

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 : GENI ELECTRIQUE

OPTION : SYSTEMES ELECTRO-ENERGETIQUES DE SOURCES D'ENERGIES
RENOUVELABLES

THEME

Amélioration de la qualité d'énergie électrique issue
d'un système photovoltaïque utilisant la commande
DPC.

Proposé et dirigé par :

Dr. DJAZIA Kamel

Réalisé par :

AZOUZ Ahmed Lamine

N° D'ordre: 2016/S3ER13/89/385

PROMOTION: JUIN 2016

Remerciements

*-Au terme de cette étude, nous tenons à remercier chaleureusement notre encadreur **Dr. Kamel Djazia** pour ses encouragements, ses orientations et ses précieux conseils, merci pour sa grande disponibilité.*

Nous remercions tous les professeurs du département d'électronique.

-Nous voudrions enfin remercier chaleureusement et respectivement tous ceux qu'ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste projet de fin d'étude accepte nos grands et sincères remerciements.

Merci à tous

Sommaire

* Sommaire

* liste de figure

* Liste des symboles

* Introduction Générale

Chapitre 1 : Généralité sur le photovoltaïque

1.1 Introduction	1
1.2 L'effet photovoltaïque	1
1.3 La cellule photovoltaïque	2
1.3.1. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	3
1.3.2. Paramètres d'une cellule photovoltaïque	4
1.3.2.1. Courant de court-circuit (I_{cc})	4
1.3.2.2. Tension de circuit-ouvert (V_{co})	5
1.3.2.3. Rendement énergétique	5
1.3.2.4. Facteur de form.....	6
1.4. Générateur photovoltaïque et ses performances	6
1.4.1. Caractéristique Courant-Tension	7
1.4.2. Influence de l'éclairement et la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$	7
1.4.3. Influence de l'association série des cellules PV	9
1.4.4. Influence de l'association parallèle des cellules PV	11
1.4.6. Influence de l'association mixte (Série + Parallèle) des cellules PV	11
1.5 Conclusion.....	12

Chapitre 2 : convertisseurs de puissance

2.1.Introduction	13
2.2 Les hachures	14
2.2.1 introduction	14
2.2.2 Hacheur série (abaisseur de tension)	14

2.2.2.1 principe - charge résistive.	14
2.2.2.2 principe charge active : R, L, E	15
2.2.3 Hacheur parallèle (élevateur de tension)	16
2.2.3.1 Intérêt du hacheur élévateur	16
2.2.4 Hacheur réversible en courant	18
2.3 Redresseurs	19
2.3.1 Introduction	19
2.3.2 Redressement simple alternance	19
2.3.2.1 Charge résistive	19
2.3.2.2 Charge inductive	20
2.3.2.3 Charge inductive avec roue libre	20
2.3.3 Redressement double alternance	21
2.3.3.1 Récepteur résistif pur	21
2.3.3.2 Récepteur résistif et inductif	21
2.3.3.3 Redresseur en pont monophasé	22
2.4 GRADATEURS	23
2.4.1 Introduction	23
2.4.2 gradateur monophasé	23
2.4.2.1 Constitution	23
2.5 ONDULEURS	23
2.5.1 Introduction	23
2.5.2 Principe général de fonctionnement	24
2.5.3 Onduleur monophasé à commande symétrique	24
2.5.3 .1 Onduleur avec source à point milieu	24
2.5.3 .2 Onduleur en pont	24
2.6 Conclusion.....	25
Chapitre 3 : Le filtrage actif de puissance	
3.1 INTRODUCTION.....	26

3.2 PROBLEMATIQUE DES HARMONIQUES	26
3.2.1 Origine et représentation.....	26
3.1.2 Propagation.....	28
3.1.3 Effets	29
3.1.4 Caractérisation et normes	30
3.2 SOLUTIONS POSSIBLES	30
3.2.1 Filtres passifs	31
3.2.2 Filtres actifs	32
3.2.3 Filtres actifs hybrides.....	34
3.3 FILTRE ACTIF PARALLELE	34
3.3.1 Etat de l'art des filtres actifs parallèles.....	35
3.3.2 Applications des filtres actifs parallèles.....	37
3.3.3 Classement des filtres actifs parallèles.....	38
3.4 CONCLUSIONS.....	39
 Chapitre 4 : Simulation et Résultats du système	
4.1 Introduction	41
4.2 Principe de la commande	41
4.3 Simulation du système photovoltaïque	45
4.3.1 Influence des Différents Paramètres	46
4.3.1.1 Influence de l'éclairement	46
4.3.1.2 Influence de la température	47
4.3.2 la commande MPPT	48
4.4 Simulations de la technique DPC	49
4.4.1 Résultats de simulations de la technique DPC.....	50
4.5 Conclusion	52

Liste de figures

Figure 1.1: Représentation schématique d'une cellule solaire.....	3
Figure 1.2: Schéma équivalent électrique de la cellule PV	4
Figure 1.3 : Caractéristique $I=f(V)$ d'un module photovoltaïque.....	7
Figure 1.4 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$	8
Figure 1.5 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$	8
Figure 1.6 : L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$	9
Figure 1.7 : L'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$	9
Figure 1.8 : Association de N modules solaires en série.....	10
Figure 1.9 : Caractéristique de nombre des modules en série.....	11
Figure 1.10 : Association de N_p modules solaires en parallèle.....	11
Figure 1.11 : Caractéristique de nombre des modules en parallèles.....	11
Figure 1.12 : Association mixte $N_s \times N_p$ modules solaires.....	12
Figure 1.13 : Caractéristique de nombre des modules en série et parallèle.....	12
Figure 2.1 le symbole de hachure.....	14
Figure 2.2 : hacheur série avec charge résistive.....	14
Figure 2.3 : chronogrammes d'un hacheur série(charge résistive).....	15
Figure 2.4 : hacheur série avec charge active R,L,E	16
Figure 2.5 : chronogrammes d'un hacheur série (charge active R,L,E).....	16
Figure 2.6 : Hacheur parallèle élévateur	17
Figure 2.7 : chronogrammes hacheur parallèle élévateur.....	17
Figure 2.7 : Hacheur réversible en courant	18
Figure 2.8 : Chronogrammes hacheur réversible en courant.....	18
Figure 2.9 : redresseur simple alternance avec charge résistive.....	19
Figure 2.10 : Caractéristique idéale de la diode	19
Figure 2.11 : redresseur simple alternance avec charge inductive	20
Figure 2.12 : Tension aux bornes de la charge.....	20

Figure 2.13 : redresseur simple alternance avec Charge inductive avec roue libre.....	21
Figure 2.14 : redresseur double alternance avec récepteur résistif pur	21
Figure 2.15 : Courants et la tension dans le redresseur	21
Figure 2.16 : redresseur double alternance avec récepteur résistif et inductif	22
Figure 2.17 : Redresseur en pont monophasé.....	22
Figure 2.18 : Tension redressée et courant de ligne	22
Figure 2.19 : gradateur monophasé	23
Figure 2.20 : Allure du courant et de la tension (Charge résistive).....	23
Figure 2.21 : Onduleur monophasé à point milieu.....	24
Figure 2.22 : Allure de la tension et du courant de charge R-L	24
Figure 2.23 : Onduleur en pont	25
Figure 2.24 : Forme d'onde du courant et de la tension.....	25
Figure 3.1. Courants absorbés par un redresseur triphasé à diodes à filtrage capacitif (à gauche) et le spectre.....	27
d'une phase (à droite).....	27
Figure 3.2. Modélisation d'une charge non-linéaire.	28
Figure 3.3. Division des courants harmoniques dans une bifurcation.....	29
Figure 3.4. Influence des harmoniques de courant sur la tension au point de raccordement.	29
Figure 3.5. Schéma bloc monophasé de plusieurs filtres passifs connectés en parallèle sur un réseau pollué.....	32
Figure 3.6. Réponse fréquentielle d'un filtre passif composé de quatre filtres réglés sur la fréquence de s	32
Figure 3.7. Schéma bloc monophasé d'un filtre actif parallèle.....	33
Figure 1.8. Schéma bloc monophasé d'un filtre actif série.	34
Figure 3.9. Schéma bloc d'un exemple de filtre actif hybride.	35
Figure 3.10. Filtre actif basé sur un onduleur de tension (à gauche) et sur un commutateur de courant (à droite).	39

Figure 4.1 : Schéma bloc de contrôle de l'onduleur connecté au réseau avec le DPC.....	42
Figure 4.2 : représentation des 12 secteurs des tensions triphasées	43
Figure 4.3 calcul de la puissance active de référence.....	44
Figure 4.4 : Schéma d'un système photovoltaïque en MATLAB-SIMULINK.....	45
Figure 4.5 : Influence de flux lumineux sur les caractéristiques I(V).....	46
Figure 4.6 : Influence de flux lumineux sur les caractéristiques P(V).....	46
Figure 4.7 : Influence de la température sur les caractéristiques I(V).....	47
Figure 4.8 : Influence de la température sur les caractéristiques P(V).....	48
Figure 4.9 : Schéma block de la commande MPPT	49
Figure 4.10 : Allures des puissances après et avant MPPT.....	49
Figure 4.11 : Schéma de la commande DPC en MATLAB-SIMULINK.....	50
Figure 4.12 : Résultats de simulation du transitoire à $t_f = 0.04$	51
Figure 4.13 : Allures des puissances instantanées avant et après.....	51
Figure 4.14 : l'allure de secteurs	52
Figure 4.15: Analyse spectrale des signaux.....	52

Liste des symboles

- h** : Constante de Planck ($6.62 \cdot 10^{-34}$ j.s).
- E_g** : Energie de la bande interdite (eV).
- S** : Surface du module photovoltaïque (m^2).
- E** : Eclairement (W/m^2).
- I_{ph}** : Le photo-courant (A).
- I_{sat}** : Courant de saturation (A).
- R_p** : Résistances parallèle shunt. (Ω)
- R_S** : Résistance série (Ω).
- T_c** : Température de jonction ($^{\circ}K$).
- G** : L'éclairement de référence ($1000 W/m^2$).
- T_{ref}** : La température de référence ($298^{\circ}K$).
- α** : Le coefficient de courant en fonction de température ($A/^{\circ}C$).
- I_{cc}** : Le courant de court-circuit (A).
- V_{co}** : La tension de circuit ouvert (V).
- FF** : Facteur de forme.
- N_s** : Nombre de modules dans le panneau en série.
- N_p** : Nombre de modules dans le panneau en parallèle.
- P_{max}** : La puissance maximale produite PV (W).
- V_{max}** : Tension qui correspond à la puissance maximale (V).
- I_{max}** : Courant qui correspond à la puissance maximale (A).
- V_{opt}** : Tension optimale (V).
- I_{opt}** : Courant optimum (A).
- V_{co}** : Tension à circuit ouvert (V).
- I_{cc}** : Courant de court-circuit (A)
- K** : coefficient de Boltzman ($1.38 \cdot 10^{-23} J / K$)
- T_{amb}** : Température ambiante (C°)
- T_c** : Température de la cellule (C°)

Introduction générale :

La pollution harmonique affecte tous les réseaux domestiques et industriels. Aucun environnement moderne tels que les ordinateurs, les serveurs, les climatiseurs, les contrôleurs de vitesse, etc. est à l'abri de cette pollution. Tous ces derniers appelés "non-linéaires" affectent gravement la qualité du courant du réseau et de la tension.

Les différentes méthodes actuelles d'identification des perturbations peuvent être classées en deux familles. La première concerne le domaine des fréquences elle se base sur l'utilisation d'une transformée de Fourier rapide (FFT) pour extraire les harmoniques de courant. Cette méthode est bien adaptée pour des charges lorsque le contenu harmonique varie lentement. Il offre également l'avantage de la sélection des harmoniques individuels et compenser l'harmonique la plus dominante. Il convient de souligner que cette méthode est trop de temps à cause de toutes les transformations nécessaires en temps réel pour l'extraction des harmoniques.

La deuxième famille étudie le domaine temporel, elle est basée sur le calcul de la puissance instantanée. La méthode de l'activation et la réactivation instantanée de l'énergie a été développée dans de nombreuses applications. Mais l'inconvénient est que cela donne des résultats corrects seulement pour une grille en bon état, dont la tension est équilibrée et non faussée.

Le principe de la DPC pour Pulse Width Modulation (PWM) convertisseurs a été proposé pour la première fois en 1986 et développé plus tard pour d'autres nombreuses applications. Le but DPC était essentiellement de supprimer le modulateur PWM et les boucles de régulation internes en les remplaçant par une table de commutation prédéterminée. La première configuration type de commande DPC a, pour le contrôle direct l'activation et la réactivation instantanée de l'énergie des redresseurs PWM triphasés sans capteurs de tension de réseau. Sur la base de cette approche, de nombreuses études ont été développées pour différentes topologies de puissance. L'objectif commun de ces études était d'assurer des courants sinusoïdaux et un facteur de puissance de l'unité avec un contrôle découplé de la puissance active et réactive .

La norme DPC nécessite une référence de puissance égale a zéro, tandis que la référence de puissance active est calculée à partir du courant continu (CC) Sortie de contrôleur de bus direct. Cet projet propose une technique DPC avec system PV.

Chapitre 01 :

Généralité sur le photovoltaïque

Généralités sur le photovoltaïque

1.1. Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis long temps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque.

Cette énergie solaire est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, et malgré une atténuation importante lorsqu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore assez importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 1000 w/m² crête dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 W/m² lorsque l'atmosphère est faiblement polluée [1-3].

Pour comprendre le fonctionnement de cette énergie et en optimiser son utilisation, nous effectuons dans ce chapitre un bref rappel sur le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque et ses performances ainsi le générateur solaire photovoltaïque et leurs performances.

1.2. L'effet photovoltaïque :

Le terme « photovoltaïque » vient du Grec et qui signifie Lumière, il est composé de deux parties : « photos » (lumière) et du nom de famille du physicien italien (Alessandro Volta) qui inventa la pile électrique en 1800 et donna son nom à l'unité de mesure de la tension électrique, le volt.

Lorsqu'un matériau semiconducteur est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont "bombardés" par les photons constituant la lumière; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être "arrachés":

Si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique.

Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons "arrachés" créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique: c'est l'effet photovoltaïque [4].

L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire.

L'effet photovoltaïque, c'est-à-dire la production d'électricité directement de la lumière, fut observée la première fois, en 1839, par le physicien français Edmond Becquerel. Toute fois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs des laboratoires Bell, aux Etats-Unis, parvinrent à fabriquer la première cellule photovoltaïque, l'élément primaire d'un système photovoltaïque [4].

1.3. La cellule photovoltaïque :

Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des impuretés) sont substitués dans un réseau cristallin. Cette action est appelée dopage. Si l'atome d'impureté contient plus d'électrons que le silicium, le matériau contiendra des électrons libres en excès : il sera dit de type N (exemple: silicium dopé au phosphore). Si au contraire, l'atome d'impureté contient moins d'électrons que le silicium, le matériau sera déficitaire en électrons: il sera dit de type P (exemple: silicium dopé au bore) [4].

La fabrication des cellules s'effectue à partir de lingots de silicium. Ces lingots sont découpés en fines couches de type P ou N en y diffusant du brome ou du phosphore.

Une cellule solaire est alors obtenue en constituant une jonction de deux zones de type opposé (jonction PN).

Au voisinage de la jonction apparaît un champ électrique qui maintient la séparation des charges positives et négatives. Des contacts métalliques en formes de grille, contacts avant et arrière, sont déposés (Figure 1.1) [4].

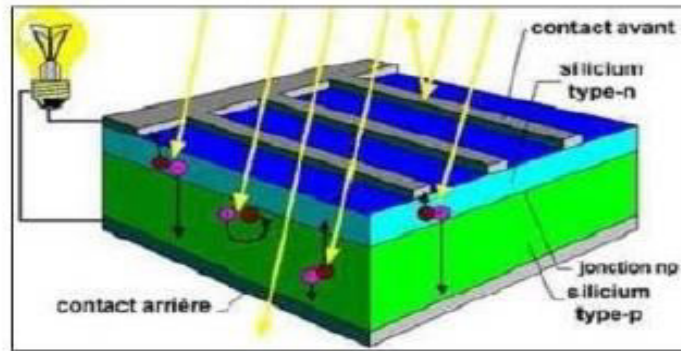


Figure 1.1: Représentation schématique d'une cellule solaire

Une cellule photovoltaïque donc est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants : Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif ; Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création des paires électrons/trous dans le matériau semi-conducteur ; Collecte des particules générées dans le dispositif [4].

Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant: d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque.

Afin de collecter les particules générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électrons / trous créés est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction P-N [4].

1.3.1. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :

La figure 1.2 présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairage. Il correspond à un générateur de courant I_{ph} monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma.

Ces résistances ont une certaine influence sur la caractéristique $I=f(V)$ de la cellule [1]:

- 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_{shu}) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

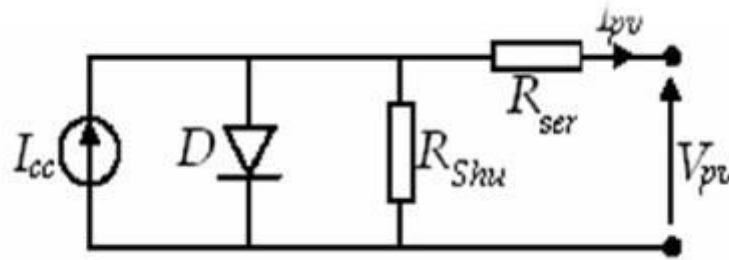


Figure 1.2: Schéma équivalent électrique de la cellule PV

Le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension d'une cellule PV est donné par [1,3]:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp\left(\frac{e(V_{pv} + (I_{pv} * R_{se}))}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + (I_{pv} * R_{se})}{R_{sh}} \quad 1.1$$

Où I_{sat} est le courant de saturation, K est la constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K), T est la température effective des cellules en Kelvin(K), e est la charge de l'électron ($e=1,6 \cdot 10^{-19}$ C), n est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < n < 3$), I_{pv} est le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur, V_{pv} est la tension aux bornes de cette même cellule, I_{ph} est le photo-courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court circuit), R_{shu} est la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction, R_{ser} est la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions

1.3.2. 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:

1.3.2.1. Courant de court-circuit (I_{cc}) :

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle. Dans le cas idéal (R_{ser} nulle et R_{shu} infinie), ce courant se confond avec le photo-

courant I_{ph} dans le cas contraire, en annulant la tension V dans l'équation (I.1), on obtient:

Les plus usuels sont les suivantes:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{e(I_{cc} * R_s)}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{(I_{cc} * R_s)}{R_{sh}} \quad 1.2$$

Pour la plupart des cellules (dont la résistance série est faible), on peut négliger le terme

$$I_{sat} \left[\exp \left(\frac{e(I_{pv} * R_s)}{nKT} \right) - 1 \right] \quad 1.3$$

Devant I_{ph} L'expression approchée du courant de court-circuit

est alors:

$$I_{cc} \cong \frac{I_{ph}}{\left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right)} \quad 1.4$$

Quantitativement, il a la plus grande valeur du courant généré par la cellule (pratiquement $I_{cc} = I_{ph}$).

1.3.2.2. Tension de circuit-ouvert (V_{co}) :

C'est la tension V_{co} pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque).

$$0 = I_{cc} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{eV_{pv}}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V_{pv}}{R_{sh}} \quad 1.5$$

Dans le cas idéal, sa valeur est légèrement inférieure à :

$$V_{co} = V_t \ln \left[\frac{I_{ph}}{I_{sat}} + 1 \right] \quad 1.6$$

1.3.2.3. 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 :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_i} = \frac{I_{opt} * V_{opt}}{P_i} \quad 1.7$$

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.

1.3.2.4. Facteur de forme

On appelle facteur de forme FF, dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (fill factor), 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_{cc} 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 ; et diminue avec la température. Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites R_{ser} et R_{shu} . il est défini par :

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} * V_{oc}} = \frac{I_{opt} * V_{opt}}{I_{cc} * V_{oc}} \quad 1.8$$

1.4. Générateur photovoltaïque et ses performances :

Le générateur photovoltaïque est un ensemble d'équipements mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les modules peuvent être assemblés en panneaux pour constituer un "champ photovoltaïque". Relié au récepteur sans autre élément, le panneau solaire fonctionne "au fil du soleil", c'est-à-dire que la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance d'ensoleillement.

Elle est donc à son maximum lorsque le soleil est au zénith et nulle la nuit.

