

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département : Génie Electrique

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :  
**Aissaoui Tassadit**  
**Trache Kahina**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : **ÉLECTROMECHANIQUE**  
Option : **Électromécanique**

**Thème**

Réalisation d'un onduleur monophasé dédié pour le diagnostic de défaut par la technique de l'analyse de la réponse fréquentielle (FRA)

Devant le jury composé de :

Bouhedda	MCB	UAMOB	Président
Bouzida	MCA	UAMOB	Examineur
Houassine	MCA	UAMOB	Encadreur
Oudfel	DOCTORANTE	UYFM	Co Encadreur



## **Remerciements**

***Nous remercions en premier Lieu Notre Dieu le plus Puissant qui a Bien Voulu nous donner la force et le courage pour effectuer Le Présent travail.***

***Nous exprimons nos profondes gratitudes à nos parents Pour leur Soutien leurs encouragement et Pour les Sacrifices qu'ils ont endurés.***

***En second lieu nous tenons à remercier nôtres encadreurs***

***"Pr.Houassine Hamza" et "Dr.Oudfel Ghania" Pour leur sérieux, leurs Compétences, et leurs orientations.***

***Nous remercions vont aussi à tous les enseignants du département Génie électriques qui a contribué a notre formation.***

***Nous tenons à exprimer notre reconnaissance À Tous nos amis qui par Leur amitié et leur bonne***



***Kahina, Tassadit***



## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mon père qui m'a tout donné au prix de nombreux sacrifices et sans qui je n'aurais pas pu arriver là ;*

*A ma mère qui m'a supportée et soutenue durant toute ma vie pour m'accomplir et atteindre la meilleure version de moi-même ;*

*A la mémoire de ma chère grand-mère qui a cru en moi et qui m'a soutenue toute sa vie avec son amour, sa prière et sa patience ;*

*A mon chère grand père.*



*Trache kahina*



## *Dédicaces*

*Je tiens à dédié ce Modeste travail avant tout À la mémoire de mes très chers frères Samir et Achour et sans oublier à la mémoire de mon très cher père Mohamed.*

*À ma mère qui m'a toujours soutenu durant toutes les périodes de vie, que dieu la protège inchallah. À mes deux chers frères Yacine ; Rabah et sa femme et c'est cher enfant Mohamed et Mona. À mes deux chères sœurs faïza ; souhila et son mari et sa petite fille Alicia.*

*À toutes mes cousins et mes cousines. Ma chère amie Tita et Nabilla et à ma cher binôme Kahina.*



*Aissaoui Tassadit*

# Sommaire

Liste des abreviations .....	I
Liste des figures .....	II
Introduction générale .....	1

## Chapitre I

### Généralités sur les onduleurs

I.1. Introduction .....	3
I.2. Définition de l'onduleur.....	3
I.3. Les différentes topologies des onduleurs .....	3
I.3.1. Classification selon le nombre de niveaux de tension de sortie .....	3
I.3.2. Classification selon la nature de la source d'entrée .....	3
I.3.3. Classification selon la nature des interrupteur de puissance .....	4
I.3.4. Classification selon le nombre de phases.....	4
I.3.4.1. Les onduleurs monophasé .....	4
I.3.4.1.1. Onduleur en demi-pont (deux interrupteurs).....	4
I.3.4.1.1.1. Principe de fonctionnement .....	5
I.3.4.1.2. Onduleur en pont (quatre interrupteurs) .....	5
I.3.4.1.2.1. Principe de fonctionnement .....	6
I.3.4.2. Les onduleurs triphasés .....	8
I.3.4.2.1. Principe de fonctionnement de l'onduleur triphasé .....	8
I.3.4.2.2. Modèle mathématique de l'onduleur triphasé.....	9
I.4. Choix des composants d'un onduleur .....	10
I.5. Les caractéristiques des onduleurs .....	11
I.6. Les critères de choix d'un onduleur .....	12
I.7. techniques de commande des onduleurs .....	13
I.7.1. Commande 180 .....	13
I.7.2. Commande 120 .....	13
I.7.3. Commande à modulation de largeur d'impulsion (MLI) .....	14
I.7.3.1. Modulation sinusoidale (MLIS).....	14

I.7.3.2. Modulation vectorielle (SVM) .....	15
I.8. Les applications des onduleurs .....	16
I.8.1. Réglage de vitesse de rotation d'un moteur synchrone .....	16
I.8.2. Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquence différente .....	16
I.8.3. Les applications dans le transport .....	16
I.8.4. Les applications dans les installations photovoltaïques .....	16
I.8.5. Alimentation de secours .....	17
I.8.6 Assurer la continuité des alimentations des secours .....	17
I.8.7. Alimentation sans interruption .....	17
I.9. Conclusion .....	18

## **Chapitre II**

### **Défauts et méthodes de diagnostic dans les onduleurs**

II.1. Introduction .....	19
II.2. Terminologies de base sur les défauts .....	19
II.2.1. Définition d'un défaut .....	19
II.2.2. Définition d'un défaut .....	19
II.2.3. Définition d'une panne .....	19
II.3. Défaut dans les onduleurs.....	19
II.3.1. Défaut de circuit-ouvert.....	19
II.3.2 Défaut de court-circuit.....	20
II.3.3. Défaut de court-circuit de bus continu .....	20
II.3.4. Les défauts de la commande de l'onduleur .....	20
II.3.5. Coupure de phase.....	21
II.3.6. La durée de vie .....	21
II.3.7. L'humidité .....	21
II.3.8. Echauffement de l'onduleur .....	21
II.4. Notions de base sur le diagnostic .....	21
II.4.1 Etapes de diagnostic .....	21
II.5. Méthodes de diagnostic des onduleurs .....	22
II.5.1. Méthode sans modèle .....	22
II.5.1.1. Analyse fréquentielle (Filtrage).....	22
II.5.1.1.1. La Transformée de Fourier Rapide (FFT) .....	22

II.5.1.1.2. Diagnostic par la méthode de l'analyse de la repense fréquentielle	22
II.5.1.2. Redondance matérielle	23
II.5.1.3. Capteurs spécifiques (capteurs détecteurs)	23
II.5.1.4. Réseaux de neurones artificiels (RNA)	23
II.5.1.5. Systèmes d'Inférence Flous	23
II.5.2. Méthode à base de modèles	24
II.5.2.1. Espace de parité	24
II.5.2.2. Estimation paramétrique	24
II.5.2.3. Estimation d'état (observateur)	24
II.6. Conclusion	25

## **Chapitre III**

### **Réalisation d'un onduleur de tension monophasé et diagnostic des défauts par la méthode de l'analyse de la repense fréquentielle**

III.1. Introduction	26
III.2. Présentation de la plate-forme	26
III.3. Simulation d'un onduleur monophasé par logiciel MATLAB	27
III.4. Simulation de l'onduleur monophasé sous PROTEUS	28
III.4.1 La carte de commande	29
III.4.2 Le circuit de puissance	31
III.4.3 Le circuit d'isolation	32
III.5. Résultats expérimentaux	34
III.6. Etude du défaut de court-circuit et de circuit-ouvert avec la méthode FRA	35
III.6.1 Résultats expérimentaux	36
III.6.1.1 Défaut court-circuit	38
III.6.1.1.1. Interprétation de résultats expérimentaux de défaut court-circuit	41
III.6.1.1.2. Défaut circuit-ouvert	41
III.6.1.1.2.2. Interprétation de résultats expérimentaux de défaut circuit-ouvert	44
III.7. Conclusion	45
Conclusion et perspectives	46
Annexes	





## Liste des principales abréviations utilisées

<b>Symbole</b>	<b>Signification</b>
<b>MOSFET</b>	<b>Transistor à effet de champs</b>
<b>T</b>	<b>La période</b>
<b>t</b>	<b>Le temps</b>
<b>CA</b>	<b>Courant alternative</b>
<b>DC</b>	<b>Courant continue</b>
<b>R</b>	<b>Résistance</b>
<b><i>E</i></b>	<b>La tension de la source continue</b>
<b>L</b>	<b>Inductance</b>
<b>GTO</b>	<b>Gate Turn Off</b>
<b><math>\omega</math></b>	<b>La pulsation du courant par rapport à la tension</b>

# Liste des figures

## Chapitre I

<b>Figure I.1</b> Schéma de principe de la conversion continue-alternative (DC-AC) .....	3
<b>Figure I.2</b> Schéma de principe d'un onduleur en demi-pont .....	4
<b>Figure I.3</b> L'allure de la tension au borne de la charge .....	5
<b>Figure I.4</b> Montage d'un onduleur monophasé .....	5
<b>Figure I.5</b> Tension au borne de la charge résistive .....	6
<b>Figure I.6</b> Courant d'une charge résistive .....	6
<b>Figure I.7</b> L'allure de la tension et de courant au borne de la charge inductive.....	7
<b>Figure I.8</b> Schéma d'onduleur de tension triphasé .....	8
<b>Figure I.9</b> La comparaison entre les interrupteurs de tension en fonction de courant .....	11
<b>Figure I.10</b> La comparaison entre les interrupteurs de puissance en fonction de fréquence .	11
<b>Figure I.11</b> Exemple de temps de commutation avec temps mort .....	12
<b>Figure I.12</b> Commande 180 .....	13
<b>Figure I.13</b> Commande 120 .....	14
<b>Figure I.14</b> La modulation sinusoïdale (MLIS) .....	15
<b>Figure 1.15</b> Diagramme vectoriel de l'onduleur .....	15
<b>Figure I.16</b> Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone .....	16
<b>Figure I.17</b> Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquence différente .....	16
<b>Figure I.18</b> Alimentation de secoure .....	17
<b>Figure I.19</b> Alimentation sans interruption .....	17

## Chapitre II

<b>Figure II.1</b> Défaut de court-circuit de bus continu .....	20
<b>Figure I.2</b> Structure d'un système flou .....	24

## Chapitre III

<b>Figure III.1</b> Présentation du système global .....	26
<b>Figure III.2</b> Schémas d'onduleur monophasé sous MATLAB .....	27
<b>Figure III.3</b> L'allure de tension à la sortie de l'onduleur .....	27
<b>Figure III.4</b> L'allure de courant à la sortie de l'onduleur .....	28

<b>Figure III.5</b>	Schéma de circuit d'onduleur monophasé de tension sous PROTEUS .....	28
<b>Figure III.6</b>	Schéma de circuit de commande sous PROTEUS .....	29
<b>Figure III.7</b>	La carte de command réalisée .....	29
<b>Figure III.8</b>	La structure de microcontrôleur 18F2550 .....	30
<b>Figure III.9</b>	Schéma de circuit de puissance sous PROTEUS .....	31
<b>Figure III.10</b>	Circuit intégré de l'IGBT 40V60DF .....	32
<b>Figure III.11</b>	Image de l'IGBT 40V60DF .....	32
<b>Figure III.12</b>	Schéma de circuit d'isolation sous PROTEUS .....	32
<b>Figure III.13</b>	Circuit intégré et l'image de l'oprocpleur 4N25 .....	33
<b>Figure III.14</b>	La carte de circuit d'isolation et de puissance réalisée .....	33
<b>Figure III.15</b>	La structure finale de l'onduleur réalisé .....	34
<b>Figure III.16</b>	Signale de la commande MLI .....	34
<b>Figure III.17</b>	L'allure de tension et de courant à la sortie de l'onduleur .....	35
<b>Figure III.18</b>	Schéma synoptique de l'onduleur monophasé réalisé .....	35
<b>Figure III.19</b>	Le banc d'essai des teste FRA .....	36
<b>Figure III.20</b>	la courbe de l'état sain de l'onduleur .....	37
<b>Figure III.21</b>	la courbe de la phase de l'état sain de l'onduleur .....	37
<b>Figure III.22</b>	schéma équivalent à haute fréquence de l'onduleur monophasé .....	38
<b>Figure III.23</b>	Comparaison entre l'état sain et le court-circuit des (IGBT) T1, T2 et T1+T2 .....	38
<b>Figure III.24</b>	Comparaison entre l'état sain et le court-circuit des (IGBT) T3 et T4 et T3+T4 .....	39
<b>Figure III.25</b>	Comparaison entre l'état sain et le court-circuit des (IGBT) T2 et T4 et T2+T4 .....	39
<b>Figure III.26</b>	Compare entre l'état sain et le court-circuit des (IGBT) T1 et T3 et T1+T3 ...	40
<b>Figure III.27</b>	Compare entre l'état sain et le court-circuit des (IGBT) T1+T4 et T2+T3 .....	40
<b>Figure III.28</b>	Compare l'état sain et les circuit-ouvert des (IGBT) T1, T2 et T1+T2 .....	42
<b>Figure III.29</b>	Compare l'état sain et les circuit-ouvert des (IGBT) T3, T4 et T3+T4 .....	42
<b>Figure III.30</b>	Compare l'état sain et le circuit-ouvert des (IGBT) T2, T4 et T2+T4 .....	43
<b>Figure III.31</b>	Compare l'état sain et le circuit-ouvert des IGBT T1, T3 et T1+T3 .....	43
<b>Figure III.32</b>	Compare l'état sain et les circuits-ouverts des IGBT T1+T4 et T2+T3 .....	44

# Introduction Générale

Ces dernières années, les domaines de l'électronique de puissance se sont développés considérablement, et offrent un potentiel énorme pour la conversion d'énergie électrique.

Les convertisseurs statiques monophasés à structure tension sont des éléments essentiels de nombreux systèmes d'électronique de puissance tels que les variateurs de vitesse et les alimentations sans interruption, ce qui a rendu l'utilisation des onduleurs d'une dominance magistrale.

L'onduleur est un convertisseur statique permettant de fabriquer un échange d'énergie entre une source de tension continue fournie par une batterie ou un redresseur, et une source de tension alternative pour alimenter des charges en courant alternatif. Il peut être défini comme un circuit composé principalement d'éléments de l'électronique de puissance (diode, GTO, IGBT, MOSFET...etc.), donc ce circuit permet d'obtenir un courant alternatif à partir d'une alimentation continue et à partir de la commande du semi-conducteur (les interrupteurs) [1].

L'onduleur est susceptible de présenter des défauts structurels, ce dysfonctionnement peut induire des endommagements, pour cela un grand nombre de recherche est orienté vers l'évolution des méthodes de diagnostic de défaut afin d'assurer une large fiabilité, une productivité optimale et une grande sûreté de fonctionnement qui permet de présenter des systèmes électrique de plus en plus performants.

Il existe plusieurs méthodes de diagnostics des défauts, L'objectif principal du ce projet est de la réalisation d'un onduleur monophasé de tension piloté par la technique de modulation de largeur d'impulsion (MLI) à base des IGBT, dans l'intérêt d'étudier l'influences des défauts sur ce dernier par la méthode de l'analyse de repense fréquentiel (FRA).

Ce travaille décompose en trois chapitres. Dans le premier, nous avons présenté en premier lieu la théorie des onduleurs, ensuite nous avons focalisé notre étude sur les onduleurs monophasé et triphasé nous avons donné leurs concept, leurs principe de fonctionnement, le choix des composantes, leur caractéristiques, les techniques de commande ainsi leurs domaines d'applications.

Dans le second chapitre, nous avons donné les terminologies de base sur les défauts en suit nous avons parlé sur les différents défauts susceptibles aux onduleurs, dans la seconde partie nous avons présenté des notions de base sur le diagnostic en suite nous avons donné les différentes méthodes de diagnostic des défauts a base modèle et sans modèle.

Dans le troisième chapitre, la première partie est consacré a expliqué les étapes qu'on a suivi pour la réalisation expérimentale de l'onduleur monophasé tension à base des IGBT en suit on a parlé sur les différons composons qu'on a utilisé et leur utilité, dans la deuxième parie

## **Introduction Générale**

nous avons appliqué la méthode de l'analyse de la repense fréquentielle (FRA) pour but d'étudier l'influence des défauts court-circuit et circuit-ouvert sur l'onduleur.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale et une perspective.

### I.1. Introduction

Les onduleurs constituent une fonction incontournable de l'électronique de puissance, ils permettent la conversion continue-alternative pour objectif de transformer un signal de tension continu à un signal de tension alternatif d'amplitude et de fréquence désirées, ils sont présents dans plusieurs domaines d'application, dont le plus connu sans doute celui de la variation de vitesse des machines à courant alternatif.

### I.2. Définition de l'onduleur

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande. La Figure I.1 représente le Schéma de principe de la conversion Continu – Alternative (DC-AC) [2].

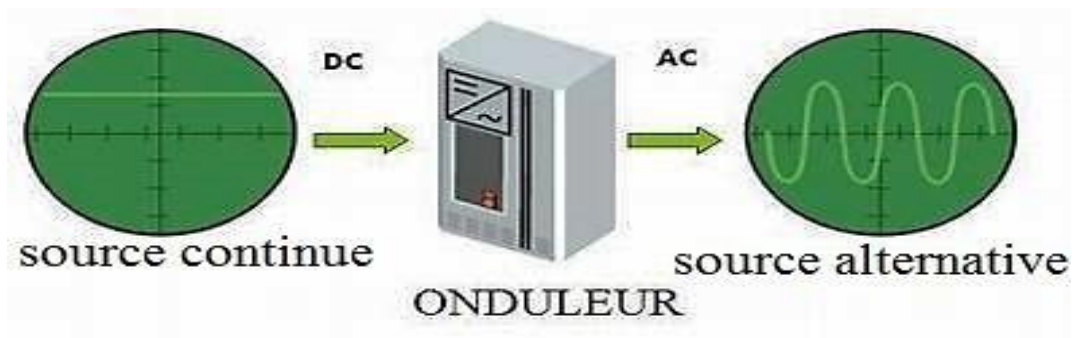


Figure I.1. Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC – AC)

### I.3. Les différentes topologies des onduleurs

Les structures des onduleurs sont très nombreuses en fonction de leur application et leurs commandes nous pouvons les classer selon critères suivant [3] :

#### I.3.1. Classification selon les nombres des niveaux de tension de sortie

On peut classer aussi les onduleurs selon leur niveau de tension de sortie. On trouve des onduleurs classiques à deux niveaux et des onduleurs multi niveaux

#### I.3.2. Classification selon la nature de la source d'entrée

##### a) L'onduleur de tension

L'onduleur de tension est un onduleur autonome, alimenté par un générateur de tension continu, il impose par sa commande la tension de sortie et la charge impose alors l'intensité du courant.

##### b) L'onduleur de courant

L'onduleur de courant est un onduleur autonome, alimenté par un générateur de courant continu, il impose par sa commande le courant de sortie et la charge impose la tension de sortie.

### I.3.3. Classification selon la nature des interrupteurs de puissance

On peut classer également les onduleurs selon le type des interrupteurs de puissance. Ces derniers peuvent-être des interrupteurs commandés à l'ouverture et à la fermeture (Transistor MOSFET, IGBT) ou des interrupteurs commandés seulement à la fermeture (thyristors).

### I.3.4. Classification selon le nombre de phases

On distingue deux types des onduleurs classés selon le nombre de phases :

#### I.3.4.1 Les onduleurs monophasés

Onduleur monophasé ; c'est un onduleur qui délivre en sa sortie une tension alternative monophasée, est généralement utilisée aux alimentations de secours. On distingue deux classes d'onduleurs monophasés suivant leur topologie.

##### I.3.4.1.1. Onduleur en demi- pont (deux interrupteurs)

Il est constitué principalement de deux interrupteurs de puissance notés **Q1** et **Q2** à commande complémentaire comme le montre la Figure I.2. La durée de conduction de chacun des interrupteurs est alors d'un demi-cycle ( $180^\circ$ ) correspondant à la fréquence du signal de sortie requis. La conduction simultanée des deux interrupteurs est évitée par l'élaboration d'une commande adéquate qui tient compte des différentes caractéristiques des imperfections de ces interrupteurs de puissance (temps de montée  $t_r$ , temps de descente  $t_f$  et temps de stockage  $t_s$ ). Les diodes **D1** et **D2**, dites de récupération, assurent la conduction d'un courant négatif en cas de déphasage de ce dernier par rapport à la tension aux bornes de la charge [4].

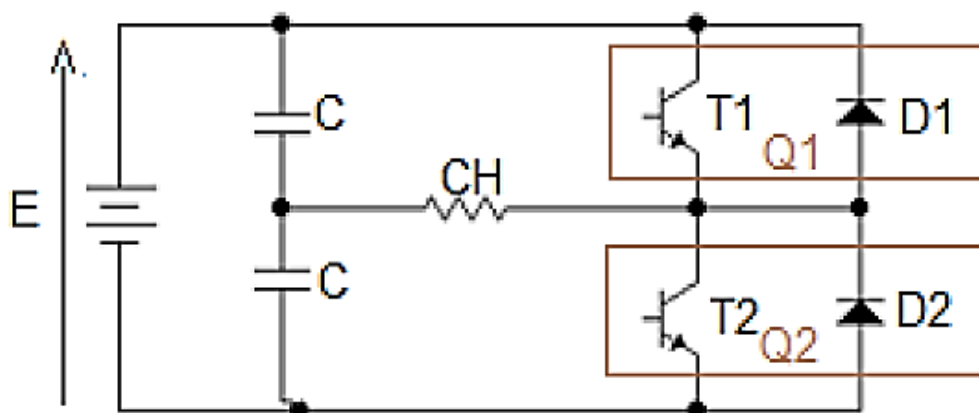


Figure I.2 Schéma de principe d'un onduleur en demi-pont

**I.3.4.1.1 Principe de fonctionnement**

Le montage consiste de deux interrupteurs de puissance notés **Q1** et **Q2** à commande complémentaire.

