

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRE D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

وزارة التعليم العالي

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

والبحث العلمي



Domain : Science et technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Machines électriques

Mémoire
MASTER ACADEMIQUE

Présenté par :

- Zadem Mohamed Islam
- Ghebaichi Aymen

Thème :

**Réalisation d'une maquette d'essai pour l'étude des perturbations
générées par les convertisseurs et les machines électriques dédiée
au Laboratoire de recherche**

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

- | | |
|-----------------------------|-----------|
| ➤ Mme. Shteih Saliha | Président |
| ➤ Mr. Ben seddiq Sidi ahmed | Examineur |
| ➤ Mr. Saroute Mohammed | Encadreur |

2019/2020

REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au département d'électrotechnique de l'université

Ammar thlidji Laghouat

Nos remerciements vont tout d'abord à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur *Saroute Mohammed* pour nous avoir d'abord proposé ce thème, pour le suivi continué tout au long de la réalisation de cette thèse et qui n'ont pas cessé de nous prodiguer leurs conseils et remarques

Nos sincères remerciements à messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en participant au jugement de ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'électrotechnique qui ont contribué à notre formation.

Enfin nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour leur soutien moral et matériel

Zadem Mohamed Islam & Ghebaichi Aymen

الملخص

الاضطرابات الكهرومغناطيسية، المنخفضة والعالية التردد، هي ظواهر تؤدي إلى تدهور أداء الجهاز أو النظام. درستنا موجهة نحو دراسة الاضطرابات التوافقية، التي تقع في طيف التردد المنخفض الذي يمتد حتى حوالي 2 كيلو هرتز.

في القطاعات الصناعية والمنزلية، هناك عودة للمولدات التوافقية التي تتطلب تيارًا متناوبًا غير جيبي. أعطانا هذا فكرة إجراء منضدة اختبار عمل عملية لدراسة الاضطرابات الناتجة عن المحولات الساكنة والآلات الكهربائية. بدأنا عملنا بجزء نظري عن الاضطرابات الكهرومغناطيسية، ثم انجاز محولات ساكنة بسيطة: المقوم، والقطاع، والمموج، والمخفت، وكلها أحادية الطور. الكل وضع داخل صندوق، وهو جهاز التجارب. مع اختبارات عملية على هذه المصادر والأحمال الملوثة، يمكننا التقاط إشارات الخروج، بواسطة مستشعر التيار، ثم تحليلها، باستخدام محلل الأطياف، من أجل قياس المرشحات، والتي ستكون موضوع مذكرة أخرى.

الكلمات المفتاحية: الاضطرابات الكهرومغناطيسية، التردد المنخفض والعالي، محولات ساكنة، التوافقيات، محلل الأطياف، جهاز التجارب.

Résumé

Les perturbations électromagnétiques basse et haute fréquence, sont des phénomènes qui dégradent les performances d'un dispositif ou d'un système. Notre étude s'oriente vers l'étude des perturbations harmoniques, qui sont situées dans un spectre basse fréquences qui s'étend jusqu'à environ 2 kHz.

Dans les secteurs industriel et domestique on constate une recrudescence de générateurs d'harmoniques imposant un courant alternatif non sinusoïdal. Cette alternance, nous à donner l'idée, de réaliser un banc d'essais de travaux pratiques, pour l'étude des perturbations générer par les convertisseurs statiques et les machines électriques.

On a commencé notre travail par une partie théorique sur les perturbations électromagnétiques, puis la réalisation des convertisseurs statiques simples : Redresseur, hacheur, onduleur et gradateur, tous monophasés. Le tout dans un coffret, qui est notre banc, avec des essais pratiques sur ces sources et des charges polluantes, on peut capter les signaux de sorties, par notre capteur de courant, puis une analyse, avec l'analyseur de spectres, pour le dimensionnement des filtres, qui seront le thème d'un autre sujet.

Mots clé : Les perturbations électromagnétiques ; harmoniques, basse fréquence, convertisseurs statiques, l'analyseur de spectres, banc d'essai.

Abstract

Low and high frequency electromagnetic disturbances are phenomena that degrade the performance of a device or system. Our study is directed towards the study of harmonic disturbances, which are located in a low frequency spectrum that extends to about 2 kHz.

In the industrial and domestic sectors, there is an upsurge in harmonic generators requiring a non-sinusoidal alternating current. This alternation gave us the idea of carrying out a practical work test bench to study the disturbances generated by static converters and electrical machines.

We started our work with a theoretical part on electromagnetic disturbances, then the realization of simple static converters: Rectifier, chopper, inverter and dimmer, all single-phase. All in a box, which is our bench, with practical tests on these sources and polluting loads, we can capture the output signals, by our current sensor, then an analysis, with the spectra analyzer, for the sizing filters, which will be the theme of another topic.

Key words: Electromagnetic disturbances, harmonics, low frequency, static converters, the spectra analyzer, test bench.

Sommaire

Sommaire

Remerciement	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	

Introduction générale	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I

Les perturbations électromagnétiques basses fréquences

I-1- Introduction	4
I-2- Définition de l'harmonique	4
I-2-1- Harmonique de Courant et de tension	5
I-2-2- Valeur caractérisant un signal déformé	7
1. Valeur efficace d'une grandeur déformée	7
2-Taux individuel	7
3-Taux de distorsion harmonique global (%)	7
A. Taux de distorsion harmonique en courant THD_i	8
B. Taux de distorsion harmonique en tension THD_v	8
I-3- Origines et sources des harmoniques	8
I-3-1 Emission en tension	8
I-3-1-1 Alternateurs	8
I-3-1-2 Transformateurs	9
I-3-1-3 Alimentations statiques in-interruptibles (ASI)	9
I-3-2 Emission en courant	9
I-3-2-1 Le redresseur triphasé à thyristors	10
I-3-2-2 Les charges non linéaires passives	10
➤ Les lampes	10
➤ Les appareils à arc électrique	10
I-4 Effets indésirables des harmoniques sur les installations	11
I-4-1 Effets instantanés	11
I-4-2 Effets différés	11
I-4-2-1 Effets à court terme	12
I-4-2-2 Effets à moyen et long terme	12
I-5- les principaux remèdes envisagés	12
I-5-1- Transformateurs à couplage triangle/ étoile ou étoile/zig-zag	12
I-5-2- Transformateur à deux enroulements secondaires, couplage triangle/ triangle-étoile	13
I-5-3- Filtres électriques	13
I-5-4- Limitation du facteur de surtension	13
I-6- Conclusion	14

CHAPITRE II

Perturbations générées par les convertisseurs statiques et les machines électriques.

II-1- Introduction	15
II-2- définition des convertisseurs statiques	15
II-2- 1- Le redresseur non commandé	16
II-2- 1-1 Monophasé simple alternance	16

II-2- 1-2 Monophasé double alternance	18
II-2- 2- Le hacheur	19
II-2- 3- Le gradateur monophasé	21
II-2- 4- L'onduleur monophasé	23
II-3 Les machines électriques	25
II-3-1- Définition	25
II-3-2- Le variateur électronique de vitesse	25
II-4 Nature et liste des principaux équipements pollueurs	25
Conclusion	26

CHAPITRE III

Réalisation du banc d'essais

III-1-	
Introduction	27
III-2- Le redresseur	27
III-2-1- définition	27
III-2-2-Schéma	28
III-2-3-Liste du matériel	28
III-3-Le hacheur	29
III-3-1- définition	29
III-3-2-Schéma	29
III-3-3-Liste du matériel	29
III-4-L'onduleur	30
III-4-1- définition	30
III-4-2-Schéma	30
III-4-3-Liste du matériel	31
III-5-Le gradateur	31
III-5-1- définition	32
III-5-2-Schéma	32
III-5-3-Liste du matériel	32
III-6- Réalisation de la maquette	32
III-6-1- Liste du matériel	33
III-6-2-Le dimensionnements et vue d'armoire	36
III-6-3- Le détail d'emplacement des convertisseurs dans d'armoire	37
III-7- Exemple.....	39
III-7-1- Tension et courant absorbés par une lampe basse consommation 2x15W-230 V	39
III-7-2- La norme CEI 61000	39
III-7-3- Calcul des courants harmoniques de la lampe, et comparaison avec le tableau des normes ci-dessous	40
III-7-4- Conclusion	40
III-8- Difficultés dans la réalisation de ce travail	41
III-9- Conclusion	41
Conclusion générale	42

Liste des figures

Liste des figures

Figures	Titres	Page
CHAPITRE I		
<i>I.1</i>	• La représentation de la forme de l'onde d'un courant déformé avec les différents courants harmoniques le constituant.....	6
<i>I.2</i>	• Représentation spectrale des harmoniques.....	6
<i>I.3</i>	• lampe fluorescente et lampe à vapeur haute pression.....	10
CHAPITRE II		
<i>II.1</i>	• Schéma des convertisseurs.....	16
<i>II.2</i>	• Symbole d'un redresseur.....	16
<i>II.3</i>	• Schéma d'un montage redresseur monophasé simple alternance.....	16
<i>II.4</i>	• Chronogrammes des tensions.....	17
<i>II.5</i>	• Schéma d'un montage redresseur monophasé double alternance.....	18
<i>II.6</i>	• Chronogrammes des tensions.....	18
<i>II.7</i>	• Schéma symbolique d'un hacheur.....	19
<i>II.8</i>	• Schéma d'un montage hacheur.....	19
<i>II.9</i>	• fonctionnement du hacheur série.....	20
<i>II.10</i>	• Schéma symbolique d'un gradateur.....	21
<i>II.11</i>	• Schéma d'un gradateur monophasé.....	21
<i>II.12</i>	• Chronogrammes des tensions et des courants d'un gradateur.....	22
<i>II.13</i>	• Schéma symbolique d'un onduleur.....	23
<i>II.14</i>	• Onduleur monophasé en pont complète.....	23
<i>II.15</i>	• Commande symétrique d'un onduleur.....	23
<i>II.16</i>	• Commande décalée d'un onduleur.....	24
CHAPITRE III		
<i>III.1</i>	• Symbole d'un redresseur.....	27
<i>III.2</i>	• Redresseur avec des composants symboliques.....	28
<i>III.3</i>	• Redresseur avec des composants réels.....	28
<i>III.4</i>	• Schéma symbolique d'un hacheur.....	29
<i>III.5</i>	• Schéma d'un hacheur alimenté par 12V.....	29
<i>III.6</i>	• Schéma symbolique d'un onduleur.....	30
<i>III.7</i>	• Onduleur avec des composants réels.....	30
<i>III.8</i>	• Brochage des transistors.....	31
<i>III.9</i>	• Schéma symbolique d'un gradateur.....	31
<i>III.10</i>	• Gradateur avec des composants réels.....	32
<i>III.11</i>	• Coffret d'un micro-ordinateur.....	33
<i>III.12</i>	• Les transformateurs.....	33
<i>III.13</i>	• Un disjoncteur tétra polaire.....	33
<i>III.14</i>	• Bouton poussoir.....	33
<i>III.14</i>	• Voyant rouge.....	34
<i>III.15</i>	• Douilles bananes.....	34
<i>III.16</i>	• Prise étanche monophasée.....	34

<i>III.17</i>	• Interrupteur.....	34
<i>III.18</i>	• Ventilateur de refroidissement.....	35
<i>III.19</i>	• Les lampes.....	35
<i>III.20</i>	• Vue de face du banc d'essais.....	36
<i>III.21</i>	• Vue de gauche, et de droite du banc d'essais.....	37
<i>III.22</i>	• Lampes commandées par un gradateur.....	37
<i>III.23</i>	• Pont redresseur avec charge.....	38
<i>III.24</i>	• Onduleur avec une charge résistive.....	38
<i>III.25</i>	• Hacheur alimentant un moteur à courant continu.....	38
<i>III.26</i>	• Tension et courant absorbés par une lampe basse consommation	39

Introduction générale

Introduction générale :

L'énergie électrique est fournie par les centrales sous forme d'une tension sinusoïdale triphasé équilibrée, mais ce signal subit des altérations durant son transport jusqu'à son arrivée chez le client. Les dégradations peuvent être causées par des incidents climatiques (foudre), des dysfonctionnements de matériel sur le réseau (saturation des transformateurs, ouverture des disjoncteurs) et beaucoup plus fréquemment par l'utilisation d'appareils électriques faisant intervenir des composants d'électronique de puissance. Ces derniers tels que les convertisseurs alternatifs continus, constituent en effet des charges non linéaires, qui absorbent des courants non sinusoïdaux.

L'abondante prolifération de l'électronique de puissance et l'essor de certaines industries ces dernières années, constituent un risque certain de perturbation dans les réseaux d'énergie électrique.

Ces perturbations provoquent notamment des dysfonctionnements d'appareils, l'échauffement des machines, des vibrations dans les appareils électromagnétiques et des claquages des condensateurs. Il est donc important de prévoir cette évolution dans le temps. Parmi ces perturbations les perturbations dues aux harmoniques.

