

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Tasdawit Akli Muḥend Ulḥağ - Tubirett -



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

كلية العلوم والعلوم التطبيقية

Référence :/MM/2021

المرجع :/م/م / 2021

Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Réalisé par :

Younes khaled

Et

Sejad cheikh

Thème

Diagnostic d'un onduleur triphasé à base du Mosfet avec la technique FRA

Soutenu le : 04/06/2023

Devant le Jury composé de :

Mr :	Mouassa Souhil	M.C.A	Univ. Bouira	Président
	Mellah Hacene	M.C.A	Univ. Bouira	Rapporteur
Mm :	Yassa Nacera	M.C.A	Univ. Bouira	Encadrante
	Ouadfel Ghania	M.C.B	USTHB	(Invité) Co Encadrante



نموذج التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث.

انا الممضي اسفله،

السيد (X) يسوئس خالد الصفة: طالب، استاذ، باحث طالب
الحامل (X) لبطاقة التعريف الوطنية: 11 1 60 94 45 والصادرة بتاريخ 11-11-2018
المسجل (X) بكلية: العلوم و العلوم التطبيقية قسم: الهندسة
الكهربائية

والمكلف (ة) بإنجاز اعمال بحث (مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها: Diagnostic d'un onduleur triphasé à base de IGBT

..... Masfet avec la technique F R A

تحت إشراف الأستاذ(ة): Yassa Nacera et Oualfel Ghania

أصح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 26/06/2023

توقيع المعني (X)

رأي هيئة مراقبة السرفقة العلمية:



13

النسبة: itin:

الامضاء:

h. melly



نموذج التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث.

انا الممضي اسفله،

السيد(ة)..... السيد الشريخ.....الصفة: طالب، استاذ، باحث.....
الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية: B0092 #173.....والصادرة بتاريخ 31/08/2022.....
المسجل(ة) بكلية: العلوم و العلوم التطبيقية..... قسم:..... الهندسة
الكهربائية.....

والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث(مذكرة، مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها:.....
diagnostic d'un onduleur triphasé à base
Le Mosfet avec la technique FRA
Yassa Nadera & ouedfel ghania.....
تحت إشراف الأستاذ(ة):.....

أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ:..... 10/07/2023.....


توقيع المعني(ة)

رأي هيئة مراقبة السرقة العلمية:




النسبة:itin: % 13

الامضاء:

Dédicace 1

Je dédie ce travail à Mes parents, mes grands-parents Mon frère et mes deux sœurs, n'importe personne de ma famille qui me souhaite du bonheur, ...

Khaled

.....

.....

Dédicace 2

Je dédie ce travail à mes très chers parents pour leurs soutiens inconditionnels. Puisse Allah, vous procure santé, bonheur et prospérité.

A mes oncles et mes tentes qui ont su m'encourager tout au long de ma vie.

A tous les membres de la famille ainsi qu'à mes amis.

Cheikh

Remerciements

Ce travail a été effectué au sein du Département des Sciences et sciences appliquées de l'Université de Bouira.

Nous tenons à remercier en premier lieu, Mm **Yassa Nacera** Encadrante et Mm **Ouadfel Ghania** notre Co Encadrante pour leurs soutient à réaliser ce travail.

Nous remercions également les membres du jury pour leur présence à la soutenance de notre mémoire de Master 2.

Enfin, nous associons à ces remerciements tous ceux qui ont contribué à réaliser ce travail.

Table des Matières

Remerciements	I
Table des Matières	II
Liste des Figures	III
Liste des Tableaux	IV

Introduction Générale **1**

Chapitre 1 : Généralités sur les onduleurs triphasés

1.1. Introduction	3
1.2. Présentation d'un onduleur	3
1.2.1. Définition	3
1.2.2. Principe de fonctionnement de l'onduleur	3
1.2.3. Classification des onduleurs	6
1.2.3.1. Onduleurs non autonomes	6
1.2.3.2. Onduleurs autonomes	6
1.3. Types des composants électroniques	8
1.4. Critères de choix des composants électroniques	9
1.5. Types des défauts dans les onduleurs	10
1.6. Domaine d'application	14
1.6.1. Réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone	14
1.6.2. Alimentation de secours	14
1.6.3. Transfert d'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes	15
1.6.4. Les alimentations sans interruption (ASI)	15
1.7. Conclusion	16

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI

2.1. Introduction	17
2.2. Onduleur triphasé et principe de fonctionnement	17
2.2.1. Onduleur triphasé	17
2.2.2. Principe de fonctionnement de l'onduleur triphasé	19
2.3. Partie Commande	20
2.3.1. Objectif de la technique MLI	21
2.3.2. Les techniques de commande MLI	21

2.4.	Partie simulation	24
2.4.1.	MLI sinusoïdale	24
2.4.1.1.	Simulation en état sain	24
2.4.1.2.	Simulation avec défaut court-circuit pour un interrupteur	26
2.4.1.3.	Simulation avec défaut circuit-ouvert pour un interrupteur	28
2.4.1.4.	Simulation avec défaut court-circuit pour deux interrupteurs	31
2.4.1.5.	Simulation avec défaut circuit-ouvert pour deux intercepteurs	33
2.4.2.	Simulation FFT	34
2.5.	Conclusion.....	37

Chapitre3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA

3.1.	Introduction	38
3.2.	Présentation de mosfet	38
3.2.1.	Raisons de choix de mosfet	38
3.2.2.	Structure et principe de fonctionnement d'un transistor mosfet	40
3.2.3.	Mode de fonctionnement	42
3.2.4.	Modèle de circuit équivalent simplifié	42
3.2.5.	Les différents défauts dans le mosfet	45
3.3.	La Technique FRA	45
3.4.	Partie simulation	46
3.4.1.	Etude de l'état sain	46
3.4.2.	Défaut court-circuit	48
3.4.2.1.	Rupture du drain-source	48
3.4.2.2.	Rupture de la grille	51
3.4.3.	Défaut circuit-ouvert	57
3.4.3.1.	Rupture du drain-source	57
3.4.3.2.	Rupture de la grille	60
3.4.3.3.	Circuit-Ouvert entre les bras	61
3.5.	Conclusion	65

Conclusion Générale	66
----------------------------	-----------

Références	68
-------------------	-----------

Liste des Figures

Figure I.1 : Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC – AC)	4
Figure I.2 : Fonctionnement de l'onduleur dans le 1er demi-cycle	4
Figure I.3 : Fonctionnement de l'onduleur dans le 2ème demis cycle	5
Figure I.4 : Signal complet de l'onduleur	5
Figure I.5 : Représentation schématique d'un onduleur de tension	7
Figure I.6 : Répartition des défauts en % dans un convertisseur statique	13
Figure I.7 : Principe de réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone	14
Figure I.8 : Alimentation de secours	15
Figure I.9 : Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes	15
Figure II.1 : Schéma équivalent de l'onduleur triphasé	17
Figure II.2 : Principe de la commande MLI- ST	23
Figure II.3 : modèle Simulink de la commande MLI sinus triangle	24
Figure II.4 : Tension de sortie Va à l'état sain	25
Figure II.5 : Tension de sortie de la phase Vb à l'état sain	25
Figure II.6 : Tension de sortie de la phase Vc à l'état sain	26
Figure II.7 : Tension de sortie Va avec défaut CC pour un interrupteur	27
Figure II.8 : Tension de sortie Vb avec défaut CC pour un interrupteur	27
Figure II.9 : Tension de sortie Vc avec défaut CC pour un interrupteur	28
Figure II.10 : Tension de sortie Va avec défaut CO pour un interrupteurs	29
Figure II.11 : Tension de sortie Vb avec défaut CO pour un interrupteurs	29
Figure II.12 : Tension de sortie Vc avec défaut CO pour un interrupteurs	30
Figure II.13 : Tension de sortie Va avec défaut CC pour deux interrupteurs	31
Figure II.14 : Tension de sortie Vb avec défaut CC pour deux interrupteurs	31
Figure II.15 Tension de sortie Vc avec défaut CC pour deux interrupteurs	32
Figure II.16 : Tension de sortie Va avec défaut CO pour deux interrupteurs	33
Figure II.17 : Tension de sortie Vb avec défaut CO pour deux interrupteurs	33
Figure II.18 : Tension de sortie Vc avec défaut CO pour deux interrupteurs	34
Figure II.19 : simulation de Régime sain avec FFT	35
Figure II.20 : simulation de Défaut de court-circuit avec FFT	36

Figure II.21 : simulation de Défaut de circuit ouvert avec FFT	36
Figure III.1 : a) La comparaison entre les interrupteurs de tension en fonction de courant	39
Figure III.2: b) La comparaison entre les interrupteurs de puissance en fonction de fréquence	39
FigureIII.3: Transistor MOSFET	41
Figure III.4: Modèle de circuits	43
Figure III.5 : Type de connexion des capacités inter électrodes	44
Figure III.6 : Modèle de circuit équivalent à petit signal simplifié	44
FigureIII.7 : Différentes cas de l'état sein de l'impédance pour l'onduleur triphasé à base de MOSFET	47
FigureIII.8 : Différentes cas de l'état sein de l'impédance pour l'onduleur triphasé à base de MOSFET.....	47
FigureIII.9 : Défauts de court-circuit de drain-source à l'entrée DC	48
FigureIII.10 : Défauts de court-circuit de drain-source entre phase	49
FigureIII.11 : défauts de court-circuit de drain-source entre phase-neutre	50
FigureIII.12 : défauts de court-circuit de grille-drain à l'entrée DC	51
FigureIII.13 : défauts de court-circuit de grille-drain entre phase	52
FigureIII.14 : défauts de court-circuit de grille-drain à l'entrée entre phase-neutre	53
FigureIII.15 : défauts de court-circuit de grille-source à l'entrée DC	54
FigureIII.16 : défauts de court-circuit de grille-source entre phase	55
Figure III.17 : défauts de court-circuit de grille-source entre phase-neutre.....	56
Figure III.18 : défauts de circuit-ouvert de drain source à l'entrée DC	57
FigureIII.19 : défauts de circuit-ouvert de drain source entre phase	58
Figure III.20: défauts de circuit-ouvert de drain source entre phase-neutre	59
Figure III.21 : défauts de circuit-ouvert de grille	60
Figure III.22 : défauts de circuit-ouvert entre les bras de l'onduleur a l'entré DC	61
FigureIII.23 : défauts de circuit-ouvert entre les bras de l'onduleur entre phase	62
Figure III.24 : défauts de circuit-ouvert entre les bras de l'onduleur entre phase-neutre	63

Liste des Tableaux

Tableau III.1 Le tableau des données de l'onduleur triphasé à base de Mosfet	46
Tableau III.2 Comparaison entre la technique FFT et la technique FRA.....	64

Introduction générale

Introduction générale

L'histoire des onduleurs triphasés remonte au début du XXe siècle, lorsque la nécessité de convertir l'énergie électrique triphasée en courant continu est apparue. À cette époque, les industries cherchaient des solutions pour alimenter leurs moteurs électriques en courant continu, plus facilement contrôlable que le courant alternatif triphasé. Les premiers onduleurs triphasés étaient basés sur des valves à vapeur, qui permettaient de redresser et de convertir le courant alternatif triphasé en courant continu.

Les onduleurs triphasés jouent un rôle crucial dans la conversion de l'énergie électrique dans de nombreux systèmes industriels, commerciaux et résidentiels. Leur utilisation permet de fournir une alimentation électrique de qualité, de contrôler la vitesse des moteurs, de réguler la tension et de réaliser des opérations de transfert d'énergie entre réseaux de fréquences différentes.

L'évolution des onduleurs triphasés a connu un parcours riche en innovations et en avancées technologiques. Pour comprendre l'état actuel de ces dispositifs, il est important de retracer leur historique et de souligner les progrès réalisés au fil du temps.

Ce mémoire propose une étude sur les onduleurs triphasés et les composants électroniques associés, en mettant l'accent sur leur fonctionnement, leurs classifications, leurs défauts potentiels et leurs applications spécifiques. Les chapitres suivants détailleront chaque sujet, fournissant des explications claires et des analyses approfondies.

Le premier chapitre vise à fournir une introduction approfondie sur les onduleurs. Nous commencerons par définir précisément ce qu'est un onduleur, en mettant en évidence son rôle dans la conversion de l'énergie électrique. Ensuite, nous examinerons en détail le principe de fonctionnement des onduleurs, en expliquant les différentes étapes de la conversion et les technologies utilisées. Nous aborderons également la classification des onduleurs en fonction de leur autonomie, en distinguant les onduleurs non autonomes des onduleurs autonomes. Enfin, nous discuterons des composants électroniques essentiels utilisés dans les onduleurs et des critères de choix associés.

Le deuxième chapitre se concentrera spécifiquement sur les onduleurs triphasés, qui sont largement utilisés dans les applications industrielles et de distribution d'énergie. Nous

Introduction générale

expliquerons en détail le fonctionnement des onduleurs triphasés, en mettant l'accent sur les avantages qu'ils offrent en termes de rendement et de puissance. Nous aborderons également les principes de commande des onduleurs triphasés, en présentant les différentes techniques utilisées pour générer des signaux de commande adaptés. De plus, nous explorerons les aspects de simulation des onduleurs triphasés, en mettant en évidence les techniques de modulation de largeur d'impulsion (MLI) et leur impact sur la qualité de la sortie du courant. Enfin, nous étudierons la transformation de Fourier rapide (FFT) comme outil d'analyse spectrale pour évaluer les caractéristiques des signaux de sortie des onduleurs triphasés.

Le troisième chapitre se penchera sur les transistors MOSFET, des composants électroniques clés utilisés dans les onduleurs. Nous présenterons les raisons qui font du MOSFET un choix privilégié, en mettant en évidence ses caractéristiques et ses avantages en termes de commutation rapide et de faible résistance. Nous expliquerons la structure et le principe de fonctionnement des transistors MOSFET, ainsi que les différents modes de fonctionnement. En outre, nous aborderons les modèles de circuit équivalent simplifiés utilisés pour la modélisation et la simulation des transistors MOSFET. Enfin, nous présenterons la technique d'analyse de réponse en fréquence (FRA) qui permet d'identifier les défauts dans les interrupteurs statiques en analysant leur réponse fréquentielle. Nous discuterons des principes de la technique FRA et de son application pour la détection précoce des défauts dans les composants électroniques.

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

1.1. Introduction :

Les convertisseurs statiques jouent un rôle crucial dans l'ingénierie électrique, modifiant les signaux électriques pour répondre aux besoins des systèmes électriques. Parmi eux, l'onduleur est essentiel pour convertir le courant continu en courant alternatif.

Dans ce chapitre nous explorons l'onduleur, sa définition, son fonctionnement et ses classifications selon leurs caractéristiques et applications.

Nous abordons également les composants électroniques utilisés et les critères de choix pour une performance optimale.

Les défauts possibles sont également discutés pour garantir un fonctionnement sûr et efficace, minimisant les interruptions de service et les dommages.

Enfin, nous examinons les applications de l'onduleur, telles que la régulation de la vitesse d'un moteur, l'alimentation de secours, le transfert d'énergie entre réseaux et les systèmes sans interruption.

Cette étude fournit une vue d'ensemble détaillée des convertisseurs statiques, en mettant l'accent sur les onduleurs, essentiels dans diverses applications électriques.

1.2. PRESENTATION D'UN ONDULEUR :

1.2.1. Définition

Un onduleur est un convertisseur de puissance qui convertit un courant continu (DC) en un courant alternatif (AC) à une tension et une fréquence désirée [1].

1.2.2. Principe de fonctionnement de l'onduleur :

Le Principe de fonctionnement de l'onduleur se résume dans La figure (I.1) qui met en évidence cette conversion essentielle réalisée par l'onduleur[2].

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

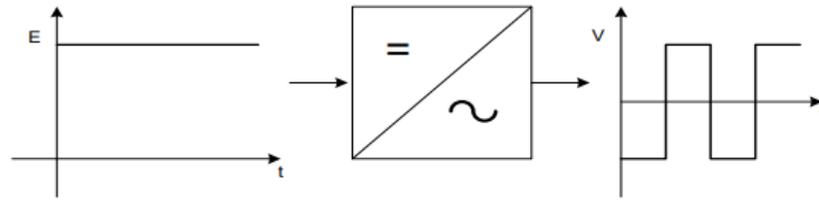


Figure I.1 : Schéma de principe de la conversion Continu - Alternative (DC – AC).

En utilisant des techniques de modulation de largeur d'impulsion (MLI), il devient possible de contrôler précisément les paramètres temporels et techniques de l'onduleur[3].

- Quand S1 – S4 sont fermés (On) et S2–S3 sont ouverts (Off) pour $0 < t < T/2$ on obtient une alternance positif $U(t) = VDC$ comme la montre la Figure (I.2).

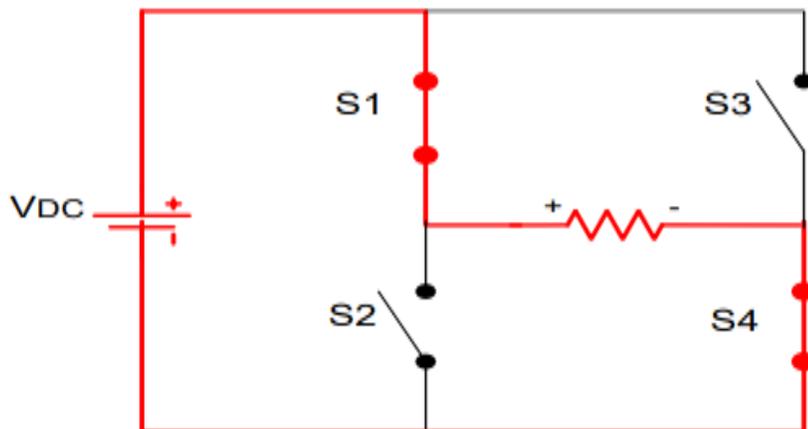


Figure I.2 : Fonctionnement de l'onduleur dans le 1er demi-cycle.

- Quand S1 – S4 sont ouvert (Off) et S2–S3 sont fermés (On) pour $T/2 < t < T$ on obtient une alternance négative $U(t) = -VDC$ comme la montre la Figure (I.3).

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

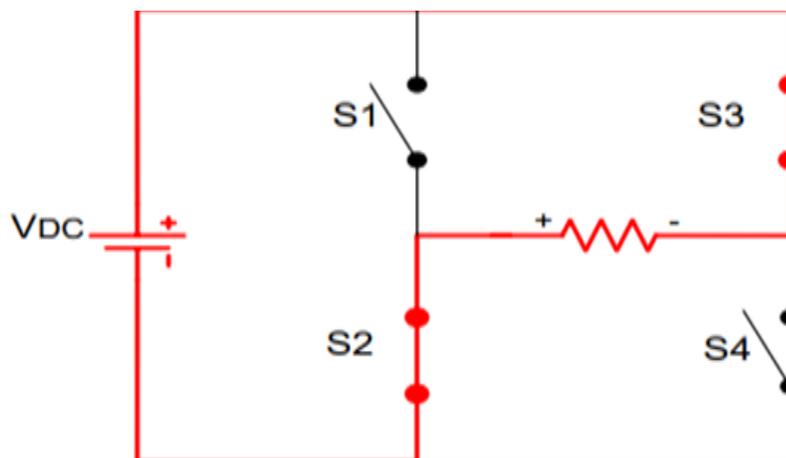


Figure I.3 : Fonctionnement de l'onduleur dans le 2^{ème} demis cycle.

Le signal résultant sur la période complète est présenté sur la Figure (I.4).

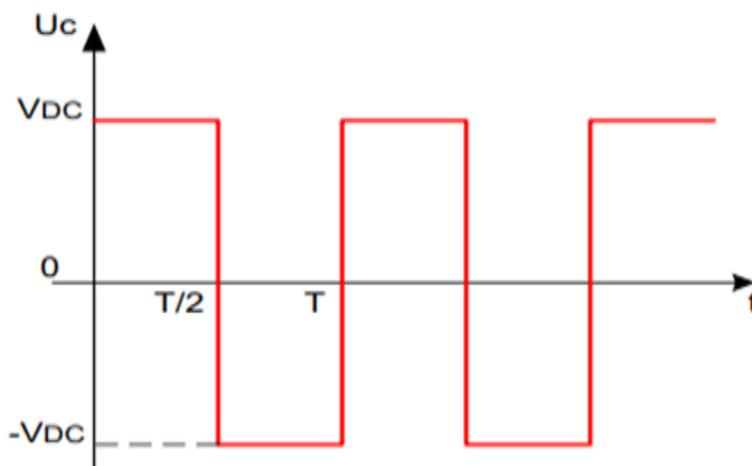


Figure I.4 : Signal complet de l'onduleur.

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

1.2.3. Classification des onduleurs :

1.2.3.1. Onduleurs non autonomes :

Dans certains cas, les onduleurs peuvent être conçus avec des composants simples tels que des thyristors qui sont commandés uniquement pour la fermeture du circuit. Cette méthode de commutation, connue sous le nom de "commutation naturelle", est couramment utilisée dans les onduleurs autonomes qui opèrent à la fois comme des redresseurs et des onduleurs. Ces types d'onduleurs sont largement utilisés dans les applications nécessitant des variateurs de vitesse pour des moteurs synchrones de très haute puissance.

Dans de tels scénarios, les thyristors sont souvent les seuls composants viables pour répondre aux exigences spécifiques de ces systèmes[4], [5].

1.2.3.2. Onduleurs autonomes :

Un onduleur autonome utilise sa propre source d'énergie pour commuter les thyristors ou autres semi-conducteurs, ce qui lui permet de contrôler la fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie. Il existe deux types d'onduleurs autonomes :

- Les onduleurs de tension qui sont alimentés par une source de tension continue.
- Les onduleurs de courant qui sont alimentés par une source de courant continue [4], [5].

La distinction entre les onduleurs autonomes repose principalement sur la nature du générateur et du récepteur avec lesquels ils sont associés. Cette caractéristique essentielle permet de différencier les différents types d'onduleurs.

- Onduleurs (autonomes) de tension
- Onduleurs (autonomes) de courant
- **Onduleurs (autonomes) de tension :**

Un onduleur de tension est alimenté par une source de tension continue avec une impédance interne négligeable. Dans ce cas, la tension d'entrée de l'onduleur, notée "u", n'est pas affectée par les variations du courant qui la traverse, "i". La source de tension continue impose la tension à l'entrée de l'onduleur, et cette tension est donc également présente en sortie.

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

Le courant de sortie, "i", et par conséquent le courant d'entrée, "i", dépendent de la charge connectée du côté alternatif. Cette charge peut être de n'importe quelle nature, à condition qu'elle ne soit pas elle-même une source de tension (comme un condensateur ou une force électromotrice alternative) directement connectée aux bornes de sortie de l'onduleur [6].