Pour  $0 < t < \frac{T}{2}$  : L'interrupteur **Q1** est fermé et **Q2** est ouvert.

$$U_{ch} = R \times i(t) = +\frac{E}{2} \tag{I.1}$$

Pour  $\frac{T}{2} < t < T$  : L'interrupteur **Q2** est fermé et **Q1** est ouvert.

$$U_{ch} = R \times i(t) = -\frac{E}{2} \tag{I.2}$$

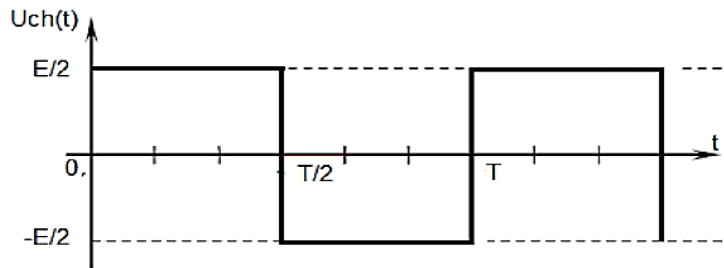


Figure I.3 L'allure de la tension aux bornes de la charge

Les interrupteurs **Q1** et **Q2** sont formés par la mise en parallèle d'un semi-conducteur **Ti** commandé à l'ouverture et à la fermeture et d'une diode **Di**. Cette dernière assure la conduction d'un courant négatif en cas de déphasage de ce dernier par rapport à la tension aux bornes de la charge [4].

**I.3.4.1.2. Onduleur en pont (quatre interrupteurs)**

L'onduleur en pont est représenté en **figure I.4** le montage consiste deux bras chaque bras est composé de deux étages d'interrupteurs. Chaque étage comporte deux composants semi-conducteur (transistors IGBT ou MOSFET) avec une diode antiparallèle, cette dernière assure la réversibilité des courants dans la charge. À partir de la source principale de tension continue, l'onduleur permet d'avoir une tension plus proche de la sinusoïde à la sortie [4].

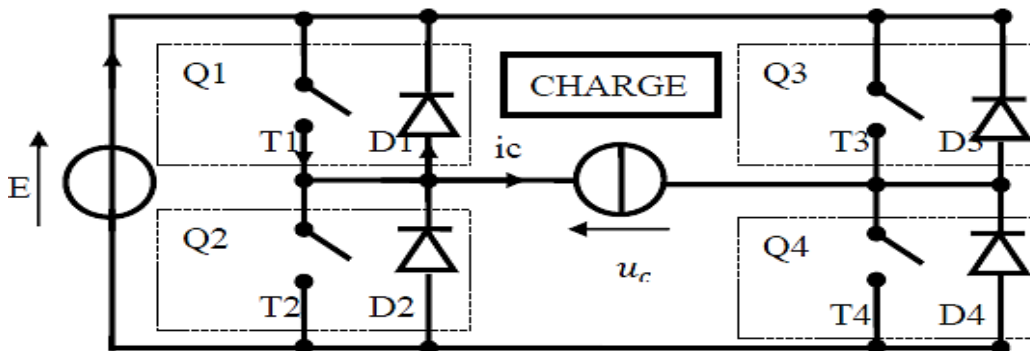


Figure I.4 montage d'un onduleur monophasé



**I.3.4.1.2.1. Principe de fonctionnement**

L'onduleur en pont est représenté en **figure I.4**, il comporte quatre interrupteurs de puissance désignés par **Q1, Q2, Q3** et **Q4**. L'analyse de cette structure montre à l'évidence qu'il est possible d'imposer aux bornes de la source de courant **ic** une tension aussi bien positive que négatives [4].

Les états des interrupteurs permettent de déterminer la valeur aux bornes de la charge :

**Pour**  $0 < t < \frac{T}{2}$  : Les interrupteurs **Q1, Q4** sont fermés et **Q2, Q3** sont ouverts.

$$U_{ch} = R \times i(t) = +E \tag{I.3}$$

**Pour**  $\frac{T}{2} < t < T$  : Les interrupteurs **Q2, Q3** sont fermés et **Q1, Q4** sont ouverts.

$$U_{ch} = R \times i(t) = -E \tag{I.4}$$

- **Charge résistive :**

Ci-dessous les deux figures représentent la tension et le courant aux bornes d'une charge résistive.

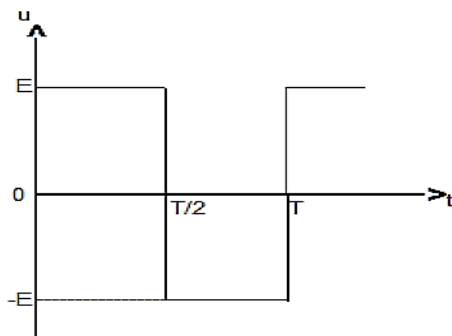


Figure I.5 La tension aux bornes de la charge

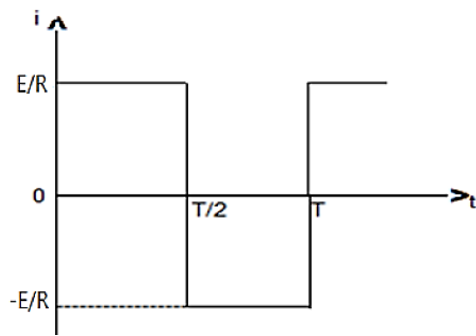


Figure I.6 Courant d'une charge résistive

**Pour**  $0 < t < \frac{T}{2}$  : Les interrupteurs **Q1, Q4** sont fermés et **Q2, Q3** sont ouverts.

$$i(t) = \frac{U_c}{R} = +\frac{E}{R} \tag{I.5}$$

**Pour**  $\frac{T}{2} < t < T$  : Les interrupteurs **Q2, Q3** sont fermés et **Q1, Q4** sont ouverts.

$$i(t) = \frac{U_c}{R} = -\frac{E}{R} \tag{I.6}$$

L'allure du courant suit l'allure de tension car les deux paramètres sont liés par la loi d'Ohm. Il faut noter que le courant dans les interrupteurs est toujours positif.

- **Charge inductive**

La charge inductive simule un moteur alternatif et contrairement à la charge résistive l'allure de courant change.

Pour :  $0 < t < t_1$  : T1 et T4 sont commandés à la fermeture tandis que T2 et T3 sont ouverts donc.

$$U_c = \frac{L di}{dt} + Ri = +E \tag{I.7}$$

D'après (I.7) on trouve que le courant dans cet intervalle est négatif. Ce sont les diodes D1 et D4 qui conduisent.

$$i(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{t/\tau}) - I_M e^{t/\tau} \tag{I.8}$$

Pour  $t_1 < t < \frac{T}{2}$  : à l'instant  $t_1$  le courant devient positif ce qui impose la conduction des transistors T1 et T4 ou les diodes D1 et D4 se bloquent. Les équations de  $U_c(t)$  et  $i(t)$  restent les mêmes que (I.7) et (I.8) car on est toujours dans la même maille.

Pour  $\frac{T}{2} < t < \frac{T}{2} + t_1$  : T2 et T3 sont commandés à la fermeture donc :

$$U_c = \frac{L di}{dt} + Ri = -E \tag{I.9}$$

D'après (I.9) on trouve cette expression de courant :

$$i(t) = \frac{E}{R} (-1 + e^{t/\tau}) + I_M e^{t/\tau} \tag{I.10}$$

Le courant est positif, ce qui veut dire que les diodes D2 et D3 conduisent le courant. Dans cet intervalle de temps la charge fournit l'énergie vers la source.

Pour  $\frac{T}{2} + t_1 < t < T$  : à l'instant  $\frac{T}{2} + t_1$  le courant devient négatif ce qui impose la conduction des transistors T2 et T3 avec les diodes D2 et D3 qui sont bloquées. Dans ce cas la charge reçoit l'énergie.

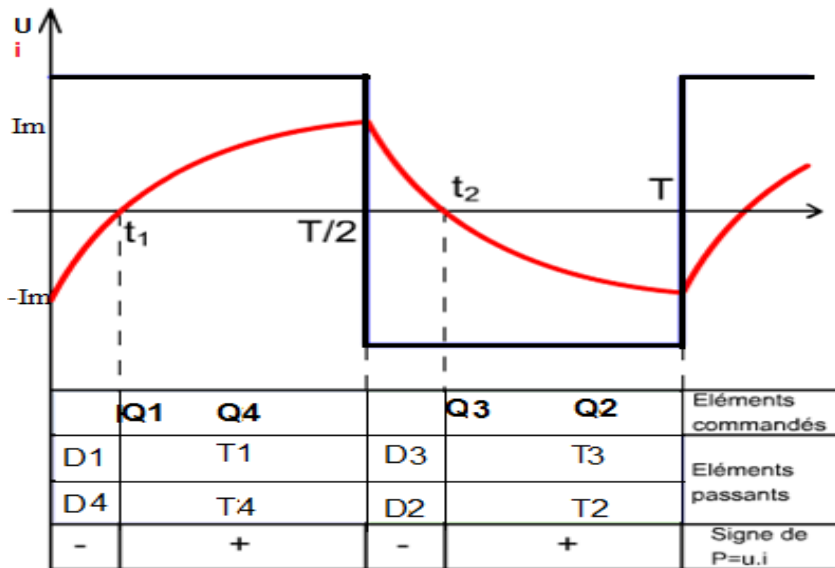


Figure I.7 L'allure de la tension et le courant aux bornes de la charge

### I.3.4.2 Les onduleurs triphasés

L'onduleur triphasé découle immédiatement de trois demi pont monophasé on obtient l'onduleur triphasé à six interrupteurs, chaque demi pont comprend un thyristor ou un transistor et une diode. La source de tension continue est obtenue à partir d'un pont redresseur. Pour assurer la continuité des courants de sortie alternatif **Ia, Ib, Ic**, les interrupteurs **S1, S'1** et **S2, S'2, S3** et **S'3** doivent être complémentaires deux à deux.

Il est constitué de trois cellules de commutation dont les commandes décalées entre elles de  $1/3$  de la période permettent de reconstituer un système triphasé de tensions et de courants [4] [5].

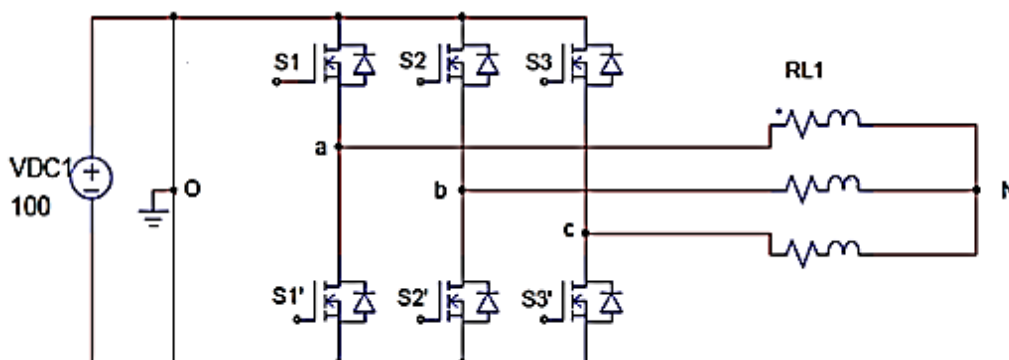


Figure I.8 Schéma d'onduleur de tension triphasé

#### I.3.4.2.1 Principe de fonctionnement de l'onduleur triphasé

Pour assurer la continuité des courants de sortie alternatif **Ia, Ib et Ic**, les interrupteur **S1** et **S1'**, **S2** et **S2'**, **S3** et **S3'** doivent être complémentaire deux à deux, et pour que les tensions de sortie **Va, Vb et Vc** soient identiques à un tiers de la période **T** de leur fondamental prés, il faut commander chaque demi pont avec un retard de  $T/3$  sur le précédent. En commande pleine onde on ferme donc :

- S1 pour  $wt=0$  et S1' pour  $wt = \pi$ .
- S2 pour  $wt=2\pi/3$  et S2' pour  $wt = \pi+2\pi/3$
- S3 pour  $wt=4\pi/3$  et S3' pour  $wt= \pi+4\pi/3$

La présence du neutre relié à la source est indispensable si le récepteur est déséquilibré et tout particulièrement s'il comporte des charges monophasées montées entre phase et neutre. Si le récepteur triphasé est équilibré (moteur triphasé par exemple) on peut supprimer la liaison entre le point neutre « **N** » et le point milieu « **0** » du la source, Donc supprimer celui- ci, on obtient alors l'onduleur triphasé proprement dit [6].

**I.3.4.2.2 Modèle mathématique de l'onduleur de tension triphasé**

Les interrupteurs **S1** et **S1'**, **S2** et **S2'**, **S3** et **S3'** doivent être complémentaires deux à deux quel que soit la loi de commande à adopter, il est possible d'établir des relations générales que nous utiliserons pour la commande MLI quels que soient les courants, les interrupteurs imposent les tensions entre les bornes de sortie **A**, **B**, **C** et le point milieu (fictif) '**O**' de la source de tension.

$$\begin{cases} \mathbf{v}_a - \mathbf{v}_0 = \frac{\mathbf{v}_{dc}}{2} ; \mathbf{S}_1 \text{ fermé ET } \mathbf{v}_a - \mathbf{v}_0 = -\frac{\mathbf{v}_{dc}}{2} ; \mathbf{S}_1 \text{ ouvert} \\ \mathbf{v}_b - \mathbf{v}_0 = \frac{\mathbf{v}_{dc}}{2} ; \mathbf{S}_2 \text{ fermé ET } \mathbf{v}_b - \mathbf{v}_0 = -\frac{\mathbf{v}_{dc}}{2} ; \mathbf{S}_2 \text{ ouvert} \\ \mathbf{v}_c - \mathbf{v}_0 = \frac{\mathbf{v}_{dc}}{2} ; \mathbf{S}_3 \text{ fermé ET } \mathbf{v}_c - \mathbf{v}_0 = -\frac{\mathbf{v}_{dc}}{2} ; \mathbf{S}_3 \text{ ouvert} \end{cases} \quad (\text{I.11})$$

Les interrupteurs imposent donc les tensions composées à la sortie de l'onduleur ainsi pour la première de ces tensions.

$$\begin{cases} \mathbf{V}_a - \mathbf{V}_b = (\mathbf{V}_a - \mathbf{V}_0) - (\mathbf{V}_b - \mathbf{V}_0) = \mathbf{V}_{dc} \text{ Si } \mathbf{S}_1 \text{ est fermé et } \mathbf{S}_2 \text{ est ouvert} \\ \mathbf{V}_a - \mathbf{V}_b = (\mathbf{V}_a - \mathbf{V}_0) - (\mathbf{V}_b - \mathbf{V}_0) = \mathbf{0} \text{ Si } \mathbf{S}_1 \text{ et } \mathbf{S}_2 \text{ sont fermés} \\ \mathbf{V}_a - \mathbf{V}_b = (\mathbf{V}_a - \mathbf{V}_0) - (\mathbf{V}_b - \mathbf{V}_0) = \mathbf{0} \text{ Si } \mathbf{S}_1 \text{ et } \mathbf{S}_2 \text{ sont ouverts} \\ \mathbf{V}_a - \mathbf{V}_b = (\mathbf{V}_a - \mathbf{V}_0) - (\mathbf{V}_b - \mathbf{V}_0) = -\mathbf{V}_{dc} \text{ Si } \mathbf{S}_1 \text{ est ouvert et } \mathbf{S}_2 \text{ est fermé} \end{cases} \quad (\text{I.12})$$

Son point neutre étant isolé, si le récepteur est équilibré on peut passer des tensions composées aux tensions simples **Va**, **Vb**, **Vc** à la sortie de l'onduleur. Pour que, quelle que soit leurs formes d'ondes, les trois courants **IA**, **IB**, **IC** aient une somme nulle, il faut que leurs trois fondamentaux aient une somme nulle et qu'il en soit de même pour les divers harmoniques. Si le récepteur est équilibré ces trois phases présentent la même impédance pour le fondamental ainsi que pour les divers harmoniques, les produits impédances 'Z' courants, c'est-à-dire les tensions ont une somme nulle pour les fondamentaux ainsi que les systèmes harmoniques successifs, en ajoutant toutes ces sommes on obtient la somme nulle des trois tensions [6].

$$\text{A cause de l'équilibre on a : } \begin{cases} \mathbf{I}_A + \mathbf{I}_B + \mathbf{I}_C = \mathbf{0} \\ \mathbf{V}_a + \mathbf{V}_b + \mathbf{V}_c = \mathbf{0} \end{cases} \quad (\text{1.13})$$

$$\text{Donc : } \begin{cases} (\mathbf{U}_{ab} - \mathbf{U}_{ca}) = (\mathbf{V}_a - \mathbf{V}_b) - (\mathbf{V}_c - \mathbf{V}_a) = 2\mathbf{V}_a - \mathbf{V}_b - \mathbf{V}_c \\ (\mathbf{U}_{bc} - \mathbf{U}_{ab}) = (\mathbf{V}_b - \mathbf{V}_c) - (\mathbf{V}_a - \mathbf{V}_b) = \mathbf{V}_a - 2\mathbf{V}_b - \mathbf{V}_c \\ (\mathbf{U}_{ca} - \mathbf{U}_{bc}) = (\mathbf{V}_c - \mathbf{V}_a) - (\mathbf{V}_b - \mathbf{V}_c) = \mathbf{V}_a - \mathbf{V}_b - 2\mathbf{V}_c \end{cases} \quad (\text{1.14})$$

$$\text{Et on a : } \begin{cases} \mathbf{V}_a = -\mathbf{V}_b - \mathbf{V}_c \\ \mathbf{V}_b = -\mathbf{V}_a - \mathbf{V}_c \\ \mathbf{V}_c = -\mathbf{V}_a - \mathbf{V}_b \end{cases} \quad (\text{1.15})$$

$$\text{Donc : } \begin{cases} v_a = \frac{1}{3}(U_{ab} - U_{ca}) = \frac{1}{3}[(V_a - V_b) - (V_c - V_a)] \\ v_b = \frac{1}{3}(U_{bc} - U_{ab}) = \frac{1}{3}[(V_b - V_c) - (V_a - V_b)] \\ v_c = \frac{1}{3}(U_{ca} - U_{bc}) = \frac{1}{3}[(V_c - V_a) - (V_b - V_c)] \end{cases} \quad (1.16)$$

On obtient finalement

$$\begin{cases} v_a = \frac{1}{3}[2(V_a - V_0) - (V_b - V_0) - (V_c - V_0)] \\ v_b = \frac{1}{3}[-(V_a - V_0) + 2(V_b - V_0) - (V_c - V_0)] \\ v_c = \frac{1}{3}[-(V_a - V_0) - (V_b - V_0) + 2(V_c - V_0)] \end{cases} \quad (1.17)$$

Si  $V_{AO}, V_{BO}$  et  $V_{CO}$  sont les tensions d'entrée de l'onduleur (valeur continues) donc  $V_A, V_B$  et  $V_C$  sont les tensions ses sorties (valeurs alternatives) par conséquent l'onduleur de tension peut être modélisé par une matrice  $[T]$  assurant le passage continu -alternatif (DC-AC).

$$[T] = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \quad (1.18)$$

On aura alors :  $[V_{AC}] = [T] \cdot [V_{DC}]$

Avec :  $[V_{AC}] = [V_A \ V_B \ V_C]^T$  : tension alternative équilibrée (1.19)

ET :  $[V_{DC}] = [V_{AO} \ V_{BO} \ V_{CO}]^T$  : tension continue

#### I.4. Choix des composants d'un onduleur

Le MOSFET est très bien adapté pour les convertisseurs basse-tension et à fréquence élevée (inférieure à 100V et supérieure à 50kHz) alors que l'IGBT est utilisé pour les tensions supérieures à 300V et des fréquences rarement supérieures à 20kHz.

Les GTO et thyristors sont dédiés aux applications haute tension (>1kV) fort courant (>1kA). La **Figure 1.9** résume cette classification de composants de puissance en fonction de la fréquence de commutation et du produit  $U.I$  des composants [7].

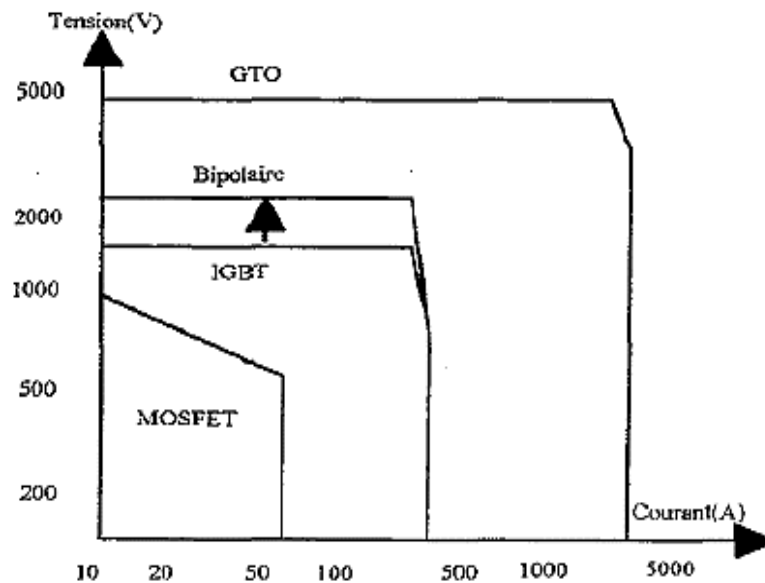


Figure I.9 La comparaison entre les interrupteurs de tension en fonction de courant

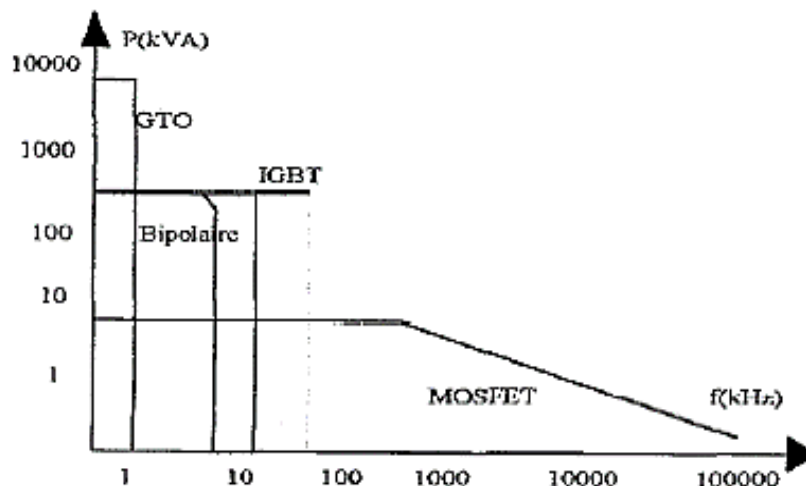


Figure 1.10 La comparaison entre les interrupteurs de puissance en fonction de fréquence

### I.5. Caractéristique des onduleurs

Les caractéristiques de l'ondeur sont principalement définies par ces composants de puissance ceux-ci déterminent la puissance, la tension, le courant maximum commutés, la fréquence maximale de commutation et le temps mort ces deux dernières caractéristiques sont particulièrement importantes car elles vont beaucoup influencer sur la conception. La fréquence maximale de commutation est déterminée par les temps de commutation (ouverture et fermeture du composant) des interrupteurs et par le temps mort sur une période des commutations un interrupteur commuté au maximum deux fois à l'ouverture et à la fermeture. Le temps mort sert à prévenir les risques de court-circuit sur un bras, Ce temps introduit entre l'ouverture d'interrupteur et la fermeture de son complémentaire, dépend des temps de commutation [3].