Dans les réseaux électriques industriels, la forme réelle de l'onde de courant ou de tension est le plus souvent assez différente de la sinusoïde pure qui caractérise le courant alternatif en sortie de la centrale de production de l'électricité.

L'onde déformée relevée est en fait constituée par la superposition sur l'onde théorique à la fréquence de 50Hz , dite fondamentale, d'un certain nombre d'ondes également sinusoïdales mais chacune de fréquence multiple entier de la fréquence de l'onde de référence fondamentale à 50 Hz . Elles sont dénommée ondes harmoniques.

Cependant, seuls les harmoniques impairs sont étudiés dans les grandeurs électriques alternatives.

En effet, l'onde sinusoïdale est constituée de deux demi ondes, l'une positive, l'autre négative, qui sont symétriques. La déformation de chacune d'elles due à l'onde harmonique conserve cette symétrie, s'il y a un nombre impair de cette onde fondamentale.

Ces ondes harmoniques sont identifiées par leur rang, c'est-à-dire par le nombre multiple entier précité par exemple, une onde à la fréquence de 250 Hz est de rang 5 et définies par leur déphasage par rapport au fondamental et leur amplitude.

Pour chacune de ces ondes, les valeurs sont en règle générales toutes différentes ; leur superposition donne l'image réelle de l'onde qui constitue la définition qualitative de la déformation.

Les fréquences de ces harmoniques sont généralement comprises entre 100 Hz (harmonique de rang 2) et de 2500 Hz (harmonique de rang 50).

L'importance des harmoniques augmente avec le nombre des sources d'harmoniques présent dans un système de puissance

Les machines électriques synchrones engendrent des tensions harmoniques de rangs impairs, dépendant des irrégularités des champs tournants, au nombre d'encoches, et aux fonctionnements déséquilibrés.

Les transformateurs créent des tensions harmoniques de rangs impairs, liées au non linéarité ou à la saturation de leurs circuits magnétiques.

Toutes les tensions et courants harmoniques juxtaposés à leurs fondamentaux, conjuguent en général leurs effets sur les appareillages des consommateurs d'énergie électrique, caractérisés par les effets quasi-instantanés sur certains types d'appareillages. Elles provoquent des défauts de fonctionnement des systèmes de régulation, en déplaçant le passage par le zéro, de la valeur crête de l'onde de tension, des erreurs de mesure et de comptage, ainsi que des effets sur les machines tournantes en créant des pertes supplémentaires au stator et au rotor. De même, elles provoquent des pertes pour les consommateurs et des échauffements anormaux de leurs appareillages et câbles électriques. Ces pertes diminuent le facteur de puissance du fait de l'existence d'une puissance déformante (ou pertes dues aux harmoniques) dans l'expression de la puissance apparente.

Ces pertes d'énergie influent directement sur la facture de l'électricité des consommateurs (augmentation de consommation d'électricité). [1]

Dans le premier chapitre on va donner un aperçu général des harmoniques basses fréquences et sont origines, les effets, et les principaux remèdes envisagés.

Dans le deuxième chapitre on présentera les perturbations électromagnétiques dans une structure d'un convertisseur statique et les machines électrique.

Dans le troisième chapitre, on va étudier les convertisseurs statiques et les matériels disponibles et étudier le dimensionnements et l'emplacement des convertisseurs dans l'armoire pour faire la réalisation de la maquette.

CHAPITRE I :

**Les perturbations
électromagnétiques
basses fréquences**

CHAPITRE I : Les perturbations électromagnétiques basses fréquences

I-1- Introduction :

Les réseaux électriques ainsi que la quasi-totalité des appareils raccordés à ce dernier sont soumis à de nombreuses perturbations depuis l'arrivée sur le marché des composants d'électronique de puissance tels les thyristors, les triacs, ou les transistors de forte puissance. Ces composants ont permis le développement de convertisseurs statiques qui assurent le réglage et la transformation de l'énergie électrique d'une forme à une autre. Ces convertisseurs vis-à-vis du réseau sont vus comme étant des charges non linéaires. Ils injectent des courants harmoniques dans le réseau électrique. Une harmonique est une onde multiple produite par une autre onde. Cette dernière a une amplitude et une fréquence.

La fréquence fondamentale utilisée dans nos réseaux électriques est de 50 Hz. Les harmoniques ont une valeur correspondant à des multiples pairs ou impairs de la 50Hz. Ainsi, la fréquence de la cinquième harmonique est de 250Hz ($5 \times 50\text{Hz}$). Son amplitude peut se mesurer en volts ou en ampères. [2]

Les perturbations harmoniques sont situées dans un spectre basse fréquence s'étendant jusqu'à quelques kHz.

Les perturbations haute fréquence se situent dans un spectre s'étendant jusqu'à plusieurs GHz.

Dans ce chapitre on va étudier des harmoniques basses fréquences et sont origines, les effets, et les principaux remèdes envisagés.

I-2-Définition de l'harmonique :

Un harmonique est défini comme étant une composante sinusoïdale d'un signal périodique, ayant une fréquence multiple de l'onde fondamentale. Le domaine des fréquences qui correspond à l'étude des harmoniques est généralement compris entre 100 Hz et 2000 Hz (entre les harmoniques de rangs $h=2$ et $h=40$). Mais, on peut observer des sous-harmoniques ou des inter-harmoniques à des fréquences non multiples entières de la fréquence fondamentale [4,5].

Toute fonction périodique peut être représentée par une série de Fourier sous la forme:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{h=1}^{\infty} (Y_h \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(h\omega t - \Phi)) \dots\dots\dots (I.1)$$

Y_h: la valeur efficace de la composante de rang h.

Φ : Phase de la composante h lorsque t = 0.

Y₀: Valeur moyenne ou composante continue du signal y(t).

ω : Pulsation fondamentale ($2\pi \cdot f = 2\pi/T$).

h: rang de l'harmonique.

I-2-1- Harmonique de Courant et de tension :

Les harmoniques présents sur les réseaux électriques proviennent de l'utilisation de charges non linéaires. Quand elles sont connectées au réseau d'une certaine fréquence, elles absorbent un courant non sinusoïdal mais de même fréquence.

Ces charges se comportent comme des sources de courant harmonique, c'est-à-dire que le courant est fixé par la charge et non par la tension du réseau. Ces courants provoquent, dans le réseau, des chutes de tensions harmoniques selon la loi d'Ohm :[3]

$$V_h = Z_h \cdot I_h \dots\dots\dots(I.2)$$

V_h: Tension harmonique de rang h.

Z_h: Impédances harmoniques de rang h.

I_h: Courant harmonique de rang h.

Soit par exemple la figure I.1 suivante représentant la forme de l'onde d'un courant pollué avec, en même temps, l'image des différents courants harmoniques le constituant qu'on peut exprimer grâce à une représentation en série de Fourier du courant global :

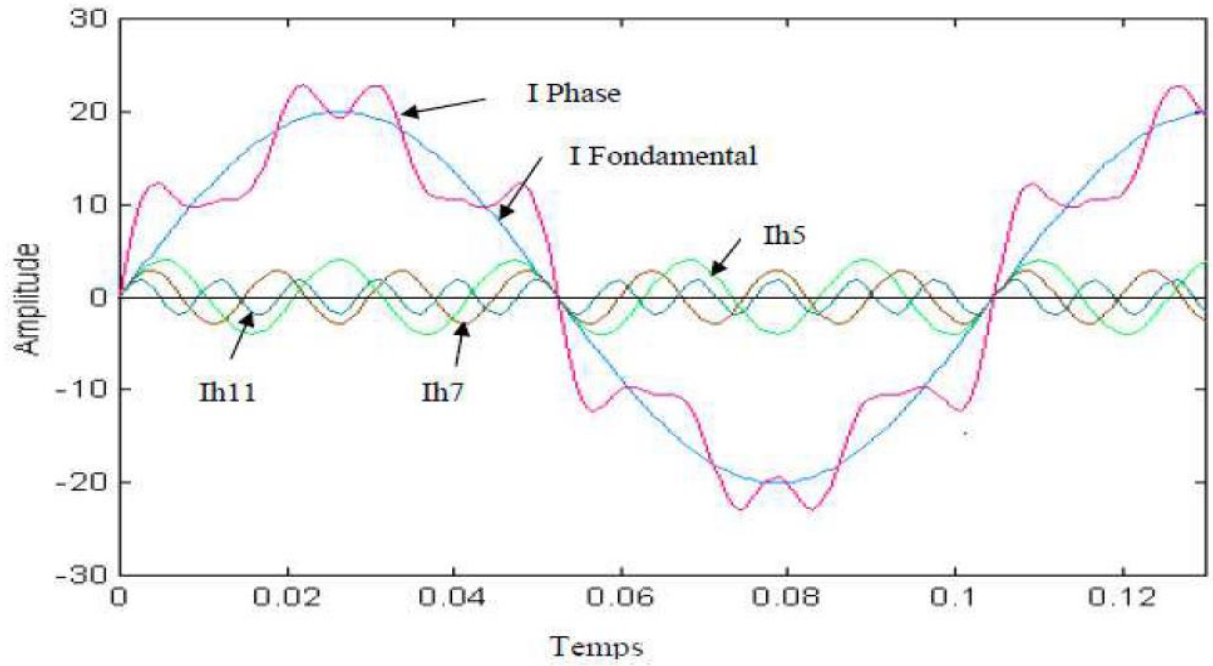


Fig.I.1 La représentation de la forme de l'onde d'un courant déformé avec les différents courants harmoniques le constituant. [3]

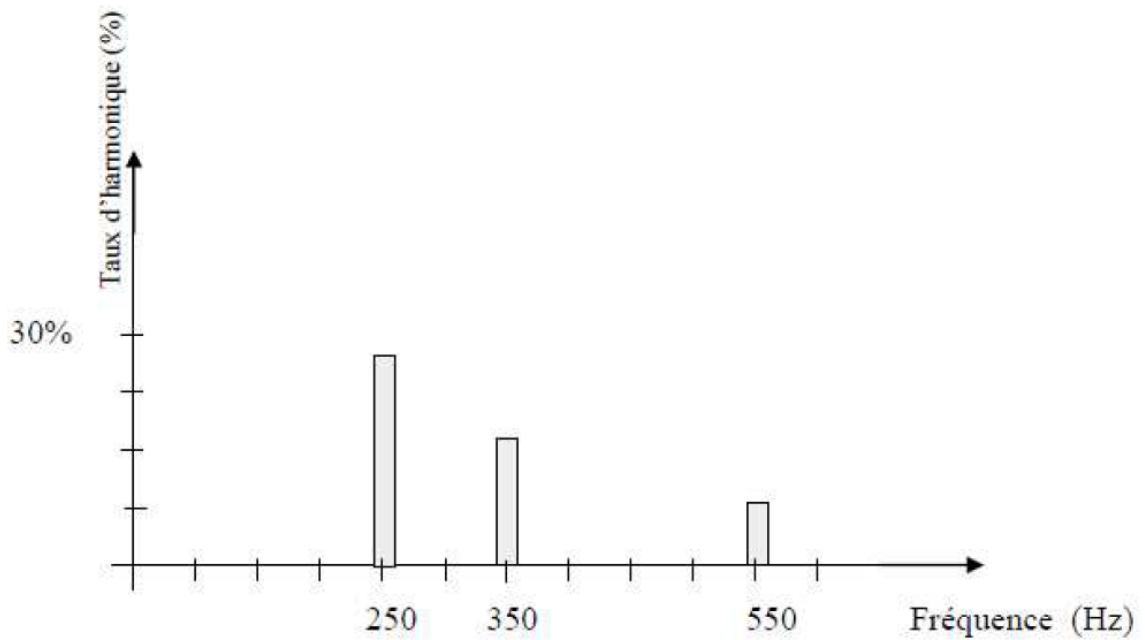


Fig.I.2 Représentation spectrale des harmoniques [3]

I-2-2- Valeur caractérisant un signal déformé :

1. Valeur efficace d'une grandeur déformée :

Un procédé couramment utilisé pour décrire un signal (t) périodique de période T est l'évaluation de sa valeur efficace :

$$G_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T G^2(t) \cdot dt} \dots \dots \dots (I.3)$$

Lorsque le développement en série de Fourier d'une fonction périodique est continu, on peut déterminer sa valeur efficace comme suit :

$$G_{\text{eff}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} (G_h)^2} \dots \dots \dots (I.4)$$

h : Rang harmonique de rang h .

Remarque :

Lorsqu'un signal comporte des composantes harmoniques, sa valeur efficace est différente de la valeur efficace du signal fondamental. Il est donc possible d'évaluer grossièrement la déformation du signal en comparant la valeur efficace de la composante fondamentale et la valeur efficace.