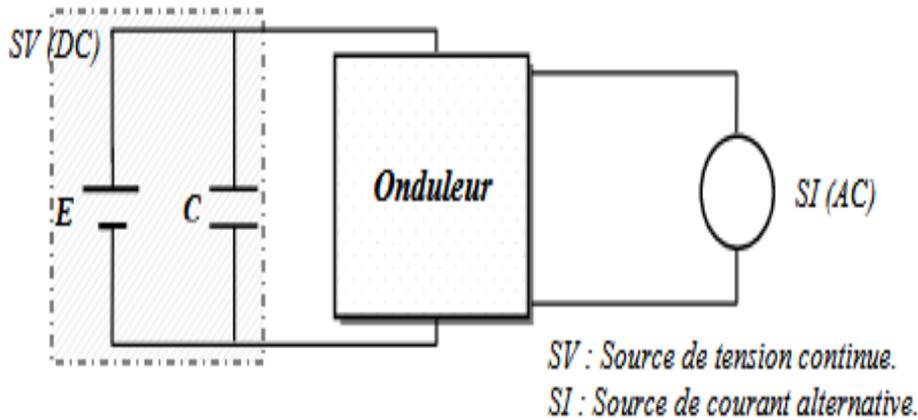


Figure I.5 : Représentation schématique d'un onduleur de tension.

Les onduleurs présentent des avantages les uns par rapport aux autres. C'est pourquoi un onduleur de tension à transistors présente des avantages par rapport à celui à thyristors :

- Facilité de commande (le transistor est commandé à l'ouverture et à la fermeture).
- Élimination du circuit de commutation forcée.
- Faibles pertes de commutation,
- Possibilité de fonctionnement à des fréquences plus élevées.

➤ L'onduleur de courant :

Onduleur de courant (fréquemment désigné comme un commutateur de courant) est alimenté par une source de courant continu. Cette source est caractérisée par une impédance interne suffisamment élevée pour que les variations de tension aux bornes n'affectent pas le courant qui la traverse. En conséquence, la source de courant continu détermine le courant qui circule à l'entrée de l'onduleur et, par conséquent, à sa sortie [6].

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

1.3. TYPES DES COMPOSANTS ELECTRONIQUES :

Pour la commutation et le contrôle de puissance dans diverses applications, il existe différents types de composants électroniques. Certaines des pièces les plus typiques sont énumérées ci-dessous :

1. Un transistor bipolaire à semi-conducteur (BJT), également connu sous le nom de transistor à trois couches (NPN ou PNP), est un composant électronique qui fonctionne comme un amplificateur de courant. Il est conçu pour être contrôlé par le courant de base et est couramment utilisé dans des applications nécessitant une amplification de puissance allant de faible à moyenne puissance[7].
2. Un MOSFET (Transistor à effet de champ à semi-conducteur à oxyde métallique) est un commutateur électronique à quatre couches utilisées dans diverses applications nécessitant une gamme de puissances allant de faible à élevée. Il est régulé par une tension de grille qui contrôle le courant entre le drain et la source. Le MOSFET est largement utilisé dans l'électronique moderne en raison de sa faible consommation d'énergie, de sa vitesse de commutation élevée et de sa capacité à être intégré sur des circuits intégrés[8].
3. L'IGBT (Transistor bipolaire à grille isolée) est un dispositif hybride qui combine les avantages des transistors bipolaires et des MOSFET. Il est contrôlé par une tension de grille et est largement utilisé dans les applications de moyenne à haute puissance. L'IGBT offre une faible perte de conduction des transistors bipolaires et une haute impédance d'entrée des MOSFET, ce qui le rend adapté aux applications nécessitant une commutation rapide et une efficacité élevée[9].
4. Le thyristor à semi-conducteur à quatre couches (SCR, Silicon-Controlled Rectifier) est un dispositif électronique utilisé comme commutateur unidirectionnel. Il est couramment utilisé dans des applications de moyenne à haute puissance. Le courant de grille est utilisé pour réguler le fonctionnement du thyristor, permettant ainsi le contrôle de la conduction du courant principal. En raison de sa capacité à gérer des courants élevés et à fonctionner à des tensions élevées, le SCR est utilisé dans des applications telles que le contrôle de puissance, les gradateurs de lumière et les systèmes de conversion d'énergie[10].

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

5. Le Triac est un commutateur électronique bidirectionnel composé d'un semi-conducteur à cinq couches. Il est conçu pour être contrôlé par le courant du réseau et est largement utilisé dans les applications de puissance moyenne pour le contrôle du courant alternatif (CA). Le Triac permet de réguler la quantité de courant alternatif qui passe à travers un circuit en fonction de son activation et de sa désactivation. Il est couramment utilisé dans des applications telles que les gradateurs d'éclairage, les contrôleurs de vitesse de moteur AC, les régulateurs de chauffage, entre autres[11].
6. Un Triac ou thyristor est un dispositif semi-conducteur bidirectionnel qui peut être activé par un diac. Le diac est un composant électronique utilisé comme interrupteur électronique. Ensemble, le Triac et le diac sont utilisés pour contrôler le courant alternatif (CA) dans les applications à faible puissance. Le Triac permet de réguler la quantité de courant alternatif qui passe à travers un circuit, tandis que le diac déclenche l'activation du Triac en réagissant aux signaux de tension alternatifs. Cette combinaison est couramment utilisée dans des applications telles que les gradateurs de lumière, les régulateurs de vitesse des moteurs AC et d'autres circuits de contrôle de puissance[12].
7. Un GTO (Gate-Off Thyristor) est un thyristor qui peut être désactivé en appliquant une tension négative à la grille. Contrairement aux thyristors conventionnels, le GTO offre la capacité de contrôler la désactivation du dispositif. Le courant de grille est utilisé pour réguler son fonctionnement dans les applications à haute puissance. Le GTO est largement utilisé dans des domaines tels que les systèmes d'alimentation à haute tension, les variateurs de vitesse, les convertisseurs de puissance, où la capacité de désactivation rapide du dispositif est nécessaire pour un contrôle précis du courant[13].

1.4. CRITERE DE CHOIX DES COMPOSANTS ELECTRONIQUES :

Pour garantir un fonctionnement efficace et fiable, un certain nombre de facteurs doivent être pris en compte lors de la sélection des composants électroniques d'un onduleur. Voici quelques facteurs importants à prendre en compte :

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

1. Puissance de sortie : les composants choisis peuvent gérer la puissance de sortie nécessaire de l'onduleur.
2. Tension de fonctionnement : le choix des composants capables de supporter les tensions d'entrée et de sortie de l'onduleur.
3. Courant de fonctionnement : vérifiez que les composants peuvent supporter la demande de courant maximale de l'onduleur.
4. Les composants doivent être choisis en fonction de leur capacité à fonctionner à la fréquence de commutation requise par l'onduleur.
5. Efficacité énergétique : le choix des composants à faible perte de puissance et à haute efficacité énergétique.
6. La dissipation de la chaleur est une exigence pour les composants. Pendant le fonctionnement, de la chaleur est produite. L'utilisation de dissipateurs thermiques, de ventilateurs ou d'autres techniques de refroidissement peut être impliquée dans cela.
7. Fiabilité et durabilité : Pour assurer un fonctionnement stable et une longue durée de vie de l'onduleur, les composants doivent être à la fois fiables et durables.
8. Coût : Lors de la conception de l'onduleur, les coûts des composants doivent être pris en compte. Pour répondre aux exigences des applications tout en respectant le budget, il est essentiel de trouver un équilibre entre performances et coûts.
9. Vérifiez la compatibilité des composants pour vous assurer qu'ils fonctionnent bien ensemble

1.5. TYPES DES DEFAUX DANS LES ONDULEURS :

Les défauts de l'onduleur peuvent être classés comme suit :

- **Circuit ouvert de l'interrupteur commandé :** ce défaut se produit lorsque l'interrupteur contrôlé ne se ferme pas correctement, ce qui entraîne un circuit ouvert. Cela pourrait entraîner une panne de courant et un dysfonctionnement de l'onduleur [14].

Ce type de défaut est cause par :

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

- Usure mécanique de l'interrupteur.
 - Mauvaise connexion ou câblage défectueux.
 - Corrosion ou oxydation des contacts de l'interrupteur.
- **Court-circuit dans l'interrupteur** : peut se produire lorsque ses composants internes sont défectueux ou endommagés. L'onduleur et tout équipement connecté pourraient être endommagés par le courant excessif que cela pourrait produire [15].

Ce type de défaut est cause par :

- Défaillance interne de l'interrupteur, causée par une usure excessive ou un défaut de fabrication
 - Contamination par des débris ou des liquides conducteurs
 - Dommages mécaniques, tels que des fissures ou des ruptures dans le boîtier de l'interrupteur.
- **Court-circuit entre phases à la sortie de l'onduleur** : Lorsque deux ou plusieurs phases de sortie de l'onduleur entrent en contact direct l'une avec l'autre, un court-circuit se produit, entraînant ce défaut. En conséquence, l'onduleur peut devenir surchargé et endommager tout équipement connecté [16].

Ce type de défaut est cause par :

- Dommages aux composants internes de l'onduleur, tels que les transistors de puissance ou les diodes
 - Mauvaise connexion ou câblage défectueux entre l'onduleur et la charge
 - Surcharge ou surtension provoquant une défaillance des composants de l'onduleur
- **Court-circuit entre la ligne et la terre à la sortie de l'onduleur** : Un court-circuit résulte du contact direct de la tension de sortie de l'onduleur avec la terre, ce qui est connu sous le nom de court-circuit ligne-terre de sortie de l'onduleur. Cela peut surcharger l'onduleur et endommager tout équipement connecté [17].

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

Ce type de défaut est cause par :

- Isolation défectueuse ou endommagée des câbles de sortie de l'onduleur
 - Dommages aux composants internes de l'onduleur, tels que les transistors de puissance ou les diodes
 - Mauvaise connexion ou câblage défectueux entre l'onduleur et la charge.
- **Court-circuit de la transmission DC** : Le courant continu (CC) entrant en contact direct avec un autre conducteur entraîne un court-circuit, appelé court-circuit de transmission CC. Cela pourrait surcharger l'onduleur [18].

Ce type de défaut est cause par :

- Isolation défectueuse ou endommagée des câbles de transmission DC
 - Dommages aux composants internes de l'équipement connecté à la transmission DC, tels que les condensateurs ou les diodes
 - Mauvaise connexion ou câblage défectueux entre les équipements connectés à la transmission DC.
- **Défaut à la terre sur la transmission DC** : Un court-circuit se produit lorsque le courant continu (CC) entre en contact direct avec la terre. Cela peut surcharger l'onduleur.

Ce type de défaut est cause par :

- Isolation défectueuse ou endommagée des câbles de transmission DC
- Dommages aux composants internes de l'équipement connecté à la transmission DC, tels que les condensateurs ou les diodes
- Mauvaise connexion ou câblage défectueux entre les équipements connectés à la transmission DC

Lorsqu'un court-circuit se produit dans l'onduleur, cela entraîne des défauts de court-circuit à sa sortie. Malheureusement, le système de protection a souvent du mal à détecter les défauts dans les commutateurs à semi-conducteurs de puissance (IGBT). Ces défauts, tels que l'ouverture du circuit de commande du réseau de commutation et le court-circuit de commutation, sont fréquemment observés. Pour étudier ces configurations, il est essentiel de surveiller attentivement la tension et le courant de sortie. Ainsi, dans le cadre de la

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

configuration des défauts de commutation de l'onduleur, plusieurs options sont prises en compte.

1. Circuits ouverts défectueux dans :

- Un interrupteur supérieur ou inférieur.
- Du même côté de la transmission CC, il y a deux commutateurs pour différentes phases.
- Il y a deux commutateurs pour les différentes phases (différents côtés de la transmission CC).

2. Défauts de court-circuit dans :

- Un interrupteur (supérieur ou inférieur).
- Deux interrupteurs pour différentes phases (même côté de la transmission cc).
- Deux commutateurs pour différentes phases (différents côtés de la transmission cc) [19].

La figure (I.6) montre la répartition des défauts en % dans un onduleur :

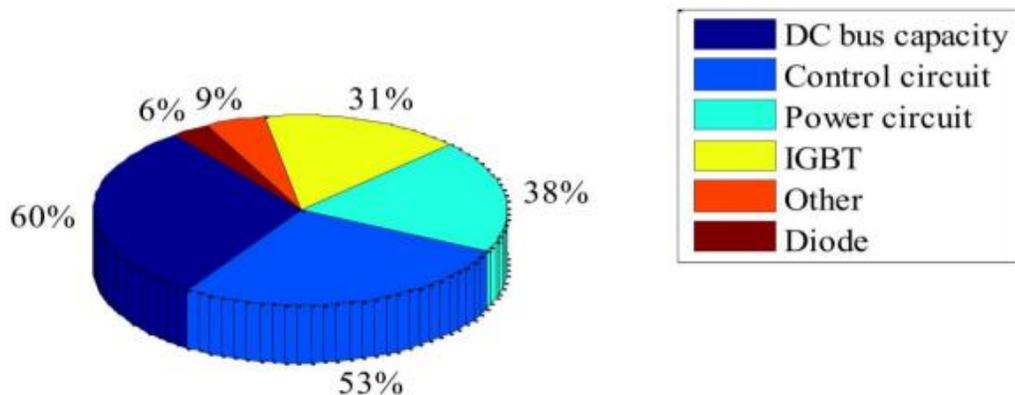


Figure I.6: Répartition des défauts en % dans un convertisseur statique [42].

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

1.6. DOMAINES D'APPLICATION :

Parmi les multiples domaines d'application des onduleurs autonomes, on retrouve principalement les onduleurs à fréquence fixe à commutation forcée. Ces dispositifs, qui sont le plus souvent alimentés par une batterie d'accumulateurs, jouent généralement le rôle pivot d'alimentation de secours [20], [5].

Les applications des onduleurs à fréquence variable à commutation forcée sont nombreuses. Ces onduleurs sont alimentés par le réseau industriel via un montage redresseur, et ils fournissent une tension de fréquence et une valeur efficace requises pour faire fonctionner un moteur à courant alternatif à vitesse variable. Voici quelques exemples d'applications possibles :

1.6.1. 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'onduleur à la fréquence désirée [21].

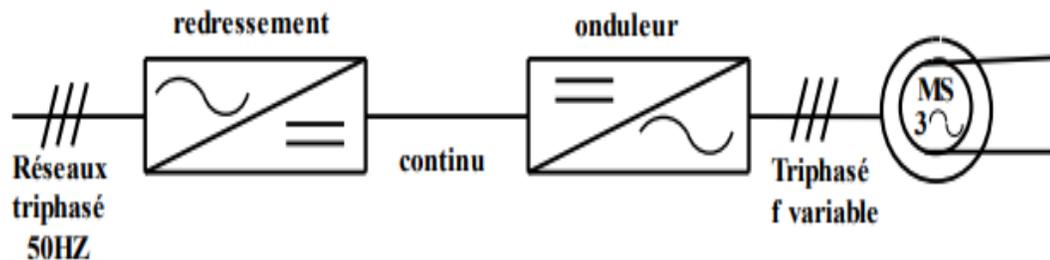


Figure I.7: Principe de réglage de la vitesse de rotation d'un moteur synchrone.

Remarque : Pour que la puissance du moteur reste nominale lorsque la fréquence varie, il faut en fait conserver le rapport (f/V) constant. (Si la fréquence augmente, il faut augmenter la tension d'alimentation proportionnellement).

1.6.2. 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 [22].

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

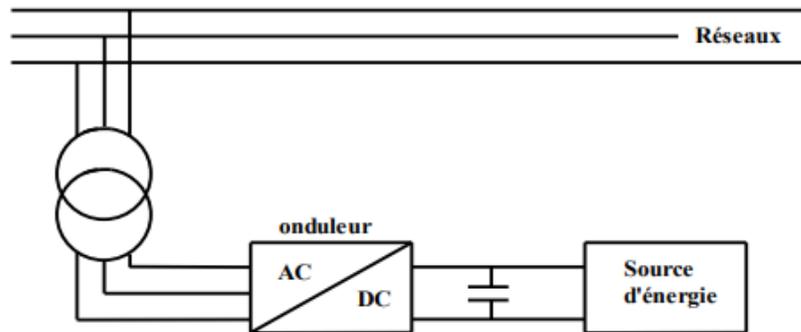


Figure I.8: Alimentation de secours.

1.6.3. 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.[21]

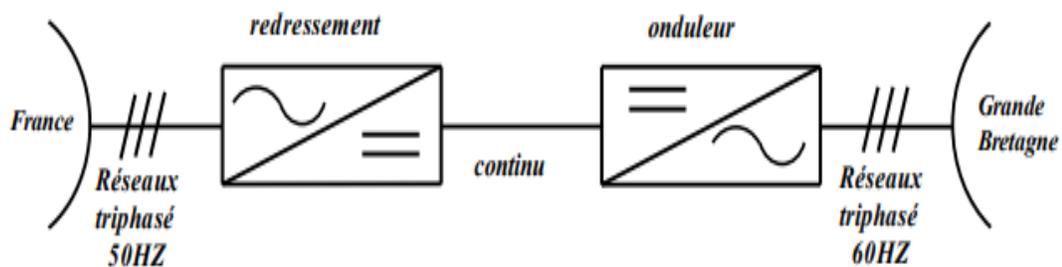


Figure I.9: Transfert de l'énergie entre deux réseaux de fréquences différentes.

1.6.4. Les alimentations sans interruption (ASI) :

Certaines applications sensibles (secteur pétrolier, hôpitaux, serveurs informatiques...) ne peuvent supporter la moindre panne d'alimentation.

Pour réaliser une alimentation sécurisée, on a la même structure que précédemment avec des batteries sur le bus continu 'ce qui permet de continuer à fournir de l'énergie et donc une tension sinusoïdale le temps qu'un groupe électrogène prenne le relais. (Rq: onduleurs

Chapitre 1: Généralités sur les onduleurs triphasés

plus souvent en monophasé) En pratique (les onduleurs actuels (pour ASI ou variateurs) sont pilotés par des algorithmes très compliqués (contrôle vectoriel de flux) et surtout comporte des fonctionnalités annexes (support de plusieurs protocoles de communication, pilotage par PC déporté, paramétrage différent suivant la charge ... *Rq*: l'onduleur seul peut fonctionner dans les quatre quadrants (à condition de mettre en anti parallèle des diodes sur les transistors), mais souvent le bus continu est alimenté par un pont redresseur triphasé à diode qui lui n'est pas réversible en courant [23].

1.7. CONCLUSION :

Ce chapitre traite des interrupteurs statiques et des onduleurs. Il présente l'interrupteur parfait, la classification des convertisseurs statiques et définit la fonction et le principe de fonctionnement des onduleurs. Une distinction est faite entre les onduleurs non autonomes et autonomes.

De plus, nous avons discuté des différents types de composants électroniques, des critères de choix de ces composants et des types de défauts pouvant survenir dans les onduleurs. Enfin, nous avons exploré divers domaines d'application des onduleurs.

Cette analyse approfondie des interrupteurs statiques, des onduleurs et de leurs composants électroniques permet une meilleure compréhension de ces dispositifs et contribue à l'amélioration de leur performance et de leur fiabilité dans diverses applications.

Chapitre 2: Modélisation des onduleurs tryphasés avec la technique MLI

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

2.1. Introduction

La modélisation de l'onduleur triphasé est une étape importante, elle permet de comprendre et d'analyser le comportement de ces dispositifs, d'optimiser leur conception et de développer des stratégies de commande pour améliorer leur performance et leur efficacité énergétique. Plusieurs approches de modélisation ont été proposées dans la littérature, y compris les modèles mathématiques, les modèles basés sur les circuits et les modèles basés sur les composants électroniques.

2.2. Onduleur triphasé et principe de fonctionnement :

2.2.1. Onduleur triphasé :

L'onduleur triphasé à tension variable est composé de manière inhérente de trois demi-points monophasés, ce qui donne lieu à un onduleur triphasé à six interrupteurs. Chaque demi-point est constitué d'un thyristor (ou d'un transistor) associé à une diode. La source de tension continue est obtenue en utilisant un pont redresseur. Afin de garantir une continuité dans les courants alternatifs de sortie (I_a , I_b , I_c), il est essentiel que les interrupteurs K_1 , K'_1 , K_2 , K'_2 , K_3 et K'_3 soient complémentaires par paires [24].

En mode commandable, chaque bras agit comme un interrupteur à deux positions, permettant d'obtenir deux niveaux de tension en sortie.

Le schéma équivalent de l'onduleur est représenté par la figure II.1 :

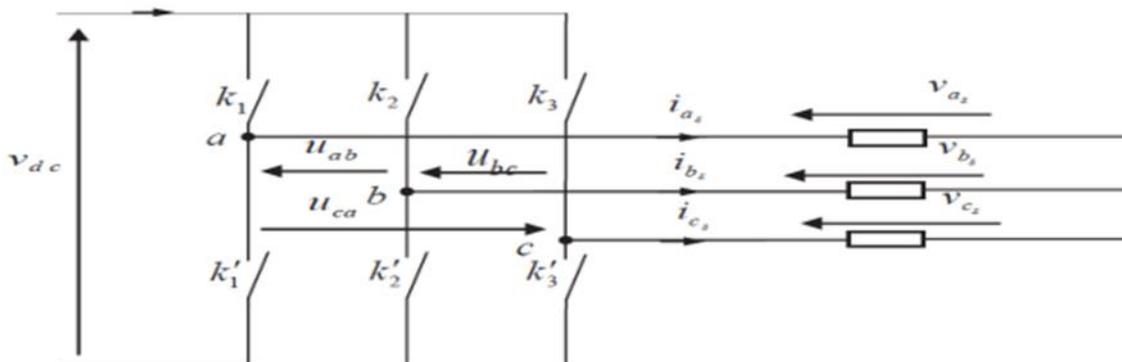


Figure II.1: Schéma équivalent de l'onduleur triphasé

L'onduleur est modélisé en associant à chaque bras une fonction logique F qui détermine

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

sont états de conduction :

$$\begin{aligned} F1 &= \begin{cases} 1 & \text{si...}k_1 \text{ fermé...et } k'_1 \text{ ouvert} \\ 0 & \text{si ...}k'_1 \text{ fermé...et } k_1 \text{ ouvert} \end{cases} \\ F2 &= \begin{cases} 1 & \text{si...}k_2 \text{ fermé...et } k'_2 \text{ ouvert} \\ 0 & \text{si ...}k'_2 \text{ fermé...et } k_2 \text{ ouvert} \end{cases} \\ F3 &= \begin{cases} 1 & \text{si...}k_3 \text{ fermé...et } k'_3 \text{ ouvert} \\ 0 & \text{si ...}k'_3 \text{ fermé...et } k_3 \text{ ouvert} \end{cases} \end{aligned} \quad \text{II.1}$$

Ainsi les tensions de ligne sont données par

$$\begin{aligned} U_{ab} &= V_{as} - V_{bs} = V_{ds}(F1 - F2) \\ U_{ab} &= V_{as} - V_{bs} = V_{ds}(F1 - F3) \\ U_{ab} &= V_{as} - V_{bs} = V_{ds}(F2 - F3) \end{aligned} \quad \text{II.2}$$

Les tensions V_{as} , V_{bs} et V_{cs} forment un système de tensions triphasées, équilibrées, alors on déduit

$$\begin{aligned} V_{as} &= V_{dc}/(2F1 - F2 - F3) \\ V_{bs} &= V_{dc}/(2F2 - F1 - F3) \\ V_{cs} &= V_{dc}/(2F3 - F1 - F2) \end{aligned} \quad \text{II.3}$$

Donc

$$\begin{pmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{pmatrix} = V_{dc}/3 \begin{pmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \end{pmatrix} \quad \text{II.4}$$

V_{dc} : C'est la tension d'alimentation continue de l'onduleur.