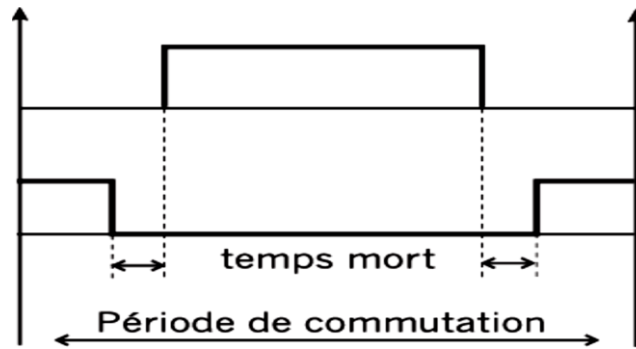


Figure I.11 Exemple de période de commutation avec temps mort

## I.6. Les critères de choix d'un onduleur

### 1. Sa puissance

La puissance est le premier critère de choix d'un onduleur. En effet, un onduleur doit avoir une puissance suffisante pour suppléer une panne de courant. Pour savoir la puissance dont on a besoin, on fait la somme des consommations de tout le matériel qui doit être connecté à l'onduleur.

### 2. Défaillance électrique et solution

Pour choisir un onduleur, il est souvent pratique de savoir contre quel type de défaillance électrique on peut se prémunir et de quelle façon l'onduleur solutionne le problème. Ainsi le choix de l'onduleur sera plus facile et plus précis.

- **Les chutes de tension**

Pour se prémunir contre les chutes de tensions les onduleurs vont offrir une régulation automatique de voltage (AVR). Plus concrètement, l'onduleur va remonter la tension jusqu'à la tension soit nominale.

- **Les surtensions**

Pour solutionner le problème de surtension, les onduleurs vont aussi permettre la régulation automatique de voltage, cette fois l'onduleur va abaisser la tension jusqu'à la tension soit nominale.

- **Les coupures**

Les onduleurs régleront le problème de coupures en palliant l'absence de courant du réseau, plus simplement les appareils connectés seront alimentés par les batteries de l'onduleur.

### 3. Le type d'utilisation

Le type d'utilisation est également un critère important, pour le meilleur choix d'un onduleur reste sans nul doute le type d'activité que vous effectuez [8].

#### I.7. Techniques de commande d'un onduleur

L'objectif de la commande est de gérer les ordres d'ouverture et de fermeture des interrupteurs de sorte que la tension créée par l'onduleur soit la plus proche de la tension de référence.

##### 1.7.1. Commande 180°

Lorsque la séquence de commande de fermeture d'un interrupteur coïncide avec la commutation d'ouverture de l'interrupteur situé sur le même bras, on parle dans ce cas, d'un onduleur de type 180° pour le premier bras de l'onduleur, l'interrupteur **K1** est fermé pendant une demi-période (180°), et **K'1** est fermé pendant l'autre demi de la période. Pour les deux autres bras de l'onduleur, on applique la même procédure, mais avec un décalage de  $2\pi/3$  et  $4\pi/3$  par rapport au premier bras. En appliquant ce type de commande pour l'onduleur, on obtient un système de tensions alternatives triphasées caractérisées par l'absence des harmoniques de rangs multiples de trois [9], [10].

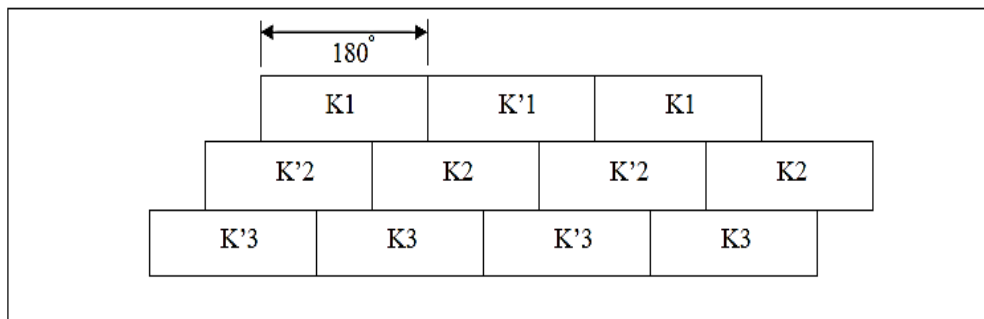


Figure I.12 Commande 180

##### 1.7.2. Commande 120°

Dans ce cas la commande de fermeture d'un interrupteur ne coïncide plus avec la commande d'ouverture de l'interrupteur placé sur le même bras, on parle dans ce cas d'un onduleur de type 120° avec cette technique de commande, chaque interrupteur fonctionne pendant 120°, telle que la séquence est **K1**, **K2** puis **K3** successivement. De même pour les interrupteurs **K'1**, **K'2** et **K'3** avec un décalage de 60° par rapport à **K1**, **K2**, **K3**. [9], [10]



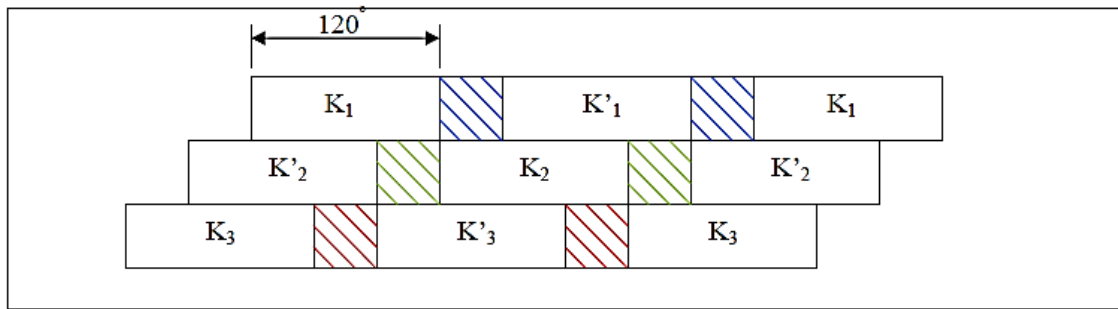


Figure 1.13 Commande 120

### 1.7.3. Commande à modulation de largeur d'impulsion (MLI)

Les tensions obtenues aux bornes du récepteur (la charge) pour les onduleurs triphasés conventionnels présentent plusieurs harmoniques, il est donc nécessaire de chercher à se rapprocher d'une forme d'onde sinusoïdale. Pour cela on fait appel à la technique de modulation de largeur d'impulsion (MLI) le principe de cette technique repose sur l'échantillonnage du signal contenant l'information devant être transmise, nommée signal modulant, qui devient par suit une série d'impulsion a largeur définie en fonction de l'amplitude du signal modulant aux instants d'échantillonnage. La commande MLI est utiliser principalement pour pouvoir repousser les harmonique de la tension de sortie vers des fréquences élevées, ce qui facilite le filtrage (réalisation plus facile, moins onéreux), permettre le réglage de l'amplitude du fondamental de la tension de sortie et alimenter les machines a courant alternatif par des courant quasi sinusoïdaux. En effet, les deux stratégies de modulation les plus utilisées en boucle ouverte pour un onduleur, sont la modulation sinusoïdale et la modulation vectorielle [5].

#### 1.7.3.1. Modulation sinusoïdale (MLIS)

Cette stratégie est héritée des techniques analogiques. Elle consiste à calculer la largeur d'une impulsion de manière à obtenir la tension de référence en moyenne sur une période de commutation. Elle repose sur la génération des signaux de commande en comparant deux ondes ; la première triangulaire d'amplitude fixe et de fréquence très élevée ; appelée porteuse ou onde de modulation. La deuxième sinusoïdale d'amplitude variable et de fréquence  $f$  qui détermine la fréquence de la tension de sortie ; appelée référence comme le montre la figure I.14 [11].

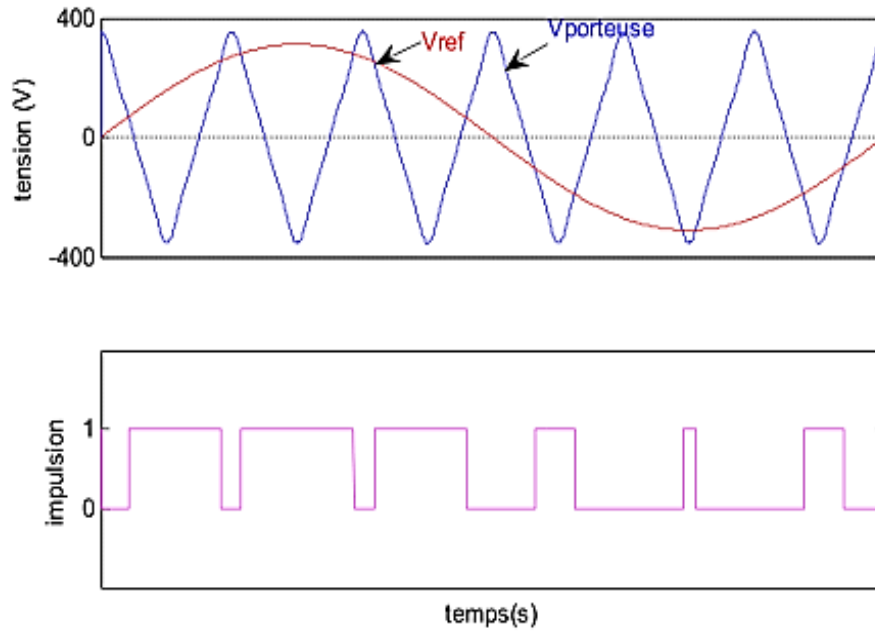


Figure I.14 La modulation sinusoïdale (MLIS)

**1.7.3.2. Modulation vectorielle (SVM)**

La modulation vectorielle (Space Vector Modulation) ne s’appuie pas sur des calculs séparés des modulations pour chacun des bras de l’onduleur, mais elle traite les signaux directement dans le plan diphasé de la transformée de Concordia. Donc le principe de base de cette modulation consiste à reconstruire le vecteur de tension de sortie de l’onduleur à partir des huit vecteurs de tension correspondant aux huit états possibles d’onduleur de tension [12].

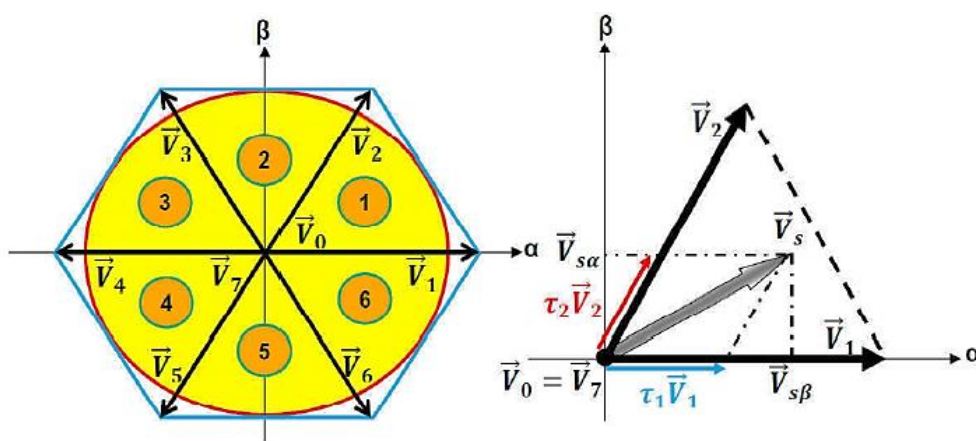


Figure 1.15 Diagramme vectoriel de l’onduleur

### 1.8. Les applications des onduleurs

Parmi les applications des onduleurs on a [13] :

#### 1.8.1. Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone

La vitesse d'un moteur synchrone est fixée par la pulsation des courants statiques. Pour changer de vitesse il faut donc changer la fréquence des tensions d'alimentation. Il faut donc redresser la tension du réseau puis l'onduler à la fréquence désirée.

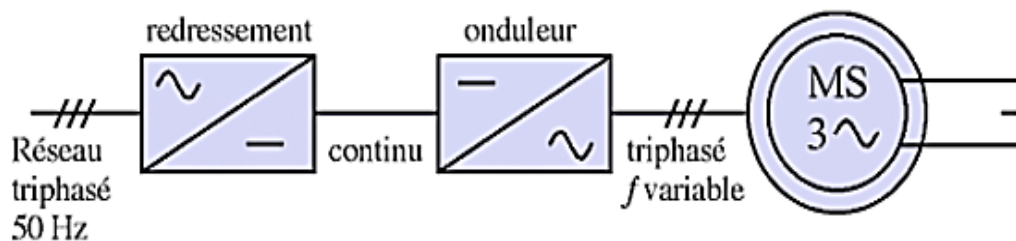


Figure 1.16 Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone

#### 1.8.2. Transfert d'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes

La France fournit de l'énergie électrique à la Grande-Bretagne, mais la fréquence du réseau anglais est 60 Hz. Il faut donc adapter la fréquence.

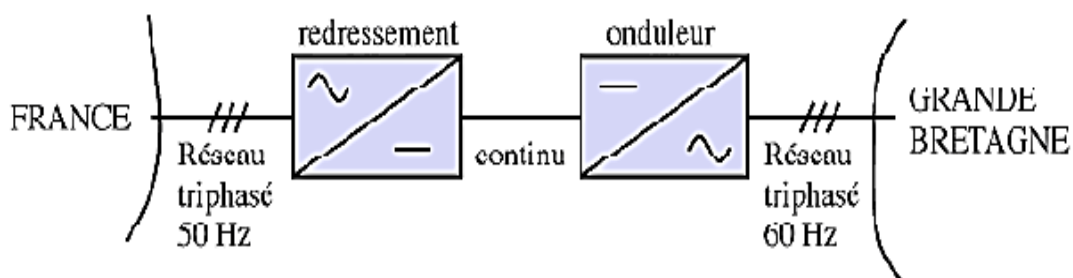


Figure 1.17 Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes

#### 1.8.3. Les applications dans le transport

- ✓ Transport ferroviaire :

Les motrices actuellement développées sont mues par des machines alternatives asynchrones. Pour contrôler la vitesse de rotation de ces dernières, on doit pouvoir faire varier la fréquence de leur l'alimentation. Cela est réalisé par un onduleur. Exemple TGV, trains, Tramway.

- ✓ Transport Aériens et maritimes :

Tout avion produit lui-même l'énergie électrique dont il a besoin pour le fonctionnement de ces équipements de bord.

#### 1.8.4. Les applications dans les installations photovoltaïques

Le raccordement entre les panneaux photovoltaïques et le réseau se fait à travers les onduleurs aussi ils permettent d'adapter l'énergie délivrée du panneau et l'énergie injectée au réseau.

**1.8.5. Alimentation de secours**

Lors d'une panne d'électricité, un onduleur assure la continuité de l'alimentation des machines à partir de batteries. En informatique professionnelle, un onduleur est indispensable pour éviter la perte d'informations en cas de panne du secteur

**I.8.6. Assurer la continuité des alimentations des secours**

En cas de coupure du réseau, la tension continue stockée dans les batteries sera convertit en tension alternative à travers l'onduleur pour continuer l'alimentation des machines, surtout en informatique pour éviter les pertes d'informations.

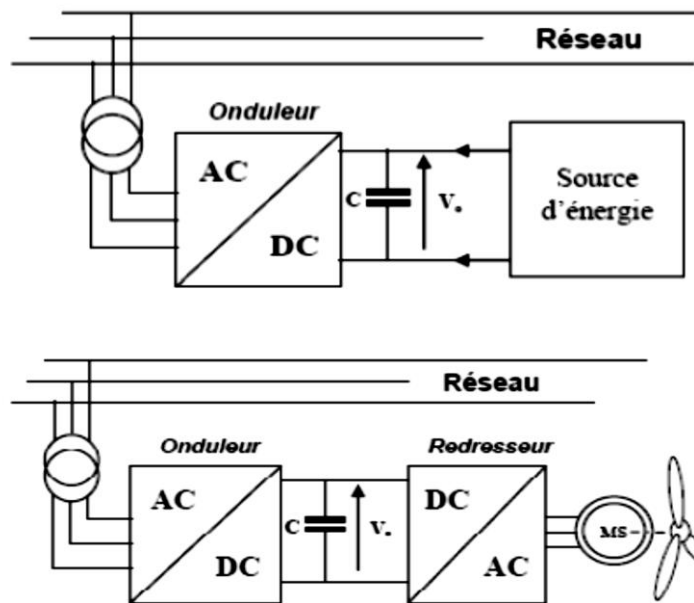


Figure 1.18 Alimentation de secours

**I.8.7. Alimentation sans interruption**

Les onduleurs peuvent assurer une alimentation électrique 24h sur 24 h en cas de rupture dans le réseau.

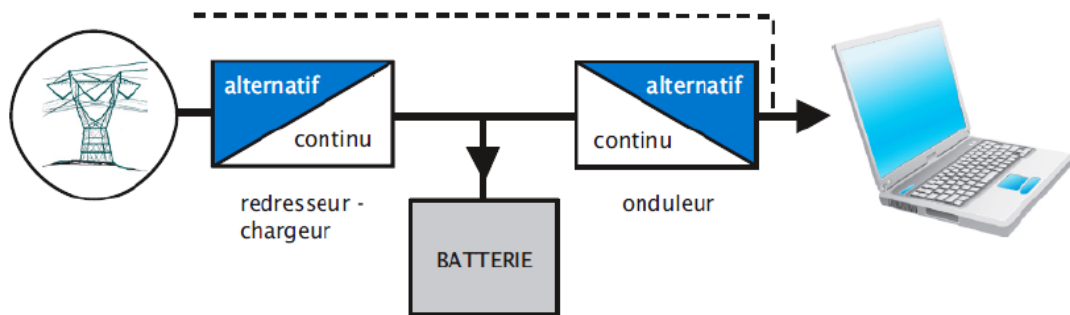


Figure 1.19 Alimentation sans interruption

### I.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en premier lieu la théorie des onduleurs, ensuite nous avons focalisé notre étude sur les onduleurs triphasé et monophasé nous avons donné en premier temps leurs concept, en suite leurs principe de fonctionnement, le choix des composantes, leur caractéristiques, leur critères de choix, les techniques de commande ainsi leurs domaines d'applications. Le prochain chapitre sera consacré à l'étude des défauts et techniques de diagnostic.

## II.1. Introduction

La surveillance d'état du convertisseur est primordial pour la continuité et la stabilité de l'alimentation, pour cela un grand nombre de recherche est orienté vers l'évolution des méthodes de diagnostic de défaut afin d'assurer une large fiabilité, une productivité optimale et une grande sûreté de fonctionnement qui permet de présenter des systèmes électrique de plus en plus performants. Les onduleur sont susceptibles de présenter des défauts structurels, ce dysfonctionnement peut induire des endommagements pour le système, il est donc évident que l'investissement dans le domaine de diagnostic et la surveillance de onduleur parait une solution indispensable. Dans ce chapitre nous allons parler des défiants défauts ainsi les méthodes de diagnostic.

## II.2. Terminologies de base sur les défauts

On donne quelques notions de base pour la suite de notre travail [14].

### II.2.1 Définition d'un Défaut

Un défaut est une anomalie de fonctionnement d'un système physique. On appelle défaut tout écart entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique théorique .cet écart est idéalement nul en absence d'anomalies. Les défauts peuvent apparaitre au niveau des capteurs, des actionneurs ou au niveau du système lui-même

### II.2.2 Définition d'une défaillance

Interruption permanente de la capacité de système à accomplir sa mission dans des conditions de fonctionnement opérationnelles spécifiées.

### II.2.3 Définition d'une panne

Une panne est l'incapacité d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Une panne résulte toujours d'une défaillance est donc un défaut.

## II.3. Défauts dans les onduleurs

L'onduleur est soumis à des diverses défauts structurels, dans la plupart des cas la défaillance se traduirait par l'arrêt du système d'entraînement. Les défauts qui sont majoritairement provoqués sur un onduleur sont :

### II.3.1. Défaut de circuit-ouvert

Ce type de défaut a pour principale cause une défaillance de la commande rapprochée (défaut thermique ou perte d'alimentation par exemple). Selon la localisation du défaut dans la cellule, celui-ci sera visible sur l'alternance positive du courant soit sur l'alternance négative. La conséquence est que la cellule défaillante se retrouve en surtension et qu'un arrêt du convertisseur est obligatoire pour éviter une propagation du défaut [15].

### II.3.2. Défaut court-circuit

Le défaut de type court-circuit se produit lorsque l'un des composants d'une cellule de commutation reste constamment fermé. Un tel défaut peut avoir deux causes : soit la mise en court-circuit physique de la puce de silicium par dépassement de température critique, soit la défaillance de la commande rapprochée. Dans ce cas, les courants de phases sont fortement altérés. Ce type de défaillance est extrêmement préjudiciable aux onduleurs et nécessiterait la mise en œuvre de protection permettant de déconnecter le bras défaillant dès l'apparition de cette défaillance [15].