2-Taux individuel :

Il donne une mesure de l'importance de chaque harmonique par rapport au fondamental

ou C'est le rapport de la valeur efficace de l'amplitude de l'harmonique du rang h à celle du fondamental.

$$T_i (\%) = 100 \left(\frac{G_h}{G_1} \right) \dots \dots \dots (I.5)$$

3-Taux de distorsion harmonique global (%)

Il donne une mesure de l'influence thermique de l'ensemble des harmoniques, C'est le rapport de la valeur efficace des harmoniques à celle du fondamental.

$$THD (\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (G_h)^2}}{G_1} \dots \dots \dots (I.6)$$

A. Taux de distorsion harmonique en courant THD_i :

$$THD_i (\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (I_h)^2}}{I_1} \dots\dots\dots (I.7)$$

I_h : Courant harmonique de rang *h*

I₁ : Fondamental de courant.

B. Taux de distorsion harmonique en tension THD_v :

$$THD_v (\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (V_h)^2}}{V_1} \dots\dots\dots (I.8)$$

V_h : Tension harmonique de rang *h*

V₁ : Tension fondamentale.

I-3 Origines et sources des harmoniques :

Dans la plupart des cas, les harmoniques de tensions ou de courants présents sur les réseaux électriques proviennent de l'utilisation des charges non linéaires, tels que les convertisseurs statiques.

I-3-1 Emission en tension :

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

I-3-1-1 Alternateurs :

Les alternateurs des centrales de production fournissent une tension d'alimentation qui contient très peu d'harmoniques (<0.5% selon la norme harmonique IEEE 519 (1992)). Le contenu harmonique de la tension générée par les alternateurs est lié à la qualité du bobinage et des pièces polaires qui assurent la forme

sinusoïdale de l'onde. Sur un groupe électrogène, le taux de distorsion harmonique en tension est généralement inférieur à 5% à vide et inférieur à 1% lorsque le groupe électrogène débite à pleine puissance sur une charge linéaire.

I-3-1-2 Transformateurs :

Les transformateurs peuvent être générateurs de tensions harmoniques lorsqu'ils fonctionnent en régime saturé. Sur les réseaux, le taux de distorsion harmonique en tension dû à ces appareils reste toujours inférieur au pourcent.

I-3-1-3 Alimentations statiques sans interruption (ASI) :

Ces dispositifs ont des performances très intéressantes pour la protection du matériel contre les creux de tension et les coupures. En revanche, ils ont parfois des limitations dans le domaine harmonique qu'il convient de connaître pour bien les maîtriser. En effet, le réseau protégé alimente généralement des charges non linéaires comme du matériel informatique.

Pour une ASI d'une puissance de 80KVA, le taux de distorsion harmonique en tension est inférieur à 4% pour une charge linéaire, est inférieur à 7% pour une charge non linéaire.

En général, le taux de distorsion harmonique en tension diminue avec l'augmentation de la puissance de l'ASI.

Il faut bien noter qu'en charge, le taux de tension harmonique est dû essentiellement aux courants harmoniques créés par les charges non linéaires qui sont alimentées par l'ASI. [4]

I-3-2 Emission en courant :

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

I-3-2-1 Le redresseur triphasé à thyristors :

Le redresseur triphasé à thyristors, ou pont de Graëtz, constitue l'un des montages de l'électronique de puissance les plus répandus dans le secteur industriel. Il représente 55% de la puissance des matériels électroniques de puissance. Dans le domaine de la vitesse variable, les redresseurs triphasés à thyristors sont la principale source de pollution harmonique dans le secteur industriel.

I-3-2-2 Les charges non linéaires passives :

On distingue trois types de charges passives non linéaires. Ce sont, d'une part, les lampes et les petits moteurs dans les secteurs tertiaire, domestique et industriel et, d'autre part, les fours à arc dans le secteur industriel.

• Les lampes :

Deux types de lampes produisent des courants harmoniques :

Les lampes fluorescentes et les lampes à vapeur haute pression. Elles représentent les deux tiers de la puissance consommée par l'éclairage.

La génération d'harmoniques dans ces lampes est liée à la nature fortement non linéaire du phénomène entraînant l'illumination, ainsi qu'à la présence d'un ballast.

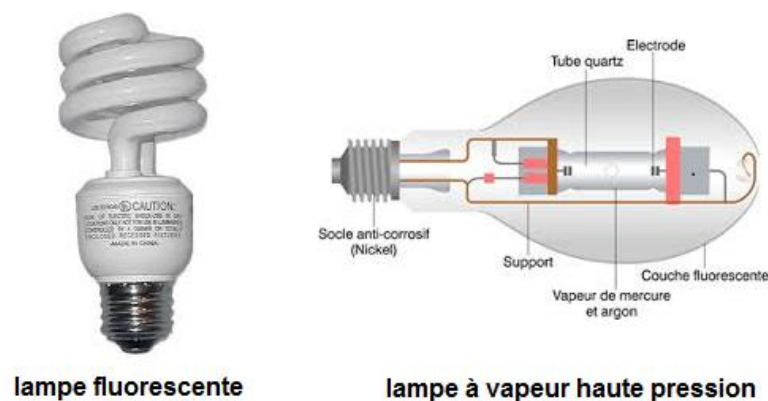


Fig.I.3 lampe fluorescente et lampe à vapeur haute pression

• Les appareils à arc électrique :

Les appareils à arc électrique regroupent les fours à arc à courant alternatif, dont la puissance peut atteindre plusieurs dizaines de MW, et les machines de soudure à l'arc, à courant alternatif ou continu [7,5].

I-4 Effets indésirables des harmoniques sur les installations :

Les tensions et courants superposés à l'onde fondamentale conjuguent leurs effets sur les appareils et les équipements utilisés. Ces grandeurs harmoniques ont des effets différents selon les récepteurs rencontrés [6,4].

I-4-1 Effets instantanés :

Les effets instantanés sont les effets immédiats sur le fonctionnement d'un appareil comme le bruit qui peut apparaître dans un appareil téléphonique. Les effets instantanés concernent les appareils produisant une image électronique (écran d'ordinateur, téléviseur), les appareils produisant un son censé être de bonne qualité (chaîne HI-FI, téléphone) ou la précision des appareils de mesure. Les harmoniques peuvent entraîner le mauvais fonctionnement des systèmes électroniques utilisant la tension comme référence. Les compteurs d'énergie présentent des erreurs supplémentaires en présence d'harmoniques. Les courants harmoniques génèrent des vibrations et bruits acoustiques, dans les appareils électromagnétiques tels que les transformateurs, inductances et machines tournantes [5].

Des perturbations surviennent lorsqu'une ligne à courant faible chemine le long d'une canalisation de distribution électrique avec courants et tensions déformés.

I-4-2 Effets différés :

Les effets différés se manifestent après une exposition plus ou moins longue au phénomène. Ils se traduisent par une perte partielle de fonctionnalité, une indisponibilité ou même une destruction complète de l'appareil. Les effets différés peuvent être classés en fonction du délai avant détérioration.

On distingue les effets à court terme (jusqu'à quelques secondes), les effets à moyen terme (de quelques secondes à quelques heures) et les effets à long terme (de quelques heures à quelques années).

Les effets différés sont souvent liés à un sur-échauffement plus ou moins important.

Ces effets sont dus essentiellement à deux phénomènes :

- ✓ l'échauffement des conducteurs ou des composants traversés par les courants harmoniques.

- ✓ le vieillissement des isolants qui peut être dû soit à une contrainte en tension consécutive à la présence de tensions harmoniques, et donc à une augmentation locale des courants de fuite, soit à l'échauffement exagéré des conducteurs. L'impact d'une perturbation harmonique sur un appareil donné est fonction des constantes de temps et d'échauffement mises en jeu et du niveau de perturbation.

I-4-2-1 Effets à court terme :

Ils concernent essentiellement deux types d'équipement :

- les composants à faible constante de temps thermique comme les étages d'alimentation des appareils électroniques.
- les éléments susceptibles d'entrer en résonance ou situés sur le trajet d'un courant amplifié par une résonance, comme les condensateurs, les disjoncteurs ou les petits transformateurs.

I-4-2-2 Effets à moyen et long terme :

Pour les effets à moyen et long terme, on trouve les câbles qui peuvent être le siège de sur-échauffement du neutre, les organes de sectionnement, les équipements bobinés comme les transformateurs ou les moteurs. Pour les effets à moyen terme, il y a en général des niveaux de tension harmonique significatifs sur le réseau qui permettent un diagnostic relativement aisé.

Les effets à long terme concernent tous les types d'équipements et sont liés à la présence de niveaux d'harmoniques moins importants. Ils se traduisent par un vieillissement prématuré des moteurs, des transformateurs, des câbles et des parasurtenseurs. Les effets à long terme ne sont pas faciles à relier de manière certaine à la présence d'harmoniques. [3]

I-5- les principaux remèdes envisagés : [1]

I-5-1- Transformateurs à couplage triangle/ étoile ou étoile/zig-zag :

Cette solution évite la circulation des courants harmoniques 3 et multiples de 3 ($h_3, 2h_9, h_{15} \dots$) au niveau du primaire du transformateur et de sa ligne d'alimentation.

Le couplage Y_{zn} permet également de diminuer le taux de déséquilibre en courant au niveau du primaire.

I-5-2- Transformateur à deux enroulements secondaires, couplage triangle/ triangle-étoile :

Avec une charge égale sur chacun des secondaires, ce montage évite, au primaire du transformateur, la circulation des courants harmoniques h_5 et h_7 .

Note : Le même résultat peut être obtenu par la mise en œuvre de deux transformateurs séparés avec les couplages respectifs triangle / étoile et étoile / étoile (Dy et Yy).

Pour ces deux solutions, il y a augmentation de l'impédance de ligne, donc du taux de distorsion en tension due aux autres courants harmoniques.

Des montages appelés "phase shifting" c'est un transformateur déphaseur qui peut être réalisés pour traiter le problème des courants harmoniques générés par plusieurs charges en parallèles de type pont de Graetz et de puissance égale.

Les déphasages voulus sont alors obtenus par les autotransformateurs montés en amont de chacune de ces charges.

Ce type de solution n'aura une efficacité maximale que si toutes les charges sont alimentées.

I-5-3- Filtres électriques :

La mise en place de filtres électriques demeure une des solutions les plus généralement proposées pour réduire les perturbations harmoniques.

I-5-4- Limitation du facteur de surtension :

Pour limiter le facteur de surtension du réseau, il faut mettre hors service les condensateurs lorsqu'on est à faible charge.

On peut être tenté de mettre également hors service les condensateurs en dehors des périodes de facturation de l'énergie réactive, mais certains éléments du réseau industriel ou tertiaire comme les transformateurs et les câbles risquent d'être du réseau industriel ou tertiaire comme les transformateurs et les câbles risquent d'être surchargés.

Le facteur de surtension F_q a pour expression:

$$F_q = \frac{Z_R}{L\omega_r} = \frac{[Q_c * S_{cc}]^{1/2}}{P} \dots\dots\dots (1.9)$$

Q_c : Puissance (kVAR) de la batterie de condensateurs.

S_{cc} : Puissance de court-circuit (kVA) de l'alimentation.

P : Puissance active (kW) des charges non perturbatrices.

I-6- Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons illustré le phénomène des harmoniques basses fréquences et sont origines, les effets, et les principaux remèdes envisagés.

Les appareilles électrique responsables de ces harmoniques sont des convertisseurs statique (redresseur, hacheur, onduleur, gradateur).

Pour étudier comment ces convertisseurs génèrent ces harmoniques, il nécessaire de définir chaque convertisseur et savoir comment il fonctionne.

CHAPITRE II:
Perturbations
générées par les
convertisseurs
statiques et les
machines
électriques.

CHAPITRE II: Perturbations générées par les convertisseurs statiques et les machines électriques.

II-1- Introduction :

L'usage de dispositifs en électronique de puissance a augmenté de manière significative ces dernières années. Ces dispositifs sont de plus en plus utilisés dans le transport terrestre et aérien, dans les applications domestiques et grand public et dans les énergies renouvelables. Ils sont basés sur un fonctionnement en commutation des semi-conducteurs. Les convertisseurs statiques de par leur fonctionnement sont de puissantes sources de perturbation. L'étude des perturbations créées par les dispositifs d'électronique de puissance est récente mais nécessaire compte tenu d'une part de la vitesse de commutation élevée des interrupteurs statiques (elles proviennent principalement de l'ouverture et/ou de la fermeture des interrupteurs) ainsi que leur fréquence de commutation, et d'autre part l'accroissement rapide des dispositifs électriques intégrant un électronique de puissance (variation de vitesse, éclairage chauffage, automobile, etc...). [9]

Dans ce chapitre on présentera les perturbations électromagnétiques dans une structure d'un convertisseur statique et les machines électrique.

II-2- définition des convertisseurs statiques : [10]

Un convertisseur statique est un système permettant d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné en la convertissant.