Mais, très souvent, les besoins en électricité ne correspondent pas aux heures d'ensoleillement et nécessitent une intensité régulière (éclairage ou alimentation de réfrigérateurs, par exemple). On équipe alors le système de batteries d'accumulateurs qui permettent de stocker l'électricité et de la restituer en temps voulu [4].

Pour un certain nombre d'applications, le courant continu produit, par le générateur photovoltaïque, est converti à l'aide d'un onduleur en courant alternatif.

Un module photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et/ou en parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées tels que: la puissance, le courant de court-circuit I_{cc} ou la tension en circuit ouvert V_{co} .

Un générateur photovoltaïque est constitué d'un ou plusieurs modules PV en série et / ou en parallèle pour obtenir une puissance, un I_{cc} et un V_{co} désirés

1.4.1. Caractéristique Courant-Tension :

La figure 1.3 représente la courbe $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température.

L'irradiation standard adoptée pour mesurer la réponse des modules photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25°C .

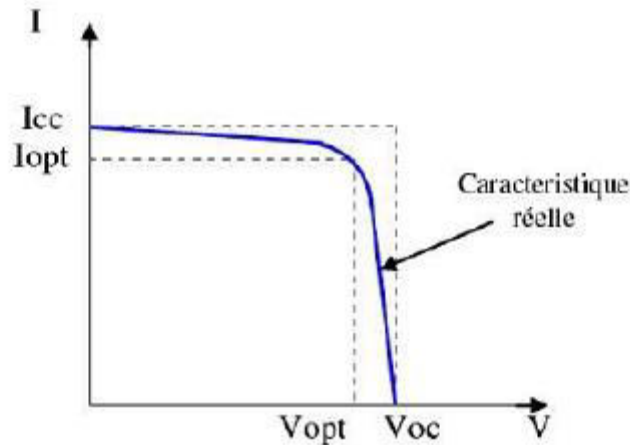


Figure 1.3 : Caractéristique $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque.

Il est difficile de donner un caractère source de courant ou de tension à un module photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant-tension. Par conséquent, le module photovoltaïque est considéré comme une source de puissance avec un point P_m où la puissance se trouve être maximale. Il est donc intéressant de se placer sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi exploiter au mieux la puissance crête installée.

Il est important de noter que certains régulateurs solaires réalisent une adaptation d'impédance afin qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point P_m [4].

1.4.2. Influence de l'éclairement et la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$:

La figure 1.4 montre l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$. A une température constante, on constate que le courant subit une variation importante, 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

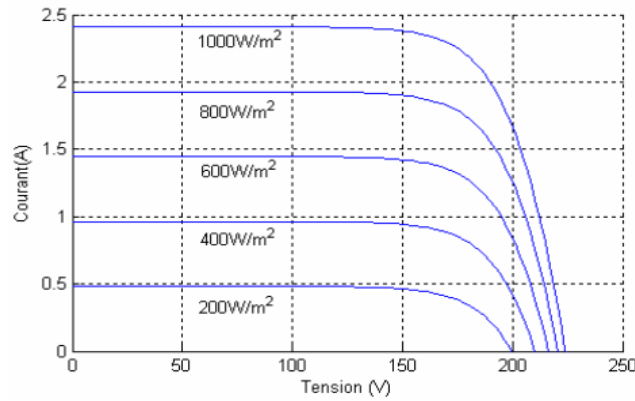


Figure 1.4 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$

La figure 1.5 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 $P(V)$ [5]

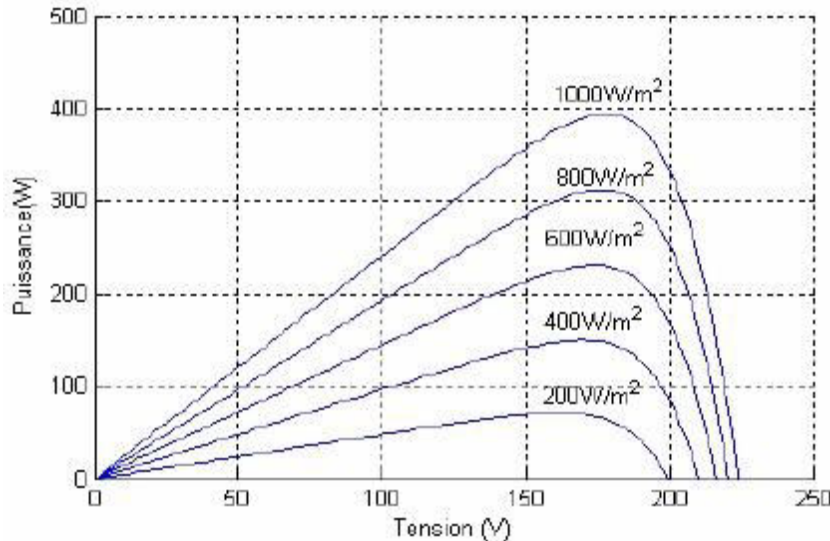


Figure 1.5 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$

La figure 1.6 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 $I=f(V)$.

Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influe 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

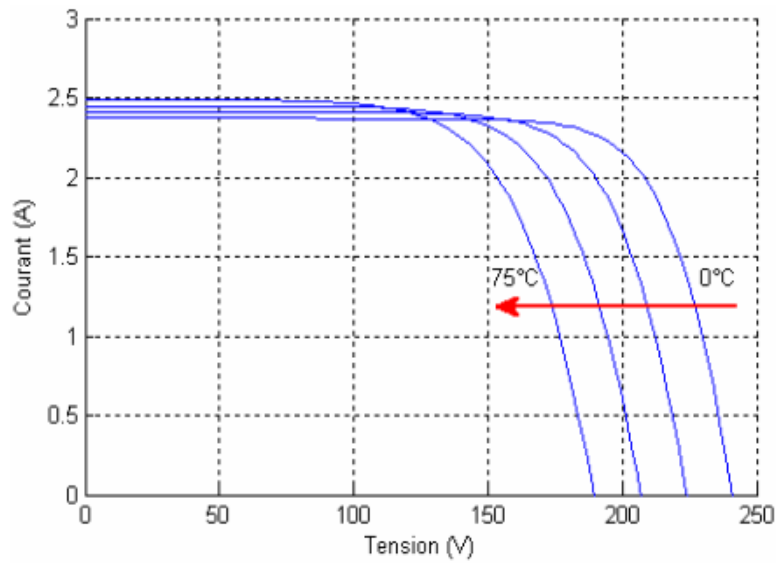


Figure 1.6 : L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$

La figure 1.7 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 $P=f(V)$ [5].

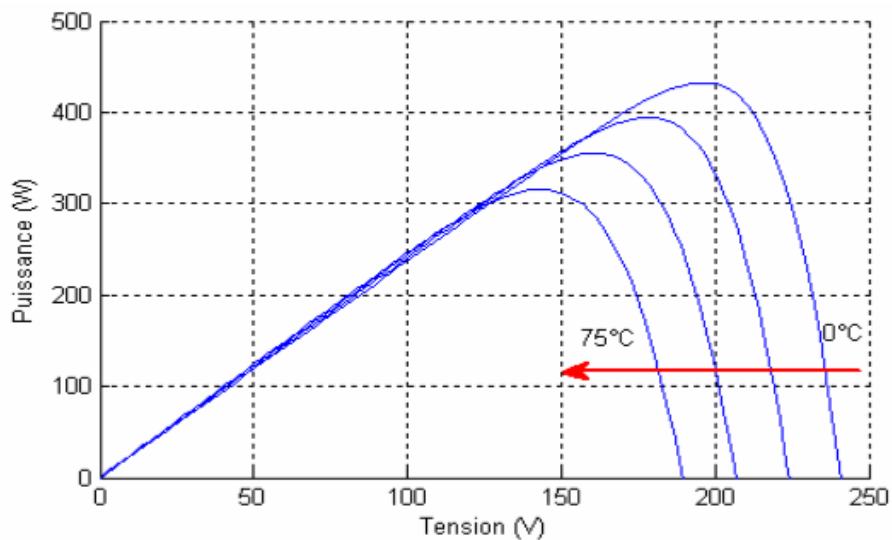


Figure 1.7 : L'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$

1.4.3. Influence de l'association série des cellules PV :

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 0.5 W avec une tension de moins d'un volt.

Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau).

Un module de 36 cellules en série (Type GTO136 - 80/2) est suffisant pour obtenir une tension compatible avec la charge. Pour avoir plus de tension, il faut assembler N_s modules en série, par contre pour le courant généré, un nombre N_p de modules en parallèle permet d'en ajouter, les diodes de protection série et parallèles protègent le circuit contre le retour de courant [6].

L'association en série des cellules délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule [6].

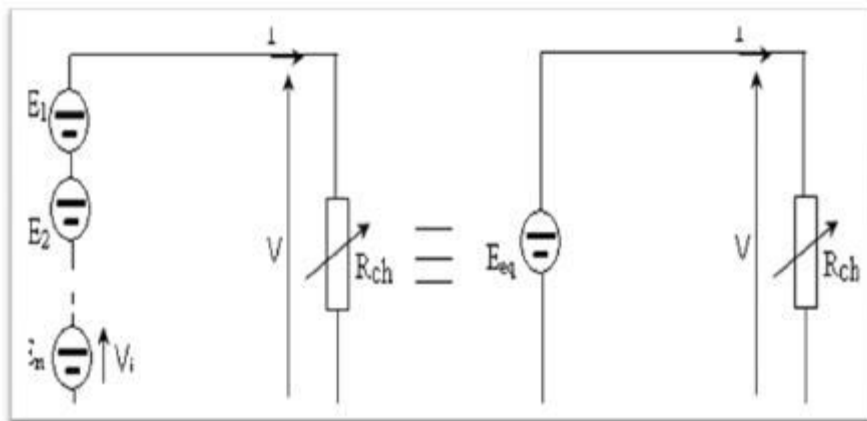


Figure 1.8 : Association de N modules solaires en série

La caractéristique d'un groupement de N_s modules solaires en série est représentée par la figure suivante :

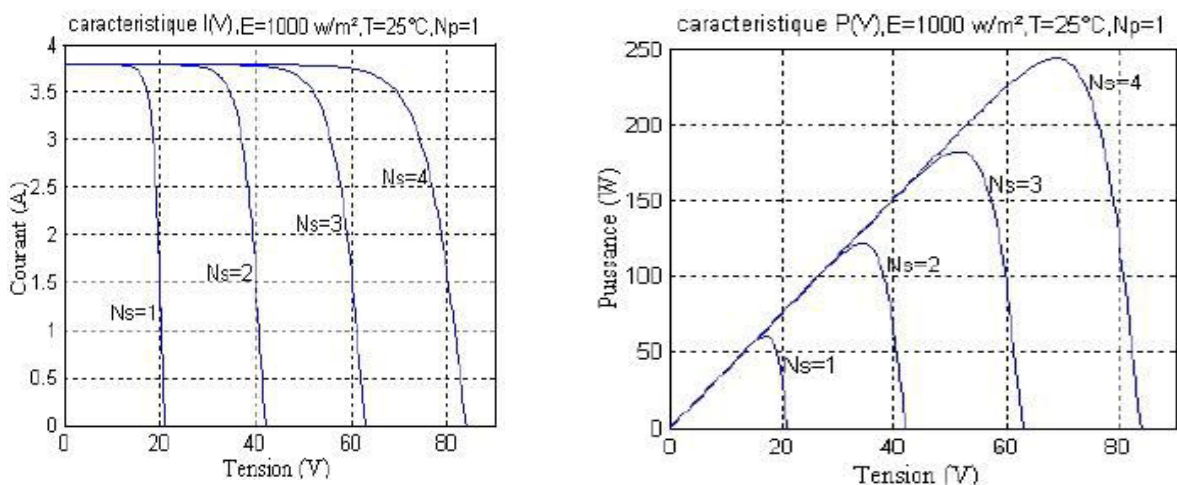


Figure 1.9 : Caractéristique de nombre des modules en série

1.4.4. Influence de l'association parallèle des cellules PV :

L'association en parallèle des photopiles délivre un courant égal à la somme des courants individuels et une tension égale à celui d'une seule cellule [6].

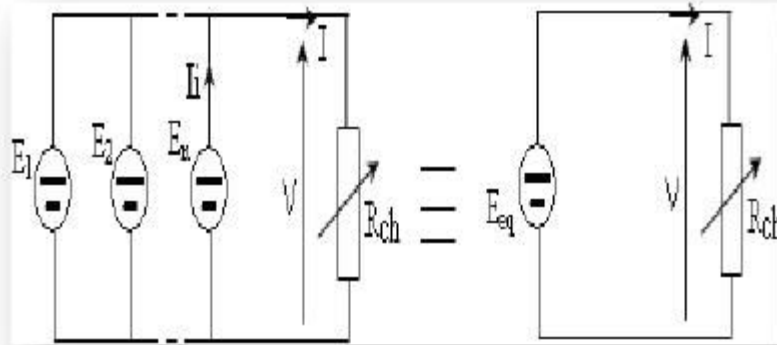


Figure 1.10 : Association de N_p modules solaires en parallèle.

La caractéristique d'un groupement de N_p modules solaires en parallèle est représentée par la figure suivante :

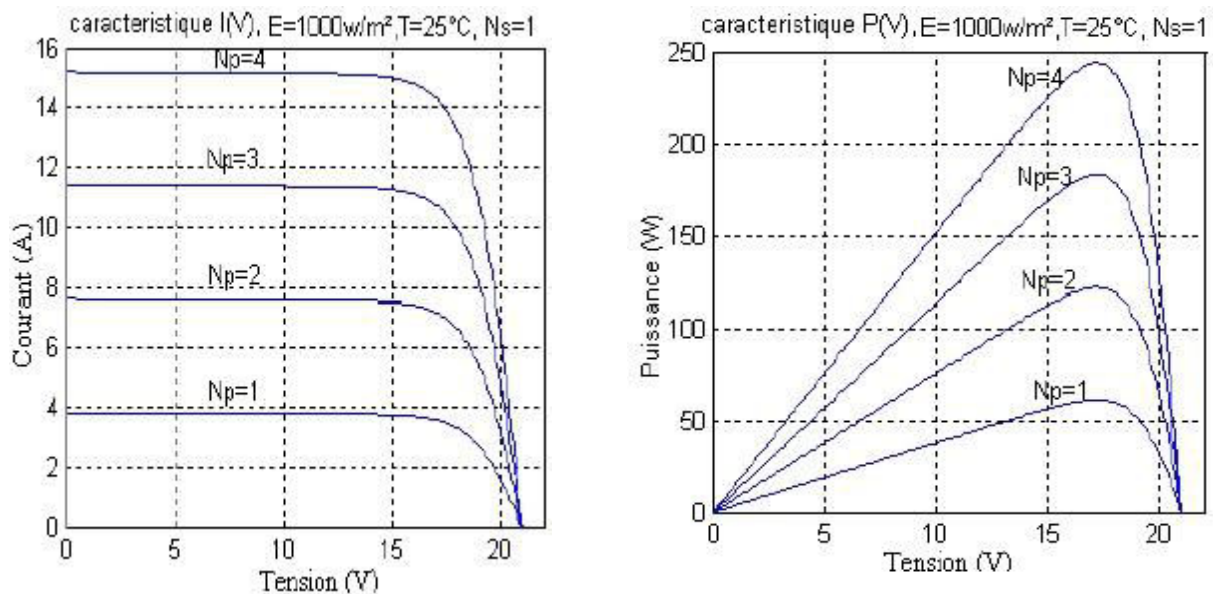


Figure 1.11 : Caractéristique de nombre des modules en parallèles

1.4.6. Influence de l'association mixte (Série + Parallèle) des cellules PV:

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est à dire Série-Parallèle [6].

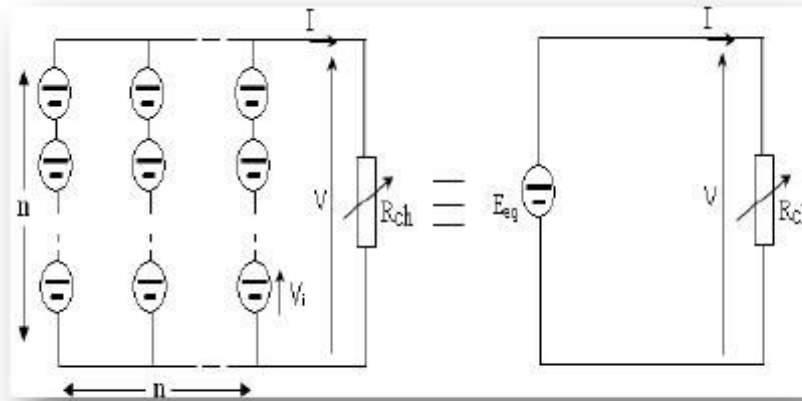


Figure 1.12 : Association mixte $N_s \times N_p$ modules solaires

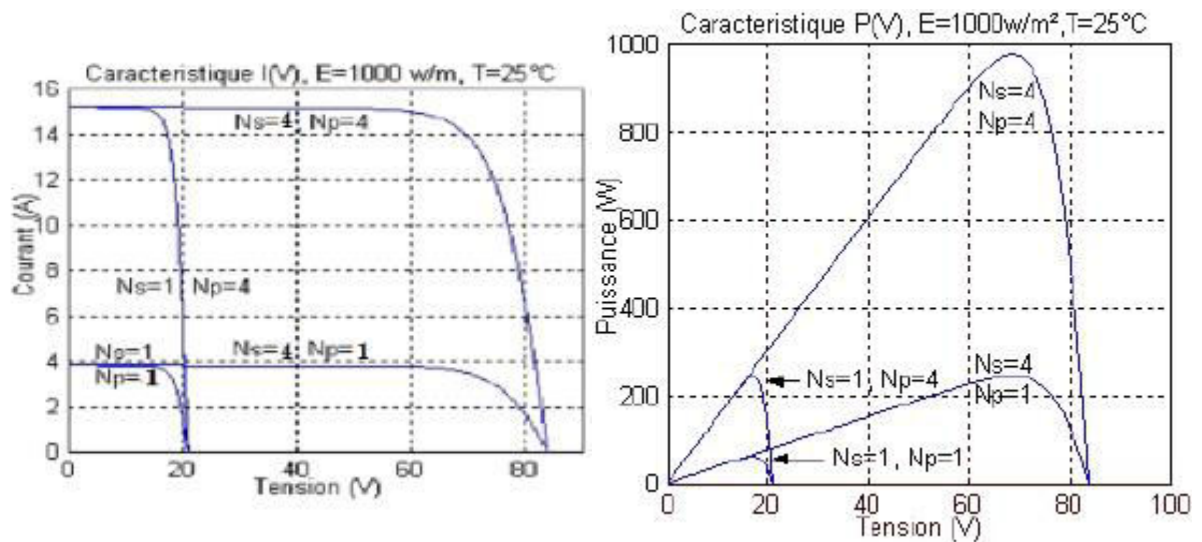


Figure 1.13 : Caractéristique de nombre des modules en série et parallèle

1.5. Conclusion:

Ce chapitre s'est consacré à présenter les différents composants d'un système photovoltaïque. On a étudié le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses paramètres. En suite on a fait un rappel sur les systèmes PV et leurs performances.

Dans le chapitre prochain, on présentera une étude sur les convertisseurs et leurs commande MPPT pour chercher le point optimal où la puissance du générateur photovoltaïque est maximale.

Chapitre 02 :

convertisseurs de puissance

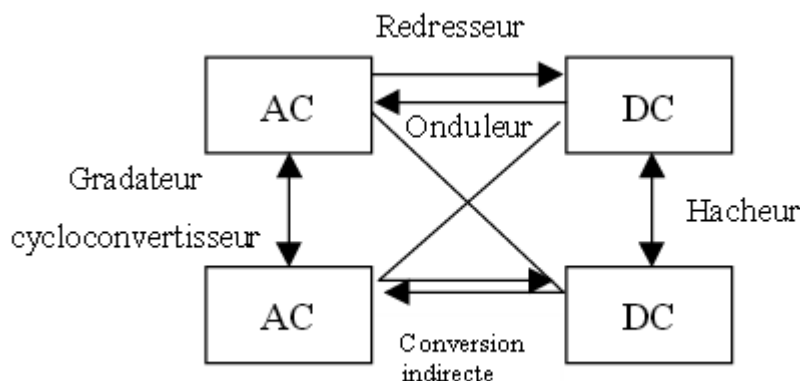
Chapitre 02 : convertisseurs de puissance

2.1. Introduction :

L'Electronique de Puissance ou électronique de commutation, a pour vocation de maîtriser le transfert d'énergie entre une source et une charge(en incluant éventuellement la possibilité de réversibilité: exemple réseau bi- tension des voitures, 42-14V), en assurant une conversion à haut rendement. Pour cela, des semi conducteurs sont utilisés en interrupteurs, et associés à des composants passifs. Cette conversion statique moderne d'énergie fort attrayante s'est répandue dans de nombreux domaines, couvrant des gammes de puissances extrêmement étendues (de quelques watts à plusieurs dizaines de Mégawatts.[13]

Applications: alimentations à découpage (téléphone portable, PC, alim de la carte mère, alimentations sans interruption, panneaux PV, éoliennes, variateurs de vitesse (pompage, traction), interconnexion France Angleterre (2 GW), FACTS ...

