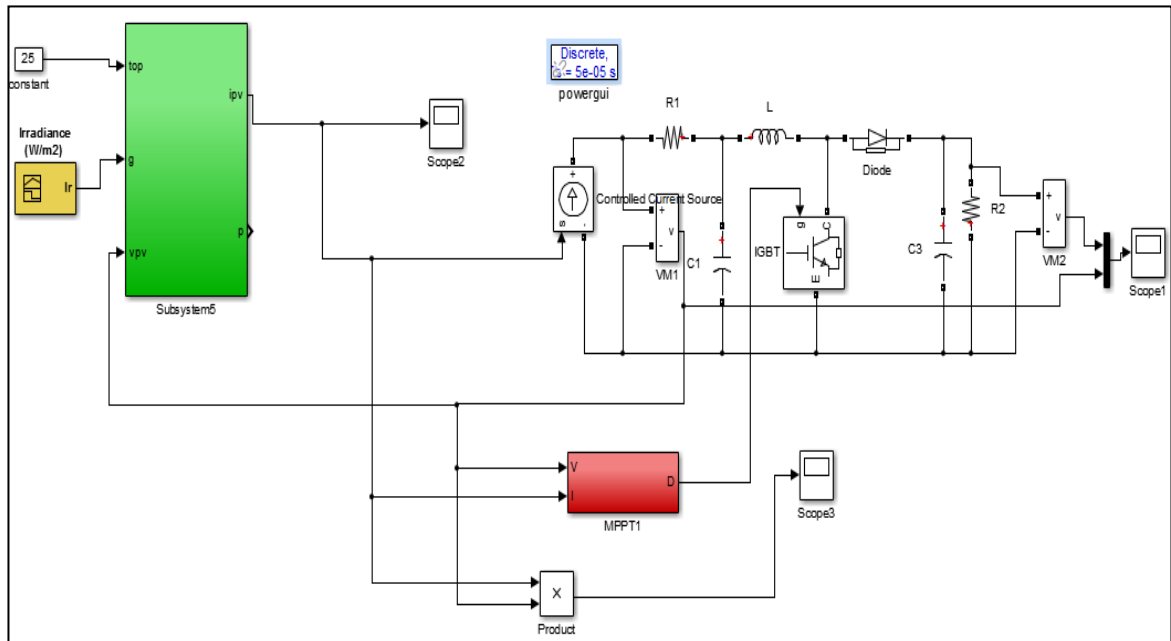


Fig. 4.9 : Modèle de simulation d'un PV avec un hacheur commandé en MPPT

L'objectif fixé dans ces simulations est de faire fonctionner le GPV à son point de puissance max, et d'atteindre une tension suffisamment grande à partir d'une tension relativement faible en sortie du GPV avec un rapport cyclique ($\alpha > 0.5$).