Les premiers convertisseurs de puissance électrique ont été réalisés avec des machines électriques couplées mécaniquement. Avec l'apparition des semi-conducteurs et de l'électronique de puissance, avec les diodes, les transistors, thyristors etc.

Les systèmes de conversion deviennent de plus en plus élaborés et ne nécessitent plus de machines tournantes. C'est l'ère des convertisseurs statiques.

On distingue généralement quatre grandes fonctions des convertisseurs de l'électronique de puissance :

1. Continu -----> Continu (**Hacheur**).
2. Continu -----> Alternatif (**Onduleur**).
3. Alternatif ----->Alternatif (**Gradateur**).

4. Alternatif -----> Continu (**Redresseur**).

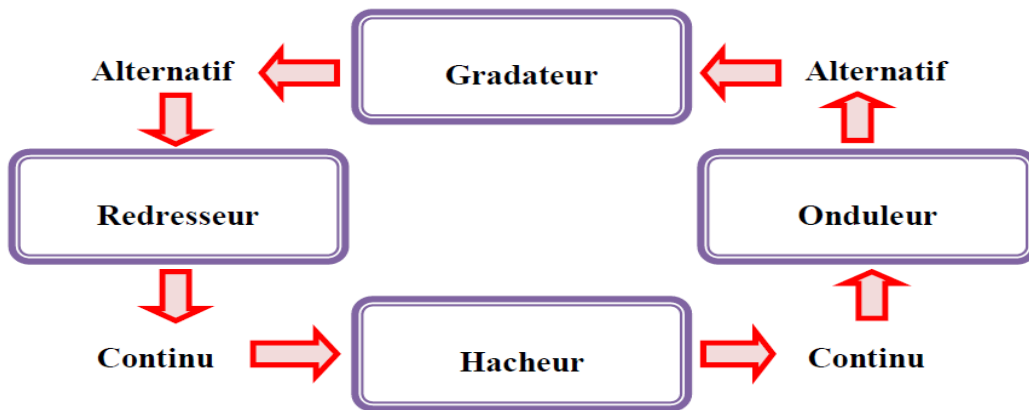


Fig.II.1 Schéma des convertisseurs. [11]

II-2- 1- Le redresseur non commandé:



Fig.II.2 : Symbole d'un redresseur.

Définition:

Un montage redresseur permet d'obtenir une tension continue (de valeur moyenne non nulle) à partir d'une tension alternative sinusoïdale (de valeur moyenne nulle). On distingue le redressement non commandé, utilisant uniquement des diodes et délivrant une tension de valeur moyenne non réglable et le redressement commandé, utilisant des thyristors permettant d'obtenir une tension de valeur moyenne réglable.

II-2- 1-1 Monophasé simple alternance :

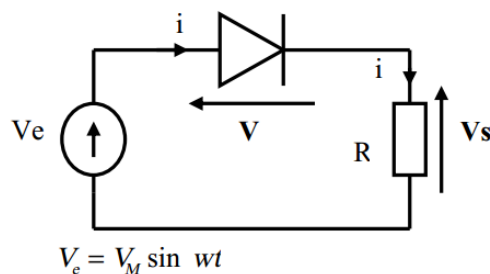


Fig.II.3 Schéma d'un montage redresseur monophasé simple alternance.

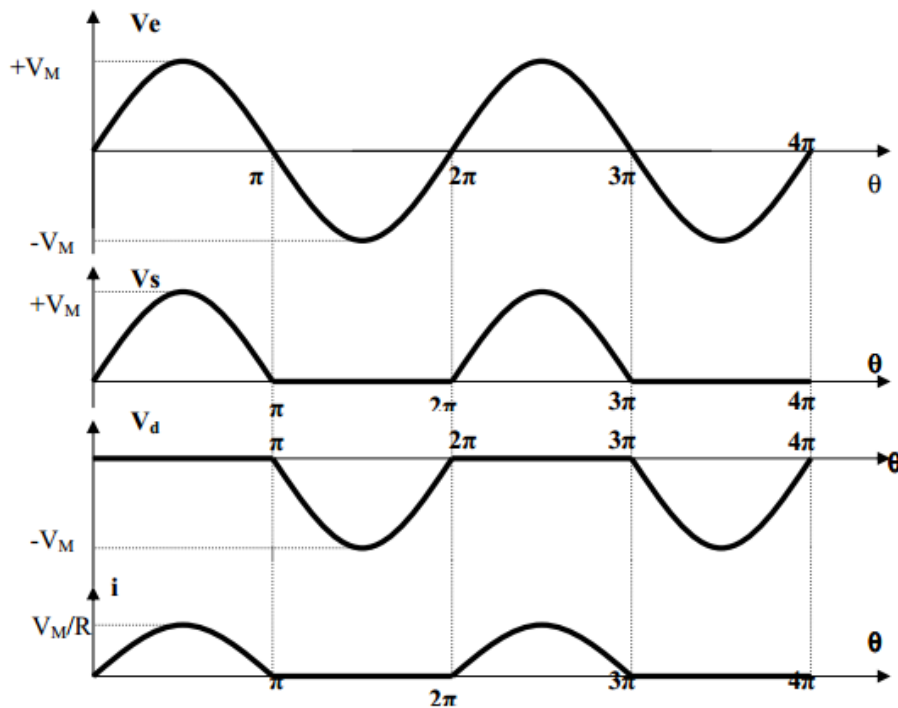


Fig.II.4 : Chronogrammes des tensions.

1. Tension et courant moyens :

Les valeurs moyennes de la tension aux bornes de la charge et du courant sont :

$$V_s(t) = V_0 = \frac{V_M}{\pi} \dots\dots\dots(\text{II.1})$$

$$I(t) = I_0 = \frac{V_M}{\pi R} \dots\dots\dots(\text{II.2})$$

2. Puissance moyenne :

$$p(\theta) = P = \frac{V_M^2}{4R} \dots\dots\dots(\text{II.3})$$

3. Tension et courant efficaces :

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_M}{2} \dots\dots\dots(\text{II.4})$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{V_M}{2R} \dots\dots\dots(\text{II.5})$$

4. Observation :

Tous les signaux sortant du redresseur sont des signaux riches en harmoniques.

Par l'oscilloscope on remarque que tout signal non sinusoïdal est un signal riche en harmonique.

Tout signal périodique non sinusoïdal, peut être décomposé en série de fonctions sinusoïdales, une fondamentale, et une somme de fonctions sinusoïdales de fréquences dont chacune est un multiple de la fréquence fondamentale.

Se sont les Harmoniques dans notre cas.

II-2- 1-2 Monophasé double alternance :

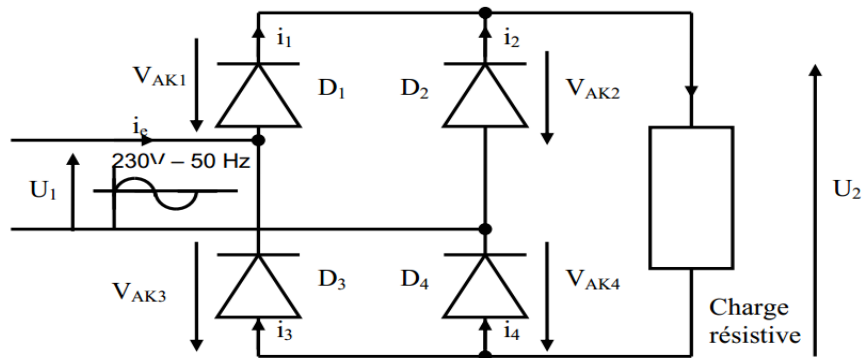


Fig.II.5 Schéma d'un montage redresseur monophasé double alternance.

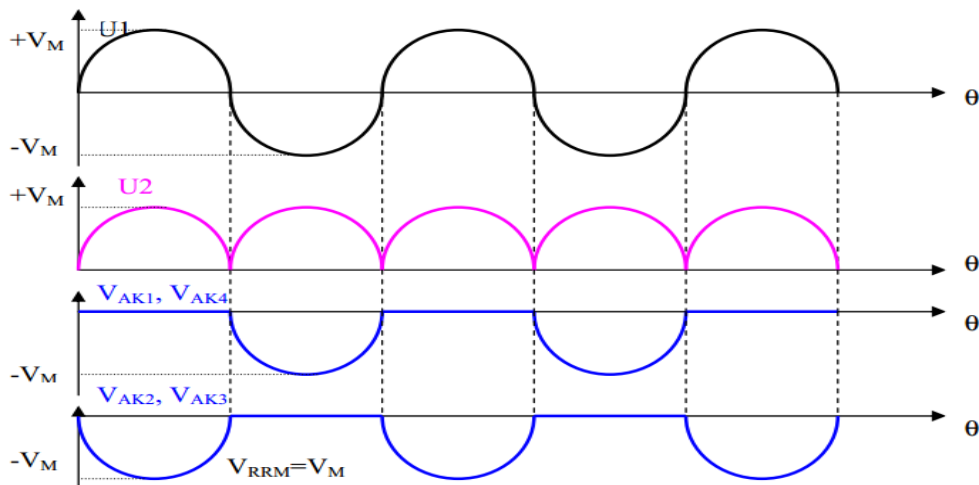


Fig.II.6 Chronogrammes des tensions.

1. Tension et courant moyens :

$$V_s(t) = V_0 = \frac{2V_M}{\pi} \dots\dots\dots(II.6)$$

$$I(t) = I_0 = \frac{V_s}{R} = \frac{2\sqrt{2}V_M}{\pi R} \dots\dots\dots(II.7)$$

2. Valeur efficace de la tension redressée :

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots(\text{II.8})$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{V_M}{\sqrt{2R}} \dots\dots\dots(\text{II.9})$$

3. Observation :

Tous les signaux sortant du redresseur sont des signaux riches en harmoniques.

Par l'oscilloscope on remarque que tout signal non sinusoïdal est un signal riche en harmonique.

Tout signal périodique non sinusoïdal, peut être décomposé en série de fonctions sinusoïdales, une fondamentale, et une somme de fonctions sinusoïdales de fréquences dont chacune est un multiple de la fréquence fondamentale.

Se sont les Harmoniques dans notre cas.

II-2- 2- Le hacheur: [11]

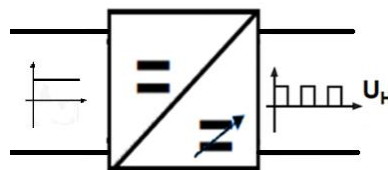


Fig.II.7 : Schéma symbolique d'un hacheur.

1. Définition :

Le hacheur est un dispositif permettant d'obtenir une tension continue de valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension continue fixe (batterie d'accumulateurs ou bien pont redresseur - alimenté par le réseau de distribution).

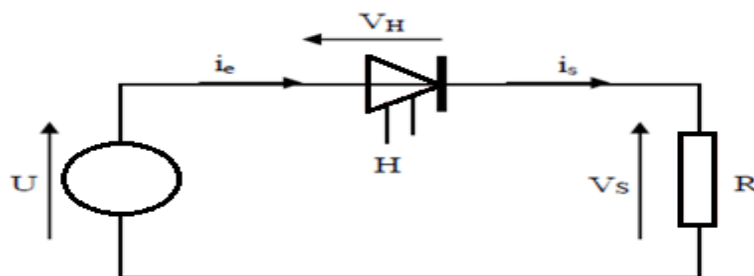


Fig.II.8 Schéma d'un montage hacheur

H : Interrupteur unidirectionnel parfait.

2. Principe de fonctionnement :

Le principe du hacheur consiste à établir puis interrompre périodiquement la liaison source- charge à l'aide d'un interrupteur électronique.

3. Le rapport cyclique : α

Le rapport cyclique est défini comme le temps t_F pendant lequel l'interrupteur est fermé divisé par la période de fonctionnement du montage T .

$$\alpha = t_F / T$$

La valeur de rapport cyclique : $0 \leq \alpha \leq 1$

4. Analyse du fonctionnement : [3]

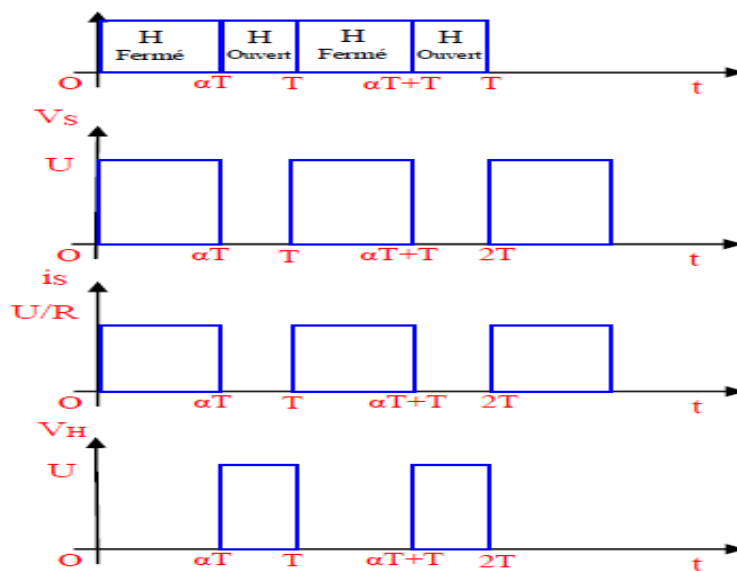


Fig.II.9 fonctionnement du hacheur série. [11]

$0 < t < \alpha T$: H est fermé.

$$v_H = 0 \quad v_s = U \quad i_s = UR \quad i_s = i_e$$

$\alpha T < t < T$: H est ouvert.

$$v_H = U \quad v_s = 0$$

$$i_s = i_e = 0$$

5. Observation :

Tous les signaux sortant du redresseur sont des signaux riches en harmoniques.