### II.3.3. Défaut de court-circuit du bus continu

Les causes d'un défaut de court-circuit du bus continu concernant l'onduleur peuvent être diverses (défaut de connectique, défaillance d'un condensateur, des diodes du redresseur... etc.) et les conséquences sont semblables à celles d'un court-circuit de bras d'onduleur. Ce régime de défaut met en jeu des amplitudes électriques et mécaniques élevées. De plus, ce régime peut être maintenu de manière erratique si la machine continue à être entraînée en rotation.

Si l'onduleur comprend des dispositifs d'isolement, cela permet de minimiser la durée du régime dégradé électromécanique, d'en empêcher la reprise et d'assurer le mode de défaillance ultime en arbre libre. [16]

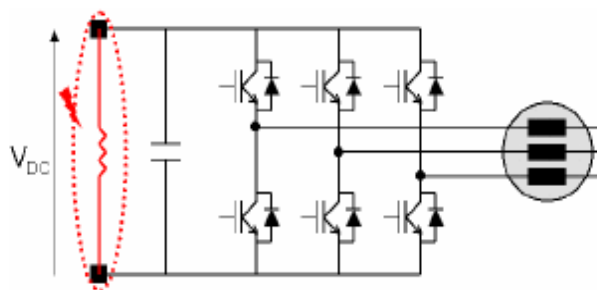


Figure II.1 défaut de court-circuit du bus continu

### II.3.4. Les défauts de la commande de l'onduleur

Les fonctionnements anormaux de la commande de l'onduleur sont essentiellement dus à :

- la rupture de la connexion entre le pilote et l'interrupteur qui est alors maintenu dans l'état précédant la rupture.
- l'inhibition du pilote suite à la détection d'un court-circuit (par surveillance de la tension de saturation par exemple) ou à une tension d'alimentation du pilote insuffisante. En supposant l'interrupteur sain, cette inhibition entraîne une ouverture du semi-conducteur qui se comporte alors comme un interrupteur ouvert parfait (aux courants de fuite près). Les défauts de

commande de l'onduleur auront des conséquences importantes sur le fonctionnement de l'association car ils modifient de manière fondamentale les conditions d'alimentation de la machine [17].

### II.3.5. Coupure de phase

Quand l'une des phases de l'onduleur est ouverte, le défaut de coupure de phases produit. Ce défaut provoque aussi l'échauffement et une augmentation du courant parcourant les conducteurs des phases saines [18].

### II.3.6. La durée de vie

Lorsque l'onduleur il s'approche a atteint sa durée de vie moyenne il est plus susceptible de tomber en panne et devoir être remplacé. Ses éléments électroniques sont en effet plus sujets aux dysfonctionnements. [18]

### II.3.7. L'humidité

L'humidité peut aussi nuire au bon fonctionnement d'un onduleur. L'humidité peut en effet être à l'origine d'un défaut d'isolement des câbles, cause d'arrêt de l'onduleur. [18]

### II.3.8. Echauffement de l'onduleur

Les grandes chaleurs sont un motif de panne fréquent de l'onduleur. Si les onduleurs installés dans les endroits non ventilés non seulement leurs rendements sera diminuer mais il risque aussi la dégradation de leurs durées de vie [18].

## II.4. Notions de base sur le diagnostic

Le diagnostic c'est un ensemble d'actions visant à évaluer l'état d'un procédé à partir de la connaissance de son fonctionnement. On détermine l'origine de défaillance à partir de l'observation de procédé.

L'objectif d'un système de diagnostic est de prévoir l'apparition d'un défaut le plus rapidement possible et le plus précisément possible. Pour pouvoir expliquer ce principe avec plus de précision, nous allons tout d'abord définir ce que nous entendons par le défaut, puis nous rappellerons les fonctions du diagnostic telles que la détection, la localisation, et l'identification des défauts [6],[14].

### II.4.1. Etapes de diagnostic

Les étapes sont détaillées comme suit [6] :

1. **Prise de mesures** : La mesure que l'on fait sur le système est la seule information pour connaître l'évolution du système. Elle se fait à l'aide d'un capteur approprié et nécessite souvent une étape de filtrage.
2. **Détection** : Souvent, il s'agit d'un test statistique traitant un signal susceptible de contenir des informations sur l'état du système à surveiller.



3. **Localisation** : C'est souvent une tâche liée aux caractéristiques du système. Il s'agit d'un test qui traite l'information sur l'origine de la provenance du défaut.
4. **Identification** : Il s'agit de caractériser le défaut, d'estimer son importance et son comportement dans le temps
5. **Décision** : C'est une décision sur le type d'action à prendre pour rétablir de système.
6. **Correction** : C'est l'action d'arrêter le système et de procéder à une maintenance corrective
7. **Adaptation** : C'est l'action de reconfiguration et d'adaptation de la consigne à injecter dans le système.

## II.5 Méthodes de diagnostic des onduleurs

Les méthodes de diagnostic des défauts sont très variées. On les distingue à partir de leur type de connaissance utilisée pour vérifier la cohérence entre les observations réelles et de références. Ces dernières se répartissent en deux classes : les méthodes avec modèle et les méthodes sans modèle.

### II.5.1. Méthodes sans modèles

#### II.5.1.1. Analyse fréquentielle (Filtrage)

C'est une première approche du traitement du signal, elle repose sur l'analyse fréquentielle. Elle est très utilisée pour la détection des phénomènes périodiques comme en analyse vibratoire, Le contenu spectral des signaux est utilisé pour détecter les défauts. Les signaux sont tout d'abord analysés en état normal de fonctionnement. Ensuite, toute déviation des caractéristiques fréquentielles d'un signal est reliée à une situation de fonctionnement défaillant, l'inconvénient de cette approche est d'être assez sensible aux bruits de mesure quand ceux-ci coïncident avec la zone fréquentielle d'intérêt [19].

##### II.5.1.1.1. La Transformée de Fourier Rapide (FFT)

C'est l'une des opérations les plus couramment utilisées en traitement du signal pour fournir une analyse du spectre de fréquences.

##### II.5.1.1.2. Diagnostic par la méthode de l'analyse de la réponse fréquentielle

Le principe de fonctionnement est d'injecter un signal ou une tension d'excitation sinusoïdale dont la fréquence augmente en continu, à une extrémité de composant, puis mesurer le signal de réponse sur une large plage de fréquence (méthode de balayage en fréquence). La comparaison des signaux d'entrée et de sortie génère une réponse en fréquence unique qui peut être comparée aux données de référence [19].

### II.5.1.2. Redondance matérielle

La redondance matérielle consiste en la mise en place d'une série de capteurs mesurant la même grandeur physique sur un même organe du système. Les comparaisons par différence des mesures des capteurs deux à deux forment alors les résidus. Si un des capteurs est défaillant, il est alors détecté et isolé facilement, car il affecte tous les résidus où il intervient, de nombreuses applications industrielles appliquent cette méthode de diagnostic [20].

### II.5.1.3. Capteurs spécifiques (capteurs détecteurs)

Des capteurs spécifiques peuvent également être utilisés pour générer directement des signaux de détection ou connaître l'état d'un composant, par exemple, les capteurs d'état de fonctionnement d'un moteur ou de dépassement de seuils sont largement employés dans les installations industrielles [6].

### II.5.1.4. Réseaux de neurones artificiels (RNA)

« L'étude » objective et précise des RNA converge pour souligner l'importance de la diriger sous le soin et contrôle de la neurophysiologie qui s'intéresse d'avantage aux problèmes de défaillances, en communiquant à l'entrée du réseau artificiel des données de simulation à la place des mesures effectuées par des capteurs, ce qui permet une description approximative de son état [21].

### II.5.1.5. Systèmes d'inférence Flous

Le traitement réaliser par un système d'inférence flou (SIF) est divisé en trois taches essentielles :

- 1- La fuzzification a pour but de transformer une valeur numérique  $x_0$  de l'entrée en une valeur floue.
- 2- L'inférence, produit l'image de la partie floue issue de la fuzzification par une relation floue  $R$ , généralement construite à partir de règles.
- 3- La defuzzification transforme la partie floue issue de l'inférence en une valeur numérique  $y$  en sortie, la defuzzification constitue alors une prose de décision [22].

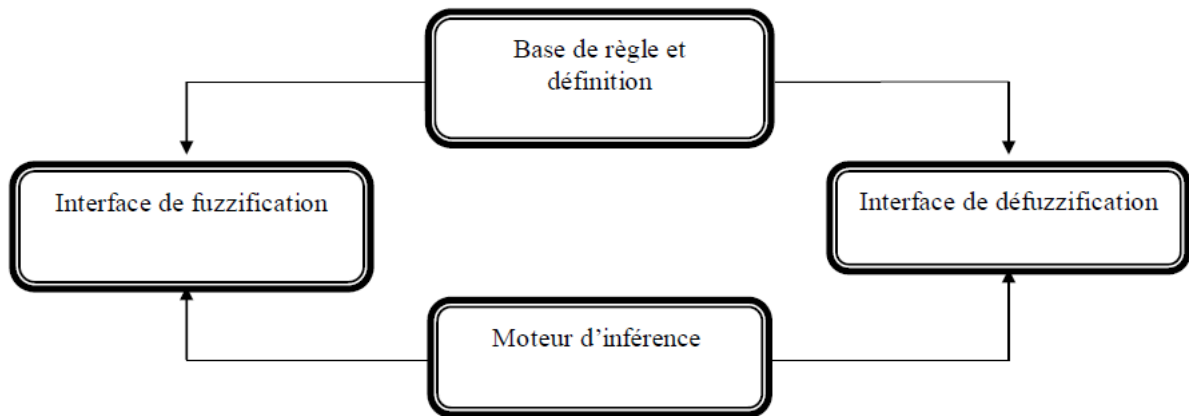


Figure II.2 structure d'un système flou

## II.5.2. Méthode à base modèle

### II.5.2.1. Espace de parité

Cette méthode est généralement appliquée dans un espace à temps discret, en prenant des mesures sur un intervalle de temps appelé fenêtre d'observation. La redondance d'information est ainsi créée sans avoir recours aux dérivations successives des mesures. Les incertitudes paramétriques sont modélisées selon le type des informations disponibles. [23]

### II.5.2.2. Estimation paramétrique

Cette approche considère que l'influence des défauts se reflète à la fois sur les paramètres et sur les variables du système physique. Le principe de cette méthode consiste à estimer en continu des paramètres du procédé en utilisant les mesures d'entrée/sortie et en évaluant la distance qui sépare des valeurs de référence de l'état normal du procédé, l'estimation paramétrique possède l'avantage d'apporter de l'information sur la taille des déviations. Toutefois, un des inconvénients majeurs de la méthode réside dans la nécessité d'avoir un système physique excité en permanence. Ceci pose des problèmes pratiques dans le cas de procédés dangereux ou fonctionnant en mode stationnaire. De plus, les relations entre les paramètres mathématiques et physiques ne sont pas toujours inversibles de façon unitaire, ce qui complique la tâche du diagnostic basé sur les résidus [24].

### II.5.2.3. Estimation d'état (observateur)

L'idée principale de cette approche consiste à générer un vecteur de résidus en estimant une combinaison ou l'ensemble des mesures du système surveillé à partir des grandeurs mesurables (par exemple les signaux d'entrée et de sortie). Les résidus sont alors générés à travers de la déférence (éventuellement filtrée) entre les sorties estimées et les sorties réelles et/ou mesurées. [24]

**II.6. Conclusion**

Dans la première partie de ce chapitre deuxième nous avons présenté des terminologies de base sur les défauts ensuite nous avons donné les défauts susceptibles aux onduleurs monophasés. Dans la seconde partie nous avons présenté des notions de base sur le diagnostic en suite nous avons donné les méthodes de diagnostic des défauts a base modèle et sans modèle.

Dans le prochain chapitre nous allons expliquer les étapes qu'on suivi pour la réalisation de l'onduleur monophasé dans le but d'étude l'influences des défauts sur ce dernier avec la FRA

### III.1. Introduction

Après avoir défini le type de circuit à réaliser (onduleur de tension monophasé), nous avons déterminé les composants à utiliser dans le circuit (de commande et de puissance), par suite on va développer le circuit du convertisseur, à l'aide du logiciel (PROTEUS). Dans ce chapitre nous allons illustré et expliqué les différentes étapes pour la réalisation de notre onduleur, ainsi l'étude de défaut de court-circuit et de circuit ouvert avec l'FRA.

### III.2. Présentation de la plate-forme

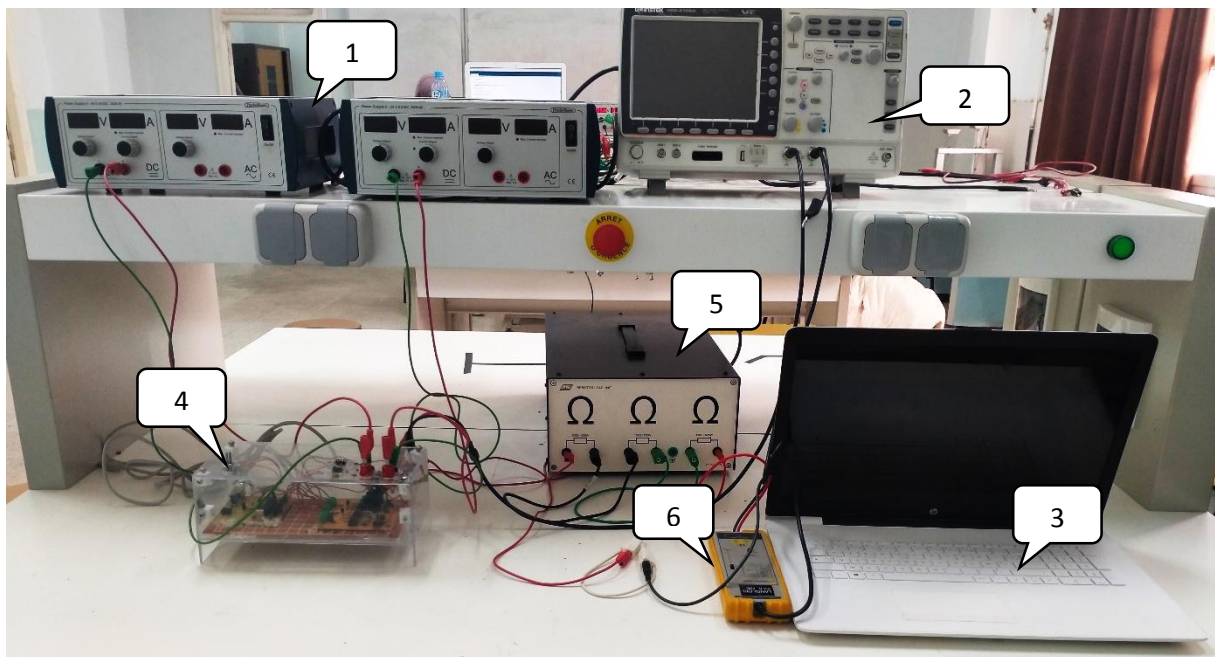


Figure III.1 Présentation du système global

- (1) Source de tension : génère une tension monophasé variable à l'aide d'un potentiomètre.
- (2) L'oscilloscope : utilisé pour l'affichage des différents signaux désirés et les enregistrer sur un support externe (disquette, disk-flash) en utilisant un lecteur disquette ou un port USB.
- (3) Micro-ordinateur : permet de contrôler les autres parties de la maquette, en introduisant des données.
- (4) Onduleur monophasé réalisé
- (5) Charge résistive
- (6) Capture de courant

III.3. Simulation d'un onduleur monophasée par le logiciel MATLAB

On va simuler le montage de notre onduleur (onduleur monophasée de tension) sur le logiciel MATLAB la partie SIMILINK afin de vérifier la robustesse de montage et de la stratégie choisie, pour bien faire les étapes de la réalisation.

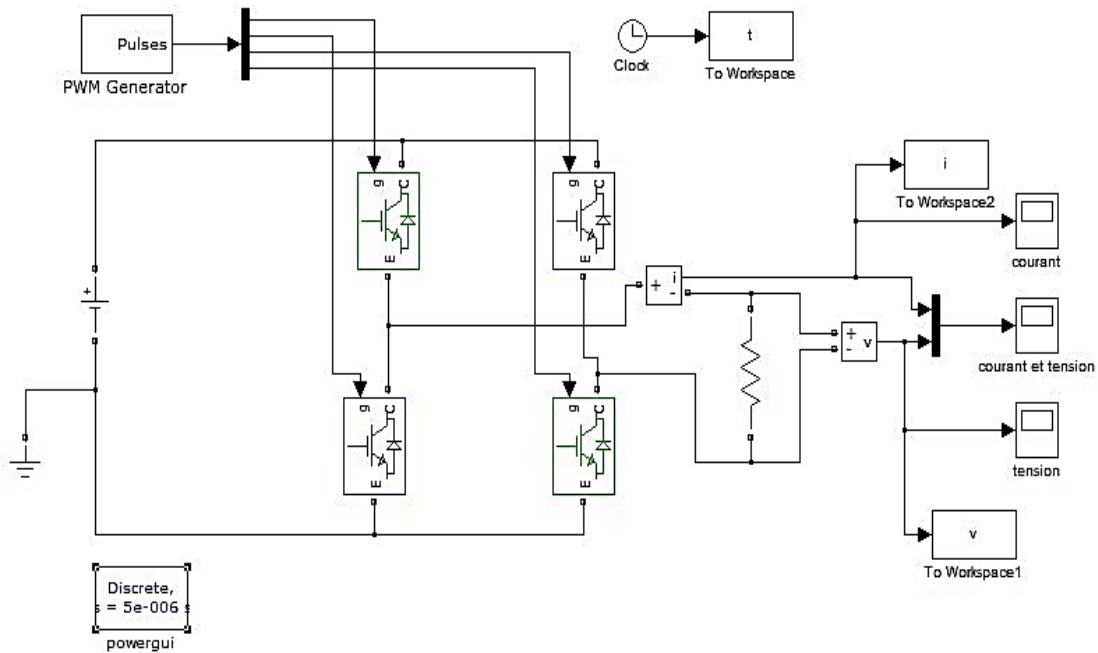


Figure III.2 Schémas d'onduleur monophasé sous MATLAB

➤ La figure III.3 représente l'allure de la tension  $V_s(t)$  aux bornes d'une charge résistive

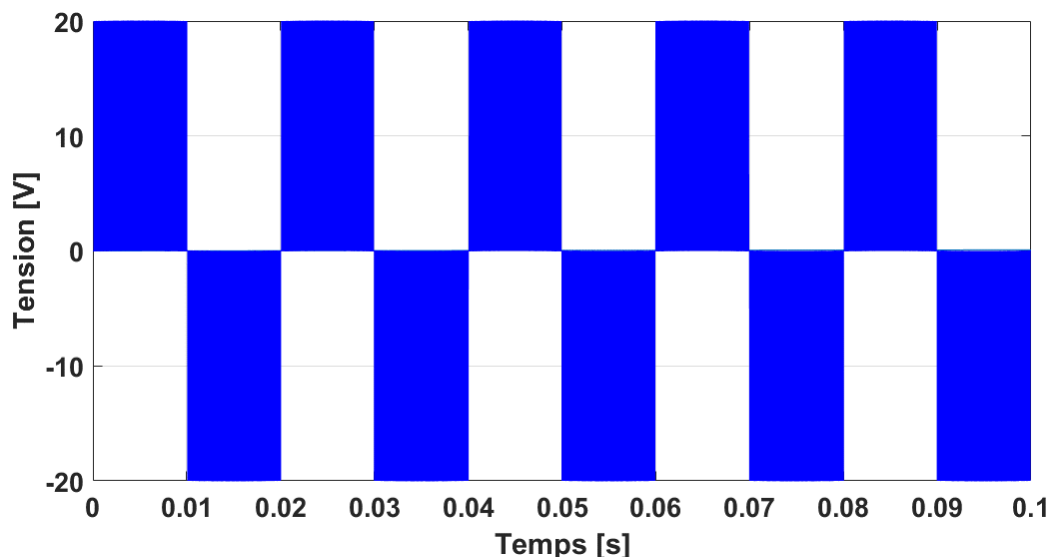


Figure III.3 L'allure de tension à la sortie de l'onduleur

- La **figure III.4** représente l'intensité du courant  $I_s(t)$  aux bornes d'une charge résistive.

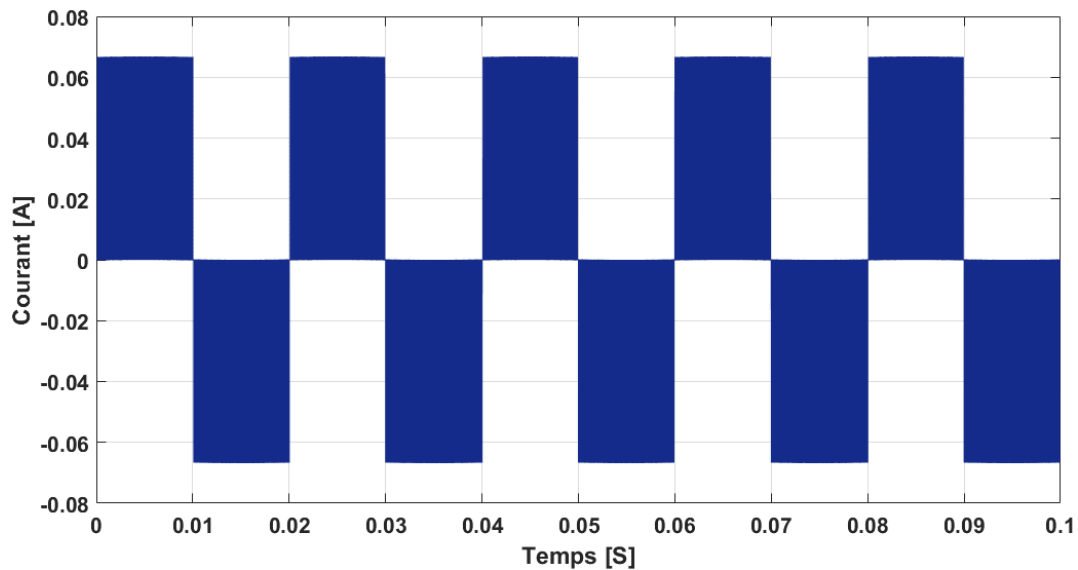


Figure III.4 L'allure de courant à la sortie de l'onduleur

### III.4. Simulation de l'onduleur monophasé sous PROTEUS

Nous avons utilisé le logiciel PROTEUS, la partie ISIS pour dessiner le schéma de notre onduleur en utilisant la bibliothèque des composants, ainsi nous pouvons tester le comportement du circuit.

