

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالأغواط
UNIVERSITÉ AMAR TELIDJI LAGHOUAT
كلية التكنولوجيا
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE



DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de
Master Académique En Électrotechnique
Spécialité : Machines électriques

THÈME

**Réalisation d'un Banc d'Essai pour Étudié les
Perturbations Electriques de Réseau BT
Générer par Différents Charges
- Cas d'une Machine Electrique -**

Présenté par :

Bilal DJebbari
Ahmed Kabara

Proposé / Dirigé par : M. SAROUTE

Soutenu le : 0../0../ 2023

Devant le Jury composé de :

Président	Prof.	Université de AMAR TELIDJI
Examinateur	Prof.	Université de AMAR TELIDJI
Encadreur	Prof. M. SAROUTE	Université de AMAR TELIDJI

REMERCIEMENTS

Alhamdulillah

Tout d'abord, j'aimerais exprimer ma reconnaissance envers mon encadreur, Monsieur Saroute Mohammed. votre expertise, vos conseils éclairés et votre disponibilité ont été d'une valeur inestimable pour moi. Vous m'avez guidé tout au long du processus de recherche, en m'encourageant à explorer de nouvelles idées et en me poussant à donner le meilleur de moi-même. Votre engagement envers mon projet a été exemplaire, et je suis vraiment reconnaissant(e) de l'opportunité que vous m'avez offerte de travailler sous votre direction.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers mes professeurs et mes encadrants universitaires, dont les connaissances approfondies et les commentaires constructifs ont grandement enrichi mon travail. Votre expertise dans votre domaine respectif a éclairé ma réflexion et a contribué à la qualité de mon mémoire.

Je tiens également à remercier mes amis et ma famille pour leur soutien constant tout au long de cette aventure. Votre présence encourageante et votre compréhension face à mes longues heures de travail ont été d'un réconfort inestimable. Votre soutien émotionnel m'a permis de garder le cap et de persévérer dans les moments difficiles.

Enfin, je voudrais exprimer ma gratitude envers tous les participants de mon étude, qui ont généreusement consacré leur temps et ont partagé leurs expériences personnelles. Sans leur coopération, cette recherche n'aurait pas été possible.

Ce mémoire représente le résultat d'un travail acharné, d'efforts continus et de dévouement. Vos contributions ont joué un rôle essentiel dans sa réussite. Je suis honoré(e) et reconnaissant(e) d'avoir été entouré(e) d'une équipe aussi formidable.

DEDICACES

Ce travail dédié à :

Ma mère,

Mon père,

Ma femme,

« Une idée est sans valeur, Construire un avion en a peu, Voler vaut tout !

» Otto Lilienthal

B. DJEBBARI

DEDICACES

Ce travail dédié à :

Ma mère,

Mon père,

Ahmed Kabara

ملخص

الهدف من هذه المذكرة هو تطوير منصة اختبار لدراسة الاختلالات الكهربائية في شبكة الجهد المنخفض. يمكن أن تكون للاختلالات الكهربائية تداعيات ضارة على تشغيل المعدات الكهربائية، مما يؤدي إلى حدوث أعطال أو حتى انهيارها. من أجل فهم وتحليل هذه الظواهر بشكل أفضل، من الضروري وجود أداة قياس عالية الأداء ودقيقة. سيشمل العمل تصميم وإعداد منصة الاختبار، بالإضافة إلى جمع وتحليل بيانات القياس.

ستمكننا النتائج من فهم أفضل للآليات التي تنتشر فيها الاختلالات الكهربائية في شبكة الجهد المنخفض، وتحديد استراتيجيات لحماية وإدارة هذه الاختلالات. تتضمن منصة الاختبار المقترحة مجموعة من أجهزة القياس واستخراج البيانات لوصف الاختلالات الكهربائية في شبكة الجهد المنخفض. كما أنها مجهزة بأجهزة توليد الاضطرابات، مما يتيح محاكاة حالات اختلال مختلفة.

يمكن استخدام منصة الاختبار لقياس وتحليل الاختلالات الكهربائية، بهدف فهم أفضل للآليات المعنية وتحديد الحلول التي يجب تنفيذها لمنع أو تقييد مثل هذه الاختلالات. وبالتالي، يمكن استخدامها في مشاريع البحث وتطوير المعدات الجديدة أو التدريب للمحترفين في قطاع الكهرباء. تنقسم المذكرة إلى عدة أجزاء، بما في ذلك عرض الأساسيات، وتصميم وبناء منصة الاختبار، وتحليل بيانات القياس، والمحاكاة الرقمية، واقتراح حلول لإدارة الاضطرابات في شبكة الجهد المنخفض. نتائج هذه الرسالة مفيدة للمهندسين والمحترفين العاملين في مجال الكهرباء، وكذلك لمديري شبكات التوزيع، من أجل فهم وإدارة الاختلالات في شبكة الجهد المنخفض وتحسين جودة الطاقة الكهربائية المزودة للعملاء.

الكلمات المفتاحية

شبكة الجهد المنخفض، الاختلالات، الاضطرابات الكهرومغناطيسية، المعايير، التشخيص، المحولات، منصة الاختبار، المحرك الكهربائي.

Abstract

The aim of this thesis is to develop a test bench for studying electrical disturbances in the low-voltage (LV) network. Electrical disturbances can have harmful consequences on the operation of electrical equipment, leading to malfunctions or even breakdowns. For better understanding and analysis of these phenomena, it is therefore necessary to have a high-performance, accurate measurement tool. The work will involve designing and setting up the test bench, as well as collecting and analyzing the measurement data.

The results obtained will enable us to gain a better idea of the mechanisms by which electrical disturbances propagate in the LV network, and to identify strategies for protecting against and managing these disturbances. The proposed test bench comprises a set of measurement and data acquisition devices for characterizing electrical disturbances in the LV network. It is also equipped with disturbance generation devices, enabling different disturbance situations to be simulated.

The test bench can be used to measure and analyze electrical disturbances, with a view to gaining a better understanding of the mechanisms involved and identifying the solutions to be implemented to prevent or limit such disturbances. It can thus be used in research projects, new equipment development or training for professionals in the electrical sector. The dissertation will be divided into several parts, including a literature review, the design and construction of the test bench, the analysis of measurement data, numerical modeling and the proposal of solutions for the management of harmonic disturbances in the LV network. The results of this dissertation will be useful for engineers and professionals working in the field of electricity, as well as for distribution network managers, in order to better understand and manage harmonic disturbances in the LV network and improve the quality of electrical power supplied to customers.

Keywords

Low-voltage network, harmonics, electromagnetic disturbances, standards, diagnostics, inverter, test bench, electrical motor.

RÉSUMÉ

La présente thèse a pour objectif la réalisation d'un banc d'essai permettant d'étudier les perturbations électriques dans le réseau basse tension (BT). Les perturbations électriques peuvent avoir des conséquences néfastes sur le fonctionnement des équipements électriques, entraînant des dysfonctionnements voire des pannes. Afin de mieux comprendre et d'analyser ces phénomènes, il est donc nécessaire de disposer d'un outil de mesure performant et précis. Le travail impliquera la conception et la mise en place du banc d'essai, ainsi que la collecte et l'analyse des données de mesure.

Les résultats obtenus permettront de mieux comprendre les mécanismes de propagation des perturbations électriques dans le réseau BT et d'identifier les stratégies de protection et de gestion de ces perturbations. Le banc d'essai proposé est constitué d'un ensemble de dispositifs de mesure et d'acquisition de données, permettant de caractériser les perturbations électriques dans le réseau BT. Il est également équipé de dispositifs de génération de perturbations, permettant de simuler différentes situations de perturbation.

Le banc d'essai permettra ainsi de réaliser des mesures et des analyses de perturbations électriques, en vue de mieux comprendre les mécanismes en jeu et d'identifier les solutions à mettre en œuvre pour prévenir ou limiter ces perturbations. Il pourra ainsi être utilisé dans le cadre de projets de recherche, de développement de nouveaux équipements ou de formation de professionnels du secteur électrique. Le mémoire sera divisée en plusieurs parties, dont la revue de la littérature, la conception et la réalisation du banc d'essai, l'analyse des données de mesure, la modélisation numérique et la proposition de solutions pour la gestion des perturbations harmoniques dans le réseau BT. Les résultats de cette mémoire seront utiles pour les ingénieurs et les professionnels travaillant dans le domaine de l'électricité, ainsi que pour les gestionnaires de réseaux de distribution, afin de mieux comprendre et de gérer les perturbations harmoniques dans le réseau BT et d'améliorer la qualité de l'énergie électrique fournie aux clients.

Mots-clés

Le réseau Basse Tension, les harmoniques, perturbations électromagnétiques, normes, diagnostique, convertisseur, banc d'essai, moteur électrique.

LISTE DES FIGURES

Fig.I.1. Transformateur de distribution	7
Fig.I.2. Lignes électriques aériennes	7
Fig.I.3. Les dispositifs de protection et de commande.....	7
Fig.I.4. Compteur électrique.....	8
Fig.I.5. Fluctuations de tension	9
Fig.I.6. La différence entre signaux idéal et actuel.....	9
Fig.I.7. Exemple des creux de tension et coupures brèves	10
Fig.I.8. Transitoires électriques	10
Fig.I.9. Variations de la puissance active et réactive.....	11
Fig.I.10. La relation entre la puissance active et réactive, apparente	11
Fig.I.11. Représentation temporelle d'une onde déformée	12
Fig.II.1. Machine à courant continu.....	17
Fig.III.1. Courant alternatif en amont d'un redresseur en pont de Graetz débitant un courant continu parfait sur charge inductive.....	29
Fig.III.2. Gradateur et forme d'onde générer	30
Fig.III.3. Schéma onduleur monophasé.....	31
Fig.IV.2. Tension et courant d'entrée et sortie de redresseur et de la charge alimentée	36
Fig.IV.3. Taux de distorsion harmonique totale (THD).....	36
Fig.IV.4. Schéma de bloc d'un onduleur.....	37
Fig.IV.5. Tension et courant d'entrée d'un onduleur	37
Fig. IV.6. Tension et courant de la charge d'un onduleur	37
Fig.IV.7. Schéma de bloc d'un hacheur	38
Fig.IV.9. Schéma de bloc d'un gradateur	39
Fig.IV.10. Tension et courant de source et de la charge alimenté d'un gradateur.....	39
Fig.IV.14. Machine asynchrone en défaut court-circuit deux phases	41
Fig.IV.15. Tension et courants des phases d'un moteur asynchrone en défaut court-circuit deux phases.....	42
Fig.IV.16. Taux de distorsion harmonique totale (THD).....	42
Fig.IV.17. Moteur électrique branche avec un convertisseur statique pollueur	43
Fig.IV.18. Les courants des phases d'un moteur asynchrone avec une phase connectée à un redresseur	43
Fig.IV.19. Taux de distorsion harmonique totale (THD).....	44

Fig.IV.21. Courants des phases d'un moteur asynchrone en défaut avec une phase connectée à un redresseur	45
Fig.IV.22. Taux de distorsion harmonique totale (THD).....	45
Fig.V.1. La face avant de banc d'essai	55
Fig.V.3. Prise apparente	57
Fig.V.7. Voltmètre	57
Fig.V.11. Contacteur.....	57
Fig.V.12. Symbole du redresseur.	58
Fig.V.13. Schéma du redresseur réalisé	58
Fig.V.14. Alimentation stabilisée.....	58
Fig.V.15. Transformateur, circuit du redresseur réalisé, filtre et régulateur.....	58
Fig.V.16. Symbole de l'onduleur.	59
Fig.V.17. Schéma réalisé de l'onduleur.	59
Fig.V.18. Photo réel de l'onduleur.....	59
Fig.V.19. Symbole de l'Hacheur.....	60
Fig.V.20. Schéma réalisé du Hacheur.	60
Fig.V.21. Photo réel du Hacheur réalisé.....	60
Fig.V.22. Symbole du Gradateur.	61
Fig.V.23. Schéma réalisé du Gradateur	61
Fig.V.24. Photo réel du Gradateur réalisé.....	61
Fig.V.25. Tension et courant absorbés par une lampe basse consommation [14]	62
Fig.V.26. Courants statoriques à l'état sain [15]	63
Fig.V.27. Courant de phase 1 au défaut -0.5% spires (à vide) [15]	64
Fig.V.29. Courants statoriques pour un défaut de -3 % de spires sur la phase 3 (c) et la phase Isb (d)[15].....	65

LISTE DES TABLEAUX

Tab.I.1. Domaine de tensions de réseau BT	6
Tab.I.2. Allures typiques des courants harmoniques émis par les principaux équipements perturbateurs	12
Tab.II.1. Les défauts de machine asynchrone triphasée [10,11,12]	22
Tab.V.1: Tableau de rang d'harmonique. Courant des harmoniques et THD	62
Tab.V.2. Rang harmonique et le courant maximal (norme et calculé)[14]	62
Tab.V.3. Courants statorique au défaut de court-circuit.....	63
Tab.V.4. Résultats des courants statorique au défaut -3% spires en charge	64

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

BT	Basse Tension
BF	Basse fréquence
f	fréquence d'alimentation
N	vitesse nominale
N_s	vitesse de synchronisme
g	glissement
H	champ magnétique
T	période totale du signal
K_t	constante de couple électromagnétique
θ	l'angle de déphasage entre le courant et le champ magnétique.
p	nombre de paires de pôles
I_s	courant statorique
I_s	courant statorique
U_s	tension d'alimentation
Z_s	l'impédance du stator
I_r	courant rotorique
T_e	Couple électromagnétique
cos(θ)	facteur de puissance
V	tension efficace
I	courant efficace
Q	puissance réactive
I_{start}	courant de démarrage
I_{rated}	courant nominal du moteur
ΔV_{stop}	la variation de tension
THD	taux de distorsion harmonique totale
V_{AC}	tension alternative
V_{DC}	courant efficace
I_{peak}	le pic de courant
D	rapport cyclique
f_{switch}	fréquence de commutation de l'interrupteur électronique

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	I
DEDICACES	II
Résumé.....	IV
LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS.....	X
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE I : Qualité d'énergie et perturbations électromagnétiques BF	
I.1. Introduction.....	4
I.2. Qualité de l'énergie électrique.....	4
I.2.1. Normes et réglementations en matière de qualité de l'énergie électrique.....	5
I.3. Généralités sur les réseaux électriques basse tension.....	6
I.3.1. Domaine de tensions de réseau BT.....	6
I.3.2. La fréquence.....	6
I.3.3. Constitution d'un réseau basse tension	6
I.4. Généralités sur les perturbations électriques.....	8
I.4.1. Les mécanismes de perturbation réseaux électriques BT.....	8
I.4.1.1. Variations et fluctuations de tension.....	8
I.4.1.2. Les creux de tension et coupures brèves	9
I.4.1.3. Les transitoires électriques.....	10
I.4.1.4. Les perturbations électromagnétiques.....	10
I.5. Conclusion :	13
CHAPITRE II : Défauts des machines électriques et pollutions électromagnétiques BF	
II.1. Introduction.....	16
II.2. Présentation des machines électriques et de leur fonctionnement.....	16
II.2.1. Moteur à courant continu (DC)	17
II.2.2. Moteur à courant alternatif (AC).....	18
II.2.3. Moteur synchrone.....	19
II.2.4. Moteur à induction.....	19
II.3. Caractéristiques des machines électriques et leur influence sur le réseau basse tension..	20

II.4. Étude des défauts dans le système électrique de la machine et leur impact sur le réseau BT.....	22
II.5. Diagnostic des machines électriques :.....	23
II.6. Conclusion.....	24
CHAPITRE III : Pollution générée par les convertisseurs statiques	
III.1. Introduction.....	27
III.2. La pollution générer par les convertisseurs statiques.....	27
III.3. Caractéristiques des convertisseurs statiques et leur influence sur le réseau basse tension.....	28
III.3.1. Le Redresseur.....	28
III.3.2. Le Gradateur.....	29
III.3.3. L'Onduleur.....	30
III.3.4. Hacheur.....	31
III.4. Conclusion.....	32
CHAPITRE IV : Simulation d'un Convertisseur Pollueur avec un ME	
IV.1. Introduction.....	35
IV.2. Simulation de la pollution générer par les différents convertisseurs statiques.....	35
IV.2.1. Redresseur.....	35
IV.2.2. Onduleur.....	36
IV.2.3. Hacheur.....	38
IV.2.3.1. Hacheur un seul quadrant.....	38
IV.2.4. Gradateur.....	39
IV.3. Simulation de moteur asynchrone.....	39
IV.3.1. Simulation de moteur asynchrone sans défaut.....	40
IV.3.2. Simulation de moteur asynchrone avec défaut.....	41
IV.4. Simulation de moteur électrique branche avec un convertisseur statique pollueur.....	42
IV.4.1. Simulation de moteur électrique Sans défaut branche avec un convertisseur statique pollueur.....	43
IV.5. Interprétation des résultats de simulations.....	45
IV.6. Conclusion.....	51
CHAPITRE V : Élaboration et mise en œuvre du banc d'essai	
V.1. Introduction.....	54
V.2. Description et spécifications du banc d'essai.....	54
V.3.1. Choix des composants :.....	57
V.3.2. Les convertisseurs.....	57
V.3.2.1. Redresseur.....	57

V.3.2. 2. Onduleur monophasé	58
V.3.2.3. Hacheur.....	60
V.3.2.4. Le Gradateur	60
V.4. Les essais.....	62
V.4. 1.Tension et courant absorbés par une lampe basse consommation 2x15W-230 V :..	62
V.4.2. Moteur sein.....	63
V.4.2.1. Caractéristiques techniques du moteur.....	63
V.4.3. Essai moteur avec défaut statorique.....	63
V.4.4. Évaluation des effets sur le réseau et les équipements connectés :	65
V.5. Conclusion.....	66
CONCLUSION GÉNÉRALE	67
ANNEXES	69
Schéma électrique du banc d'essai des perturbations électriques.....	70
Plaque d'information de banc d'essai de défaut de bobinage :	71
Plaque d'information d'un moteur a cage avec défaut rotorique :	71
Plaque des bornes du moteur :	72
Capteur de courant LTS 25-NP :	72
Fiche technique de Lampe à Ballast électronique fluo-compacte :	73
BIBLIOGRAPHIE	75

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans le domaine de l'énergie électrique, la qualité de l'alimentation électrique est d'une importance primordiale pour assurer le bon fonctionnement des équipements connectés aux réseaux basse tension (BT). Cependant, ces réseaux sont soumis à diverses perturbations électriques qui peuvent affecter la stabilité et la fiabilité de l'alimentation. Les perturbations électriques, telles que les variations de tension, les harmoniques, les transitoires, les déséquilibres de charges, et d'autres phénomènes similaires, peuvent être générées par différents types de charges connectées au réseau.

Dans le cadre de cette mémoire de fin d'étude, nous nous intéressons à la réalisation d'un banc d'essai spécifique dédié à l'étude des perturbations électriques de réseau BT générées par différents types de charges, en mettant l'accent sur le cas d'une machine électrique. Les machines électriques, qu'elles soient utilisées comme moteurs, générateurs ou transformateurs, sont des composants essentiels des systèmes électriques industriels. Cependant, leur fonctionnement peut engendrer des perturbations électriques qui se propagent dans le réseau BT, affectant ainsi les autres équipements connectés.

L'objectif principal de ce banc d'essai est de reproduire et d'étudier de manière contrôlée les perturbations électriques générées par les différentes charges rencontrées dans un réseau BT, en se focalisant particulièrement sur les charges liées aux machines électriques. Cela permettra de mieux comprendre l'origine et les caractéristiques de ces perturbations, ainsi que leur impact sur la qualité de l'alimentation électrique du réseau BT.

La réalisation de ce banc d'essai nécessite la mise en place d'une infrastructure expérimentale sophistiquée, intégrant des instruments de mesure précis et des dispositifs de simulation adaptés. Des techniques de mesure avancées, telles que l'analyse spectrale, l'acquisition de données en temps réel et l'analyse de signal, sont utilisées pour caractériser les perturbations électriques générées par les différentes charges. De plus, des dispositifs de simulation de charges électriques sont utilisés pour reproduire les conditions de fonctionnement spécifiques des machines électriques.

Grâce à ce banc d'essai, nous pourrons obtenir des informations précieuses sur les perturbations électriques générées par les différentes charges dans un réseau BT, en particulier dans le cas d'une machine électrique. Ces informations contribueront à une meilleure compréhension des problèmes liés à la qualité de l'alimentation électrique dans les réseaux BT et permettront de développer des solutions de mitigation adaptées.

Cette mémoire de fin d'étude présente donc en détail la conception, la réalisation et les résultats obtenus à partir de ce banc d'essai dédié à l'étude des perturbations électriques de réseau BT générées par différents types de charges, en se concentrant spécifiquement sur le cas d'une machine électrique. Les connaissances acquises à travers cette étude permettront de proposer des recommandations pratiques pour améliorer la qualité de l'alimentation électrique et assurer le bon fonctionnement des équipements connectés aux réseaux BT.

CHAPITRE I

**Qualité d'énergie et perturbations
électromagnétiques BF**

I.1. Introduction

La qualité de l'énergie électrique est un élément essentiel dans notre société moderne, où l'électricité est omniprésente. Que ce soit pour alimenter nos foyers, nos entreprises ou nos infrastructures, nous dépendons d'une alimentation électrique fiable et de haute qualité. Au fil des décennies, le développement technologique et l'accroissement de la demande en électricité ont posé de nouveaux défis en matière de qualité de l'énergie. La qualité de l'énergie électrique est définie par la stabilité de la tension, la fréquence, la continuité de l'alimentation et l'absence de perturbations indésirables.

I.2. Qualité de l'énergie électrique

La qualité de l'énergie électrique se réfère à la capacité d'un système électrique à fournir une alimentation électrique propre, stable et fiable. La qualité de l'énergie est mesurée en termes de différentes caractéristiques telles que la tension, la fréquence, la forme d'onde, les perturbations électromagnétiques, le bruit électrique, etc.

Une alimentation électrique de haute qualité est essentielle pour assurer le bon fonctionnement des équipements électriques et électroniques, ainsi que pour garantir la sécurité des personnes et des biens. Une mauvaise qualité de l'énergie peut entraîner des pannes d'équipement, des interruptions de service, une dégradation de la performance des équipements, des risques pour la sécurité des personnes et des biens, ainsi que des coûts d'exploitation et de maintenance élevés. [1,3,4]

Les normes de qualité de l'énergie électrique varient selon les pays et les régions, mais certaines caractéristiques communes sont mesurées, notamment [3] :

La tension : la tension fournie par le système doit être stable et dans les limites acceptables pour les équipements électriques connectés.

La fréquence : la fréquence du courant électrique doit être stable et dans les limites acceptables pour les équipements électriques connectés.

La forme d'onde : la forme d'onde du courant électrique doit être sinusoïdale et exempte de distorsion.

Les perturbations électromagnétiques : le système doit être protégé contre les surtensions, les sous-tensions, les crêtes, les creux, les interférences électromagnétiques, les harmoniques, etc.

Pour maintenir une qualité d'énergie électrique élevée, il est important d'adopter des mesures préventives telles que la maintenance régulière des équipements, l'installation de systèmes de protection contre les surtensions et les sous-tensions, l'utilisation de transformateurs de distribution de qualité, et la surveillance régulière de la performance du réseau électrique.

I.2.1. Normes et réglementations en matière de qualité de l'énergie électrique

Les normes et réglementations en matière de qualité de l'énergie électrique sont des règles et des exigences qui ont été mises en place pour garantir que l'alimentation électrique fournie aux consommateurs est de qualité, fiable et sûre. Les principaux objectifs des normes et réglementations en matière de qualité de l'énergie électrique sont de :

Assurer la sécurité des personnes et des biens

Assurer une fourniture d'énergie électrique fiable et constante

Assurer une qualité de l'énergie électrique répondant aux exigences des utilisateurs

Des normes et réglementations en matière de qualité de l'énergie électrique [5,6]:

- **La norme NF EN 50160** : elle définit les limites de variation de la tension d'alimentation et les caractéristiques de la tension pour les réseaux de distribution électrique en Europe. Elle établit également des critères de qualité de l'énergie électrique pour les consommateurs.
- **La norme CEI 61000-4-30** : elle spécifie les méthodes de mesure et les exigences relatives à la qualité de l'énergie électrique dans les réseaux d'alimentation électrique.
- **La norme NF C 15-100** : elle définit les règles pour l'installation des équipements électriques basse tension dans les bâtiments résidentiels et tertiaires.
- **La norme CEI 61000-2-2** : elle spécifie les méthodes de mesure et les critères de qualité de l'énergie électrique pour les réseaux publics de distribution d'énergie électrique.
- **La norme CEI 61000-3-6** : elle spécifie les limites des émissions de courants harmoniques pour les équipements électriques connectés aux réseaux publics de distribution d'énergie électrique.
- **La norme CEI 61000-3-11** : elle spécifie les limites des émissions de tension fluctuante pour les équipements électriques connectés aux réseaux publics de distribution d'énergie électrique.
- **La norme NF C 13-100** : elle spécifie les exigences pour la protection contre les surtensions transitoires sur les réseaux électriques.
- **La réglementation américaine sur la qualité de l'énergie électrique (IEEE 1159)** : elle établit des critères de qualité pour l'énergie électrique fournie aux consommateurs américains.

- **La norme ISO 50001** : elle spécifie les exigences pour les systèmes de gestion de l'énergie et peut être utilisée pour améliorer la qualité de l'énergie électrique.