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

2.2.2. Principe de fonctionnement de l'onduleur triphasé :

Afin d'assurer la continuité des courants de sortie alternatifs I_a , I_b et I_c , les interrupteurs k_1 et k'_1 , k_2 et k'_2 , k_3 et k'_3 doivent être complémentaires deux à deux. De plus, pour obtenir des tensions de sortie V_a , V_b et V_c identiques correspondant à un tiers de la période T de leur fréquence fondamentale, il est nécessaire de commander chaque demi-point avec un retard de $T/3$ par rapport au précédent. En mode de commande pleine onde, les interrupteurs sont donc fermés.

$$\begin{aligned} & \bullet k_1 \text{ pour } \omega t = 0 \text{ et } k'_1 \text{ pour } \omega t = \pi \\ & \bullet k_2 \text{ pour } \omega t = 2\pi/3 \text{ et } k'_2 \text{ pour } \omega t = \pi + 2\pi/3 \\ & \bullet k_3 \text{ pour } \omega t = 4\pi/3 \text{ et } k'_3 \text{ pour } \omega t = \pi + 4\pi/3 \end{aligned} \quad \text{II.5}$$

La présence d'une connexion neutre reliée à la source est essentielle lorsque le récepteur présente un déséquilibre, en particulier lorsqu'il comporte des charges monophasées connectées entre la phase et le neutre. Cependant, si le récepteur triphasé est équilibré (comme un moteur triphasé, par exemple), il est possible de supprimer la liaison entre le point neutre "N" et le point milieu "0" de la source, ce qui permet d'éliminer ce dernier. Ainsi, on obtient l'onduleur triphasé proprement dit [25].

Voici un aperçu du principe de fonctionnement de l'onduleur triphasé :

- Topologies d'onduleurs triphasés : Les onduleurs triphasés peuvent être classés en différentes topologies, telles que les onduleurs à deux niveaux, les onduleurs à trois niveaux et les onduleurs multiniveaux. Chaque topologie a ses propres avantages et inconvénients en termes de complexité, de coût, de performance et d'efficacité énergétique [26], [27].
- Commutation des onduleurs triphasés : Les commutateurs électroniques de l'onduleur sont commandés pour générer des tensions alternatives sur les trois phases. La séquence de commutation détermine la forme d'onde de sortie, la fréquence et l'amplitude des tensions générées [26], [28].

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

- Modulation de largeur d'impulsion (MLI) : La MLI est une technique couramment utilisée pour contrôler les onduleurs triphasés. Elle permet de moduler la largeur des impulsions des signaux de commande pour ajuster la tension de sortie et la fréquence des onduleurs [26], [27].
- Commande des onduleurs triphasés : Plusieurs stratégies de commande ont été développées pour améliorer la performance, la stabilité et la fiabilité des onduleurs triphasés, telles que la commande vectorielle, la commande directe du couple et la commande par hystérésis [26], [28].

2.3. Partie Commande:

Il existe diverses méthodes de commande des interrupteurs d'un onduleur, dont les principales sont les suivantes :

- La commande en pleine onde (ou 180°) : Cette méthode consiste à commuter les interrupteurs à des intervalles de 180° sur chaque période du signal de sortie. Cela permet d'obtenir une forme d'onde de sortie sinusoïdale, mais elle peut générer des harmoniques de fréquence élevée.
- La commande décalée (ou 120°) : Cette méthode implique de commuter les interrupteurs avec un décalage de 120° les uns par rapport aux autres. Elle permet de réduire les harmoniques de fréquence élevée et d'améliorer la qualité de la forme d'onde de sortie.
- La commande par modulation de largeur d'impulsion (ou MLI) : Cette méthode est basée sur la modulation de la largeur des impulsions de commande des interrupteurs. Elle permet de générer une forme d'onde de sortie sinusoïdale en ajustant la durée des impulsions en fonction du signal de référence. La MLI offre une bonne qualité de sortie et une excellente précision de commande.

Ces différentes méthodes de commande peuvent être utilisées en fonction des besoins spécifiques de l'application de l'onduleur.

Dans notre travail nous allons étudier la Commande MLI.

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

2.3.1. Objectif de la Technique MLI :

Les objectifs principaux d'une MLI sont les suivants :

- Obtenir dans la charge électrique des courants dans la variation est proche de la sinusoïdale par le contrôle de l'évolution des rapports cycliques et grâce à une fréquence élevée des commutations des interrupteurs par rapport à la fréquence des tensions de sortie [29].
- Imposer à l'entrée de l'onduleur un courant de type continu avec des composantes alternatives d'amplitudes réduites et de fréquences élevées [29].

2.3.2. Les techniques de commande MLI :

Une méthode couramment utilisée pour réguler à la fois l'amplitude et la fréquence de la tension de sortie d'un onduleur tout en minimisant les harmoniques.

Il existe généralement quatre types de modulation de largeur d'impulsion (MLI) qui sont couramment utilisés :

- MLI précalculée : Cette méthode implique le calcul préalable des moments de commutation des interrupteurs de puissance afin d'éliminer les harmoniques indésirables. Ces séquences de commutation sont ensuite enregistrées dans une mémoire et reproduites cycliquement pour commander les interrupteurs. Il est même envisageable d'implémenter cette technique de MLI sur un circuit intégré dédié, et plusieurs travaux d'intégration ont été réalisés pour ce type de structure [30].
- La MLI dent de scie : Cette méthode repose sur la comparaison entre une onde modulante, généralement une forme sinusoïdale de basse fréquence, et une onde porteuse de forme dent de scie à une fréquence plus élevée. Les points d'intersection entre la porteuse et la modulante déterminent les instants de commutation des interrupteurs. Cette technique est particulièrement adaptée à l'électronique analogique, mais son utilisation en numérique est plus complexe. En effet, il peut être difficile de reproduire une tension de référence sinusoïdale parfaite à partir d'informations numériques [30].

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

- La modulation de largeur d'impulsion (MLI) vectorielle se distingue de la MLI classique en calculant analytiquement les vecteurs à appliquer et les moments d'application de ces vecteurs afin d'obtenir une tension de référence en valeur moyenne à partir des états de commutation de l'onduleur. Chaque état possible du convertisseur est représenté par un vecteur de tension, formant ainsi le diagramme vectoriel des tensions du convertisseur. Habituellement, la valeur moyenne du vecteur de référence peut être calculée en utilisant plusieurs vecteurs par cycle de modulation, grâce à l'approximation de la MLI en valeur moyenne. En choisissant les vecteurs appropriés et en les appliquant dans l'ordre correct, il est possible d'obtenir une fréquence de commutation relativement élevée à la sortie tout en réduisant la fréquence de commutation au niveau des composantes. La modulation vectorielle se distingue, entre autres, des techniques classiques en élaborant les signaux de commande en prenant en compte simultanément l'état des trois bras de l'onduleur [31].
- Modulation de Largeur d'Impulsions Sinus-triangle : La modulation triangulée-sinusoïdale est également désignée sous le nom de modulation de largeur d'impulsion intersective en raison de son principe basé sur l'intersection d'une onde modulante basse fréquence, souvent une tension de référence sinusoïdale, avec une onde porteuse haute fréquence de forme triangulaire. Cette approche permet de contrôler l'activation et la désactivation des interrupteurs du circuit de puissance en utilisant le résultat de la comparaison entre ces deux signaux[32].

Deux paramètres caractérisent cette commande si la référence est sinusoïdale :

• L'indice de modulation m qui définit le rapport entre la fréquence f_p de la porteuse et la fréquence f de la référence : $m = f_p / f$ **II.6**

• Le taux de modulation r (ou coefficient de réglage en tension ou encore rapport cyclique) qui donne le rapport de l'amplitude de la modulante V_r à la valeur crête V_p de la porteuse : $r = V_r / V_p$ [33]. **II.7**

Le schéma de principe est donné par la figure **II.2**

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

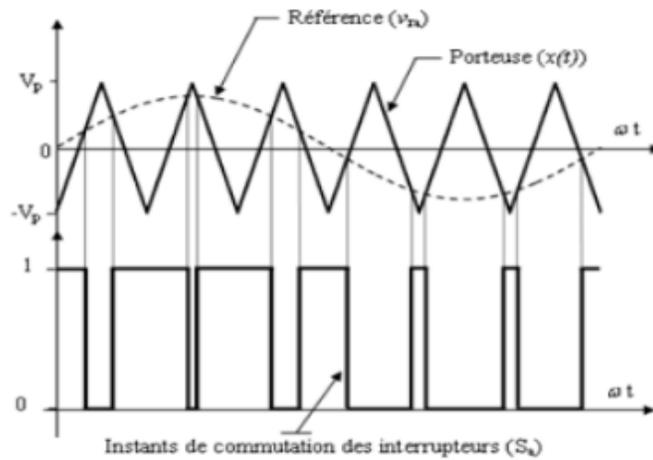


Figure II.2: Principe de la commande MLI- ST

L'onde porteuse est un signal triangulaire qui se caractérise par sa fréquence f_p et sa valeur de crête V_p . Dans sa période $[0, T_p]$, l'équation de l'onde porteuse peut être définie comme suit :

$$\begin{cases} X_1(t)V_p \left(-1 + 4\frac{t}{T_p} \right) & \text{si } t \in \left[0, \frac{T_p}{2} \right] \\ X_2(t)V_p \left(3 + 4\frac{t}{T_p} \right) & \text{si } t \in \left[\frac{T_p}{2}, T_p \right] \end{cases} \quad \text{II.8}$$

La référence est un signal sinusoïdal avec une amplitude V_r et une fréquence f_r . Dans le cas d'un système triphasé, les trois tensions sinusoïdales de référence sont définies comme suit :

$$\begin{aligned} V_{ra} &= V_r \sin(2\pi f_r t) \\ V_{rb} &= V_r \sin\left(2\pi f_r t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ V_{rc} &= V_r \sin\left(2\pi f_r t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned} \quad \text{II.9}$$

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

La commande MLI sinus triangle utilise la comparaison avec la porteuse des trois composantes de la tension de référence afin de calculer les états Sa, Sb et Sc des interrupteurs de l'onduleur. Ceux-ci sont donnés par l'équation II. 10 suivante :

$$S_{abc} = \begin{cases} 1 & \text{si } (V_{rabc} - X(t)) \geq 0 \\ 0 & \text{ssi } (V_{rabc} - X(t)) < 0 \end{cases} \quad \text{II. 10}$$

2.4. Partie simulation :

2.4.1. MLI sinusoïdale :

2.4.1.1. Simulation en état sain

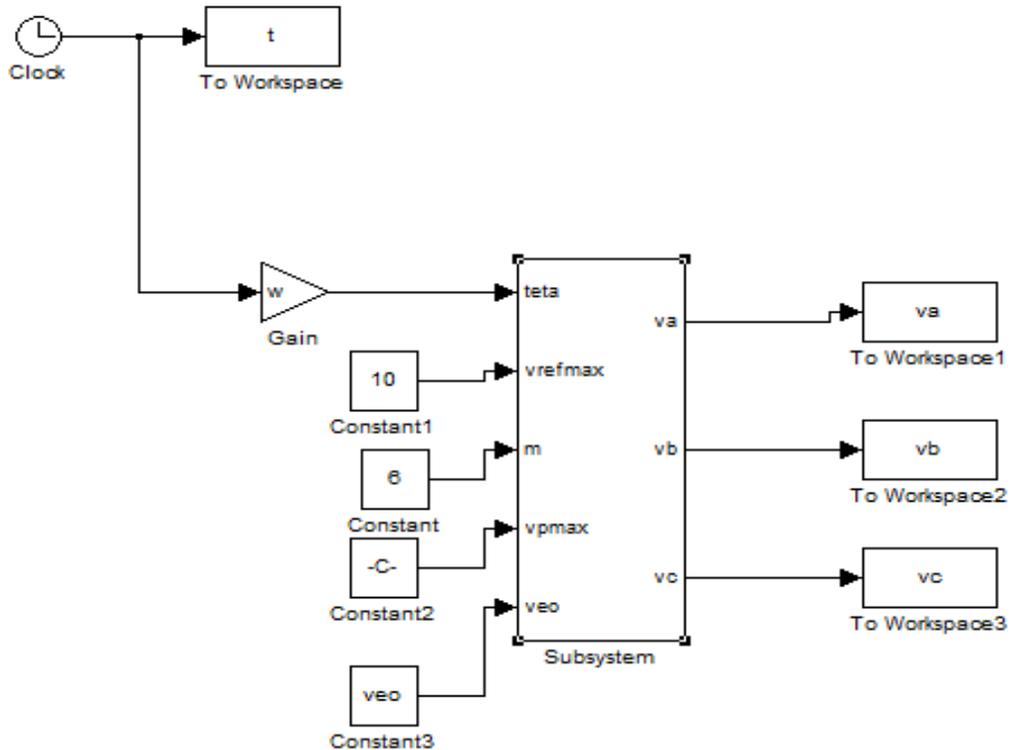


Figure II.3 : modèle Simulink de la commande MLI sinus triangle.

Les figures (II.4, II.5 et II.6) représentent l'allure des tensions Va, Vb et Vc respectivement à la sortie de l'onduleur.

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

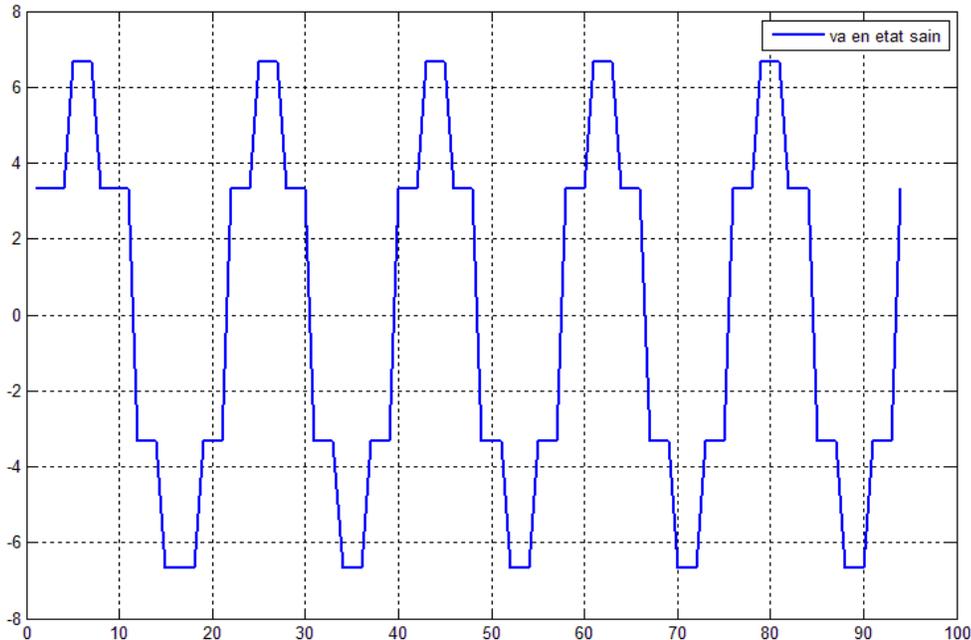


Figure II.4: Tension de sortie V_a à l'état sain

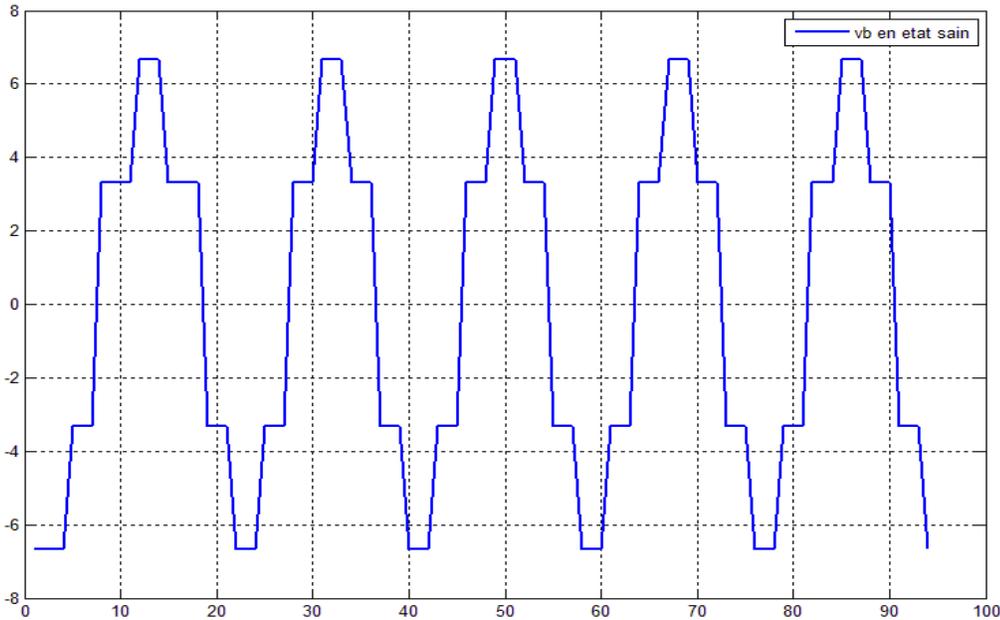


Figure II.5 : Tension de sortie de la phase V_b à l'état sain.

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

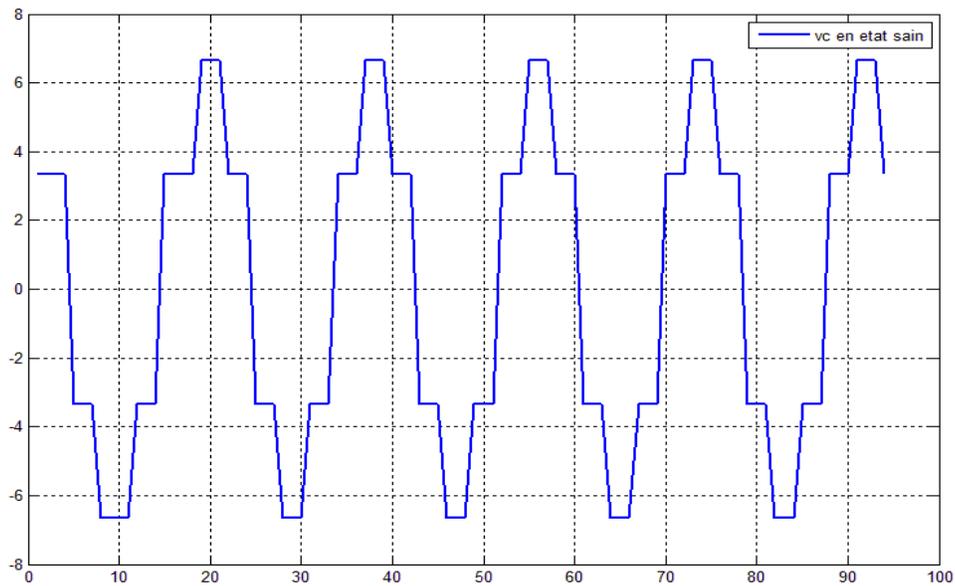


Figure II.6: Tension de sortie de la phase Vc à l'état sain

➤ **Interprétation**

Les trois réponses des tensions de sortie, V_a , V_b et V_c , présentent une forme en escalier caractérisée par une partie positive et une partie négative. De plus, ces réponses sont déphasées entre elles.

2.4.1.2. Simulation avec défaut court-circuit pour un interrupteur

Nous allons appliquer un défaut de court-circuit sur les différents interrupteurs.

Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures ci-dessous :

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

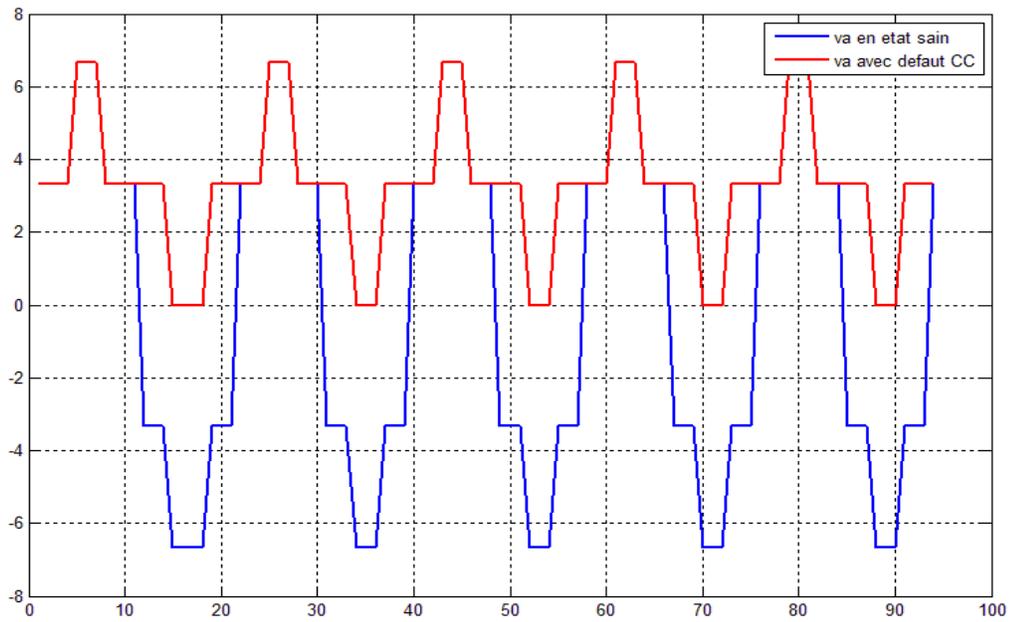


Figure II.7 : Tension de sortie V_a avec défaut CC pour un interrupteur

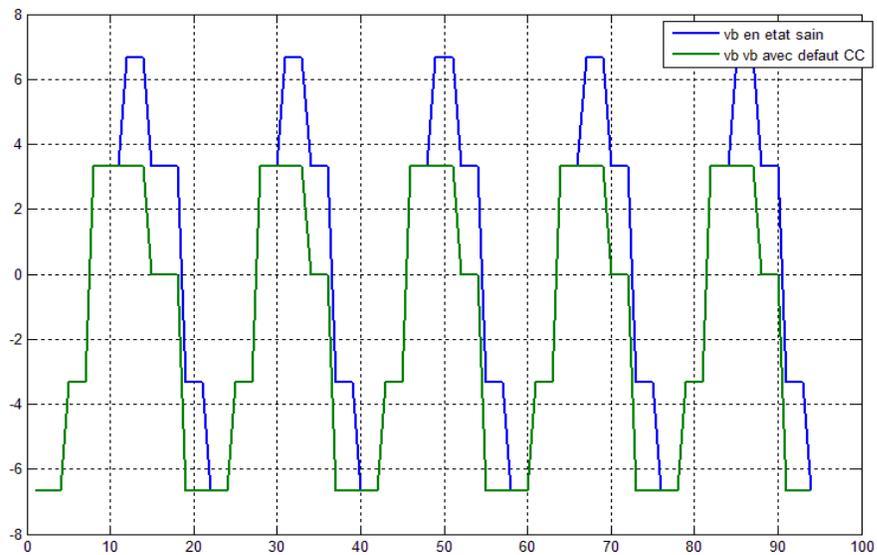


Figure II.8 : Tension de sortie V_b avec défaut CC pour un interrupteur

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

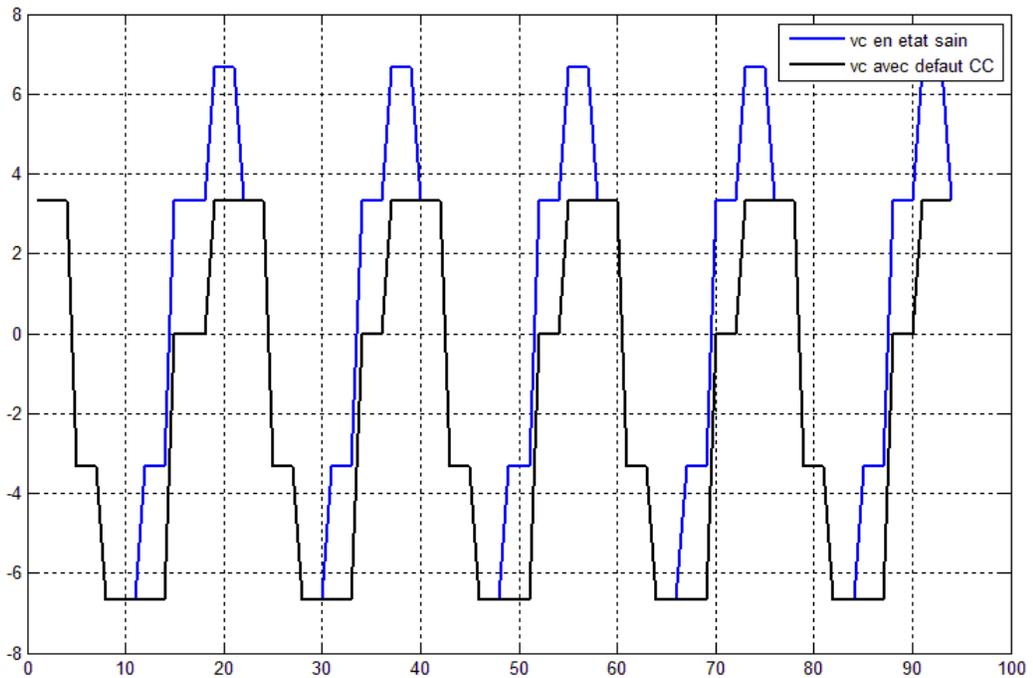


Figure II.9 : Tension de sortie V_c avec défaut CC pour un interrupteur

➤ Interprétation

Lorsqu'on applique un court-circuit à un interrupteur, on observe une distorsion de la forme d'onde à la partie positive de la tension de sortie, ainsi qu'une suppression de la partie négative.