Le graphique suivant illustre les divers modes de conversion envisageables, selon la nature des sources d'énergie électriques.



Une électronique de commutation effectue le lien entre source et charge par instants, au moyen d'interrupteurs électroniques. Pour cela, certaines précautions sont indispensables: on ne peut connecter brutalement deux sources de même nature (tension ou courant).

Source de tension: impose V et subit I (en dynamique: capacité)

Source de courant: impose I et subit V (en dynamique: inductance)

Par exemple, si on connecte brutalement deux condensateurs chargés à deux tensions différentes, le courant circulant entre les deux sera infini...

Attention, il faut tenir compte de tout: si on connecte une batterie (source de tension de très faible impédance interne) à un montage par des liaisons trop inductives, cela devient une source dynamique de courant ! [13]

Sous réserve de ces précautions, le principe est simple: en établissant à haute fréquence des

connexions judicieuses entre les divers éléments (source, charge, éléments passifs...) on peut faire varier "en valeur moyenne" le transfert de puissance, la forme de l'énergie électrique...

2.2 Les hachures :

2.2.1 introduction :

Un hacheur permet d'obtenir une tension unidirectionnelle de valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension continue. C'est un convertisseur continu-continu (tension V_e continue - courant I_s continu) dont le symbole est :

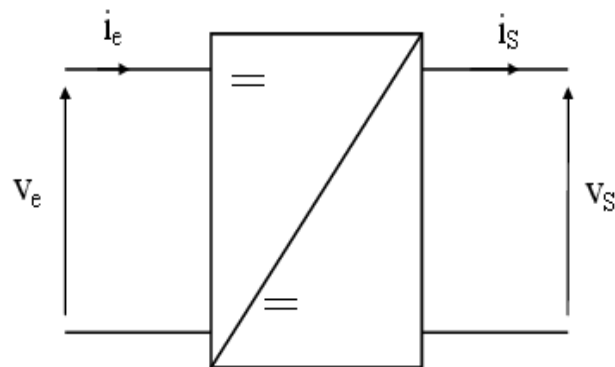


Figure 2.1 le symbole de hachure

Un hacheur peut être réalisé à l'aide d'interrupteurs électroniques commandables à l'ouverture et à la fermeture tels que les thyristors GTO ou les transistors bipolaires ou à effet de champ à grille isolée.

2.2.2 Hacheur série (abaisseur de tension) :

2.2.2.1 principe - charge résistive.

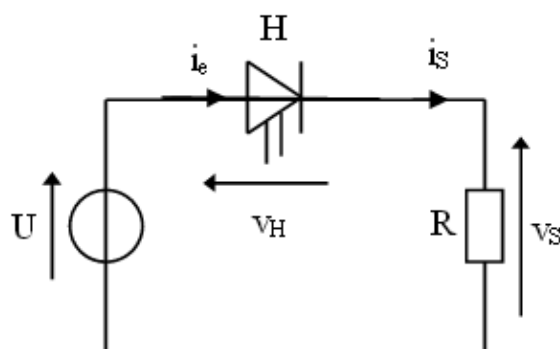


Figure 2.2 : hacheur série avec charge résistive

H : interrupteur unidirectionnel parfait.

L'interrupteur électronique H est commandé par un signal V_c périodique de période T,

de rapport cyclique $\alpha = \frac{t_1}{T}$ (durée de fermeture sur la période), élaboré par un circuit électronique isolé du hacheur. L'état haut de ce signal commande la fermeture de H, l'état bas, sa fermeture

Chronogrammes :

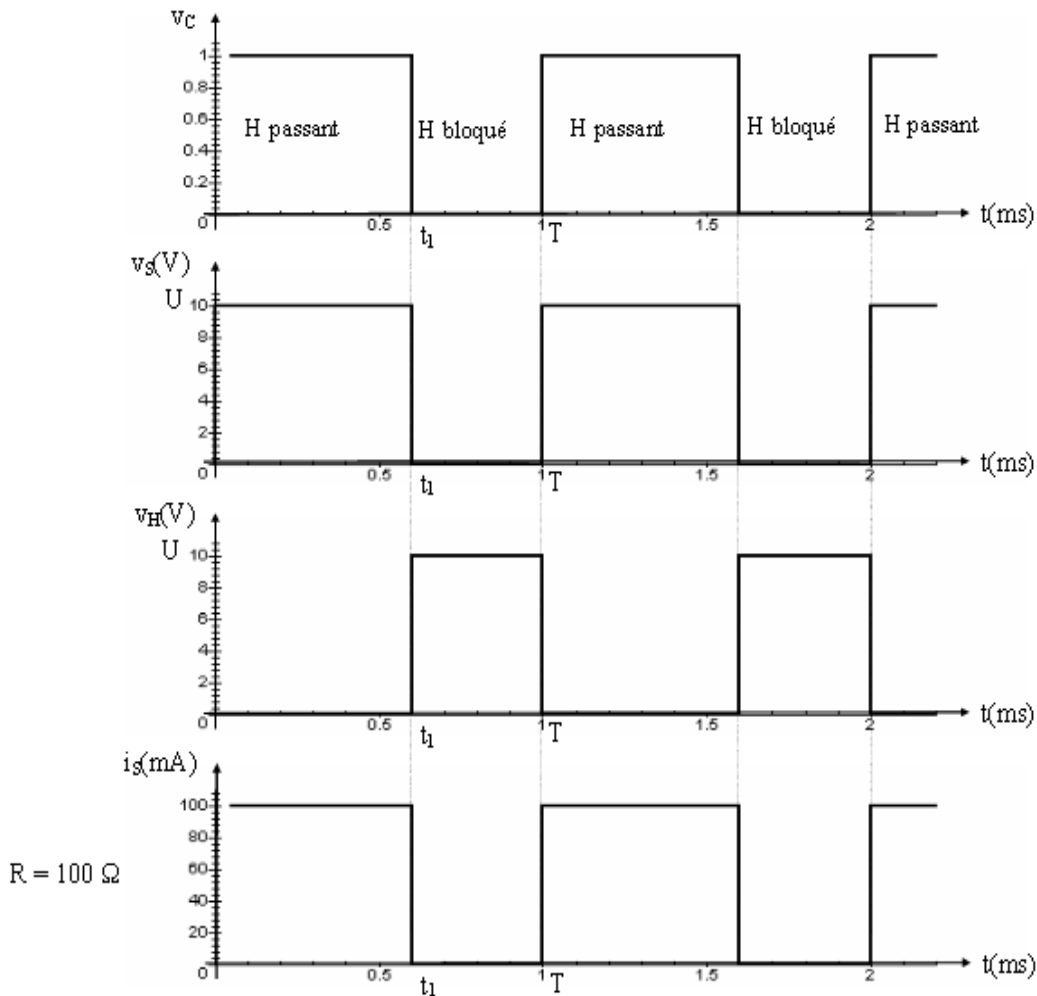


Figure 2.3 : chronogrammes d'un hacheur série(charge résistive)

2.2.2.2 principe charge active : R, L, E :

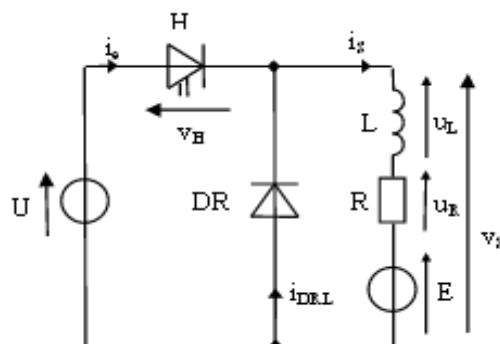


Figure 2.4 : hacheur série avec charge active R,L,E

Chronogrammes :

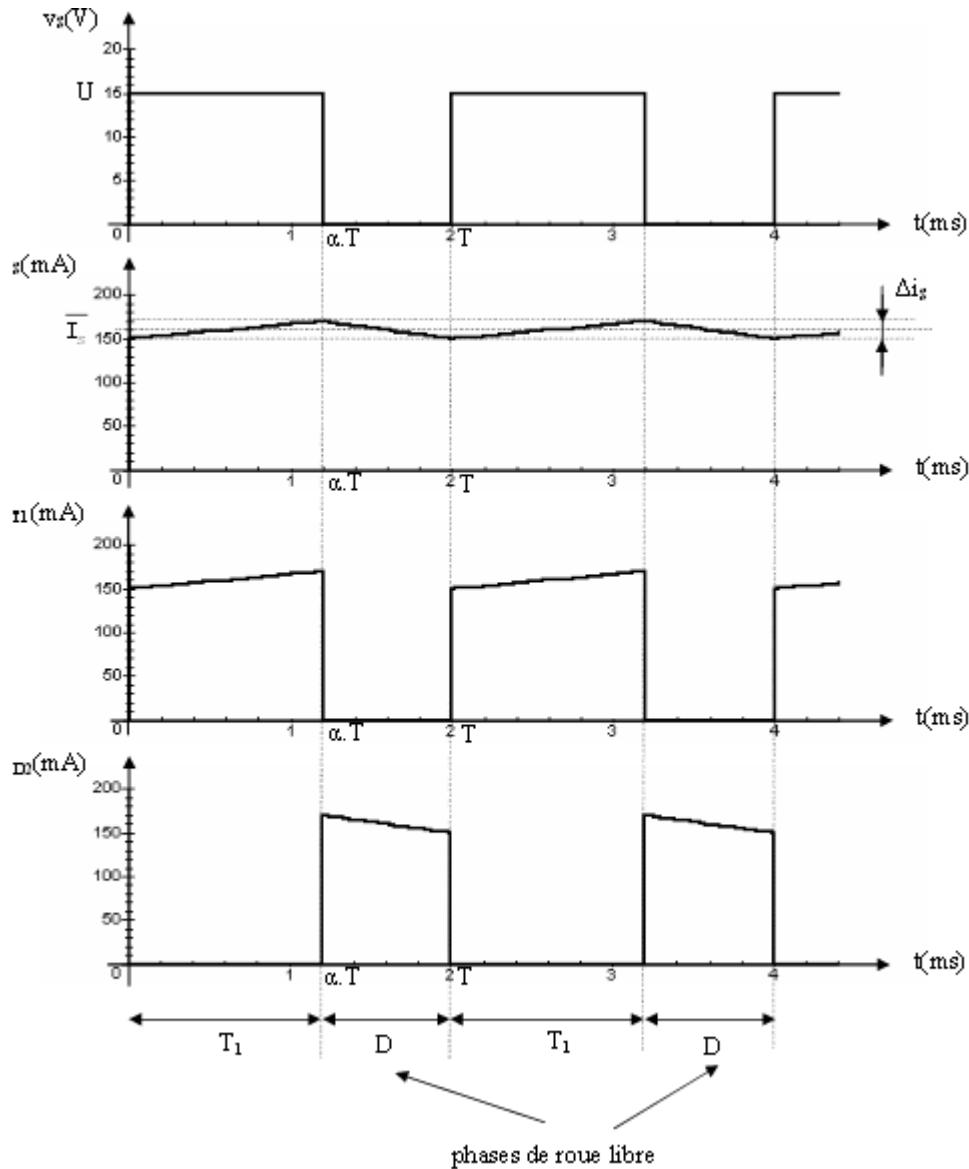


Figure 2.5 : chronogrammes d'un hacheur série (charge active R,L,E)

2.2.3 Hacheur parallèle (élevateur de tension) :

2.2.3.1 Intérêt du hacheur élévateur :

Si on considère un moteur DC entraînant une lourde charge (train par exemple). Lors d'une phase de freinage il est intéressant de récupérer l'énergie mécanique en la transformant en énergie électrique au lieu de la transformer en chaleur pour être dissipée dans l'atmosphère.

Lors de la phase de freinage, la machine DC fonctionne en génératrice mais sa f.é.m. E (qui décroît car la vitesse diminue) est inférieure à la tension U qui alimentait le moteur. Pour assurer le transfert d'énergie électrique de la génératrice vers le réseau, il faut un convertisseur continu-continu élévateur de tension c'est-à-dire un hacheur parallèle.

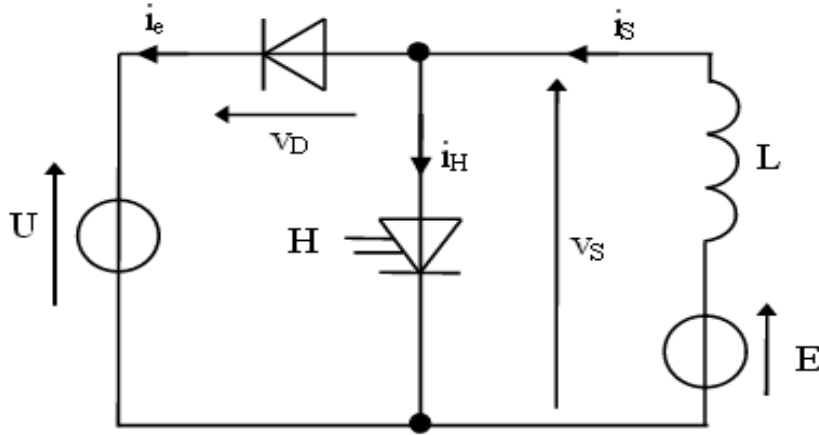


Figure 2.6 : Hacheur parallèle élévateur

Chronogrammes :

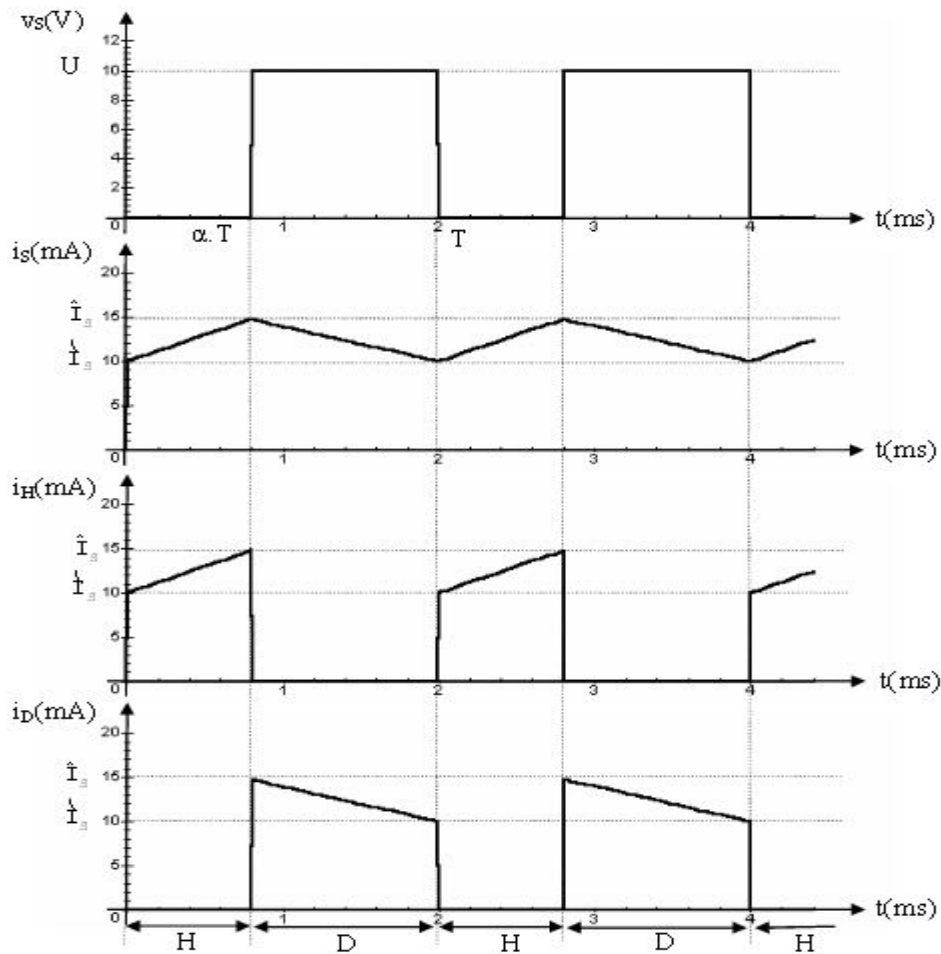


Figure 2.7 : chronogrammes hacheur parallèle élévateur

2.2.4 Hacheur réversible en courant :

Ce dispositif rassemble un hacheur série (HS, DS) abaisseur de tension et un hacheur parallèle (HP, DP) élévateur de tension.

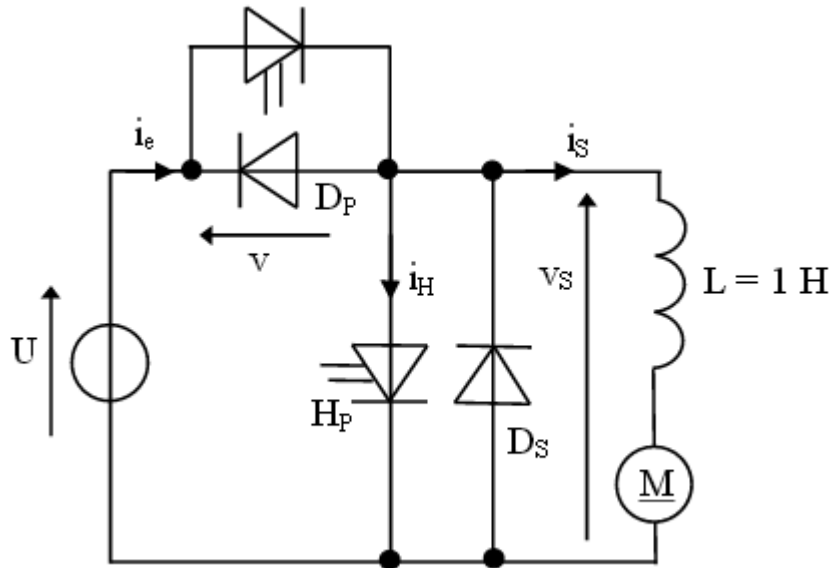


Figure 2.7 : Hacheur réversible en courant

Quand on commande le hacheur série, le hacheur parallèle étant inactif, la machine à courant continu fonctionne en moteur ($I_s > 0$), il y a transfert d'énergie électrique de la source U vers la charge.

Quand on commande le hacheur parallèle, le hacheur série étant inactif, c'est la machine à courant continu fonctionnant en génératrice qui débite dans la source ($I_s < 0$), permettant ainsi la récupération d'énergie lors des phases de freinage. [13]

Ce type de hacheur permet des phases de traction et de freinage sans réversibilité de la vitesse (tension V_s unidirectionnelle) mais avec réversibilité de couple (réversibilité de courant) \Rightarrow fonctionnement de la machine dans les quadrants 1 et 4 pour lesquels $\Omega > 0$.

Chronogrammes :

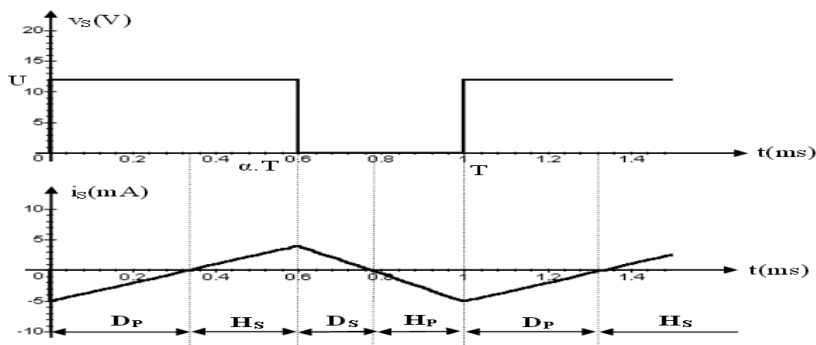


Figure 2.8 : Chronogrammes hacheur réversible en courant

2.3 Redresseurs :

2.3.1 Introduction :

Les montages redresseurs, souvent appelés simplement redresseurs, sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternatif-continu.