Par l'oscilloscope on remarque que tout signal non sinusoïdal est un signal riche en harmonique.

Tout signal périodique non sinusoïdal, peut être décomposé en série de fonctions sinusoïdales, une fondamentale, et une somme de fonctions sinusoïdales de fréquences dont chacune est un multiple de la fréquence fondamentale.

Se sont les Harmoniques dans notre cas.

II-2- 3- Le gradateur monophasé: [11]

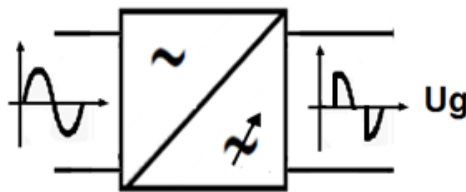


Fig.III.10 Schéma symbolique d'un gradateur.

1. Définition :

Le gradateur est un appareil qui permet de convertir une tension alternative sinusoïdale à fréquence fixe et de valeur efficace constante en une tension alternative de valeur efficace réglable.

2. Principe de fonctionnement :

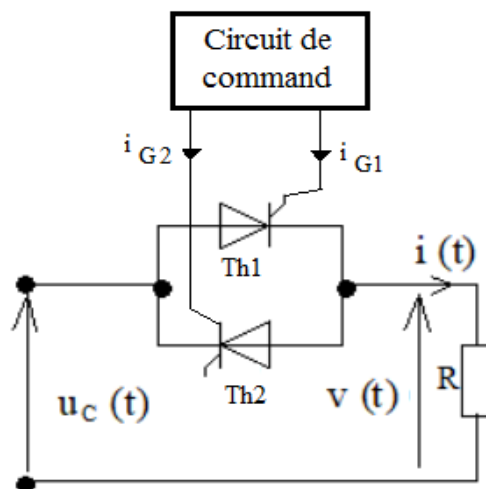


Fig.III.11 Schéma d'un gradateur monophasé.

Dans ce type de gradateur, Le thyristor Th1 est amorcé durant l'alternance positive avec un angle de retard θ par rapport au passage par zéro de la tension secteur. Le thyristor Th2 est amorcé durant l'alternance négative avec le même angle de retard.

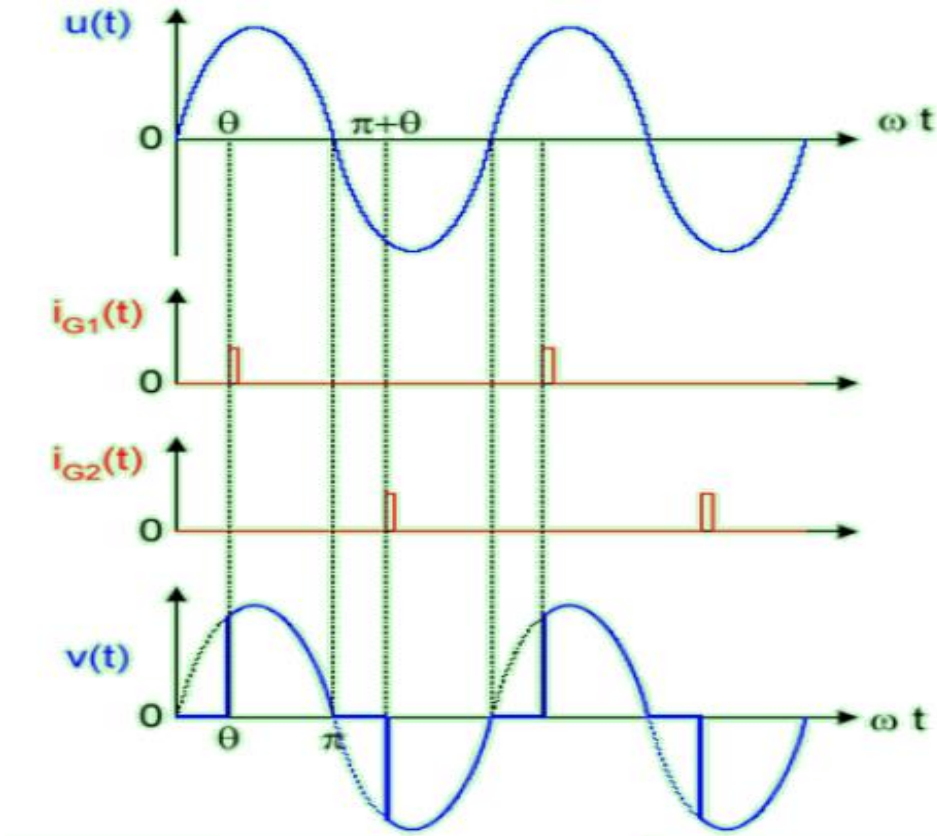


Fig.III.12 : Chronogrammes des tensions et des courants d'un gradateur

3. Domaine d'utilisation :

- Chauffage.
- Eclairage.
- Variation de vitesse des moteurs alternatifs de faible puissance (perceuse, aspirateurs de quelques centaines de Watts).

4. La valeur efficace de tension aux bornes de la charge :

$$V_{\text{eff}} = \sqrt{u(t)^2} \dots\dots\dots(\text{II.10})$$

5. Observation :

Tous les signaux sortant du redresseur sont des signaux riches en harmoniques.

Par l'oscilloscope on remarque que tout signal non sinusoïdal est un signal riche en harmonique.

Tout signal périodique non sinusoïdal, peut être décomposé en série de fonctions sinusoïdales, une fondamentale, et une somme de fonctions sinusoïdales de fréquences dont chacune est un multiple de la fréquence fondamentale.

Se sont les Harmoniques dans notre cas.

II-2- 4- L'onduleur monophasé : [12]

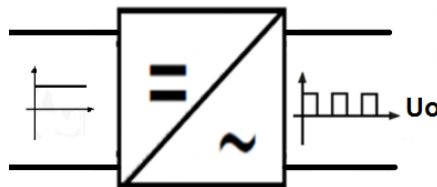


Fig. III.13 : Schéma symbolique d'un onduleur.

1. Définition :

Ce sont des convertisseurs continu-alternatif, ils permettent donc de convertir une tension continue en une tension alternative, on les désigne alors d'onduleurs de tension (ou un courant continu en un courant alternatif, on parle alors de mutateurs).

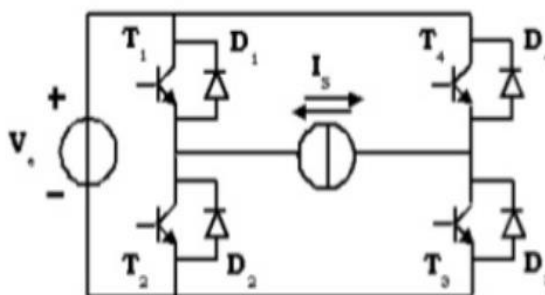


Fig. III.14 Onduleur monophasé en pont complet.

2. Principe de fonctionnement :

➤ Commande symétrique :

- Pour $0 \leq t < \frac{T}{2}$ l'interrupteur électronique k1 est fermé k2 est ouvert et $u = E$
- Pour $\frac{T}{2} \leq t < T$ l'interrupteur électronique k2 est fermé, k1 est ouvert et $u = -E$

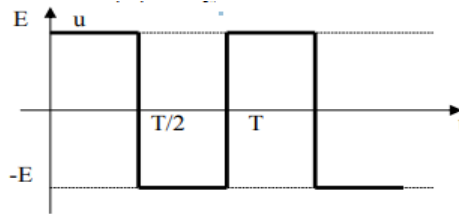


Fig. III.15 Commande symétrique d'un onduleur.

➤ Commande décalée :

La tension u peut prendre 3 valeurs :

- Pour k1 est fermé ; $u = E$
- $u = 0$.
- Pour k2 est fermé, $u = -E$

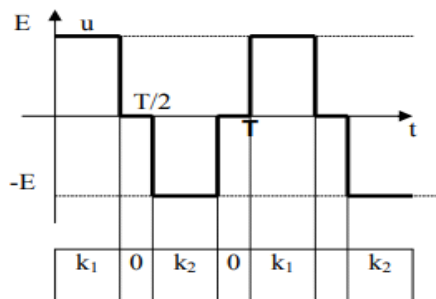


Fig. III.16 Commande décalée d'un onduleur.

3. Observation :

Tous les signaux sortant du redresseur sont des signaux riches en harmoniques.

Par l'oscilloscope on remarque que tout signal non sinusoïdal est un signal riche en harmonique.

Tout signal périodique non sinusoïdal, peut être décomposé en série de fonctions sinusoïdales, une fondamentale, et une somme de fonctions sinusoïdales de fréquences dont chacune est un multiple de la fréquence fondamentale.

Se sont les Harmoniques dans notre cas.

II-3 Les machines électriques :

II-3-1- Définition : [13]

Une machine électrique est un dispositif électromécanique fondé sur l'électromagnétisme permettant la conversion d'énergie électrique par exemple en travail ou énergie mécanique. Ce processus est réversible et peut servir à produire de l'électricité :

- Les machines électriques produisant de l'énergie électrique à partir d'une énergie mécanique sont communément appelées des génératrices, dynamos ou alternateurs suivant la technologie utilisée.
- Les machines électriques produisant une énergie mécanique à partir d'une énergie électrique sont communément appelées des moteurs.

II-3-2- Le variateur électronique de vitesse : [14]

Un variateur électronique de vitesse est un dispositif destiné à régler la vitesse et le couple d'un moteur électrique à courant alternatif en faisant varier la fréquence et la tension, respectivement le courant, délivrées à la sortie de celui-ci.

Leurs applications vont des plus petits aux plus grands moteurs, comme ceux utilisés par les perceuses.

Les variateurs de vitesse peuvent être soit basse tension, soit moyenne tension. Certains fonctionnent en onduleurs, d'autres en redresseur/onduleur.

Les variateurs de vitesse sont constitués par des composants électroniques, ces composants sont riches en harmoniques, cela indique que les variateurs de vitesse sont une source d'harmoniques

II-4 Nature et liste des principaux équipements pollueurs : [15]

La génération de courants harmoniques, sur les réseaux d'alimentation électrique, est due à de nombreux types d'équipements, dont on peut dresser une liste non exhaustive et que l'on retrouve dans les matériels suivants:

Types d'équipements générant des courants harmoniques	Dans quelles familles de matériels les trouve-t-on ?
Moteurs asynchrones monophasé et triphasés	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Matériel électroménager ➤ Climatisation ➤ Outillage et machines-outils ➤ Equipements industriels
Redresseurs monophasé	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Micro-ordinateurs ➤ Imprimantes et périphériques d'ordinateurs ➤ Variateurs de vitesse pour moteur alternatifs ➤ Ballasts électroniques ➤ Téléviseurs
Gradateur à angle de phase	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Modulation d'éclairage des lampes ➤ Commande de four électrique ➤ Régulation de puissance ➤ Démarreurs progressifs de moteurs
Redresseur triphasé base de semi-conducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Variation de vitesse de moteurs (pompes, convoyeurs, etc.) ➤ Fours à induction ➤ Electrolyseurs
Appareils d'éclairage	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lampes à fluorescence ➤ Lampes à vapeur haut pression ➤ Lampes fluo compactes
Appareils à arc électrique	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fours ➤ Poste de soudure

Tableau II.1:Nature et liste des principaux équipements pollueurs.

II-5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons expliqué la définition des convertisseurs statiques et leurs types, et le rôle des moteurs électrique et les variateurs de vitesse dans la production des harmoniques.

Dans le prochain chapitre nous allons construire un banc d'essai afin de montrer et d'étudier les signaux sortant des convertisseurs statique.

CHAPITRE III :
Réalisation du banc
d'essais

CHAPITRE III : Réalisation du banc d'essais

III-1- Introduction :

Dans les chapitres précédents, nous avons étudié les harmoniques et leurs sources, et étudié les convertisseurs statiques et leur fonctionnement.