Ces normes et réglementations sont mises à jour régulièrement pour s'adapter aux évolutions technologiques et aux besoins des consommateurs. Il est important pour les fournisseurs d'énergie électrique et les utilisateurs de s'informer sur les normes et réglementations en vigueur dans leur région pour garantir une qualité de l'énergie électrique optimale.

En respectant ces normes et réglementations, les fournisseurs d'énergie électrique peuvent garantir une qualité de l'énergie électrique constante et répondant aux besoins de leurs clients, tout en assurant la sécurité des personnes et des biens.

I.3. Généralités sur les réseaux électriques basse tension

I.3.1. Domaine de tensions de réseau BT : Les réseaux électriques basse tension (BT) sont les réseaux qui desservent les utilisateurs finaux, tels que les habitations, les commerces, les industries, etc. Ils sont caractérisés par des tensions nominales inférieures à 1000 volts en courant alternatif (CA) et 1500 volts en courant continu (CC). [3]

Tab.I.1. Domaine de tensions de réseau BT

DOMAINE DE TENSION	COURANT ALTERNATIF	COURANT CONTINU
TBT	$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 120 \text{ V}$
BTA	$50 < U \leq 500 \text{ V}$	$120 < U \leq 750 \text{ V}$
BTB	$500 < U \leq 1000 \text{ V}$	$750 < U \leq 1500 \text{ V}$

I.3.2. La fréquence

La fréquence du réseau électrique basse tension (BT) peut varier selon les régions et les pays, mais elle est généralement de 50 Hz ou de 60 Hz. [3]

I.3.3. Constitution d'un réseau basse tension

Les réseaux BT sont constitués de plusieurs éléments, tels que :

- **Les transformateurs de distribution** : ils permettent de faire passer la tension de la haute tension (HT) à la basse tension (BT) pour alimenter les utilisateurs finaux.



Fig.I.1. Transformateur de distribution

- **Les lignes électriques aériennes ou souterraines** : elles transportent l'énergie électrique depuis les transformateurs jusqu'aux utilisateurs finaux.



Fig.I.2. Lignes électriques aériennes

- **Les dispositifs de protection et de commande** : ils permettent de surveiller le réseau et de le protéger contre les surcharges, les court-circuit et les défauts de terre.

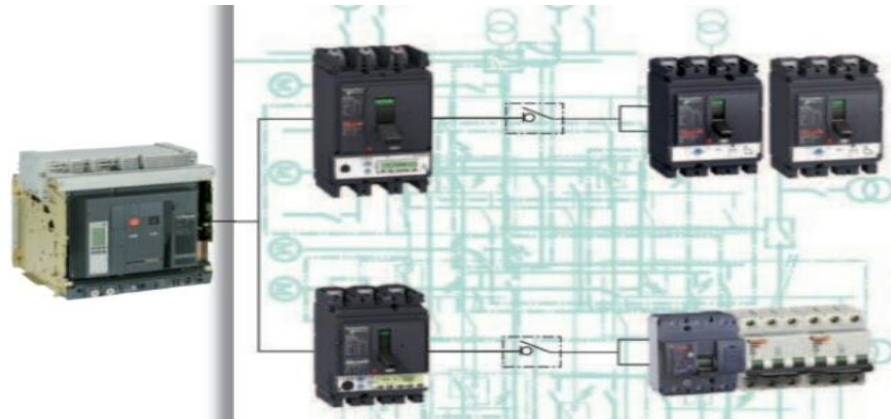


Fig.I.3. Les dispositifs de protection et de commande

- **Les compteurs électriques** : ils permettent de mesurer la consommation d'énergie électrique des utilisateurs finaux.



Fig.I.4. Compteur électrique

Les réseaux BT sont souvent organisés en boucles, c'est-à-dire que plusieurs alimentations sont mises en parallèle pour assurer une alimentation électrique plus fiable et résiliente en cas de panne ou de défaillance d'un équipement. Les réseaux BT peuvent être monophasés (une phase et un neutre) ou triphasés (trois phases et un neutre), en fonction de la puissance requise par les utilisateurs finaux.

I.4. Généralités sur les perturbations électriques

I.4.1. Les mécanismes de perturbation réseaux électriques BT

Les perturbations électriques dans les réseaux BT peuvent causer des problèmes tels que des coupures de courant, des déclenchements de disjoncteurs, des surchauffes des équipements électriques et des interférences dans les équipements électroniques.

Les mécanismes de perturbation désignent les événements ou conditions qui peuvent causer des perturbations dans l'alimentation électrique. Il existe plusieurs types de mécanismes de perturbation, dont voici des exemples :

Les perturbations dues aux sources d'alimentation : Les sources d'alimentation, telles que les éoliennes et les panneaux solaires, peuvent causer des perturbations sur le réseau électrique lorsqu'elles sont connectées.

I.4.1.1. Variations et fluctuations de tension : des fluctuations rapides de la tension électrique, souvent causées par des équipements électriques tels que les moteurs, les variateurs de fréquence ou les systèmes de soudage. [1,4]

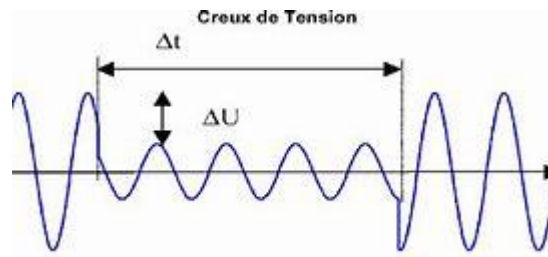


Fig.I.5. Fluctuations de tension

- **Les surtensions** : des augmentations brusques de la tension électrique au-delà de la valeur nominale du système, généralement causées par la foudre, les commutations de charge et les défauts d'isolement. [4]
- **Les sous-tensions** : des diminutions brusques de la tension électrique en dessous de la valeur nominale du système, généralement causées par une surcharge du système électrique ou une perte de tension dans le réseau de distribution.

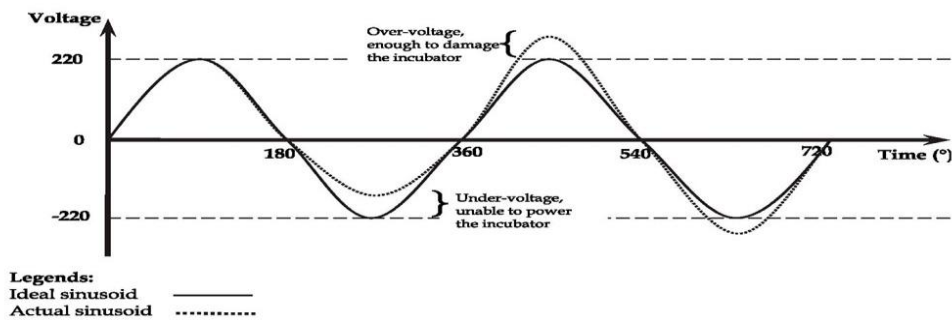


Fig.I.6. La différence entre signaux idéal et actuel

I.4.1.2. Les creux de tension et coupures brèves :

Les creux de tension et les coupures brèves sont des perturbations courantes dans les réseaux électriques. Un creux de tension est une baisse momentanée de la tension électrique en dessous du niveau nominal en un point d'un réseau d'énergie électrique entre 90 % et 1% (CEI 61000-2-1, CENELEC EN 50160), ou entre 90 % et 10 % (IEEE 1159), tandis qu'une coupure brève est une interruption momentanée de l'alimentation électrique. Les creux de tension et les coupures brèves peuvent être causés par de nombreux facteurs, tels que des surcharges ponctuelles du réseau, des variations de la production électrique, des incidents sur les lignes de distribution ou les transformateurs, des impacts de foudre, des court-circuits, etc. [4]

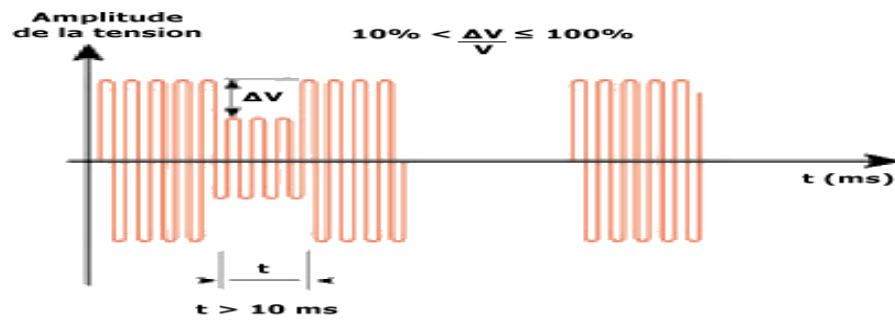


Fig.I.7. Exemple des creux de tension et coupures brèves

I.4.1.3. Les transitoires électriques : des perturbations de courte durée et de forte amplitude qui peuvent être causées par des défauts dans les équipements électriques, des impacts de foudre ou des commutations de charge.

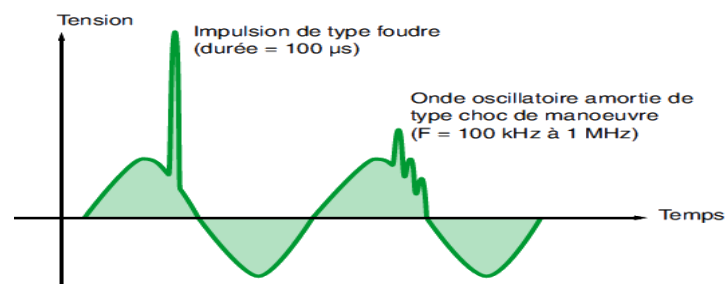


Fig.I.8. Transitoires électriques

I.4.1.4. Les perturbations électromagnétiques : Les perturbations électromagnétiques peuvent être causées par des sources externes telles que la foudre, les émissions radiofréquences et les interférences électromagnétiques. Les perturbations électromagnétiques peuvent causer des interférences dans les équipements électroniques et électromagnétiques.

Il est important de protéger les équipements électriques et électroniques contre les perturbations électriques en utilisant des dispositifs de protection tels que des para-surtension, des filtres d'harmoniques, des régulateurs de tension et des onduleurs. Il est également important de surveiller les perturbations électriques et de prendre des mesures pour prévenir les problèmes tels que les surcharges, les pertes de tension et les défauts d'isolement. [5,6]

- **Les variations de la puissance active et réactive** : Les variations de la puissance active et réactive peuvent être causées par plusieurs facteurs, notamment les fluctuations de charge, les défauts du système électrique et les pannes d'équipement. Par exemple, une augmentation soudaine de la charge sur le système électrique, telle que le démarrage d'un moteur électrique, peut causer une augmentation de la puissance active. De même, une panne d'équipement ou un court-circuit dans le système électrique peut causer une diminution de la puissance active et réactive.

Ces variations de puissance peuvent causer des fluctuations de tension, des déséquilibres de tension et des variations de fréquence qui peuvent affecter le fonctionnement des équipements électriques. Pour minimiser les perturbations, des dispositifs de régulation de tension et de fréquence tels que les régulateurs de tension et les régulateurs de fréquence peuvent être utilisés pour maintenir la stabilité de l'alimentation électrique.

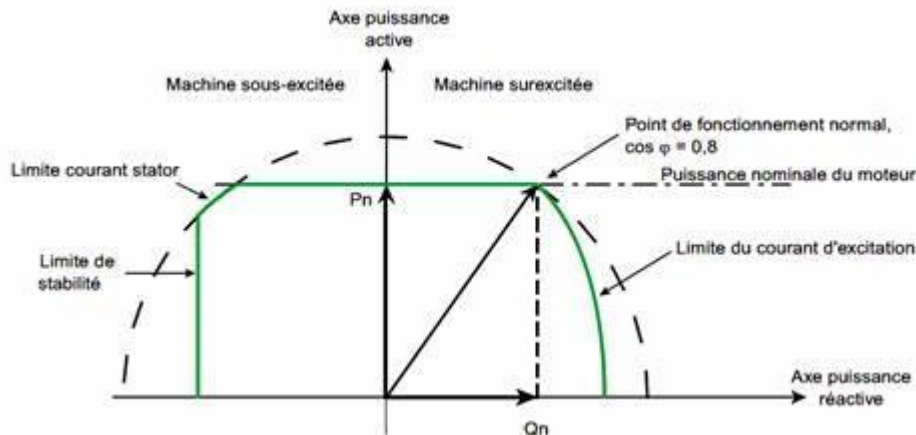


Fig.I.9. Variations de la puissance active et réactive

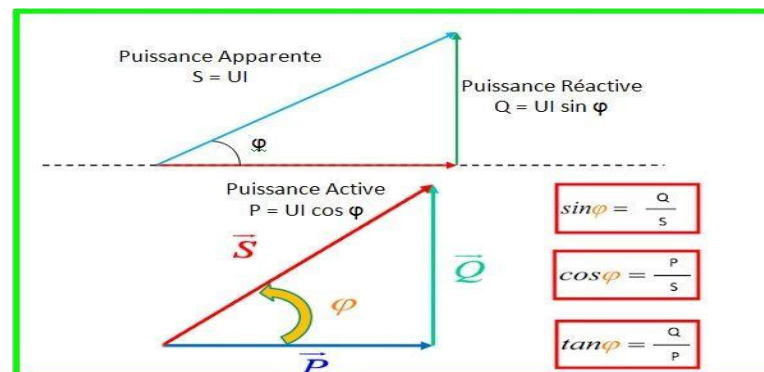


Fig.I.10. La relation entre la puissance active et réactive, apparente

- **Les défauts dans les systèmes électriques de la machine** : Les défauts peuvent être causés par des pannes d'équipement, des surtensions, des sous-tensions, des courts-circuit, des surintensités et des défauts d'isolement. Les défauts peuvent causer des perturbations électriques telles que des variations de tension, des coupures de courant et des pertes d'énergie. Les défauts peuvent également causer des dommages à l'équipement électrique et affecter la sécurité des personnes travaillant dans la zone.
- **Les harmoniques qu'ils sont notre principal sujet** : Les harmoniques sont des perturbations électriques qui peuvent être générées par des charges non linéaires telles que les variateurs de fréquence, les équipements électroniques et les éclairages à LED.

Les charges non linéaires consomment des courants non sinusoïdaux qui contiennent des fréquences harmoniques multiples de la fréquence fondamentale du réseau électrique.

Ces harmoniques peuvent causer des problèmes tels que des pertes d'énergie, des surchauffes, des interférences électromagnétiques et des perturbations du réseau électrique. Les perturbations peuvent affecter le fonctionnement des équipements électriques, provoquant une dégradation de la qualité de l'alimentation électrique. [3,4]

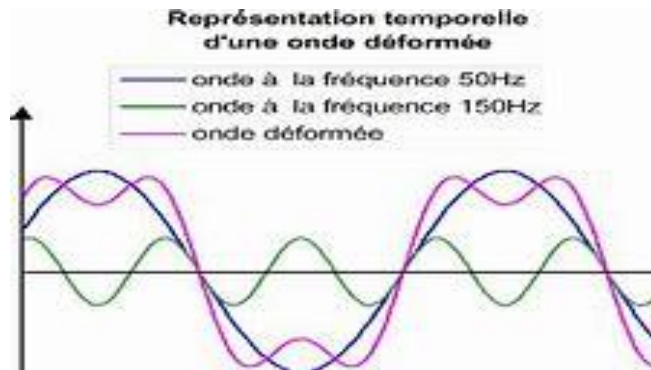

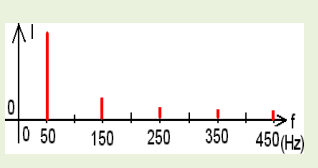
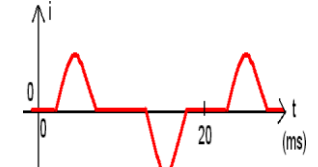
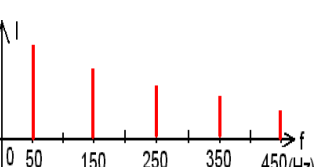
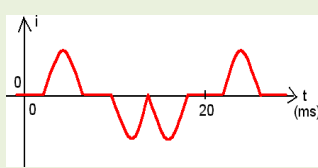
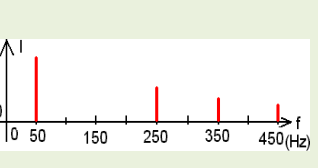
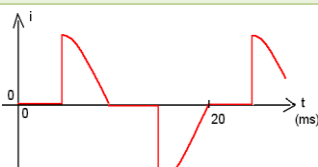
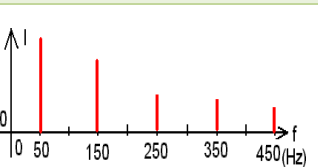
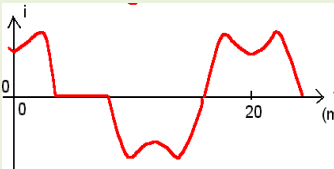
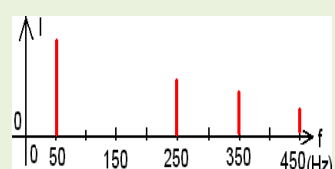
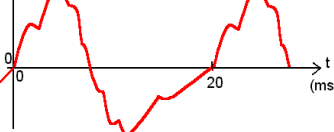
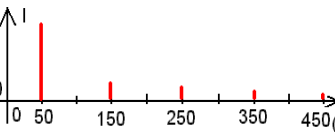


Fig.I.11. Représentation temporelle d'une onde déformée

Tab.I.2. Allures typiques des courants harmoniques émis par les principaux équipements perturbateurs

Type de charge	Appareils concernés	Courant absorbé	Spectre harmonique correspondant
Eclairage	Tubes fluorescents Lampes à vapeur HP		
Redresseur monophasé à diodes avec filtrage, alimentation à découpage	Micro-informatique Télévisions Lampes à ballast électronique		
Redresseur triphasé à Thyristors avec filtrage	Variation de vitesse des moteurs asynchrones		
Gradateur monophasé	Régulation de puissance des fours à résistances Modulation de puissance des lampes halogènes		

Redresseur triphasé à thyristors	Régulation de puissance des fours à résistances Modulation de puissance des lampes halogènes		
Moteur asynchrone	Machines-outils Appareils électroménagers Ascenseurs		

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons examiné en détail la qualité de l'énergie électrique et son importance dans notre société moderne. Nous avons exploré les différents aspects de la qualité de l'énergie, y compris la stabilité de la tension, la fréquence, la continuité de l'alimentation et la suppression des perturbations indésirables.

Nous avons constaté que la qualité de l'énergie électrique est essentielle pour assurer le bon fonctionnement de nos équipements électriques, préserver la sécurité des personnes et maintenir la productivité des entreprises. Les perturbations de l'énergie électrique peuvent avoir des conséquences néfastes, allant des pannes coûteuses aux dommages aux équipements sensibles, en passant par les risques pour la sécurité.

Nous avons également examiné les normes et les réglementations en vigueur qui visent à garantir une alimentation électrique de qualité. Ces normes définissent des limites acceptables pour les variations de tension, les transitoires, les harmoniques et d'autres perturbations électriques. Elles fournissent des directives pour les opérateurs du réseau électrique, les fabricants d'équipements électriques et les consommateurs afin de maintenir la qualité de l'énergie.

Enfin, nous avons abordé les technologies et les méthodes utilisées pour surveiller et améliorer la qualité de l'énergie électrique. Des dispositifs de surveillance avancés, tels que les analyseurs de puissance, permettent de détecter les anomalies et d'identifier les problèmes potentiels. De plus, des dispositifs d'amélioration de la qualité de l'énergie, tels que les filtres actifs et les onduleurs, sont utilisés pour corriger les perturbations et garantir une alimentation électrique de haute qualité.

En conclusion, la qualité de l'énergie électrique est un aspect crucial de notre infrastructure énergétique moderne. En comprenant les défis et en mettant en œuvre les solutions adéquates, nous pouvons assurer une alimentation électrique fiable, stable et de haute qualité, répondant ainsi aux besoins croissants de notre société. En continuant à investir dans la recherche et le développement de technologies avancées, nous pouvons améliorer encore davantage la qualité de l'énergie électrique, contribuant ainsi à un avenir énergétique durable et prospère.

CHAPITRE II

**Défaut des machines électriques et pollution
électromagnétique basse fréquence**

II.1. Introduction

Le fonctionnement des machines électriques est au cœur de nombreux secteurs industriels et domestiques. Cependant, malgré leur importance et leur utilité, ces machines peuvent être sujettes à des défauts qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur leur performance et sur l'environnement électromagnétique qui les entoure.

Dans ce chapitre, nous aborderons les défauts courants auxquels les machines électriques peuvent être confrontées, ainsi que leurs effets sur la performance et la fiabilité de ces machines. Nous nous pencherons également sur la pollution électromagnétique basse fréquence, qui est étroitement liée aux défauts de la machine électrique.

Comprendre les défauts de la machine électrique est essentiel pour garantir leur bon fonctionnement et prévenir d'éventuelles pannes coûteuses. Nous examinerons les défauts mécaniques, tels que les déséquilibres, les défauts d'alignement et les vibrations, ainsi que les défauts électriques, tels que les court-circuit, les surtensions et les perturbations de l'alimentation.

Outre les effets internes des défauts de la machine électrique, nous nous intéresserons également à la pollution électromagnétique basse fréquence générée par ces machines. Cette pollution peut avoir des conséquences sur la santé humaine, les systèmes de communication, ainsi que sur d'autres équipements électriques et électroniques sensibles.

Nous explorerons les normes et les réglementations en vigueur pour limiter la pollution électromagnétique basse fréquence, ainsi que les méthodes de mesure et de contrôle de cette pollution. Nous discuterons également des technologies et des pratiques de conception qui peuvent aider à réduire la pollution électromagnétique, tout en maintenant des performances optimales des machines électriques.

En somme, ce chapitre vise à fournir une compréhension approfondie des défauts courants de la machine électrique et de la pollution électromagnétique basse fréquence. En étudiant ces aspects, nous pourrions développer des stratégies efficaces pour améliorer la performance, la fiabilité et la sécurité des machines électriques, tout en minimisant leur impact environnemental.

II.2. Présentation des machines électriques et de leur fonctionnement

Les moteurs électriques sont des dispositifs qui convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique. Ils sont largement utilisés dans l'industrie pour fournir de la force motrice à divers

équipements. Il existe différents types de moteurs électriques, chacun ayant des caractéristiques et des applications spécifiques.

II.2.1. Moteur à courant continu (DC) : Le moteur à courant continu (DC) est composé d'un rotor et d'un stator. Le rotor contient des enroulements alimentés en courant continu, générant un courant I dans les enroulements. Le stator, quant à lui, crée un champ magnétique statique représenté par B . L'interaction entre le champ magnétique du stator et le courant électrique qui traverse le rotor crée un couple électromagnétique T , qui fait tourner le rotor. Ce couple peut être calculé à l'aide de l'équation :

$$T = K_t * I \quad (\text{II.1})$$

Où T représente le couple électromagnétique développé par le moteur, et K_t est la constante de couple électromagnétique, qui dépend de la conception du moteur. Cette équation montre que le couple développé est directement proportionnel au courant électrique.

Le moteur à courant continu est souvent utilisé dans des applications qui nécessitent un contrôle de vitesse précis. Pour contrôler la vitesse du moteur, on peut utiliser une commande de type hacheur (PWM). Cette commande permet de réguler la quantité d'énergie fournie au moteur en modifiant le rapport cyclique du signal d'alimentation. Le rapport cyclique, noté D , est défini comme le rapport entre la durée T_{on} pendant laquelle le signal est actif (en marche) et la période totale du signal T . Il peut être calculé à l'aide de la formule[8] :

$$D = (T_{on} / T) * 100 \quad (\text{II.2})$$

En ajustant le rapport cyclique, on peut contrôler la quantité d'énergie électrique transmise au moteur, ce qui permet de réguler précisément sa vitesse de rotation.

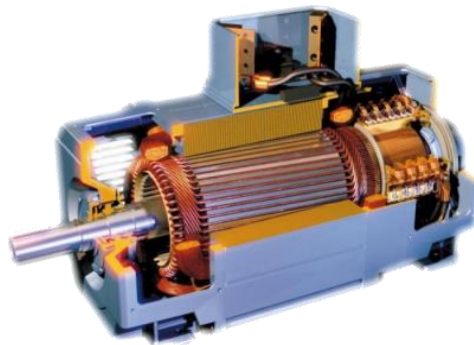


Fig.II.1. Machine à courant continu

II.2.2. Moteur à courant alternatif (AC) :

Le moteur à courant alternatif (AC) est un type de moteur électrique largement utilisé dans de nombreuses applications. Contrairement au moteur à courant continu, il ne nécessite pas de source de courant continu dédiée et utilise plutôt un courant alternatif sinusoïdal fourni par le réseau électrique.

Le moteur à courant alternatif est composé d'un stator et d'un rotor. Le stator contient des enroulements qui sont alimentés en courant alternatif, créant un champ magnétique tournant représenté par $B(t)$ et de fréquence f . Le rotor, quant à lui, est constitué d'un ensemble de conducteurs placés dans le champ magnétique. L'interaction entre le champ magnétique tournant et les courants induits dans le rotor génère un couple qui fait tourner le rotor.

L'équation du couple électromagnétique pour un moteur à courant alternatif peut être exprimée comme [8,10] :

$$\mathbf{T} = \mathbf{K}_t * \mathbf{I} * \sin(\theta) \quad (\text{II.3})$$

Où T représente le couple électromagnétique développé par le moteur, K_t est la constante de couple électromagnétique, I est l'intensité du courant traversant les enroulements du stator et θ est l'angle de déphasage entre le courant et le champ magnétique.