4.4.2. Résultat de simulation :

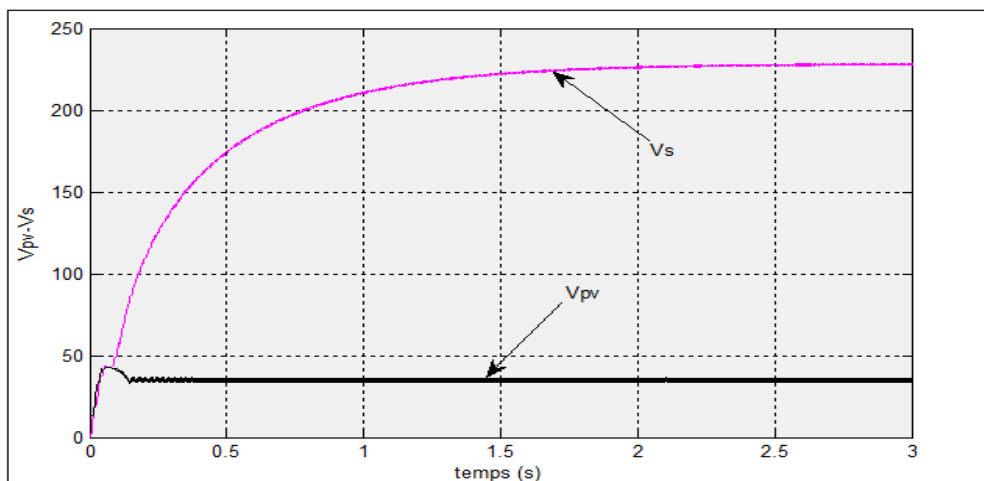


Fig. 4.10 : Caractéristique $V_{pv}=f(t)$ et $V_s=f(t)$ du hacheur boost

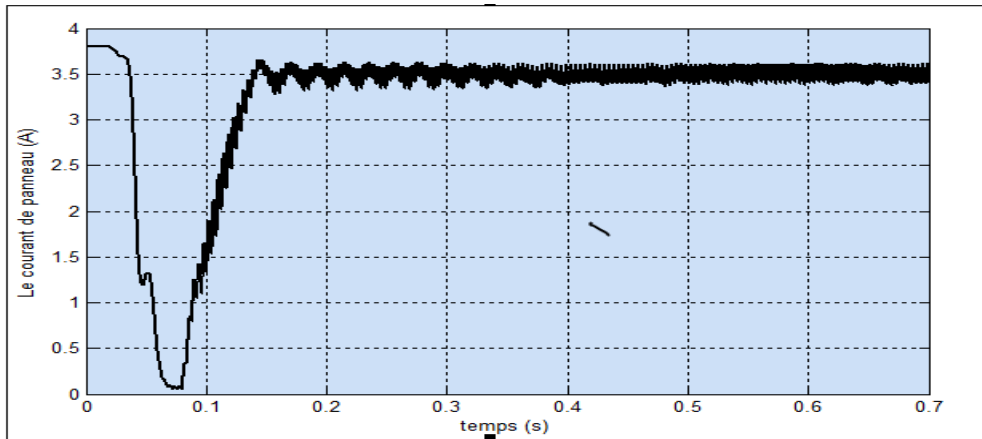


Fig. 4.11 : le courant du panneau PV

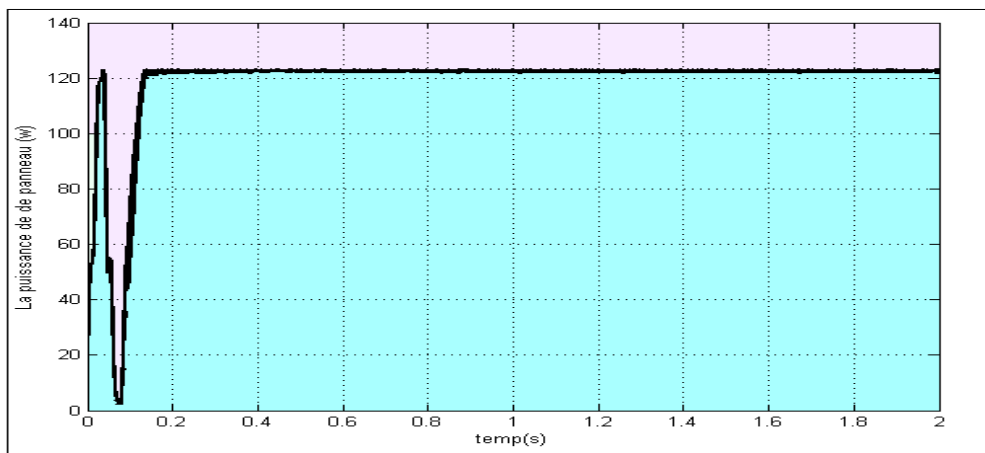


Fig. 4.12 : La puissance du module photovoltaïque

D'après la figure (4.10), au départ la tension V_{pv} prend un saut puis elle se stabilise à la valeur désirée (tension optimale).

D'après la figure (4.11) on remarque qu'au départ le courant prend la valeur de court-circuit ensuite il revient à la valeur nominale.

Dans la figure (4.12) on remarque que le générateur PV fonctionne en puissance maximale après le régime transitoire.

4.4.3 Simulation du hacheur Boost à éclairement variable

Au démarrage le niveau d'éclairement est fixé à ($G=1000\text{w/m}^2$), à l'instant ($t=1.5\text{s}$) le niveau de l'ensoleillement passe brusquement à ($G=600\text{w/m}^2$), et puis de nouveau à ($G=1000\text{w/m}^2$) à l'instant($t=2\text{s}$) (fig. 4.13).

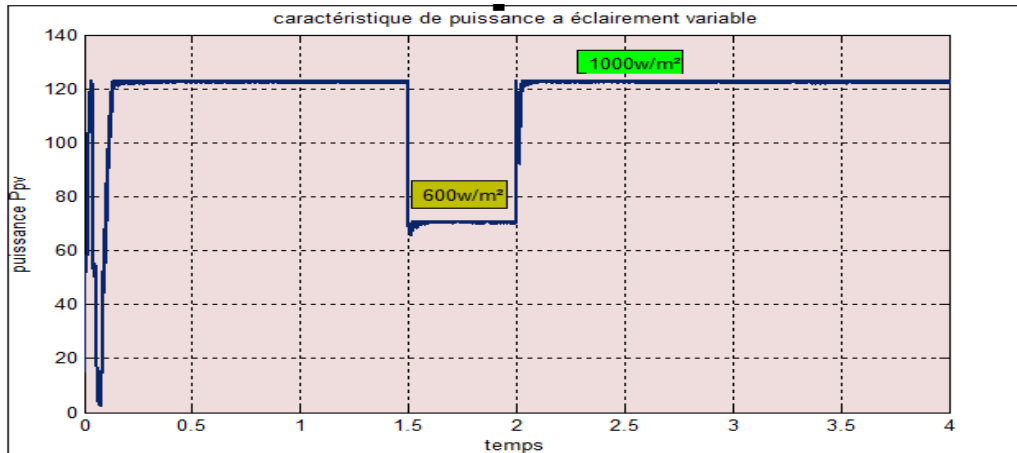


Fig. 4.13 : la puissance du panneau sous un éclairage variable.

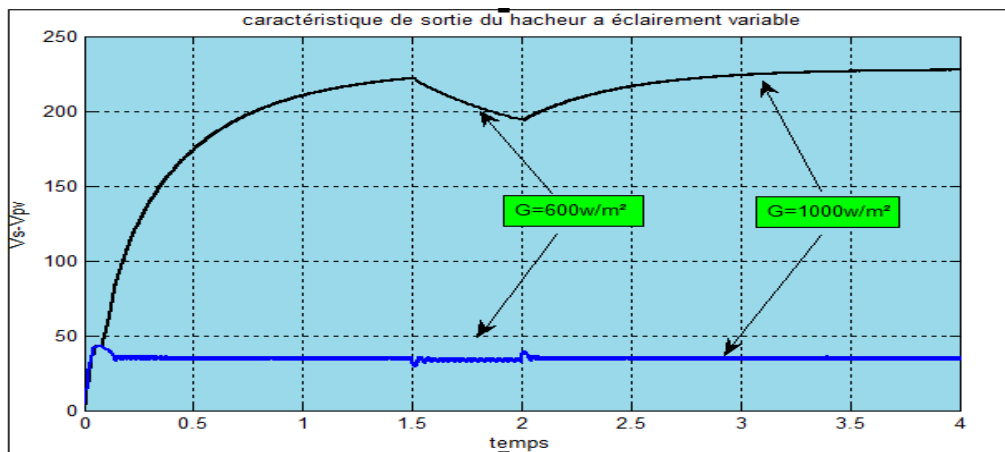


Fig. 4.14 : tensions sortie à éclairage variable.

4.5 Simulation système PV raccordé au réseau

4.5.1 Modélisation de réseau BT

Le réseau triphasé à trois grandeurs sinusoïdales de même fréquence, déphasées entre elles de $\frac{2\pi}{3}$ et ayant la même valeur efficace, forment ainsi un système triphasé équilibré. D'après la figure (4.14). On peut généralement considérer que (V_a, V_b, V_c) est un système de tensions triphasé équilibré direct. Il est de même pour (U_{ab}, U_{bc}, U_{ac}) .

