

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département d'Electrotechnique
Laboratoire de Recherche en Electrotechnique



Mémoire de Master en Electrotechnique

Présenté par :
GHOZALI Nabil

Intitulé

Impact des filtres harmoniques sur le facteur de puissance

Soutenu le 17 juin 2015 à l'ENP

Membres du jury d'examen :

Président	A.HELLAL	Professeur à l'ENP
Rapporteur	R.TAHMI	Docteur à l'ENP
Examineurs	M.TEGUAR	Professeur à l'ENP
	K.BOUGHRARA	Maître de conférences à l'ENP

ENP 2015

Laboratoire de Recherche en Electrotechnique (LRE) -Ecole Nationale Polytechnique (ENP)

10, Avenue des Frères Oudek, Hassen Badi, BP. 182, 16200 El Harrach, Alger, Algérie

www.lre.enp.edu.dz www.enp.edu.dz

ملخص :

كانت مهمتنا في هذا العمل لتركييب فلتر التوافقي في ورشة عمل في مصنع الاسمنت، وبعد ذلك في الأثر الذي تركته على معامل الاستطاعة ، وسوف نرى محاكاة لحالة توهين القيم التوافقية المقترحة وفقا لمعايير، ومن ثم نحسب الفرق بين معامل الاستطاعة القديم و معامل الاستطاعة الجديد.

الكلمات المفتاحية : معامل الاستطاعة.

Résumé :

Nous nous sommes intéressés lors de ce travail à l'installation d'un filtre à harmoniques dans un atelier d'une cimenterie, et par la suite sur l'impacte qu'a eu ce dernier sur le facteur de puissance, nous verrons une simulation de cas d'atténuation d'harmoniques aux valeurs proposées par les normes, et par la suite nous calculerons la différence entre l'ancien facteur de puissance et le nouveau facteur de puissance.

Mots clés : Facteur de puissance, Filtre à harmoniques.

Abstract :

We have seen in this work the placement of a harmonics filter in a compartment in a cement factory, then the impact that had had the filter on the power factor, we will make a simulation on the case where we reach the values given by the norm, and then calculate the difference between the previous and the power factor obtained.

Key words: Power factor, Harmonics filter.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes parents qui m'ont soutenu et encouragé pour pouvoir achever mon cursus et sans lesquels absolument rien n'aurait été possible, qu'Allah me les garde, à mon frère et ma sœur ainsi qu'à Moummou qu'il vive le plus longtemps possible.

Mais surtout je tiens à dédier ce travail à vous mes chers camarades et frères, avec vous j'ai connu le bonheur et l'importance d'avoir des personnes hors paire comme compagnons pour traverser la route, pour le moins difficile, qui passe par Polytech vers le succès. Vous avez été là quand j'étais au plus bas, et vous serez toujours dans mon cœur, partout où la vie me mènera. Je ne vous oublierai jamais. Ce travail vous est dédié à vous, Karim Bouter, Hafez Lfez, Moncef bouter aussi, Rafiki, Yamanda, Mahfoud, Farouk, Walid, Salem, Bedrioui, Lyes wliidi, Mouh yaaakhou, Jugo li nsani, Selmane le blond, Raouf, Nazim, Amina et Khadidja, Alia bouchzour et Amira legriwsa, Zoubir ou tzoubir, Mouh youkta, à Z qui a été là pour moi pendant tant d'années, ainsi qu'à tous ceux que j'ai connus à Polytech.

Nabil Gh

Table de Matières

Sommaire

Introduction générale :	1
I. Les harmoniques :	2
1. Les générateurs de grandeurs électriques harmoniques :.....	3
2. Effets des harmoniques :.....	5
3. Valeurs maximales d'harmoniques acceptables :	6
II. Facteur de puissance :	6
1. Importance du facteur de puissance.....	7
2. Conséquence d'un mauvais facteur de puissance	7
III. Puissance déformante :.....	8
I. Filtre passif :	9
II. Filtre actif (ou compensateur actif) :.....	9
III. Filtre hybride :	10
I. Atténuation des harmoniques dans l'atelier APS :.....	13
Rang 5 :.....	13
Rang 7	14
II. Comparaison entre l'ancienne et la nouvelle valeur du facteur de puissance :	15
Conclusion générale.....	16
IV. Bibliographie.....	17