De plus, pour les tensions V_b et V_c , on constate une distorsion de la forme des ondes et une diminution de la partie positive.

2.4.1.3. Simulation avec défaut circuit-ouvert pour un interrupteur :

Nous allons appliquer un défaut de circuit-ouvert sur les différents interrupteurs.

Les résultats obtenus sont illustres dans les figures ci-dessous :

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

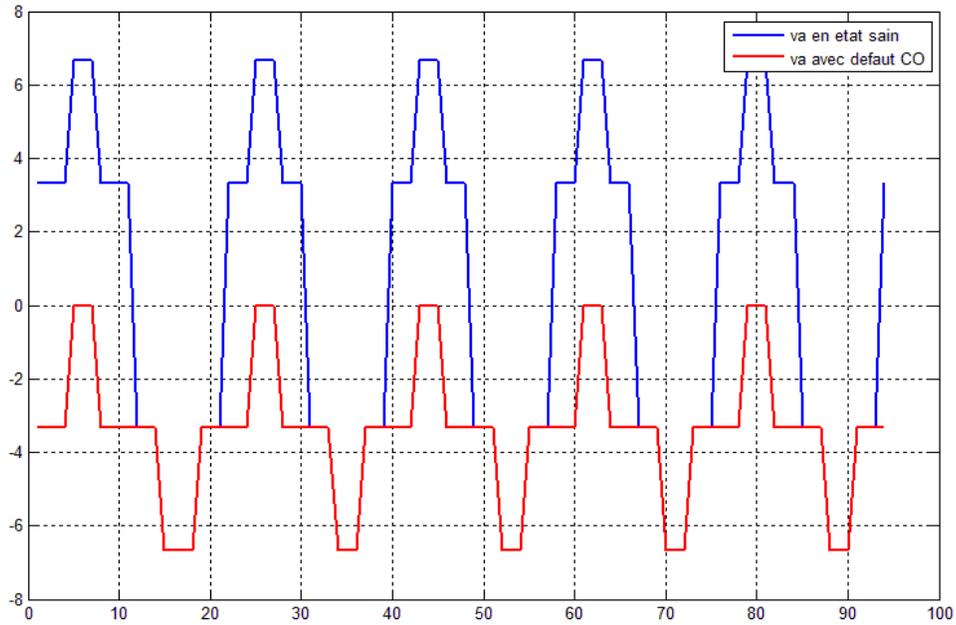


Figure II.10 : Tension de sortie V_a avec défaut CO pour un interrupteur

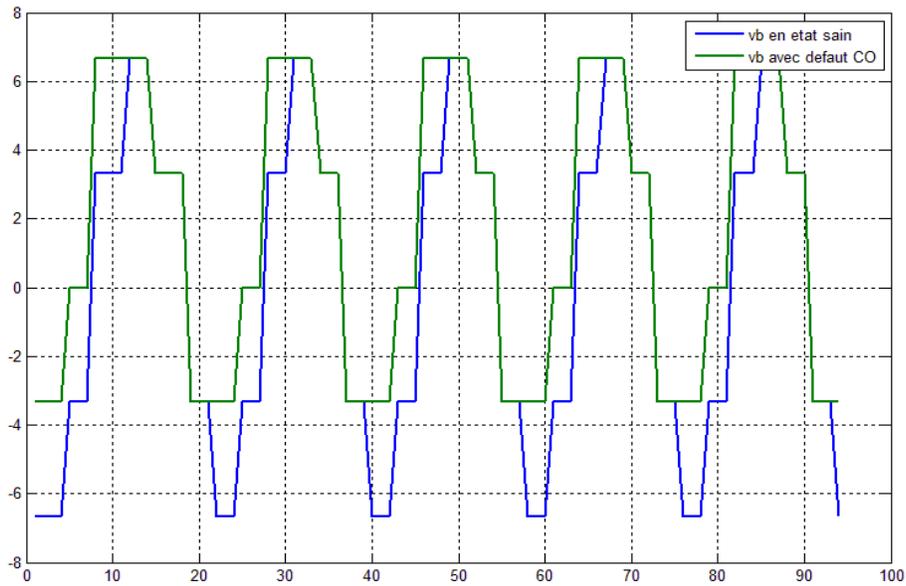


Figure II.11 : Tension de sortie V_b avec défaut CO pour un interrupteur

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

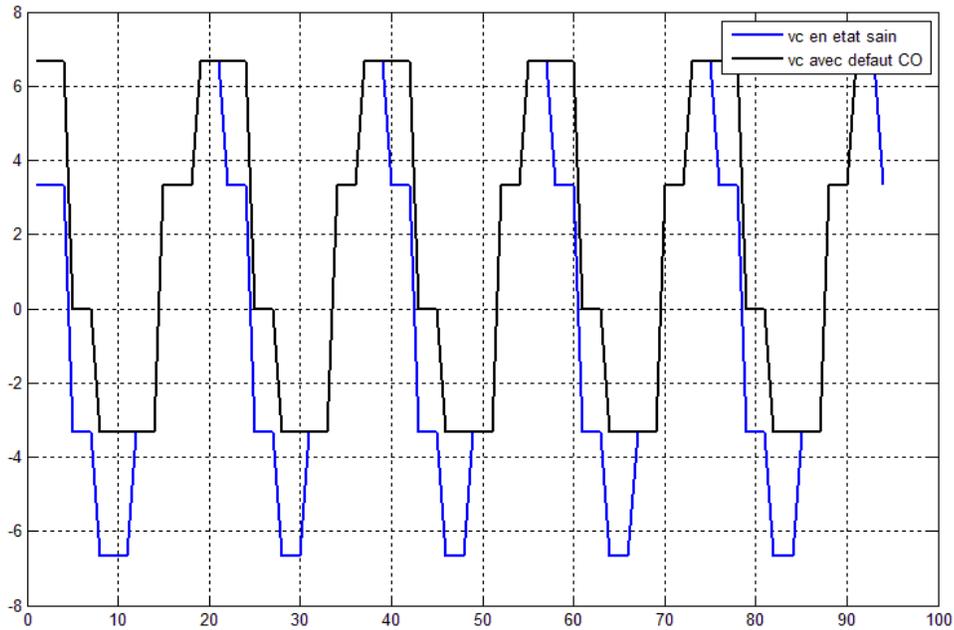


Figure II.12: Tension de sortie V_c avec défaut CO pour un interrupteur

➤ Interprétation

Dans le cas d'un circuit ouvert d'un interrupteur, on observe une suppression de la partie positive de la tension de sortie V_a , accompagnée d'une distorsion de la forme d'onde.

De plus, pour les tensions V_b et V_c , on constate une diminution de la partie négative, ainsi qu'une distorsion des formes d'ondes.

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

2.4.1.4. Simulation avec défaut court-circuit pour deux interrupteurs

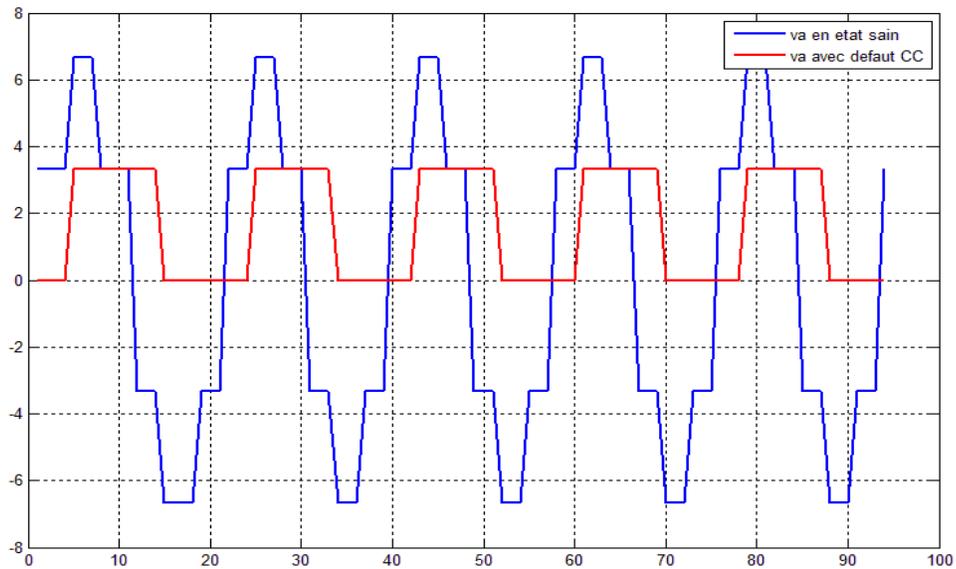


Figure II.13 : Tension de sortie V_a avec défaut CC pour deux interrupteurs

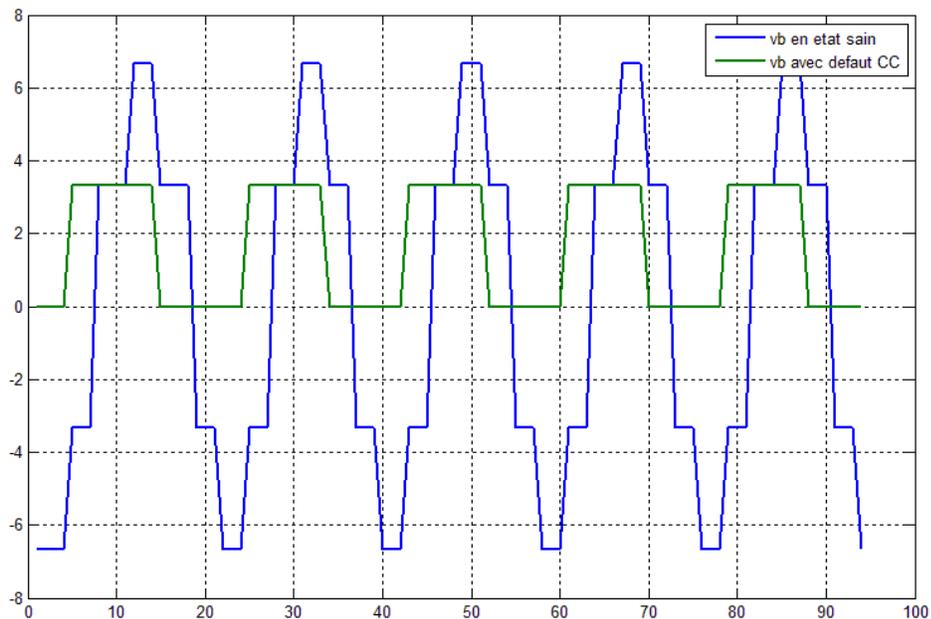


Figure II.14: Tension de sortie V_b avec défaut CC pour deux interrupteurs

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

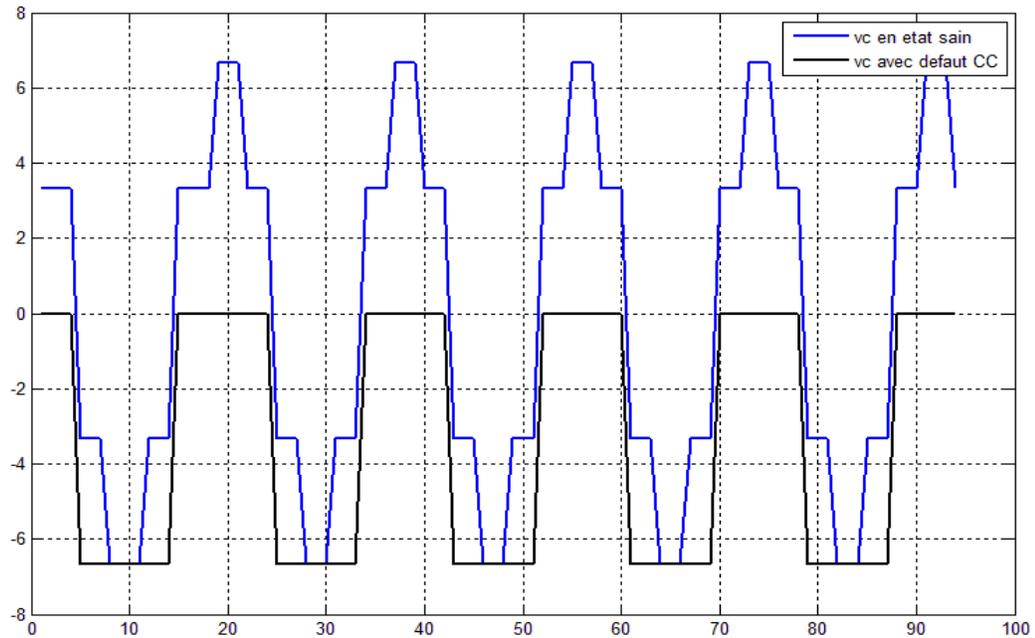


Figure II.15 Tension de sortie V_c avec défaut CC pour deux interrupteurs

➤ Interprétation

Lorsque l'on applique un court-circuit à deux interrupteurs simultanément, on remarque une suppression de la partie négative et une diminution de l'amplitude de la partie positive des tensions V_a et V_b , accompagnées d'une distorsion des formes d'ondes.

En ce qui concerne la tension V_c , on observe une suppression de la partie positive de la tension, entraînant également une distorsion de la forme d'onde.

2.4.1.5. Simulation avec défaut circuit-ouvert pour deux interrupteurs

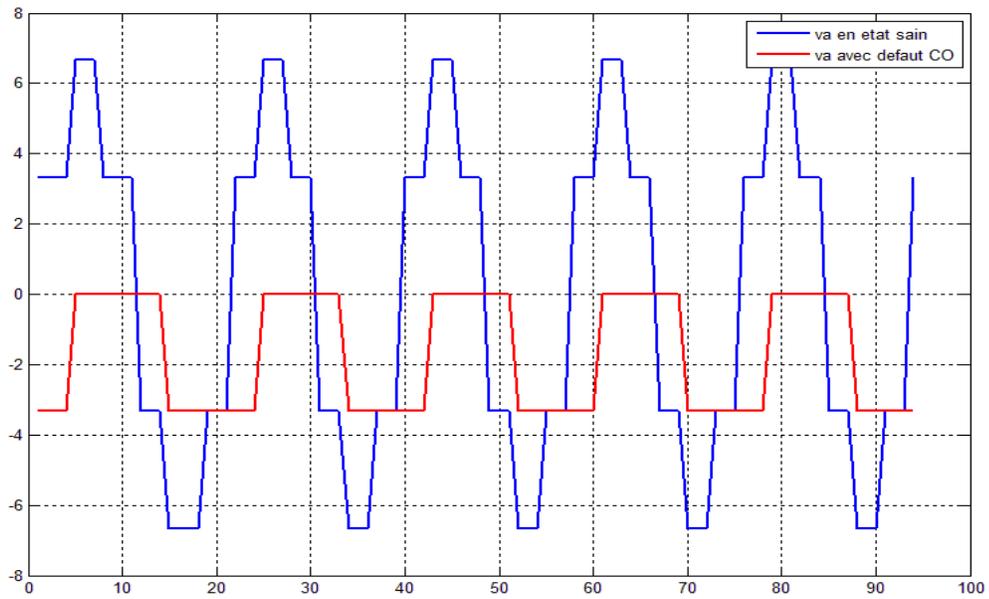


Figure II.16: Tension de sortie V_a avec défaut CO pour deux interrupteurs

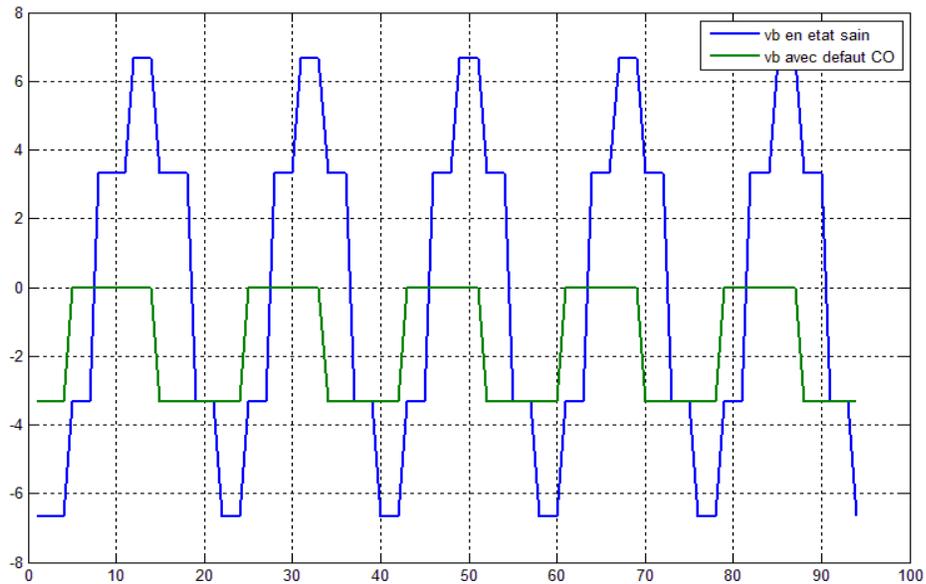


Figure II.17 : Tension de sortie V_b avec défaut CO pour deux interrupteurs

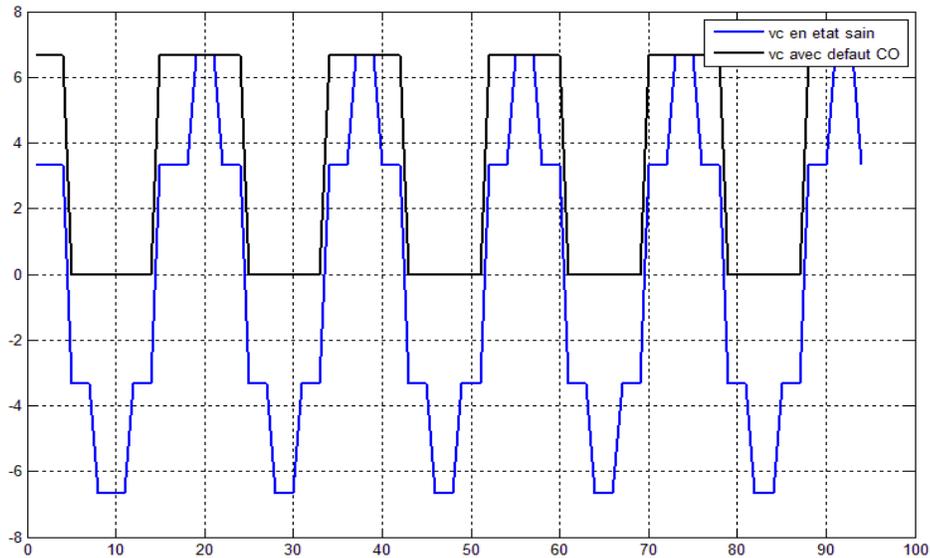


Figure II.18 : Tension de sortie V_c avec défaut CO pour deux interrupteurs

➤ Interprétation

Dans le cas d'un circuit ouvert comportant deux interrupteurs en même temps, on constate une suppression de la partie positive et une diminution de la partie négative des tensions V_a et V_b . Cela se traduit par une déformation de la forme d'onde.

Quant à la tension V_c , on observe une déformation de la partie positive de la tension, accompagnée d'une suppression de la partie négative.

2.4.2. Simulation FFT

L'étude FFT (Fast Fourier Transform) est une technique utilisée pour analyser le contenu fréquentiel d'un signal en le décomposant en ses composantes de fréquence. Elle est couramment utilisée dans l'analyse des onduleurs triphasés à base de MOSFET alimentés pour évaluer leur comportement et leurs performances.

Lorsqu'elle est appliquée à un onduleur triphasé alimenté, l'étude FFT consiste généralement en plusieurs étapes :

1. Acquisition des données : Les tensions de sortie des phases de l'onduleur triphasé sont mesurées à des instants réguliers à l'aide de capteurs appropriés. Ces mesures sont ensuite enregistrées sous forme de séquence temporelle.

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

2. Prétraitement des données : Les données brutes peuvent être soumises à un prétraitement pour éliminer les éventuels bruits ou interférences indésirables. Cela peut inclure le filtrage ou la suppression des composantes indésirables.
3. Application de la FFT : La FFT est ensuite appliquée à la séquence temporelle des tensions de sortie. La FFT convertit le signal du domaine temporel au domaine fréquentiel, en décomposant le signal en différentes composantes de fréquence.
4. Analyse des résultats : Les résultats obtenus après l'application de la FFT sont analysés pour extraire des informations sur les composantes de fréquence présentes dans le signal. Cela peut inclure l'identification des harmoniques, des fréquences de résonance ou d'autres caractéristiques spécifiques du signal.