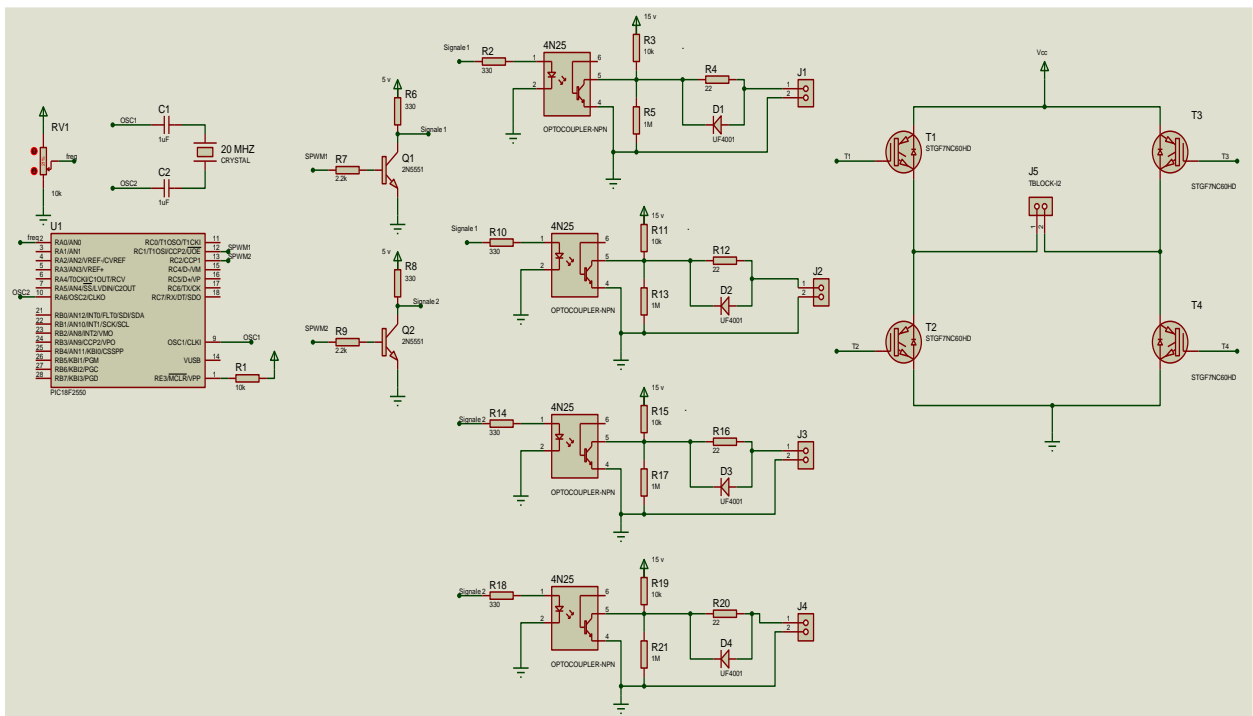


Figure III.5 Circuit de l'onduleur monophasé de tension sous PROTEUS

III.4.1 La carte de commande

Dans cette partie nous allons illustrer la carte de commande et représenter les composants utilisés pour la réaliser.

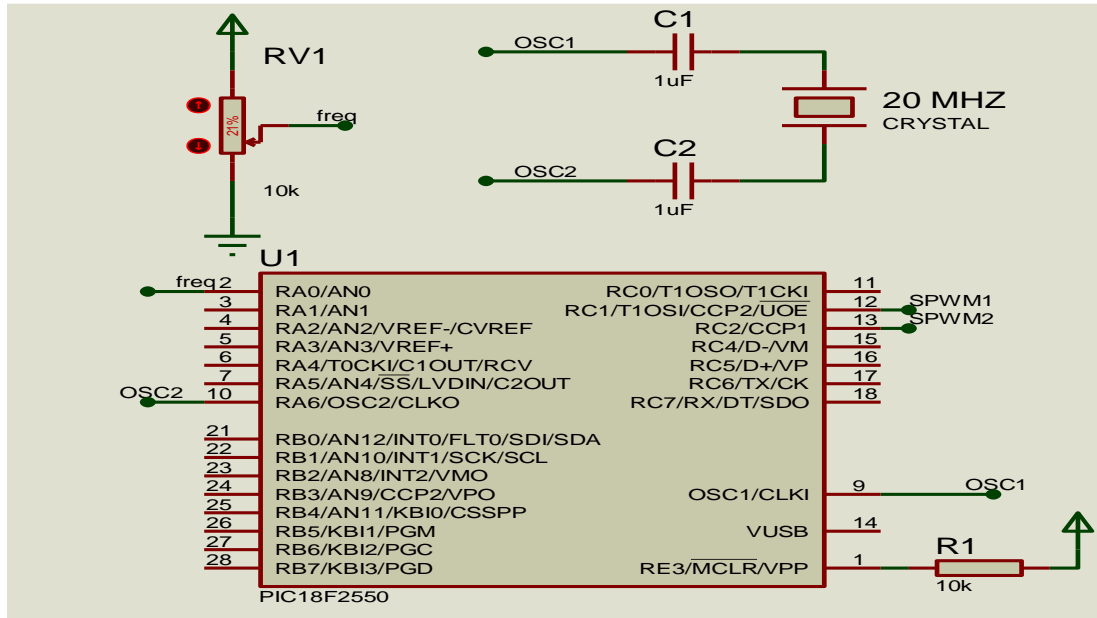


Figure III.6 Schéma du circuit de commande sous PROTEUS

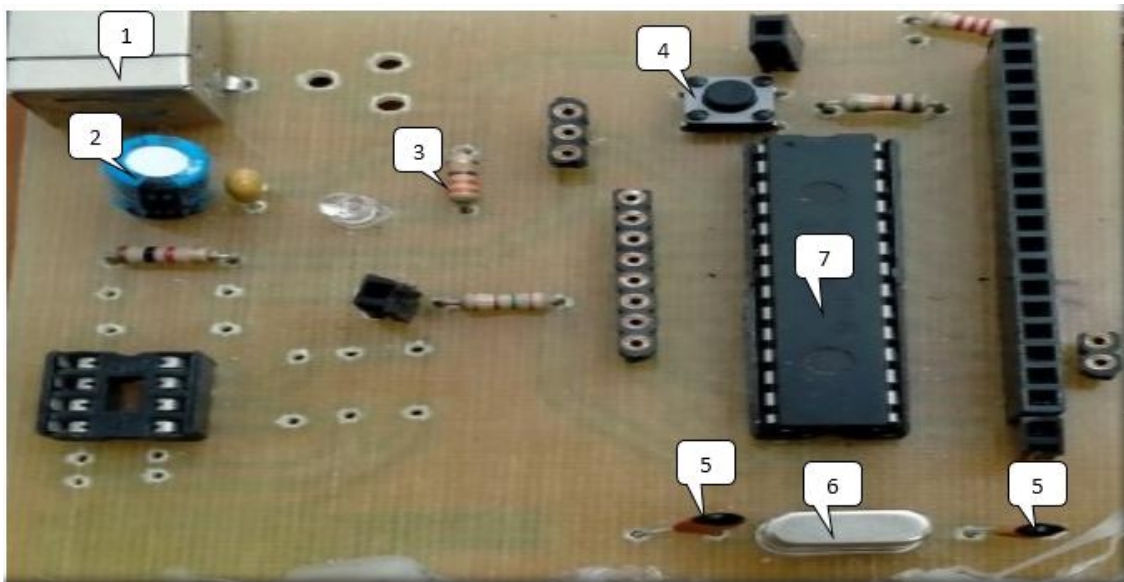


Figure III.7 La carte de command réalisée

Les composants de la carte de commande

- (1) Alimentation 5V DC
- (2) Capacité 47  $\mu$ F
- (3) Résistance



- (4) Bouton reset
- (5) Capacité céramique 10 nF
- (6) Oscillateur 20MHz
- (7) Le PIC 18F2550

➤ **La structure du microcontrôleur 18F2550 :**

Nous allons maintenant s'intéresser à la structure du PIC 18F2550, avec lequel nous avons travaillé.

Le 18F2550 est un microcontrôleur de MICROCHIP en boîtier DIL, possède 28 pattes et jusqu'à 24 entrées/sorties, il fait partie intégrante de la famille 18 des HIGH-END dont la mémoire programme est de type flash (f) et capable d'accepter une fréquence d'horloge jusque à 48 MHz.

Il possède un grand nombre de caractéristiques (la facilité d'utilisation et le prix du montage...etc.). Il alimente de 2 à 6 volts continu il est compatible avec le mode de programmation **MIKROC PRO FOR PIC [25]**.

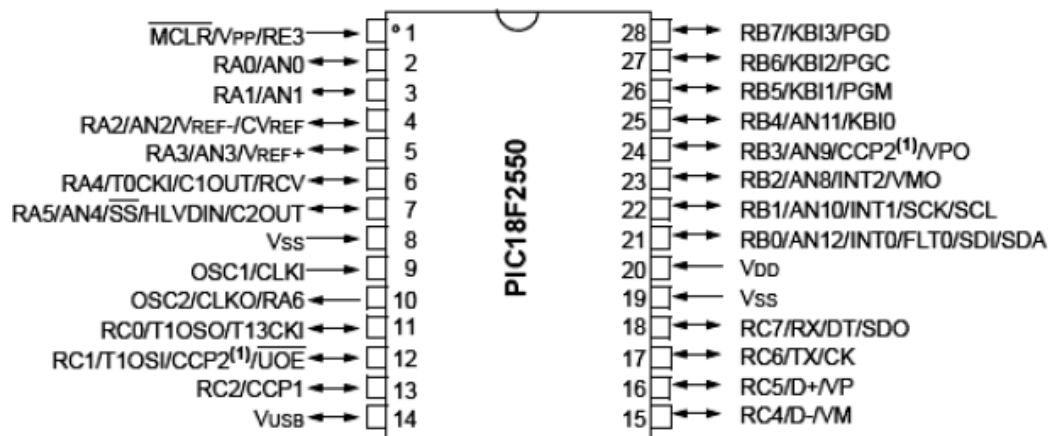


Figure III.8 La structure du microcontrôleur 18F2550

La PWM fait partie d'un bloc interne du PIC, le CCP ou capture/compare/PWM, deux formules permettent de calculer la durée de la période et la longueur d'impulsion.

$$\text{Période} = (\text{PR2}+1)*4 + \text{Tocs}*(\text{prédiviseur timer } 2)$$

$$\text{Largeur} = (10 \text{ bites}) * \text{Tocs}*(\text{prédiviseur timer } 2)$$

❖ **On peut distinguer sur ce schéma :**

L'alimentation : VDD (+5V) et Vss (0V)

Les bornes du quartz (oscillateur à quartz) : OSC1 et OSC2

L'entrée RESET (MCLR : Master CLeaR)

Les différents ports d'Entrées/Sorties : RAx, RBx, RCx

## ❖ Organisation du 18F2550

- ✓ Mémoire de programme (flash) 32 K octets
- ✓ EEPROM 2048 octets
- ✓ RAM 256 octets
- ✓ Communication série avec MSSP (SPI, 12c), USART
- ✓ Un convertisseur analogique numérique 10bits avec 13 canaux d'entrées
- ✓ 3 timers (timers0, timers1, timers2)
- ✓ Deux modules de génération d'impulsion à période réglable (PWM) 10bits résolution

## III.4.2 Le circuit de puissance

Nous avons utilisé pour notre onduleur le transistor IGBT (G40V60DF) qu'est capable de supporter une tension maximale de 600 V et un courant maximum de 40 A, Les IGBT sont contrôlables à la fermeture/ouverture par application d'une tension de 20V/0V entre l'émetteur et la gâchette. La figure (III.9) montre le circuit de puissance de l'onduleur réalisé.

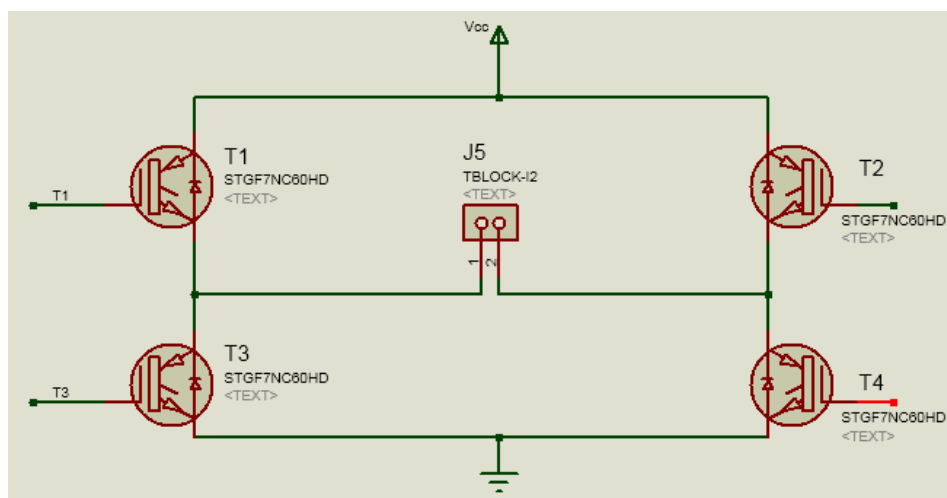


Figure III.9 Schéma de circuit de puissance sous PROTEUS

## ➤ Le transistor IGBT (G40V60DF)

Le transistor bipolaire à grille isolé IGBT est un dispositif semi-conducteur de la famille transistors qui est utilisé comme interrupteur électronique, principalement dans les montages de l'électronique de puissance.

Les IGBT sont des dispositifs mixtes dont la structure résulte d'un couplage entre celles d'un transistor à effet de champ (MOSFET) et d'un transistor bipolaire (BJT) profitant ainsi partiellement des avantages de chacun, respectivement faibles pertes en conduction et rapidité.

des défauts par la méthode de l'analyse de la réponse fréquentielle

L'IGBT est commandé par la tension (entre grille et émetteur) qui lui appliqué mais ses caractéristiques de conduction (entre l'émetteur et collecteur) [26].

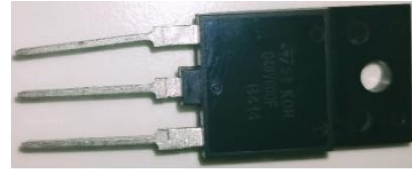
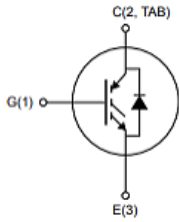


Figure III.10 Circuit intégré de l'IGBT40V60DF

Figure III.11 Image de l'IGBT40V60DF

III.4.3 Le circuit d'isolation

Le circuit d'isolation utilisé c'est pour assurer l'isolement galvanique entre le circuit de commande et celui de puissance. Ce circuit contient essentiellement d'un optocoupleur 4N25, ce dernier est un composant ou un ensemble de composants qui permet le transfert d'informations entre deux parties électroniques isolées l'une de l'autre d'un point de vue électrique. La première partie est un émetteur, et la seconde partie est un récepteur [27].

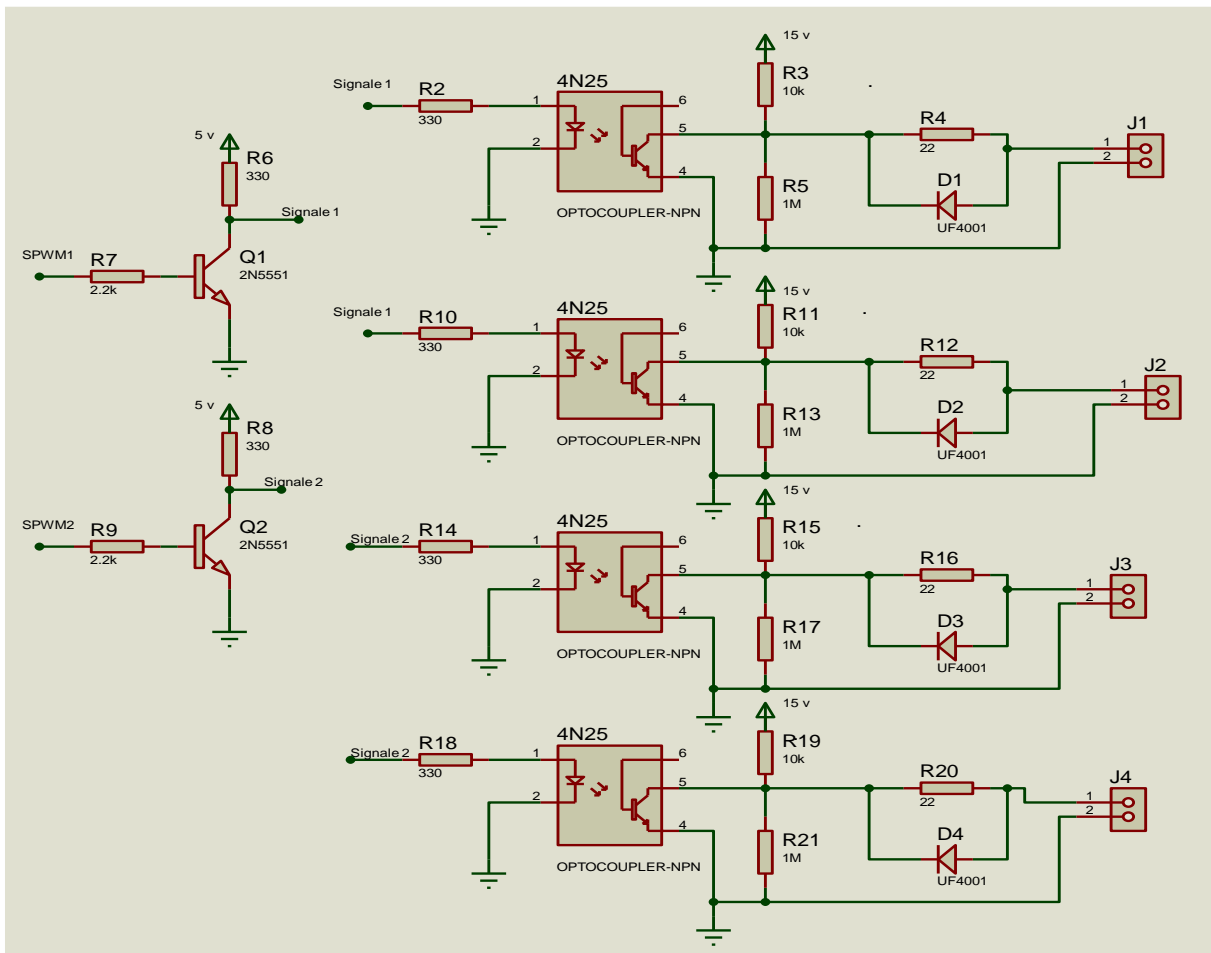


Figure III.12 Le circuit d'isolation sous PROTEUS



Figure III.13 Circuit intégré et l'image de l'optocoupleur 4N25

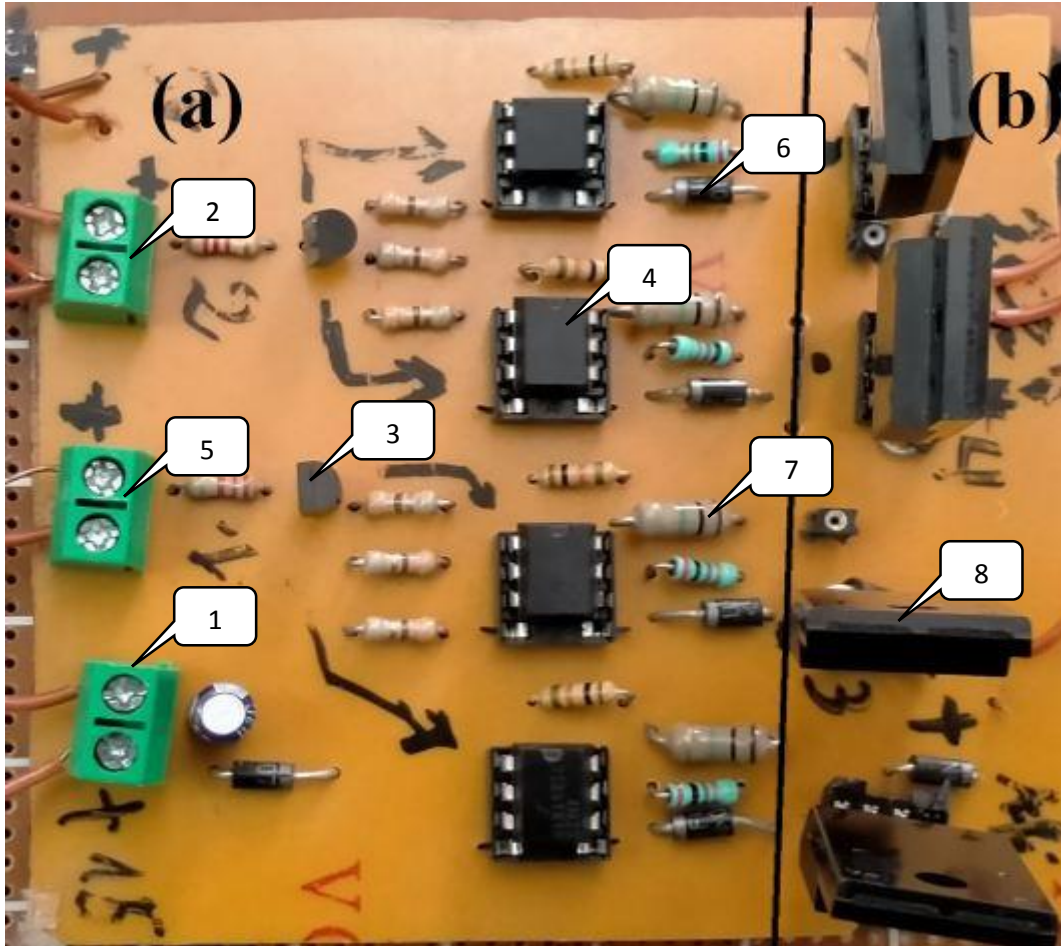


Figure III.14 (a): La carte de circuit d'isolation et (b): de puissance réalisée

- (1) : Alimentation 15 volts
- (2) et (5) : Alimentation de circuit de commande
- (3) : Transistor 2N5551
- (4) : Optocoupleur 4N25
- (6) : Diode 1N4007
- (7) : Résistance
- (8) : IGBT 40V60DF

La **figure III.15** représente l'onduleur monophasé réalisé après la collecte de ces différentes cartes (commande, isolation, puissance).