La réalisation du banc d'essais est basée sur le dimensionnement et les caractéristiques techniques des éléments disponibles (les convertisseurs statiques, Coffret d'un micro-ordinateur, Les lampes).

Dans ce chapitre, on va étudier les convertisseurs statiques et les matériels disponibles et étudier le dimensionnements et l'emplacement des convertisseurs dans l'armoire pour faire la réalisation de la maquette. .

III-2- Le redresseur :

Schéma symbolique d'un redresseur figure III.1 :



Fig.III.1 : Symbole d'un redresseur.

III-2-1- définition :

Le redresseur est un convertisseur d'énergie complexe qui absorbe de la puissance au réseau d'alimentation sous forme de courant sinusoïdal à la fréquence fondamentale qui transfère la plus grande partie de cette puissance au réseau d'utilisation sous forme de courant continu plus ou moins chargé d'harmoniques.[1]

III-2-2-Schéma :

Schéma d'un redresseur avec filtre et régulateur figure III.1 :

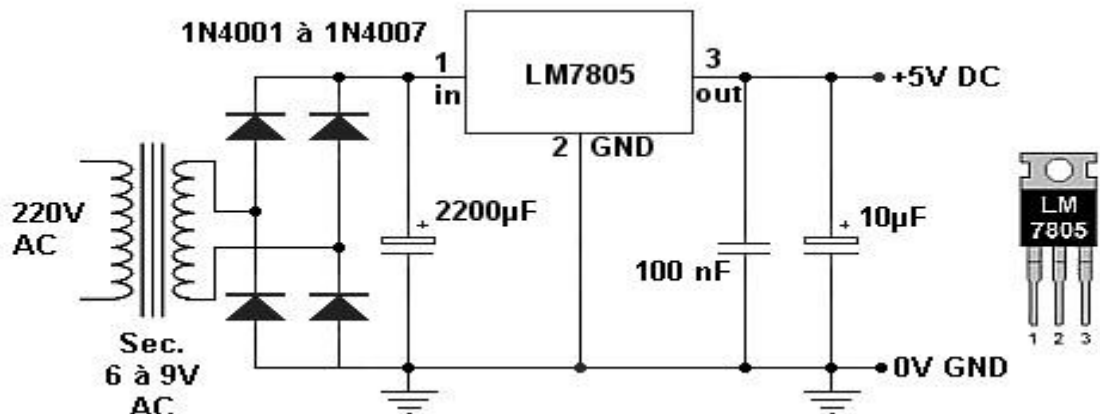


Fig.III.2 Redresseur avec des composants symboliques.

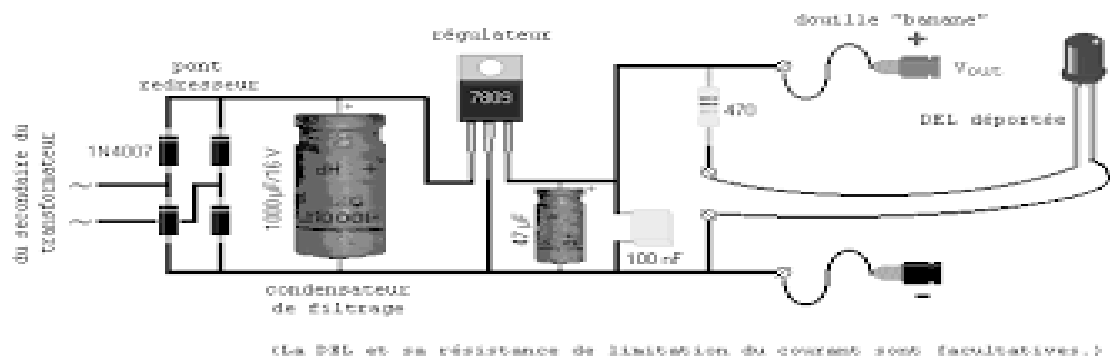


Fig.III.3 : Redresseur avec des composants réels.

III-2-3-Liste du matériel :

- Transformateur 220 V/ 12 V.
- Pont de diode (4 diode).
- 3 Condensateurs.
- Résistance.
- Régulateur.
- Fils de connexion.

III-3-Le hacheur :

Schéma symbolique d'un hacheur figure III.1 :

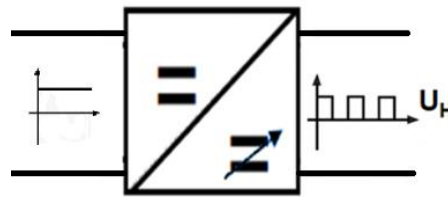


Fig.III.4 : Schéma symbolique d'un hacheur.

III-3-1- définition :

Le hacheur, ou convertisseur continu - continu, est un dispositif de l'électronique de puissance mettant en œuvre un ou plusieurs interrupteurs électroniques commandés, ce qui permet de modifier la valeur de la tension (moyenne) d'une source de tension continue avec un rendement élevé.

III-3-2-Schéma :

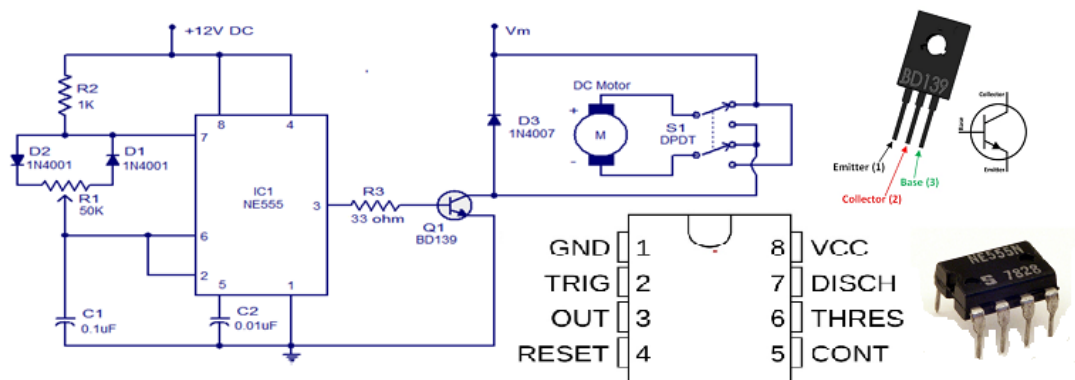


Fig.III.5 : Schéma d'un hacheur alimenté par 12V.

III-3-3-Liste du matériel :

- Moteur DC.
- Circuit intégré NE 555.
- Transistor BD 139.
- 3 Diodes.
- 2 Condensateurs (C1= 0.1 μ F ; C2=0.01 μ F).

- 3 Résistances ($R1=50K\Omega$; $R2=1K\Omega$; $R3=33 \Omega$).
- Relais DPDT.
- Fils de connexion.

III-4-L'onduleur :

Schéma symbolique d'un onduleur, figure III.6 :

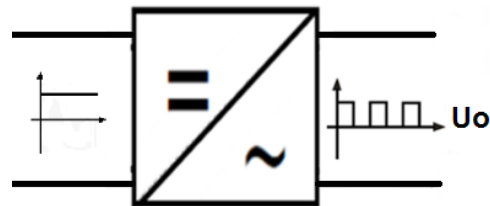


Fig. III.6 : Schéma symbolique d'un onduleur.

III-4-1- définition :

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de générer des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source d'énergie électrique de tension ou de fréquence différente. C'est la fonction inverse d'un redresseur.

III-4-2-Schéma :

Schéma d'un oscillateur, utilisé comme onduleur, figure III.7

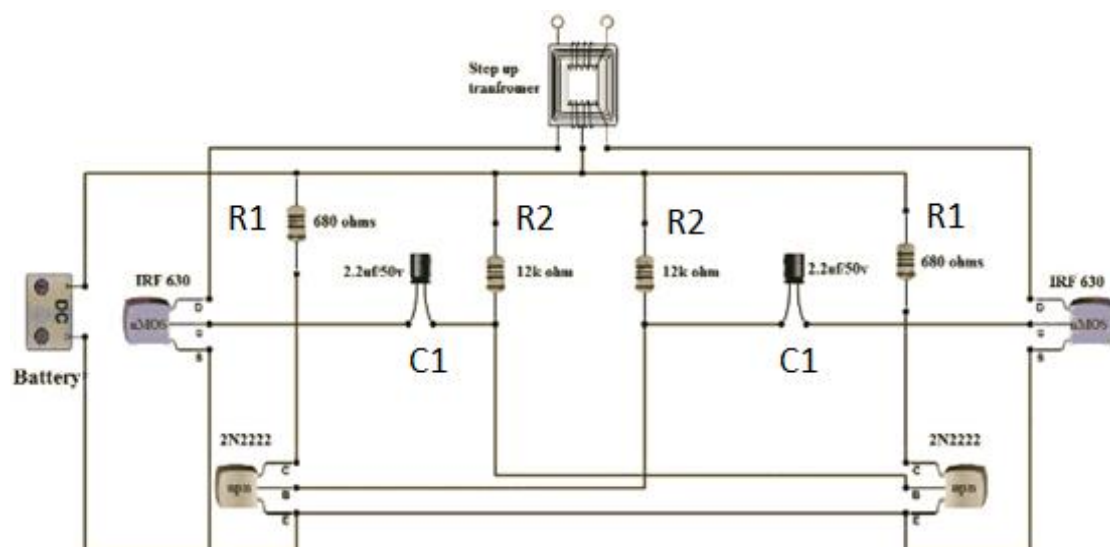


Fig.III.7 : Onduleur avec des composants réels.

III-4-3-Liste du matériel :

- Batterie 12 V.
- 2 MOSFET IRF 630.
- 2 Transistors 2N2222
- 2 Condensateurs 2.2μF.
- 4 Résistances (680Ω et 12KΩ).
- Transformateur élévateur à prise centrale 12/220 V.
- Fils de connexion

L'équation III-1, pour le calcul de la fréquence du circuit oscillant figure III.7

$$F = 1 / (1.38 * R2 * C1) \text{ [HZ]} \dots\dots\dots (III.7)$$

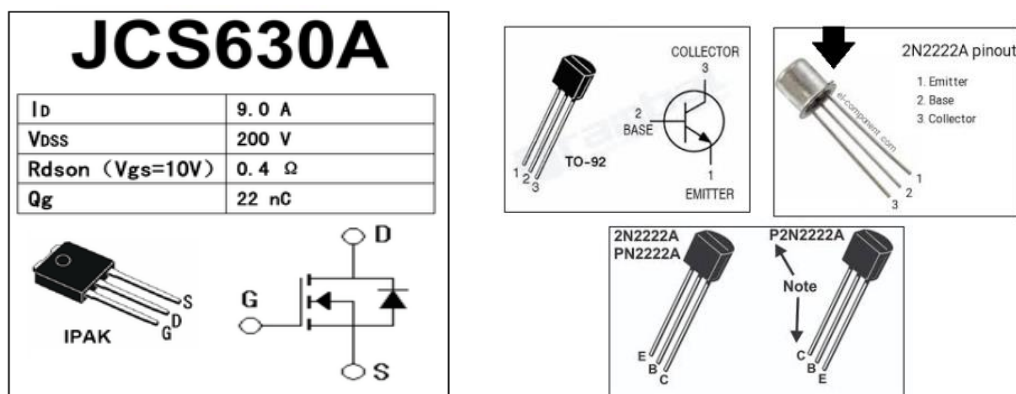


Fig.III.8 : Brochage des transistors.

III-5-Le gradateur :

Schéma symbolique d'un gradateur, figure III.9 :

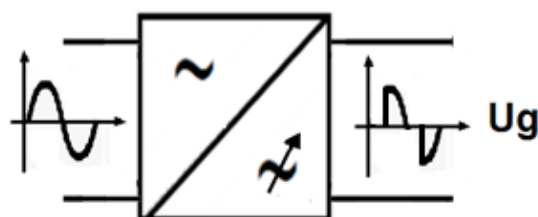


Fig.III.8 : Schéma symbolique d'un gradateur.

III-5-1- définition :

Un gradateur est un appareil électrique destiné à faire varier la puissance délivrée à un autre appareil utile, souvent un éclairage (projecteurs de scène, par exemple).