Alimentés par une source de tension alternative monophasée ou polyphasée, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie.

On utilise un redresseur chaque fois que l'on a besoin de continu alors que l'énergie électrique est disponible en alternatif. Comme c'est sous cette seconde forme que l'énergie électrique est presque toujours générée et distribuée, les redresseurs ont un très vaste domaine d'applications.

Les redresseurs à diodes, ou redresseurs non contrôlés, ne permettent pas de faire varier le rapport entre la ou les tensions alternatives d'entrée et la tension continue de sortie. De plus, ils sont irréversibles, c'est-à-dire que la puissance ne peut aller que du côté alternatif vers le côté continu [13]

2.3.2 Redressement simple alternance :

2.3.2.1 Charge résistive :

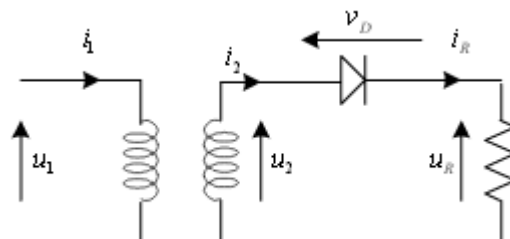


Figure 2.9 : redresseur simple alternance avec charge résistive

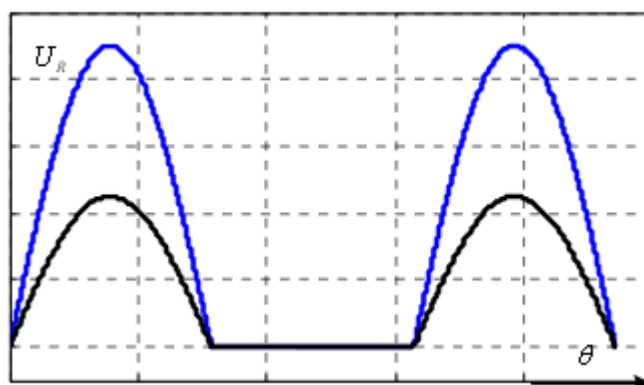


Figure 2.10 : Caractéristique idéale de la diode

2.3.2.2 Charge inductive :

La charge résistive est remplacée par une charge à caractère inductif composée d'une résistance R et d'une inductance L

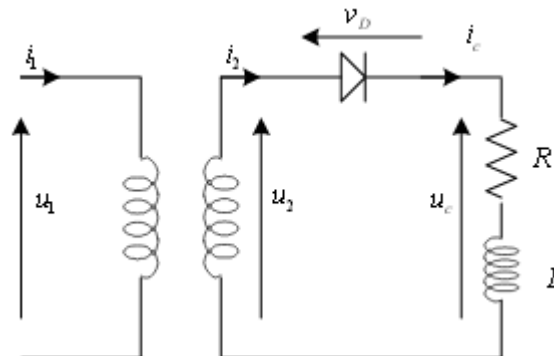


Figure 2.11 : redresseur simple alternance avec charge inductive

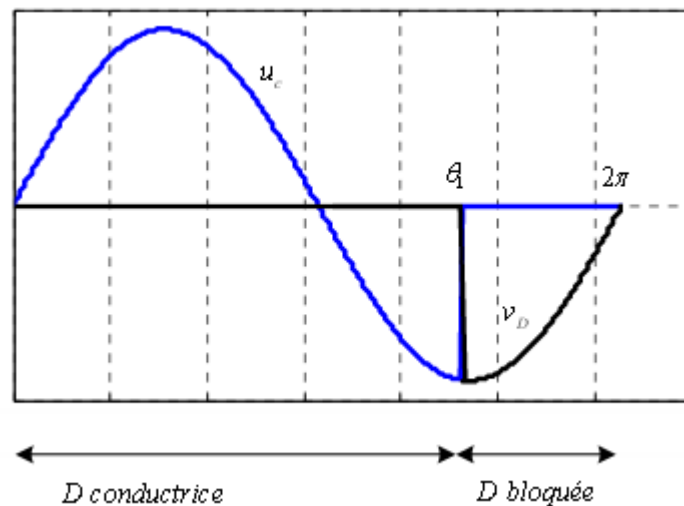


Figure 2.12 : Tension aux bornes de la charge

2.3.2.3 Charge inductive avec roue libre :

Ce dispositif permet de réduire l'ondulation du courant dans le récepteur et permet un régime de conduction continu si la charge est fortement inductive. Pour cela on shunte le récepteur par une diode de retour.

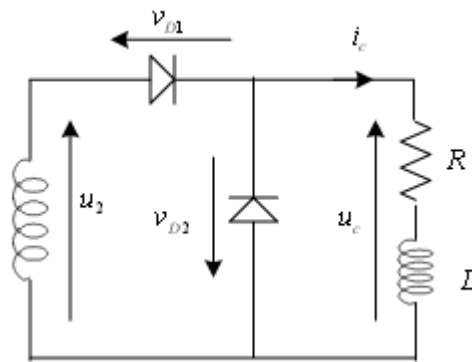


Figure 2.13 : redresseur simple alternance avec Charge inductive avec roue libre

2.3.3 Redressement double alternance :

Il est à signaler que le régime de fonctionnement et les caractéristiques du redresseur dépendent du type du récepteur.

2.3.3.1 Récepteur résistif pur :

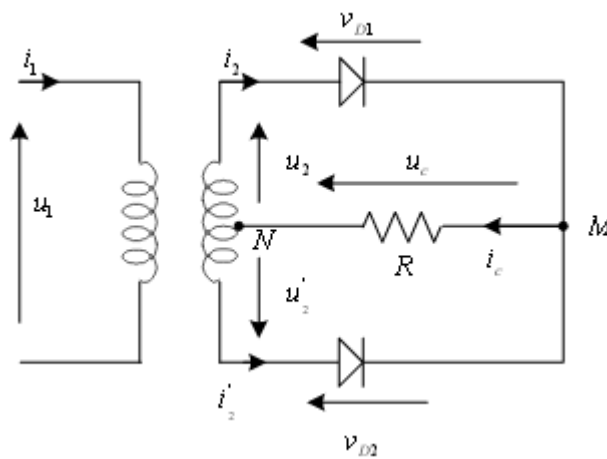


Figure 2.14 : redresseur double alternance avec récepteur résistif pur

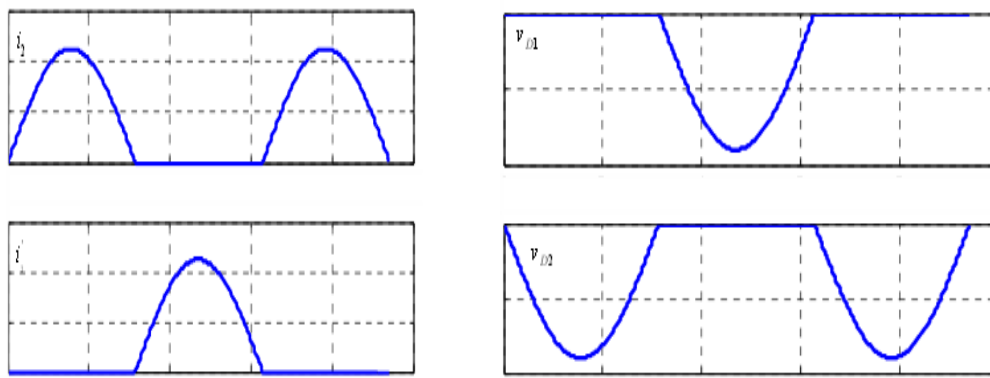


Figure 2.15 : Courants et la tension dans le redresseur

2.3.3.2 Récepteur résistif et inductif :

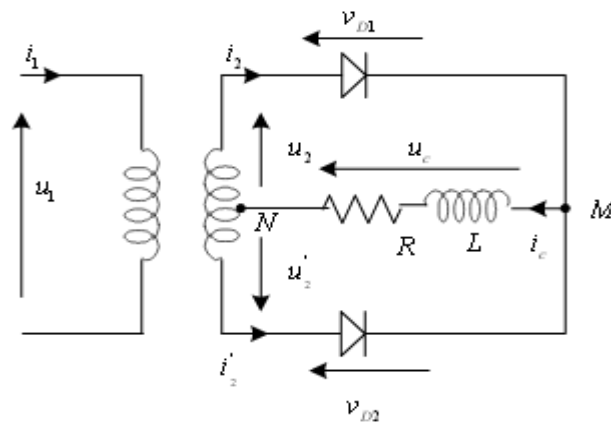


Figure 2.16 : redresseur double alternance avec récepteur résistif et inductif

2.3.3.3 Redresseur en pont monophasé :

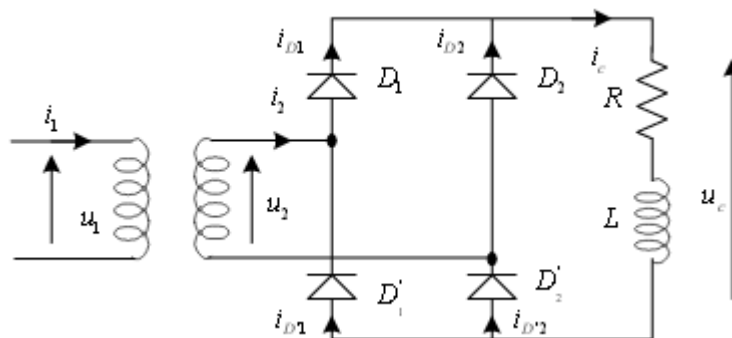


Figure 2.17 : Redresseur en pont monophasé

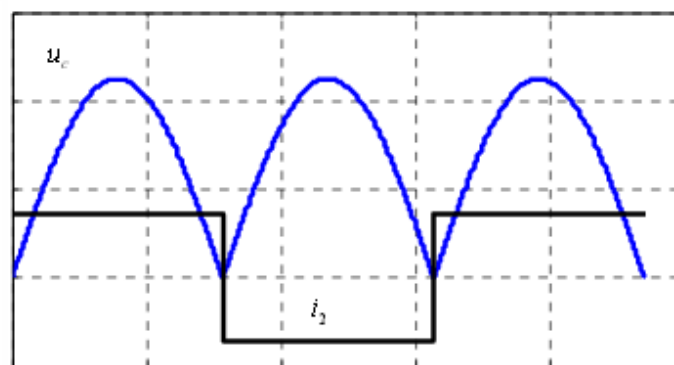


Figure 2.18 : Tension redressée et courant de ligne

Pour calculer un redresseur en pont avec n'importe quel type de récepteur, on peut utiliser les mêmes expressions de calcul du montage à point milieu sauf la tension inverse aux bornes des diodes.

L'avantage principal du redresseur en pont par rapport au redresseur à point milieu

est qu'il peut fonctionner sans transformateur. Les défauts principaux du redresseur en pont est la nécessité d'utiliser quatre diodes au lieu de deux ainsi les pertes des puissances sont deux fois plus grandes .

2.4 GRADATEURS :

2.4.1 Introduction :

Les gradateurs sont des convertisseurs AC/AC. Ils font l'interface entre la source et une charge demandant une tension variable en valeur efficace. Ils sont utilisés dans l'alimentation des machines à courant alternatif et surtout dans les fours.

2.4.2 gradateur monophasé :

2.4.2.1 Constitution :

Un gradateur est constitué de deux thyristors montés en antiparallèle ; commandés successivement à Ψ et $\pi+\Psi$. La figure (4-1) illustre le schéma de principe d'un gradateur monophasé. Th_1 est commandé dans l'intervalle $[0,\pi]$ alors que Th_2 est commandé dans l'intervalle $[\pi,2\pi]$

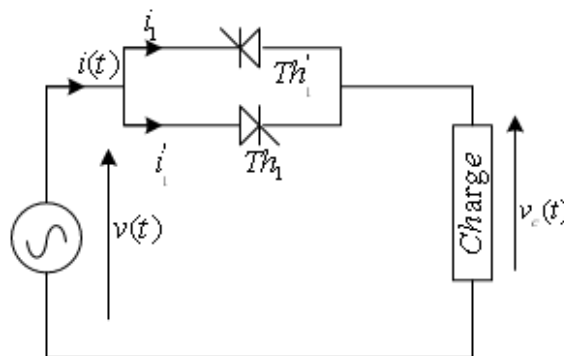


Figure 2.19 : gradateur monophasé

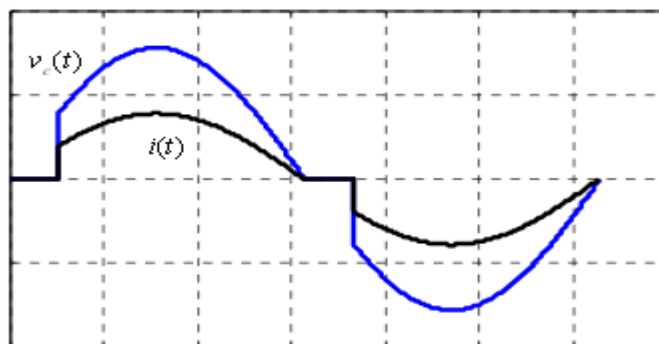


Figure 2.20 : Allure du courant et de la tension (Charge résistive)

2.5 ONDULEURS :

2.5.1 Introduction :

Les onduleurs sont les convertisseurs statiques continu-alternatif permettant de fabriquer une source de tension alternative à partir d'une source de tension continue.

Comme on l'a vu au chapitre, un redresseur commandé tout thyristor peut fonctionner en onduleur. Ce type d'onduleur est dit « non autonome » ou encore « assisté » car il ne permet de fixer ni la fréquence ni la valeur efficace des tensions du réseau alternatif dans lequel il débite. On se propose dans ce chapitre d'étudier les onduleurs autonomes. Ces derniers fixent eux-mêmes la fréquence et la valeur efficace de leur tension de sortie. [13]

2.5.2 Principe général de fonctionnement :

Pour réaliser un onduleur autonome, il suffit de disposer d'interrupteurs K et d'une source de tension continue E .

2.5.3 Onduleur monophasé à commande symétrique :

2.5.3.1 Onduleur avec source à point milieu :

Chaque interrupteur est formé d'un transistor et une diode en antiparallèle comme le montre la figure

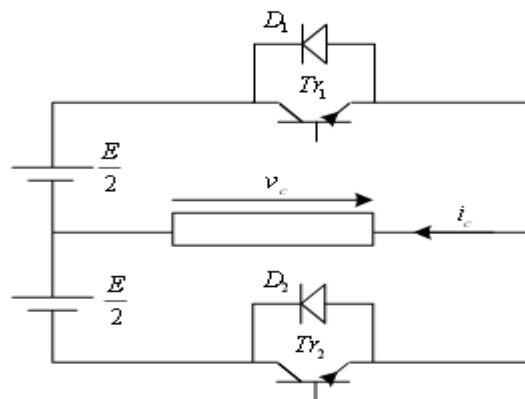


Figure 2.21 : Onduleur monophasé à point milieu

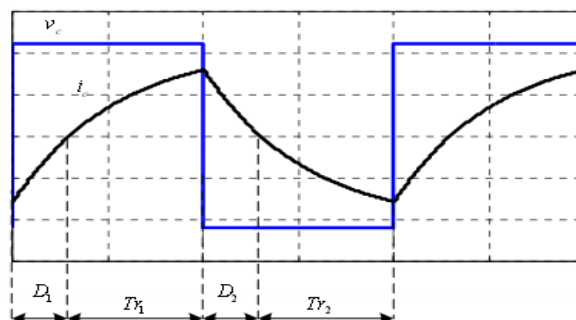


Figure 2.22 : Allure de la tension et du courant de charge R-L

2.5.3.2 Onduleur en pont :

L'onduleur en pont est formé de quatre interrupteurs montés en pont de Grätz. Les commandes des interrupteurs K_1 et $K'1$ sont complémentaires : $K_1 = K'1$ et $K_2 = K'2$. Chaque interrupteur est formé d'un composant commandable et une diode en antiparallèle.

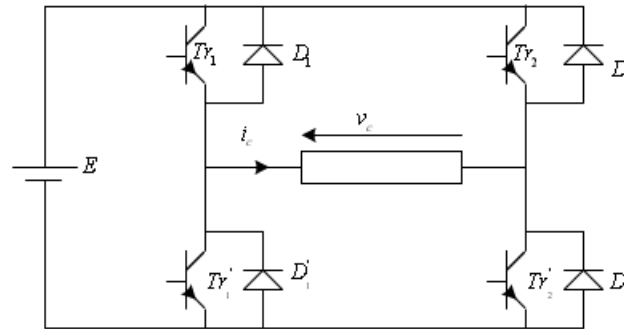


Figure 2.23 : Onduleur en pont

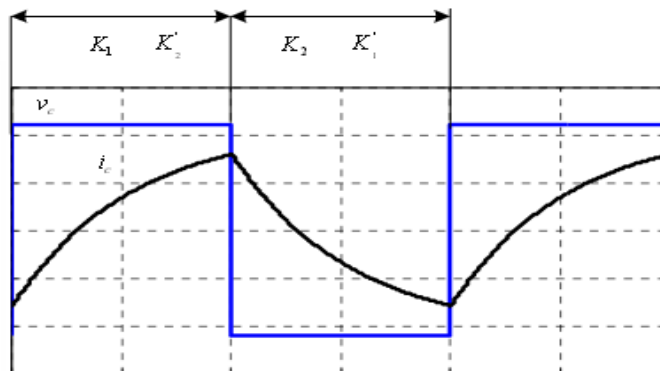


Figure 2.24 : Forme d'onde du courant et de la tension

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a exposé brièvement quelques topologies de base des alimentations à découpage, qui ne sont rien d'autres que des convertisseurs . Comme le convertisseur Onduleur , Redresseurs , hacheur ,Gradateur.

On a présenté aussi les differente type d'un chaque convertisseur .

Chapitre 03 :

FILTRAGE ACTIF DE PUISSANCE

CHAPITRE 3: FILTRAGE ACTIF DE PUISSANCE

3.1 INTRODUCTION:

Le filtrage actif de puissance est reconnu comme l'une des applications les plus contraignantes, du point de vue de la commande plus particulièrement, car les trajectoires poursuivies sont de plusieurs fréquences, sur un spectre assez large. Par ailleurs, ce type de compensateur travaille en environnement perturbé. Cela implique l'utilisation de bandes passantes plus élevées (ou bien un spectre adapté) et donc une attention spéciale aux réglages des correcteurs afin d'éviter d'éventuels problèmes de stabilité.

Ce chapitre introduit le filtrage actif et ses contrôles et ce, afin de présenter les différentes solutions de filtrage possibles face à la problématique des harmoniques et de décrire l'application choisie : le filtrage actif parallèle. Ainsi, le chapitre débute avec la problématique autour des harmoniques. Ensuite, les différentes solutions de filtrage possibles sont présentées et enfin, on se focalisera sur le filtrage actif parallèle, en analysant les différents types de filtres, leur modélisation et leur structure de contrôle.

3.2 PROBLEMATIQUE DES HARMONIQUES

La problématique des harmoniques, 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 dans le courant, et donc dans la tension, ce qui peut entraîner un mauvais fonctionnement des dispositifs raccordés au réseau. D'où, l'intérêt d'éliminer ces harmoniques. On présentera brièvement l'origine de ces harmoniques, leur propagation, les effets qu'ils produisent et la façon de les quantifier [13].

3.2.1 Origine et représentation

Certains appareils, contenant en général des éléments d'électronique de puissance pour se raccorder au réseau, absorbent un courant qui n'est pas sinusoïdal. Ces charges sont connues sous le nom de charges non linéaires et sont principalement à l'origine de la distorsion harmonique présente sur le réseau. La partie gauche de la Figure 3.1 illustre les courants non sinusoïdaux absorbés par la charge non linéaire la plus répandue : le redresseur à diodes ou à thyristors. Ce dispositif génère les harmoniques impairs non multiples de 3 (dans le cas

triphasé), les plus importants étant les harmoniques 5, 7, 11 et 13, comme on le voit sur le spectre de la Figure 3.1.