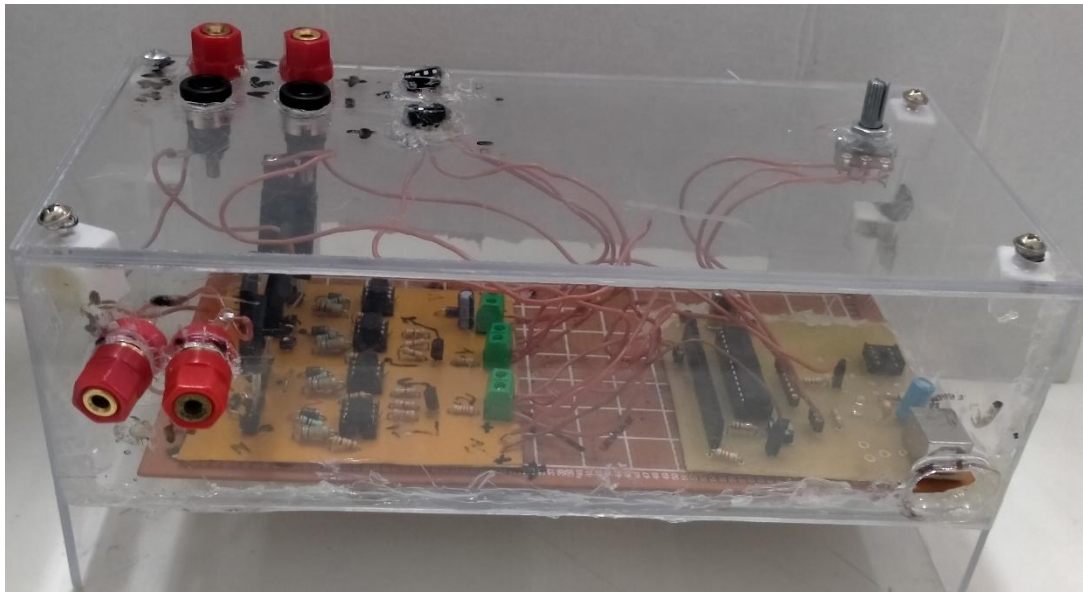


Figure III.15 La structure finale de l'onduleur réalisé

### III.5. Résultats expérimentaux

La figure III.16 représente le signal MLI utilisé pour l'amorçage des IGBT.

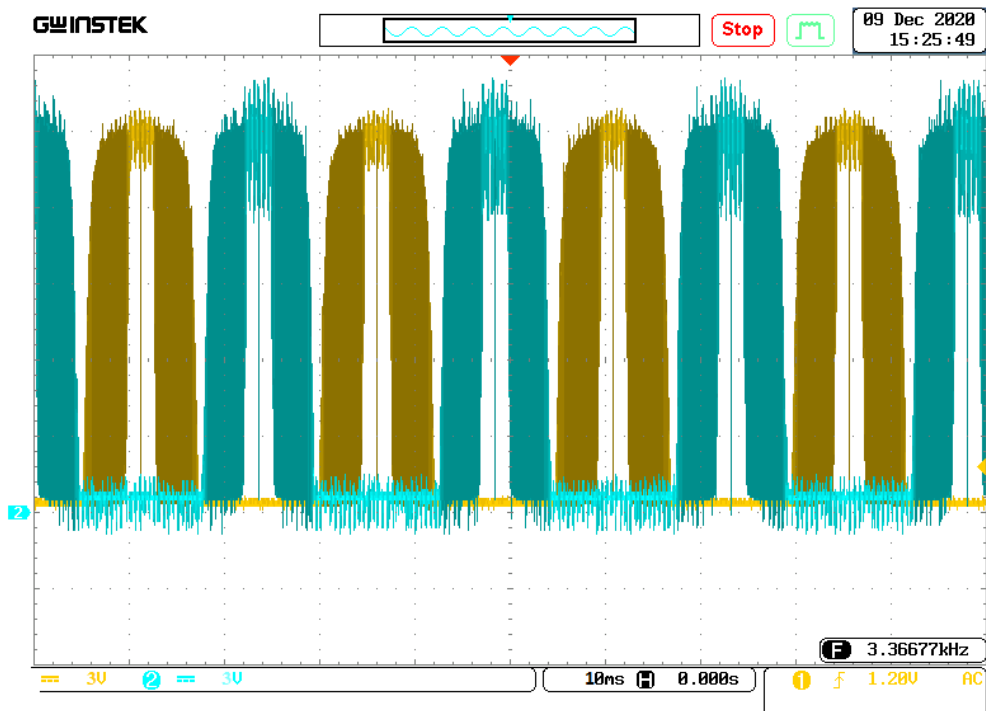


Figure III.16 Signal de la commande MLI

La figure III.17 représente le signal de tension en jaune et le signal de courant en bleu à la sortie de l'onduleur.

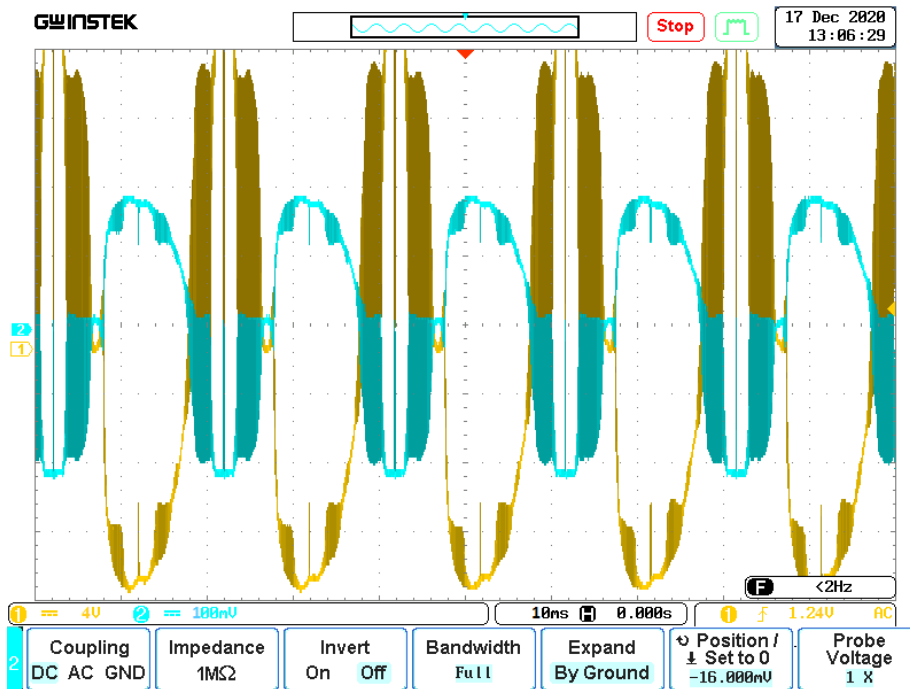


Figure III.17 L'allure de tension et courant à la sortie de l'onduleur

### ➤ Interprétation

On a obtenu un signal de tension alternatif de valeur 20V à la sortie de l'onduleur qui été représenté en jaune et un signal de courant alternatif qui été représenté en bleu dans la **figure III.17**.

### III.6. Etude du défaut de court-circuit et de circuit-ouvert avec la méthode FRA

Dans cette partie on a provoqué un défaut de court-circuit et un défaut de circuit ouvert au niveau des interrupteurs de l'onduleur réalisé, la **figure III.18** représente le schéma synoptique de l'onduleur réalisé.

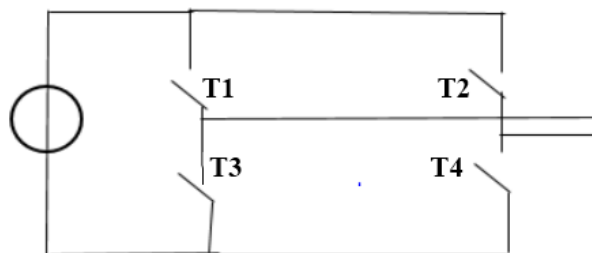


Figure III.18 Schéma synoptique de l'onduleur monophasé réalisé

Les défauts de court-circuit appliqués sont :

- Défaut de court-circuit de des éléments de l'anode commune T1 et T2 et T1+T2.
- Défaut de court-circuit des éléments de la cathode commune T3, T4 et T3+T4.

### Chapitre III Réalisation d'un onduleur de tension monophasé et diagnostic des défauts par la méthode de l'analyse de la réponse fréquentielle

- Défaut de court-circuit de T2 et T4 et le bras complet T2+T4.
- Défaut de court-circuit de T1 et T3 et le bras complet T1+T3.
- Défaut de court-circuit des éléments qui fonctionnent en même temps T1+T4 et T2+T3.

Nous allons refaire le défaut de circuit ouvert sur les mêmes composants.

À l'aide d'un LCR mètre nous avons visualisé l'empreinte de ces défauts sur un micro-ordinateur PC puis nous avons comparé les résultats obtenus avec l'état sain de l'onduleur.

Cette méthode appliquée et appelé l'analyse de la réponse fréquentielle (FRA), cette dernière repose sur la mesure d'un signal sur une large plage de fréquence (méthode de balayage en fréquence), la comparaison des signaux génère une réponse en fréquence unique qui peut être comparée aux données de référence, figure III.14 montre la méthode de l'analyse de la repense fréquentielle de notre onduleur.



Figure III.19 Le banc d'essai de teste FRA

(1) LCR mètre : LCR mètre (inductance (L), capacité (C) et résistance (R)) est un instrument de test électronique est conçue pour effectuer des mesures d'impédance de précision sur une large gamme de fréquences [28].

(2) Micro-ordinateur pc

(3) Onduleur de tension monophasé

#### III.6.1 Résultats expérimentaux

La **figure III.21** et **figure III.22** représente respectivement la courbe d'impédance en fonction de fréquence et la courbe de la phase obtenue de l'onduleur monophasé en état de fonctionnement normal (état Sain).

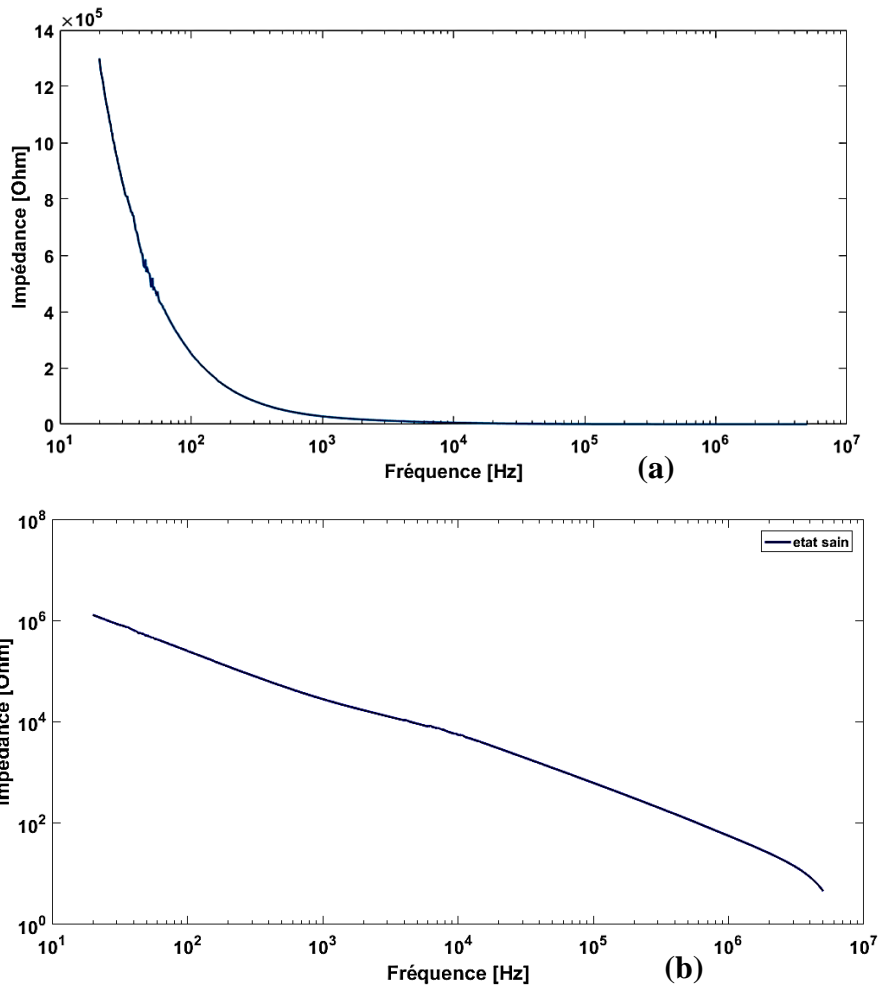


Figure III.20 la courbe de l'état sain de l'onduleur (a) : Z (linéaire), (b) : Z (logarithme)

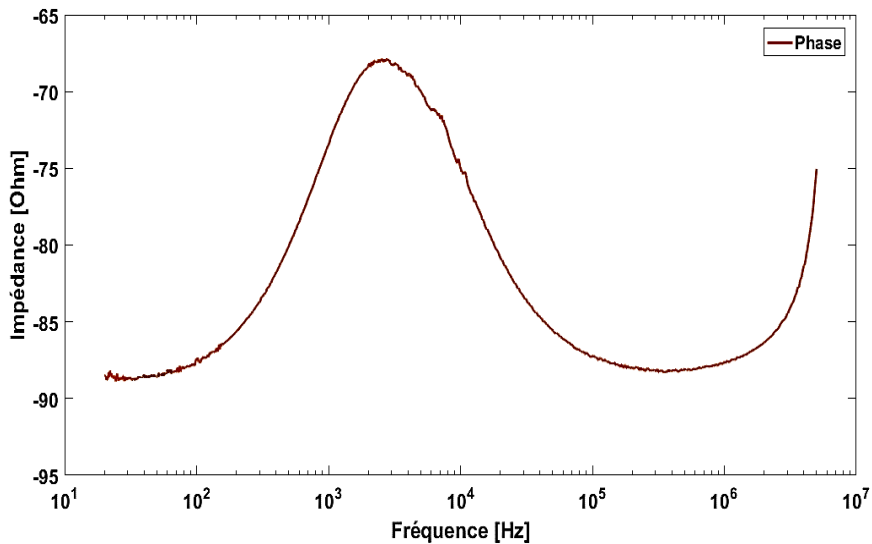


Figure III.21 la courbe de la phase de l'état sain de l'onduleur

De résultat obtenu de l'état sain de notre onduleur, on remarque que d'après l'allure de ce dernier, l'onduleur prend trois circuits équivalents à chaque niveau de fréquence. Nous allons proposer un modèle à haute fréquence qui est représenté sur la figure III.22.



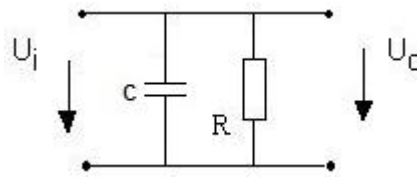


Figure III.22 Schéma équivalent à haute fréquence de l'onduleur monophasé

L'équation (3.1) représente l'équation caractéristique du modèle équivalent à haute fréquence

de notre onduleur :

$$zeq(w) = \frac{R}{(Rcw)^2+1} - j \frac{R^2 cw}{(Rcw)^2+1} \quad (3.1)$$

D'après l'équation (3.1) et les allures de l'état sain, on remarque que :

- L'onduleur se comporte comme une capacité à haute fréquence, sa fonction est :  $Z_c = \frac{1}{jcw}$
- L'onduleur se comporte comme une résistance à basse fréquence, sa fonction est :  $Z_R = R$
- L'onduleur se comporte comme une impédance (résistance en parallèle avec une capacité) à moyenne fréquence.

### III.6.1.1 Défaut court-circuit

Dans cette partie nous avons provoqués plusieurs court-circuits au niveau des IGBT de notre onduleur afin d'étudier le comportement de ce dernier lors de défaut de court-circuit.

La **figure III.23** représente la réponse fréquentielle des courts circuits des (IGBT) T1 et T2 et de l'anode commune T1+T2 ainsi que l'état sain.

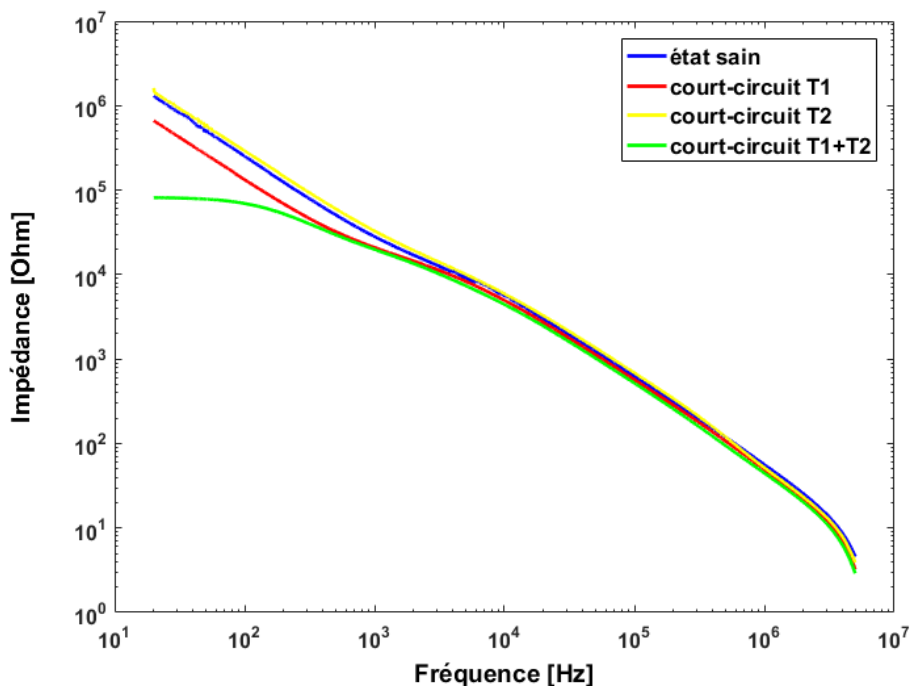


Figure III.23 Comparaison entre l'état sain et le court-circuit des (IGBT) T1, T2 et T1+T2

## des défauts par la méthode de l'analyse de la réponse fréquentielle

La **figure III.24** représente la réponse fréquentielle des courts circuits des IGBT T3, T4 et de la cathode commune T3+T4 ainsi que l'état sain.