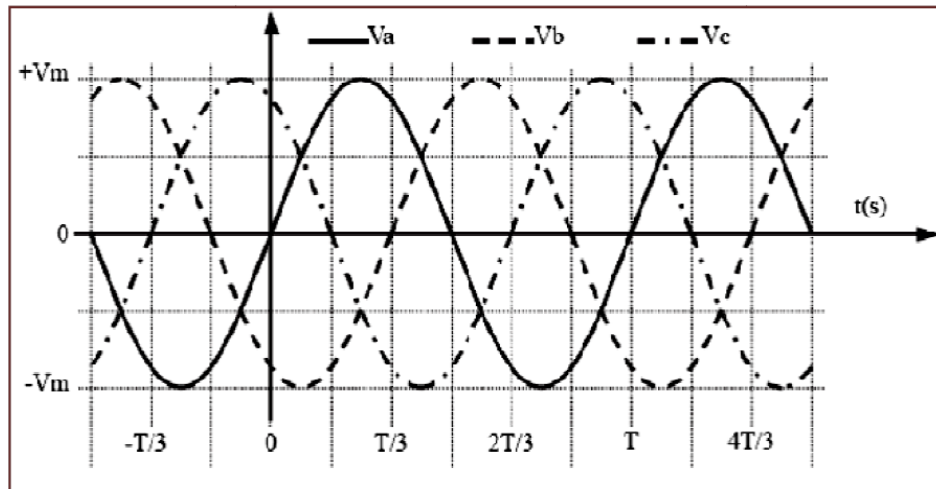


Fig. 4.15 : Système de tensions triphasé équilibré

On a :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_a = V_m \cdot \sin(\omega t) \quad (4.1) \\ V_b = V_m \cdot \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad (4.2) \\ V_c = V_m \cdot \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \quad (4.3) \end{array} \right.$$

Et leur modèle de simulation est :

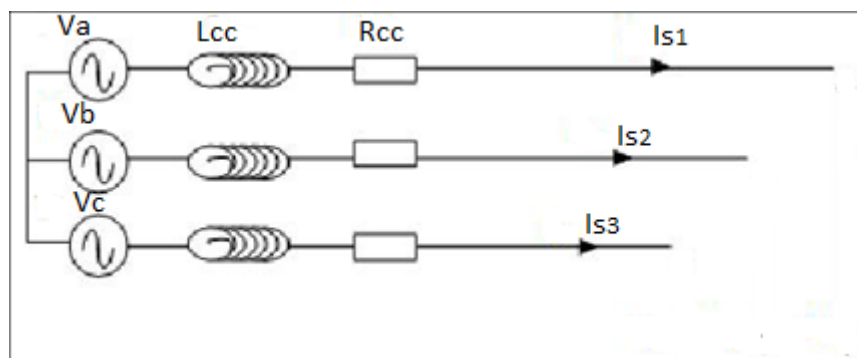


Fig. 4.16 : Modèle de simulation de réseau triphasé

4.5.2 Modèle de simulation globale

La configuration étudiée dans ce modèle se compose d'un générateur photovoltaïque PV connecté sur le bus continu, d'un onduleur de tension triphasé, couplé en parallèle au réseau à travers une inductance. Le réseau électrique alimente un récepteur non linéaire. Le système de compensation proposé joue le rôle d'un filtre actif shunt avec une injection de puissance réelle produit par la chaîne de conversion photovoltaïque au réseau électrique.

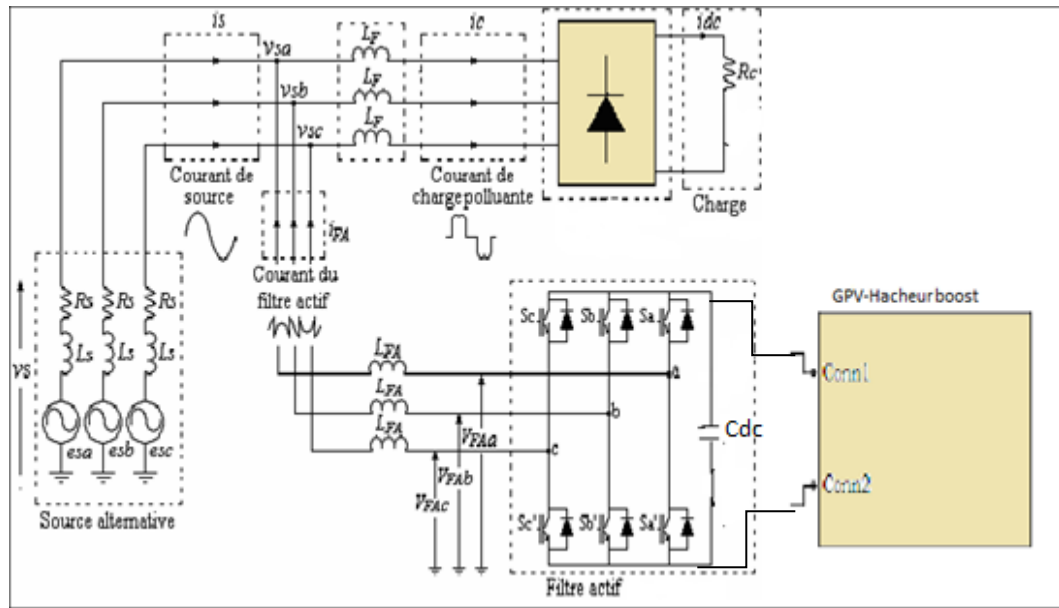
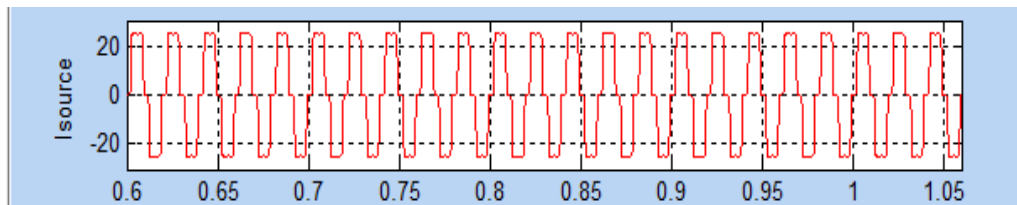


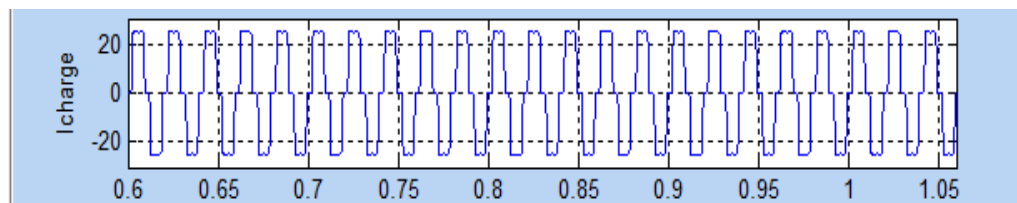
Fig. 4.17 : Modèle de simulation du système de compensation photovoltaïque

4.5.2.1 Simulation du système sans (filtre active- module photovoltaïque).

Les figures 4.18 (a, b) représentent les formes d'onde du courant de source triphasé et le courant consommé par la charge non linéaire avant l'introduction du filtre active-module photovoltaïque c.-à-d. on fait la simulation du système formé par le réseau triphasé charge non linéaire.