L'analyse FFT permet de visualiser la répartition des différentes composantes de fréquence présentes dans le signal de sortie de l'onduleur triphasé. Cela peut aider à détecter la présence d'harmoniques indésirables, qui sont des fréquences multiples de la fréquence fondamentale, ainsi qu'à évaluer la qualité de la forme d'onde de sortie.

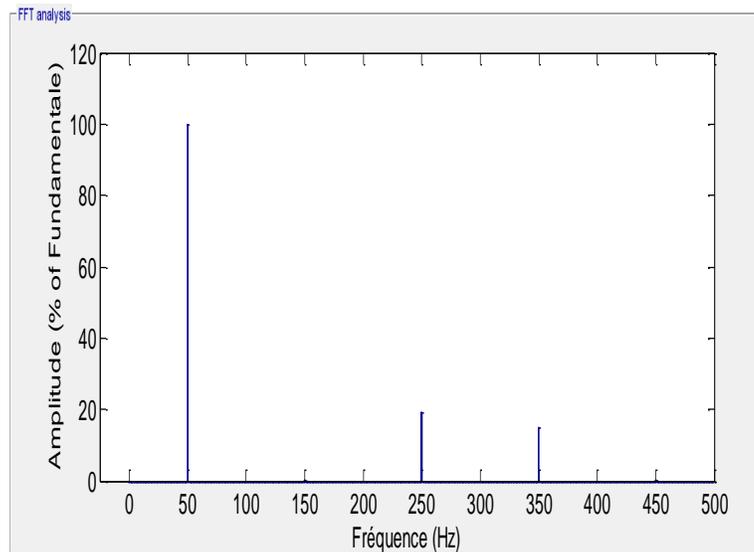


Figure II.19 : simulation de Régime sain avec FFT

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

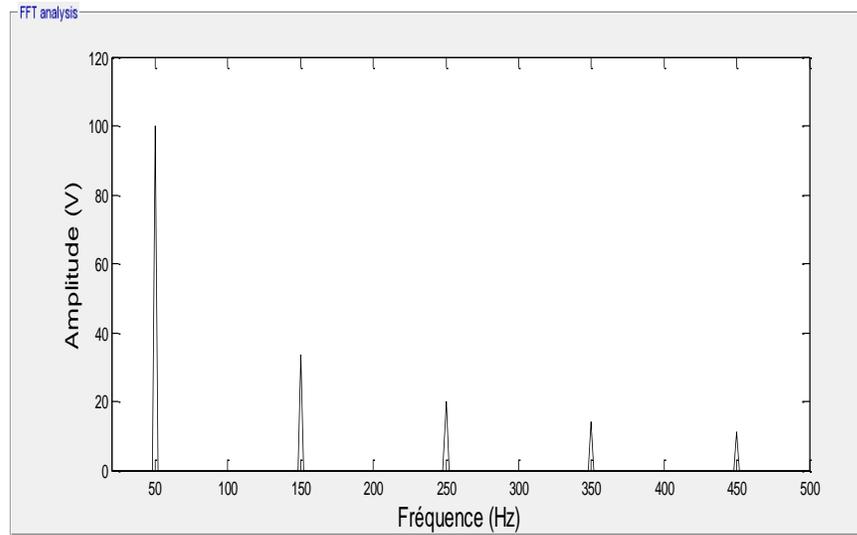


Figure II.20 : simulation de Défaut de court-circuit avec FFT

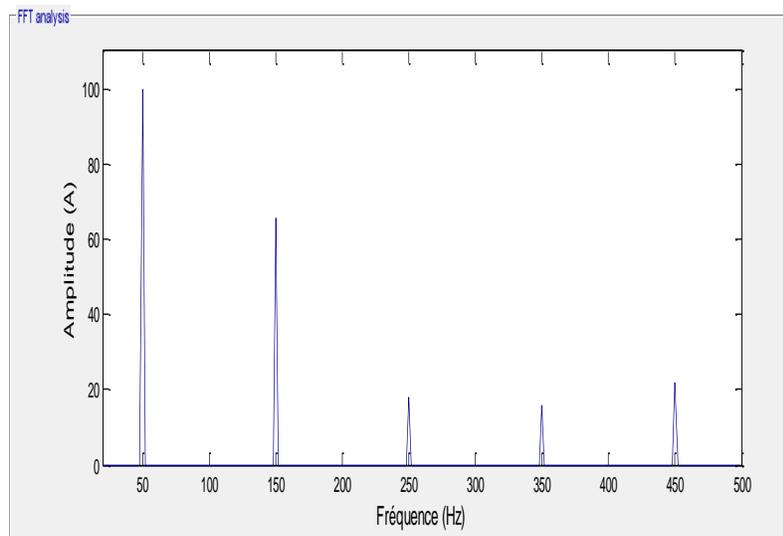


Figure II.21 : simulation de Défaut de circuit ouvert avec FFT

Chapitre 2 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique MLI.

➤ Interprétation

En état sain, la simulation avec la technique FFT nous permet d'analyser le spectre fréquentiel du signal de sortie de l'onduleur triphasé. Nous pouvons observer les différentes composantes harmoniques présentes dans le signal.

En appliquant un court-circuit, on observe l'apparition des nouveaux harmoniques avec une augmentation d'amplitude.

Dans le cas de circuit-ouvert on constate l'augmentation d'amplitude ces harmoniques.

2.5. Conclusion

Ce chapitre présente une étude sur l'onduleur triphasé et son principe de fonctionnement, ainsi que la partie commande utilisant la technique de modulation de largeur d'impulsion (MLI). La MLI vise à atteindre des objectifs spécifiques de commande. Différentes techniques de commande MLI sont également explorées.

Ensuite La partie simulation aborde la MLI sinusoïdale et ses différentes configurations en présence de défauts tels que les courts-circuits et les circuits ouverts. De plus, une simulation FFT est réalisée pour analyser les résultats. Ces analyses et simulations permettent d'approfondir notre compréhension de l'onduleur triphasé et de sa commande, et de mieux appréhender les défauts qui peuvent survenir.

Enfin, La FFT joue un rôle crucial dans cette étude car elle permet d'analyser les signaux générés par l'onduleur triphasé. Elle permet de décomposer ces signaux en leurs composantes fréquentielles, facilitant ainsi l'identification des problèmes et des défauts éventuels. Cette analyse spectrale fournit des informations essentielles pour évaluer les performances de l'onduleur et optimiser sa conception et sa commande. En somme, la FFT est un outil précieux pour une étude approfondie de l'onduleur triphasé et sa fiabilité.

Chapitre 3: Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

3.1. INTRODUCTION

Ce chapitre se concentre sur l'étude d'un onduleur triphasé à base de MOSFET (transistor à effet de champ à grille isolée) en utilisant la technique d'analyse de la réponse fréquentielle FRA pour détecter les défauts.

Nous abordons une présentation du MOSFET et explore les raisons qui justifient son choix en tant que composant clé dans de nombreux systèmes électroniques. Nous commencerons par examiner le mode de fonctionnement du MOSFET.

Ensuite, nous présenterons également un modèle de circuit équivalent simplifié du MOSFET, qui permet de représenter les caractéristiques de commutation de manière plus concise.

Enfin, nous aborderons les différents défauts qui peuvent survenir dans un MOSFET. Nous examinerons en détail les défauts de court-circuit et circuit-ouvert, nous expliquerons comment ces défauts se manifestent et quelles en sont les conséquences sur le fonctionnement du transistor.

3.2. PRESENTATION DU MOSFET :

3.2.1. Raisons de choix de mosfet :

Les MOSFETs conviennent parfaitement aux convertisseurs basse tension et à haute fréquence (inférieure à 100 V et supérieure à 50 kHz), tandis que les IGBTs sont utilisés pour les tensions supérieures à 300 V et les fréquences généralement inférieures à 20 kHz. Les GTOs et les thyristors sont spécifiquement conçus pour les applications haute tension (> 1 kV) et les forts courants (> 1 kA). La figure III.1 présente une classification de ces composants de puissance en fonction de la fréquence de commutation [34].

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

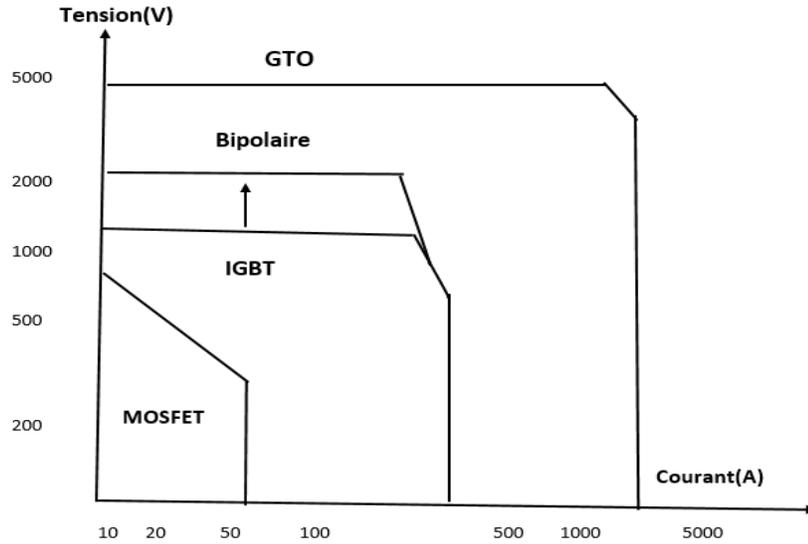


Figure III.1 : a) La comparaison entre les interrupteurs de tension en fonction de courant.

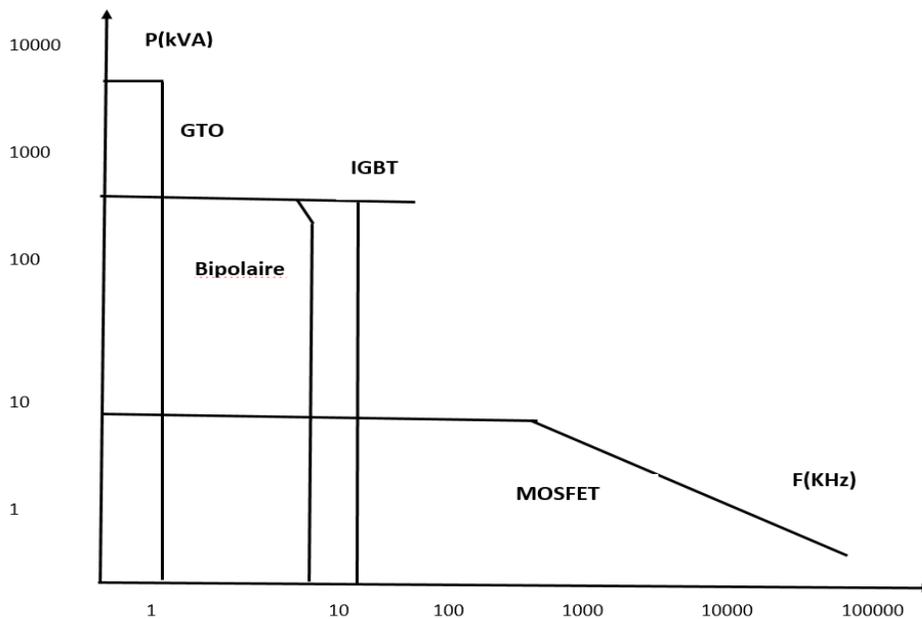


Figure III.2: b) La comparaison entre les interrupteurs de puissance en fonction de fréquence.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

➤ Voici quelques-unes des raisons pour lesquelles on choisit le MOSFET :

1. Haute impédance d'entrée : Les MOSFETs ont une impédance d'entrée très élevée, ce qui signifie qu'ils nécessitent très peu de courant pour les contrôler. Cela permet de réduire la consommation d'énergie et de faciliter l'interfaçage avec d'autres circuits.
2. Vitesse de commutation rapide : Les MOSFETs peuvent commuter rapidement entre les états ON et OFF, ce qui les rend idéaux pour les applications de commutation de puissance et les circuits numériques.
3. Faible résistance à l'état passant (RDS (on)) : Les MOSFETs ont généralement une faible résistance lorsqu'ils sont dans l'état passant, ce qui permet de réduire les pertes de puissance et d'améliorer l'efficacité énergétique.
4. Compatibilité avec les technologies CMOS : Les MOSFETs sont compatibles avec les processus de fabrication CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), ce qui permet de les intégrer facilement dans les circuits intégrés modernes.
5. Disponibilité en différentes configurations : Les MOSFETs sont disponibles en configurations N-Channel et P-Channel, ce qui permet de les utiliser dans diverses topologies de circuits, telles que les convertisseurs DC-DC, les régulateurs de tension et les amplificateurs.

3.2.2. Structure et principe de fonctionnement d'un transistor mosfet :

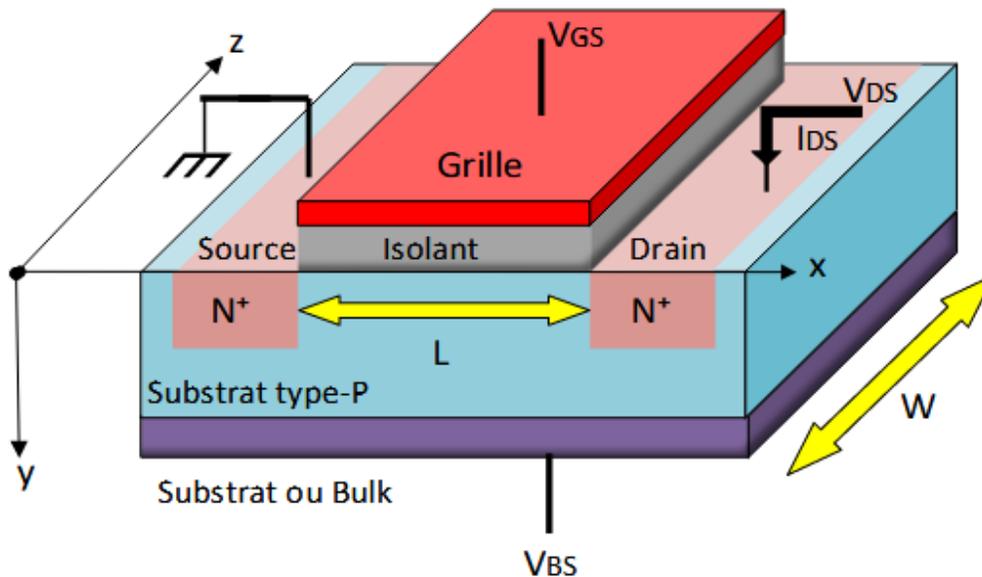
Le transistor MOS est composé d'un substrat semi-conducteur sur lequel une couche mince diélectrique, telle que le dioxyde de silicium SiO_2 ou le nitrure de silicium Si_3N_4 , est développée. Une électrode de grille conductrice, généralement en métal ou en poly silicium fortement dopé, est déposée sur l'isolant.

Deux régions fortement dopées, appelées la source et le drain, sont formées de chaque côté de la grille dans le substrat [35].

Il est important de noter que la structure du transistor MOS est symétrique, ce qui signifie que la source et le drain ne peuvent pas être distingués tant que les tensions de polarisation ne sont pas appliquées. La région où le potentiel est le plus élevé est appelée le drain, tandis que l'autre région est généralement mise à la masse et est appelée la source [36].

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

L'espace entre la source et le drain est connu sous le nom de canal. Il existe deux types de transistors MOS : les NMOS, où le canal de conduction est constitué d'électrons, et les PMOS, où le canal de conduction est constitué de trous. Dans cet article, nous nous intéressons uniquement au transistor NMOS. Un transistor NMOS en silicium est fabriqué à partir d'un substrat semi-conducteur, généralement du silicium de type P. Les zones fortement dopées de type N, appelées source et drain, agissent comme des réservoirs d'électrons de chaque côté du canal. Une fine couche de SiO₂ isole le canal d'une métallisation qui forme l'électrode de grille. La tension appliquée à l'électrode de grille permet de contrôler la conductivité du canal. En choisissant judicieusement la tension de grille, il est possible de permettre le passage d'un courant électrique entre la source et le drain.



FigureIII.3: Transistor MOSFET.

Lorsque la tension de grille V_G d'un transistor est positive, elle repousse les trous (porteurs majoritaires) et attire les électrons (porteurs minoritaires) du substrat de type P. Lorsqu'une des jonctions (source ou drain) est polarisée en inverse par une tension de drain V_D , et que la tension V_G est suffisamment positive pour atteindre l'état d'inversion, un canal de type N

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

peut se former, assurant ainsi la continuité entre la source et le drain. Cela permet la circulation d'un courant appelé courant de drain I_D entre le drain et la source.

3.2.3. Mode de fonctionnement:

Le fonctionnement d'un transistor MOSFET repose sur la création d'un canal de conduction sous la grille, qui relie la source et le drain. Ce canal de conduction peut être formé de deux manières : soit en utilisant une couche implantée ou enterrée dans le substrat, soit en appliquant une tension à la grille [37].

3.2.4. Modèle de circuit équivalent simplifié :

Le circuit en demi-point est composé de deux dispositifs MOSFET connectés en cascade, comme illustré à la FIGURE III.4(a). Le modèle général de circuits équivalents à petit signal est illustré à la FIGURE III.4(b) et il y aura trois autres inductances parasites (L_{haut} , L_1 et L_{bas}) et une résistance parasite (R_1) entre les deux commutateurs, à l'exception des éléments des MOSFET. On peut s'attendre à ce que l'inductance extraite sauf L_1 soit supérieure à la valeur de référence de paquet car le port 1 est directement connecté entre L_{haut} et L_{bas} . Ce rapport 1 peut être considéré comme le port de sortie du circuit en demi-pont. Par conséquent, le circuit en demi-pont a cinq bornes, qui sont composées de sept inductances parasites, six condensateurs parasites et cinq résistances parasites. En raison de la symétrie de la structure du circuit en demi-pont, nous avons divisé le circuit équivalent à petit signal en partie supérieure et en partie inférieure par deux cases en pointillés rouges pour faciliter l'analyse ultérieure[38].

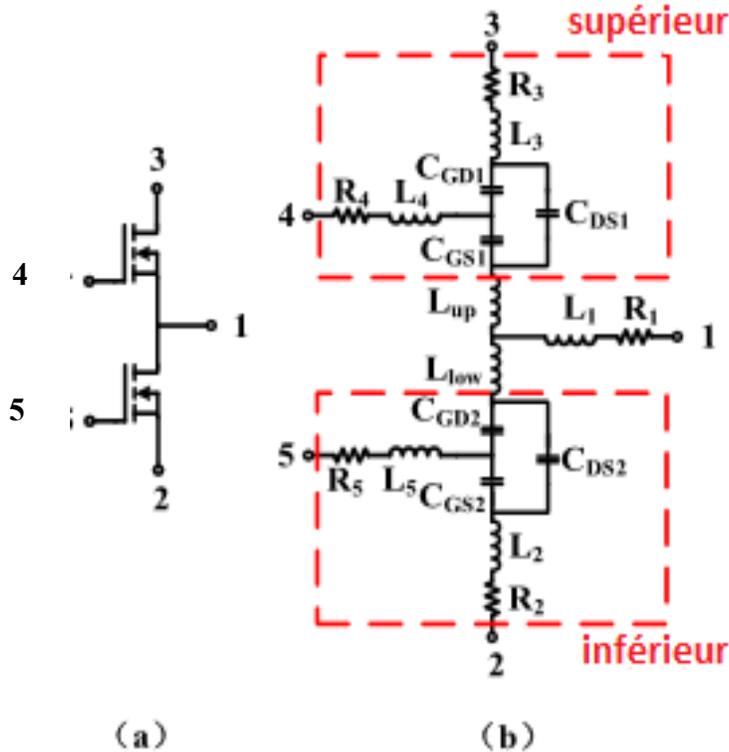


Figure III.4 : Modèle de circuits [34].

Cependant, ce modèle général est difficile à analyser intuitivement, principalement parce que la capacité de la connexion en triangle n'est pas facile à calculer. Si nous voulons utiliser la théorie d'extraction des paramètres du circuit de second ordre mentionné ci-dessus, nous pouvons convertir la connexion en triangle en connexion en étoile pour simplifier l'analyse, comme le montre la FIGURE III.5. Les capacités connectées en étoile peuvent être converties en capacités connectées en triangle via (4)-(6) et la conversion est adaptée simultanément aux MOSFET supérieur et inférieur.

$$C_{GS} = \frac{C_G * C_S}{C_G + C_D + C_S}$$

$$C_{GD} = \frac{C_G * C_D}{C_G + C_D + C_S}$$

$$C_{DS} = \frac{C_D * C_S}{C_G + C_D + C_S}$$

III.1

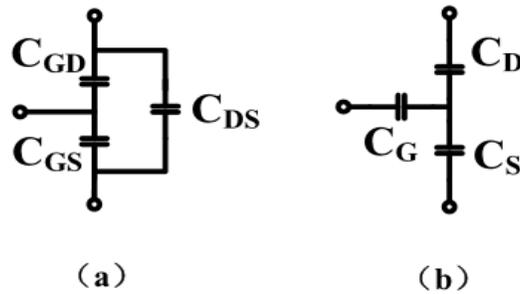


Figure III.5 : Type de connexion des capacités inter électrodes.

Par conséquent, pour la commodité de l'analyse dans cet article, le modèle équivalent à petit signal du circuit de la FIGURE III.4 (a) peut être représenté par le circuit équivalent de la FIGURE III.6. De cette manière, chaque branche peut être considérée comme un circuit en série RLC, ce qui facilite l'analyse simplifiée de différentes configurations de mesure [38].

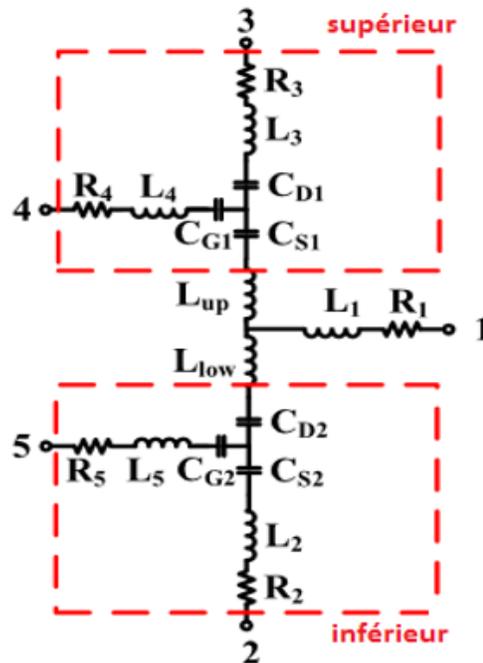


Figure III.6 : Modèle de circuit équivalent à petit signal simplifié.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

3.2.5. Les différents défauts dans le mosfet :

- Rupture du drain-source:

Une tension excessive entre le drain et la source peut provoquer une dégradation du composant.

Lorsque la tension drain-source dépasse la tension maximale spécifiée par le fabricant, cela peut entraîner une rupture du canal semi-conducteur et une dégradation irréversible du MOSFET [39].

- Rupture de la grille :

Une tension excessive entre la grille et la source peut provoquer une dégradation de l'oxyde de grille.

L'oxyde de grille est un matériau isolant qui sépare la grille du canal semi-conducteur. Lorsque la tension grille-source dépasse la tension maximale spécifiée par le fabricant, cela peut entraîner une rupture de l'oxyde de grille et une dégradation irréversible du MOSFET [40].