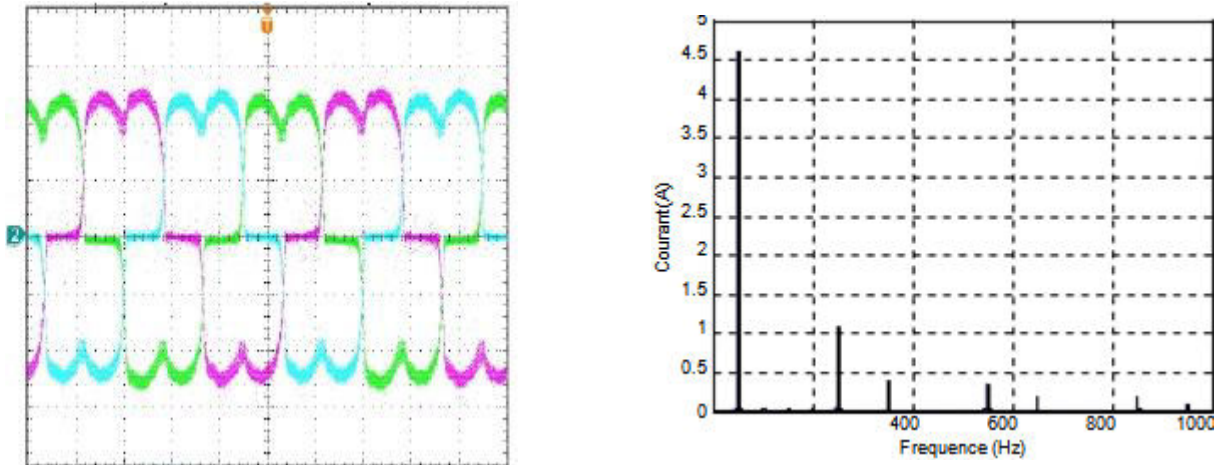


Figure 3.1. Courants absorbés par un redresseur triphasé à diodes à filtrage capacitif (à gauche) et le spectre d'une phase (à droite).

La façon la plus simple de représenter un courant non sinusoïdal est de considérer sa série de Fourier jusqu'à un rang significatif, c'est-à-dire en représentant les fréquences discrètes qui composent ce signal avec une précision souhaitée et une complexité acceptée. Dans ce cas-là, le courant absorbé par les charges non linéaires peut être généralement modélisé comme l'addition de plusieurs sources de courant, une pour chaque composante fréquentielle, mises en parallèle comme le montre la Figure 3.2

$$i(h) = i(0) + i(1) + \dots + i(n) = i(0) + i(1)\sqrt{2} \cos(\omega t + \varnothing 1) + \dots + i(n)\sqrt{2} \cos(\omega t + \varnothing n) \quad 3.1$$

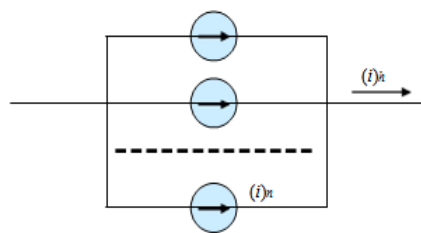


Figure 3.2. Modélisation d'une charge non-linéaire.

Dans le cas d'un système triphasé équilibré, le modèle de la charge sera :

$$i(a) = i(0) + i(1)\sqrt{2} \cos(\omega t + \varnothing 1) + \dots + i(n)\sqrt{2} \cos(\omega t + \varnothing n) \quad 3.2$$

$$i(b) = i(0) + i(1)\sqrt{2} \cos\left(\omega t + \varnothing 1 - \frac{2\pi}{3}\right) + \dots + i(n)\sqrt{2} \cos\left(\omega t + \varnothing 1 - n \frac{2\pi}{3}\right) \quad 3.3$$

$$i(c) = i(0) + i(1)\sqrt{2} \cos\left(\omega t + \varnothing 1 + \frac{2\pi}{3}\right) + \dots + i(n)\sqrt{2} \cos\left(\omega t + \varnothing 1 + n \frac{2\pi}{3}\right) \quad 3.4$$

On observe que les fondamentaux composent un système direct (c'est-à-dire de même séquence que la tension réseau), les harmoniques multiples de 3 composent un système homopolaire (ils sont en phase), l'harmonique 5 un système inverse (la séquence des phases est inverse par rapport à la tension réseau), l'harmonique 7 un système direct (même séquence que la tension réseau), etc.

Dans un circuit électrique quelconque, le courant et la tension sont couplés (en régime stationnaire) à travers la notion d'impédance : une variation du courant de la charge modifie la tension au point de raccordement et vice-versa. Une méthode itérative serait donc nécessaire pour mener une étude approfondie des interactions entre les charges non linéaires et le réseau. Toutefois, pour des raisons de simplification, on considère ici les charges non linéaires indépendantes des harmoniques de la tension réseau. En d'autres termes, on étudiera les effets des harmoniques de courant sur le réseau et non l'inverse.

3.1.2 Propagation

Les harmoniques de courant, une fois injectés par des charges non linéaires, se propagent à travers le réseau. Pendant leur propagation, ils trouvent deux types d'obstacle :

Les bifurcations : à chaque bifurcation le courant se partage en fonction de l'impédance observée sur chaque branche de la bifurcation (selon la loi du diviseur de courant). Comme les impédances du réseau dépendent généralement de la fréquence, l'impédance vue par chaque harmonique est différente et donc le rapport entre les courants acheminés par chaque branche aussi.

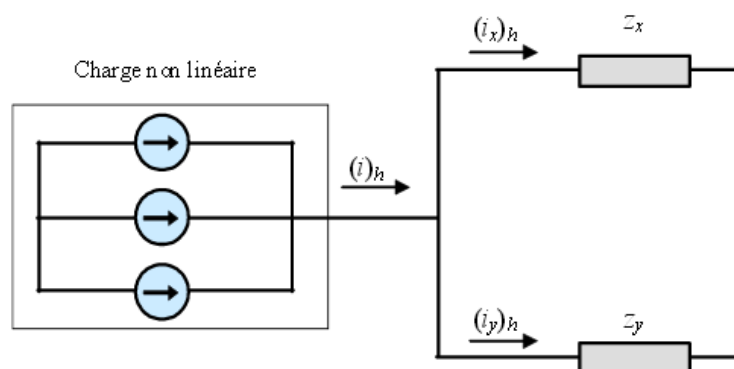


Figure 3.3. Division des courants harmoniques dans une bifurcation.

Les impédances asymétriques : l'impédance du réseau est pratiquement identique pour le système direct et inverse, tandis que son impédance homopolaire dépend de plusieurs facteurs comme le régime de neutre, le couplage ou les caractéristiques des circuits magnétiques, etc. La propagation des harmoniques homopolaires est donc tributaire de tous ces paramètres

Les harmoniques de courant sont ressentis essentiellement à travers leurs effets sur la tension (même si les harmoniques de courant peuvent dans certains cas provoquer des effets directs, comme par exemple sur les systèmes de communication). En effet, même si la tension réseau (E) est parfaitement sinusoïdale aux bornes du générateur, la chute de tension produite dans l'impédance entre le générateur et le point de raccordement de la charge non linéaire ($Z_r + Z_{r1}$), fait que la tension au point de raccordement (P_R) est perturbée. Evidemment, plus grande est l'impédance du réseau, plus importante sera la distorsion de cette tension qui affectera à son tour d'autres charges connectées (voir Figure 3.4).

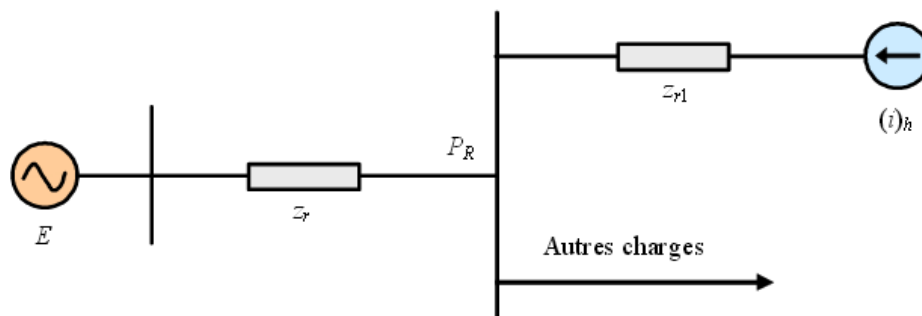


Figure 3.4. Influence des harmoniques de courant sur la tension au point de raccordement.

3.1.3 Effets

Bien que les susceptibilités des différents appareils à l'égard des harmoniques soient très diversifiées, on distingue schématiquement deux sortes d'effets possibles :

Les effets quasi instantanés sur certains types d'appareillage, tels que l'électronique de puissance, calculateurs, relais, systèmes de contrôle et régulation, etc. La présence d'harmoniques sur les signaux provoque le déplacement du passage par zéro et des modifications de la valeur crête de l'onde.

Les effets à terme sur les machines tournantes, les transformateurs et les condensateurs, ce qui se manifeste par des échauffements supplémentaires. Il en découle la destruction de matériel ou plus fréquemment une diminution de leur durée de vie par surcharge thermique.

Ce problème peut être abordé de deux façons :

Essayer de réduire l'impédance du réseau. En théorie si l'impédance était nulle, la tension et le courant seraient complètement découplés et les harmoniques du courant n'auraient aucun effet sur la tension. Cette solution n'est pas réalisable car elle exigerait des modifications très importantes et onéreuses, voire impossibles.

Ajouter des bifurcations au système de façon à introduire des voies privilégiées de

circulation des harmoniques de courant qui évitent le réseau. Cette solution est la plus utilisée et est connue sous le nom de filtrage d'harmoniques.

3.1.4 Caractérisation et normes

Différents critères sont définis pour caractériser les perturbations harmoniques. Le taux de distorsion harmonique (THD) est le plus employé pour quantifier le contenu harmonique d'un signal :

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (i_h)^2}}{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} (i_h)^2}} * 100 \quad 3.5$$

Il va de soit que la répartition spectrale complète généralement l'information sur le THD.

Afin de limiter l'influence d'une charge polluante sur les différentes charges connectées au réseau, et en même temps pour limiter l'influence des charges sur le réseau de façon à éviter la modification de ses caractéristiques, des normes sur la qualité de l'énergie ont été développées. La norme principale, IEEE 519: 1992, *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Power Systems*, détermine la procédure pour contrôler les harmoniques présents sur le réseau électrique. Elle impose également les limites recommandées de la pollution harmonique générée par les clients et de distorsion harmonique totale sur le réseau [12]. Cette norme limite la distorsion harmonique (THD) du courant des réseaux <69kV à 5%.

3.2 SOLUTIONS POSSIBLES

Plusieurs solutions, basées sur le filtrage d'harmoniques, ont été envisagées pour limiter la propagation des harmoniques dans le réseau électrique. La solution la plus classique est largement utilisée dans l'industrie consiste à utiliser des filtres passifs. Plus tard, afin de surmonter les limitations des filtres passifs, les filtres actifs ont été conçus et commercialisés. Ces dernières années, la combinaison de filtres passifs et actifs, appelée filtres actifs hybrides, est devenue de plus en plus répandue grâce à ses avantages par rapport aux filtres passifs ou actifs. Cependant, pour l'instant, ces filtres hybrides ont eu une pénétration très limitée sur le marché.

3.2.1 Filtres passifs

Il s'agit des premiers dispositifs utilisés pour l'élimination d'harmoniques. Ils sont composés par des éléments passifs comme des inductances, des condensateurs et des résistances. En général, les filtres d'harmoniques sont connectés en parallèle avec les charges génératrices d'harmoniques (les redresseurs à diodes ou à thyristors, fours à arcs électriques, etc.).

On différencie quatre types de filtres passifs : les filtres réglés à des fréquences déterminées, les filtres passe-haut, les filtres passe-bas et les filtres passe-bande. Le choix le plus commun pour le redresseur à thyristors de haute puissance consiste à utiliser une combinaison de plusieurs filtres réglés à une seule fréquence (sur les harmoniques 5, 7, 11 et 13) et un filtre passe haut du deuxième ordre réglé autour de la fréquence de l'harmonique 17 comme le montre la Figure 3.5.

La fonction de transfert de ces filtres passifs est donnée ci-dessous :

$$G(s) = \frac{\frac{1}{L_5}s}{s^2 + \frac{1}{C_5L_5}} + \frac{\frac{1}{L_7}s}{s^2 + \frac{1}{C_7L_7}} + \frac{\frac{1}{L_{11}}s}{s^2 + \frac{1}{C_{11}L_{11}}} + \frac{\frac{1}{L_{13}}s}{s^2 + \frac{1}{C_{13}L_{13}}} + \frac{\frac{1}{R_{17}}s^2 + \frac{1}{L_{17}}s}{s^2 + \frac{1}{R_{17}C_{17}}s + \frac{1}{L_{17}}}$$

Où L , R et C représentent les différents paramètres du filtre de connexion.

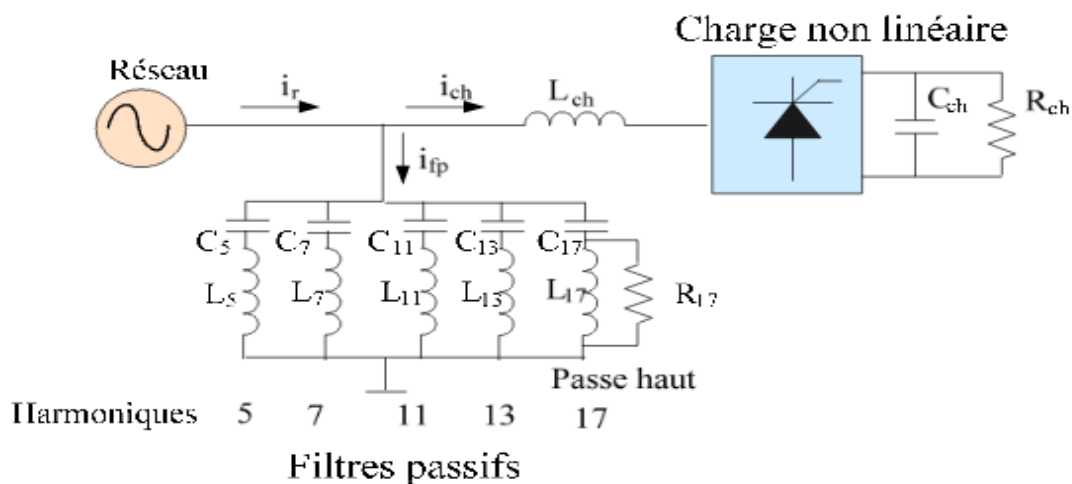


Figure 3.5. Schéma bloc monophasé de plusieurs filtres passifs connectés en parallèle sur un réseau pollué.

on obtient la réponse fréquentielle suivante :

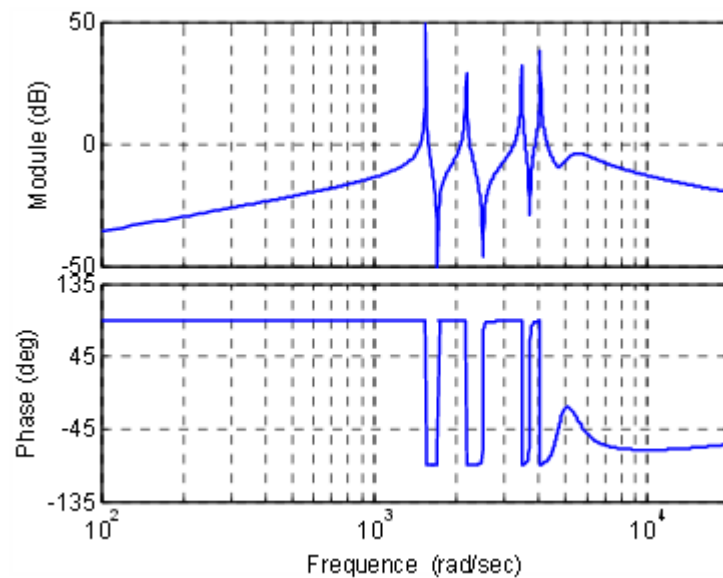


Figure 3.6. Réponse fréquentielle d'un filtre passif composé de quatre filtres réglés sur la fréquence des harmoniques 5, 7, 11 et 13 et un filtre passe haut réglé à la fréquence de l'harmonique 17.

Les filtres harmoniques passifs ont l'avantage de pouvoir corriger le facteur de puissance en dimensionnant correctement les condensateurs afin d'échanger une quantité déterminée de puissance réactive avec le réseau. Cependant, ces filtres présentent quelques inconvénients :

- L'impédance du réseau en présence des filtres peut faire apparaître des résonances.
- Le filtrage passif peut absorber les courants harmoniques d'autres charges non linéaires et dans ce cas, le filtre passif peut être surchargé.
- Le filtrage passif est peu flexible et, en cas de modifications dans le réseau, il peut avoir du mal à s'adapter aux nouveaux besoins du filtrage.
- La conception des filtres passifs doit considérer la tolérance de fabrication et les dérives paramétriques qui apparaissent à l'usage.

Ainsi, avant d'installer un filtre de ce type, une étude détaillée doit être menée afin d'analyser, cas par cas, les risques de résonance et de surcharge.

3.2.2 Filtrage actifs

Les filtres actifs de puissance sont composés d'un onduleur connecté au réseau par l'intermédiaire d'un filtre passif. Les avantages les plus importants de ces filtres actifs par rapport aux filtres passifs sont les suivants :

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

Pourtant, ils ont aussi quelques inconvénients :

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

Deux différents types de filtres actifs sont à dissocier :

- **Le filtre actif parallèle**, ce filtre se comporte comme une source de courant qui compense les courants harmoniques des charges non linéaires, mais aussi les déséquilibres ou encore les courants réactifs (voir Figure 3.7).

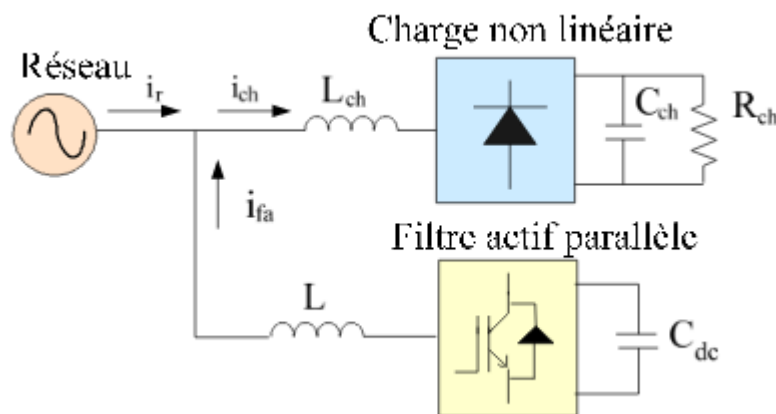


Figure 3.7. Schéma bloc monophasé d'un filtre actif parallèle.

- **Le filtre actif série**, ce filtre sert à filtrer les perturbations de tension provenant du réseau. Ce filtre se comporte comme une source de tension qui s'oppose aux perturbations de la tension (harmoniques, déséquilibres, creux) venant du réseau en protégeant la charge des imperfections de la tension du réseau (voir Figure 3.8).

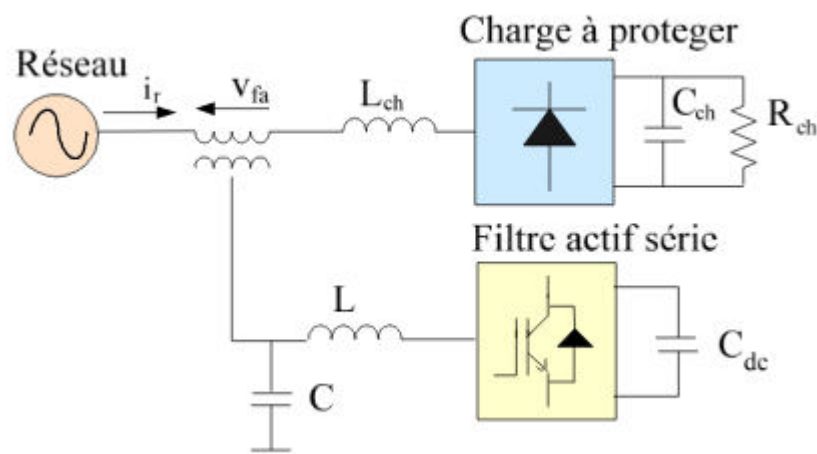


Figure 1.8. Schéma bloc monophasé d'un filtre actif série.

3.2.3 Filtres actifs hybrides

Le filtre actif hybride est une combinaison de filtres actifs (connectés avec ou sans transformateur triphasé ou trois transformateurs monophasés) et de filtres passifs. Ainsi, les filtres passifs éliminent les harmoniques en basses fréquences, ce qui permet de réduire le dimensionnement du filtre actif qui ne compense que le reste de perturbations. En conséquence, le filtre actif est plus petit (au niveau de dimensionnement) que pour un filtre actif conventionnel et la réponse est bien meilleure qu'avec des filtres passifs seuls.