Liste des Figures

Figure 1 : Illustration des harmoniques (harmonique d'ordre 3, fondamental et onde déformée).....	2
Figure 2 : Addition des courants harmoniques de rang trois dans le neutre.....	5
Figure 3 : Valeurs maximales des taux d'harmoniques acceptables [4]	6
Figure 4 : Principe de fonctionnement d'un filtre passif [4]	9
Figure 5 : Principe de fonctionnement d'un filtre actif [4].....	10
Figure 6 : Principe d'utilisation d'un filtre hybride [4]	11
Figure 7 : Forme d'onde du courant sur les 3 phases suivie du THD en courant.....	12
Figure 8 : Taux de distorsion harmonique.....	12
Figure 9 : Filtre passif	13

Introduction Générale

Le système le plus répandu dans ce qui concerne l'alimentation en énergie électrique c'est le système alternatif, nous aurons donc comme alimentation en électricité un courant et une tension alternatifs qui sont de préférence de forme sinusoïdale, cependant, il existe des perturbations qui altèrent la forme de l'onde, la rendant ainsi non sinusoïdale comme par exemple les harmoniques, ces derniers injectent en effet des courants de fréquence multiple de celle du fondamental, la forme de l'onde se voit alors changée.

Les harmoniques sont dus aux charges non-linéaires et peuvent être très dangereux, pour les éliminer on utilise des filtres à harmoniques, d'autre part l'effet des harmoniques induit une puissance déformante qui change le facteur de puissance de l'installation, ainsi, en atténuant les harmoniques on améliore le facteur de puissance.

Nous verrons tout cela grâce à ce travail en définissant les harmoniques, le facteur de puissance et la puissance déformante dans le premier chapitre, nous verrons par la suite dans le deuxième chapitre les différents filtres pour atténuer les harmoniques, dans le troisième chapitre nous passerons à l'étude du cas d'un atelier de la cimenterie de Meftah SCMi pour voir le résultat que l'on obtient en utilisant un filtre à harmoniques.

I. Les harmoniques :

Tout signal se décompose en plusieurs composantes sinusoïdales, une avec la fréquence fondamentale du signal, les autres de fréquences multiples de sa fréquence fondamentale. Les déformations de l'onde de tension des réseaux, dont l'analyse spectrale révèle des fréquences multiples de la fréquence fondamentale f_0 sont appelés distorsions harmoniques. Les distorsions harmoniques sont souvent la résultante de perturbations issues d'appareils distincts et transmises par le réseau [1].

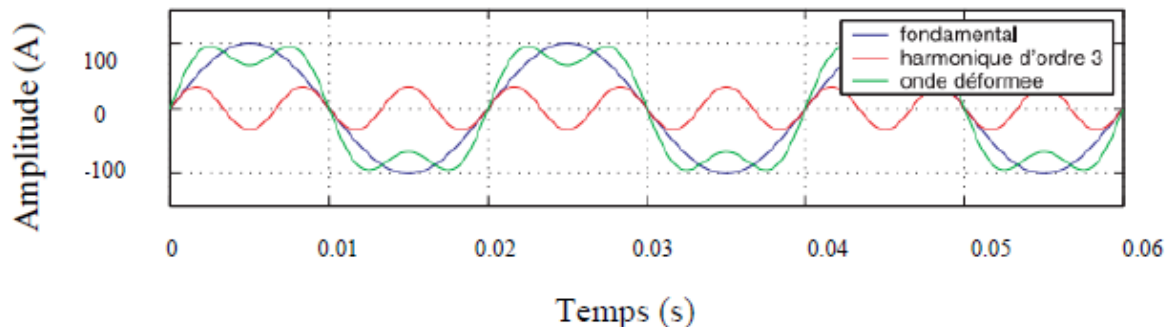


Figure 1 : Illustration des harmoniques (harmonique d'ordre 3, fondamentale et onde déformée)

Rang de l'harmonique :

Le rang d'une harmonique est défini comme :

$$n = \frac{f_n}{f_0}$$

Où f_n et f_0 désignent la fréquence de l'harmonique et la fréquence fondamentale respectivement, n est le rang de l'harmonique.

Taux individuel d'harmonique :

Il donne une mesure de l'importance de chaque harmonique par rapport au fondamental. Le taux individuel est donné par :

$$D_n = \frac{f_n}{f_0} * 100\%$$

Harmoniques et facteur de puissance

Où D_n est le taux d'harmonique individuel, et est donné en pourcent.

Taux de distorsion harmonique :

Le terme THD correspond à Total Harmonic Distortion (taux de distorsion harmonique global). Le taux de distorsion harmonique est une notion très utilisée pour définir l'importance du contenu harmonique d'un signal alternatif.