III-5-2-Schéma :

Schéma d'un gradateur avec des composants réels, figure III.9

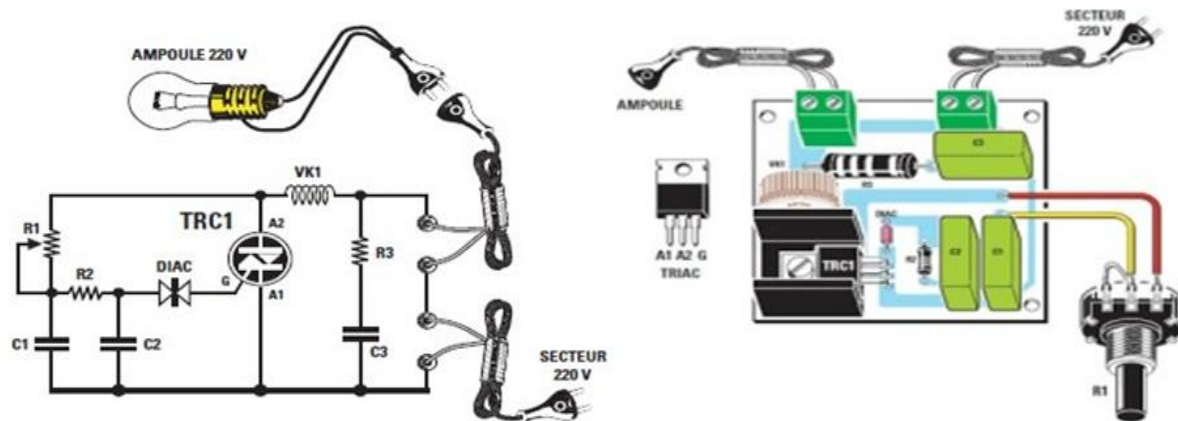


Fig.III.9 : Gradateur avec des composants réels.

III-5-3-Liste du matériel :

- Triac TRC=500V/5A.
- Bobine VK1.
- Diac.
- Condensateurs 400 V (C1 et C2=47nF ; C3=100 nF).
- Résistances (R1=470K Ω ; R2 5.6K Ω ; R=100 Ω).
- Fils de connexion.

III-6- Réalisation de la maquette :

La maquette est réalisée par un coffret d'un micro-ordinateur, représentant une armoire qui loge les convertisseurs statiques, et tous les composants électroniques et électriques à l'intérieur de ce boîtier.

III-6-1- Liste du matériel :

- Coffret d'un micro-ordinateur.



Fig.III.10 : Coffret d'un micro-ordinateur.

- Les convertisseurs statiques.
- Deux petits transformateurs
 1. 220 V / 12 V dont le courant > 1 A.
 2. 220 V / 2x12V dont le courant > 1 A

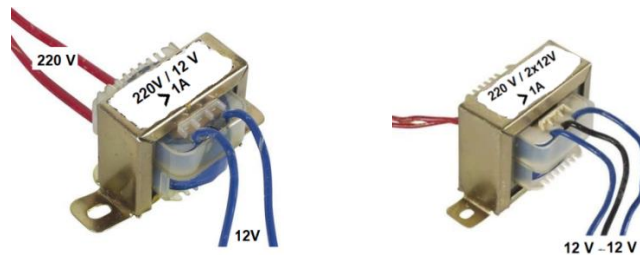


Fig.III.11 : Les transformateurs.

- Un disjoncteur tétra polaire 10A ou 16 A max (disjoncteur magnétothermique. 4P).



Fig.III.12 : Un disjoncteur tétra polaire.

- Bouton poussoir pour arrêt d'urgence.



Fig.III.13 : Bouton poussoir.

- Voyant rouge.



Fig.III.14 : Voyant rouge.

- Douilles bananes.



Fig.III.15 : Douilles bananes.

- Prise étanche monophasée.



Fig.III.16 : Prise étanche monophasée.

- Les interrupteurs.



Fig.III.17 : Interrupteur.

- Petite ventilateur de refroidissement 12 V.



Fig.III.18 : Ventilateur de refroidissement.

- Les lampes.



Lampe halogène " HL1"



Lampe économique " HL2"



Lampe tube néon " HL3"



Lampe à incandescence " HL4"

Fig.III.19 : Les lampes.

III-6-2-Le dimensionnements et vue d'armoire :

1. Vue de face :

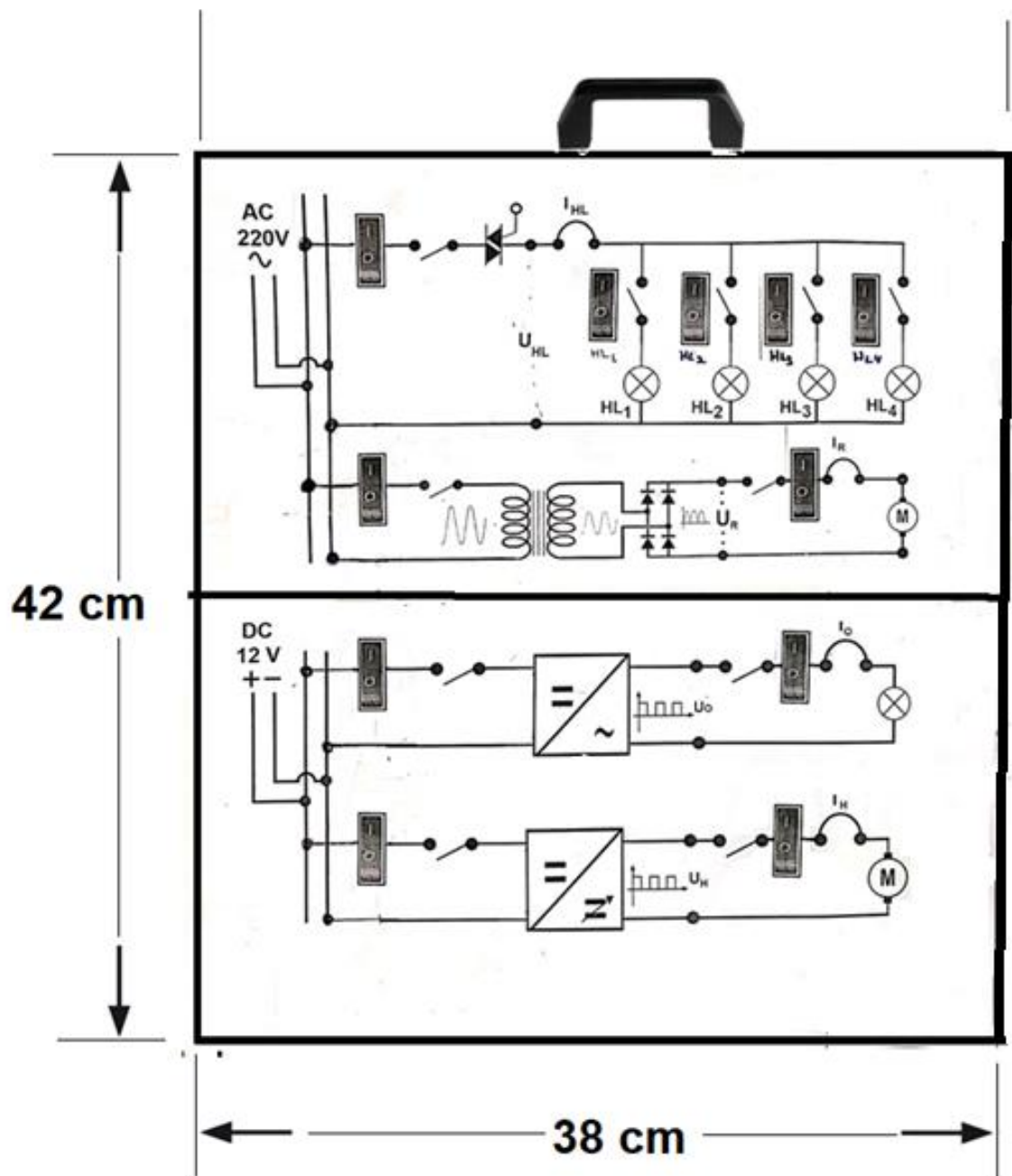


Fig.III.20 : Vue de face du banc d'essais.

2. Vue de côtés :

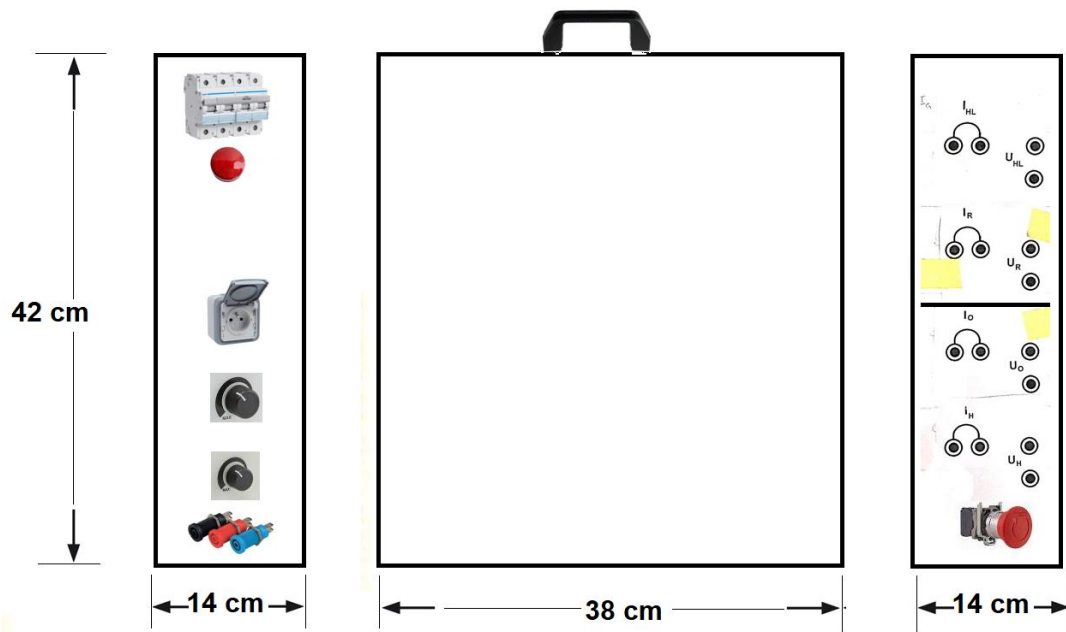


Fig.III.21 : Vue de gauche, et de droite du banc d'essais.

III-6-3- Le détail d'emplacement des convertisseurs dans l'armoire :

1. Le gradateur :

La figure (III.22) représente un gradateur, pour varier la puissance des différentes lampes utilisées, selon le choix des interrupteurs.

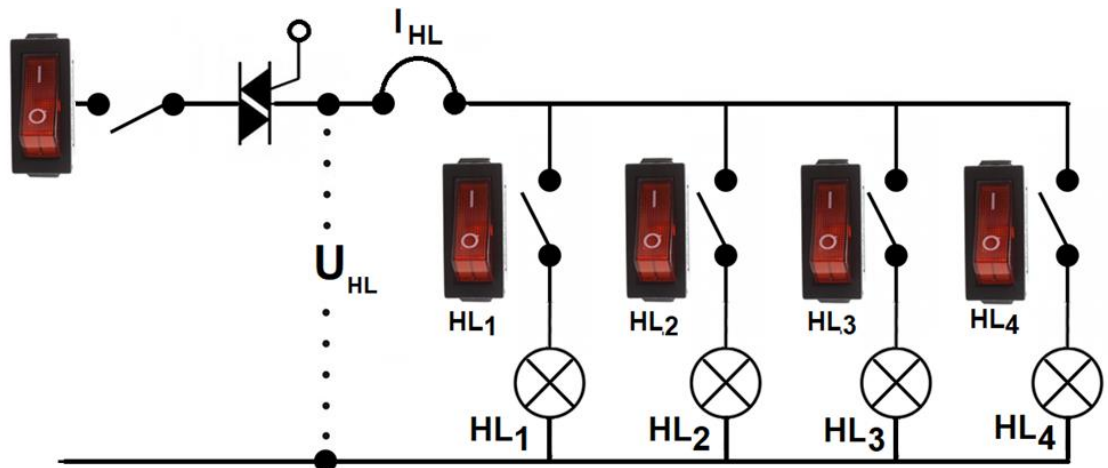


Fig.III.22 : Lampes commandées par un gradateur.

2. Le redresseur :

La figure (III.23) représente, un redresseur à pont de diodes, avec un transformateur abaisseur.

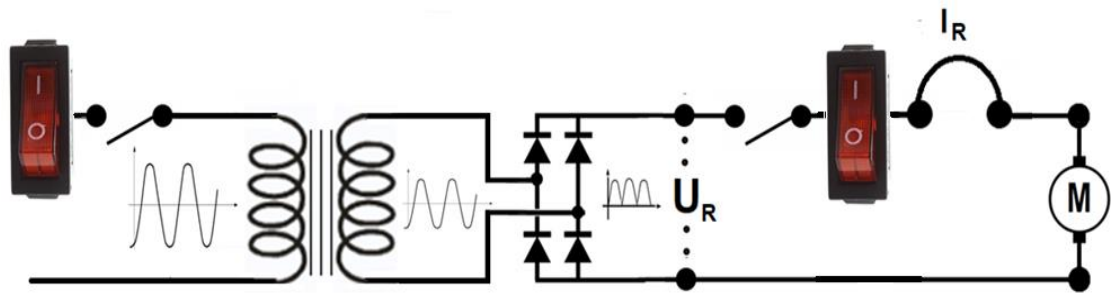


Fig.III.23 : Pont redresseur avec charge.