Souvent le filtre passif est formé par deux filtres réglés aux fréquences des harmoniques 5 et 7 et un filtre passe haut réglé autour de la fréquence de l'harmonique 11. Ainsi dans ce cas, le filtre actif permet d'éviter des résonances entre les éléments passifs et le réseau [5].

Plusieurs configurations possibles entre les filtres actifs et passifs ont été étudiées dans la littérature [7] [13], la Figure 3.9 montre l'une des configurations les plus récentes.

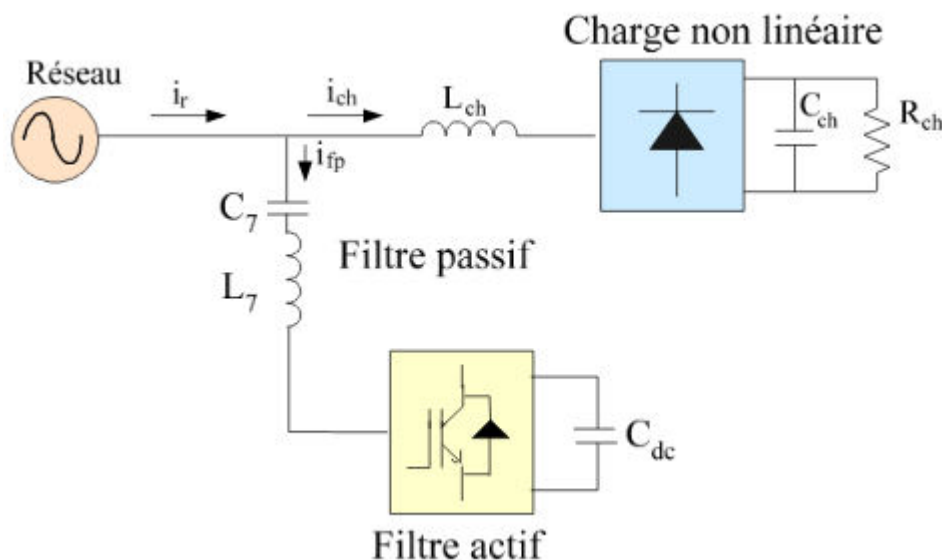


Figure 3.9. Schéma bloc d'un exemple de filtre actif hybride.

3.3 FILTRE ACTIF PARALLELE

Des trois solutions possibles présentées (filtres passifs, actifs et hybrides), on ne s'intéresse dans cette étude qu'au filtre actif, et en particulier, au filtre actif parallèle. Ce choix a été arrêté par le fait que le filtre actif est un dispositif bien connu, très développé et déjà commercialisé. On le considère donc comme un outil support pour nos travaux, à savoir pouvoir synthétiser et tester des structures de contrôle avancées qui seront présentées dans le chapitre suivant. Ainsi, par la suite, on va se concentrer sur le filtre actif shunt.

Les filtres actifs parallèles de puissance sont composés d'un onduleur connecté au réseau à

travers un filtre de nature inductive. Ils sont connectés avec ou sans transformateur en parallèle avec le réseau comme le montre la Figure 3.7.

Les filtres actifs parallèles, à part pour compenser certains harmoniques, ont aussi d'autres possibles fonctionnalités :

- Contrôle de la puissance réactive
- Equilibrage des charges
- Réduction du flicker
- Redresseur à prélèvement sinusoïdal

3.3.1 Etat de l'art des filtres actifs parallèles

Dans [12] un état de l'art des filtres actifs de puissance parallèles est présenté. Cette étude a été approfondie et ensuite élargie aux filtres actifs multiniveaux et aux filtres actifs de moyenne tension.

Même s'il existe des références antérieures sur les filtres actifs [14] [16], la première famille de filtres actifs parallèles a été conçue à partir d'onduleurs à thyristors commandés en MLI [14]. Ces filtres ont été développés pour éliminer les harmoniques générés par les convertisseurs utilisés dans les systèmes de transmission de courant continu en haute tension (HVDC). Toutefois, à cette époque la technologie des interrupteurs d'électronique de puissance ne permettait pas un développement applicatif significatif.

Les années suivantes ont vu des progrès importants 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 *filtre actif parallèle* de 800kVA, composé d'un commutateur de courant à MLI et thyristors GTO, a été installé pour la compensation d'harmoniques [13].

Par la suite, de nombreux onduleurs de puissance commandés en MLI ont été développés pour des applications de filtrage actif [12] [15]. 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 2MVA [14].

Les premiers dispositifs ne compensaient que les perturbations harmoniques de courant. Toutefois, les filtres actifs ont évolué et des prototypes avec des fonctionnalités plus nombreuses ont été conçus. Les filtres actifs modernes, en plus de compenser et amortir les courants harmoniques, compensent les déséquilibres de courant, contrôlent la puissance

réactive et le flicker.

Jusqu'à cette époque, tous les filtres actifs parallèles étaient installés par les consommateurs industriels. Néanmoins, l'installation par le distributeur d'énergie de ces dispositifs peut s'envisager. Dans ce cas, l'objectif principal est d'amortir la résonance entre les condensateurs de compensation de puissance réactive et l'inductance de la ligne plutôt que de réduire la distorsion harmonique de la tension à travers la ligne [14].

Au cours de l'année 1997, la *topologie multiniveaux* a débuté aussi pour des applications de filtrage actif. La référence [16] présente un filtre actif avec un onduleur clampé par le neutre et dans [16] l'auteur a présenté un filtre actif en utilisant des onduleurs en cascade de 11 niveaux. Les années qui ont suivi ont vu de nombreuses publications sur les filtres actifs multiniveaux avec différentes topologies : dans [14], l'auteur propose une topologie à capacité flottante avec commutation douce ; la référence [16] utilise un convertisseur en cascade asymétrique, etc. Cependant, de nos jours, la plupart des filtres actifs parallèles utilisent des convertisseurs clampés par le neutre.

L'évolution des dispositifs d'électronique de puissance vers des applications à chaque fois plus puissantes est palpable dans le domaine des filtres actifs, quoique à moindre échelle qu'ailleurs. On y constate, de plus en plus, une évolution vers des tensions et des puissances plus élevées, y compris sans transformateur de couplage.

La première référence sur un filtre actif connecté à un réseau de *moyenne tension* date de 2001. La référence [12] propose la connexion d'un filtre actif shunt monophasé à l'extrémité d'une ligne de traction de 25kV dans le but de diminuer les harmoniques de tension 3, 5 et 7 au point de connexion du filtre et de fournir de la puissance réactive pour maintenir la tension sur la ligne. Par la suite, [12] propose une étude similaire mais avec un convertisseur de topologie hybride de cinq niveaux. Un bras de ce convertisseur est composé d'un convertisseur clampé par le neutre (NPC) qui utilise des IGBTs et l'autre bras est composé d'un convertisseur à deux niveaux conventionnel à IGCTs.

Une contribution plus récente est consacrée à un filtre actif à base d'onduleurs en cascade connecté à un réseau de 4.16kV avec transformateur [05]. L'auteur constate qu'une combinaison des semiconducteurs de puissance élevée et une inductance de filtre réduit en moyenne tension peut être une solution compétitive, au niveau du coût, par rapport aux filtres actifs conventionnels en basse tension.

Néanmoins, à présent, les références liées aux filtres actifs de moyenne tension dans la littérature sont relativement limitées, et on constate plutôt une évolution vers l'utilisation de

filtres hybrides pour ce type d'application. En effet, on constate que ces filtres se présentent comme une solution très intéressante pour surmonter les limitations des filtres actifs, surtout en ce qui concerne la montée en tension.

D'un côté, dans [15], l'auteur propose l'utilisation d'un filtre actif hybride à base d'un onduleur multiniveau à capacité flottante pour se connecter à un réseau de 20kV. L'onduleur se comporte comme un diviseur de tension avec pour but de limiter la tension qui doit supporter le filtre actif. D'un autre côté, dans [13], est décrit un filtre actif hybride biniveaux, constitué d'un filtre passif relié directement en série (sans transformateur) à un filtre actif, le tout directement connecté à un réseau de 3.3kV. Une étude similaire est réalisée dans [05] où le filtre est connecté à un réseau de 6.6kV mais dans ce cas le but du filtre est d'amortir les harmoniques de la ligne. Finalement, dans [05] l'auteur propose un filtre actif hybride sans transformateur avec topologie NPC qui se connecte à un réseau de distribution de 6kV/10kV.

3.3.2 Applications des filtres actifs parallèles

La principale charge polluante, le redresseur à diodes ou à thyristors, est très utilisée que cela soit pour alimenter des charges continues à partir du réseau ou comme un élément d'interfaçage au réseau dans une conversion à étage intermédiaire continu. De plus en plus de dispositifs de ce type se connectent au réseau électrique. De ce fait, les filtres actifs parallèles ont un champ d'utilisation naturel dans les *applications de réseau*, notamment dans les réseaux faibles avec plusieurs charges polluantes et dans les réseaux à courant continu en haute tension (HVDC).

Les filtres actifs sont également utilisés dans des *applications industrielles*, afin de dépolluer une zone avec plusieurs charges non linéaires (redresseurs, certains éclairages, etc.).

En fin, le filtrage actif est également employé dans les *applications tertiaires* car les filtres actifs peuvent être intéressants dans les bâtiments commerciaux, hôpitaux, etc. dans lesquels il y a de nombreuses charges polluantes comme des ordinateurs, éclairage économique, imprimantes lasers, etc. [13]. Ces filtres actifs compensent les courants harmoniques, les courants réactifs et les déséquilibres des charges.

Les applications réseau, industrielles, tertiaires, domestiques et en télécommunications apparaissent comme des environnements particulièrement pollués par les harmoniques. On peut tout de même préciser que quelques fabricants proposent sur leurs catalogues des filtres actifs parallèles: ABB, Siemens, MGE UPS, AIM Europe et Mesta Electronics.

Tous ces fabricants utilisent des composants suffisamment rapides comme les transistors

IGBTs. La puissance de ces filtres varie selon le fabricant et selon le modèle avec des gammes allant de 10 à 2000KVA. La quasi-totalité des filtres actifs sont triphasés, ils se connectent tous en basse tension ($V < 690V$), supportent des courants entre 300-480A et donnent le choix de se connecter avec ou sans neutre raccordé. Les filtres permettent une compensation globale des harmoniques, souvent jusqu'à l'harmonique 50. Ces filtres actifs, en plus de réduire les courants harmoniques, améliorent le facteur de puissance et équilibrent les charges triphasées. L'utilisation de ces filtres produit une réduction des coûts d'exploitation et une prolongation de la durée de vie de l'installation.

3.3.3 Classement des filtres actifs parallèles

Il existe une grande variété de types de filtres actifs parallèles. Ils sont classés de différentes manières selon le nombre de phases, la technologie de l'onduleur et la topologie [16] [12] [05].

- Filtres actifs monophasés ou triphasés.
- Filtres actifs avec ou sans neutre raccordé.
- Filtres actifs basés sur l'onduleur de tension ou sur le commutateur de courant.

Même si les filtres actifs monophasés ont été largement étudiés dans la littérature [13] [12], dans les applications industrielles, ce sont les filtres actifs triphasés qui sont les plus répandus (pour des applications de type variateurs ou redresseurs à dépolluer) du fait que les filtres monophasés sont normalement limités aux applications en basse puissance (les redresseurs des sources d'alimentation en continu), sauf dans le cas de la traction électrique [05].

La deuxième classification se fait autour de la topologie utilisée, avec ou sans neutre raccordé. Les filtres actifs avec neutre raccordé ont été développés afin de pouvoir injecter et compenser les composantes homopolaires. Dans la littérature la plupart des filtres sont connectés sans neutre raccordé. Toutefois, on trouve plusieurs filtres avec neutre raccordé : certains avec un onduleur à trois bras et d'autres avec un onduleur à quatre bras dans [12].

En ce qui concerne la technologie de l'onduleur, les filtres actifs sont soit basés sur l'onduleur de tension avec un condensateur côté du continu et un filtre de raccordement inductif du côté réseau, soit sur un commutateur de courant avec une inductance du côté continu et un filtre de raccordement capacitif du côté du réseau (voir Figure 3.10)

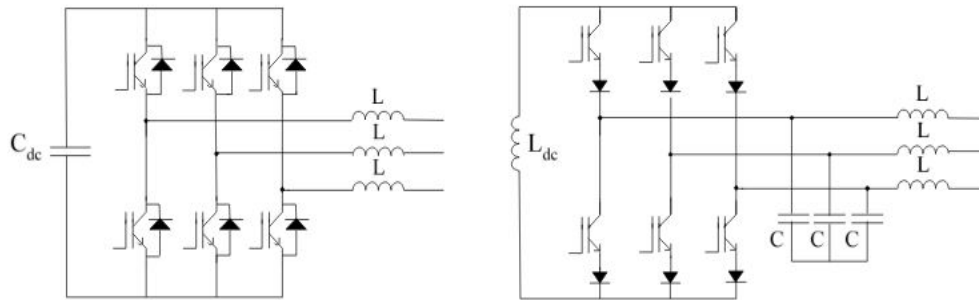


Figure 3.10. Filtre actif basé sur un onduleur de tension (à gauche) et sur un commutateur de courant (à droite).

Actuellement, même si l'on trouve des articles basés sur le commutateur de courant [15], l'onduleur de tension est généralement préféré à cause de son meilleur rendement, de son moindre coût et de son volume plus réduit (si l'on compare le condensateur et l'inductance du côté continu). Par ailleurs, les modules à IGBTs disponibles actuellement sur le marché sont bien adaptés aux onduleurs de tension car en général une diode en anti-parallèle est rajoutée pour chaque IGBT. Le commutateur de courant a quant à lui besoin de mettre en série avec chaque IGBT une diode anti-retour. De plus, un aspect vient clore provisoirement le choix : le commutateur de courant ne peut pas être utilisé avec des topologies multiniveaux classiques [18]. En conséquence, presque tous les filtres actifs qui sont sur le marché sont composés d'onduleurs de tension.

Ainsi, le choix le plus commun dans la plupart des applications consiste à utiliser un filtre actif triphasé basé sur un onduleur de tension sans neutre raccordé.

3.4 CONCLUSIONS

Dans ce chapitre on a abordé la problématique des harmoniques et les solutions possibles. On conclut, que même si les filtres actifs hybrides se présentent comme une bonne solution dans un futur proche, de nos jours, les filtres actifs parallèles apparaissent comme la solution la plus standard pour le filtrage de courants harmoniques.

Ainsi, on a retenu l'application au filtrage actif parallèle. Cette application est considérée comme très exigeante car elle implique des bandes passantes très élevées, ce qui influence considérablement la stabilité du système.

Chapitre 04 :

Simulation et Résultats du système

Chapitre 4 Simulation et Résultats du système

4.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons démontrer la faisabilité du système par la commande DPC, alimenté par Gpv basée sur l'erreur instantanée entre les valeurs de références et celles mesurées ou estimées des puissances active et réactive, et la position angulaire du vecteur de tension de source. Généralement avec cette stratégie de commande, la tension du bus continu est régulée pour un contrôle de la puissance active et le fonctionnement avec un facteur de puissance unitaire est obtenu en imposant la puissance réactive à une valeur nulle d'abord, puis l'amélioration des performances de compensation en réduisant le taux d'harmonique dans le réseau beaucoup plus sensiblement, et l'injection de puissance réelle produite par le Gpv au réseau pour n'importe quelle situation de la radiation solaire, tout en bénéficiant d'un apport en énergie active, vue l'autonomie du notre système par rapport aux systèmes classiques nécessitant des investissements supplémentaires, et surtout l'énergie utilisée qui est propre et renouvelable

4.2 Principe de la commande :

Afin de prendre en main le sujet, il a tout d'abord fallu comprendre ce qu'était une commande DPC.

Notre travail a donc commencé par la recherche de documents traitant de ce sujet, la commande DPC n'étant qu'au stade de la recherche il n'existe pas encore d'application industrielle mettant en œuvre cette commande.

L'utilisation d'une commande DPC, permet en premier lieu de se passer des correcteurs utilisés couramment afin d'asservir un convertisseur. Cette commande élimine les blocs de modulation et les boucles internes, il n'utilise que les puissances instantanées comme variable de contrôle, plus précisément les erreurs déterminées entre les valeurs mesurées des puissances instantanées actives et réactives et leurs valeurs de référence. Elle détermine ensuite, en fonction de ces valeurs et d'une table de commutation le réglage du convertisseur à appliquer.

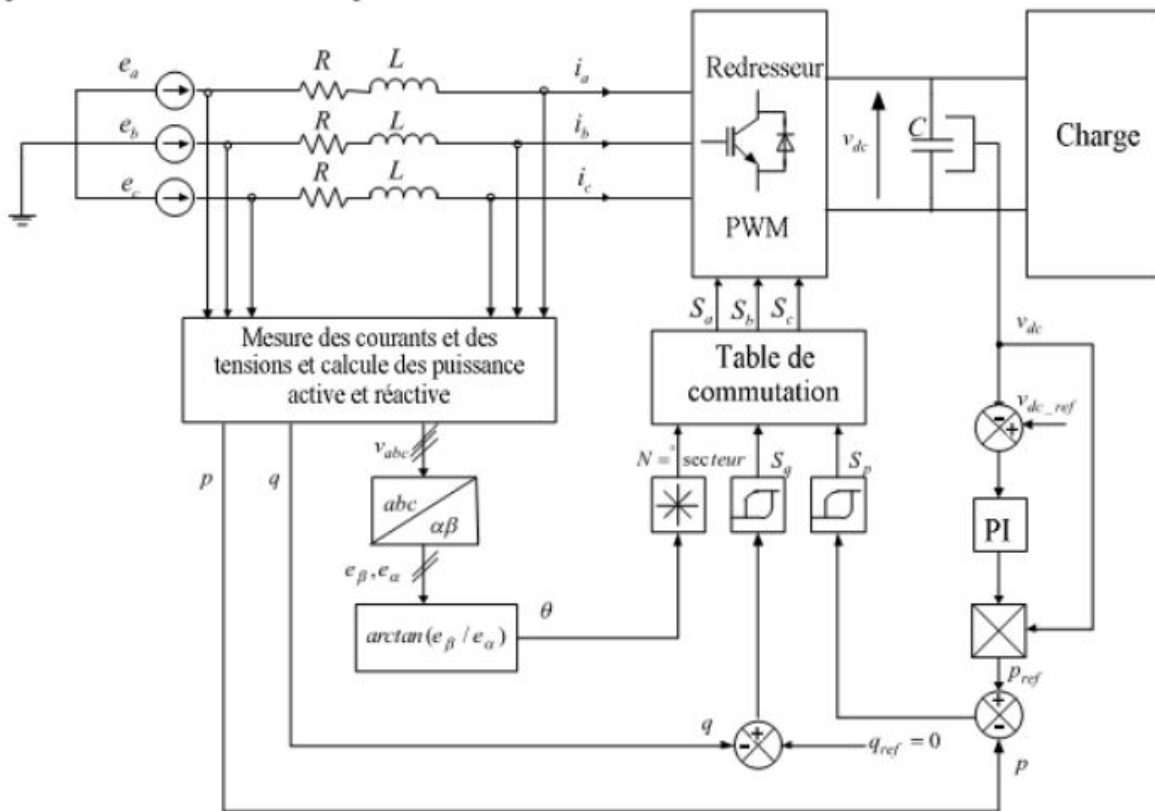


Figure 4.1 : Schéma bloc de contrôle de l'onduleur connecté au réseau avec le DPC

Il s'agit simplement d'un réseau triphasé, d'un convertisseur et d'une charge quelconque.

La commande DPC fonctionne par étape :

1. Mesure des tensions composées V_{13}, V_{32} et des courants i_1, i_2, i_3 afin de déterminer grâce à

La transformée de Concordia la valeur des courants/tensions directes et de quadratures

Cette transformée de Concordia permet de passer d'un repère triphasé fixe (déphasé de $\frac{2\pi}{3}$)

à un repère diphasé α, β (déphasé de $\frac{\pi}{2}$)

La transformation de Concordia se présente comme pour les courants :

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$

4.1

et pour les tension

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}$$

2. Le θ représentant le secteur dans lequel on se trouve dans notre repère diphasé ($\alpha; \beta$)

Celui-ci peut être déterminé simplement en appliquant une fonction arctang sur notre rapport $\frac{V_b}{V_a}$ pour obtenir le θ .