(a) courant de source.



(b) le courant consommé par la charge.

Fig. 4.18: Formes d'onde des courants sans compensation Photovoltaïque.

La figure 4.19 représente la puissance active et réactive, on remarque que la charge non-linéaire injecte de la puissance réactive au réseau du fait le sens négatif de cette dernière.

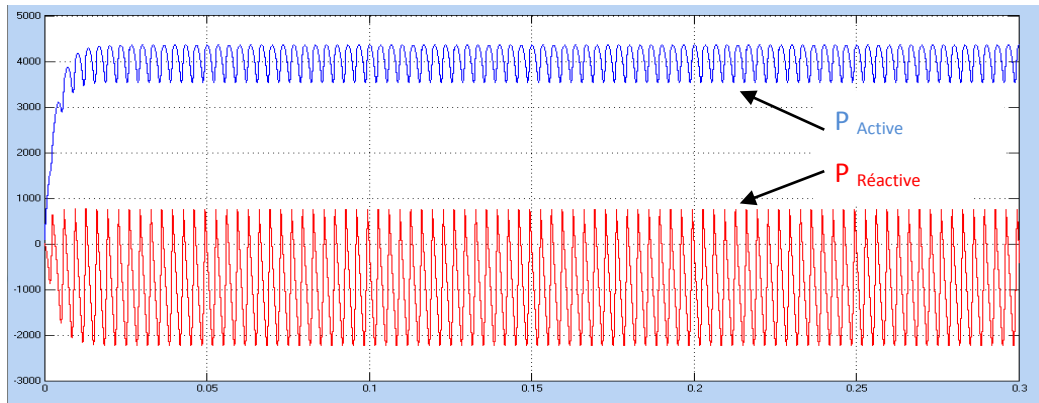


Fig. 4.19 : Puissance active et réactive avant compensation.

La forme de courant de source est la même que celle de la charge avec un THD de 23.27% (figure (4.20))

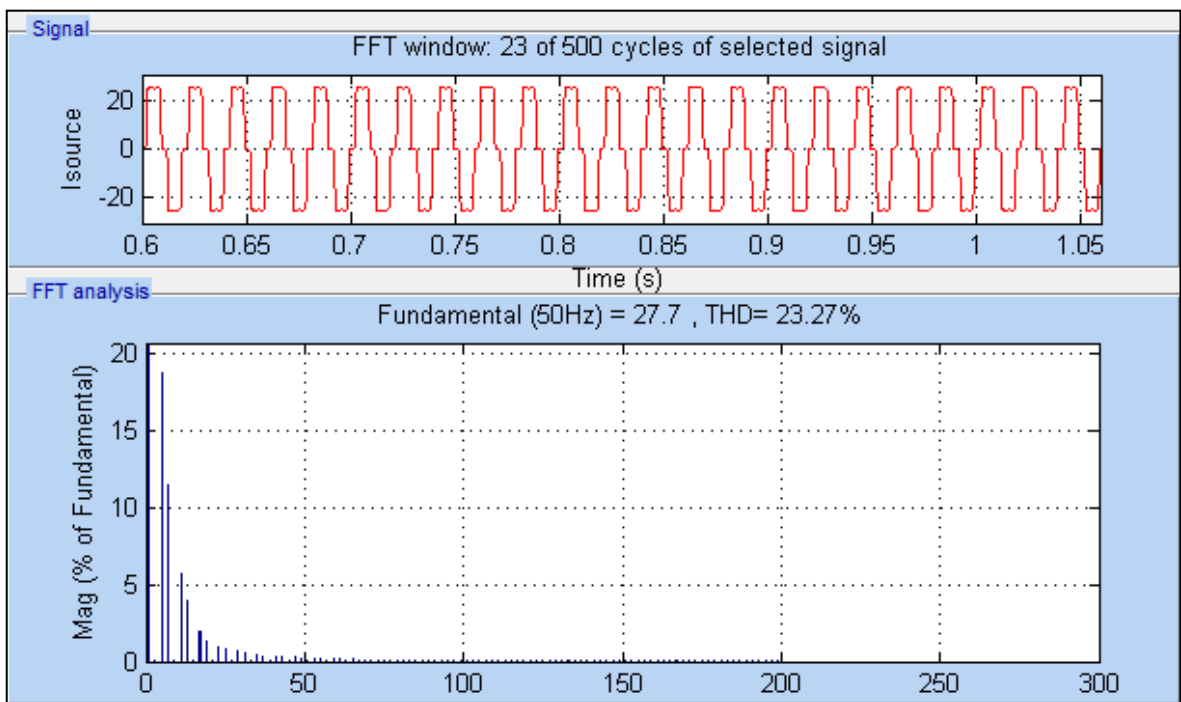


Fig. 4.20 : Analyse spectrale du courant de source avant la mise en service système de compensation photovoltaïque.

Chapitre 4 : Simulation du système de compensation photovoltaïque

4.5.2.2 Simulation du système globale avec système photovoltaïque-filtre active

Dans cette partie on simule le système globale réseaux charge non linéaire filtre active panneaux photovoltaïque.

Le tableau 4.2 résume les paramètres de simulation en régime permanent :

| Système | Désignations | Valeurs |
|-----------------------|---|---|
| Source d'alimentation | <ul style="list-style-type: none">• La tension efficace• La fréquence• La résistance interne• L'inductance interne | $V_s = 100V$ $f = 50Hz$ $R_s = 0.1\Omega$ $L_s = 0.1mH$ |
| Charge non linéaire | <ul style="list-style-type: none">• Pont redresseur triphasé | $RL1=6.1\Omega$ |
| Charge non linéaire | avec charge [R_ L] <ul style="list-style-type: none">• Inductance de filtrage à l'entrée du pont (PD3) | $RL2=10\Omega$ $L = 20mH$ $R_c = 0.01\Omega$ $L_c = 0.566mH$ |
| S. A. P. F | <ul style="list-style-type: none">• Capacité de stockage• Inductance de couplage• Bande d'hystérésis | $C_{dc} = 2200\mu F$ $L_f = 2mH$ $HB = 0.2$ |

Tableau 4.2 : Paramètres de simulation du SAPF.