- Courant de fuite:

Un courant de fuite élevé peut être causé par des défauts dans l'oxyde de grille ou des impuretés dans le matériau semi-conducteur.

Le courant de fuite est un courant indésirable qui traverse le MOSFET même lorsqu'il est censé être éteint. Les défauts dans l'oxyde de grille ou les impuretés dans le matériau semi-conducteur peuvent créer des chemins de conduction non intentionnels, augmentant ainsi le courant de fuite [41].

3.3. LA TECHNIQUE FRA :

L'étude FRA (Analyse de la réponse en fréquence) est une technique utilisée pour évaluer et caractériser le comportement fréquentiel d'un système électrique ou électronique. Elle consiste à mesurer la réponse en fréquence d'un système en appliquant des signaux de test à différentes fréquences et en analysant les réponses obtenues.

Dans le contexte d'un onduleur triphasé à base de MOSFET non alimenté, une étude FRA peut être réalisée pour comprendre les caractéristiques de réponse en fréquence de

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

l'onduleur. Cela peut être utile pour évaluer la stabilité du système, détecter d'éventuels problèmes ou anomalies dans le comportement fréquentiel et optimiser la conception de l'onduleur.

3.4. PARTIE SIMULATION :

3.4.1. Etude de l'état sain :

Le tableau III.1 représente les paramètres du modèle de l'onduleur choisi, le choix de l'entrée de l'onduleur pour effectuer les essais FRA a été réalisé dans la partie ci-dessous :

Dans un premier temps nous avons pris l'entrée DC comme référence, puis les différentes possibilités entre les phases et en dernier les différentes possibilités entre phase et neutre les résultats sont représentés sur la figure III.7

Le tableau des données:

Inductance	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L _{haut}	L _{bas}
Extrait(nH)	0.041	120.0	101.2	23.1	23.2	103.3	100.3
Résistance	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	/	/
Extrait(Ω)	0.003	0.446	0.647	1.091	1.117	/	/
Capacité	C _{GD1}	C _{GS1}	C _{DS1}	C _{GD2}	C _{GS2}	C _{DS2}	/
Extrait(nF)	1.665	1.091	0.897	1.373	1.175	0.775	/
Fiche technique(nF)	1.520	1.140	0.820	1.520	1.140	0.820	/
Différence	9.54%	4.30%	9.39%	9.67%	3.07%	5.49%	/

Tableau III.1 Le tableau des données de l'onduleur triphasé à base de Mosfet

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

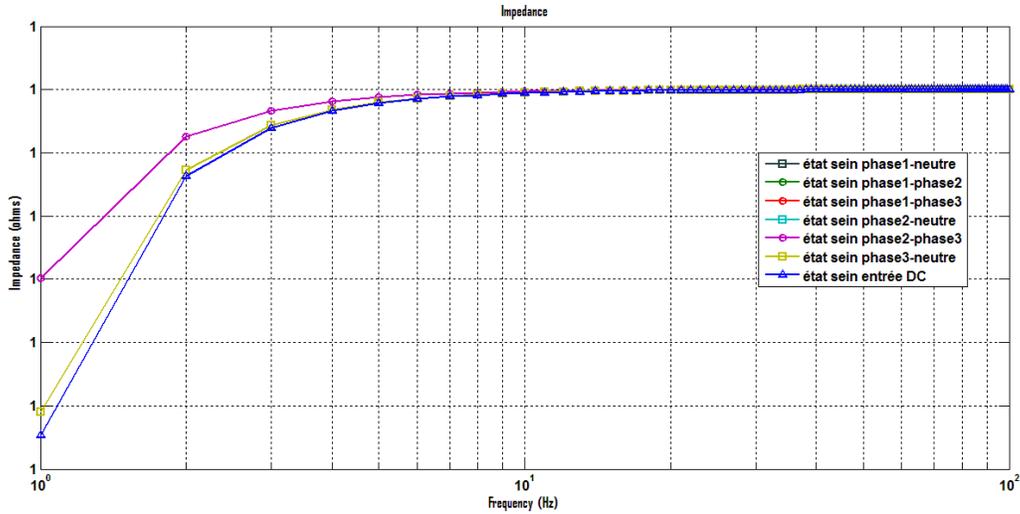


Figure III.7 : Différentes cas de l'état sein de l'impédance pour l'onduleur triphasé à base de MOSFET.

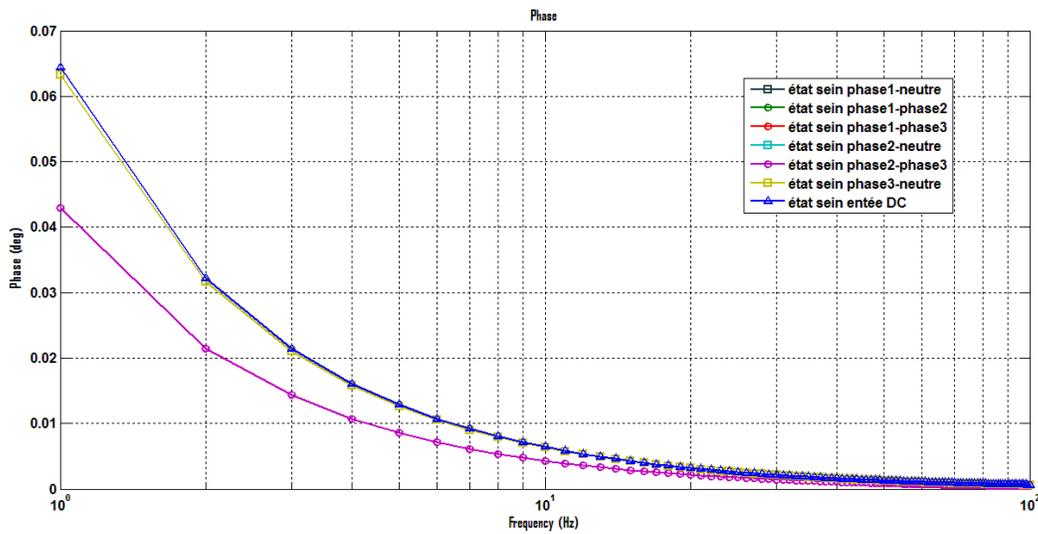


Figure III.8 : Différentes cas de l'état sein de l'impédance pour l'onduleur triphasé à base de MOSFET.

➤ Interprétation des résultats

La figure III.7 représente la réponse fréquentielle en impédance de notre onduleur, et la figure III.8 représente le déphasage en fonction de la fréquence.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

D'après les résultats obtenus, on remarque que la connexion de cette impédance mesurément entre les phases donne des ondes identiques, ainsi qu'entre les phases et le neutre. Donc, on conclut qu'on a 3 cas d'état sain comme référence :

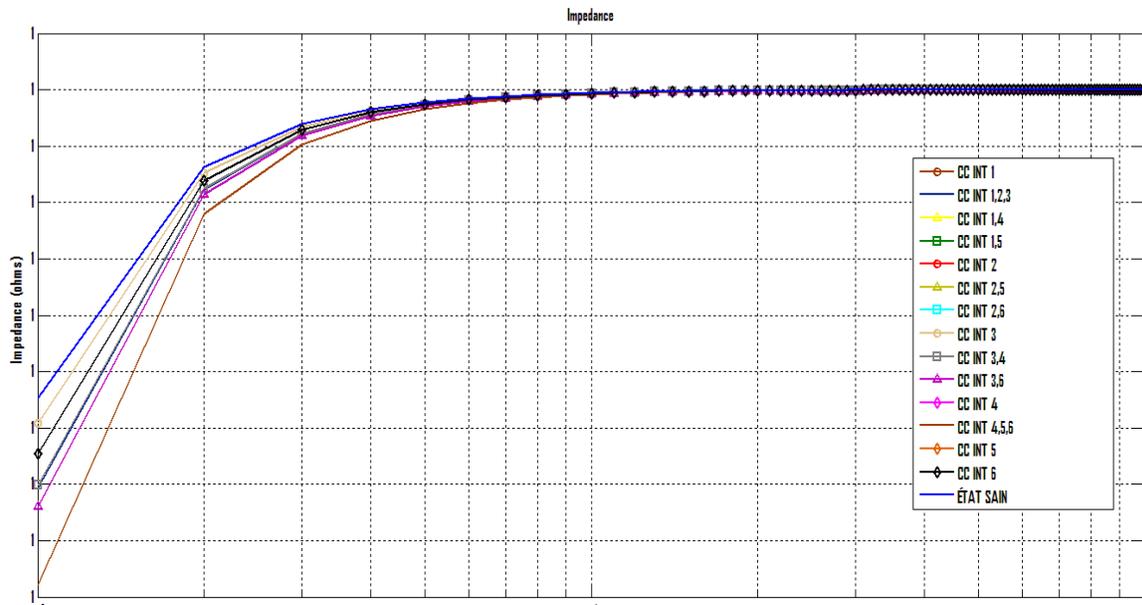
- 1- Entrée DC.
- 2- Entre phase.
- 3- Phase et neutre.

3.4.2. Défaut court-circuit

Lorsque nous avons appliqué un court-circuit drain-source, grille-drain, grille-source des interrupteurs, nous avons relevé les réponses en plaçant une impédance mesurément à l'entrée DC, entre phase, phase-neutre et en comparant chaque fois les formes de la réponse à celle de l'état sain.

3.4.2.1. Rupture du drain-source

➤ Entrée DC



➤ Interprétation

En utilisant cette configuration de mesure, nous avons observé plusieurs types des réponses lors de l'application du court-circuit. Les réponses pour les interrupteurs 1 ; 2 ; 3

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

séparément étaient identiques, tout comme les réponses pour les interrupteurs 4 ; 5 ; 6. De même, les combinaisons 1,5 ; 2,6 ; 3,4 présentait des réponses identiques, tandis que 1,4 ; 2,5 ; 3,6 présentait également des réponses identiques.

Lorsque nous avons court-circuité les interrupteurs 1, 2, 3 ; 4, 5, 6 ont générés deux réponses différentes aux autres et entre eux. Et tous ces réponses différaient de celle de l'état sain.

➤ Entre phase

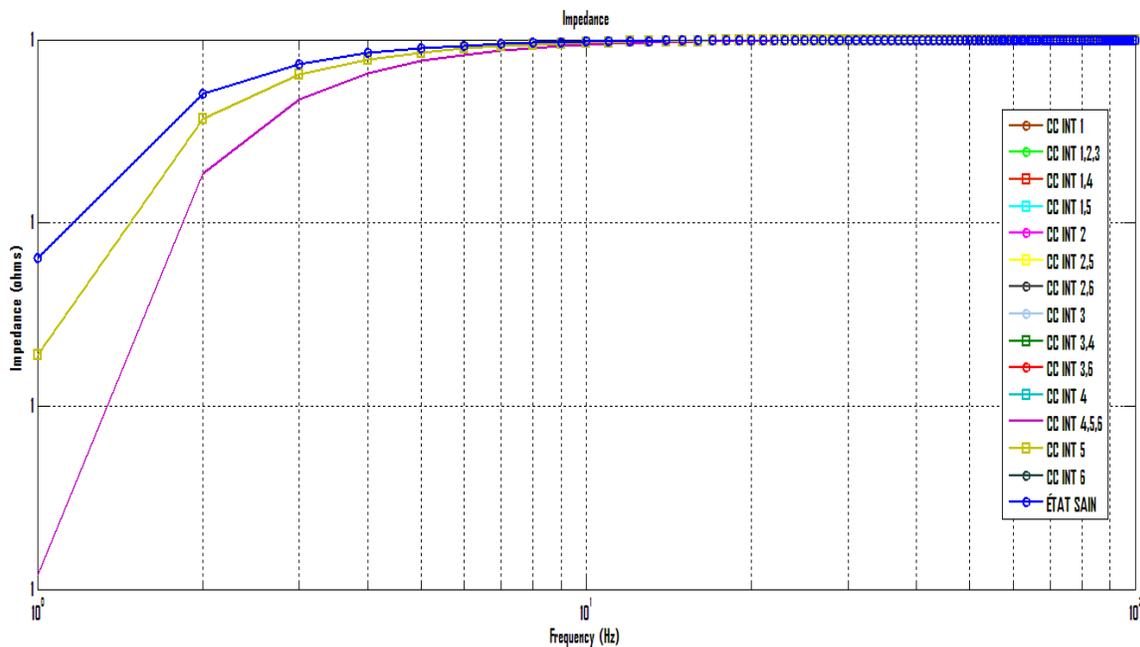


Figure III.10 : Défaits de court-circuit de drain-source entre phase.

➤ Interprétation

Lorsque nous avons relevé la réponse fréquentielle en impédance entre les phases, les résultats étaient les suivants : les réponses pour les interrupteurs 1 ; 2 étaient identiques, de même que les réponses pour les interrupteurs 2 ; 6.

Les combinaisons 1,4 ; 2,5 présentait également des réponses identiques, tout comme les combinaisons 3,4 ; 4,5. La réponse de l'état sain était identique à celle des interrupteurs 3 ; 3,6 ; 6.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

➤ Phase-neutre

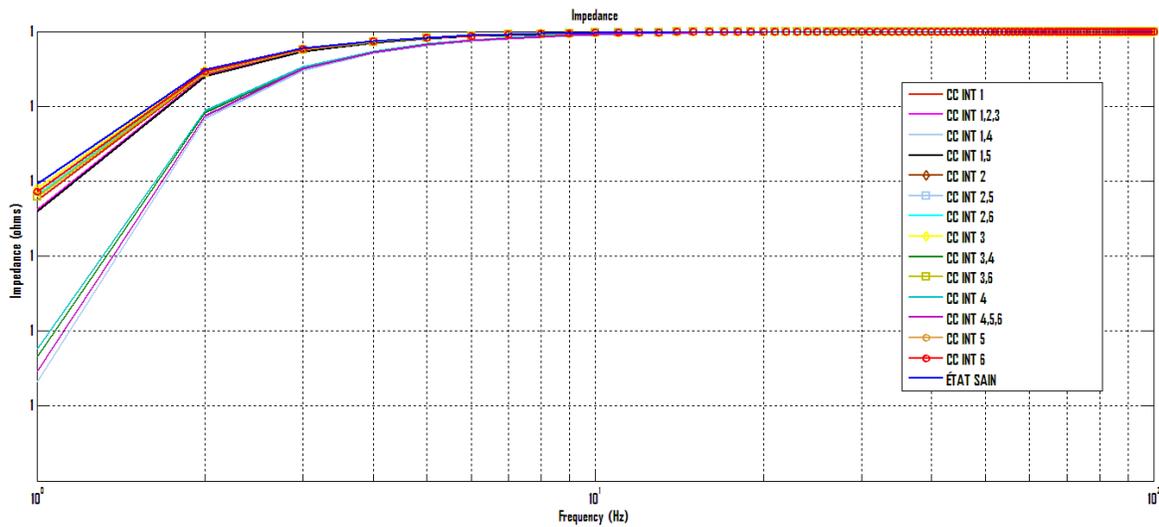


Figure III.11 : défauts de court-circuit de drain-source entre phase-neutre

➤ Interprétation

En relevant la réponse fréquentielle en impédance entre la phase et le neutre, nous avons constaté que les réponses pour les interrupteurs 2 ;3 étaient identiques, tout comme les réponses pour les interrupteurs 5 ;6.

Les combinaisons 2,5 ; 3,6 présentaient également des réponses identiques. Chaque autre combinaison avait sa propre réponse distincte.

Toutes ces réponses différaient de celle de l'état sain

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

3.4.2.2. Rupture de la grille :

✓ Court-circuit grille-drain:

➤ Entrée DC

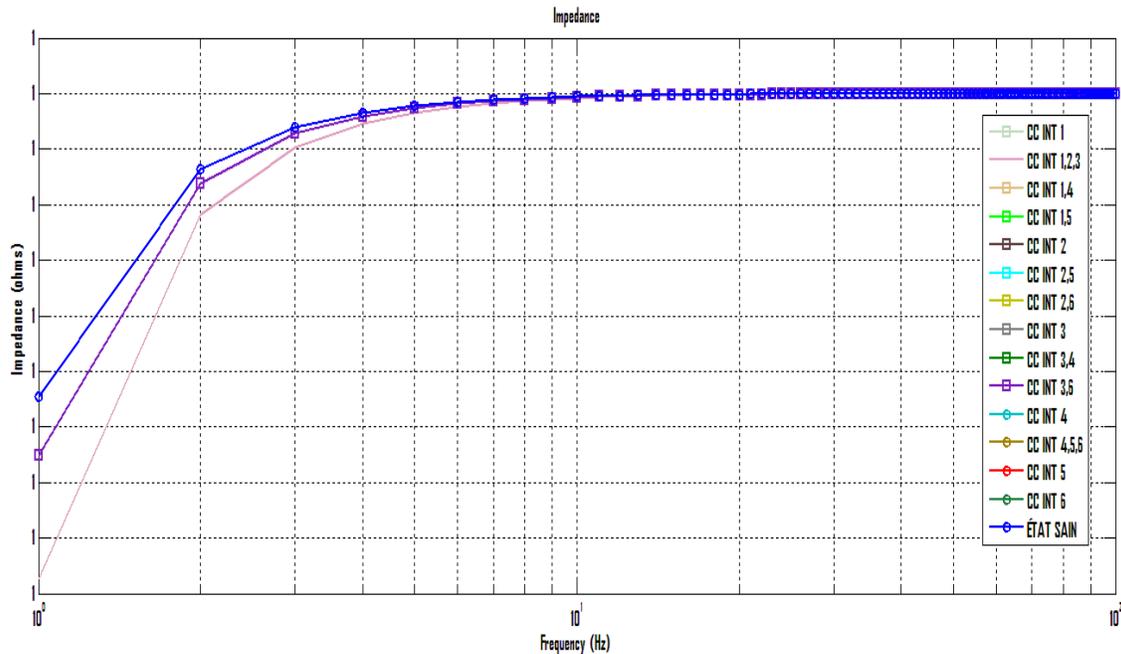


Figure III.12 : défauts de court-circuit de grille-drain à l'entrée DC.

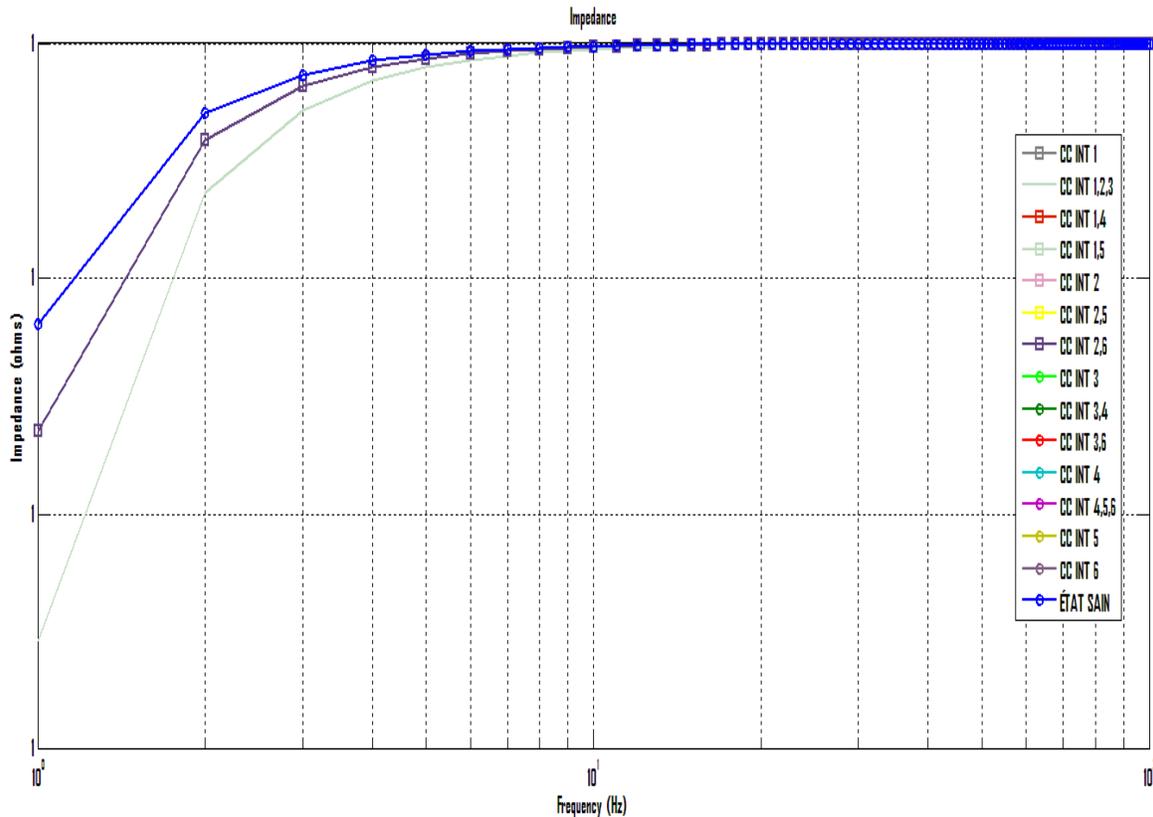
➤ Interprétation

Lorsque nous avons placé l'impédance de mesure à l'entrée DC, nous avons observé plusieurs réponses. En appliquant le court-circuit aux différents interrupteurs, nous avons remarqué que les réponses étaient identiques pour les interrupteurs 1 ; 1,4 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 2,6 ; 3 ; 3,4 ; 3,6. De même, les réponses étaient identiques pour les interrupteurs 4 ; 4,5 ; 6 ; 5 ; 6 avec l'état sain.

Cependant, la réponse de court-circuit à la fois des interrupteurs 1,2,3 simultanément était différente des autres réponses.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

➤ Entre phase



FigureIII.13 : défauts de court-circuit de grille-drain entre phase

➤ Interprétation

Lorsque nous avons placé l'impédance de mesure entre les phases, nous avons obtenus les résultats suivants :

Les réponses observées pour les interrupteurs 1 ; 1,4 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 2,6 étaient identiques. De même, les réponses étaient également similaires pour les interrupteurs 3 ; 3,4 ; 3,6 ; 4 ; 4,5,6 ; 5 ; 6 avec l'état sain.