3. une fois le θ trouvé, il faut déterminer dans quel secteur on se trouve sur la tension du réseau. Un cycle est divisé en 12 zones, chaque zone correspondant à un intervalle de $\frac{\pi}{6}$ (12 secteurs équivalent à un cycle de $\frac{\pi}{2}$). En fonction de la valeur du θ on trouve donc facilement dans laquelle des 12 zones nous situons

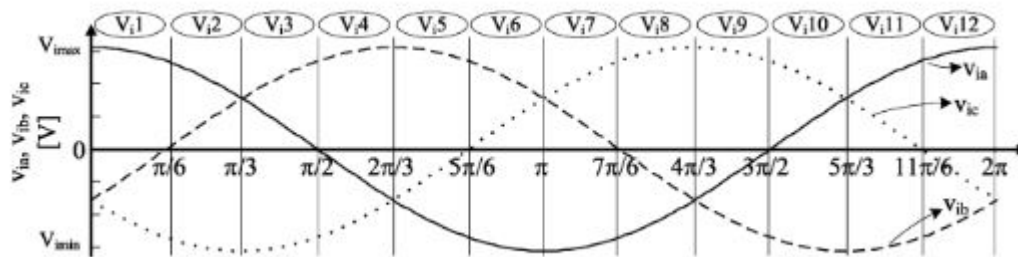


Figure 4.2 : représentation des 12 secteurs des tensions triphasées

Une autre solution est possible pour déterminer la zone dans laquelle on se trouve sans avoir besoin de calculer le θ , cette solution est plus brute, il suffit en effet de comparer les 3 tensions entre elles et par rapport à la valeur nulle. En connaissant les différentes combinaisons possibles (par rapport à la figure précédente) on détermine la zone associée.

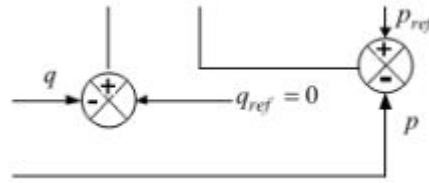
4. Il nous faut ensuite calculer les puissances instantanées active et réactive, pour cela nous disposons des courant/tension directes et quadratures, il suffit d'appliquer les formules :

$$p = V_a \cdot I_a + V_b \cdot I_b \quad 4.2$$

$$q = V_a \cdot I_b + V_b \cdot I_a \quad 4.3$$

On compare ensuite les valeurs des puissances instantanées précédemment :

La puissance réactive instantanée est comparée à la puissance de référence nulle, en effet on cherche à obtenir une puissance réactive nulle, cela permet d'obtenir un facteur de puissance unitaire pour le convertisseur matriciel, si celle-ci est constante on pourra obtenir des tensions triphasées équilibrées



La puissance active est comparée à la puissance active de référence calculée en fonction de la tension continue voulue en sortie du redresseur

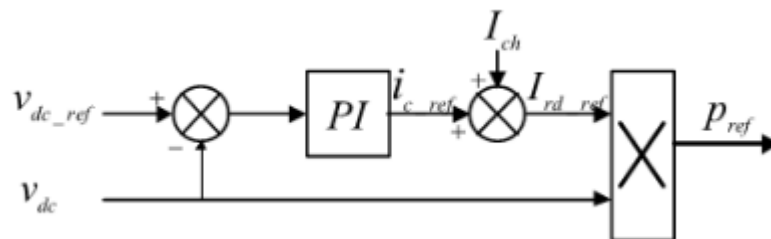
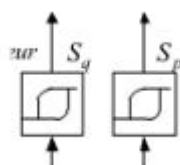


Figure 4. 3 calcul de la puissance active de référence

La tension V_{dc} est obtenue en la mesurant aux bornes du condensateur. Le correcteur Pi sert à réguler la tension V_{dc} en suivant la référence V_{dc_ref} .

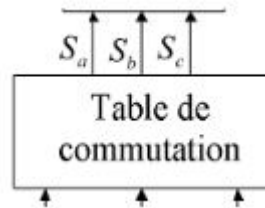
Pour avoir la puissance active de référence est le produit de la tension V_{dc} le courant de référence obtenue lors de la régulation de la tension.

2. L'implémentation de comparateurs a hystérésis a est plutôt simple, dans notre cas nous utilisons deux régulateurs a deux niveaux (0 ou 1) afin de comparer l'erreur obtenue au par avant avec un seuil défini. Les sorties du comparateur a hystérésis étant des variables booléennes, leurs valeurs vont dépendre du dépassement de ces erreurs par rapport au seuil. Si celui-ci est inférieur alors la sortie prendra la valeur 0, au contraire si le dépassement est supérieur alors la sortie sera égale a 1



3. La table de commutation prend en entrée les erreurs S_a et S_d ainsi que l'indice du secteur (1 à 12) dans lequel on se trouve. Celle-ci est remplie précédemment avec les opérations à réaliser en fonctions des valeurs des erreurs et de la zone.

- En sortie plusieurs bit sont envoyés afin de contrôler l'état des commutateurs, le nombre de bit dépend du convertisseur choisi, on prendra en effet seulement 6 bits (dont 3 complémentaires) pour réaliser le contrôle.



4.3 Simulation du système photovoltaïque:

Le schéma du système photovoltaïque en l'environnement Matlab-Simulink est représenté par :

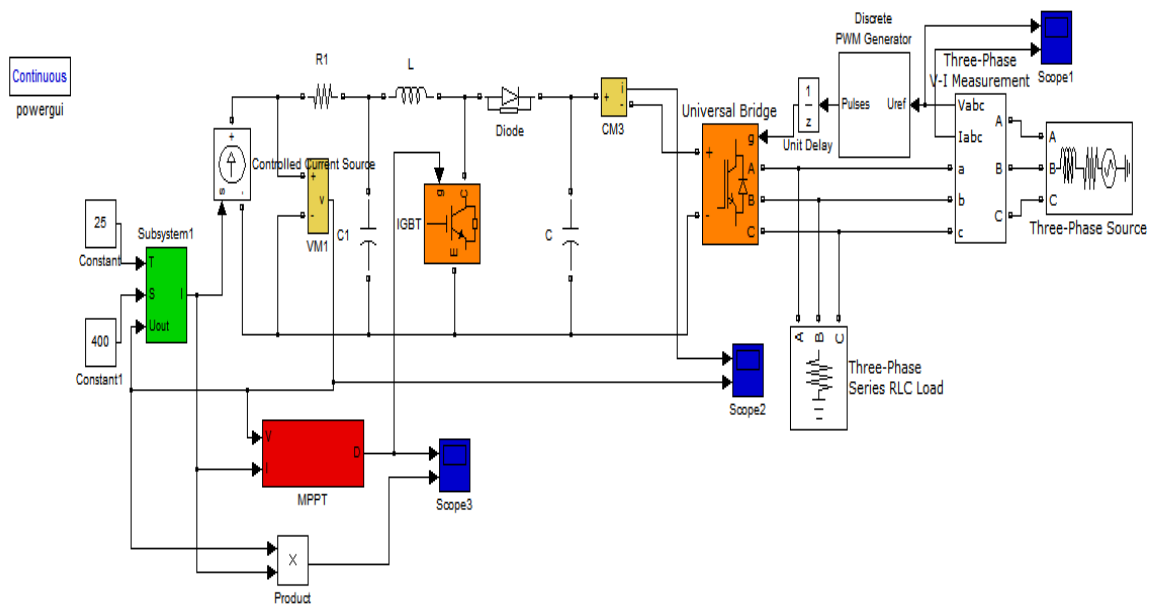


Figure 4.4 : Schéma d'un système photovoltaïque en MATLAB-SIMULINK

4.3.1 Influence des Différents Paramètres :

4.3.1.1 Influence de l'éclairement :

Dans les Figure 4.5 et Figure 4.6, nous représentons les résultats concernant les caractéristiques I(V) et P(V) du panneau ($N_s=72$, $N_p=1$) à 25°C obtenus pour diverse valeurs de l'éclairement.

Comparant avec les caractéristiques données par le constructeur, nous remarquons que le courant est directement proportionnel à l'irradiation à ces niveaux d'éclairement.

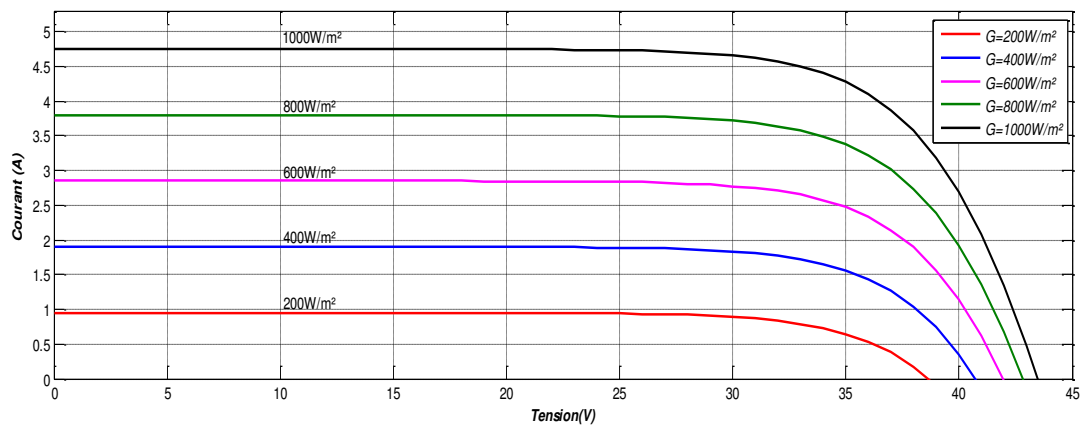


Figure 4.5 : Influence de flux lumineux sur les caractéristiques I(V)

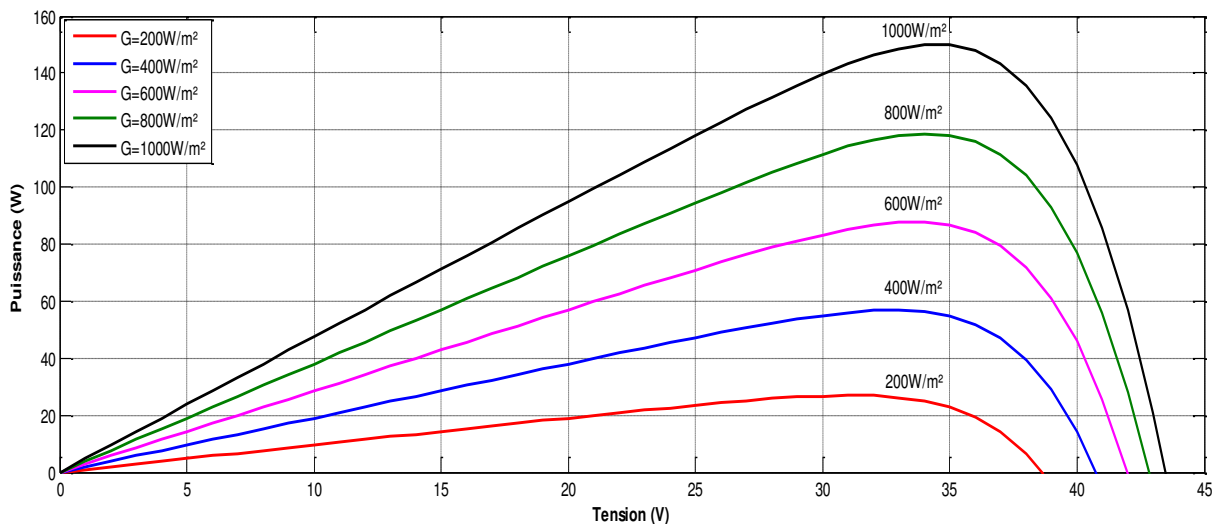


Figure 4.6 : Influence de flux lumineux sur les caractéristiques P(V)

pour $G=1000$ $P_m=150$, pour $G=600$ $P_m=90$ et pour $G=200$ $P_m=30$

4.3.1.2 Influence de la température :

La température est un paramètre très important dans le comportement des cellules PV. La Figure 4.7 décrit le comportement du module sous un éclairage fixe de 1000W/m^2 , et à des températures comprises entre 15°C et 55°C . Nous remarquons que le courant diminue avec la température, par contre la tension de circuit ouvert augmente. Ceci entraîne une diminution de la puissance maximale disponible.

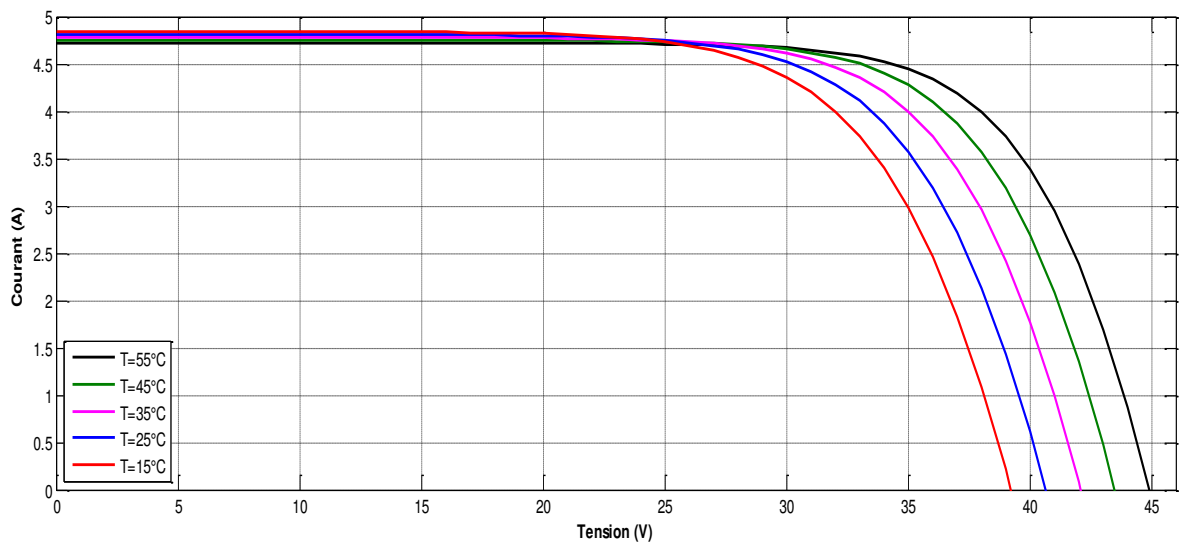


Figure 4.7 : Influence de la température sur les caractéristiques I(V)

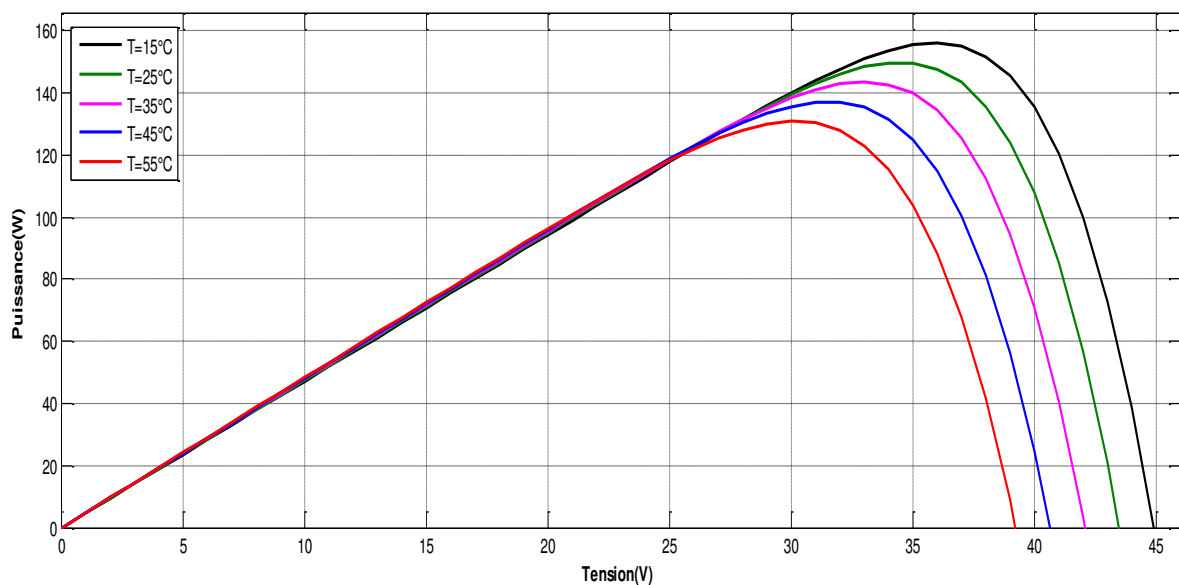


Figure 4.8 : Influence de la température sur les caractéristiques P(V)

4.3.2 la commande MPPT :

Pour avoir la meilleure connexion entre le « GPV » une source non linéaire et une charge pour produire la meilleure puissance, le Maximum Power Point Tracking (MPPT) est développé. Il forcera le générateur à travailler à son Maximum Power Point (MPP), induisant une amélioration globale du rendement du système. Le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de sa caractéristique électrique (I-V) avec celle de la charge.

Ce point de fonctionnement varie car les conditions de travail varient ou/et la charge varie à tout moment. C'est pourquoi, souvent, on n'opère pas au MPP, et la puissance fournie à la charge est inférieure à la puissance maximale

la simulation d'une commande MPPT numérique qu'on applique aux convertisseurs DC-DC survolteur.

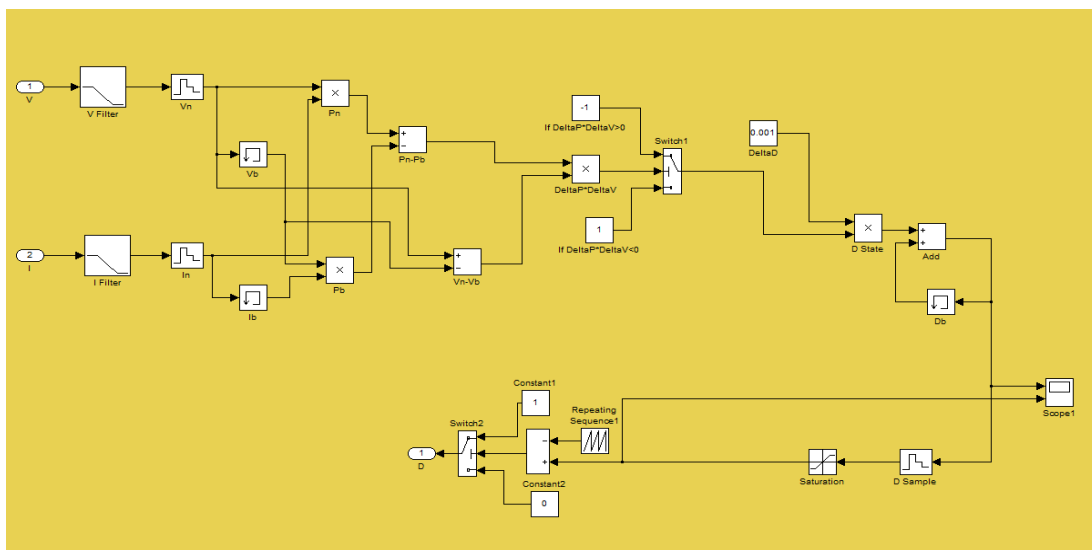


Figure 4.9 : Schéma block de la commande MPPT

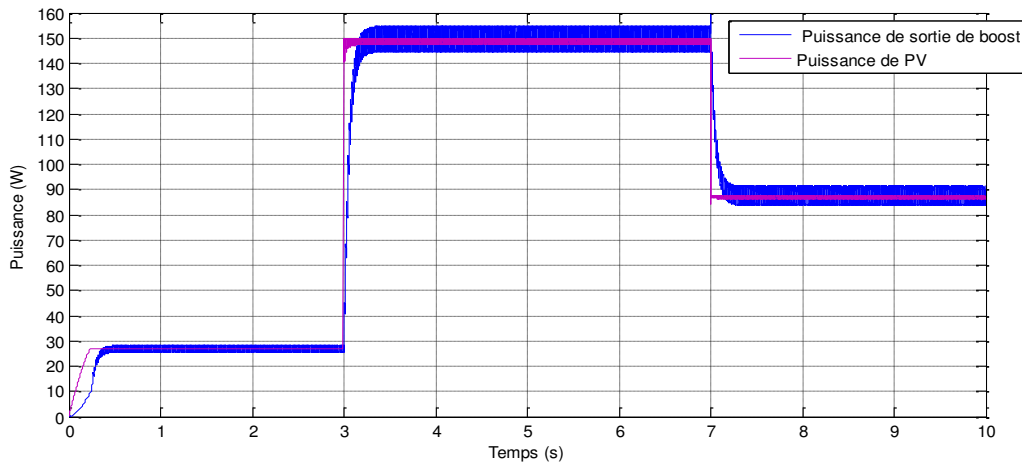


Figure 4.10 : Allures des puissances après et avant MPPT

la méthode MPPT est généralement une technique très utilisée pour contrôler le point de puissance maximale d'un système PV. La figure ci-dessus est représentée de la simulation de la pour suite de point de puissance maximale (comme la figure 4.6).