La figure 4.21 représente le courant et la puissance du GPV

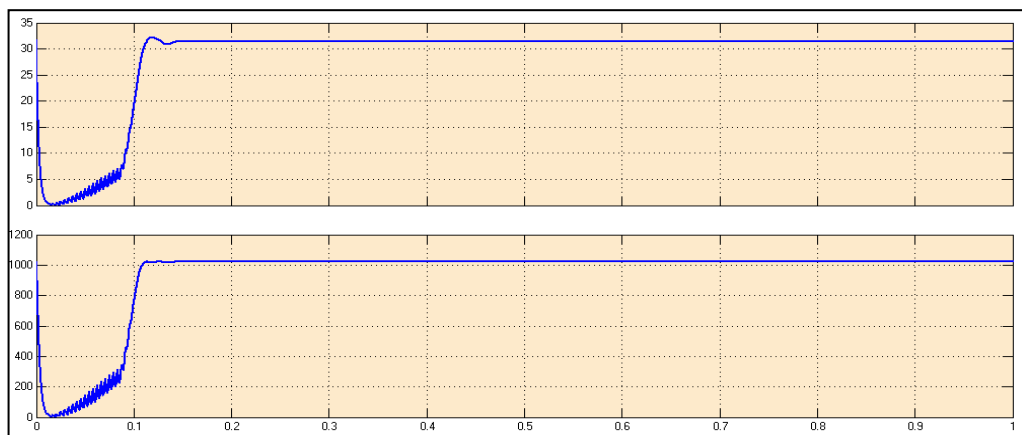
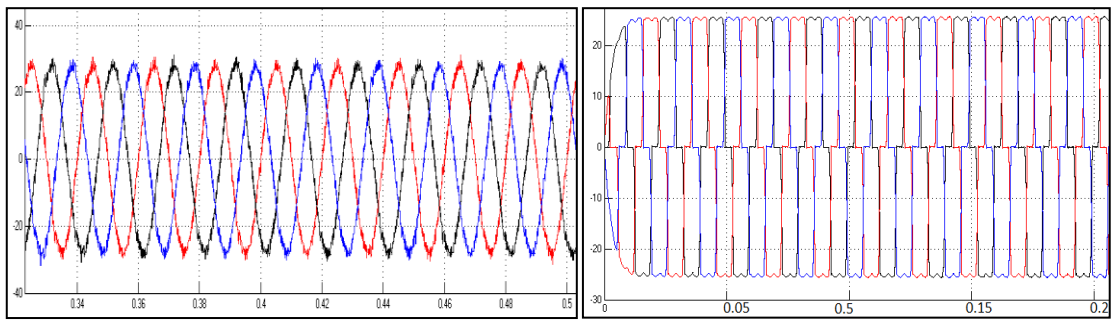


Fig. 4.21 : le courant et la puissance du GPV

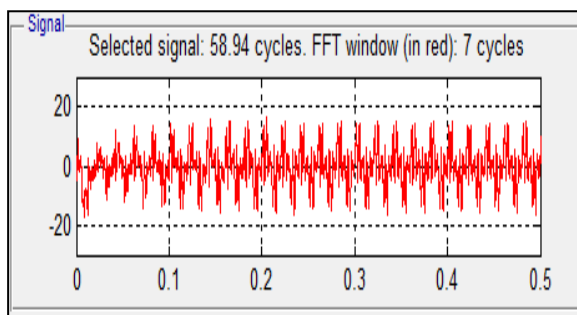
Chapitre 4 : Simulation du système de compensation photovoltaïque

D'après la figure on remarque que le courant du générateur PV est stable à une valeur de 32A, et la puissance est presque égale à la puissance maximale de 1000W.