3. L'onduleur :

La figure (III.24) représente un onduleur avec une charge résistive.

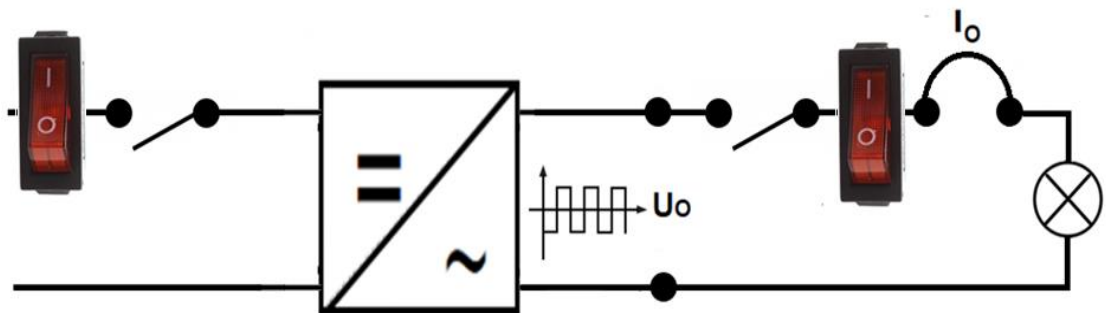


Fig.III.24 : Onduleur avec une charge résistive.

4. Le hacheur :

La figure (III.25) représente un hacheur alimentant un moteur à courant continu.

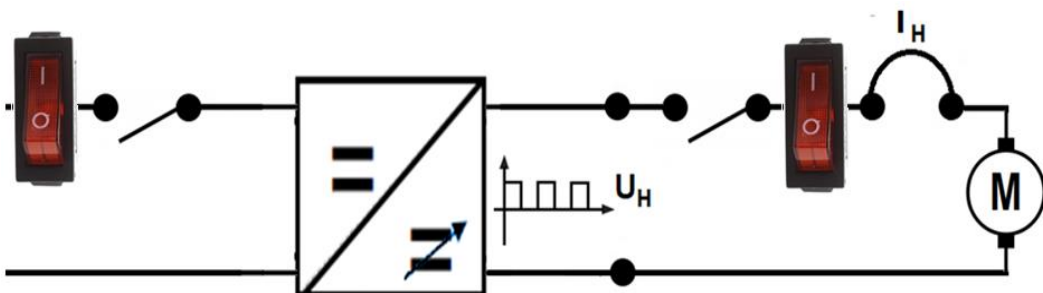


Fig.III.25 : Hacheur alimentant un moteur à courant continu.

III-7- Exemple : [16]

III-7-1- Tension et courant absorbés par une lampe basse consommation 2x15W-230 V :

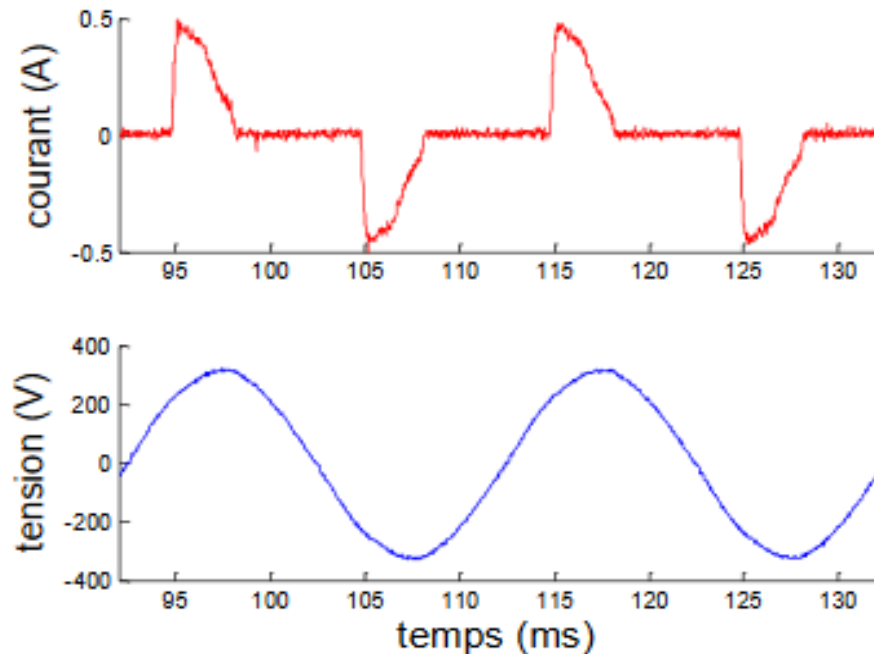


Fig.III.26 : Tension et courant absorbés par une lampe basse consommation

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

Tableau III.1: tableau de rang d'harmonique. Courant des harmoniques et THD

Rang k	1	3	5	7	9	11	13
taux I_k/I_1 (%)	100	77	42	19	16	12	9
I_k (A)	0.2	0.154	0.084	0.038	0.032	0.024	0.018

Il existe 4 classes différentes des harmoniques dans la norme EN 61000-3-2 : 2014 qui ont des valeurs limites différentes : A- B-C- D.

La classe C : pour le matériel d'éclairage.

III-7-2- La norme CEI 61000 :

La norme CEI 61000 intitulée Compatibilité électromagnétique (CEM).

La norme CEI 61000-3-2 : **Partie 3 : Limites** en émission harmoniques.

« 3-2 : Limites pour les émissions de courant *harmonique* (courant appelé par les appareils $\leq 16 A$ par phase) ».

Le tableau III.2 suivant donne les valeurs limites en émission harmoniques des luminaires :

Tableau III.2 : Rang harmonique et le courant maximal autorisé

Classe C: Matériel d'éclairage

Rang Harmonique N	Courant harmonique maximal autorisé exprimé en pourcentage du courant fondamental d'entrée des luminaires %
2	2
3	$30 \cdot \lambda$ *
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (harmoniques impaires uniquement)	3
* λ (facteur de puissance du circuit)	

Un facteur de puissance égal à **0.66** pour notre lampe économique.

III-7-3- Calcul des courants harmoniques de la lampe, et comparaison avec le tableau des normes ci-dessous :

Tableau III.3 : Rang harmonique et le courant maximal (norme et calculé)

Limite en harmoniques Classe C: Matériel d'éclairage (Norme 61000-3-2)		I_n Norme	I_c Calcul (Exemple)
Rang Harmonique N	Courant harmonique maximal autorisé exprimé en pourcentage du courant fondamental d'entrée des luminaires %	Courant (A)	
2	2		
3	$30 \cdot \lambda$ *	0.039	< 0.154
5	10	0.020	< 0.084
7	7	0.014	< 0.038
9	5	0.010	< 0.032
$11 \leq n \leq 39$ (harmoniques impaires uniquement)	3	0.006	< 0.024
* λ (facteur de puissance du circuit)		0.006	< 0.018

III-7-4- Conclusion :

Les courants calculés I_c , sont supérieur aux courants I_n des normes EN61000-3-2.

Donc la lampe est polluante.

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

I_c : courant calculé à partir du tableau des mesures.

III-8- Difficultés dans la réalisation de ce travail :

Lors de la réalisation de ce travail, nous avons rencontrés de nombreuses difficultés et problèmes, parmi lesquels nous mentionnons :

- COVID-19, pas de contact présentiel, difficultés d'accéder au laboratoire pour faire le câblage des réalisations prévu pour le banc.
- Difficulté de trouver : les composants et appareillages électriques pour cause magasins fermés.
- Le laboratoire de recherche fermé, pour accéder à l'analyseur de spectres.
- Indisponibilité d'un oscilloscope numérique pour traiter les signaux générer les convertisseurs du banc.
- L'assemblage, et la finition de banc est temporisé, manque de matériels : de protection, de boutons poussoirs ; douilles bananes etc... (magasin du laboratoire fermé).

Malgré ces difficultés, nous nous sommes arrivés à réaliser à distances, les différents convertisseurs, redresseur, hacheur, onduleur, et gradateur. Malheureusement, les composants utilisés sont de faibles puissances, on doit faire attention lors des essais, pour ne pas griller les composants. On propose de changer les composants avec d'autres, plus puissants, pour supporter des grandes charges polluantes, pour avoir des harmoniques hors normes, qui nous demandent l'adaptation des filtres.

III-9- Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons expliquons les composant électrique utilisés pour faire une réalisation d'une maquette des convertisseurs statique.

Il est très important d'installer des composant électrique pour protéger la maquette des risques électrique, et placer un sortie pour mesurer le courant et le tension et pour traiter le signale.

Conclusion

générale

Conclusion générale

Les harmoniques engendrées par les charges non linéaires circulent dans les réseaux électriques et perturbent sérieusement le fonctionnement normal de certains équipements électriques pouvant même engendrer leur destruction. Ces effets néfastes peuvent apparaître instantanément, mais peuvent également se produire à long terme tant pour le distributeur que pour les exploitants.

Dans ce travail, nous avons fait ce qui suit :

Dans le premier chapitre on a donné un aperçu général des harmoniques basses fréquences et ses origines, les effets, et les principaux remèdes envisagés.

Dans le deuxième chapitre on a présenté les perturbations électromagnétiques dans une structure d'un convertisseur statique et les machines électrique.

Dans le troisième chapitre, on a étudié et dimensionner le boîtier, avec la réalisation de tous les convertisseurs statiques : redresseur, hacheur, gradateur et onduleur. Manque de quelque composants et de contacte au niveau du laboratoire pour l'assemblage et la finalisation de la maquette, mais malheureusement le travail ne c'est pas achevé en raison des circonstances actuelles Covid-19.

Le but, été de réaliser la maquette, et de faire des essais sur les différents pollueurs utilisés par une analyse spectrale des signaux de sorties, courants et tensions avec l'analyseur de spectre du laboratoire de recherche, qui sera suivie par un autre PFE, dédié aux filtres passifs, pour voir l'efficacité des filtres sur chaque pollueur.

Finalement nous espérons que les étudiants de la promotion prochaine, termineront ce travail pour que le laboratoire soit équipé par Banc d'essais sur les harmoniques et le filtrage, dédié au module « qualité d'énergie ».

Bibliographie

Bibliographie

- [1] D.Hakim, «Evaluation du cout des pertes générées par les perturbations harmoniques dans les réseaux électrique», Mémoire de Magister en Electrotechnique, *Université M'hamedBougara Boumerdés*, 2006.
- [2] N. Nassirou, E.Youness « Etude et Analyse des harmoniques générées dans le réseau électrique»Projet de Fin d'Etudes, université de Fès, 11 Juin 2014
- [3] G. Djedjiga, B. Billal « Filtrage actif de puissance» Mémoire master académique, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 21 juillet 2016
- [4] R.Kifouche Rezki «Identification des harmoniques et génération du courant de référence "application au convertisseur statique »Mémoire de Magister, Université M'hamedBougaraBoumerdés, 2005.
- [5] L. Zellouma, « Filtrage actif parallèle des harmoniques du courant générés par un pont redresseur triphasé non commandé » Mémoire de Magister, Université d'Annaba 2006
- [6] M.A.E.ALALI, « Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension », Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur-Strasbourg I, 2002.
- [7] A.OMEIRI « Simulation d'un filtre actif parallèle de puissance pour la compensation des harmoniques de courant ». Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2007
- [8] M. Nasreddine H. El-Mehdi «Étude par simulation des effets des harmoniques et de la puissance réactive sur le réseau électrique ». Mémoire master académique, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016
- [9] François, Costa. PERTURBATIONS ELECTROMAGNETIQUES HAUTE FREQUENCE DANS LES CONVERTISSEURS STATIQUES, [En ligne].
- [10]: Les convertisseurs électriques définition et exemples, Adresse URL «<https://www.automation-sense.com/blog/electronique/les-convertisseurs-statiques-definition-et-exemples.html> ».
- [11]: M.L.LOUAZENE « Electronique de Puissance (Cours et Exercices) », Département de Génie Electrique, Université d'Ouargla.

Bibliographie

- [12] L'onduleur autonome", Adresse URL
«<http://fisik.free.fr/ressources/TPonduleur.pdf>».
- [13] Machines électrique, Adresse URL
«https://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_électrique».
- [14] Variateur électronique de vitesse, Adresse URL
«https://fr.wikipedia.org/wiki/Variateur_électronique_de_vitesse».
- [15] :É. FÉLICE, P. RÉVILLA « Qualité des réseaux électriques et efficacité énergétique »,
Préface D'A. DE FLEURIEU, L'USINE NOUVELLE DUNOD.
- [16] Wilfried FRELIN « Impact de la pollution harmonique sur les matériels de réseau »,
THÈSE DE DOCTORAT, université de paris-sud 11.