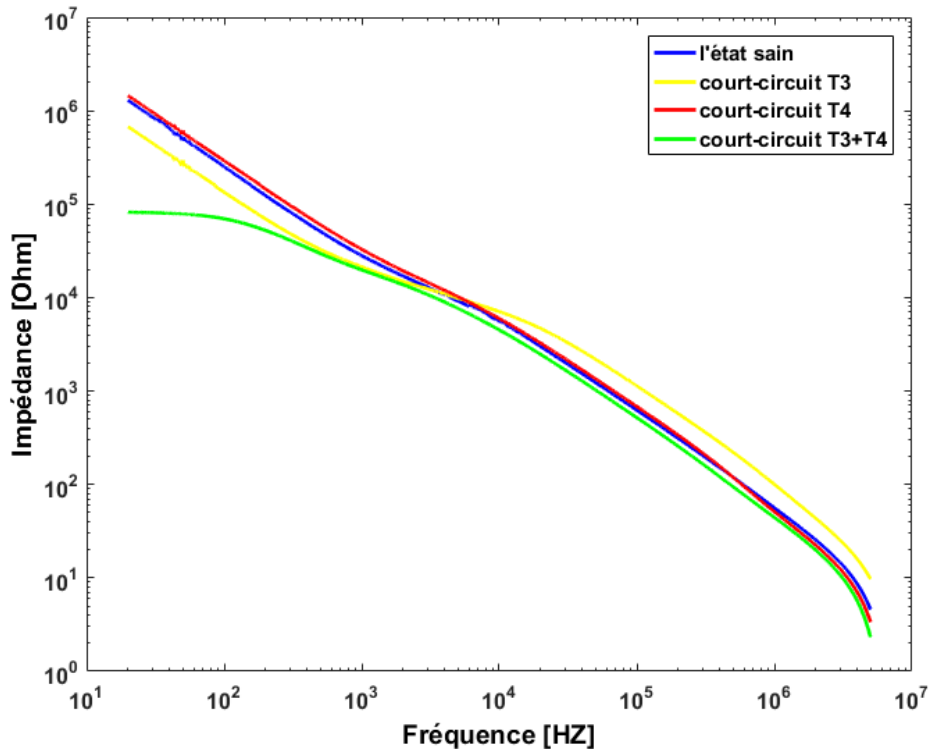


Figure III.24 Comparaison entre l'état sain et le court-circuit des (IGBT) T3 et T4 et T3+T4

La **figure III.25** représente la réponse fréquentielle des courts circuits des (IGBT) T2 et T4 et de bras complet T2+T4 ainsi que l'état sain

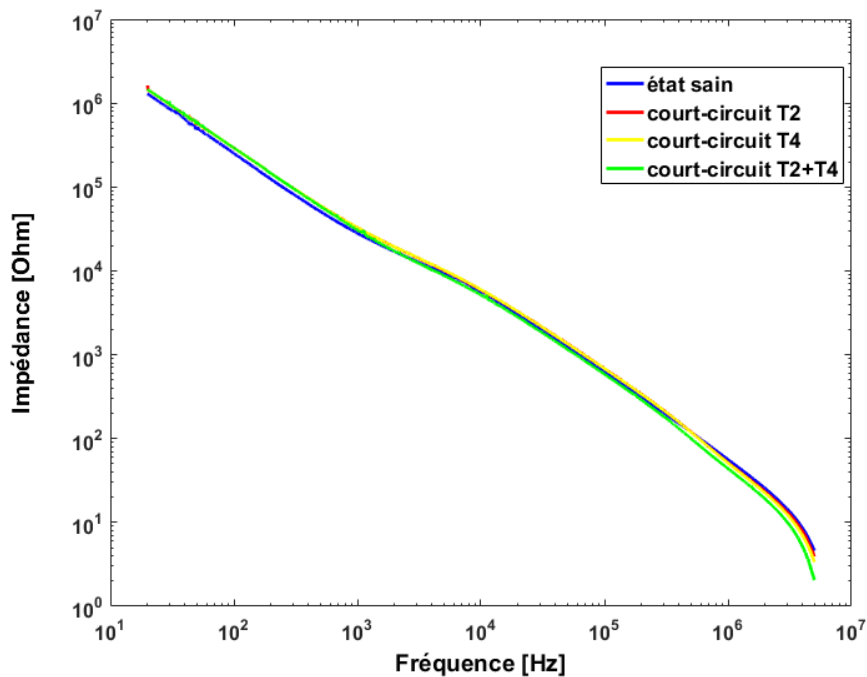


Figure III.25 Comparaison entre l'état sain et le court-circuit des (IGBT) T2 et T4 et T2+T4

des défauts par la méthode de l'analyse de la réponse fréquentielle

La **figure III.26** représente la réponse fréquentielle des courts circuits des (IGBT) T1 et T3 et de bras complet T1+T3 ainsi que l'état sain.

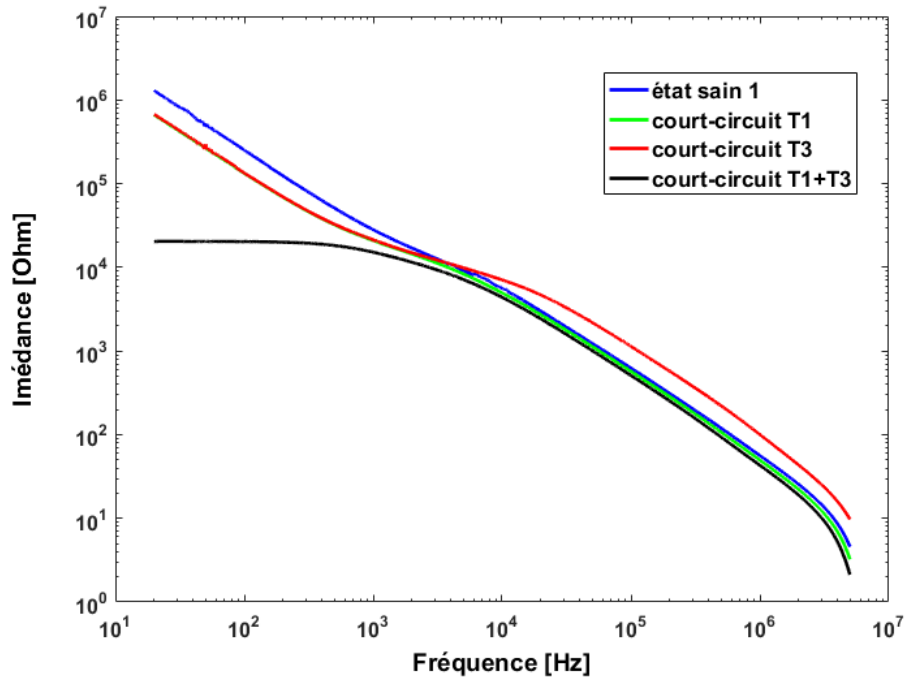


Figure III.26 Compare entre l'état sain et le court-circuit des (IGBT) T1 et T3 et T1+T3

La **figure III.27** représente la réponse fréquentielle des courts circuits des (IGBT) T1+T4 et T2+T3 ainsi que l'état sain.

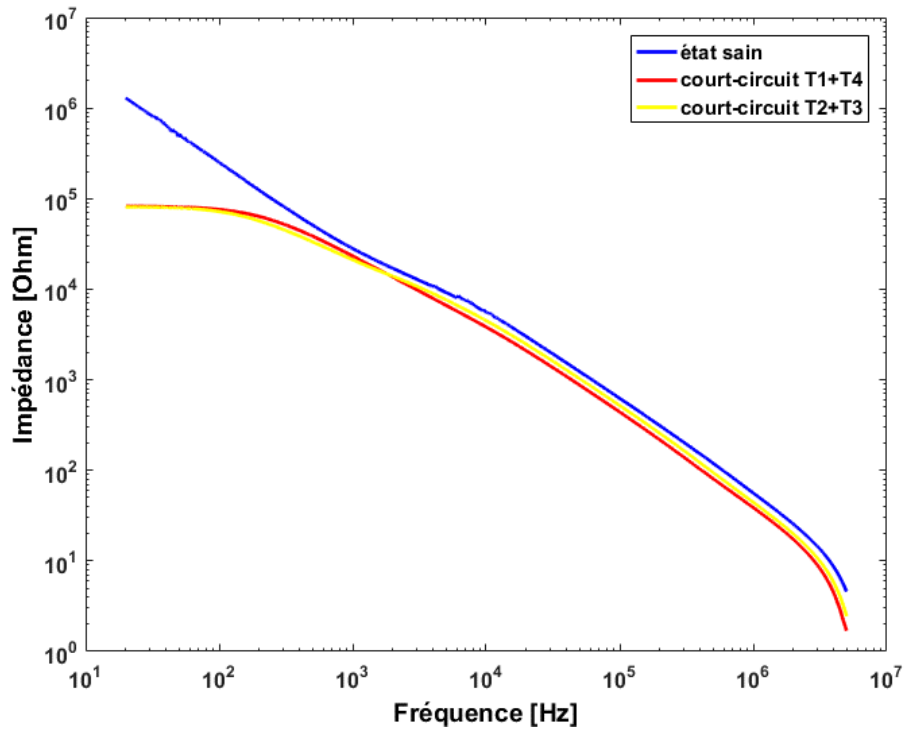


Figure III.27 Compare entre l'état sain et le court-circuit des (IGBT) T1+T4 et T2+T3

**III.6.1.1.1. Interprétation de résultats expérimentaux de défaut court-circuit**

Dans cette partie nous avons étudié toutes les possibilités de défaut de court-circuit qui peuvent se produire dans les interrupteurs constituant l'onduleur. Ce défaut se produit lorsque l'un des composants d'une cellule de commutation reste constamment fermé.

Comme nous l'avons vu sur les figures au-dessus, après l'application de défaut court-circuit sur les IGBT (T1, T2, T3, T4, T1+T2, T2+T4, T3+T4, T1+T3, T1+T4, T2+T3), nous constatons que ce type de défaut provoque un changement au niveau du circuit équivalent à haute fréquence de l'onduleur. Ce qui explique la différence entre la réponse en fréquence des composants défectueux ou bien court circuité et l'état de fonctionnement normal de l'onduleur, où l'amplitude des courbes ont diminuées par rapport à celle de cas sain de l'onduleur, et pour chaque fréquence on a un nouveau schéma équivalent différent des schéma de l'état sain en amplitude. La conséquence principale de la mise en court-circuit d'un semi-conducteur (IGBT) sur le fonctionnement de l'onduleur est l'apparition de deux chemins de circulation incontrôlable du courant, en effet le courant de la source ne peut plus être contrôlé car il augmente à des niveaux intolérables. Les courants de phases A et B deviennent fortement déséquilibrés. Ce qui nous permet de dire que ce type de défaillance est extrêmement préjudiciable aux onduleurs et nécessiterait la mise en œuvre de la protection permettant de déconnecter le bras dès l'apparition de cette défaillance.

**III.6.1.2. Défaut circuit-ouvert**

Dans cette partie nous avons provoqués un défaut circuit-ouvert au niveau des IGBT de notre onduleur afin d'étudier le comportement de ce dernier lors de ce défaut d'un circuit-ouvert.

La **figure III.28** représente la réponse fréquentielle des circuit-ouvert des IGBT T1, T2 et de l'anode commune T1+T2 ainsi que l'état sain.

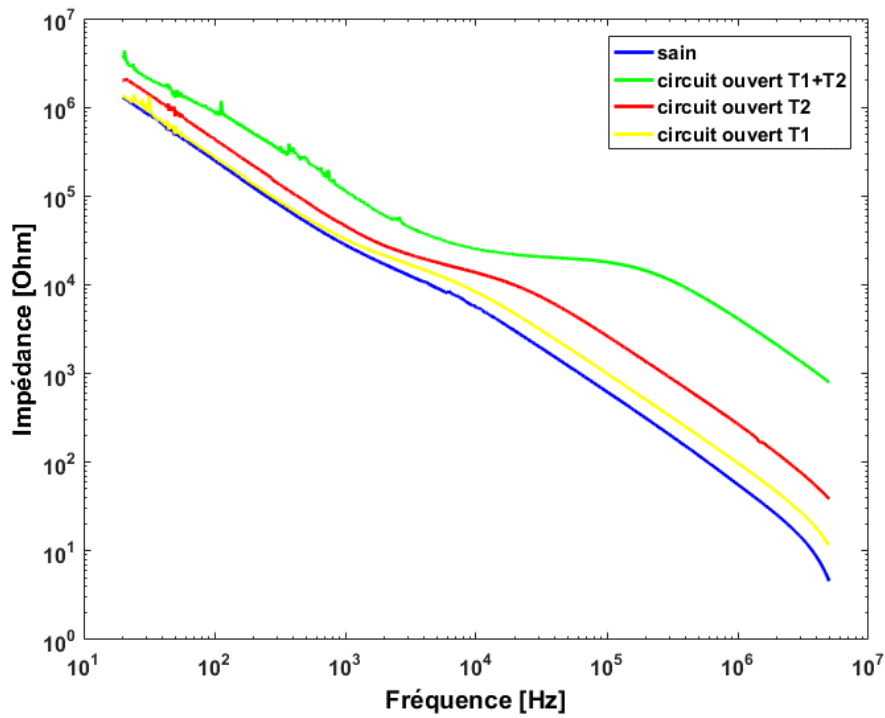


Figure III.28 Compare l'état sain et les circuit-ouvert des (IGBT) T1, T2 et T1+T2

La **figure III.29** représente la réponse fréquentielle des courts circuits des (IGBT) T3, T4 et de la cathode commune T3+T4 ainsi que l'état sain

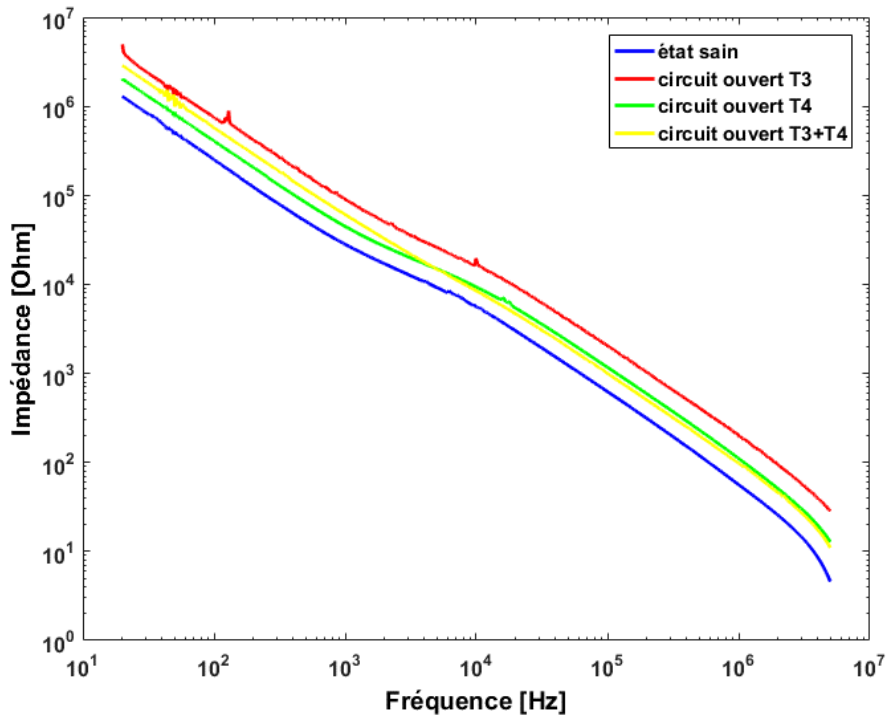


Figure III.29 Compare l'état sain et les circuit-ouvert des (IGBT) T3, T4 et T3+T4

La **figure III.30** représente la réponse fréquentielle des courts circuits des IGBT T2, T4 et de bras complet T2+T4 ainsi que l'état sain.

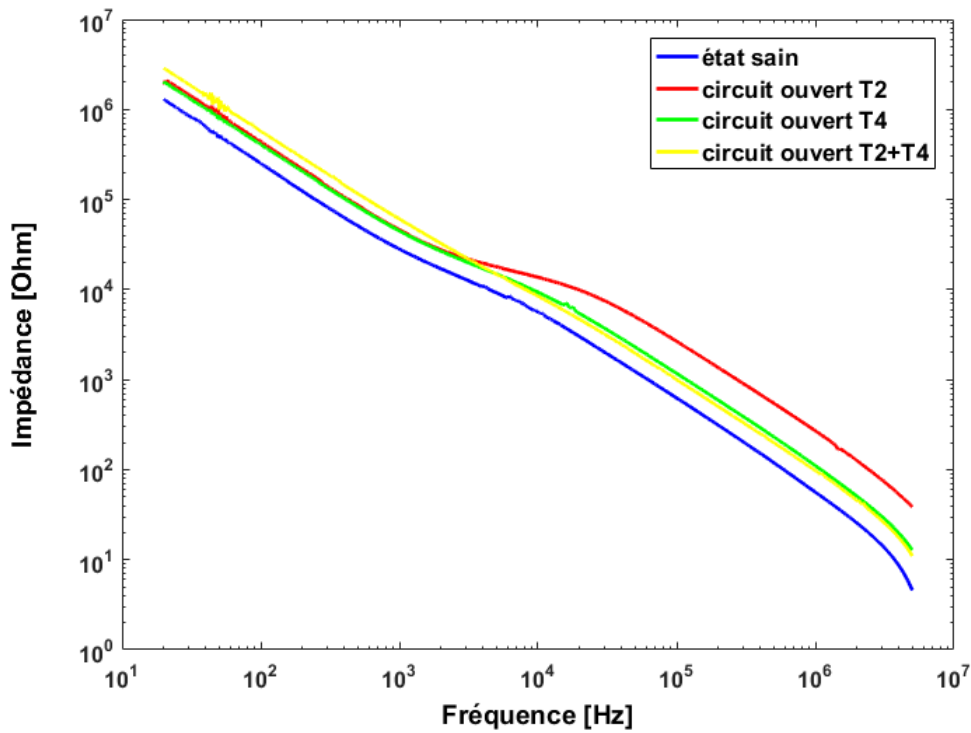


Figure III.30 Compare l'état sain et le circuit-ouvert des (IGBT) T2, T4 et T2+T4

La **figure III.31** représente la réponse fréquentielle des courts circuits des (IGBT) T1, T3 et de bras complet T1+T3 ainsi que l'état sain.

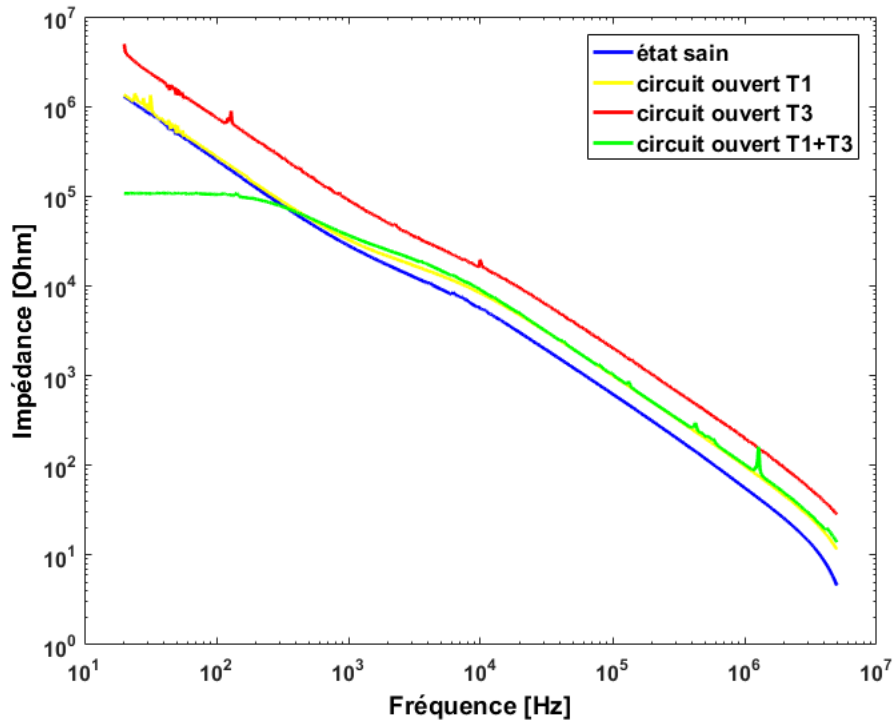


Figure III.31 Compare l'état sain et le circuit-ouvert des IGBT T1, T3 et T1+T3

## des défauts par la méthode de l'analyse de la réponse fréquentielle

La **figure III.32** représente la réponse fréquentielle des courts circuits des (IGBT) T1+T4 et de T2+T3 ainsi que l'état sain.

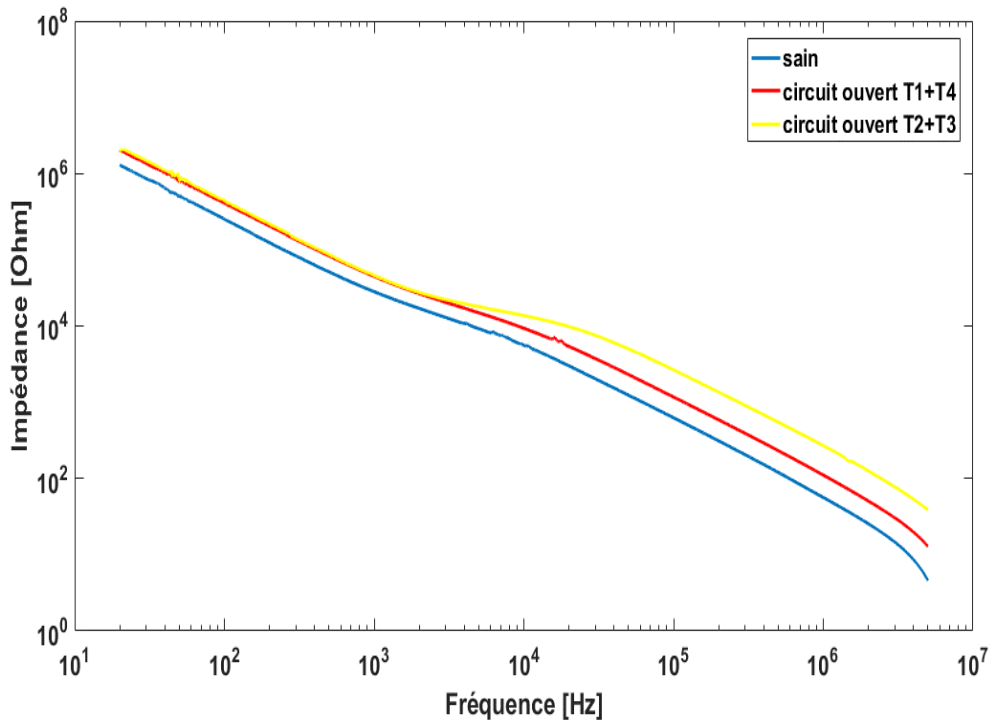


Figure III.32 Compare l'état sain et les circuits-ouverts des IGBT T1+T4 et T2+T3

### III.6.1.2.2. Interprétation de résultats expérimentaux de défaut circuit-ouvert

Dans cette partie on a produit un défaut de circuit-ouvert et nous avons pris toutes les possibilités probables de ce défaut qui peuvent être exposé au niveau des interrupteurs constituant l'onduleur. Ce type de défaut se produit lorsque l'un des interrupteur de ce dernier reste constamment bloqué en ouverture.

Après l'application de défaut de circuit-ouvert sur les interrupteurs (T1, T2, T3, T4, T1+T2, T2+T4, T3+T4, T1+T3, T1+T4, T2+T3), nous constatons que ce type de défaut provoque une présence d'harmonique au niveau des semi-conducteurs (IGBT) mise en circuit-ouvert, et l'amplitude des courbes ont augmentées par rapport à celle de l'état sain. Ce qui explique le changement de la signature de la réponse en fréquence des composants défectueux et celle de l'état de fonctionnement normal, comme nous l'avons vu sur les figures au-dessus. La conséquence principale de la mise en circuit-ouvert d'un semi-conducteur (IGBT) sur le fonctionnement de l'onduleur c'est que l'interrupteur ne reçoit pas les commande de fermeture. Ce cas n'as pas la même conséquence qu'un interrupteur en court-circuit, il présente l'avantage de ne pas court-circuiter la diode contenue dans les semi-conducteurs (IGBT), donc il n'empêche pas complètement le fonctionnement de l'onduleur.