Dans un moteur à courant alternatif, l'analyse des harmoniques est importante pour évaluer l'impact sur le réseau électrique. L'analyse harmonique implique l'utilisation de la transformée de Fourier pour décomposer le courant en ses composantes harmoniques. La transformée de Fourier permet de représenter mathématiquement un signal périodique en termes de ses composantes harmoniques.

La formule générale de la transformée de Fourier est :

$$\mathbf{F}(\omega) = \int [\mathbf{f}(t) * \mathbf{e}^{-j\omega t}] dt \quad (\text{II.4})$$

où $F(\omega)$ représente la transformée de Fourier du signal $f(t)$, ω est la fréquence angulaire et j est l'unité imaginaire ($\sqrt{-1}$).



Fig.II.2. Moteur a courant alternatif

II.2.3. Moteur synchrone : Le moteur synchrone est un type de moteur électrique qui fonctionne en synchronisme avec la fréquence du courant alternatif fourni par le réseau électrique. Il est largement utilisé dans de nombreuses applications nécessitant une haute précision et une stabilité de vitesse, telles que les machines-outils, les compresseurs et les générateurs.

Le moteur synchrone est composé d'un stator et d'un rotor. Le stator contient des enroulements alimentés en courant alternatif sinusoïdal, créant un champ magnétique tournant représenté par $B(t)$ et de fréquence f . Le rotor est constitué d'un ensemble de bobines ou d'aimants permanents disposés de manière à créer un champ magnétique fixe. Le stator et le rotor doivent être synchronisés en termes de fréquence et de phase pour un fonctionnement optimal. L'équation du couple électromagnétique développé par un moteur synchrone peut être exprimée comme [8] :

$$T = K_t * I * \sin(\theta) \quad (\text{II.5})$$

où T représente le couple électromagnétique, K_t est la constante de couple électromagnétique, I est l'intensité du courant traversant les enroulements du stator et θ est l'angle de déphasage entre le courant et le champ magnétique.

La vitesse de rotation d'un moteur synchrone est directement liée à la fréquence du courant alternatif et au nombre de paires de pôles magnétiques du stator. La vitesse de synchronisme (N_s) d'un moteur synchrone est donnée par la formule [8]:

$$N_s = (120 * f) / P \quad (\text{II.6})$$

où N_s est la vitesse de synchronisme en tours par minute (rpm), f est la fréquence du courant alternatif en hertz (Hz) et P est le nombre de paires de pôles magnétiques du stator.

II.2.4. Moteur à induction : Le moteur asynchrone, également connu sous le nom de moteur à induction, est un type de moteur électrique largement utilisé dans de nombreuses applications industrielles. Il fonctionne en utilisant un courant alternatif pour créer un champ magnétique tournant dans le stator, qui induit ensuite un courant dans le rotor, générant ainsi un couple et une rotation. Voici les principales formules qui décrivent les courants, le couple et les vitesses dans un moteur asynchrone.

1. **Courant statorique (I_s)** : Le courant statorique est le courant qui circule dans les enroulements du stator du moteur asynchrone. Il est proportionnel à la tension d'alimentation (U_s) et inversement proportionnel à l'impédance du stator (Z_s) :

$$I_s = U_s / Z_s \quad (\text{II.7})$$

2. **Courant rotorique (I_r)** : Le courant rotorique est le courant induit dans le rotor du moteur asynchrone en raison de l'induction magnétique du champ tournant. Il est proportionnel au glissement (g), qui représente la différence de vitesse entre le champ magnétique tournant et la vitesse réelle du rotor [8]:

$$I_r = g * I_s \quad (\text{II.8})$$

3. **Couple électromagnétique (T_e)** : Le couple électromagnétique développé par le moteur asynchrone est proportionnel au produit du courant statorique (I_s), du courant rotorique (I_r) et du coefficient de couple électromagnétique (K_{te}) :

$$T_e = K_{te} * I_s * I_r \quad (\text{II.9})$$

4. **Vitesse de rotation (N)** : La vitesse de rotation du moteur asynchrone est influencée par le glissement (g) et la vitesse de synchronisme (N_s), qui est déterminée par la fréquence du courant d'alimentation (f) et le nombre de paires de pôles (P) [8] :

$$N = (1 - g) * N_s \quad (\text{II.10})$$

Où $N_s = (120 * f) / P$ est la vitesse de synchronisme.

II.3. Caractéristiques des machines électriques et leur influence sur le réseau basse tension

Les machines électriques sont des équipements qui consomment de l'énergie électrique à partir du réseau basse tension (BT). Ces machines ont des caractéristiques différentes qui peuvent influencer le réseau de différentes manières. Voici quelques-unes des caractéristiques de ces machines et leur influence sur le réseau BT :

- **Puissance active** : La puissance active (P) est une mesure de l'énergie électrique convertie en travail utile par une charge électrique. Elle est calculée en multipliant la tension efficace (V) par le courant efficace (I) et le facteur de puissance ($\cos(\theta)$).

$$P = V * I * \cos(\theta) \quad (\text{II.11})$$

Un facteur de puissance idéal de 1 indique une correspondance parfaite entre la tension et le courant, où toute l'énergie est convertie en travail utile. La gestion de la puissance active est importante pour éviter les chutes de tension et les fluctuations indésirables dans le réseau électrique [9,10].

- **Puissance réactive** : La puissance réactive (Q) est une mesure de l'énergie électrique consommée par une charge électrique sans être convertie en travail utile. Elle est

calculée en multipliant la tension efficace (V) par le courant efficace (I) et le facteur de puissance réactif ($\sin(\theta)$).

$$Q = V * I * \sin(\theta) \quad (\text{II.12})$$

Les charges électriques avec une demande élevée en puissance réactive, comme les équipements de soudage, peuvent entraîner des perturbations dans le réseau BT. Ces perturbations se manifestent sous forme de fluctuations de tension et de courant, ce qui peut entraîner des pertes d'énergie et une détérioration de la qualité de l'énergie électrique. La gestion de la puissance réactive est essentielle pour améliorer l'efficacité du système électrique et minimiser les perturbations du réseau[11].

- **Facteur de puissance :** Le facteur de puissance est la mesure de l'efficacité de la conversion de l'énergie électrique en travail utile par la charge électrique. Les charges électriques qui ont un faible facteur de puissance, telles que les lampes fluorescentes et les équipements informatiques, peuvent causer des perturbations dans le réseau BT, telles que des pertes de puissance et des fluctuations de tension [10,12].
- **Démarrage et arrêt des machines électriques :** Le démarrage et l'arrêt des machines électriques, notamment des moteurs, peuvent causer des perturbations dans le réseau basse tension (BT) en raison des fluctuations de courant générées. Lors du démarrage d'un moteur électrique, la demande de courant peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$I_{\text{start}} = K * I_{\text{rated}} \quad (\text{II.13})$$

Où I_{start} est le courant de démarrage, I_{rated} est le courant nominal du moteur et K est un coefficient dépendant du type de charge. Ce courant de démarrage élevé peut entraîner des chutes de tension transitoires dans le réseau BT.

De plus, l'arrêt d'une machine électrique peut provoquer une diminution brusque de la demande de courant, ce qui peut entraîner une augmentation de la tension dans le réseau BT. Cette augmentation peut être estimée à l'aide de la formule suivante :

$$\Delta V_{\text{stop}} = (L * di/dt) / C \quad (\text{II.14})$$

Où ΔV_{stop} est la variation de tension, L est l'inductance du moteur, di/dt est la variation du courant en fonction du temps et C est la capacité du réseau BT. Cette variation de tension peut avoir un impact sur les autres charges électriques connectées au même réseau [8,13].

II.4. Étude des défauts dans le système électrique de la machine et leur impact sur le réseau BT :

Les défauts dans le système électrique de la machine, tels que les court-circuit, les surtensions, les sous-tensions et les pertes de phase, peuvent avoir un impact sur le fonctionnement du réseau basse tension (BT). Ces défauts peuvent entraîner des perturbations de la tension et du courant, endommager les équipements électriques et perturber la distribution de l'énergie électrique.

Pour étudier les défauts dans le système électrique de la machine, on peut utiliser des dispositifs de mesure tels que des enregistreurs de défauts, des oscilloscopes et des analyseurs de puissance. Ces outils permettent de mesurer les variations de tension et de courant dans le système électrique de la machine, ce qui peut aider à identifier les défauts.

Ensuite, on peut utiliser des modèles mathématiques pour prédire l'impact des défauts sur le réseau basse tension (BT) et les équipements électriques. En analysant les données recueillies, on peut prendre des mesures pour réduire l'impact des défauts sur le réseau électrique, telles que l'installation de dispositifs de protection tels que des disjoncteurs et des fusibles [9,10,13].

Tab.II.1. Les défauts de machine asynchrone triphasée [10,11,12]

Défauts		Cause
Défaut statorique	Vibration du support	Un déséquilibre magnétique, mouvement des enroulements, un déséquilibre de l'alimentation, surcharge, mauvaise installation, un contact avec le rotor
	Un défaut entre le stator et la carcasse	Ecrasement des spires par la carcasse, le cycle thermique, une abrasion de l'isolant, présence de points anguleux dans les encoches, un choc.
	Défaut d'isolation	Endommagement de l'isolant lors de l'insertion des enroulements, démarrage fréquent, condition de température ou d'humidité extrême.
	Court-circuit inter spires	Température excessive, humidité, vibration, surtension.
	Court-circuit inter phases	Défaut d'installation, haute température, alimentation déséquilibrée, contrainte d'écrasement au niveau des enroulements.

	Défauts	Cause
Défaut rotorique	Déplacement des conducteurs	Choc dû à un défaut, démarrage fréquent, vibration des têtes de bobines.
	Défaillance des connecteurs	Ecrasement des conducteurs, vibration excessive.
	Défaut de roulements	Mauvaise installation, déséquilibre magnétique, perte de lubrifiant, haute température, manque de propreté, charge déséquilibrée.
	Rupture de barres	Déséquilibre magnétique, régime transitoire à longue durée, fatigue thermique.
	Défaut du circuit magnétique	Défaut de fabrication, fatigue thermique, surcharge.
	Désalignement des roulements	Défaut de couplage, surcharge, mauvaise installation, jeu au niveau des paliers.
	Désalignement du rotor	Mauvaise installation, déséquilibre magnétique, défaut de roulements.
	Roulements mal lubrifiés	Faut de roulements. Température excessive, mauvaise qualité de lubrifiant.

II.5. Diagnostique des machines électriques :

Le diagnostic des machines électriques consiste à évaluer l'état de la machine, à identifier les problèmes potentiels et à proposer des mesures pour les corriger. Les machines électriques peuvent être sujettes à des problèmes tels que des déséquilibres, des pertes de rotor, des défauts d'enroulement, des problèmes de roulements et des problèmes de commutation.

Pour diagnostiquer les machines électriques, on peut utiliser des techniques de mesure telles que l'analyse de vibration, l'analyse de l'impédance et l'analyse des pertes de fer. Ces techniques permettent d'identifier les problèmes potentiels dans la machine électrique.

Ensuite, on peut utiliser des modèles mathématiques pour simuler le comportement de la machine électrique et prédire l'impact des problèmes sur la performance de la machine. En analysant les données recueillies, on peut proposer des mesures pour corriger les problèmes potentiels, telles que la réparation ou le remplacement des pièces défectueuses.

D'autres techniques de diagnostic des machines électriques incluent [10]:

- **L'analyse de la signature de courant** : cette technique consiste à mesurer les variations de courant dans la machine électrique pour identifier les problèmes tels que les déséquilibres et les défauts d'enroulement.
- **L'analyse de la signature de courant de démarrage** : cette technique consiste à mesurer le courant de démarrage de la machine électrique pour identifier les problèmes tels que les problèmes de rotor et les problèmes de commutation.

- **L'analyse de la température** : cette technique consiste à mesurer la température de la machine électrique pour identifier les problèmes tels que les déséquilibres et les pertes de rotor.
- **L'analyse acoustique** : cette technique consiste à mesurer les sons émis par la machine électrique pour identifier les problèmes tels que les problèmes de roulements et les pertes de rotor.

En utilisant ces techniques de diagnostic, on peut non seulement identifier les problèmes potentiels dans les machines électriques, mais aussi proposer des mesures pour les corriger avant qu'ils ne causent des dommages plus importants ou ne compromettent la sécurité des personnes.

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré les défauts courants de la machine électrique ainsi que leur impact sur la qualité de l'énergie électrique, en mettant particulièrement l'accent sur la pollution électromagnétique basse fréquence.

Nous avons constaté que les défauts mécaniques tels que les déséquilibres, les défauts d'alignement et les vibrations peuvent entraîner une détérioration de la performance de la machine électrique, augmenter les pertes d'énergie et causer des dommages à long terme. D'autre part, les défauts électriques, tels que les court-circuits, les surtensions et les perturbations de l'alimentation, peuvent provoquer des variations de tension, des pertes d'efficacité et des dysfonctionnements des équipements connectés.

En outre, nous avons examiné la pollution électromagnétique basse fréquence générée par la machine électrique. Cette pollution peut avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine, les systèmes de communication et d'autres équipements électriques sensibles. Il est donc essentiel de comprendre les normes et les réglementations en vigueur pour limiter cette pollution et de mettre en œuvre des mesures de contrôle adéquates.

La prise de conscience de ces défauts et de la pollution électromagnétique basse fréquence est essentielle pour garantir la qualité de l'énergie électrique fournie par les machines électriques. Des mesures préventives, telles que des programmes de maintenance réguliers, des inspections visuelles, des tests de performance et des mesures de la qualité de l'énergie, peuvent contribuer à détecter et à résoudre les défauts avant qu'ils ne deviennent critiques.

De plus, l'utilisation de technologies et de pratiques de conception avancées, telles que l'utilisation de matériaux isolants de qualité, de systèmes de filtration et de blindage appropriés, peut aider à réduire la pollution électromagnétique basse fréquence.

En conclusion, la compréhension des défauts de la machine électrique et de la pollution électromagnétique basse fréquence est essentielle pour garantir un fonctionnement optimal, une longue durée de vie et une sécurité accrue des équipements électriques. En mettant en place des mesures préventives et en respectant les normes et réglementations, nous pouvons améliorer la qualité de l'énergie électrique et minimiser les impacts négatifs sur la santé humaine et sur les systèmes environnants.

CHAPITRE III

**Pollution générée par les convertisseurs
statiques**

III.1. Introduction

L'utilisation généralisée des convertisseurs statiques soulève des préoccupations concernant la pollution électromagnétique générée. En effet, ces dispositifs peuvent produire des perturbations électromagnétiques indésirables, susceptibles de causer des interférences nuisibles sur les équipements sensibles, les systèmes de communication et même sur la santé humaine.

III.2. La pollution générée par les convertisseurs statiques

Les harmoniques sont des composantes de fréquence multiples de la fréquence fondamentale d'un signal périodique. L'analyse des harmoniques est essentielle pour évaluer l'impact des convertisseurs statiques sur le réseau électrique et prendre des mesures pour atténuer ces perturbations. La formule de la série de Fourier est utilisée pour représenter mathématiquement un signal périodique en termes de ses composantes harmoniques.

Selon la formule de la série de Fourier, un signal périodique $V(t)$ peut être représenté comme une somme infinie de termes harmoniques, exprimée comme [2]:

$$V(t) = V_0 + \sum [V_n * \cos(n\omega t + \varphi_n)] \quad (\text{III.1})$$

où V_0 est la composante continue du signal, V_n est l'amplitude de la n -ème composante harmonique, ω est la fréquence angulaire correspondant à la fréquence fondamentale, n est un entier représentant le numéro de l'harmonique, et φ_n est le déphasage de la n -ème composante harmonique.

L'amplitude de chaque composante harmonique peut être calculée à l'aide de la formule :

$$V_n = \sqrt{(A_n^2 + B_n^2)} \quad (\text{III.2})$$

où A_n et B_n sont les coefficients de Fourier, respectivement, pour les termes cosinusoïdaux et sinusoïdaux de la n -ème harmonique.

L'analyse des harmoniques peut également impliquer le calcul du contenu en harmoniques total ou du taux de distorsion harmonique totale (THD). Le THD est calculé en divisant la racine carrée de la somme des carrés des amplitudes harmoniques par l'amplitude de la composante fondamentale, et en le multipliant par 100. La formule du THD est donc [2]:

$$\text{THD} = (\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2} / V_1) * 100 \quad (\text{III.3})$$

Où V_1 est l'amplitude de la composante fondamentale et V_2, V_3, \dots, V_n sont les amplitudes des harmoniques respectives.

III.3. Caractéristiques des convertisseurs statiques et leur influence sur le réseau basse tension

III.3.1. Le Redresseur

Un redresseur est un dispositif électronique qui convertit une tension alternative (V_{AC}) en une tension continue (V_{DC}) selon la formule [10] :

$$V_{DC} = |V_{AC}| \quad (III.4)$$

Le processus de conversion de l'AC en DC peut introduire des harmoniques dans le réseau électrique, exprimés par la formule [10]:

$$H = n * f \quad (III.5)$$

où H représente la fréquence harmonique, n est un entier et f est la fréquence fondamentale de l'AC.

Les redresseurs peuvent également produire des pics de courant au moment où la tension AC traverse zéro, donnés par la formule [10] :

$$I_{peak} = I_{max} * \sqrt{2} \quad (III.6)$$

où I_{peak} est le pic de courant, I_{max} est le courant maximal de l'AC.

Pour atténuer les perturbations causées par les redresseurs, des filtres peuvent être utilisés pour réduire les harmoniques, exprimés par la formule :

$$THD = (\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_n^2}) / H_1 \quad (III.7)$$

où THD représente la distorsion harmonique totale, H_2 à H_n représentent les harmoniques spécifiques et H_1 est la fréquence fondamentale.

En utilisant des régulateurs de tension, les variations de tension causées par les redresseurs peuvent être contrôlées pour maintenir une alimentation stable.

En résumé, les redresseurs convertissent l'AC en DC, mais ils peuvent entraîner des harmoniques, des pics de courant et des variations de tension dans le réseau électrique. Les filtres et les régulateurs de tension sont utilisés pour atténuer ces perturbations.

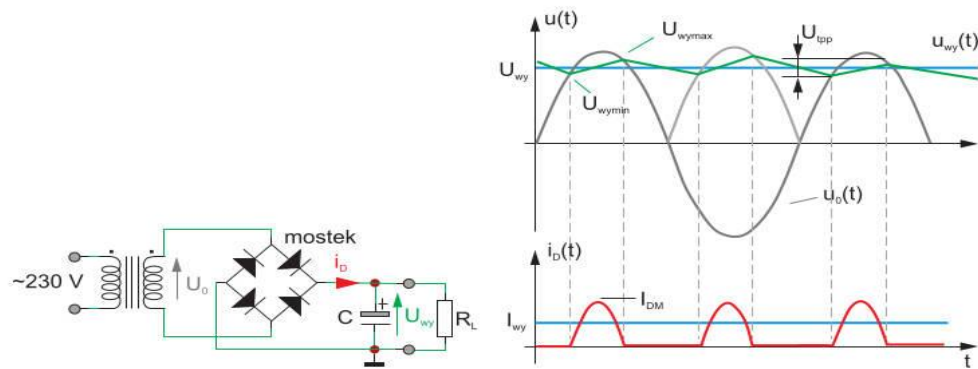


Fig.III.1. Courant alternatif en amont d'un redresseur en pont de Graetz débitant un courant continu parfait sur charge inductive

III.3.2. Le Gradateur

Un gradateur est un dispositif électronique utilisé pour réguler l'intensité lumineuse ou la puissance d'un appareil électrique. Il fonctionne en ajustant le rapport cyclique de la tension alternative (V_{AC}) appliquée à la charge, généralement exprimé en pourcentage. Le rapport cyclique (D) est défini par la formule [2]:

$$D = (V_{DC} / V_{AC}) * 100 \quad (\text{III.8})$$

Où V_{DC} est la tension continue fournie à la charge.

L'utilisation d'un gradateur peut entraîner des perturbations dans le réseau électrique. Les harmoniques générés peuvent être exprimés par la formule :

$$H = n * f \quad (\text{III.9})$$

Où H représente la fréquence harmonique, n est un entier et f est la fréquence fondamentale de l'AC.

De plus, les gradateurs peuvent provoquer des fluctuations de tension, exprimées par la formule :

$$V_{\text{fluctuation}} = (V_{AC} - v_{DC}) / V_{AC} * 100 \quad (\text{III.10})$$

Pourcentage de fluctuation de tension entre l'AC et le DC.

Pour atténuer les perturbations causées par les gradateurs, des filtres peuvent être utilisés pour réduire les harmoniques. De plus, des régulateurs de tension peuvent être employés pour maintenir une tension stable.

En résumé, les gradateurs permettent de réguler l'intensité lumineuse ou la puissance d'un appareil électrique, mais ils peuvent générer des harmoniques et des fluctuations de tension. L'utilisation de filtres et de régulateurs de tension peut aider à minimiser ces perturbations dans le réseau électrique.

Il convient de noter que la présence d'harmoniques dans le réseau électrique peut entraîner des perturbations électromagnétiques, des pertes de puissance, des surchauffes de l'équipement électrique, des pannes de l'équipement et d'autres problèmes. Par conséquent, il est important de choisir le type de gradateur approprié pour l'application spécifique, d'utiliser des filtres de distorsion harmonique pour atténuer les harmoniques indésirables et de suivre les normes et réglementations en matière d'émissions électromagnétiques.

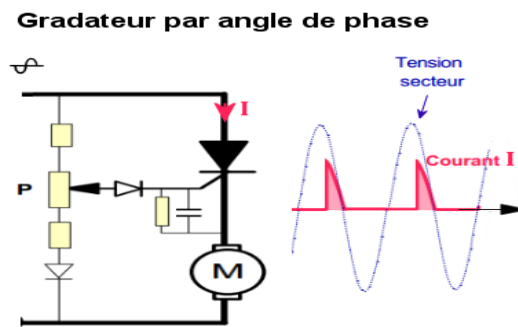


Fig.III.2. Gradateur et forme d'onde générée

III.3.3. L'Onduleur

Un onduleur est un dispositif électronique utilisé pour convertir une tension continue (DC) en une tension alternative (AC). Il est couramment utilisé pour alimenter des appareils électriques sensibles qui nécessitent une alimentation AC stable à partir d'une source DC, telle qu'une batterie.

Lorsqu'un onduleur est en fonctionnement, il peut générer des perturbations dans le réseau électrique. Ces perturbations sont principalement liées aux caractéristiques de la sortie AC produite par l'onduleur [5].

L'une des perturbations courantes est la distorsion harmonique, qui est exprimée en pourcentage. La distorsion harmonique totale (THD) est déterminée par la formule :

$$\text{THD} = (\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_n^2}) / H_1 \quad (\text{III.11})$$

où THD représente la distorsion harmonique totale, H_2 à H_n représentent les harmoniques spécifiques et H_1 est la fréquence fondamentale de l'AC produite par l'onduleur.

De plus, les onduleurs peuvent produire des fluctuations de tension, généralement exprimées en pourcentage. Les fluctuations de tension peuvent être définies par la formule :

$$V_{\text{fluctuation}} = (V_{\text{AC}} - V_{\text{DC}}) / V_{\text{AC}} * 100 \quad (\text{III.12})$$

où V_{AC} est la tension alternative produite par l'onduleur et V_{DC} est la tension continue d'entrée.

Pour atténuer ces perturbations, des filtres peuvent être utilisés pour réduire la distorsion harmonique et les fluctuations de tension. De plus, des régulateurs de tension peuvent être employés pour maintenir une tension de sortie stable.

En résumé, les onduleurs convertissent le courant continu en courant alternatif, mais ils peuvent générer des distorsions harmoniques et des fluctuations de tension. L'utilisation de filtres et de régulateurs de tension appropriés peut aider à minimiser ces perturbations dans le réseau électrique.

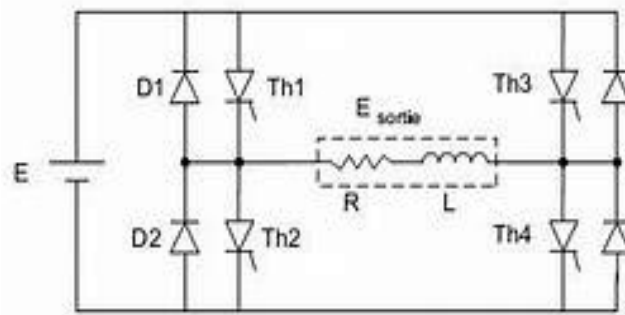


Fig.III.3. Schéma onduleur monophasé

III.3.4. Hacheur

Un hacheur, ou convertisseur DC-DC, est un dispositif électronique qui permet de convertir une tension continue (V_{DCin}) en une autre tension continue (V_{DCout}) à travers une commutation périodique de l'interrupteur électronique. La formule générale pour la conversion de tension dans un hacheur est :

$$V_{DCout} = D * V_{DCin} \quad (III.13)$$

Où D représente le rapport cyclique, qui correspond au temps pendant lequel l'interrupteur est fermé par rapport à la période totale de commutation.

Lors du fonctionnement d'un hacheur, plusieurs perturbations peuvent être générées. Le bruit électromagnétique est courant en raison des commutations rapides de l'interrupteur électronique et peut être quantifié par le niveau de di/dt (taux de variation du courant) et dv/dt (taux de variation de la tension).