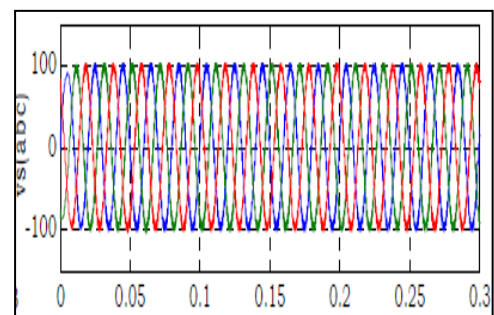


(a) courant de source

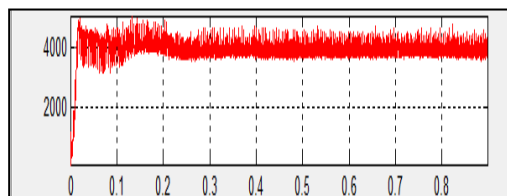
(b) courant de charge



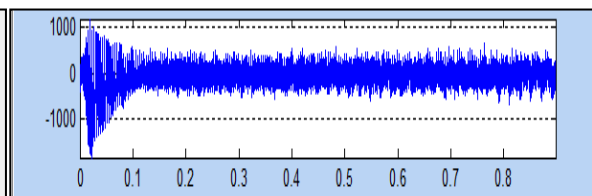
(c) courant de filtre



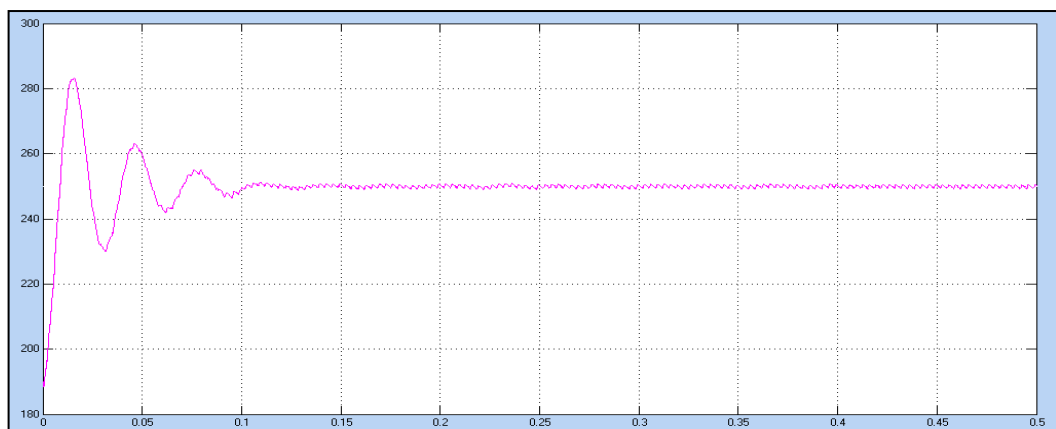
(d) la tension de source



(e) puissance active

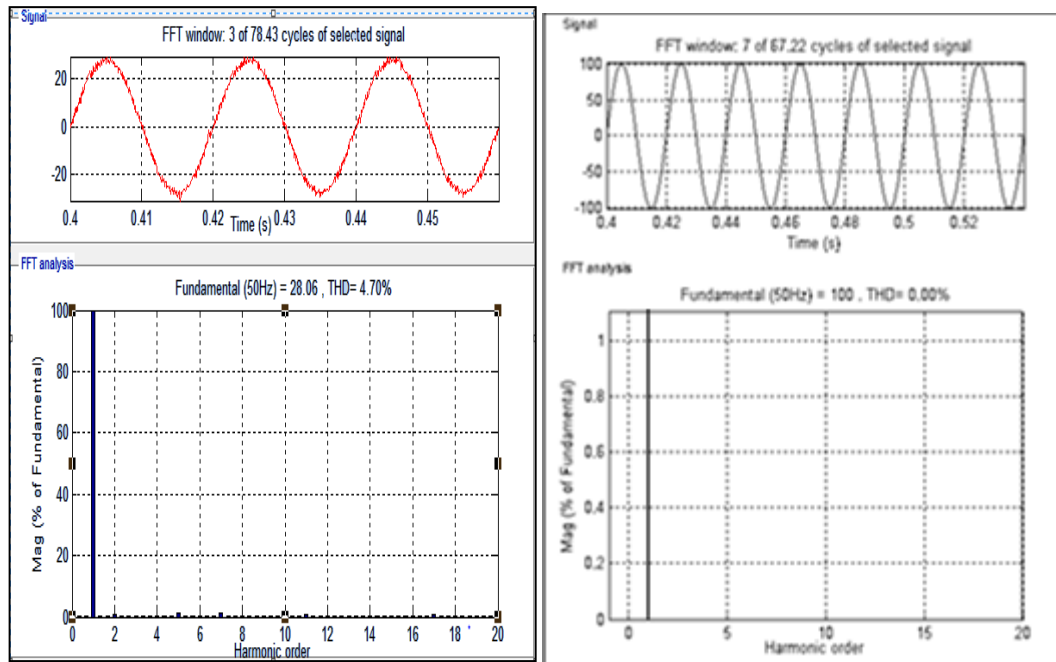


(f) puissance réactive



(g) Allure de la tension du bus continu et sa tension de référence.

Fig.4.22 : Résultats de simulation avec SAPF pour une charge non-linéaire [RL1]



(a) Courant de source.

(b) Tension de source.

Fig.4.23 : Analyse spectrale des signaux

On remarque d'après les courbes de simulation représenté en figures 4.16 (a, b, c, d, f, g) que, le courant dans le réseau devient presque sinusoïdal, et le courant de charge reste le même. La figure (4.23) montre l'influence du filtre sur la tension et le courant injectés au réseau. Le THD est bien amélioré pour la tension **0.00%** et pour le courant **4.70%**.

On remarque aussi une compensation de la puissance réactive c.-à-d. l'énergie réactive devient presque nul.

Variation de la charge

Pour étudier la robustesse de la commande, on applique une variation de la charge non linéaire avec un passage de R11 à R12. à l'instant $t=0.4s$ (figure (4.24)) ; les courants de charge ont subi une augmentation brusque alors que les courants de source conservent leurs formes sinusoïdales, et les tensions de source ne présentent aucune perturbation. En plus, la tension du bus continu diminue temporairement et rejoint après une phase transitoire sa valeur de référence (figure (4.25)).

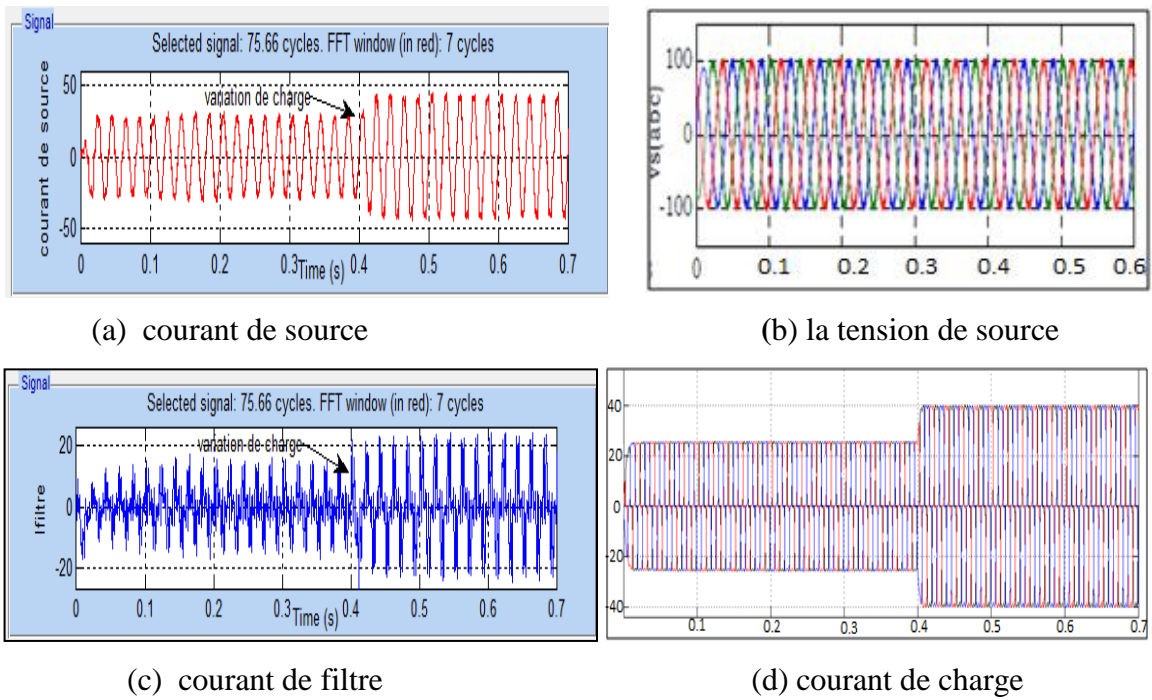


Fig.4.24 : Simulation avec variation de la charge.