### **Chapitre III**                      **Réalisation d'un onduleur de tension monophasé et diagnostic des défauts par la méthode de l'analyse de la réponse fréquentielle**

Mais la conséquence c'est que l'IGBT mise en circuit-ouvert se trouve en surtension et qu'un arrêt du convertisseur est obligatoire pour éviter une propagation du défaut.

#### **III.7. Conclusion**

Nous avons commencé ce chapitre par la présentation des différents organes qui constituent notre banc d'essai réalisé, nous avons commencé par l'étude de la simulation de l'onduleur puis nous avons expliqué les étapes suivies pour la réalisation de ce dernier et les différents composants qu'on a utilisé dans les cartes. Puis nous avons assemblé les différentes parties du système (commande, de puissance et d'isolation), est les misent dans un boitier en plexiglas transparent.

Ensuite nous avons appliqué le défaut de court-circuit et circuit-ouvert sur les défèrent interrupteur constituant notre onduleur, dans l'objectif d'étudier l'impact de la présence de ces défaut sur les performances du convertisseur statique (onduleur). Nous avons adopté la technique de l'analyse de la réponse fréquentielle (FRA) pour la détection et le diagnostic de ses défauts.



## Conclusion générale

Dans le cadre de la préparation du diplôme de master en électromécanique, ce travail vise à présenter une étude théorique, simulation et réalisation pratique de l'onduleur monophasée dédiée pour le diagnostic de défaut par la technique de l'analyse de la réponse fréquentielle (mise en place d'un banc d'essais expérimental) au niveau du laboratoire du département de génie électrique au pôle universitaire de Bouira.

Le mémoire est organisé en trois chapitres, en plus d'une introduction. Dans le premier chapitre, nous avons présenté des notions générales sur les onduleurs, leurs stratégies de commande et les applications courantes.

Le deuxième chapitre a été consacré à la présentation des défauts qui peut être exposé aux onduleurs ainsi leurs méthodes de diagnostic.

Le troisième chapitre est le fruit de cette étude qui traite le procédé de réalisation d'un onduleur monophasé, ainsi que l'application de la méthode de l'analyse de la réponse fréquentielle (FRA) sur ce dernier dans le but de diagnostiquer le défaut d'un court-circuit et le défaut d'un circuit-ouvert.

Nous avons constaté que :

- La FRA est un très bon outil de diagnostic des défauts des systèmes électrique à cause de sa simplicité de la mise en œuvre et sa rapidité ainsi que sureté de ses résultats, et efficacité de son exploitation.
- La FRA est une technique utilisé hors de fonctionnement des systèmes (off-line).
- La technique FRA est très sensible au bruit.

Comme perspectives nous proposons que les futures travaux s'améliore pour élargir la possibilité d'implémentation pratique de la méthode de l'analyse de la réponse fréquentielle (FRA) dans l'objectif d'améliorer l'avantage de la détection des défauts aux niveaux des autres systèmes électrique.

Ce travail a mis en évidence l'importance de la réalisation pratique, il est vrai que les systèmes de simulation nous ont aidé pour savoir ou en va dans l'expérience, mais la réalisation nous a appris plus de connaissances et de techniques qu'on aurait jamais eu avec la simulation.

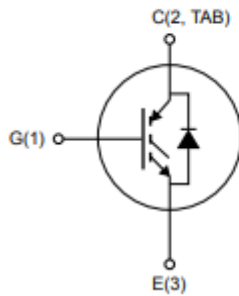
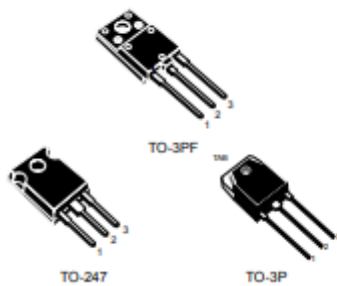
- [1] Mecheri Salah-Eddin « Réalisation d'un onduleur de tension monophasé contrôler par une carte arduino » Thème de Magister, Université de Constantine, Algérie, 2014.
- [2] C. Cabal, « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque » Thèse de Doctorat, Université Toulouse III- Paul Sabatier, Toulouse, France, 2008.
- [3] A. Saad, H. Laterchi, « réalisation d'un onduleur monophasé et l'optimisation de sa commande MLI » mémoire de fin d'études pour obtention du diplôme d'ingénieur d'état, Université de M'sila, Algérie, 2009.
- [4] N. E. Moussouni, S. Ouadfel «Etude et réalisation d'un onduleur de tension monophasé» Mémoire de Master, Université d'Abderrahmane Mira, Béjaia, Algérie, 2017.
- [5] G. Segulier and F. Labrique « Les Convertisseurs de l'Electronique de Puissance » Tome 4 : La Conversion Continu-Alternatif, Edition Lavoisier, Technologie et Documentation, 1989.
- [6] A.Boukharoba « Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche bond graphe » Thèse de Magister, Université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie, 2009.
- [7] AHMADI Ismail, « étude et simulation d'un système de pompage d'eau couplé à un générateur photovoltaïque », Mémoire de Master en génie électrique, université Larbi Ben M'hidi, Oum Elbouaghi, Algérie, 2013.
- [8] R. Maamouri «Diagnostic et Commande Tolérante aux Défauts Appliqués à un Système de Conversion Électromécanique à base d'une machine asynchrone triphasée » Thèse de Doctorat, université de Sousse, Tunisie, 2017.
- [9] T. Wildi, Electrotechnique, 3eme édition, éditions de Boeck université (1999).
- [10] S. Guy B. Robert, Labrique Francis, Les convertisseurs de l'électronique de puissance la conversion alternatif, Edition tec&doc, v 4, 1995.
- [11] Commande numérique, régimes intermédiaires et transitoires, Techniques d'ingénieur, traité de génie électrique D.3643-3
- [12] C. Canudas de Wit, Modélisation, Contrôle vectoriel et DTC. Commande des moteurs Asynchrones, Editions Hermès
- [13] Brrade Philippe, livre d'électronique de puissance : Méthodologie et convertisseurs élémentaire, Editions 2006
- [14] Wissem. SAIGHI, «Estimation d' diagnostic de fonctionnement des systèmes linéaires», Mémoire de Master, université Larbi Ben M'hidi-Oum-ElBouaghi, 2012/2013.
- [15] O. Ondel, Diagnostic par Reconnaissances des Formes : Application à un Ensemble Convertisseur – Machines Asynchrones, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lyon, Ecole Doctorale Electronique, Electrotechnique, Automatique de Lyon, France, 2006

## Liste de Référence

- [16] M. A. Shamsi Nejab « Architectures d'Alimentation et de Commande D'Actionneurs Tolérants aux Défauts - Régulateur de Courant Non Linéaire à Large Bande Passante » Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 2007.
- [17] N. Retiere, Etude des défauts dans les associations onduleur-machine asynchrone. Exemple d'une chaîne de réaction, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 1997.
- [18] Wafia. Chine « contribution au diagnostic des défauts dans les systèmes photovoltaïque » thèse doctorat, université Med Seddik Ben Yahia-Jijel, Algérie,
- [19] M. Nabil M. Larbi « Détection et localisation d'un défaut dans un onduleur à deux niveaux destiné à une application photovoltaïque » Master II en Electromécanique, Université Akli Mohand Oulhadj, Bouira, Algérie, 2019.
- [20] K. Merai «Estimation d'Etat et Diagnostic de Fonctionnement des Système non Linéaires» Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar, Algérie, 2010.
- [21] AMRANI Mohemed, «Surveillance et diagnostic d'une ligne de production par les réseaux de neurones artificiels», mémoire de magister, université M'Hamed Bougara Boumerdes, Algérie, 2010.
- [22] ElHadi Rebba, «Génération automatique et optimisation des systèmes a inférence floue » Thèses doctorat, université paris XII, France,2003.
- [23] Mohand Arab DJEZIRI, « Diagnostic des Systèmes Incertains par l'Approche Bond Graph», thèse doctorat, Ecole Centrale de Lille, France, 2007.
- [24] Irwin ISSURY, «Contribution au développement d'une stratégie de diagnostic global en fonction des diagnostiqueurs locaux- Application à une mission spatiale», thèse doctorat, université Bordeaux France, 2011.
- [25] Cheddad Mohammed Amine, Mazouzi Omar, Commande de deux moteurs pas à pas et moteur à courant continu via le port parallèle avec Delphi, Master en Electronique, Université Abou bekr Belkaid Tlemcen, 2012/2013
- [26] Mme SOLTANI Fatma, application des semi-conducteur moderne (GTO, MOSFET, IGBT) dans les hacheurs fonctionnant a des fréquences élevées, Doctorat d'Etat en électrotechnique, Université Badji Mokhtar, 2008
- [27] Mr Ben Aouicha Mounir, Mr Guerrou Youcef, Réalisation d'un onduleur de tension commandé par la carte Dspace 1104, master II en électrotechnique, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2014/2015

[28] USER MANUAL, "Precision LCR Meter LCR-8000G Series" GW INSTRUMENT PART NO. 82CR-81010MI1, ISO-9001: <https://azdoc.site/precision-lcr-meter-lcr-8000g-series-usermanual-gw-instek-p.html>

## Trench gate field-stop IGBT G40V60, V series 600 V, 40 A very high speed

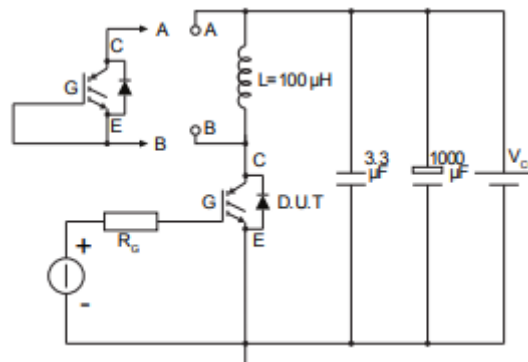


## Features

- Maximum junction temperature:  $T_J = 175\text{ }^\circ\text{C}$
- Tail-less switching off
- $V_{CE(sat)} = 1.8\text{ V (typ.) @ } I_C = 40\text{ A}$
- Tight parameters distribution
- Safe paralleling
- Low thermal resistance
- Very fast soft recovery antiparallel diode

## Applications

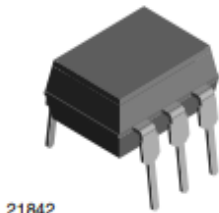
- Welding
- Power factor correction
- UPS
- Solar inverters
- Chargers



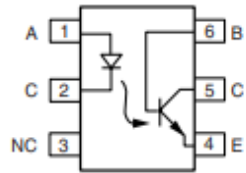
Test circuit for inductive load switching

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time	$V_{CE} = 400\text{ V, } I_C = 40\text{ A,}$ $R_G = 10\ \Omega, V_{GE} = 15\text{ V}$ (see Figure 33. Test circuit for inductive load switching)	-	52	-	ns
$t_r$	Current rise time		-	17	-	ns
$(di/dt)_{on}$	Turn-on current slope		-	1850	-	A/ $\mu\text{s}$
$t_{d(off)}$	Turn-off delay time		-	208	-	ns
$t_f$	Current fall time		-	20	-	ns
$E_{on}^{(1)}$	Turn-on switching energy		-	456	-	$\mu\text{J}$
$E_{off}^{(2)}$	Turn-off switching energy		-	411	-	$\mu\text{J}$
$E_{Ts}$	Total switching energy	-	867	-	$\mu\text{J}$	
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time	$V_{CE} = 400\text{ V, } I_C = 40\text{ A,}$ $R_G = 10\ \Omega, V_{GE} = 15\text{ V, } T_J = 175\text{ }^\circ\text{C}$ (see Figure 33. Test circuit for inductive load switching)	-	52	-	ns
$t_r$	Current rise time		-	21	-	ns
$(di/dt)_{on}$	Turn-on current slope		-	1538	-	A/ $\mu\text{s}$
$t_{d(off)}$	Turn-off-delay time		-	220	-	ns
$t_f$	Current fall time		-	21	-	ns
$E_{on}^{(1)}$	Turn-on switching energy		-	1330	-	$\mu\text{J}$
$E_{off}^{(2)}$	Turn-off switching energy		-	560	-	$\mu\text{J}$
$E_{Ts}$	Total switching energy	-	1890	-	$\mu\text{J}$	

# Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



1179004-5

## DESCRIPTION

The 4N25 family is an industry standard single channel phototransistor coupler. This family includes the 4N25, 4N26, 4N27, 4N28. Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

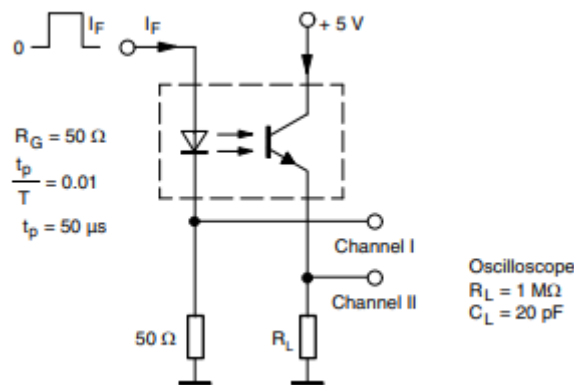
## FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V<sub>RMS</sub>
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC

RoHS  
COMPLIANT

## APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection



Test Circuit, Non-Saturated Opération

ELECTRICAL CHARACTERISTICS <sup>(1)</sup>							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>INPUT</b>							
Forward voltage <sup>(2)</sup>	$I_F = 50 \text{ mA}$		$V_F$		1.3	1.5	V
Reverse current <sup>(2)</sup>	$V_R = 3 \text{ V}$		$I_R$		0.1	100	$\mu\text{A}$
Capacitance	$V_R = 0 \text{ V}$		$C_O$		25		pF
<b>OUTPUT</b>							
Collector base breakdown voltage <sup>(2)</sup>	$I_C = 100 \mu\text{A}$		$BV_{CBO}$	70			V
Collector emitter breakdown voltage <sup>(2)</sup>	$I_C = 1 \text{ mA}$		$BV_{CEO}$	30			V
Emitter collector breakdown voltage <sup>(2)</sup>	$I_E = 100 \mu\text{A}$		$BV_{ECO}$	7			V
$I_{CEO}(\text{dark})$ <sup>(2)</sup>	$V_{CE} = 10 \text{ V}$ , (base open)	4N25			5	50	nA
		4N26			5	50	nA
		4N27			5	50	nA
		4N28			10	100	nA
$I_{CBO}(\text{dark})$ <sup>(2)</sup>	$V_{CB} = 10 \text{ V}$ , (emitter open)				2	20	nA
Collector emitter capacitance	$V_{CE} = 0$		$C_{CE}$		6		pF
<b>COUPLER</b>							
Isolation test voltage <sup>(2)</sup>	Peak, 60 Hz		$V_{IO}$	5000			V
Saturation voltage, collector emitter	$I_{CE} = 2 \text{ mA}$ , $I_F = 50 \text{ mA}$		$V_{CE(\text{sat})}$			0.5	V
Resistance, input output <sup>(2)</sup>	$V_{IO} = 500 \text{ V}$		$R_{IO}$	100			$\text{G}\Omega$
Capacitance, input output	$f = 1 \text{ MHz}$		$C_{IO}$		0.6		pF

## PIC18F2455/2550/4455/4550

### Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant SIE
- Low-speed (1.5 Mb/s) and full-speed (12 Mb/s)
- Supports control, interrupt, isochronous and bulk transfers
- Supports up to 32 endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte dual access RAM for USB
- On-board USB transceiver with on-chip voltage regulator
- Interface for off-chip USB transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

### Power Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8  $\mu$ A typical
- Sleep current down to 0.1  $\mu$ A typical
- Timer1 oscillator: 1.1  $\mu$ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1  $\mu$ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

### Flexible Oscillator Structure:

- Five Crystal modes, including High-Precision PLL for USB
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
  - 8 user selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
  - User tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor
  - Allows for safe shutdown if any clock stops

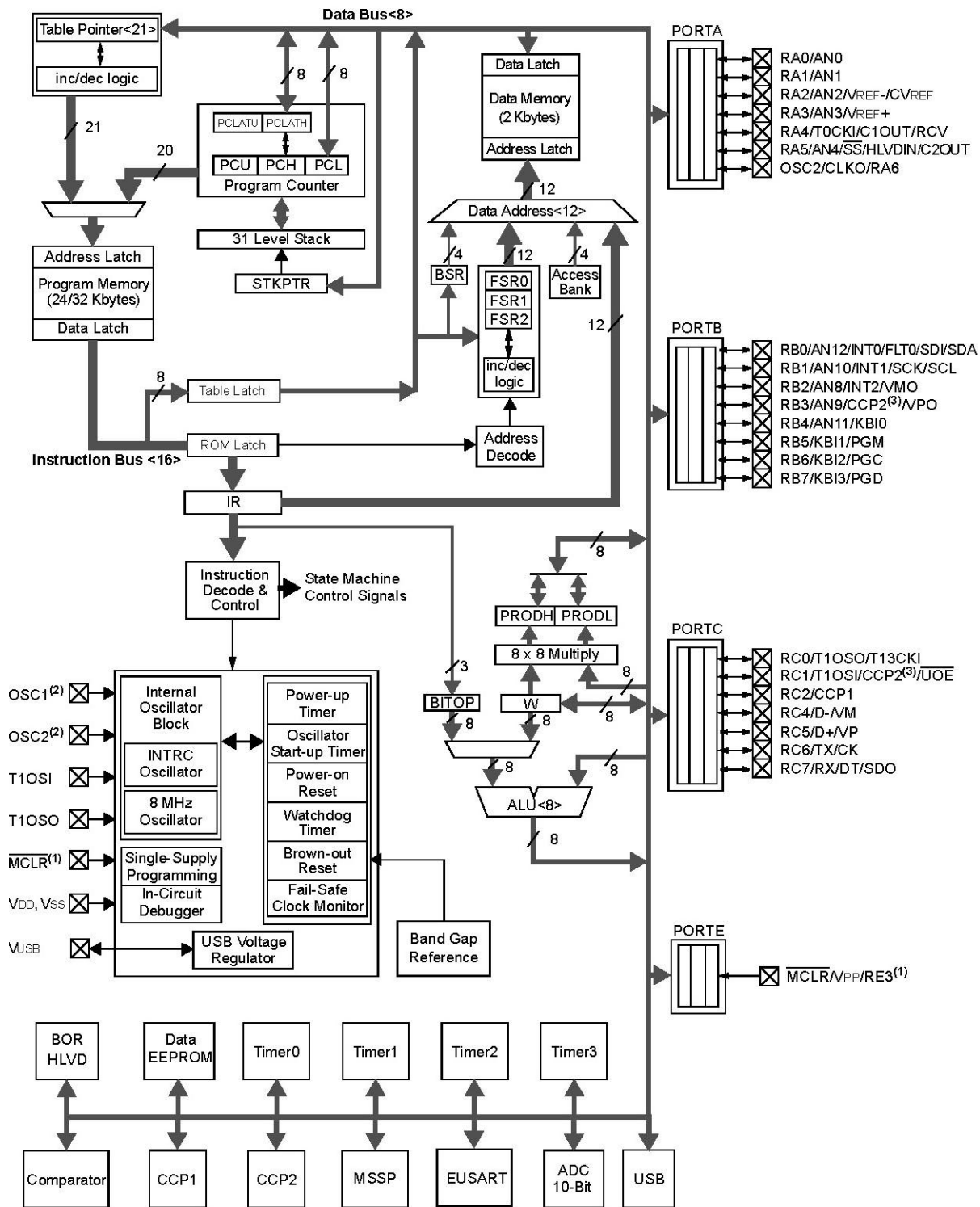
### Peripheral Highlights:

- High current sink/source: 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
  - Capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ( $T_{CY}/1$ )
  - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns ( $T_{CY}$ )
  - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
  - Multiple output modes
  - Selectable polarity
  - Programmable dead-time
  - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Addressable USART module:
  - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channels Analog-to-Digital Converter module (A/D) with programmable acquisition time
- Dual analog comparators with input multiplexing

### Special Microcontroller Features:

- C compiler optimized architecture with optional extended instruction set
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle data EEPROM memory typical
- Flash/data EEPROM retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)

PIC18F2455/2550 (28-PIN) BLOCK DIAGRAM







## Résumé

La majorité des équipements électriques fonctionnent avec un courant alternatif, et afin de les employer dans des sites isolés qui nécessite l'utilisation d'un convertisseur statique (onduleur) alimenté à partir d'une tension continu.

Dans le cadre d'obtention du diplôme du master en électromécanique, ce présent projet est relatif à la réalisation pratique de l'onduleur monophasé de tension a fin de diagnostiqué le défaut de court-circuit et de circuit ouvert l'aide de la méthode de l'analyse de la repense fréquentielle.

---

## Abstract

The majority of electrical equipment operates with alternating current, and in order to use them in isolated sites it requires the use of a static converter (inverter) powered from a continuous.

Within the framework of the obtaining the master in electomechanics, this present project relates to the practical realization of the single-phase voltage inverter, has finished diagnosing the short-circuit and open-circuit problems, using the frequency response analysis method.

---

## ملخص

تعمل غالبية المعدات الكهربائية مع التيار المتردد، من أجل استخدامها في المواقع المعزولة، الأمر الذي يتطلب استخدام محول ثابت (عاكس) مزود من الجهد المباشر. هذا العمل يندرج ضمن التحضير لمذكرة تخرج الماستر في الالكتروميكانيك، يتعلق هذا المشروع بالصنع محول الجهد أحادي الطور، لهدف تشخيص عطل الدائرة القصيرة والدائرة المفتوحة باستخدام طريقة تحليل استجابة التردد.