De plus, les hacheurs peuvent introduire des harmoniques dans le réseau électrique. La formule pour calculer les harmoniques spécifiques (H_n) est donnée par :

$$H_n = n * f_{switch} \quad (III.14)$$

Où n est un entier et f_{switch} est la fréquence de commutation de l'interrupteur électronique.

Pour atténuer ces perturbations, des filtres peuvent être utilisés pour réduire le bruit électromagnétique et atténuer les harmoniques. Des inductances (L) et des condensateurs (C)

sont couramment utilisés dans les circuits de filtrage pour réduire les variations rapides de courant et de tension [5].

En résumé, un hacheur est un convertisseur DC-DC qui génère des perturbations telles que le bruit électromagnétique et les harmoniques. Les filtres, composés d'inductances et de condensateurs, sont utilisés pour minimiser ces perturbations et assurer un fonctionnement stable et fiable du système.

III.4. Conclusion :

La pollution électromagnétique générée par les convertisseurs statiques est un sujet d'une importance croissante dans notre société moderne. Alors que ces dispositifs jouent un rôle essentiel dans de nombreuses applications électriques et électroniques, il est crucial de comprendre et de gérer les effets indésirables qu'ils peuvent avoir sur l'environnement électromagnétique.

Dans ce chapitre, nous avons exploré les différentes sources de pollution électromagnétique générées par les convertisseurs statiques, telles que les harmoniques de courant, les bruits électromagnétiques, les perturbations de tension et les transitoires. Nous avons également abordé les réglementations et les normes qui visent à contrôler et à limiter cette pollution, en veillant à ce que les niveaux d'émission électromagnétique restent dans des limites acceptables.

Nous avons également examiné les techniques de conception et les pratiques de filtration utilisées pour réduire efficacement la pollution électromagnétique. Ces approches incluent l'utilisation de composants de qualité, de filtres, de blindages et d'une disposition adéquate des câbles, entre autres mesures préventives.

Il est essentiel de reconnaître que la réduction de la pollution électromagnétique ne se limite pas seulement aux fabricants de convertisseurs statiques, mais aussi à tous les acteurs de l'industrie électrique et électronique. En travaillant ensemble, nous pouvons promouvoir des pratiques de conception et de gestion responsables qui minimisent les effets néfastes sur l'environnement électromagnétique.

En conclusion, la gestion de la pollution électromagnétique générée par les convertisseurs statiques est une préoccupation majeure dans le domaine de l'électronique de puissance. En comprenant les sources de pollution, en respectant les réglementations et en adoptant des pratiques de conception appropriées, nous pouvons réduire efficacement l'impact de cette

pollution sur les équipements sensibles, les systèmes de communication et la santé humaine. En investissant dans la recherche et le développement de technologies plus propres, nous pouvons progresser vers un avenir énergétique plus respectueux de l'environnement et plus durable.

CHAPITRE IV

**Simulation d'un Convertisseur Pollueur avec
un ME**

IV.1. Introduction

L'avènement des moteurs électriques et des convertisseurs de puissance a ouvert de nouvelles perspectives dans le domaine de la mobilité électrique et de l'efficacité énergétique. Ces technologies offrent des avantages significatifs en termes de performance, de durabilité et d'impact environnemental réduit par rapport aux moteurs à combustion interne traditionnels. Cependant, malgré ces avantages, certaines applications spécifiques nécessitent l'utilisation de convertisseurs pollueurs pour alimenter les moteurs électriques. Les convertisseurs pollueurs sont des dispositifs électroniques qui génèrent des harmoniques indésirables et des perturbations électromagnétiques, pouvant avoir des effets néfastes sur les performances du moteur électrique et du système global.

IV.2. Simulation de la pollution générée par les différents convertisseurs statiques

Cette partie se focalise sur la simulation des pollutions électriques générées par les convertisseurs statiques. Son objectif est de comprendre l'impact de ces pollutions sur la qualité de l'alimentation électrique.

IV.2.1. Redresseur

L'étude se concentre sur la simulation des redresseurs à l'aide de MATLAB. L'objectif est de modéliser et simuler le comportement de ces dispositifs qui convertissent le courant alternatif en courant continu.

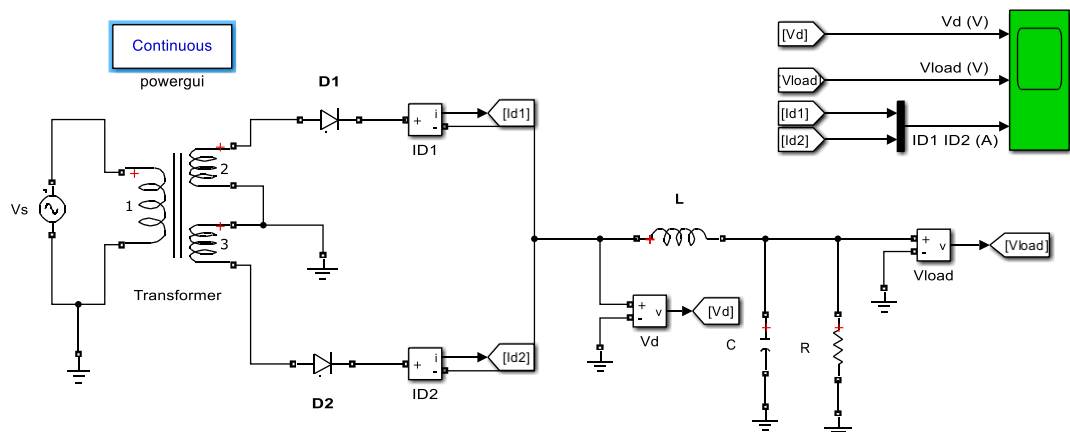


Fig.IV.1. Schéma de bloc Redresseur monophasé

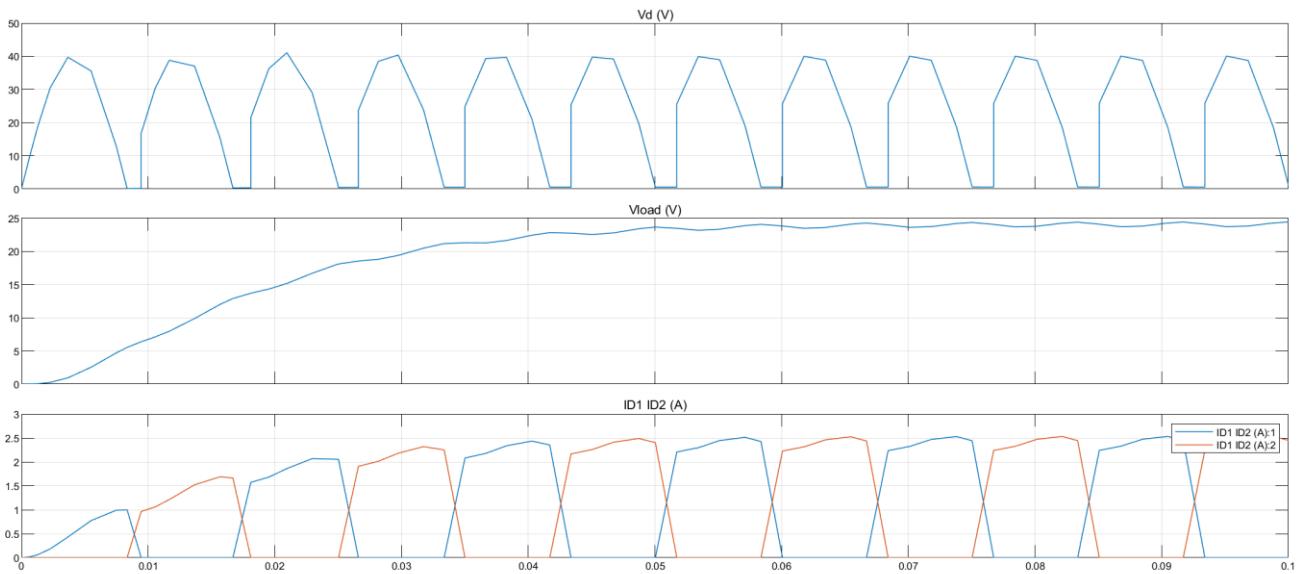


Fig.IV.2. Tension et courant d'entrée et sortie de redresseur et de la charge alimentée

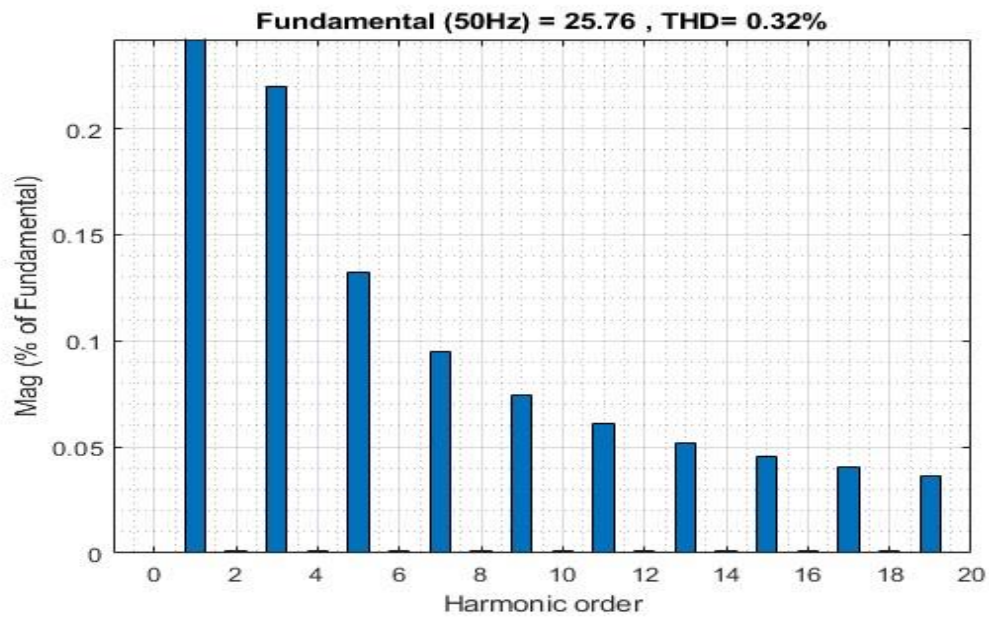


Fig.IV.3. Taux de distorsion harmonique totale (THD)

IV.2.2. Onduleur

Cette partie de l'étude se focalise sur la simulation des onduleurs à l'aide de MATLAB. L'objectif est de modéliser et simuler le comportement de ces dispositifs convertissant le courant continu en courant alternatif, afin d'analyser leurs performances et optimiser leur fonctionnement.

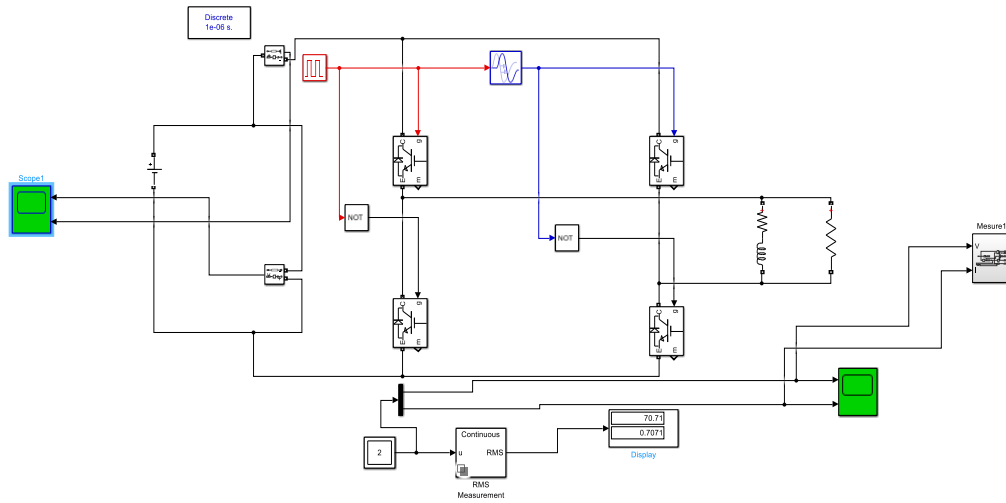


Fig.IV.4. Schéma de bloc d'un onduleur

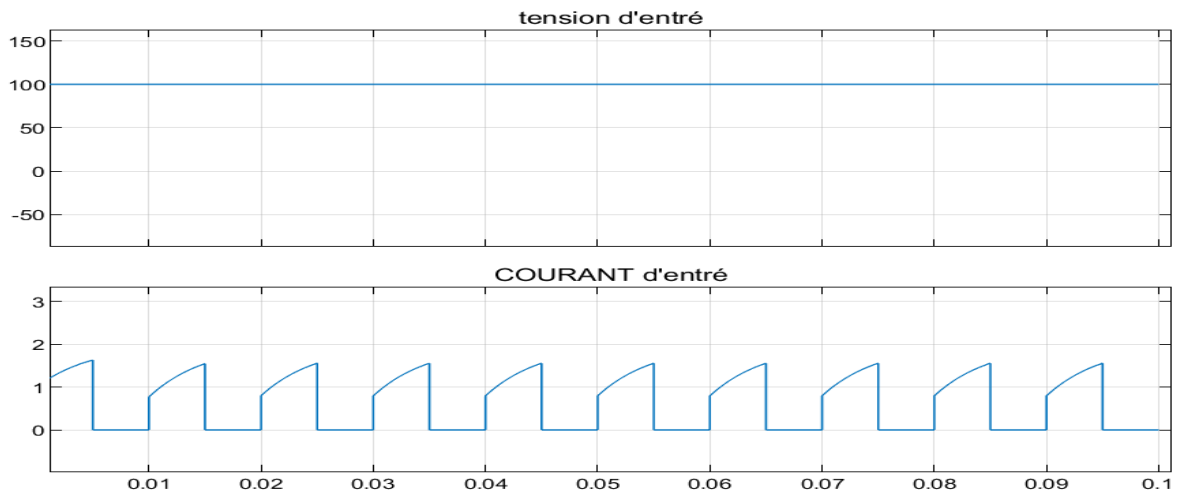


Fig.IV.5. Tension et courant d'entrée d'un onduleur

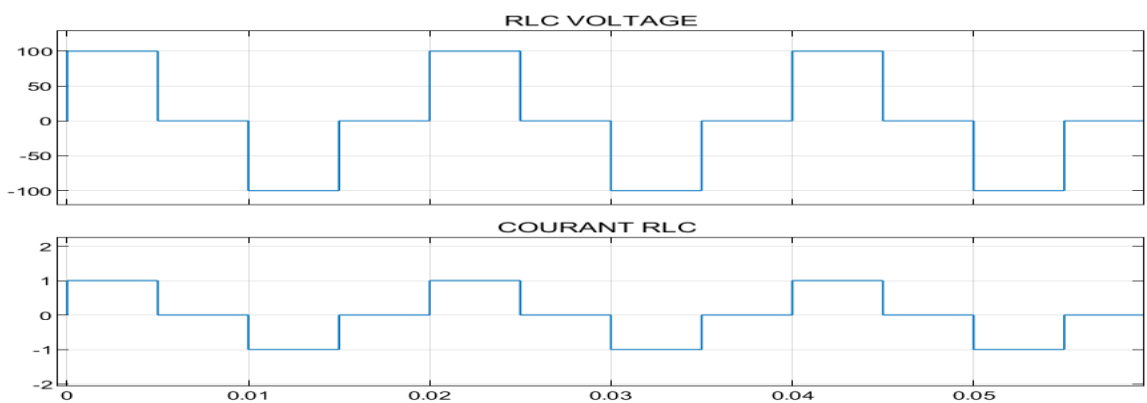


Fig. IV.6. Tension et courant de la charge d'un onduleur

IV.2.3. Hacheur

Cette partie de l'étude se focalise sur la simulation des hacheurs à l'aide de MATLAB. L'objectif est de modéliser et simuler le comportement de ces dispositifs de régulation de tension ou de courant. La simulation permet d'analyser les caractéristiques de sortie, d'évaluer le rendement et d'optimiser les paramètres de fonctionnement du hacheur.

IV.2.3.1. Hacheur un seul quadrant

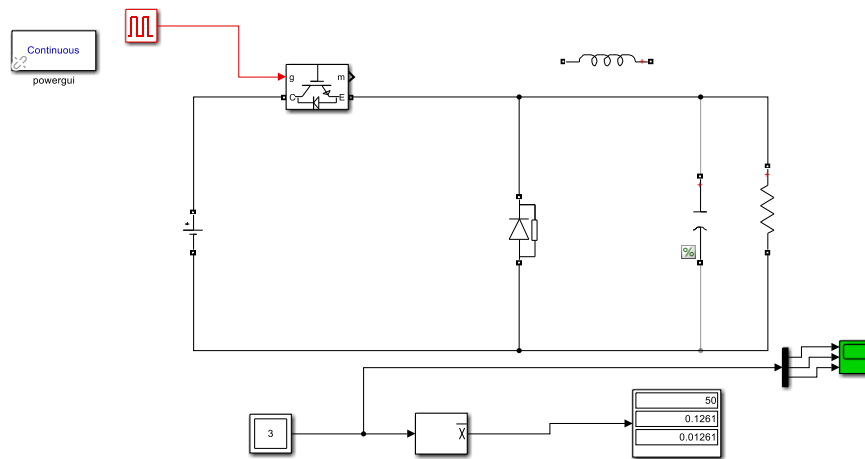


Fig.IV.7. Schéma de bloc d'un hacheur

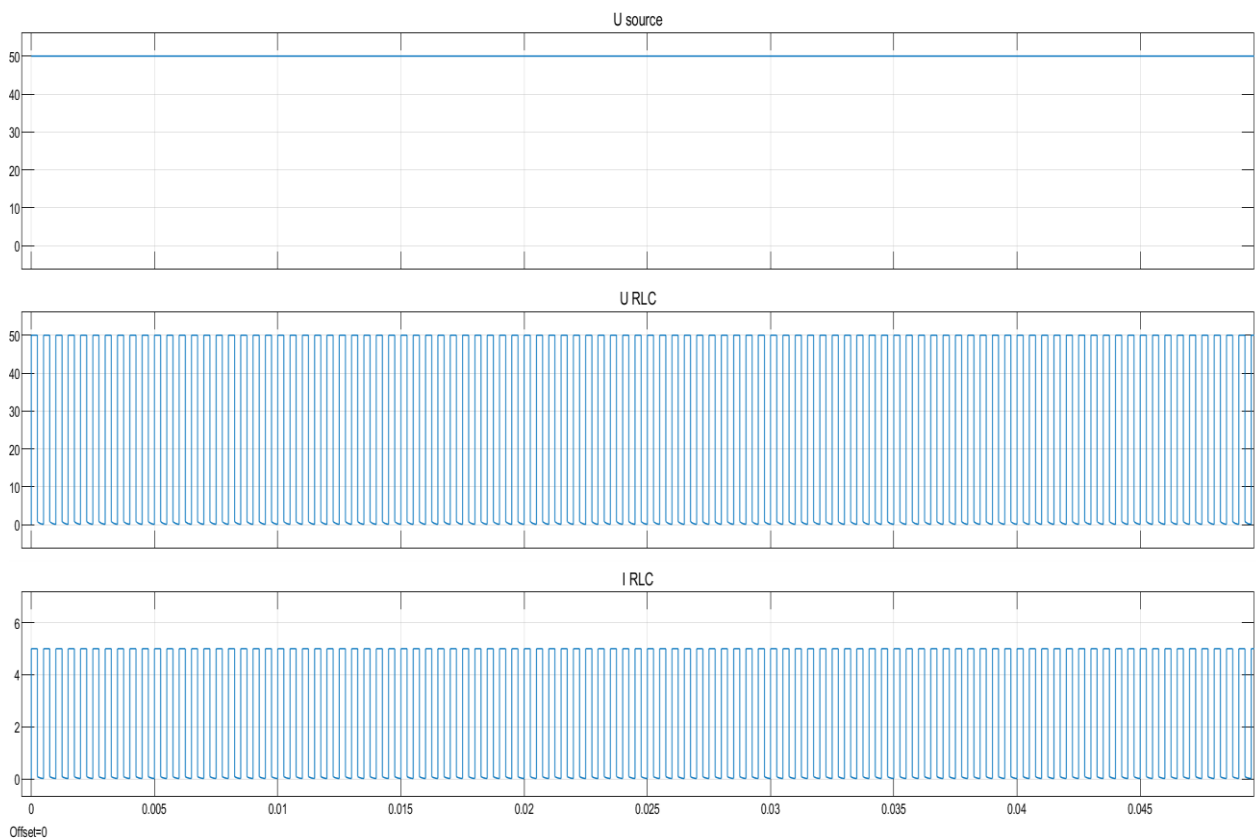


Fig.IV.8. Tension et courant de source et de la charge alimenté par un hacheur

IV.2.4. Gradateur

Cette partie de l'étude se concentre sur la simulation d'un gradateur à l'aide de MATLAB Simulink. L'objectif est de modéliser et simuler le comportement de ce dispositif. La simulation permettra d'analyser les caractéristiques de sortie du gradateur, de comprendre son fonctionnement et d'évaluer son impact sur le réseau électrique.

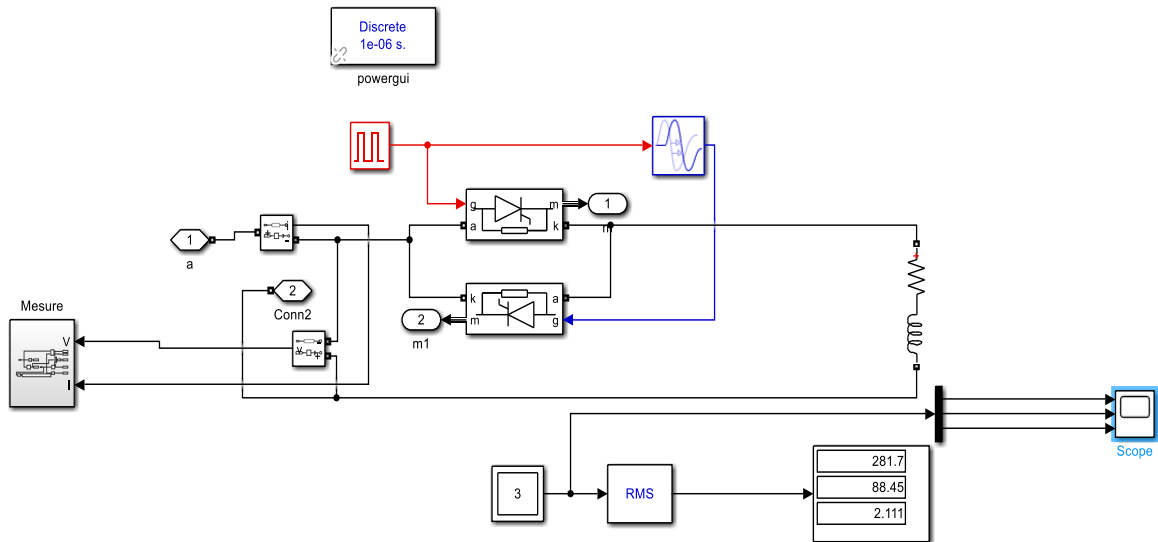


Fig.IV.9. Schéma de bloc d'un gradateur

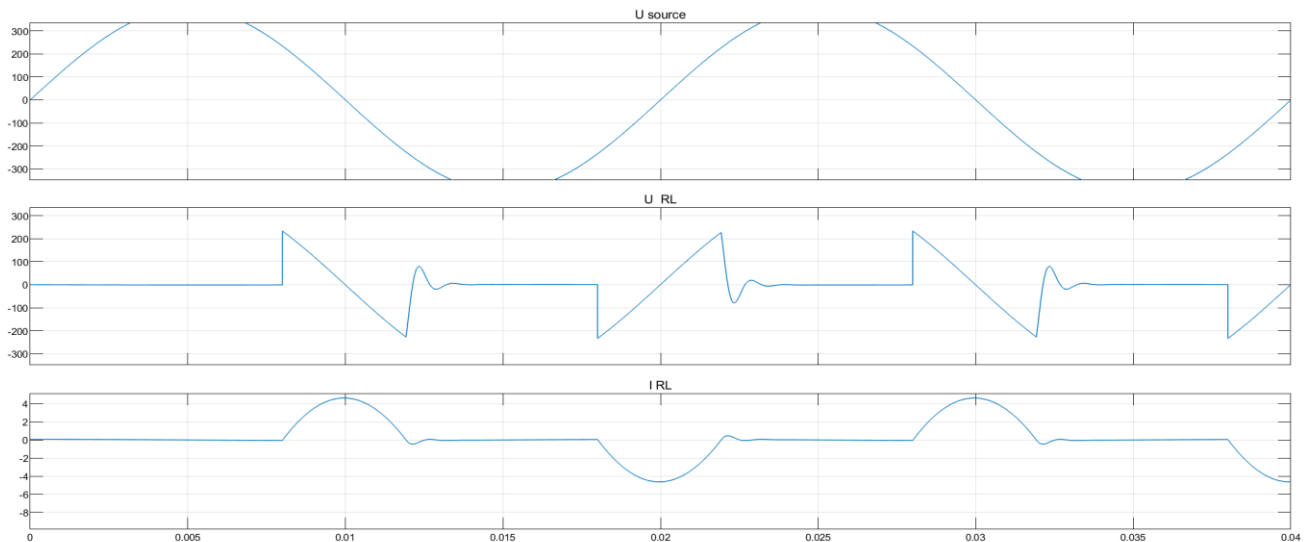


Fig.IV.10. Tension et courant de source et de la charge alimenté d'un gradateur

IV.3. Simulation de moteur asynchrone

L'objectif de la simulation d'une machine asynchrone à l'aide de MATLAB Simulink est de modéliser et simuler le comportement de cette machine électrique largement utilisée dans de nombreuses applications industrielles. La simulation permettra d'analyser les caractéristiques de performance de la machine asynchrone. Cela nous permettra de mieux comprendre le fonctionnement de la machine asynchrone et d'optimiser ses performances.