Cependant, la réponse obtenue lors d'un court-circuit simultané sur les interrupteurs 1, 2, 3 était différente de celle des autres interrupteurs.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

➤ Phase-neutre:

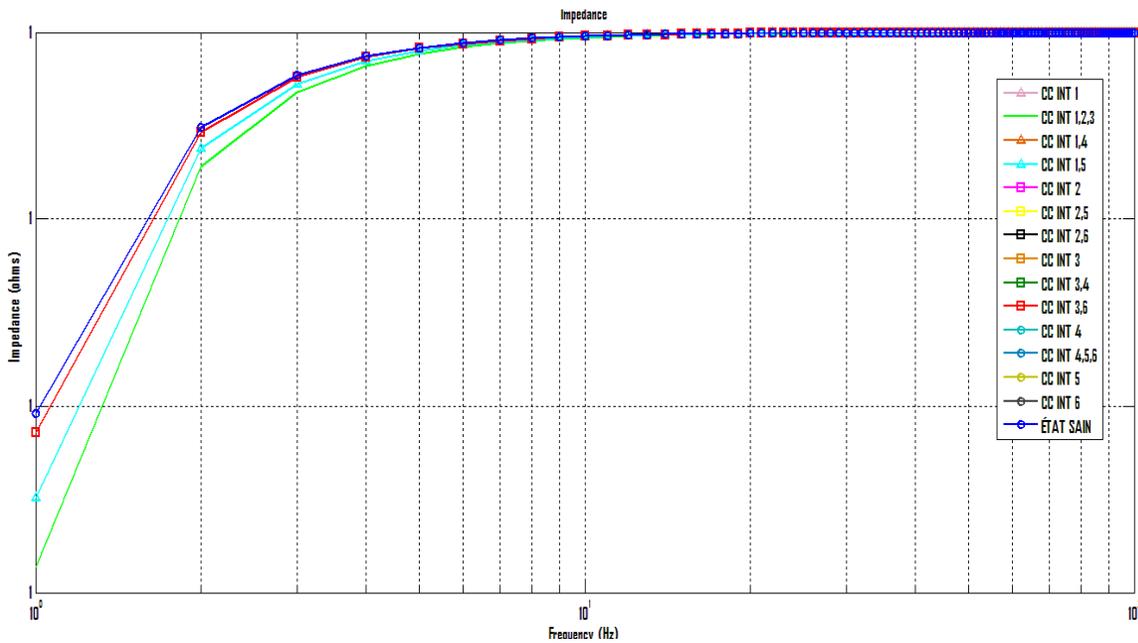


Figure III.14 : défauts de court-circuit de grille-drain à l'entrée entre phase-neutre.

➤ Interprétation

Lors de la mesure de l'impédance entre la phase et le neutre, les réponses de court-circuit des interrupteurs sont les suivantes :

- Les interrupteurs 1 ; 1,4 ; 1,5 présentent des réponses identiques.
- Les interrupteurs 4 ; 4,5 ; 4,5,6 ; 5 ; 6 présentent des réponses identiques avec l'état sain.
- Les interrupteurs 2 ; 2,5 ; 2,6 ; 3 ; 3,4 ; 3,6 présentent des réponses identiques.

Il est important de noter que les réponses de court-circuit des interrupteurs 1, 2, 3 simultanément sont différentes des autres réponses.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

✓ Court-circuit grille-source:

➤ Entrée DC:

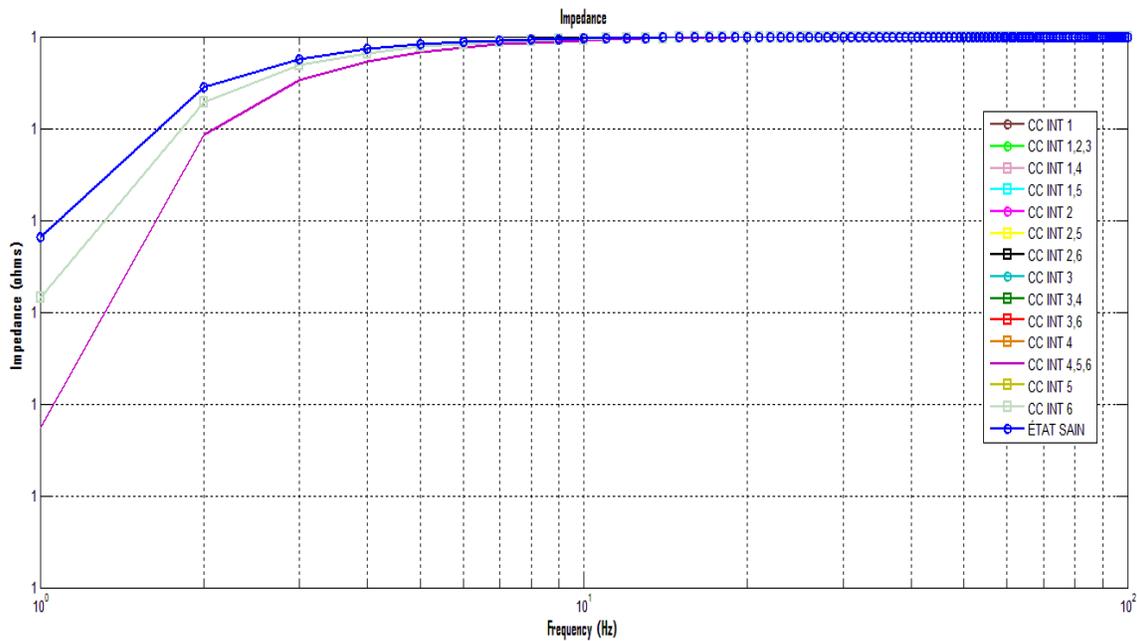


Figure III.15 : défauts de court-circuit de grille-source à l'entrée DC.

➤ Interprétation

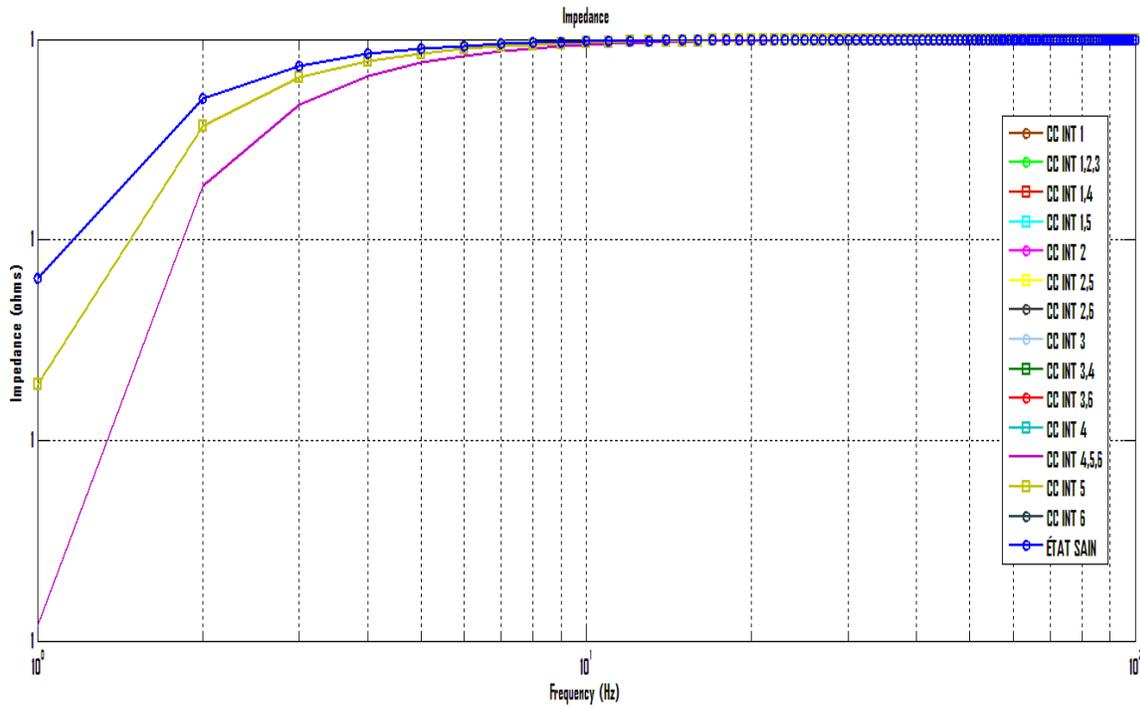
Lors de la mesure de l'impédance à l'entrée en courant continu (DC), plusieurs réponses sont observées lors de l'application du court-circuit. Les résultats obtenus sont les suivants :

- Les interrupteurs 1 ; 1,2,3 ; 2 ; 3 présentent des réponses identiques à celle de l'état sain.
- Les interrupteurs 1,4 ; 1,5 ; 2,5 ; 2,6 ; 3,4 ; 3,6 ; 4 ; 5 ; 6 présentent des réponses identiques.

Il est important de noter que la réponse de court-circuit des interrupteurs 4,5,6 simultanément diffère des autres réponses.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

➤ Entre phase:



FigureIII.16 : défauts de court-circuit de grille-source entre phase

➤ Interprétation

Lorsque nous mesurons l'impédance entre les phases, nous obtenons les résultats suivants :

Les réponses suivantes sont identiques à celle de l'état sain : 1 ; 1,2,3 ; 2 ; 2,6 ; 3 ; 3,6 ; 6.

De plus, les réponses suivantes sont également identiques : 1,4 ; 1,5 ; 2,5 ; 3,4 ; 4 ; 5.

Cependant, il est important de noter que la réponse en court-circuit des interrupteurs 4, 5, 6 diffère de celles des autres interrupteurs.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

➤ Phase-Neutre

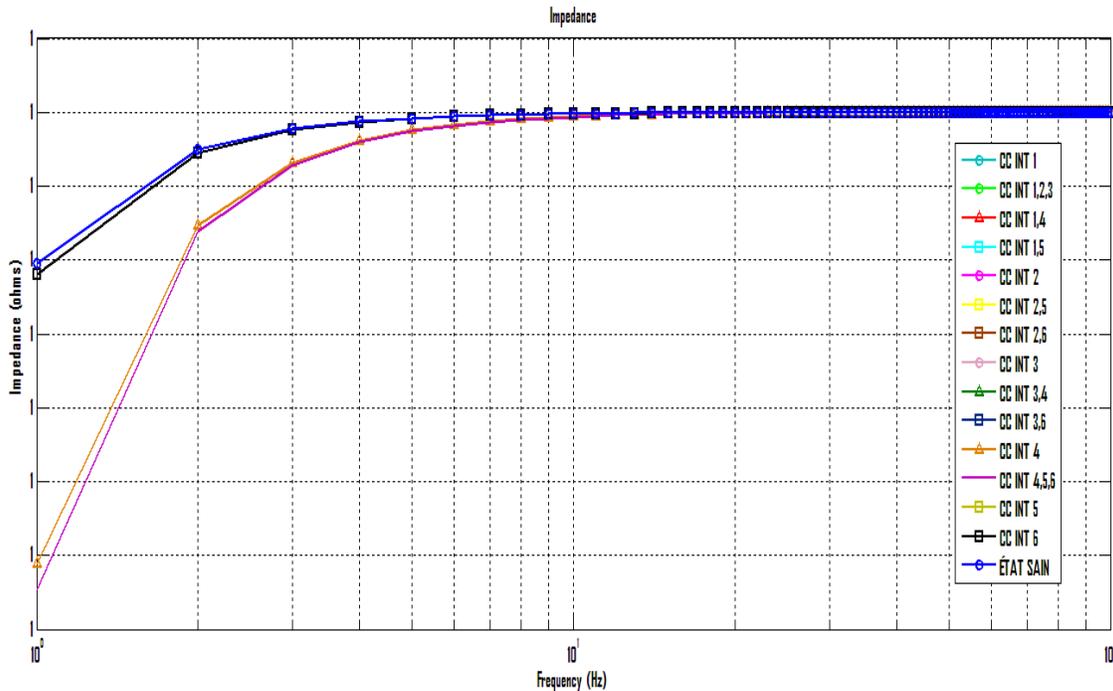


Figure III.17 : défauts de court-circuit de grille-source entre phase-neutre.

➤ Interprétation

En effectuant des mesures d'impédance entre la phase et le neutre, nous avons obtenu les résultats suivants pour les interrupteurs en situation de court-circuit :

Les réponses de court-circuit pour les interrupteurs 1 ; 1,2,3 ; 2 ; 3 sont identiques à l'état sain.

De même, les réponses de court-circuit pour les interrupteurs 1,4 ; 3,4 ; 4 sont identiques.

Les réponses de court-circuit pour les interrupteurs 1,5 ; 2,5 ; 2,6 ; 3,6 ; 5 ; 6 sont également identiques.

Cependant, il est important de souligner que la réponse en court-circuit des interrupteurs 4, 5, 6 diffère de celles des autres interrupteurs.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

3.4.3. Défaut circuit-ouvert :

Lorsque nous avons appliqué un circuit ouvert entre le drain et la source, la grille des interrupteurs ainsi qu'entre les bras de l'onduleur, nous avons mesuré les réponses en plaçant une impédance mesurément à l'entrée DC, entre phase, phase-neutre et en comparant chaque fois les formes de la réponse à celle de l'état sain.

3.4.3.1. Rupture du drain-source:

➤ Entrée DC:

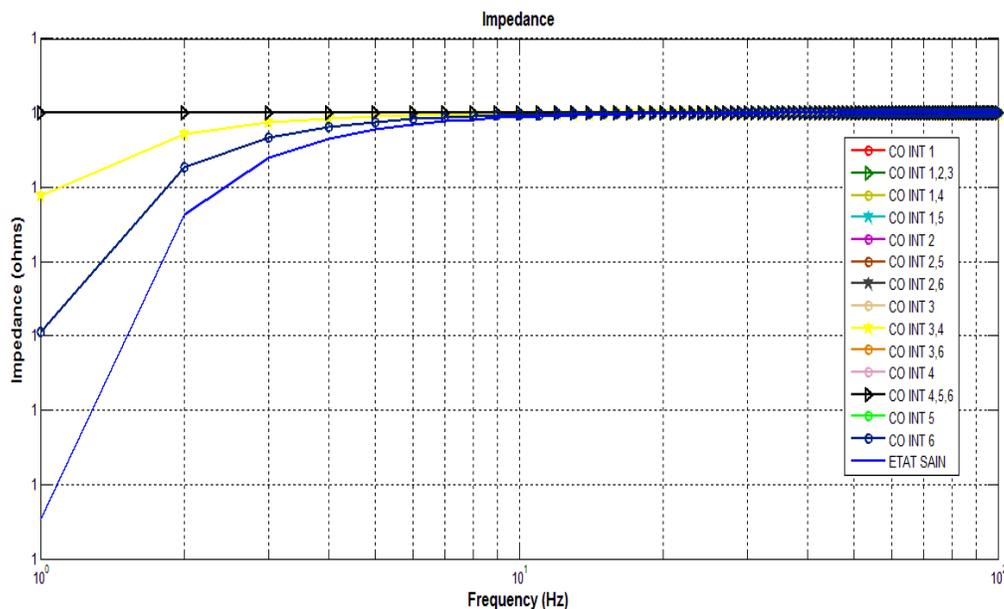


Figure III.18 : défauts de circuit-ouvert de drain source à l'entrée DC.

➤ Interprétation :

En plaçant la mesure d'impédance à l'entrée en courant continu, nous avons observé plusieurs formes d'empreintes en utilisant le circuit ouvert pour les interrupteurs 1 ;1,4 ;2 ;2,5 ;3 ;3,6 ;4 ;5 ;6 ces empreintes sont identiques, tout comme les empreintes 1, 2, 3 ;4, 5, 6.

De même, les empreintes 1,5 ; 2,6 ; 3,4 sont également identiques. Cependant, toutes ces ondes sont différentes de celle de l'état sain.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

➤ Entre phase

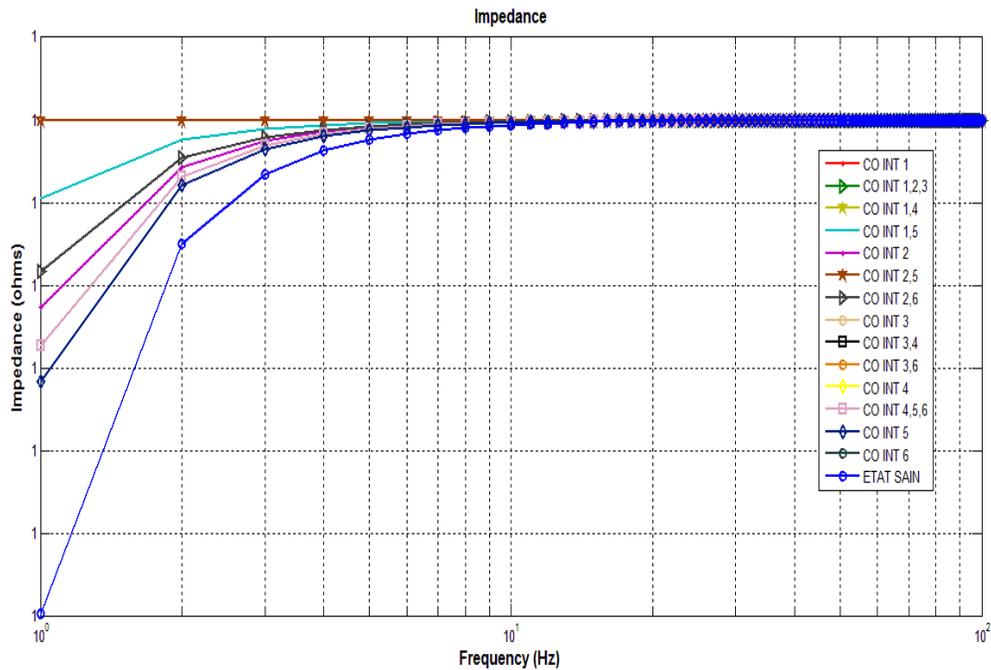


Figure III.19 : défauts de circuit-ouvert de drain source entre phase

➤ Interprétation

L'interprétation suivante concerne les résultats obtenus en plaçant la mesure d'impédance entre les phases. Voici les observations :

- Les réponses suivantes sont également identiques phases 1 ; 2.
- Les réponses mesurées des interrupteurs 1, 2, 3 ; 2, 6 sont identiques.
- Les réponses mesurées des interrupteurs 1, 4 ; 2, 5, sont identiques.
- Les réponses mesurées des interrupteurs 3, 4 ; 4, 5, 6 sont identiques.
- Les réponses mesurées des interrupteurs 4 ; 5 sont identiques.
- Les réponses mesurées des interrupteurs 3, 3.6 et 6 sont identiques à celle de l'état sain.
- Pour 1,5 on a une réponse distincte.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

➤ Phase-Neutre:

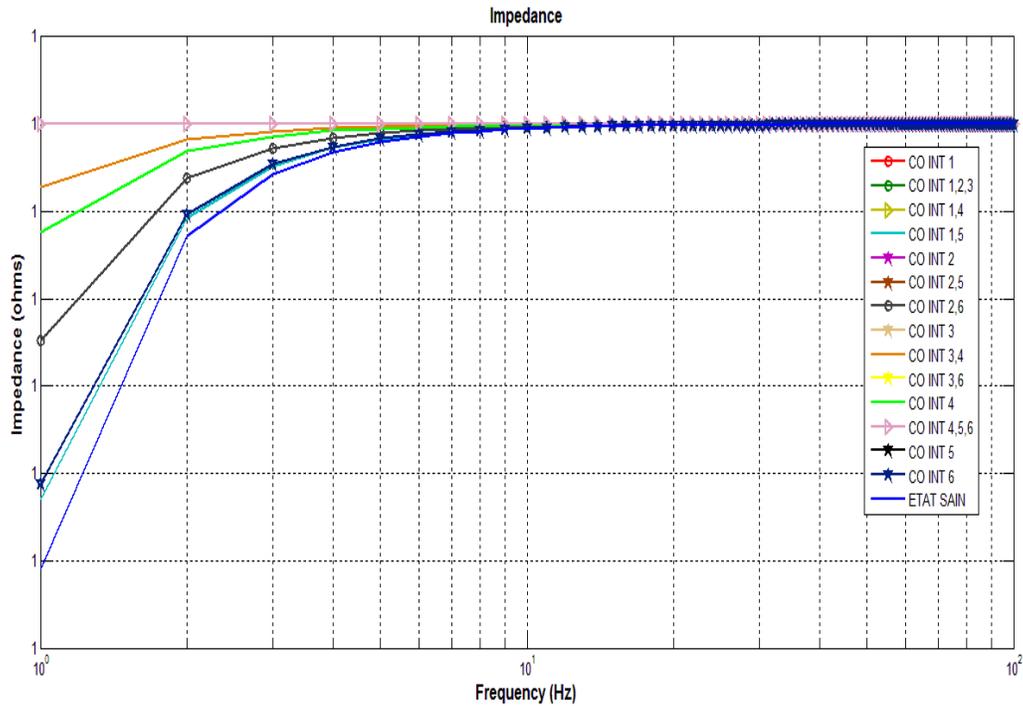


Figure III.20: défauts de circuit-ouvert de drain source entre phase-neutre.

➤ Interprétation :

En plaçant la mesure d'impédance entre la phase et le neutre, les résultats suivants sont observés pour les empreintes de court-circuit des interrupteurs :

- Les empreintes de court-circuit pour les interrupteurs 1 ; 1, 2, 3 ; 2,6 sont identiques.
- Les empreintes de court-circuit pour les interrupteurs 1, 4 ; 4, 5, 6 sont identiques entre eux.
- Les empreintes de court-circuit pour les interrupteurs 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,6 ; 5 ; 6 sont identiques.
- Les empreintes des interrupteurs 1, 5 ; 3,4 ; 4 sont différents par rapport aux autres et entre eux.
- Toutes ces empreintes de court-circuit sont différentes de celle de l'état sain.

3.4.3.2. Rupture de la grille:

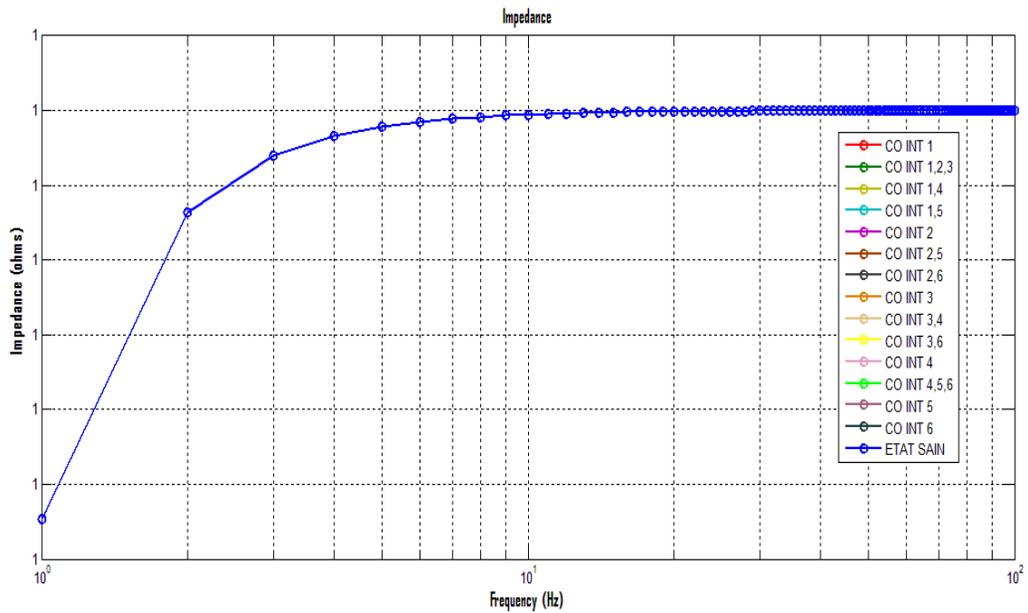


Figure III.21 : défauts de circuit-ouvert de grille

➤ Interprétation

On constate des résultats trouvés que dans ce cas de défauts la technique FRA ne détecte pas les différentes situations appliquées.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

3.4.3.3. Circuit-Ouvert entre les bras :

➤ Entre DC:

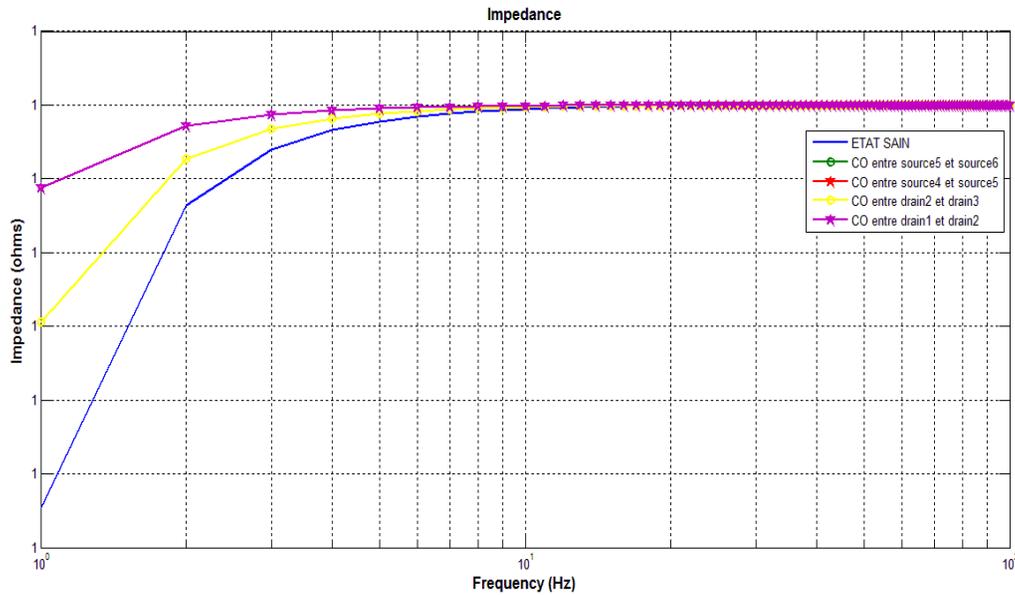


Figure III.22 : défauts de circuit-ouvert entre les bras de l'onduleur à l'entrée DC.