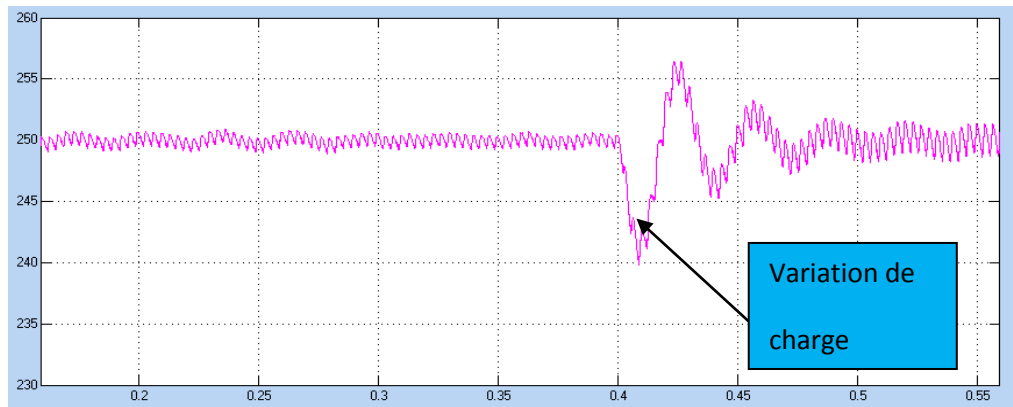
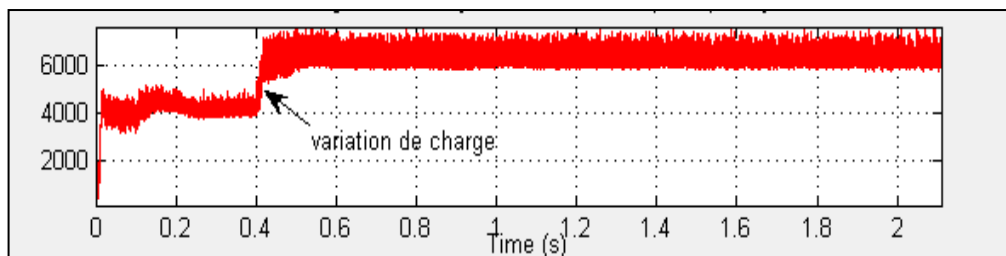
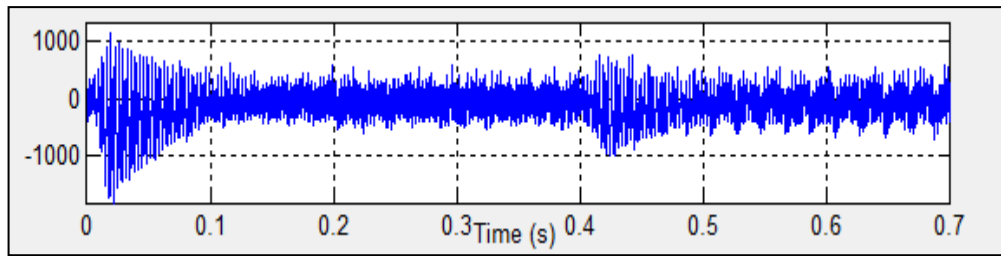


Fig.4.25 : Allure de la tension du bus continu



(a) La puissance active



(b) La puissance réactive

Fig.4.26 : Allures des puissances instantanées pour une variation de la charge non linéaire.

Le GPV injecte une puissance au réseau qui correspond au PPM du GPV.

D'après la figure (4.26) on observe une augmentation remarquable au niveau de la puissance active à l'instant $t=0.4s$ par contre la puissance réactive ne présente aucun changement est reste presque nulle.

Tandis que les courants de source ont subi une augmentation égale au surplus de courant injecté par le GPV.

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons modélisé et simulé un système de compensation PV connectée au réseau électrique, Les résultats obtenus dans ce chapitre montrent l'efficacité de la commande par hystérésis du système proposer, Un taux de distorsion de 4.70% pour les courants et de 0.00% pour les tensions et un facteur de puissance presque unitaire témoigne de la bonne compensation de la puissance réactive.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce travail présente l'étude d'un système de compensation d'harmoniques à l'aide d'un système photovoltaïque. Le premier objectif est de compenser les perturbations générées par les charges non linéaires, tels que les courants harmoniques, les courants réactifs et le déséquilibre du courant. Le deuxième objectif est d'injecter au réseau des puissances actives produites par la chaîne de conversion photovoltaïque.

Le travail présenté dans ce mémoire a consisté dans la première partie en une présentation des différentes perturbations survenant dans le réseau électrique qui peuvent dégrader la qualité d'énergie, ces perturbations influent essentiellement sur les deux grandeurs principales qui sont les tensions et les courants caractérisés par l'amplitude, la forme d'onde et la fréquence de propagation.

Dans la deuxième partie nous avons présenté la production de l'énergie électrique photovoltaïque. Où on a présenté quelques notions et définitions relatives aux systèmes photovoltaïques et leurs différents composants, ainsi que les problèmes et solutions liées à leur utilisation.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté les filtres actifs parallèles et leur principe de fonctionnement. Ainsi que la commande par band d'hystérésis de ces filtres.

Dans le dernier chapitre, nous avons modélisé et simulé un système de compensation PV connectée au réseau électrique, Les résultats obtenus dans ce chapitre montrent l'efficacité du système proposé (commandé par la bande d'hystérésis), Un taux de distorsion de 4.70% pour les courants et de 0.00% pour les tensions et un facteur de puissance presque unitaire témoigne de la bonne compensation de la puissance réactive.

Référence Bibliographie

- [1] T. Gouraud, "Identification et rejet de perturbations harmoniques dans des réseaux de distribution électrique", Thèse de doctorat, Ecole Doctorale Sciences pour l'Ingénieur de Nantes, Janvier 1997.
- [2] M. A. E. Alali, "Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques basse tension (Automatisation des systèmes de puissance électriques)", Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 12 Octobre 2002.
- [3] Thierry Deflandre et Philippe Maurs, « Les harmoniques sur les réseaux électriques », Direction des Etude et Recherche en France -Edition EYROLLES -1998.
- [4] Amaia Lopez De Heredia Bermeo, " Commandes avancées des systèmes dédiés à l'amélioration de la qualité de l'énergie : de la basse tension à la montée en tension", Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 14 novembre 2006.
- [5] S. Kerrouche, " Développement et implémentation d'un système de filtrage actif de puissance à base d'onduleur triphasé", Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas Sétif (UFAS), Algérie, 2009.
- [6] Omeiri Amar "Simulation d'un filtre actif parallèle de puissance pour la compensation des harmoniques de courant" Thèse de doctorat UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA année 2007
- [7] : Mohamed Muftah Abdusalam, Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales, Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I, soutenance le 29/05/2008.
- [8] Sahli Abdeslem Filtrage actif et contrôle de puissances : application aux systèmes photovoltaïques thèse de magister UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF 2012
- [9] : Kessal Abdelhalim, Correction du Facteur de Puissance à l'entrée d'un Convertisseur AC/DC, Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif, soutenance le 26/04/2012.
- [10] Hadji Seddik, "Correction du facteur de puissance dans les systèmes de traction alimentés en courant alternatif monophasé", Thèse de doctorat, École Nationale Polytechnique, El Harrache, Alger, Algérie, Décembre 2007.
- [11] S. Attia, "Commande en temps réel d'un filtre actif de puissance utilisant la technique par mode de glissement", Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas Sétif (UFAS), Algérie, 2005.
- [12] <http://www.univ-pau.fr/~scholle/écosystèmes/4-pv>.