IV.3.1. Simulation de moteur asynchrone sans défaut

Ici on vise à simuler le comportement d'un moteur asynchrone en conditions normales, c'est-à-dire sans aucun défaut. L'objectif est d'analyser les caractéristiques de performance du moteur:

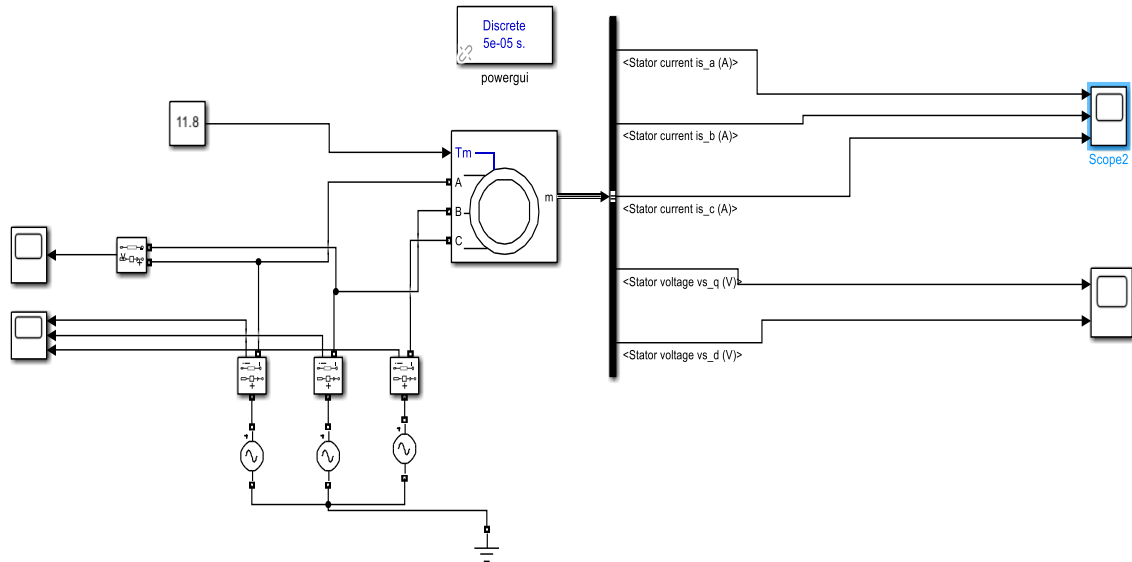


Fig.IV.11. Schéma de bloc d'un moteur asynchrone

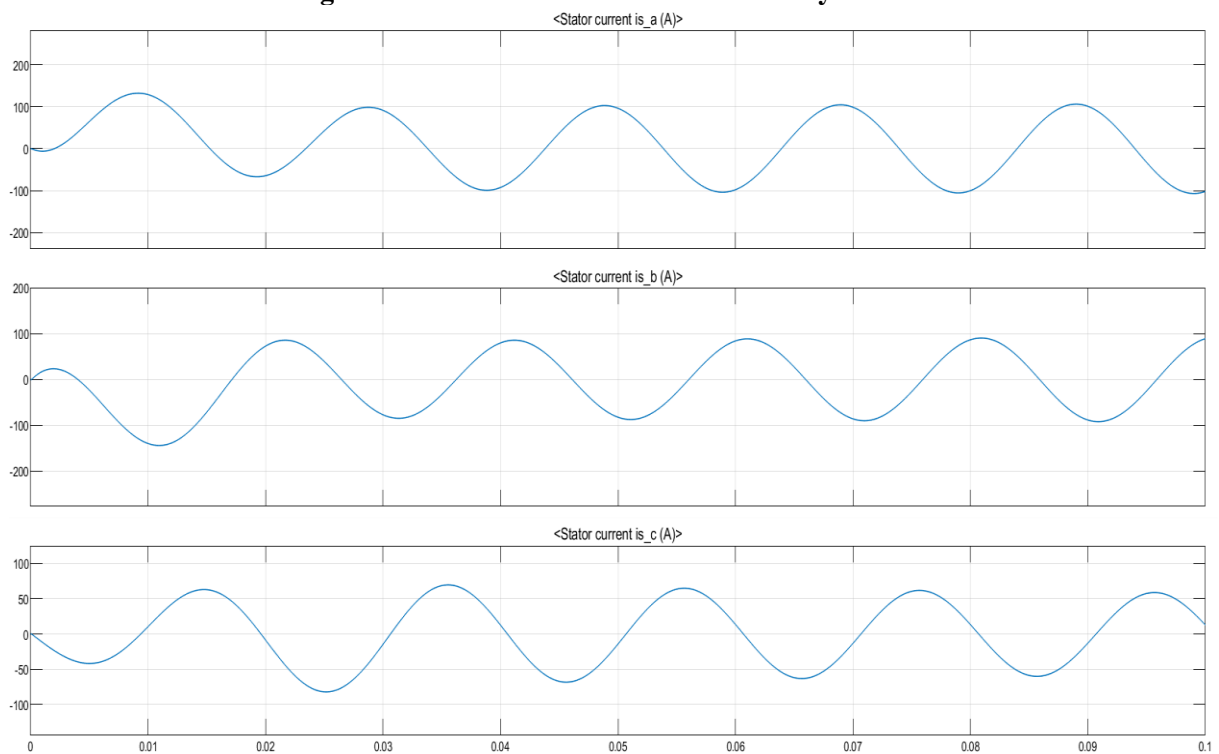


Fig.IV.12. Les courants statorique is_a, is_b et is_c

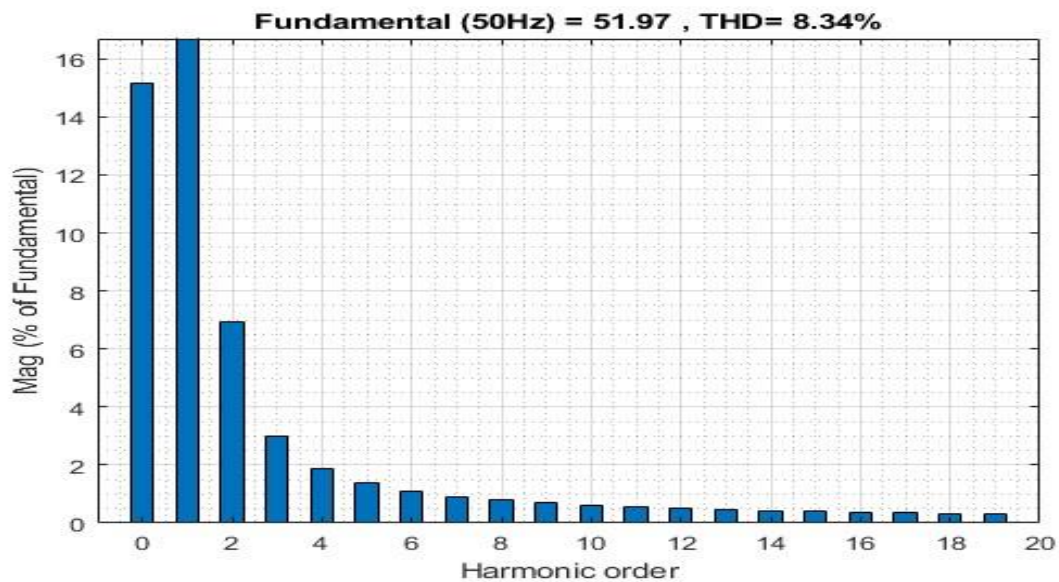


Fig.IV.13. THD% de courant statorique

IV.3.2. Simulation de moteur asynchrone avec défaut

Ici nous nous intéressons à la simulation d'un moteur asynchrone avec des défauts et à l'analyse des signaux de courant et de tension générés. L'objectif principal de cette simulation est de modéliser et simuler le comportement du moteur asynchrone en présence de défaut de court-circuit entre deux phases, afin d'étudier les caractéristiques des signaux de courant et de tension générés.

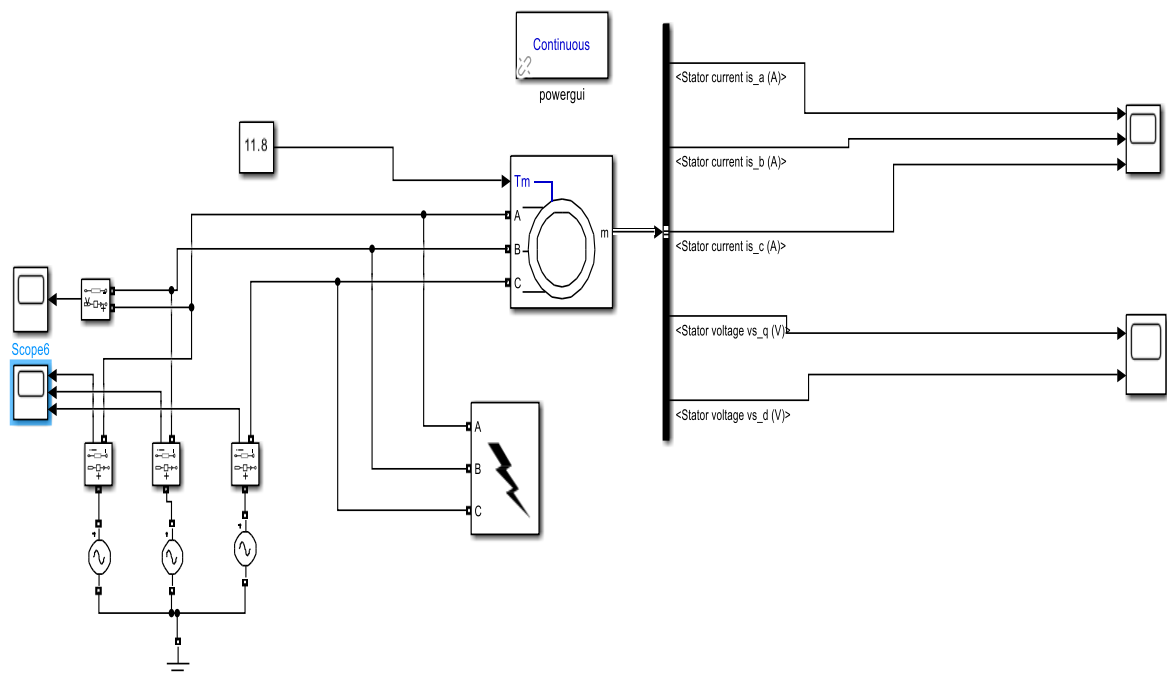


Fig.IV.14. Machine asynchrone en défaut court-circuit deux phases

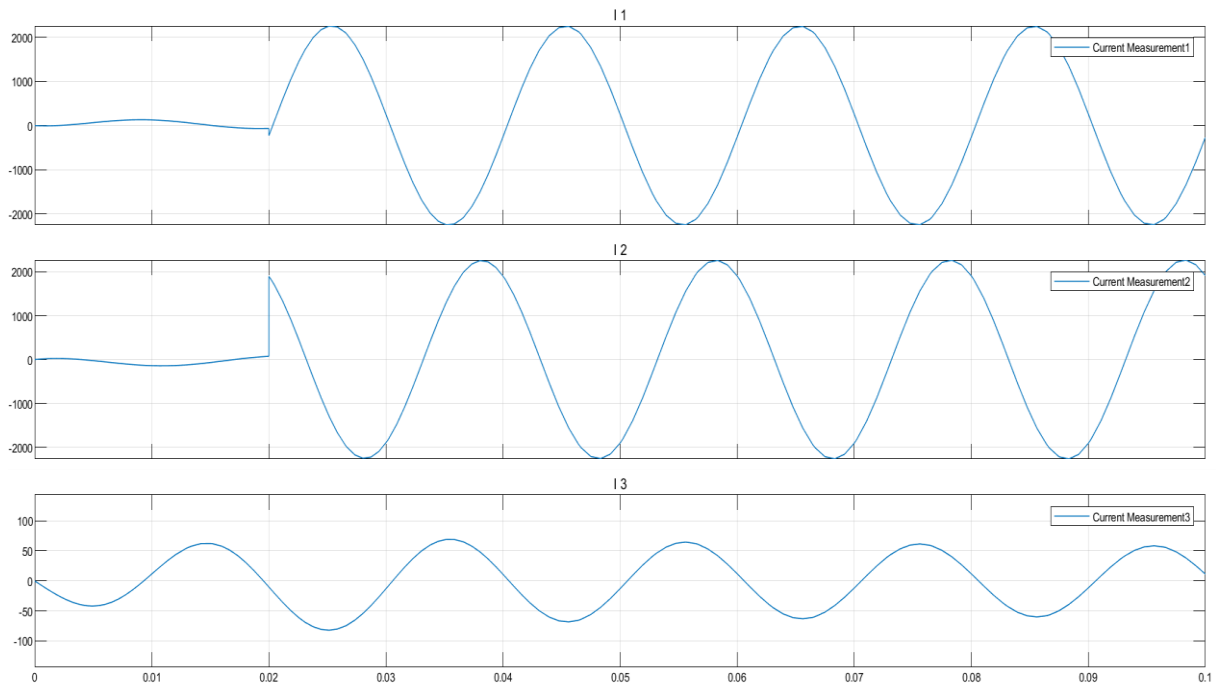


Fig.IV.15. Tension et courants des phases d'un moteur asynchrone en défaut court-circuit deux phases

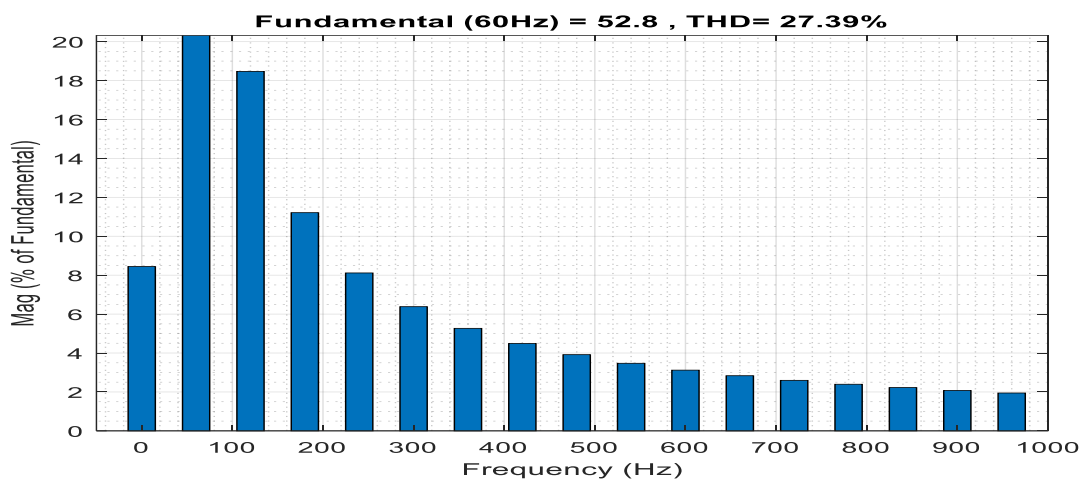


Fig.IV.16. Taux de distorsion harmonique totale (THD)

IV.4. Simulation de moteur électrique branché avec un convertisseur statique pollueur

Cette partie de l'étude se concentre sur la simulation d'un moteur électrique branché avec un convertisseur statique pollueur afin d'étudier les signaux de tension et de courant générés. La simulation nous permettra d'analyser les distorsions, les harmoniques et autres anomalies dans les signaux électriques

IV.4.1. Simulation de moteur électrique Sans défaut branche avec un convertisseur statique pollueur

Dans cette partie de l'étude, nous simulons un moteur électrique sans défaut connecté à un convertisseur statique pollueur. L'objectif est d'analyser les signaux de tension et de courant générés. Nous étudions les distorsions, les harmoniques et autres anomalies dans ces signaux, attribuables aux perturbations du convertisseur. La simulation nous permet de comprendre l'impact de ces perturbations sur les performances du moteur et de proposer des solutions de filtrage ou de compensation pour réduire leur impact.

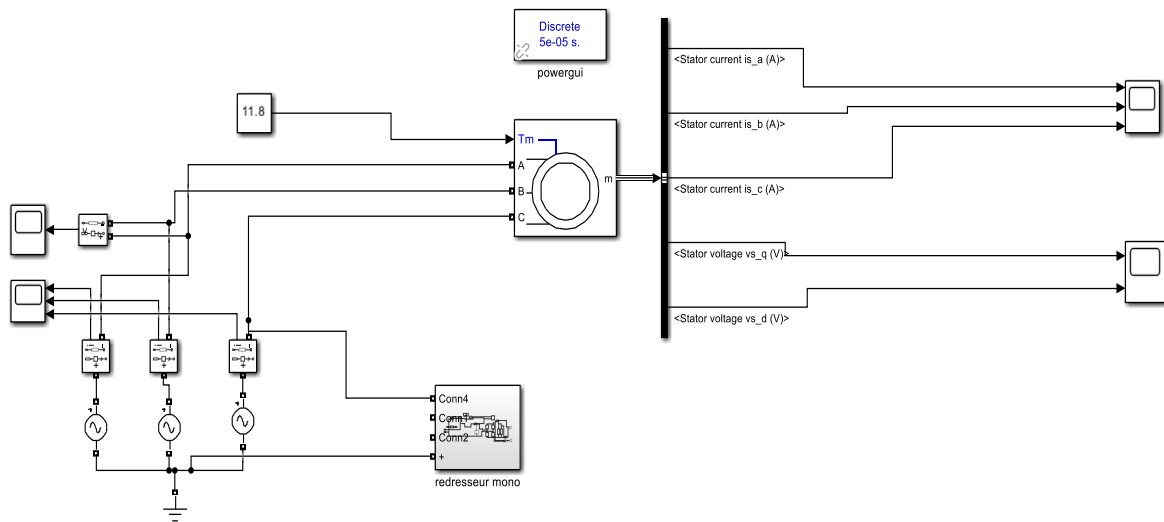


Fig.IV.17. Moteur électrique branche avec un convertisseur statique pollueur

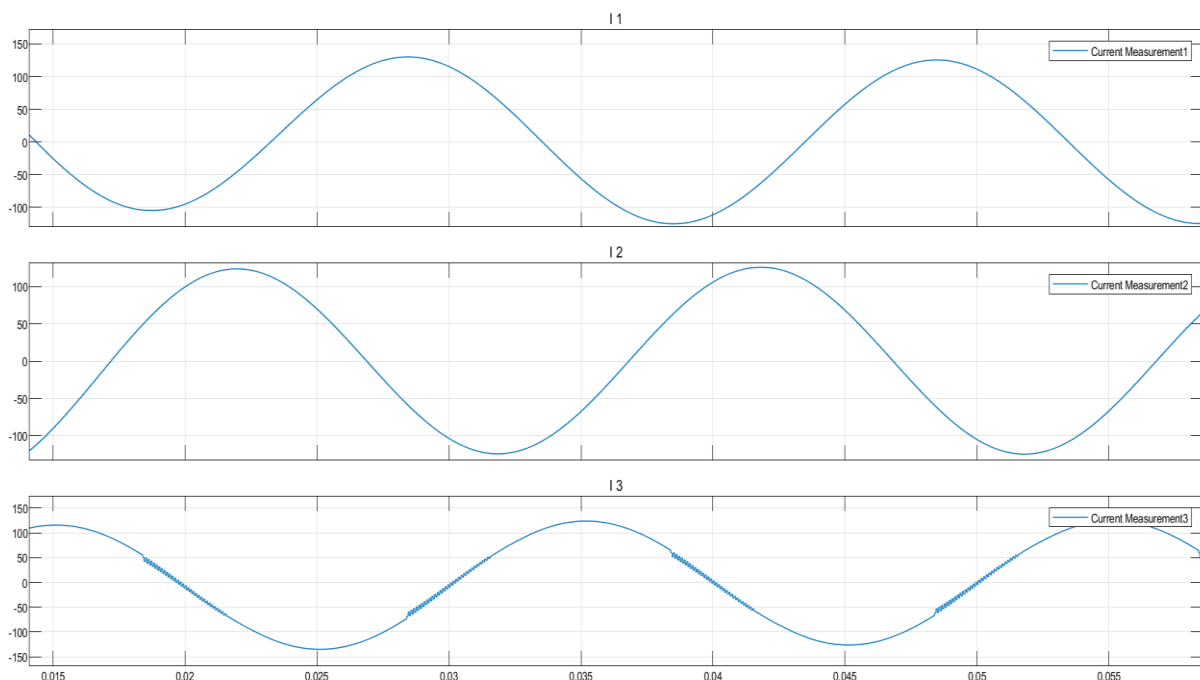


Fig.IV.18. Les courants des phases d'un moteur asynchrone avec une phase connectée à un redresseur

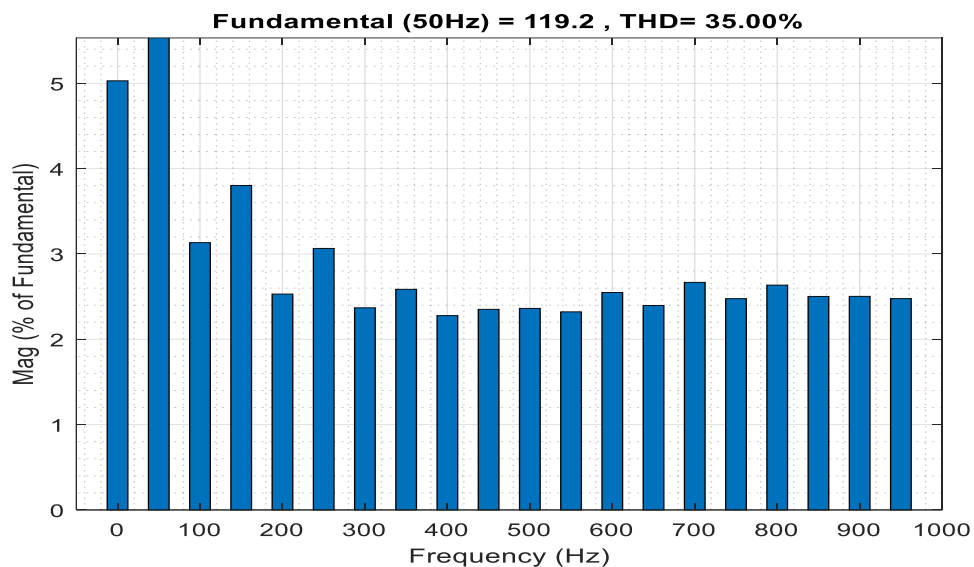


Fig.IV.19. Taux de distorsion harmonique totale (THD)

IV.4.1. Simulation de moteur électrique avec défaut branche avec un convertisseur statique pollueur

L'objectif ici est d'analyser les signaux de tension et de courant générés. Nous étudions les distorsions, les harmoniques et autres anomalies dans ces signaux, dues à la présence du défaut et aux perturbations introduites par le convertisseur. La simulation nous permet de comprendre l'impact de ces éléments sur les performances du moteur et de proposer des méthodes de diagnostic pour une maintenance préventive.