➤ Interprétation :

En plaçant une mesure d'impédance à l'entrée, on observe plusieurs réponses en appliquant un circuit ouvert entre les bras. Lorsque l'ouverture se situe entre les sources de l'interrupteur 5 et 6, on obtient une réponse identique à celle de l'ouverture entre les drains de l'interrupteur 2 et 3. De même, lorsque l'ouverture se trouve entre la source 4 et 5, on obtient une réponse identique à celle de l'ouverture entre les drains de l'interrupteur 1 et 2. Toutes ces réponses diffèrent de l'état sain.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

➤ Entre phase:

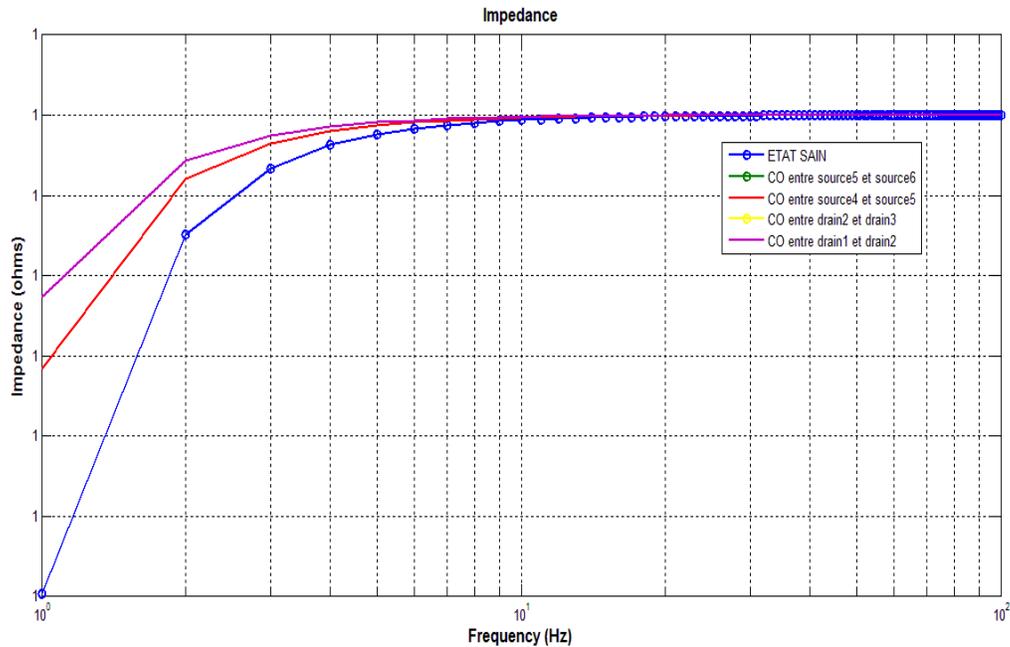


Figure III.23 : défauts de circuit-ouvert entre les bras de l'onduleur entre phase.

➤ Interprétation :

En plaçant une mesure d'impédance entre phases, on observe plusieurs réponses en appliquant un circuit ouvert entre les bras. Lorsque l'ouverture se situe entre les sources de l'interrupteur 5 et 6, on obtient une réponse identique à celle de l'ouverture entre les drains de l'interrupteur 2 et 3 et tous deux sont identiques à la réponse de l'état sain. De même, lorsque l'ouverture se trouve entre la source 4 et 5, on obtient une réponse identique à celle de l'ouverture entre les drains de l'interrupteur 1 et 2.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

➤ Phase-Neutre:

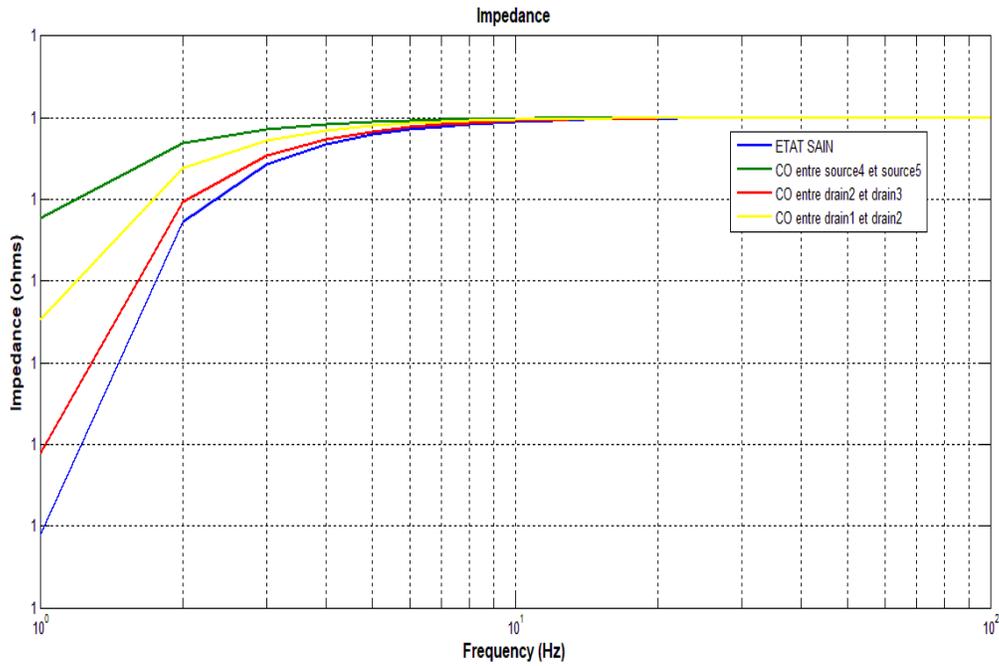


Figure III.24 : défauts de circuit-ouvert entre les bras de l'onduleur entre phase-neutre.

➤ Interprétation :

En effectuant des mesures d'impédance entre la phase et le neutre, nous avons obtenu des réponses différentes entre eux et à celle de l'état sain en situation de circuit-ouvert entre les bras.

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

- Comparaison entre la technique FFT et la technique FRA

Caractéristiques	FFT	FRA
Domaine d'application	Analyse et traitement des signaux	Contrôle et rétroaction des systèmes
Type de traitement	Transformée de Fourier rapide	Boucle de rétroaction automatique
Objectif principal	Analyse fréquentielle	Contrôle et régulation
Temps de calcul	Très efficace, optimisé pour les grands ensembles de données	Dépend de la complexité du système, peut être plus lent
Méthode de calcul	Algorithme itératif	Boucle de rétroaction basée sur les mesures
Données d'entrée	Signal temporel	Mesures ou capteurs du système
Données de sortie	Spectre de fréquence du signal	Commandes de contrôle ou ajustements du système
Applications courantes	Traitement du signal audio, analyse spectrale	Contrôle des systèmes de régulation industrielle, contrôle des processus
Résolution fréquentielle	Dépend de la taille de l'échantillon et de la durée de l'enregistrement	Dépend de la plage de fréquences analysées et de la précision des mesures
Précision des mesures	Dépend de la résolution fréquentielle et de la quantification du signal	Dépend de la précision des mesures et des artefacts introduits par les équipements de mesure
Interprétation des résultats	Représente la composition fréquentielle du signal dans le domaine fréquentiel	Indique comment le système réagit aux différentes fréquences
Avantages	Calcul rapide pour de grandes quantités de données	Permet de réguler et d'ajuster en temps réel
Inconvénients	Ne fournit pas d'informations sur les variations temporelles du signal	Peut-être complexe à mettre en œuvre, nécessite une modélisation précise du système

Tableau III.2 Comparaison entre la technique FFT et la technique FRA

Chapitre 3 : Modélisation des onduleurs triphasés avec la technique FRA.

3.5. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons étudié en détail un onduleur triphasé à base de MOSFET non alimenté. Nous avons examiné différents cas d'états sains de l'impédance et analysé les résultats des simulations. Nous avons identifié trois cas d'état sain de référence : l'entrée DC, entre les phases et entre la phase et le neutre.

Ensuite, nous avons exploré les différents défauts susceptibles de se produire dans l'onduleur triphasé à base de MOSFET et discuté de leurs causes possibles. Ces défauts comprennent les courts-circuits et les circuits ouverts.

Enfin, nous avons présenté les résultats de la simulation pour chaque type de défaut. Nous avons étudié les ruptures du drain-source et de la grille, ainsi que les courants de fuite. Nous avons également examiné les connexions entre les blocs pour les circuits ouverts.

La compréhension de ces défauts est essentielle pour le diagnostic et la résolution des problèmes dans les systèmes d'onduleurs triphasés à base de MOSFET

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude approfondie des onduleurs est essentielle pour comprendre leur fonctionnement, leur classification, ainsi que leur application dans différents domaines. Au cours de cette étude, nous avons examiné en détail les composants électroniques utilisés dans les onduleurs, les critères de choix de ces composants et les types de défauts auxquels les onduleurs peuvent être confrontés.

Nous avons également exploré les onduleurs triphasés, qui jouent un rôle crucial dans de nombreux systèmes électriques. Nous avons examiné leur principe de fonctionnement, les techniques de commande utilisées, et nous avons effectué des simulations pour comprendre l'impact des défauts tels que les courts-circuits et les circuits-ouverts.

En outre, nous avons étudié les transistors MOSFET et la technique d'analyse de réponse en fréquence (FRA). Nous avons examiné la structure, le fonctionnement et les différents modes des transistors MOSFET, ainsi que les défauts qui peuvent survenir. La technique FRA nous a permis d'analyser la réponse en fréquence des systèmes électriques et de comprendre comment les défauts affectent les performances des transistors MOSFET.

L'ensemble de ces connaissances et études nous a permis de tirer des conclusions importantes. Nous avons réalisé l'importance des onduleurs dans de nombreux domaines, tels que le réglage de la vitesse de rotation des moteurs synchrones, l'alimentation de secours, le transfert d'énergie entre des réseaux de fréquences différentes et les alimentations sans interruption (ASI).

De plus, nous avons compris que les onduleurs triphasés sont essentiels pour assurer une alimentation électrique stable et fiable dans de nombreux systèmes industriels. Les techniques de commande MLI ont été identifiées comme des outils efficaces pour contrôler les onduleurs triphasés et minimiser les perturbations.

En ce qui concerne les transistors MOSFET, nous avons reconnu leur importance dans les onduleurs en raison de leurs caractéristiques de commutation rapides et de leur capacité à gérer des tensions élevées. La technique FRA s'est avérée précieuse pour l'analyse des transistors MOSFET et la détection des défauts potentiels.

Conclusion générale

Enfin, il convient de mentionner la différence entre la FFT (Transformée de Fourier rapide) et la FRA (Analyse de réponse en fréquence). La FFT est une technique mathématique utilisée pour transformer un signal temporel en son spectre fréquentiel correspondant. Elle est largement utilisée pour l'analyse spectrale des signaux et permet de déterminer les composantes de fréquence présentes dans un signal.

Quant à la FRA, il s'agit d'une méthode d'analyse qui consiste à appliquer des signaux de test à un système électrique ou électronique et à mesurer sa réponse en fréquence. Elle permet d'évaluer les caractéristiques de réponse en fréquence d'un système, notamment sa bande passante, ses résonances et ses atténuations à différentes fréquences. La FRA est utilisée pour caractériser et diagnostiquer les composants électriques et électroniques, y compris les onduleurs triphasés, afin d'identifier d'éventuels problèmes.

L'optimisation des onduleurs triphasés. La FFT permet d'analyser les signaux de sortie des onduleurs et de déterminer les composantes de fréquence qui peuvent affecter leur fonctionnement. Cela permet de détecter d'éventuelles harmoniques ou perturbations indésirables dans le signal de sortie.

D'autre part, la FRA est utilisée pour évaluer la réponse en fréquence des onduleurs triphasés et de leurs composants. Elle permet de caractériser la bande passante du système, d'identifier les résonances ou les atténuations à différentes fréquences et d'optimiser ainsi les performances globales de l'onduleur.

En combinant l'analyse FFT et la FRA, il est possible de comprendre en détail le comportement des onduleurs triphasés, d'identifier les problèmes potentiels et de prendre des mesures correctives appropriées. Cela contribue à améliorer la fiabilité, la stabilité et l'efficacité des onduleurs triphasés, tout en minimisant les perturbations électromagnétiques et les défaillances.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] N, Mohan, Undeland, T. M., Robbins, W. P. Power Electronics: Converters, Applications, and Design (3e édition). John Wiley, Sons 2002.
- [2] M, Pinard, convertisseurs et électronique de puissance et puissance de commande, description, mise en œuvre Dunode, Paris, ISBN 978-10-049674-7, p116.
- [3] K, Merabet, Commande d'un onduleurs triphasés basée sur la dispersion de la tension Triphasée , mémoire présente à l'université du Québec à Trois-Rivières Comme Exigence Partielle de la maitrise en génie électrique Maitrise. Université du Québec, 2011.
- [4] S. Guy, B. Robert, L. Francis, Les convertisseurs de l'électronique de puissance la Conversion alternatif (volume 4). Edition tec-doc, 1995.
- [5] T. Wildi : Electrotechnique, 3eme édition, éditions de Boeck université 1999.
- [6] A, Nadia, B, Wahiba, Modélisation et commande d'un onduleur MLI, Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Systèmes Electriques & Automatique SEA 2008.
- [7] N, B, Spaldin, Transistors à semi-conducteurs bipolaires, Encyclopédie des semi-conducteurs, vol. 2, Elsevier, pp. 345-349, 2021.
- [8] S. M. Sze et K. K. Ng, Transistors à effet de champ à semi-conducteur à oxyde métallique (MOSFET), Physique des semi-conducteurs : Dispositifs et applications, John Wiley, Sons, pp. 249-260, 2016.
- [9] M, H, bipolaires à grille isolée (IGBT), Électronique de puissance : Circuits, dispositifs et applications, Pearson, pp, 311-315, Rashid, Transistors, 2018.
- [10] B, W, Williams, Thyristors à semi-conducteurs à quatre couches (SCR), Dispositifs électroniques de puissance : Physique, caractéristiques, et fonctionnement, Springer, pp. 129-137, 2018.
- [11] R, Ramshaw, Triac, Commutateur électronique bidirectionnel, Handbook of Power Electronics, Elsevier, pp. 665-670, 2019.

Bibliographie

- [12] M, H, Rashid, Triac et Diac, Dispositifs semi-conducteurs pour le contrôle de puissance', *Électronique de puissance : Circuits, dispositifs et applications*, Pearson, pp. 326-332, 2018.
- [13] B, W, Williams, Gate-Off Thyristor (GTO), *Dispositifs électroniques de puissance, Physique, caractéristiques et fonctionnement*, Springer, pp. 189-195, 2018.
- [14] N, Mohan., T, M., Undeland, W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*. John Wiley, Sons, 2003.
- [15] M, H, Rashid., *Power Electronics Handbook: Devices, Circuits, and Applications*. Academic Press, 2017.
- [16] D, G, Holmes., T Lipo, *A Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice*. John Wiley & Sons, 2003.
- [17] R, W, Erickson, D, Maksimovic, *Fundamentals of Power Electronics*. Springer Science, Business Media, 2001.
- [18] B, R, Pelly, *Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters: Operation, Control, and Performance*. John Wiley, Sons, 1991.
- [19] F, Mohamed, I., El-Sebah, M, Osama, Fault diagnostics in an inverter feeding an induction motor using fuzzy logic, *J Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol.4, no. 1, pp.10-17, 2016, doi:10.1016/j.jesit.2016.10.0052314-7172.
- [20] S. Guy, B. Robert, L. Francis, *Les convertisseurs de l'électronique de puissance la Conversion alternatif (volume 4)*. Edition tec-doc, 1995.
- [21] B, Abdelkader, *Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche Bond Graph*, Mémoire de Magister en électrotechniques, université ferhat abbas de setif , 2009.
- [22] M, Gerin , *Onduleurs et harmoniques*, Cahiers techniques N°159, 1992.
- [23] https://fr.wikipedia.org/wiki/Alimentation_sans_interruption#Constitution, consulter le 25/05/2023.

Bibliographie

- [24] G, Segulier, F. Labrique, Les Convertisseurs de l'Électronique de Puissance, Tome 4, La Conversion Continu-Alternatif, Edition Lavoisier, Technologie et Documentation, 1989.
- [25] C, Fethi, B, Rabah, commande d'un onduleur triphasé « Etude Expérimentale », mémoire master, université Msila, 2014.
- [26] K, B, Bose, Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall, 2001.
- [27] N, Mohan, M, T, Undeland, P, W, Robbins, Power Electronics, Converters, Applications, and Design, John Wiley, Sons, 2002.
- [28] H, M, Rashid, Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications, Prentice Hall, 2013.
- [29] B, Boubakr, commande vectorielle d'une machine asynchrone polyphasée alimentée par onduleur à trois niveaux, application sur la machine heptaphasée, mémoire de magister, école national polytechnique d'Alger, 2010.
- [30] D, Youssef, B, A, Djamel, modélisation et commande d'un onduleur triphasé pilote par Mili Astructre multi niveaux, mémoire de master en génie électrique, université Kasdi Merbah, Ouargla, 2012.
- [31] J, Rodriguez, J. Sheng lai, F. Zheng peng, Multilevel inverters: A survey of topologies, controls, and applications, IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 49, no.4, Aout 2002.
- [32] A, Meroufel, Contrôle de la machine asynchrone, Université Djillali Liabès –Sidi Bel-Abbès, 2009.
- [33] B, Imad Eddine, Commande en V/f en boucle ouverte du moteur à induction basé sur la modulation de largeur d'impulsion vectorielle hybride, Mémoire de Master université de m'sila,2014.
- [34] P, LEFRANC, Étude, conception et réalisation de circuits de commande d'IGBT de forte puissance, thèse de doctorat, INSA, Lyon,2005.
- [35] C, T, Sah, Mosfet modeling for Vlsi simulation theory and practice, World Scientific, pp.69-287, 2006.

Bibliographie

- [36] J, P, Colinge, C, A, Colinge, Physics of semiconductor Devices, Kluwer Academic Publishers, pp.166-200, 2002.
- [37] S, Sheng Li, Semiconductor Physical electronics second edition, Springer, pp.582-583, 2006.
- [38] D, A, Frickey, Conversions between S, Z, Y, H, ABCD, and T parameters which are valid for complex source and load impedances, IEEE Trans. Microw. Theory Techn. vol. 42, no. 2, pp. 205–211, Feb, doi, 10.1109/22.275248, 1994.
- [39] Y, Yang, al, Investigation of MOSFET failure mechanisms under ESD stress, Microelectronics Reliability 42.9-11 1503-1508, 2002.
- [40] Wu, Xingbi, al, A comprehensive study of gate oxide breakdown in MOSFETs, IEEE Transactions on Electron Devices 46,4,735-743, 1999.
- [41] W, Chen, al, Leakage current mechanisms in MOSFETs, Microelectronics Reliability 42.9-11-1497-1502, 2002.
- [42] D, Bilal, B, Azeddine, T, Mostefa, Diagnosis of an inverter IGBT open-circuit fault by hilbert-huang transform application. Traitement du Signal, Vol. 36, No. 2, pp. 127-132. 2019, doi:10.18280/ts.360201

ملخص

تركز هذه الدراسة على العاكسون ثلاثي الطور وتتكشف تشغيلها ومزاياها من حيث الكفاءة والقوة ، فضلا عن تقنيات التحكم والمحاكاة المرتبطة بها. وتناقش اثنين من التقنيات الأساسية: تحليل استجابة التردد (FRA) للكشف عن العيوب المحتملة في المكونات الكهربائية والإلكترونية ، وتحويل فورييه السريع (FFT) لتحليل إشارات الإخراج من العاكسون والكشف عن التوافقيات والاضطرابات غير المرغوب فيها. هاتان التقنيتان متكاملتان وتلعبان دورا حاسما في تحسين أداء الأنظمة الكهربائية والإلكترونية.

الكلمات الرئيسية: العاكسون ثلاثي الطور ، والكفاءة ، والطاقة ، وتقنية التحكم ، والمحاكاة ، وتقنية FFT ، تقنية FRA

Résumé

Cette étude se concentre sur les onduleurs triphasés et explore leur fonctionnement, leurs avantages en termes de rendement et de puissance, ainsi que les techniques de commande et les simulations associées. Deux techniques essentielles sont abordées : l'Analyse de Réponse en Fréquence (FRA) pour détecter les défauts potentiels des composants électriques et électroniques, et la Transformée de Fourier Rapide (FFT) pour analyser les signaux de sortie des onduleurs et détecter les harmoniques et les perturbations indésirables. Ces deux techniques sont complémentaires et jouent un rôle crucial dans l'optimisation des performances des systèmes électriques et électroniques.

Mots clés : onduleurs triphasés, Rendement, Puissance, Technique de commande, Simulation, Technique FFT, Technique FRA

Abstract

This study focuses on three-phase inverters and explores their operation, their advantages in terms of efficiency and power, as well as control techniques and associated simulations. Two essential techniques are discussed: Frequency Response Analysis (FRA) to detect potential defects in electrical and electronic components, and the Fast Fourier Transform (FFT) to analyze the output signals of the inverters and detect harmonics and unwanted disturbances. These two techniques are complementary and play a crucial role in optimizing the performance of electrical and electronic systems.

Key words: Three-phase inverters, Efficiency, Power, Control technique, Simulation, FFT technique, FRA technique