Référence Bibliographique

- [13] R. Merahi, « Modélisation d'un diapositif MPPT pour l'étude de l'augmentation de la puissance produite par les générateurs photovoltaïques », Mémoire de Magistère, Université de Annaba 2010.
- [14] Florent Monestier, "Amélioration de l'absorption photonique dans les cellules photovoltaïques organiques", thèse de Doctorat, Université de Marseille, 10/04/2008
- [15] Gernigon Véronique, "Utilisation de copolymères à blocs dans les cellules solaires organiques morphologie, transport de charges et conversion photovoltaïque", thèse de Doctorat, Université de Strasbourg, 04/01/2012[
- [16] S. M. Ait-Cheikh, «Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques», Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2007.
- [17] W.Xiao, "A Mode Adaptive Hill Climbing Maximum Power Point Tracking (MPPT) Control Method For Photovoltaic Power Systems", The University of British Columbia, 2003
- [18] Belhadj Mohammed, "Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome", Mémoire de Magister, université de Bechar, 2008
- [19] Akihiro Oi, "Design and Simulation of Photovoltaic Water Pumping System", Faculty of California Polytechnic State University, 2005
- [20] Antonio Luque and Steven Hegedus, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", John Wiley & Sons Ltd, 2003
- [21] S. Bellakehal, «Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables», thèse de Doctorat, Université de Constantine, Algérie, 2010
- [22] M. Adouane, «Etude et conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au réseau électrique», Mémoire de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
- [23] M. Makhlof, «Etude et optimisation d'un modèle de conversion d'énergie photovoltaïque application au pompage», mémoire de magister, université Mentouri Constantine, Algérie, 2006.
- [24] N. Abouchabana, « Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT »Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009
- [25] Lequeu Thierry, "Cours d'électronique de puissance", IUT GEII 2ième année, Option EEP, 2004/2005.

Référence Bibliographie

- [26] Bogdan Grabowski, Christian Ripoll, " Aide-mémoire Électronique", Dunod, 5e édition, 2008
- [27] Nattorn Pongratananukul, "Analysis and Simulation Tools for Solar Array Power Systems", University of Central Florida, 2005
- [28] M. Slama Fateh, " Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique, Université Ferhat Abbas –Setif.
- [29] Abbassen Lyes, "étude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque", Mémoire de Magister, Université de TiziOuzou, 05/05/2011
- [30] L.D.H.B. Amaia, "Commande avancées des systèmes dédiés à l'amélioration de la qualité de l'énergie : de la basse tension à la montée en tension", Thèse de doctorat, LEG, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, Novembre 2006.
- [31] Zellouma Laid "Filtrage actif parallèle des harmoniques du courant générés par un pont redresseur triphasé non commandé" ; année2006
- [32] Belhaouchet Nouri, "Fonctionnement à Fréquence de commutation constante des convertisseurs de puissance en utilisant des Techniques de commande avancées" Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas – Setif06/07/2011
- [33] A. Chaoui, J.-P.Gaubert, F. Krim, G. Champenois, PI Controlled Three-Phase Shunt Active Power Filter for Power Improvement Quality, Electric Power Components and Systems, vol. 35, no. 12, pp. 1331-1344, September 2007.

Résumé :

Ce travail présente un système de génération photovoltaïque connecté au réseau triphasé tout en associant les fonctionnalités d'un filtre actif parallèle de puissance afin d'améliorer la qualité de l'énergie. Le système proposé est constitué d'un champ de panneaux solaires, un onduleur de tension triphasé raccordé au réseau et une charge non linéaire constituée d'un pont redresseur à diodes alimentant une charge résistive en série avec une inductance.

La stratégie de commande utilisant la bande d'hystérésis est proposée pour compenser les courants harmoniques et la puissance réactive ainsi que l'injection de la puissance active photovoltaïque vers le réseau. Une méthode globale de recherche du point de puissance maximal de type (Perturb & Observe) est appliquée. Les résultats obtenus confirment la validité de la méthode proposée.

MOTS-CLES : Système Solaire Photovoltaïque, Commande par hystérésis, Filtre Actif Parallèle, MPPT.

المخلص: يعرض هذا العمل نظام توليد ضوئي متصل بالشبكة الكهربائية الثلاثية مع إضافة مرشح نشط موازي لتحسين نوعية الطاقة ويتكون النظام المقترح من مولد كهر وضوئي، وعاكس الجهد و حمل غير خطي. ويعمل النظام على انه مرشح نشط يمكن من تعويض التوافقيات و قوة رد الفعل المتولدة من الأحمال غير الخطية، وكذلك حقن الطاقة الشمسية النشطة للشبكة بواسطة استخدام إستراتيجية التحكم التباطئي. يتم تطبيق طريقة "الملاحظة و التشويش" إلى السعي وراء نقطة الاستطاعة القصوى لنظام الطاقة الشمسية وفي الأخير تم عرض النتائج التي تثبت مدى صحة المنهجية المقترحة.

الكلمات المفتاحية: نظام توليد ضوئي، التحكم التباطئي، مرشح نشط، وحدة تحكم MPPT

Abstract: This work presents a photovoltaic generation system connected to the three-phase network by combining the functionality of a parallel active power filter to improve power quality. The proposed system consists of a solar array, a three-phase voltage inverter connected to the grid and a non-linear load formed by a diode rectifier bridge feeding a resistive load in series with an inductor. The control strategy using hysteresis band is proposed to compensate the harmonics current and the reactive power as well as injection of the active solar power to the network. A global search method of maximum power point type (Perturb & Observe) is applied. The obtained results confirm the validity of the proposed methodology.

Keywords: Solar Photovoltaic system, hysteresis band control, Parallel Active Filter, MPPT.