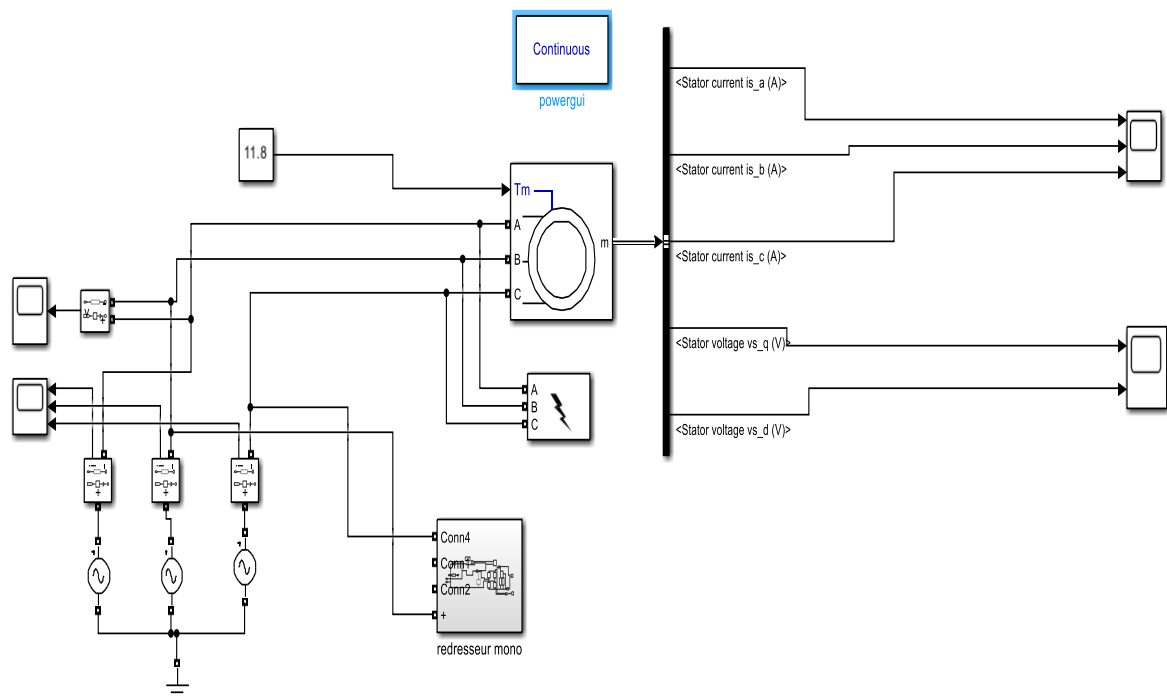


Fig.IV.20. Moteur électrique en défaut branché avec un convertisseur statique pollueur

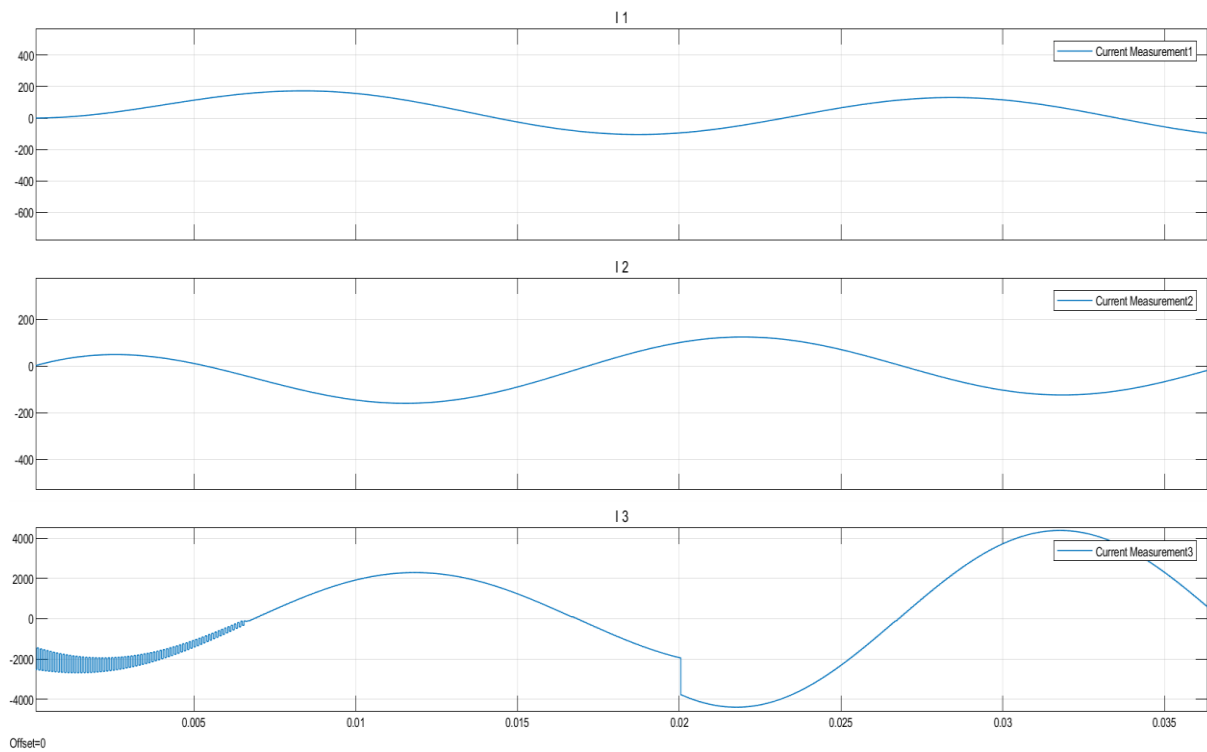


Fig.IV.21. Courants des phases d'un moteur asynchrone en défaut avec une phase connectée à un redresseur

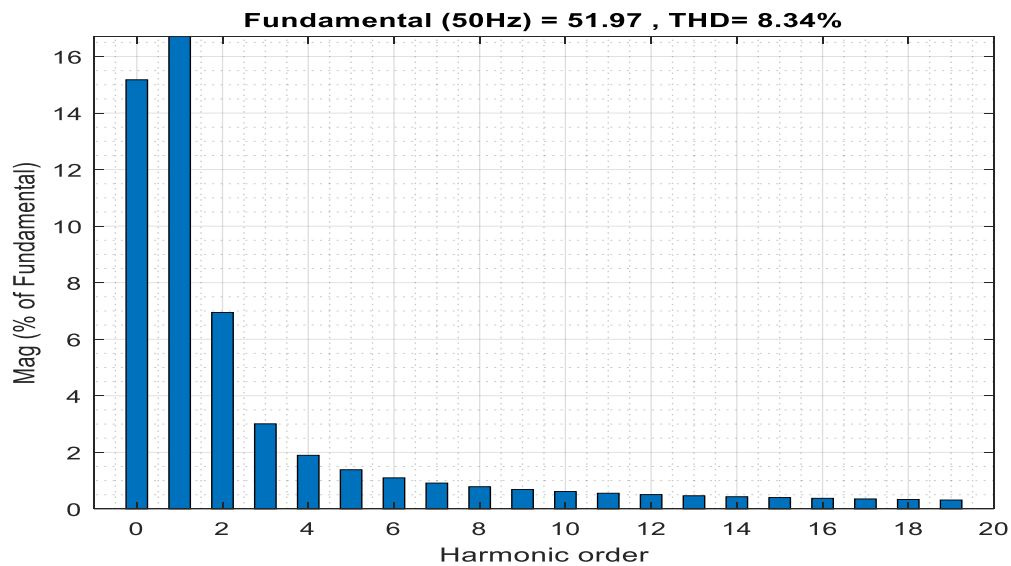


Fig.IV.22. Taux de distorsion harmonique totale (THD)

IV.5. Interprétation des résultats de simulations

La figure (IV.18.) représente la courbe de simulation d'un moteur à cage avec un redresseur sans filtrage connecté à une phase et alimentant une charge résistive de 120 ohms

Tension d'alimentation : La tension d'alimentation fournie par la phase au redresseur est une tension alternative sinusoïdale. La courbe de simulation pour cette tension serait une forme d'onde sinusoïdale avec une amplitude et une fréquence spécifiques, en fonction de la source d'alimentation.

Redressement : Le redresseur convertit la tension alternative en tension continue en éliminant la composante négative de la tension. Cependant, dans ce cas, sans filtrage, la courbe de simulation pour la tension redressée serait une forme d'onde pulsante avec des crêtes positives correspondant à la tension positive de l'alternatif, mais avec des fluctuations importantes.

Tension aux bornes de la charge résistive : La charge résistive de 120 ohms est alimentée par la tension redressée sans filtrage. La courbe de simulation pour la tension aux bornes de la charge résistive serait également une tension pulsante avec des fluctuations importantes. La tension aurait des crêtes positives correspondant à la tension redressée, mais elle serait sujette à des variations importantes en raison de l'absence de filtrage.

Il est important de noter que le manque de filtrage dans ce système peut entraîner des fluctuations importantes de la tension aux bornes de la charge, ce qui peut affecter les performances du moteur à cage et de la charge résistive. Dans des applications réelles, un filtrage approprié est généralement utilisé pour atténuer ces variations et obtenir une tension plus stable et constante aux bornes de la charge.

Moteur en défaut

Lorsque le moteur présente un court-circuit entre deux phases et la carcasse comme représenté dans la figure (Fig.IV.13), cela peut entraîner des conséquences graves et des courbes de simulation spécifiques. Voici une explication des courbes de simulation pour le moteur asynchrone avec un tel défaut :

Tension d'alimentation : La tension d'alimentation fournie au moteur asynchrone pendant le défaut serait une tension alternative sinusoïdale. La courbe de simulation est une forme d'onde sinusoïdale avec une amplitude et une fréquence spécifiques, en fonction de la source d'alimentation.

La tension d'alimentation fournie au moteur asynchrone pendant le défaut peut être représentée par une forme d'onde sinusoïdale. Elle peut être définie par l'équation suivante :

$$V(t) = V_m * \sin(\omega t) \quad (IV.1)$$

Où $V(t)$ est la tension instantanée à un moment donné, V_m est l'amplitude maximale de la tension d'alimentation, ω est la pulsation angulaire ($2\pi f$, f étant la fréquence) et t est le temps.

Courant de défaut : Avec le court-circuit entre deux phases et la carcasse, le courant de défaut sera anormalement élevé. Les courbes de simulation pour le courant de défaut montreraient une augmentation soudaine et importante du courant dans les phases concernées. Le courant serait non sinusoïdal et présenterait des pics significatifs correspondant au court-circuit.

Avec le court-circuit entre deux phases et la carcasse, le courant de défaut sera anormalement élevé. Il peut être exprimé par l'équation suivante :

$$I(t) = (V_m / Z_s) * \sin(\omega t) \quad (IV.2)$$

où $I(t)$ est le courant instantané à un moment donné, V_m est l'amplitude maximale de la tension d'alimentation, et Z_s est l'impédance du court-circuit entre les phases et la carcasse. L'impédance de court-circuit peut être calculée à l'aide de la loi d'Ohm :

$$Z_s = (Z_{12} * Z_{ca}) / (Z_{12} + Z_{ca}) \quad (IV.3)$$

où Z_{12} est l'impédance entre les phases en court-circuit et Z_{ca} est l'impédance entre les phases et la carcasse.

Couple de sortie : Le court-circuit entre deux phases et la carcasse affecterait le fonctionnement normal du moteur asynchrone. Le couple de sortie serait irrégulier, diminué ou même nul en raison du court-circuit. Les courbes de simulation pour le couple de sortie montreraient une variation anormale et non constante, indiquant le dysfonctionnement du moteur.

Le couple de sortie est généralement proportionnel au carré du courant d'alimentation. On peut l'exprimer par l'équation suivante :

$$C(t) = k * I(t)^2 \quad (IV.4)$$

Où $C(t)$ est le couple instantané à un moment donné, k est une constante de proportionnalité.

Le Moteur électrique en défaut branché avec un redresseur

Cas de moteur en défaut en association avec un redresseur monophasé connecté à une phase comme la figure (Fig.IV.19) représente. Dans ce cas où un moteur en défaut est

connecté à un réseau avec une phase associée, qui alimente un redresseur monophasé sans filtre, qui à son tour alimente une charge de 0,1 ohm,

L'explication de la courbe de simulation :

Tension d'alimentation : La tension d'alimentation provenant du réseau monophasé serait une tension alternative sinusoïdale. La courbe de simulation pour cette tension serait une forme d'onde sinusoïdale avec une amplitude et une fréquence spécifiques, en fonction de la source d'alimentation.

Tension au niveau du redresseur : Le redresseur monophasé sans filtre convertirait la tension alternative en une tension continue pulsante. Cependant, en raison de l'absence de filtre, la tension au niveau du redresseur serait une forme d'onde pulsante avec une amplitude qui varie en fonction de la tension d'alimentation sinusoïdale.

Courant de défaut : Avec le court-circuit entre deux phases et la carcasse du moteur en défaut, le courant de défaut serait extrêmement élevé. Le redresseur monophasé sans filtre permettrait à ce courant de défaut élevé de passer à travers le circuit. La courbe de simulation pour le courant de défaut montrerait des valeurs extrêmement élevées et pulsantes, correspondant à la fréquence de la tension d'alimentation sinusoïdale.

Tension aux bornes de la charge : La charge de 0,1 ohm subirait une chute de tension importante en raison du courant de défaut élevé. La courbe de simulation pour la tension aux bornes de la charge montrerait une tension pulsante avec des fluctuations rapides correspondant aux variations du courant de défaut et de la tension au niveau du redresseur.

Il est important de noter que cette configuration avec un redresseur monophasé sans filtre peut présenter des défis en raison du court-circuit dans le moteur et de la chute de tension importante sur la charge. Les variations rapides du courant et les fluctuations de tension peuvent entraîner des contraintes excessives sur le moteur en défaut et la charge, pouvant entraîner des dommages ou un mauvais fonctionnement. L'utilisation d'un filtre approprié est recommandée pour atténuer ces problèmes et obtenir une tension plus stable et une meilleure protection du moteur et de la charge.

La différence entre l'allure du moteur en défaut lorsqu'il est connecté à un réseau monophasé avec une phase associée, alimentant un redresseur monophasé sans filtre qui alimente une charge de 0,1 ohm, peut être significative par rapport à un fonctionnement normal du moteur.

Lorsque le moteur est en défaut avec un court-circuit entre deux phases et la carcasse, cela crée une perturbation importante dans le fonctionnement normal du moteur. Le courant de défaut est anormalement élevé, entraînant des fluctuations rapides et une distorsion harmonique significative dans le courant. Ces fluctuations de courant et la distorsion harmonique peuvent se propager dans le système d'alimentation, affectant la tension et le courant dans le réseau monophasé et le redresseur.

D'autre part, le redresseur monophasé sans filtre convertira la tension alternative sinusoïdale en une tension continue pulsante. En raison de l'absence de filtre, la tension de sortie du redresseur aura également une distorsion harmonique importante, en particulier à des fréquences multiples de la fréquence fondamentale du réseau.

Pour identifier les harmoniques spécifiques générés par le redresseur et les comparer à ceux présents dans le signal de défaut du moteur. La différence sera observable en termes d'amplitude, de fréquence et de distribution harmonique.

La différence entre les ordres harmoniques du signal de défaut du moteur et de l'harmonique du redresseur peut être évaluée en analysant les composantes harmoniques présentes dans chaque signal.

Signal de défaut du moteur : Le signal de défaut du moteur en raison du court-circuit entre deux phases et la carcasse générera des harmoniques qui dépendent de la forme d'onde du courant de défaut. La formule générale pour les composantes harmoniques d'un signal périodique est :

$$V_h = A * \cos(h * \omega t + \varphi) \quad (IV.5)$$

Où V_h est l'amplitude de l'harmonique d'ordre h , A est l'amplitude du signal, ω est la pulsation angulaire ($2\pi f$), t est le temps, et φ est la phase de l'harmonique.

Dans le cas du signal de défaut du moteur, le courant de défaut est le plus pertinent à analyser. Vous pouvez utiliser des techniques de mesure et d'analyse appropriées pour extraire les composantes harmoniques spécifiques du courant de défaut et déterminer leurs ordres et amplitudes respectifs.

Harmoniques du redresseur : Le redresseur monophasé sans filtre, en convertissant la tension alternative en une tension continue pulsante, génère également des harmoniques. Les harmoniques dans la tension de sortie du redresseur sont généralement multiples de la fréquence fondamentale de l'alimentation.

La formule générale pour les harmoniques d'un signal redressé pulsant est similaire à celle du signal de défaut :

$$V_h = B * \cos(h * \omega t + \varphi') \quad (IV.6)$$

Où V_h est l'amplitude de l'harmonique d'ordre h , B est l'amplitude du signal redressé, ω est la pulsation angulaire ($2\pi f$), t est le temps, et φ' est la phase de l'harmonique.

En analysant la tension de sortie du redresseur, vous pouvez extraire les composantes harmoniques spécifiques et déterminer leurs ordres et amplitudes respectifs.

Une fois que vous avez obtenu les composantes harmoniques du signal de défaut du moteur et de l'harmonique du redresseur, vous pouvez les comparer pour évaluer la différence entre leurs ordres harmoniques. En examinant les ordres des harmoniques dominants dans les deux signaux, vous pouvez identifier les différences dans les fréquences et les amplitudes des harmoniques.

Il est important de noter que l'analyse précise des harmoniques nécessite des techniques de traitement du signal avancées, telles que la transformée de Fourier, pour extraire les composantes harmoniques et quantifier leurs caractéristiques.

Dans le cas d'un moteur en défaut raccordé à un redresseur monophasé sans filtre, différents types d'harmoniques peuvent être générés à la fois dans le signal de défaut du moteur et dans l'harmonique du redresseur.

Explication des types d'harmoniques présents dans chaque signal :

Signal de défaut du moteur : Le court-circuit entre deux phases et la carcasse du moteur peut générer principalement des harmoniques impaires dans le signal de défaut du moteur. Les harmoniques impaires comprennent l'harmonique fondamentale ($h = 1$), le troisième harmonique ($h = 3$), le cinquième harmonique ($h = 5$), et ainsi de suite. Ces harmoniques impaires sont dus à la distorsion non linéaire du courant causée par le court-circuit dans le moteur.

Harmoniques du redresseur : Le redresseur monophasé sans filtre, en convertissant la tension alternative en une tension continue pulsante, génère principalement des harmoniques pairs dans le signal de sortie. Les harmoniques pairs comprennent l'harmonique fondamentale ($h = 1$), le deuxième harmonique ($h = 2$), le quatrième harmonique ($h = 4$), et ainsi de suite. Ces harmoniques pairs sont dus à la distorsion de la forme d'onde carrée ou rectangulaire résultant de la conversion du redresseur.

Il est important de noter que la présence d'harmoniques n'est pas limitée uniquement aux harmoniques impaires dans le signal de défaut du moteur ou aux harmoniques pairs dans le signal du redresseur. Des harmoniques multiples peuvent être présents en fonction de la complexité de la distorsion et des interactions entre les différents composants du système.

La nature spécifique des harmoniques générés dépendra de nombreux facteurs tels que l'amplitude du court-circuit dans le moteur, la conception et le fonctionnement du redresseur, ainsi que les caractéristiques de la charge connectée au redresseur.

Une analyse plus détaillée du spectre harmonique des signaux de défaut du moteur et de l'harmonique du redresseur permettra d'identifier les ordres et les types spécifiques d'harmoniques présents dans chaque signal.

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous aborderons la simulation d'une ME en présence d'un convertisseur pollueur. Nous examinerons les interactions complexes entre la machine et le convertisseur, ainsi que les conséquences de la pollution électromagnétique sur les performances de la ME.

Nous discuterons des différentes méthodes de simulation utilisées pour modéliser la ME et le convertisseur. Cela comprend l'utilisation de modèles analytiques, de modèles basés sur des équations électromagnétiques et de techniques de simulation numérique, telles que les méthodes des éléments finis et les simulations par circuits.

Nous analyserons également les effets néfastes de la pollution électromagnétique générée par le convertisseur sur la ME. Ces effets peuvent inclure des pertes supplémentaires, des vibrations indésirables, des variations de couple, des résonances électromécaniques et d'autres problèmes qui peuvent affecter les performances et la fiabilité de la machine.

Comprendre et modéliser correctement ces interactions sont crucial pour concevoir des stratégies de contrôle appropriées et optimiser les performances globales du système. En intégrant les effets de la pollution électromagnétique dès la phase de simulation, nous pouvons anticiper les problèmes potentiels, améliorer la robustesse du système et réduire les coûts de développement.

En conclusion, ce chapitre vise à explorer la simulation d'une ME en présence d'un convertisseur pollueur. En comprenant les interactions complexes entre ces deux éléments et en prenant en compte les effets de la pollution électromagnétique, nous pourrions concevoir des systèmes plus performants et plus fiables. La simulation joue un rôle clé dans l'optimisation des machines électriques, en permettant de les concevoir de manière plus efficace et respectueuse de l'environnement.

CHAPITRE V

**Élaboration et mise en œuvre du banc
d'essai**

V.1. Introduction

Le présent chapitre se concentre sur la réalisation d'un banc d'essai spécialement conçu pour l'étude des perturbations électriques basses tensions (BT). Les perturbations électriques BT sont devenues un sujet d'une importance capitale dans le domaine de l'électrotechnique, car elles peuvent entraîner des problèmes significatifs tels que des dysfonctionnements d'équipements, des interruptions de service et des pertes économiques. Afin de mieux comprendre ces perturbations et de proposer des solutions adéquates, il est essentiel de disposer d'un environnement de test contrôlé et réaliste. Le banc d'essai que nous développons permettra de reproduire, simuler et analyser différentes perturbations électriques BT dans le but d'approfondir notre compréhension de ces phénomènes et d'élaborer des stratégies efficaces d'atténuation. Ce chapitre présentera la conception du banc d'essai, les composantes clés qui le composent ainsi que la méthodologie expérimentale mise en place pour mener des tests pertinents et rigoureux. En fin de compte, ce banc d'essai contribuera à l'avancement des connaissances dans le domaine des perturbations électriques BT et favorisera le développement de solutions innovantes pour améliorer la qualité de l'énergie électrique.

V.2. Description et spécifications du banc d'essai

Le banc d'essai comprend plusieurs éléments clés qui permettent de reproduire et d'étudier différentes perturbations électriques.

Les composants typiques du banc d'essai :

Description du réseau étudié : Le réseau étudié était un réseau de distribution BT qui alimentait un banc d'essai. Le réseau était constitué de plusieurs branchements électriques qui desservaient plusieurs équipements électriques tels que des moteurs électriques, des systèmes d'éclairage et des appareils électroniques.

Charge(s) simulée(s) : Les charges simulées représentent les différents équipements électriques présents dans un réseau BT, tels que les éclairages, les moteurs, etc. Ces charges simulées permettent de consommer l'énergie fournie par la source d'alimentation et de générer des perturbations spécifiques.

Générateur de perturbations : Ces dispositifs sont utilisés pour introduire des perturbations électriques spécifiques dans le réseau BT. Ils peuvent générer des transitoires, des harmoniques, des creux de tension, des surtensions, des variations de fréquence, des déséquilibres de tension, etc. Les générateurs de perturbations permettent de contrôler et de reproduire ces phénomènes de manière précise.

Instruments de mesure : Ils comprennent des équipements tels que des oscilloscopes, des wattmètres, etc. Ces instruments sont utilisés pour mesurer et analyser les caractéristiques des perturbations électriques générées par le banc d'essai. Ils permettent de quantifier les paramètres électriques tels que la tension, le courant, la fréquence, les harmoniques, la puissance, etc.

En utilisant ce banc d'essai, les chercheurs et les étudiants peuvent étudier les effets des perturbations électriques sur les équipements du réseau BT, évaluer la stabilité du réseau, développer des méthodes de protection et de mitigation, ainsi que concevoir des filtres et des dispositifs de correction pour atténuer les perturbations.

Il convient de noter que les caractéristiques spécifiques du banc d'essai peuvent varier en fonction des besoins de l'université et des objectifs de recherche du laboratoire.