Pour faire une étude de la robustesse de contrôleur MPPT On maintient une température constante ($T=25^{\circ}\text{C}$) et l'éclairement 0 à 3s $G=200\text{W}/\text{m}^2$, 3s à 7s $G=1000\text{W}/\text{m}^2$, 7s à 10s $G=600\text{W}/\text{m}^2$.

4.4 Simulations de la technique DPC :

Le schéma de technique DPC en l'environnement Matlab-Simulink est représenté par :

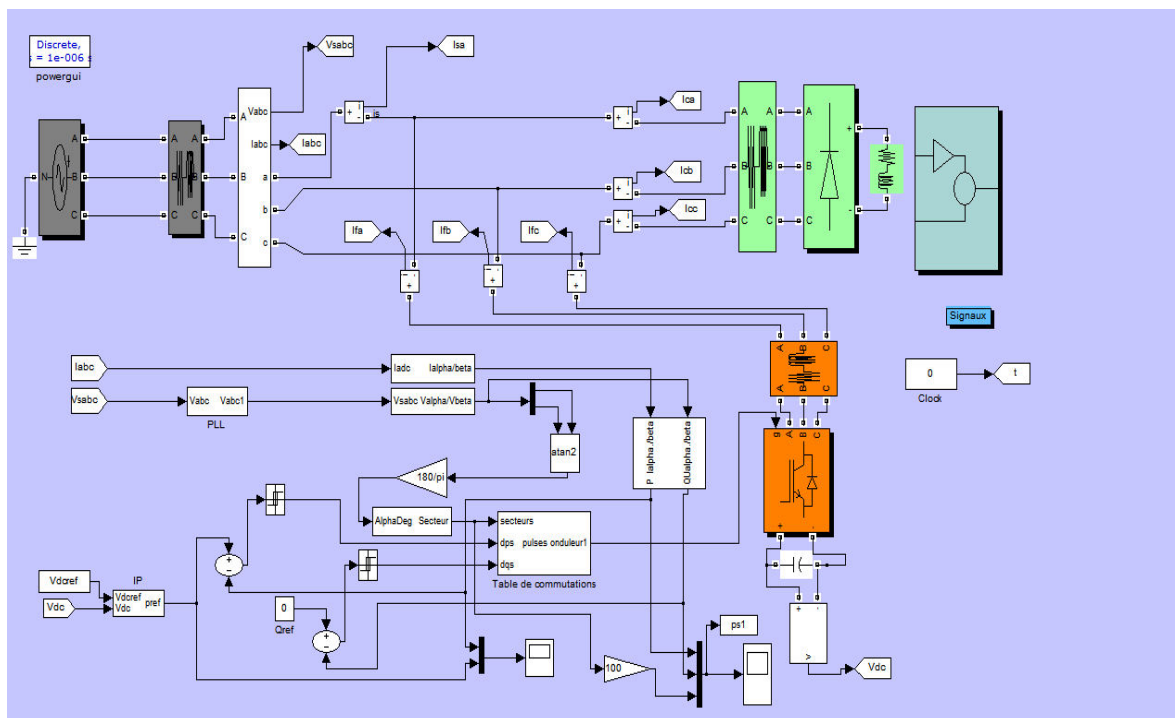


Figure 4.11 : Schéma de la comonde DPC en MATLAB-SIMULINK

4.4.1 Résultats de simulations de la technique DPC :

Nous avons développé un modèle sous l'environnement Matlab\Simulink après la mise en service à l'instant $t_f = 0.04s$

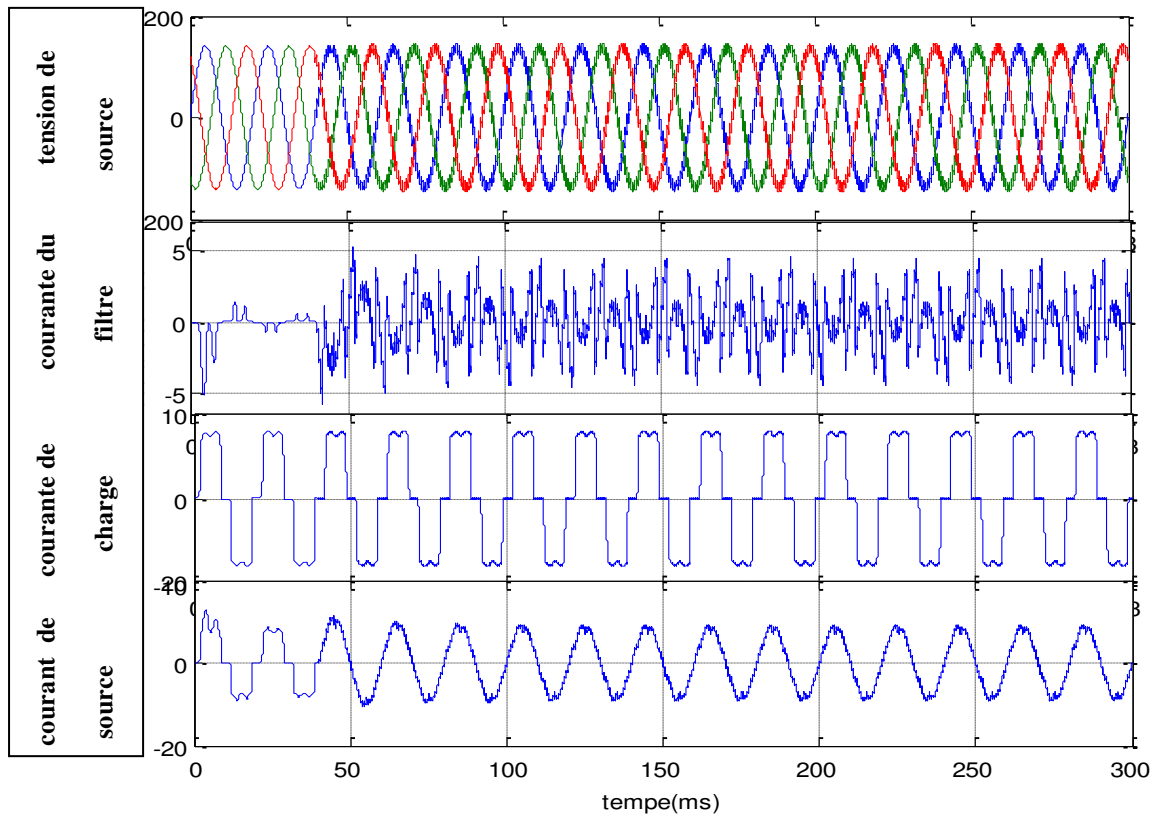


Figure 4.12 : Résultats de simulation du transitoire à $t_f = 0.04$

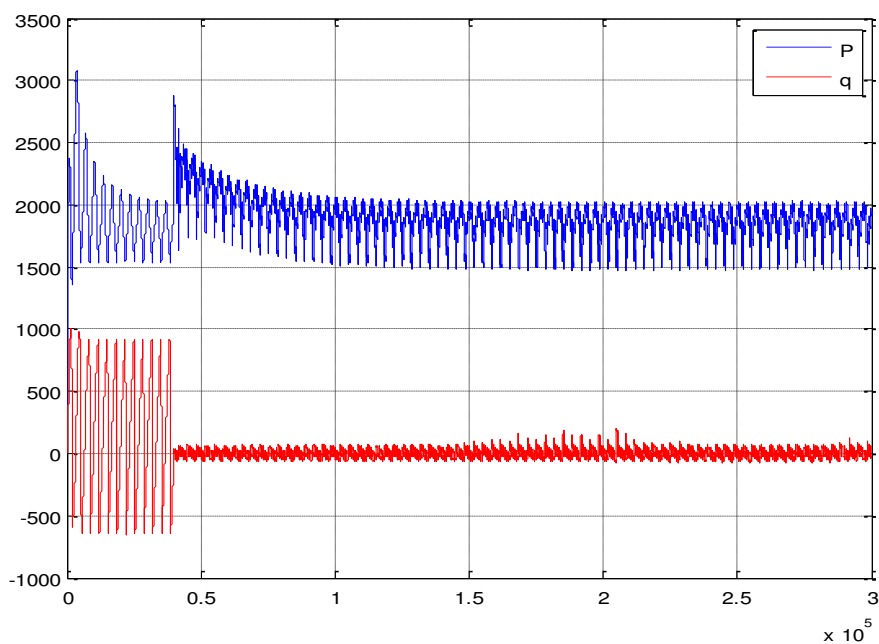


Figure 4.13 : Allures des puissances instantanées avant et après

Contrôle de la puissance active et le fonctionnement avec un facteur de puissance unitaire est obtenu en imposant la puissance réactive à une valeur nulle.

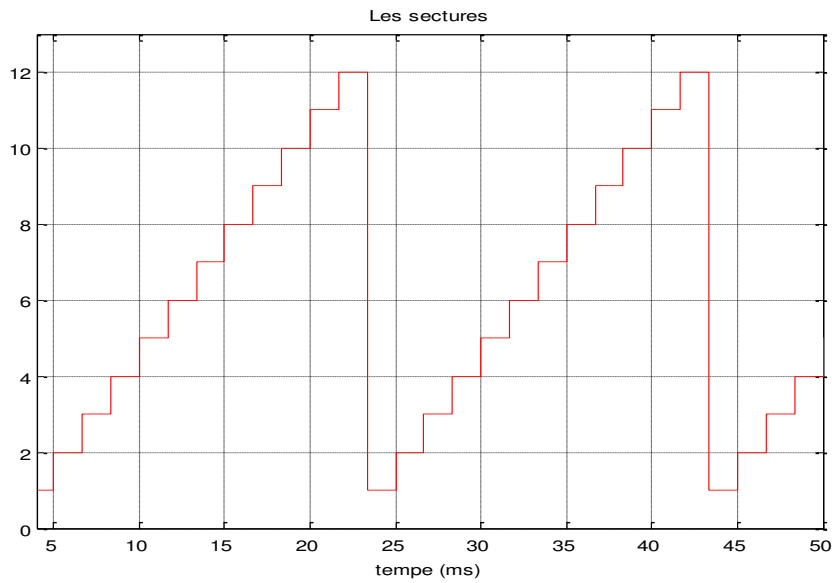
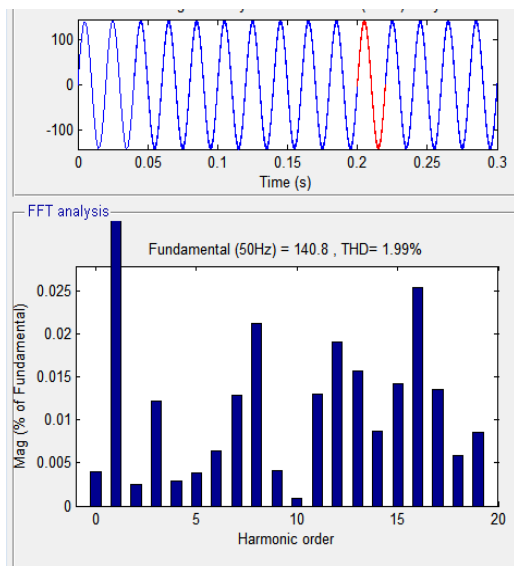
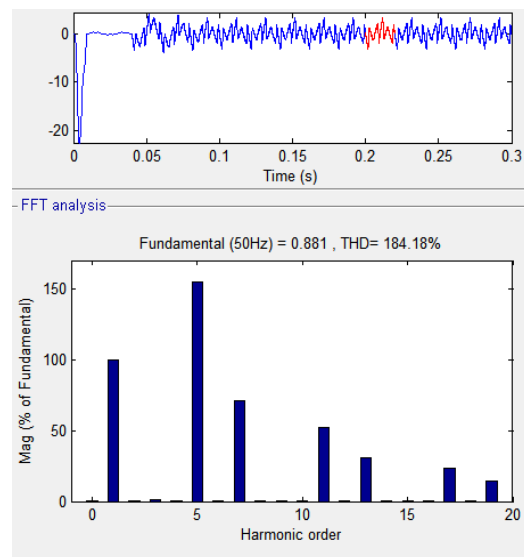


Figure 4.14 : l'allure de secteurs



(1)



(2)

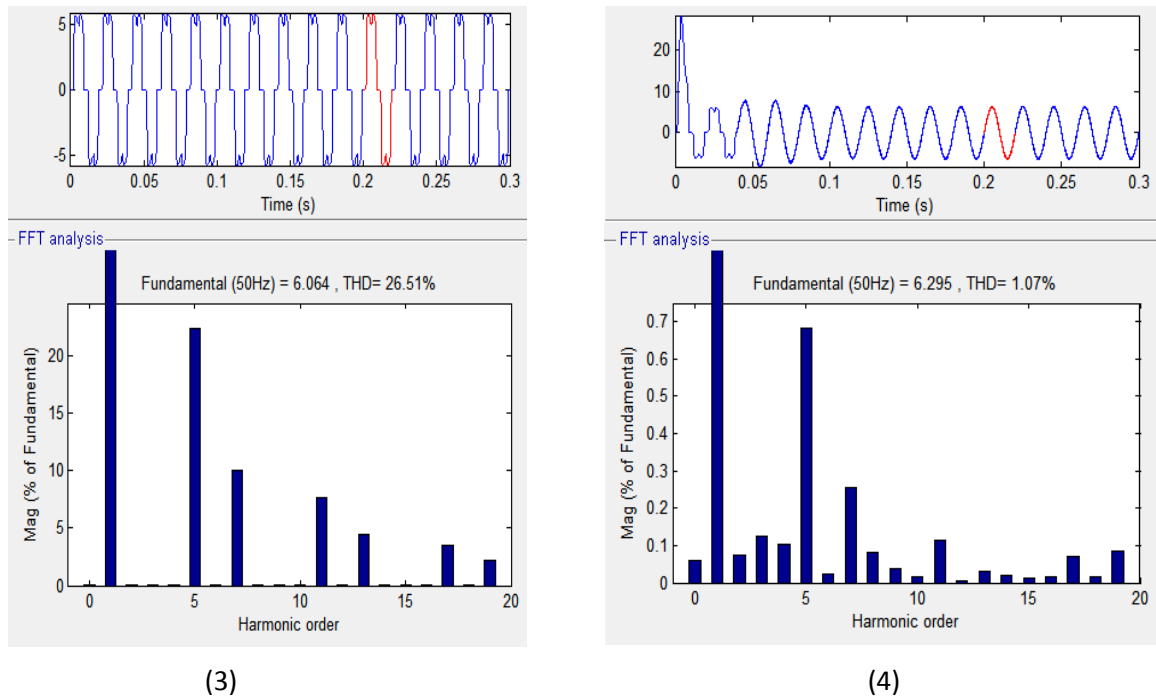


Figure 4.15: Analyse spectrale des signaux

- (1) tension de charge, THD=1.99 %
- (2) courant du filtre, THD=184.18%
- (3) courant de charge, THD=26.51%
- (4) courant de source, THD= 1.07%

4.5 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la commande DPC comme solution de dépollution des réseaux électriques (elle contrôle les puissances instantanées actives et réactives en sélectionnant directement les états des interrupteurs de façon optimale).

Ce chapitre, expose les résultats de système Pv et de commande DPC, Elle se caractérise par la commande de l'onduleur (filtre actif, la commande en courant et la commande de puissance).

Finalement, l'étude du système photovoltaïque des harmoniques, que nous avons abordé dans ce chapitre, nous a permis d'obtenir de très bonnes performances

Conclusion générale

L'objectif de ce système, composé d'un DPC et d'un GPV, tels que les courants harmoniques, les courants réactifs et le déséquilibre du courant les produites par la chaîne de conversion PV.

Plusieurs solutions traditionnelles et modernes de dépollution ont été présentées ainsi que leurs avantages et inconvénients. Particulièrement, le DPC qui constitue la meilleure solution pour la compensation de tous les types de perturbations susceptibles d'apparaître dans un réseau basse tension.

Pour maintenir une tension constante à l'entrée DC de l'onduleur et éviter la régulation de cette tension à cause des variations dues aux pertes dans le filtre actif (interrupteur et filtre de sortie), un GPV associé à un hacheur boost a été utilisé. Ce dernier commandé par la technique MPPT régule la tension DC autour de sa valeur de référence générée par un algorithme d'adaptation.

Nous avons exposé l'état de l'art des travaux présentés dans le domaine des filtres actifs de puissance. En ce qui concerne le contrôle de la tension du bus continu, le choix s'est porté sur un régulateur PI, classique qui a prouvé ses performances en termes de stabilité et de robustesse pour cette application.

Pour le travail de simulation nous avons considéré deux cas. Le premier concerne l'étude du système à éclairage fixe.

La seconde traite le système à éclairage variable en vue de tester

la robustesse de notre système vis-à-vis des variations des paramètres environnementaux.

Les résultats de simulation sous Matlab/Simulink ont donnés une bonne qualité des signaux en termes de distorsion harmonique de courant (THD is=1.07%)

Bibliographie

- [1] 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.
- [2] S. Issaadi, «*Commande d'une poursuite du point de puissance maximum (MPPT) par les Réseaux de Neurones* », Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2006.
- [3] 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.
- [4] F. Chekired, «*Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA*», mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
- [5] S. Bellakehal, «*Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables*», thèse de Doctorat, Université de Constantine, Algérie, 2010.
- [6] M. Makhlof, «*Etude et optimisation d'un modèle de conversion d'énergie photovoltaïque application au pompage*», mémoire de magister, université Mentouri Constantine, Algérie, 2006.
- [7] N. Abouchabana, «*Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT* », Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009.
- [8] M. Moulay-Amar et M. Loghouini, «*Etude et réalisation d'un système de poursuite de point de puissance maximale à base de microcontrôleur destiné à une installation photovoltaïque* », Mémoire d'ingénieur, université de Ouargla, Algérie, 2005.
- [9] A. Meflah, «*Modélisation et commande d'une chine de pompage photovoltaïque*», Mémoire de Magistère, Université de Tlemcen, Algérie, 2011.

- [10] M. Djarallah, « *Contribution à l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couplés au réseau électrique* », Thèse de Doctorat, Université de Batna, Algérie, 2008.
- [11] B. Gori, « *modélisation et simulation d'un système PV adapté par une commande MPPT analogique* », Mémoire d'Ingénieur, université Ouargla, 2011.
- [12] L. Abbassen, « *Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque* », Mémoire de Magistère, Université de Tizi Ouzou, Algérie, 2011.
- [13] M. pinard , " Convertisseurs et électronique " liver
- [14] B. Mazari, F.Mekri, "Fuzzy hysteresis control and parameter optimization of & shunt active power filter " ,journal of information science and engineering,2005.
- [15] E.yang, G.chen, "A new control approach for active power quality conditioner in synchronous signal processor-controlled shunt active filter", power Quality and utilization journal,2006.
- [16] B.abdelouhab," TECHNIQUES DE COMMANDE PREDICTIVE ET FLOUE POUR LES SYSTEMES D'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE: APPLICATION AUX REDRESSEURS A MLI " Mémoire de Magistère, Université de setif,2010.
- [17]B. M. Bird, J. F. Marsh and P. R. Mclellan: "Harmonic reduction in multiple converters by triple-frequency current injection", IEE Proceeding, 2003

ص خلملا

والهدف من هذا المشروع هو تصميم ومحاكاة لنظام الضوئية المتصلة بالشبكة لحقن الطاقة النشطة التي تنتجها الأنظمة الكهروضوئية والتعويض عن التيارات تدخل الناتجة عن الأحمال غير الخطية استخدام سيطرة DPC.

الكلمات المفتاحية : الانظمة الكهروضوئية -

Résumé :

Le but de ce projet est l'étude et la simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique pour injecter la puissance active produite par le système PV, et compenser les courants perturbateurs générés par les charges non linéaires en utilisant la commande DPC.

Mots clés: Système PV —DPC

Abstract :

The goal of this project is the design and simulation of a photovoltaic system connected to the grid for inject active power produced by the PV system, compensate for interference currents generated by nonlinear loads using DPC control.

Keywords :

PVsysteme-DPC