V.3.La conception initiale du Banc d'essai

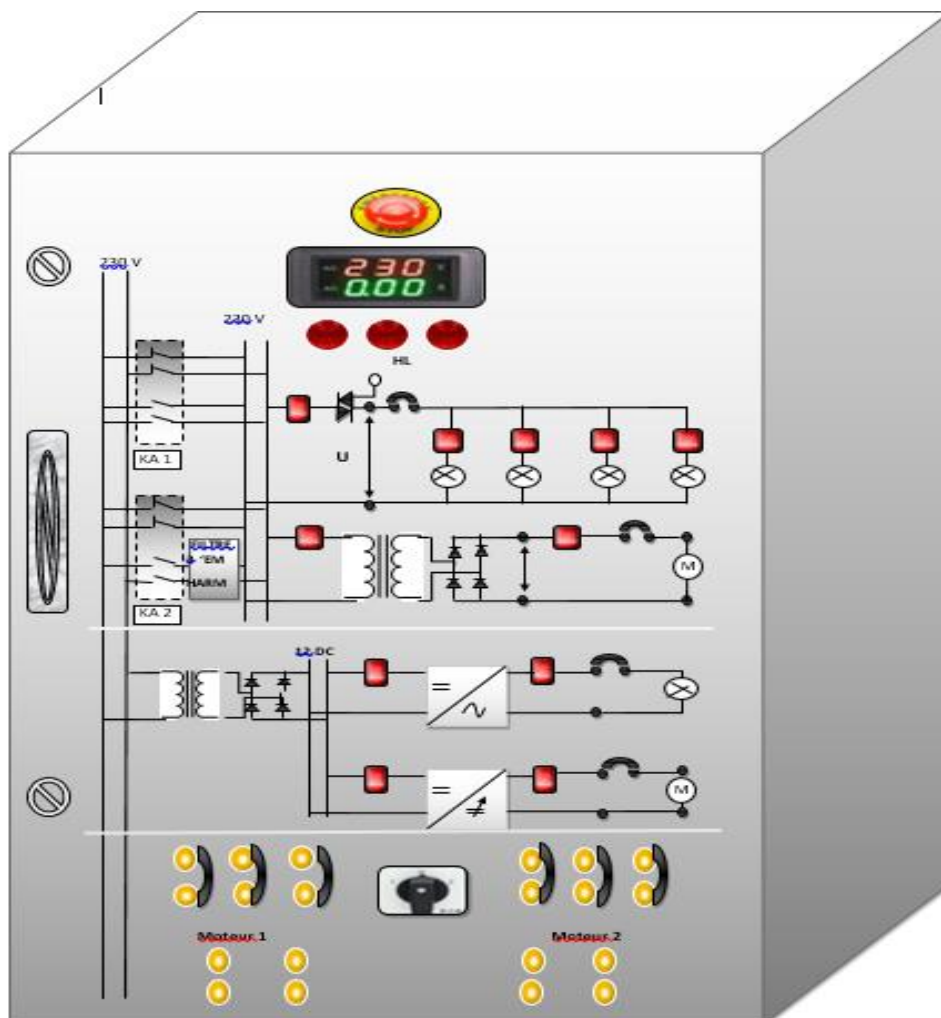


Fig.V.1. La face avant de banc d'essai

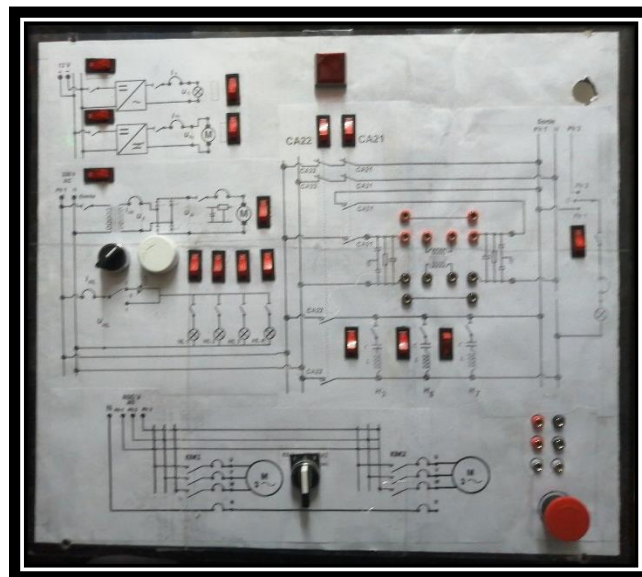
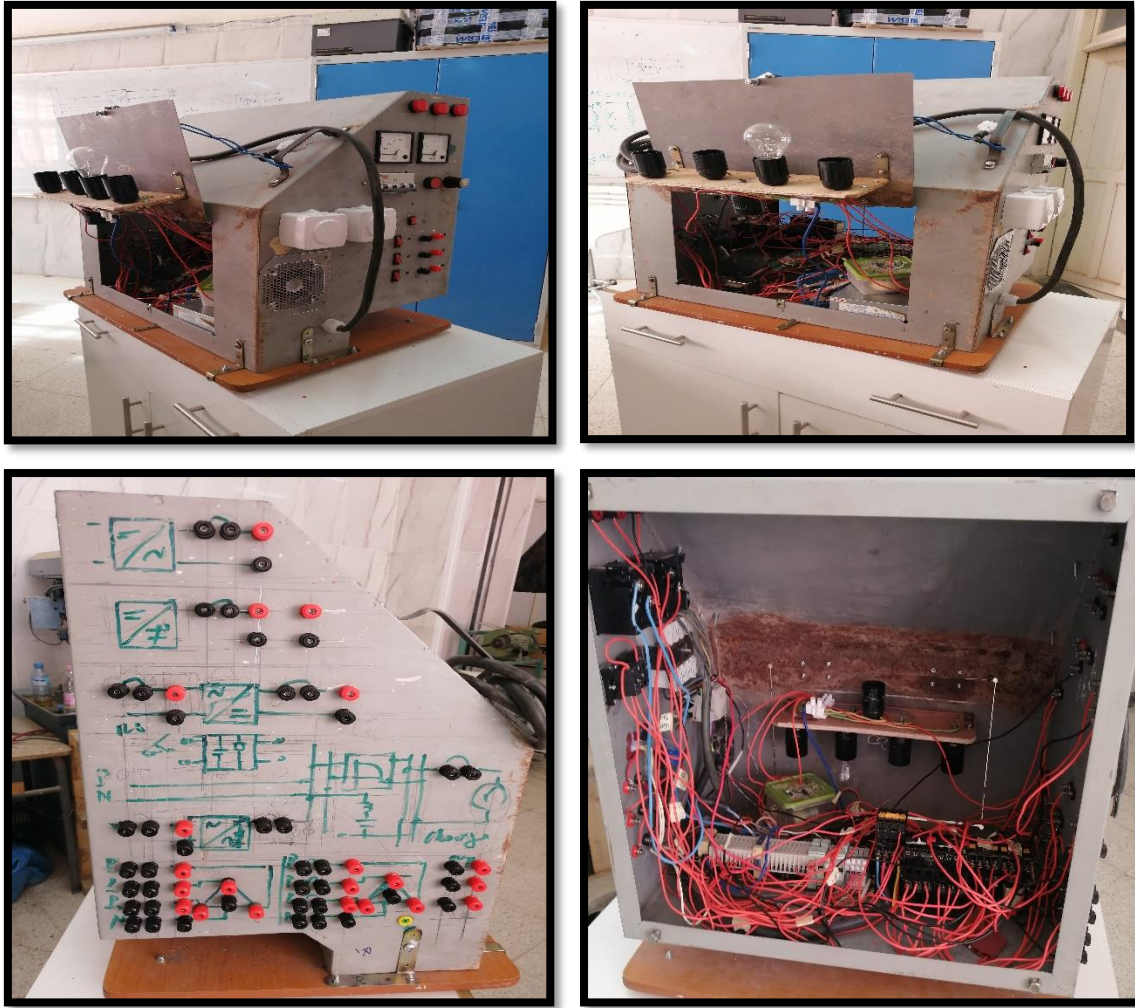


Fig.V.2. Banc d'essais réalisé

V.3.1. Choix des composants :



Fig.V.3. Prise apparente



Fig.V.4. Ampèremètre



Fig.V.5. Lampe de signalisation



Fig.V.6. Transformateur



Fig.V.7. Voltmètre



Fig.V.8. Disjoncteur



Fig.V.9. Interrupteur



Fig.V.10. Douilles bananes



Fig.V.11. Contacteur

V.3.2. Les convertisseurs

Pour étudier les différentes perturbations évoquées plus haut, notre banc d'essais est doté de : Un redresseur monophasé non commandé, un onduleur monophasé, un Hacheur série, un gradateur monophasé, du filtre secteur à composant variables, des filtres passifs pour l'élimination des harmoniques de l'ordre 3, 5 et 7, une alimentation stabilisée 12V, 5v et 3.3 V, des entrées sorties triphasées, monophasés, à courant continu. Etc.

V.3.2.1. Redresseur

Le redresseur monophasé utilisé dans notre banc est donné par la figure .V.13.

- **Symbole :**



Fig.V.12. Symbole du redresseur.

- **Schéma :**

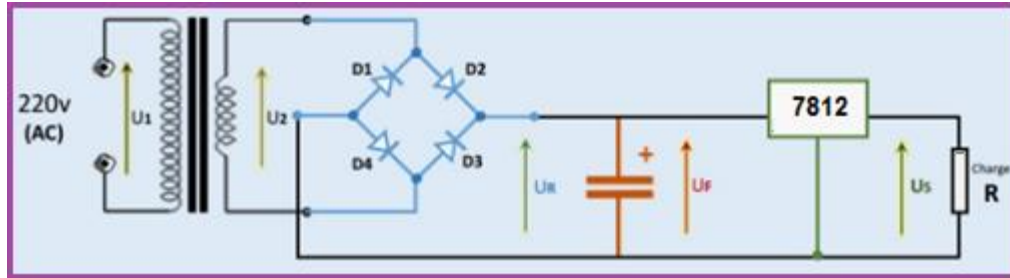


Fig.V.13. Schéma du redresseur réalisé.

- **Composants.**

- Transformateur 220/12 V, 30 VA
- Pont de diodes GRAETZ
- Un filtre capacitif, un régulateur 7812.

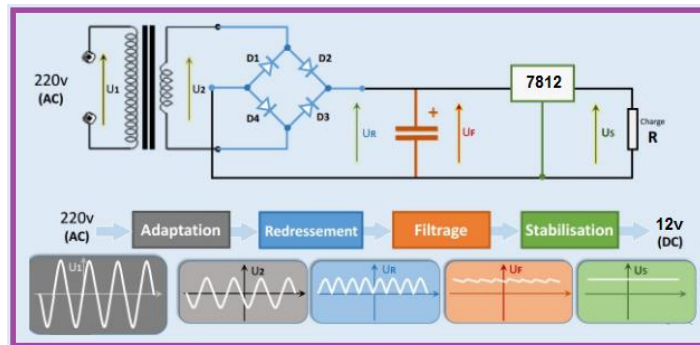


Fig.V.14. Alimentation stabilisée

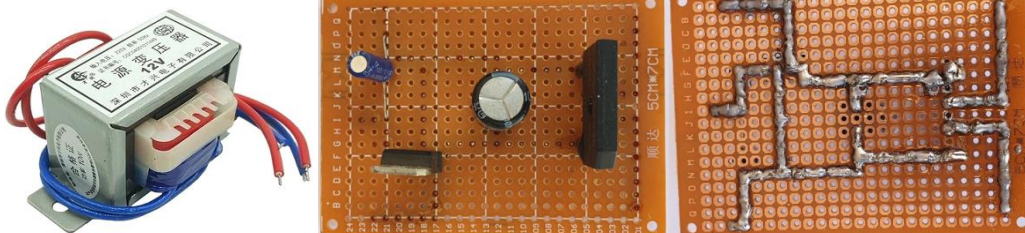


Fig.V.15. Transformateur, circuit du redresseur réalisé, filtre et régulateur.

V.3.2. 2. Onduleur monophasé

L'onduleur monophasé utilisé dans notre banc est de type circuit bistable.

- **Symbole :**

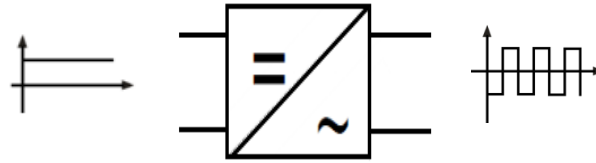


Fig.V.16. Symbole de l'onduleur.

- **Schéma :**

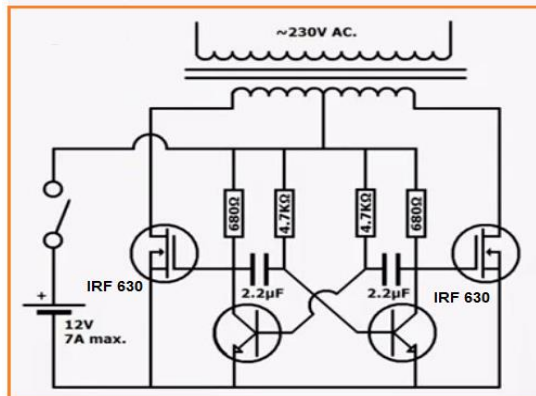


Fig.V.17. Schéma réalisé de l'onduleur.

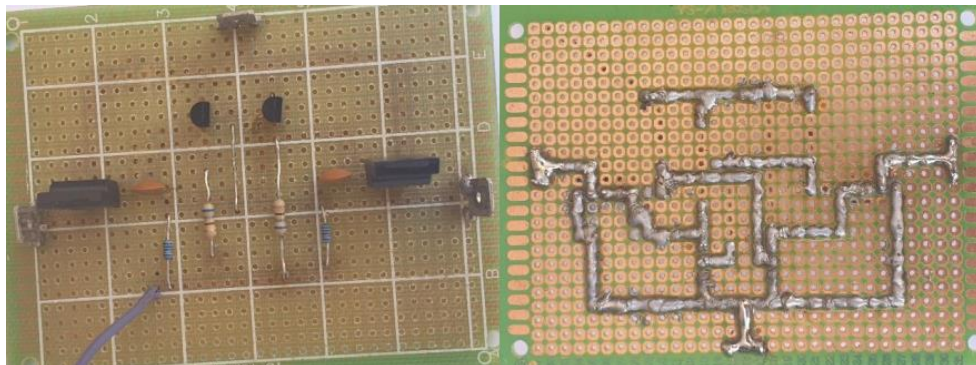


Fig.V.18. Photo réel de l'onduleur

- **Composants :**

Les composants utilisés sont (figure.V.17.)

- 02-transistors..... 2N2222
- 02- transistors..... IRF630
- 02- résistances680Ω
- 02- résistances12KΩ
- 02- condensateurs2,2μF
- 01- transformateur220V/2x12v

V.3.2.3. Hacheur :

Hacheur utilisé est un Hacheur série.

- Symbole :

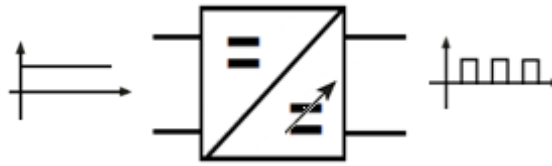


Fig.V.19. Symbole de l'Hacheur.

- Schéma :

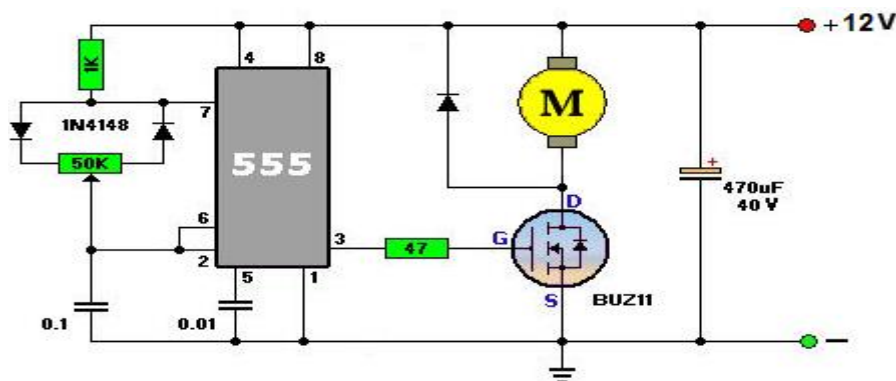


Fig.V.20. Schéma réalisé du Hacheur.

- Composants :

Tous les composants utilisés sont sur la figure.V.20.

Le schéma réel réalisé de l'hacheur est donné par la figure suivant :

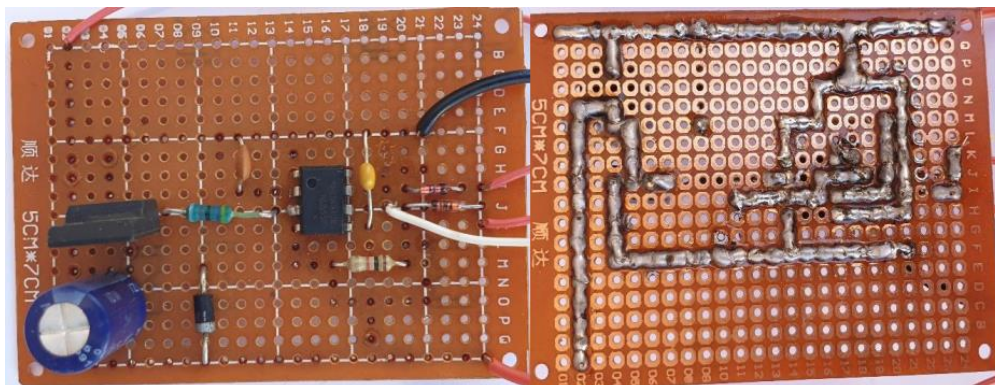


Fig.V.21. Photo réel du Hacheur réalisé.

V.3.2.4. Le Gradateur :

Le gradateur utilisé, est un gradateur monophasé à base d'un TRIAC et DIAC figure.V.23.

- Symbole :



Fig.V.22. Symbole du Gradateur.

- Schéma :

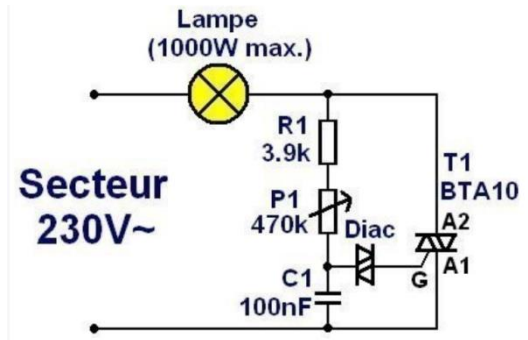


Fig.V.23. Schéma réalisé du Gradateur.

- Composants :

Tous les composants utilisés sont mentionnés sur la figure.V.23.

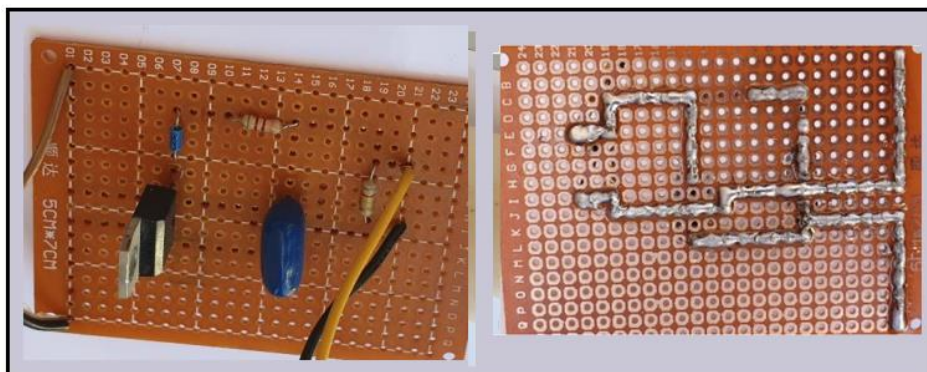


Fig.V.24. Photo réel du Gradateur réalisé.

V.4. Les essais

V.4. 1. Tension et courant absorbés par une lampe basse consommation 2x15W-230 V :

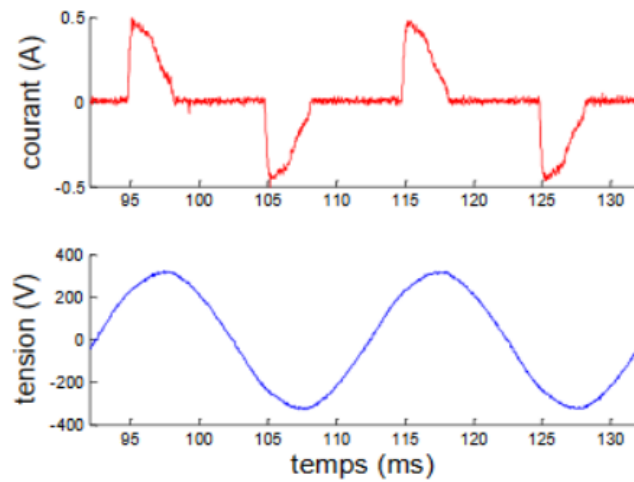


Fig.V.25. Tension et courant absorbés par une lampe basse consommation [14]

L'analyseur de spectre nous donne toutes les informations sur l'onde captée.

Tab.V.1: Tableau de rang d'harmonique. Courant des harmoniques et THD

Rang k	1	3	5	7	9	11	13
taux Ik/I1 (%)	100	77	42	19	16	12	9
I1o (A)	0.2	0.154	0.084	0.038	0.032	0.024	0.018

Calcul des courants harmoniques de la lampe, et comparaison avec le tableau des normes ci-dessous :

Tab.V.2. Rang harmonique et le courant maximal (norme et calculé)[14]

Limite des harmoniques Class C : matériel d'éclairage (Norme 61000-3-2)			
Range d'harmonique	Courant harmonique maximal exprimé en pourcentage du courant fondamental d'entrée des luminaires	In Norme	In Calcul
2	2		
3	30.λ	0,039	<0,154
5	10	0,020	<0,084
7	7	0,014	<0,038
9	5	0,010	<0,032
11 ≤ n ≤ 39 Harmonique impaire uniquement	3	0,006	<0,024
*λ (facteur de puissance de circuit)		0,006	<0,018

Suite à ces résultats on considéra que lampe est une charge polluante.

I_n : courant admissible calculé à partir du tableau de la norme.

I_c : courant calculé à partir du tableau des mesures

V.4.2. Moteur sein

V.4.2.1. Caractéristiques techniques du moteur

$R_S = 5.7 \Omega$; $R_r = 4.94 \Omega$; $R_f = 316.375 \Omega$; $L_f = 6.84 \text{ H}$; $L_s = L_r = 533.77 \text{ mH}$; $M = 512 \text{ m.H}$; $J = 0.073 \text{ kg.m}^2$. ; $f_r = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Nm.s/rad}$

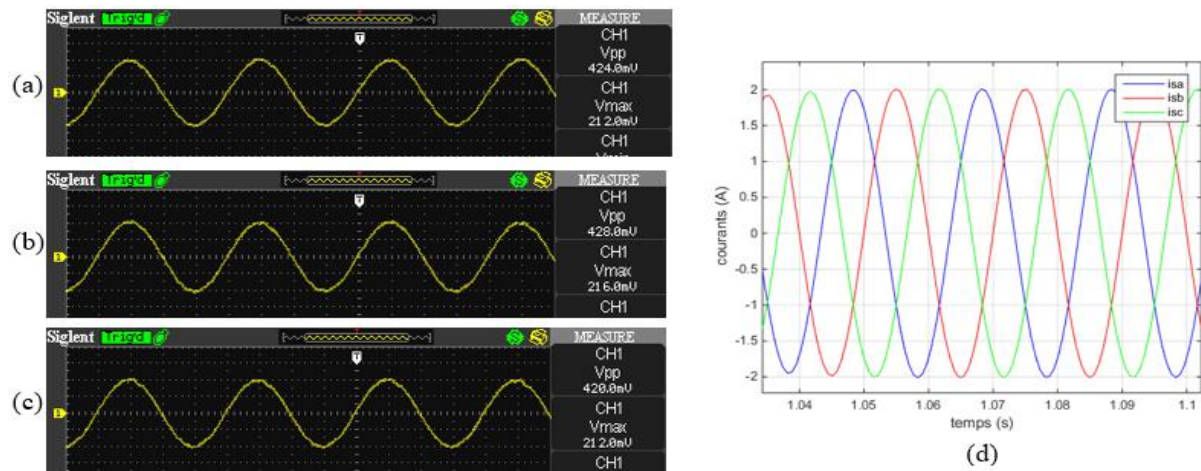


Fig.V.26. Courants statoriques à l'état sain [15]

Les courants statoriques d'un moteur à cage dans un état sein sont des courants équilibrés et stables. La concordance entre les courants statoriques simulés et les courants mesurés lors de l'essai réel démontre que les hypothèses et les paramètres utilisés dans le modèle de simulation sont appropriés. Cela implique que le modèle tient compte des caractéristiques électriques et des interactions du système de manière précise, permettant ainsi de prédire avec exactitude les valeurs des courants statoriques.

V.4.3. Essai moteur avec défaut statorique

Des court-circuit sont effectués entre les spires de même phase dans différents cas, et les résultats sont cités dans le tableau suivant."

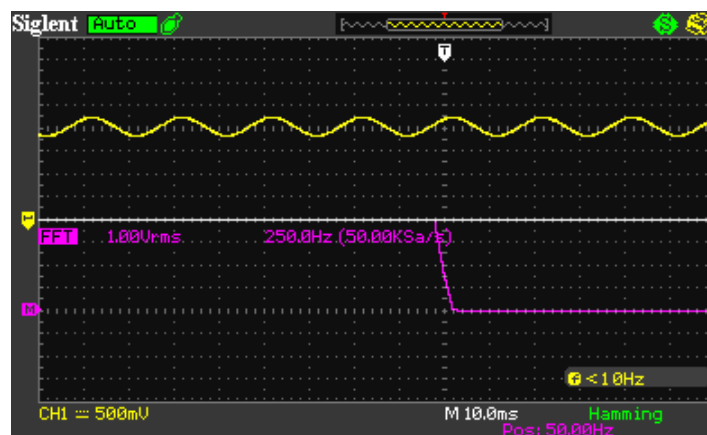
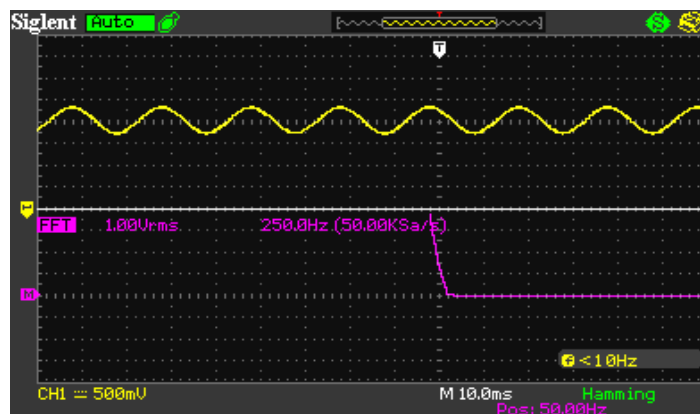
Tab.V.3. Courants statorique au défaut de court-circuit

U_{10} (V)	cas de cc	Court-circuit %	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)
380	Phase 1	0.5	1.8	1.9	1.9
	Phase 1-2	0.5 - 1	1.9	1.7	2.2
	Phase 3	3	1.7	2	2

Tab.V.4. Résultats des courants statorique au défaut -3% spires en charge

U (V)	Court-circuit %	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	Couple (N.m)
380	3	2.7	2.65	3.1	8

Pour évaluer les courants statoriques de notre moteur, nous utilisons un capteur de courant LTS 25-NP en combinaison avec un oscilloscope numérique. Cette configuration nous permet de capturer les empreintes des courants qui circulent à travers les enroulements du stator pendant le fonctionnement du moteur[15].

**Fig.V.27.** Courant de phase 1 au défaut -0.5% spires (à vide) [15]**Fig.V.28.** Courant de phase 1 au défaut -3% spires (en charge)

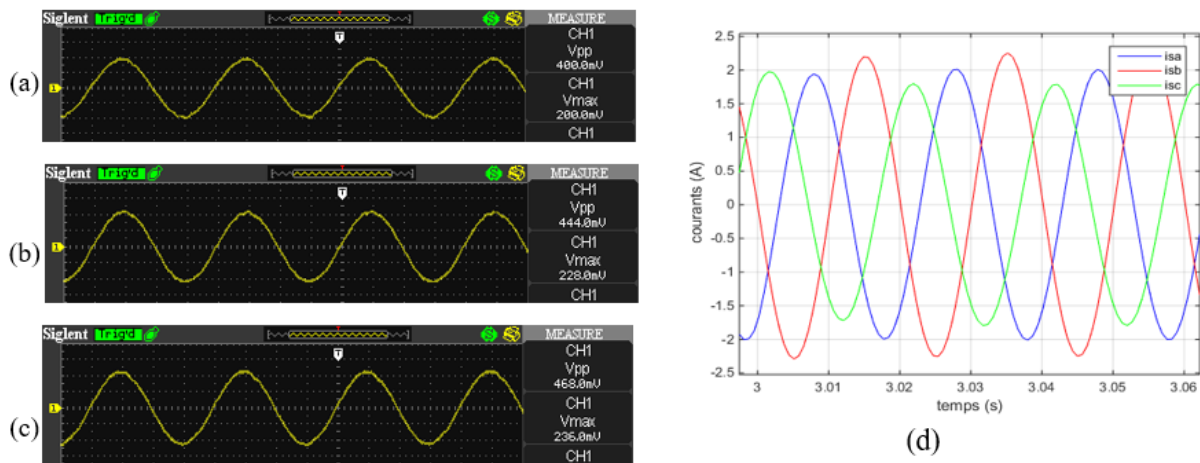


Fig.V.29. Courants statoriques pour un défaut de -3 % de spires sur la phase 3 (c) et la phase Isb (d)[15]

Lors de notre analyse des courants statoriques, nous avons observé un déséquilibre au niveau des courants des différentes phases du moteur. Ce déséquilibre se manifeste par une augmentation du courant dans la phase où le défaut s'est produit, tandis que les phases suivantes présentent une diminution des courants par rapport à l'essai effectué sur un moteur sain. Cette augmentation du courant dans la phase affectée peut être attribuée à un défaut ou à une anomalie spécifique dans cette phase du moteur. Il peut s'agir d'un problème d'enroulement défectueux, d'une mauvaise connexion électrique ou d'une perturbation dans cette phase en particulier. Cette augmentation de courant peut entraîner une surchauffe et une dégradation plus rapide des composants associés à cette phase[15].

V.4.4. Évaluation des effets sur le réseau et les équipements connectés :

Les perturbations électriques générées ont affecté les équipements connectés au réseau BT tels que les machines de production, les systèmes d'éclairage et les appareils électroniques. L'impact des perturbations a été évalué à l'aide de mesures des paramètres électriques des équipements connectés, tels que le courant, la tension et la puissance. Les résultats ont montré que les perturbations ont entraîné une surchauffe des équipements de production et une baisse de leur efficacité, ainsi qu'une dégradation de la qualité de l'éclairage et des interférences dans les appareils électroniques.

V.5. Conclusion

Ce chapitre a abordé la réalisation d'un banc d'essai dédié à l'étude des perturbations électriques basses tensions (BT). La conception et la mise en place de ce banc d'essai constituent une étape essentielle pour approfondir notre compréhension des perturbations électriques BT et développer des solutions efficaces pour améliorer la qualité de l'énergie électrique dans les réseaux basse tension.

Grâce à ce banc d'essai, il sera possible de reproduire et de simuler différentes perturbations électriques BT, telles que les harmoniques, les creux de tension et les transitoires, afin d'analyser leur impact sur les équipements électriques. Les résultats obtenus à partir de ces expérimentations permettront de mieux caractériser les perturbations, d'évaluer leurs effets sur les systèmes électriques et d'identifier des solutions d'atténuation appropriées.

La conception du banc d'essai a nécessité la mise en place de diverses composantes telles qu'une source d'alimentation stable, des générateurs de perturbations spécifiques et des dispositifs de mesure précis. Ces éléments ont été soigneusement sélectionnés et intégrés pour assurer la fiabilité et la représentativité des expérimentations menées.

La méthodologie expérimentale développée pour ce banc d'essai garantit des tests rigoureux et reproductibles. Les paramètres électriques pertinents sont mesurés avec précision, permettant ainsi une analyse approfondie des perturbations et de leurs effets sur les équipements électriques.

En conclusion, la réalisation de ce banc d'essai constitue une avancée significative dans l'étude des perturbations électriques BT. Il offre un outil précieux pour la recherche et le développement de stratégies d'atténuation adaptées, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique dans les réseaux basse tension. Les connaissances acquises à travers ce banc d'essai ouvrent la voie à de nouvelles recherches et à des innovations pour assurer un fonctionnement plus fiable et efficace des systèmes électriques basse tension.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans cette conclusion générale, nous résumons les principaux chapitres abordés dans ce mémoire de fin d'études, qui porte sur la réalisation d'un banc d'essai pour étudier les perturbations électriques du réseau basse tension générées par différentes charges, en se concentrant particulièrement sur le cas d'une machine électrique.

Le premier chapitre a jeté les bases en abordant la qualité de l'énergie et les perturbations électromagnétiques basses fréquence. Nous avons examiné les différentes sources de perturbations et leur impact sur la qualité de l'énergie dans les réseaux basse tension. Nous avons également étudié les normes et réglementations relatives à la qualité de l'énergie.

Le deuxième chapitre s'est concentré sur les défauts des machines électriques. Nous avons analysé les différents types de défauts pouvant survenir dans les machines électriques et leur influence sur la pollution électromagnétique du réseau basse tension. Nous avons également exploré les méthodes de mesure et de diagnostic des défauts des machines électriques.

Le troisième chapitre a approfondi les caractéristiques des convertisseurs statiques et leur influence sur le réseau basse tension. Nous avons examiné les différents types de convertisseurs statiques utilisés dans les systèmes d'alimentation et leurs effets sur la qualité de l'énergie et les perturbations électromagnétiques. Nous avons également discuté des techniques d'atténuation des perturbations générées par ces convertisseurs.

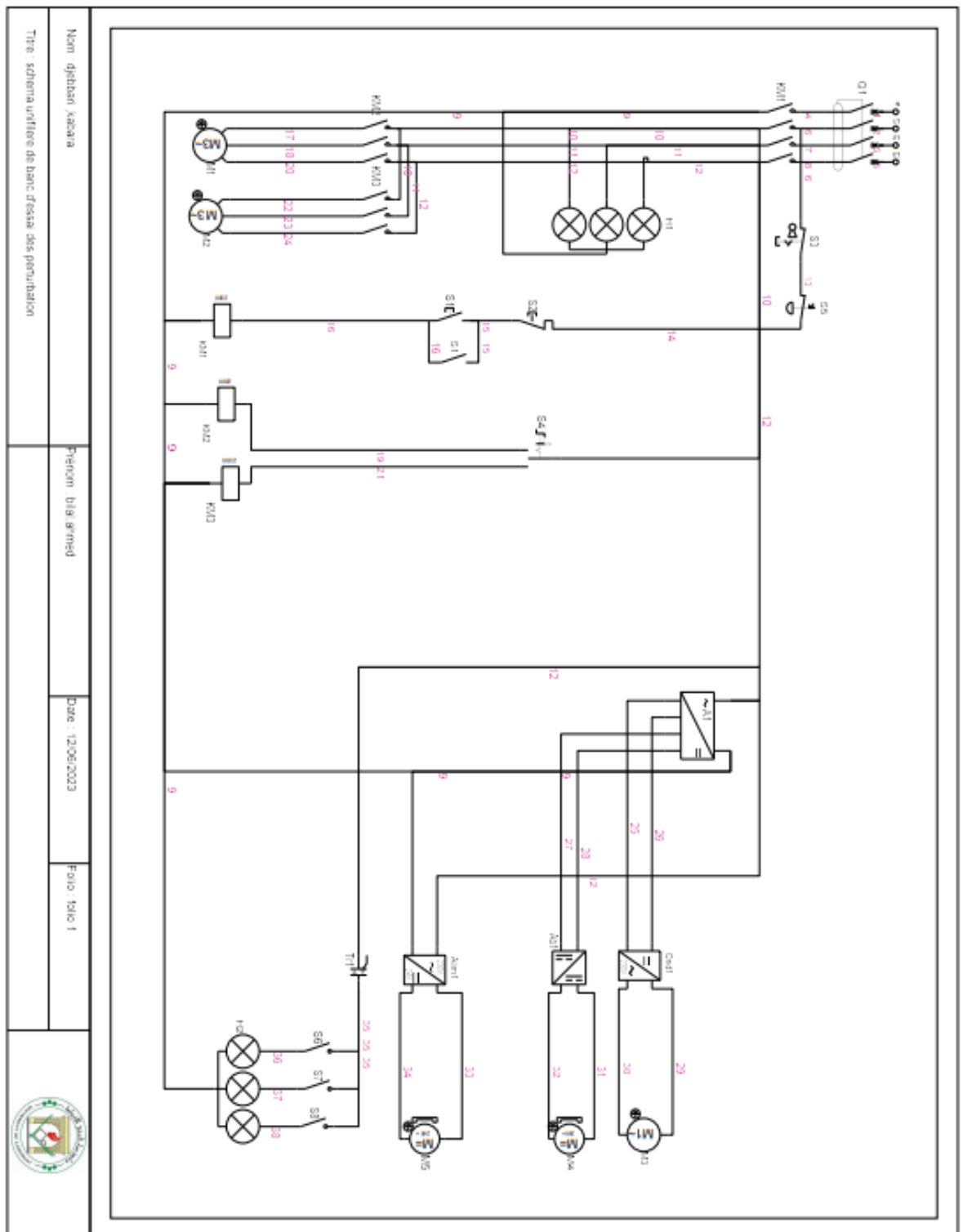
Le quatrième chapitre a porté sur la simulation d'une machine électrique avec un convertisseur pollueur. Nous avons utilisé l'outil de simulation MATLAB SIMULINK pour simuler une machine électrique en présence d'un convertisseur générant des perturbations électromagnétiques. Nous avons analysé les résultats de la simulation pour évaluer l'impact de ces perturbations sur la qualité de réseau électrique.

Enfin, dans le cinquième chapitre, nous avons réalisé un banc d'essai pour étudier les perturbations électriques du réseau basse tension générées par différentes charges, en nous concentrant sur le cas d'une machine électrique. Nous avons mis en place une configuration expérimentale permettant de mesurer et d'analyser les perturbations électromagnétiques. Nous avons effectué des essais et des analyses approfondies pour comprendre l'impact des différentes charges sur les perturbations électriques du réseau basse tension.

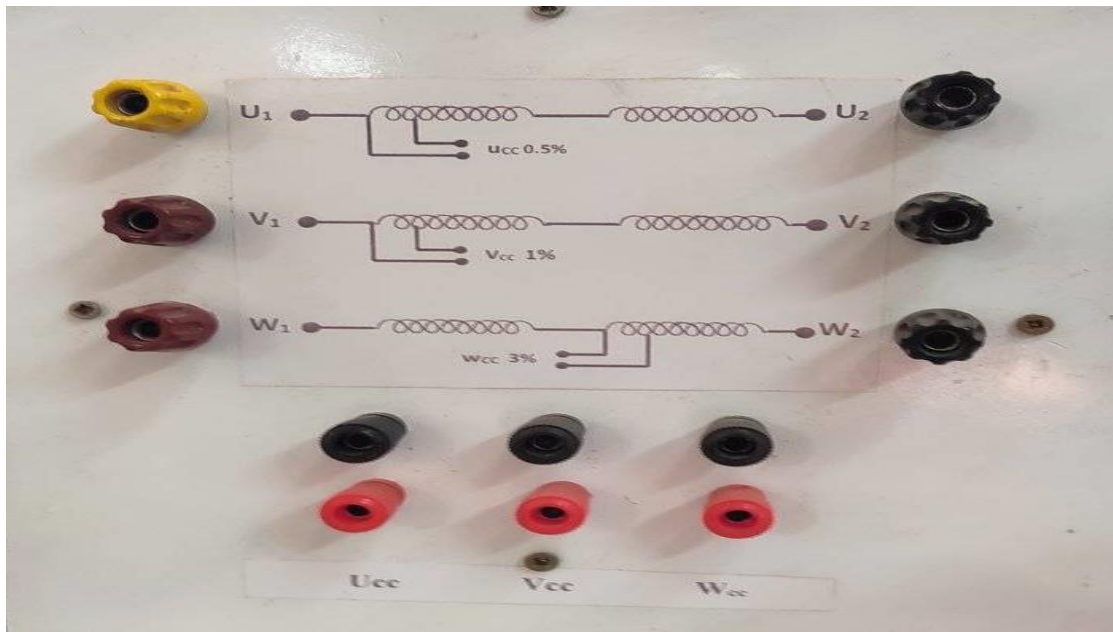
En conclusion, ce mémoire a permis de développer une connaissance approfondie des perturbations électriques du réseau basse tension générées par différentes charges, en mettant l'accent sur le cas d'une machine électrique. Nous avons examiné les sources de perturbations, les défauts des machines électriques, les caractéristiques des convertisseurs statiques, et nous avons réalisé des simulations et des expériences sur un banc d'essai dédié. Les résultats obtenus ont contribué à une meilleure compréhension de ces perturbations et ouvert des perspectives pour des études ultérieures visant à atténuer ces perturbations et améliorer la qualité de l'énergie dans les réseaux basse tension.

ANNEXES

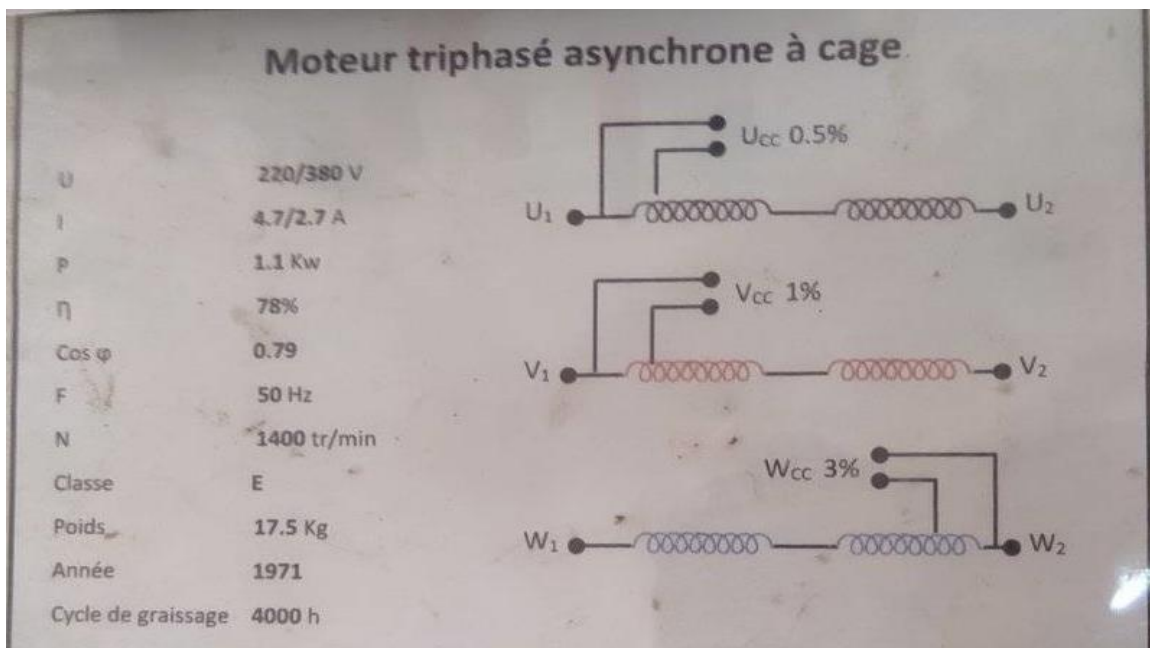
Schéma électrique du banc d'essai des perturbations électriques :



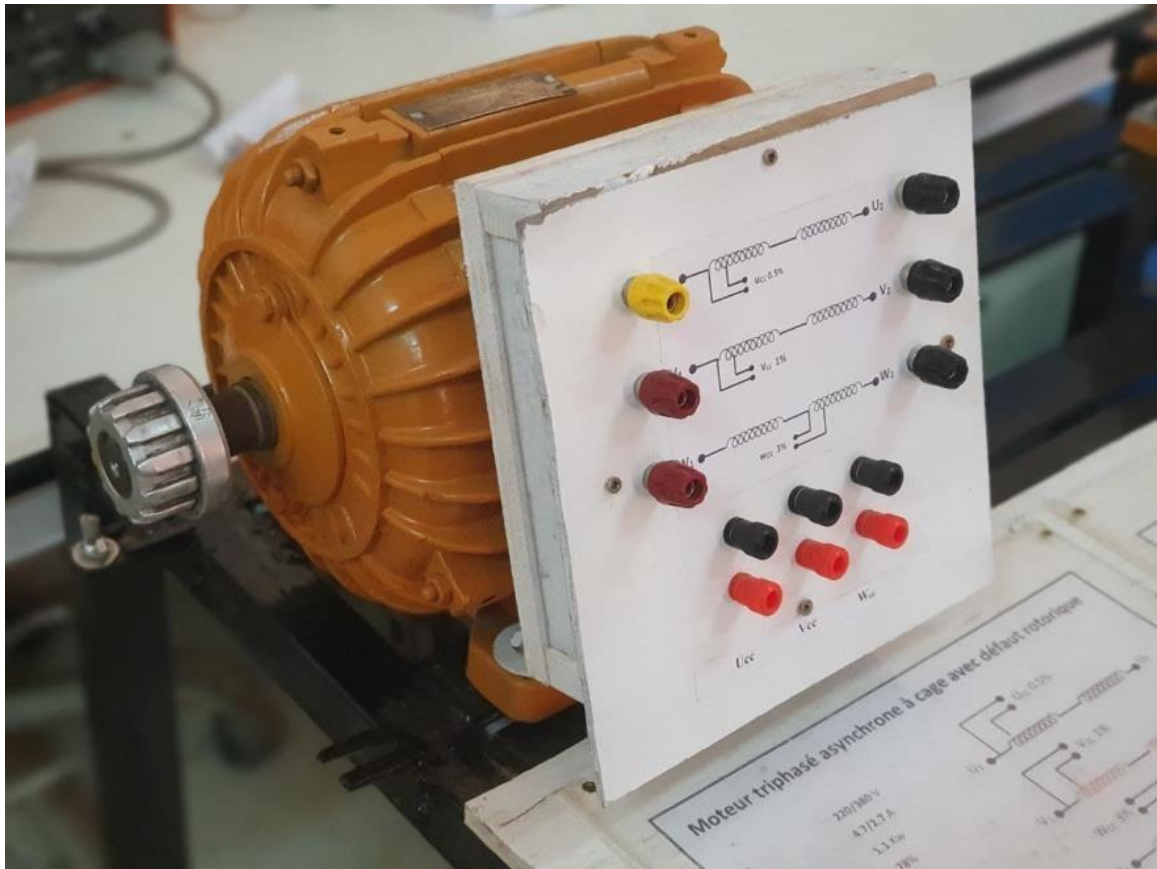
Plaque d'information de banc d'essai de défaut de bobinage :



Plaque d'information d'un moteur a cage avec défaut rotorique :



Plaque des bornes du moteur :

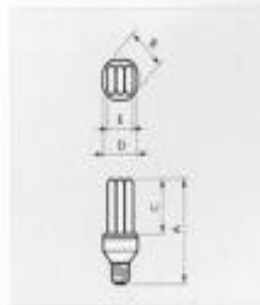


Capteur de courant LTS 25-NP :



Fiche technique de Lampe à Ballast électronique fluo-compacte :

PL PL E-T PRO

**Lampe :**

- Lampe à économie d'énergie destinée au domaine tertiaire

Caractéristiques :

- Légère, à longue durée de vie, destinée à remplacer les lampes à incandescence
- Grâce à la conception de l'électronique, le nombre d'allumages /extinctions n'altère pas la durée de vie de la lampe (à condition de laisser la lampe éteinte au moins 10 secondes entre 2 allumages)
- Temps d'allumage < 1s
- Variation de tension admissible: -10 % + 6%
- Amorçage également à une tension faible (170V pour le point d'allumage, 180V sous courant alternatif pour le fonctionnement de la lampe)
- 70% de l'efficacité lumineuse atteinte après 1 minute
- Très bon maintien du flux lumineux

- Efficacité lumineuse pratiquement constante (>80%) sur toute la plage de températures recommandée

Avantages :

- Haut rendement énergétique (Label européen des rendements énergétiques catégorie A)
- Longue durée de vie moyenne : 15.000 heures

Applications :

- Conçues pour remplacer les lampes à incandescence dans la plupart des luminaires utilisés dans le domaine tertiaire
- Particulièrement bien adaptées pour les restaurants, hôtels et bureaux où l'éclairage doit être assuré sur des plages horaires plus longues ou pour les lieux où le remplacement des lampes s'avère difficile

- Plage de températures ambiantes de -15 à +55°C (culot position en haut), +5 à +55°C (culot position en bas)
- Luminaires fermés nécessaires pour les applications en éclairage extérieur
- La lampe PLE-T Pro peut fonctionner en courant continu (300-340V CC pour une performance optimale)
- Non prévues pour fonctionner avec des commutateurs électroniques, minuteries ou cellules photo-électriques, à moins d'utiliser un commutateur 3 points, ou pour fonctionner avec un variateur de lumière



no.	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)
1	126.3 max.	61 max.	56.5 max.	55 max.	40 max.
2	145.3 max.	61 max.	75.5 max.	55 max.	40 max.
3	160.3 max.	61 max.	90.5 max.	55 max.	40 max.

no.	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)
4	126.3 max.	61 max.	56.5 max.	40 max.	55 max.
5	145.3 max.	61 max.	75.5 max.	40 max.	55 max.
6	160.3 max.	61 max.	90.5 max.	40 max.	55 max.

	11 W	15 W	20 W	23 W
	60 W	75 W	100 W	120 W

Designation	Type	Puissance Tinaire	Culot	Tension	Fréquence nominale	Type d'emballage	Unité d'emballage	Indice de rendu des couleurs (R _a)	Flux lumineux (lm)	Poids (g)	no.	Code européen
PL E-T PRO		11W/827	E27	230-240V	50-60Hz	1CT	6	82	600	92	1	872202 10
PL E-T PRO		15W/827	E27	230-240V	50-60Hz	1CT	6	82	900	92	1	751433 10
PL E-T PRO		20W/827	E27	230-240V	50-60Hz	1CT	6	82	1200	102	2	751438 10
PL E-T PRO		23W/827	E27	230-240V	50-60Hz	1CT	6	82	1500	111	3	751447 10
PL E-T PRO		11W/827	E22	230-240V	50-60Hz	1CT	6	82	670	92	4	872237 10
PL E-T PRO		15W/827	E22	230-240V	50-60Hz	1CT	6	82	900	92	4	752055 10
PL E-T PRO		20W/827	E22	230-240V	50-60Hz	1CT	6	82	1275	102	5	752062 10
PL E-T PRO		23W/827	E22	230-240V	50-60Hz	1CT	6	82	1550	111	6	752079 10

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. C. Dugan, S. Santoso, M. F. McGranaghan et H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, 2nd Edi, USA: The McGraw-Hill Companies Inc, 2003.
- [2] V. M. Alexandra, *Electric Power Systems: A Conceptual Introduction*, USA: John Wiley & Sons Inc, 2006.
- [3] R. Calvas, "Cahier technique : Les perturbations électriques en BT" dans *Collection technique*, no. 141, France: Schneider Electric, 2001.
- [4] P. Ferracci, "Cahier technique : La qualité de l'énergie électrique" dans *Collection technique*, no. 199, France: Schneider Electric, 2001.
- [5] C. Collombet, J.M. Lupin et J. Schonek, "Cahier technique : Perturbations harmoniques dans les réseaux pollués et leur traitement" dans *Collection technique*, no. 152, France: Schneider Electric, 1999.
- [6] Jacques Delaballe "Cahier technique : Perturbations des systèmes électroniques et schémas des liaisons à la terre " dans *Collection technique*, no. 177, France: Schneider Electric, 2002.
- [7] B. De Metz-Noblat et G. Jeanjean, "Cahier technique : Stabilité dynamique des réseaux électriques industriels" dans *Collection technique*, no. 185, France: Schneider Electric, 1997.
- [8] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 4th Edi, USA: The McGraw-Hill Companies Inc, 2005.
- [9] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley et S. D. Umans, *Electric Machinery*, 6th Edi, USA: The McGraw-Hill Companies Inc, 2003.
- [10] A. Hughes, B. Drury, *Electric Motors and Drives: Fundamentals Types and Applications*, 4th Edi, Oxford, UK: Elsevier, 2013.
- [11] P. C. Krause, O. Wasynczuk et S. D. Sudhoff, *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*, 2nd Edi, USA: John Wiley & Sons Inc, 2002.
- [12] T. Wildi, *Electrical Machines Drives and Power Systems*, 5th Edi, USA: Prentice Hall, 2002
- [13] E. F. Fuchs et M. A-S Masoum, *Power Systems and Electrical Machines*, 1st Edi, USA: Academic Press, 2008.
- [14] M. I. Zadem et A. Ghebaichi, "Réalisation d'une maquette d'essai pour l'étude des perturbations générées par les convertisseurs et les machines électriques dédiée au Laboratoire de recherche", Mémoire de Master, Dépt.Électrotechnique, Univ Amar Telidji, Laghouat, Algérie, 2020.

- [15] M. Mokhtari et A. Hadjadj, "*Etude, conception et réalisation d'un banc d'essai pour diagnostic des défauts rotorique et statorique d'un MAS triphasé*", Mémoire de Master, Dépt.Électrotechnique, Univ Amar Telidji, Laghouat, Algérie, 2021.