Pour un signal y , le taux de distorsion harmonique THD est défini par la formule :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} y_n^2}}{y_1}$$

Où y_1 est l'harmonique fondamental.

Selon la norme sur les harmoniques, « n » peut être généralement limité à 50. Le taux de distorsion harmonique est habituellement exprimé en pourcentage.

THD en courant :

Lorsqu'il s'agit d'harmoniques de courant, l'expression devient :

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

THD en tension :

Lorsqu'il s'agit d'harmoniques en tension, l'expression devient :

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1}$$

1. Les générateurs de grandeurs électriques harmoniques :

Les charges non-linéaires sont la principale cause des harmoniques. Les tensions/courants harmoniques sont produits en majorité par les charges domestiques et industrielles qui provoquent la plus grande proportion des courants harmoniques avec des niveaux de distorsion relativement élevés.

Harmoniques et facteur de puissance

Actuellement, les équipements à base d'interrupteurs constituent la principale source de ces harmoniques. Ces appareils sont assimilables à des générateurs de courants harmoniques: appareils d'éclairage fluorescent, variateurs de vitesse, redresseurs, téléviseurs, ordinateurs, etc [2].

Les convertisseurs statiques sur les réseaux triphasés :

On cite parmi les générateurs de courants harmoniques les ponts redresseurs et les convertisseurs statiques (diodes et thyristors). Ainsi, avec le pont de Graetz, le courant continu parfait débité, impose un courant alternatif non sinusoïdal, composé de créneaux lorsque la charge est fortement inductive, ou de pointes lorsque le pont de diodes est suivi d'un condensateur comme c'est souvent le cas. Malgré leur forme différente, les deux courants ont les mêmes composantes harmoniques caractéristiques.

Eclairage :

L'éclairage, par lampes à décharge et tubes fluorescents, est générateur de courants harmoniques. Le taux individuel d'harmonique 3 peut même dépasser 100 % pour certaines lampes fluo-compactes modernes.

Four à arc à courant alternatif :

L'arc étant non linéaire, dissymétrique et instable, va induire des spectres possédant des raies impaires et paires. Le niveau spectral est en fonction du type de four, de sa puissance, de la période de fonctionnement considérée.

Four à arc à courant continu :

L'arc est alors alimenté par l'intermédiaire d'un redresseur. L'arc est plus stable qu'en courant alternatif. Le courant absorbé se décompose en :

- un spectre semblable à celui d'un redresseur,
- un spectre continu de niveau inférieur à celui d'un four à courant alternatif.

Les inductances saturées :

De telles inductances ont leur impédance en fonction de l'amplitude du courant qui les traverse, et de fait elles provoquent des déformations notables de ce courant.

Les machines tournantes :

Les machines tournantes donnent des harmoniques de denture de rangs élevés et d'amplitudes souvent négligeables. Les petites machines synchrones sont toutefois, génératrices de tensions harmoniques de rang 3 [2].

2. Effets des harmoniques :

Les effets nuisibles des harmoniques sur les appareils sont instantanés ou à long terme.

Effets instantanés :

Ces effets concernent les défauts, les mauvais fonctionnements ou la diminution des performances subis par des dispositifs, dus au déplacement du passage par zéro de l'onde de tension. Les dispositifs de régulation, les appareils électroniques et les calculateurs y sont particulièrement sensibles.

De grandes amplitudes harmoniques peuvent provoquer un mauvais fonctionnement des récepteurs de télécommande centralisée et des relais de protection.

Effets à long terme :

Les effets à long terme sont essentiellement de nature thermique. Les pertes supplémentaires et les sur échauffements qui apparaissent dans les condensateurs, les machines tournantes, et les transformateurs peuvent diminuer la durée de vie de ces appareils et parfois même les endommager.

La plupart des effets gênants des harmoniques sont dus aux harmoniques de tension, mais les courants harmoniques peuvent également provoquer des effets directs on citera par exemple :

- La perturbation du réseau téléphonique.
- Surchauffe du neutre car dans un système à neutre, si les courants de phases s'annulent, les courants harmoniques eux ne le font pas. Ces courants qui sont les multiples impairs de la fréquence du courant de phase s'ajoutent au neutre. Cet effet est illustré sur la (Figure 2) [3]. Sur cette figure, les courants de phase sont introduits avec un déphasage de 120° .

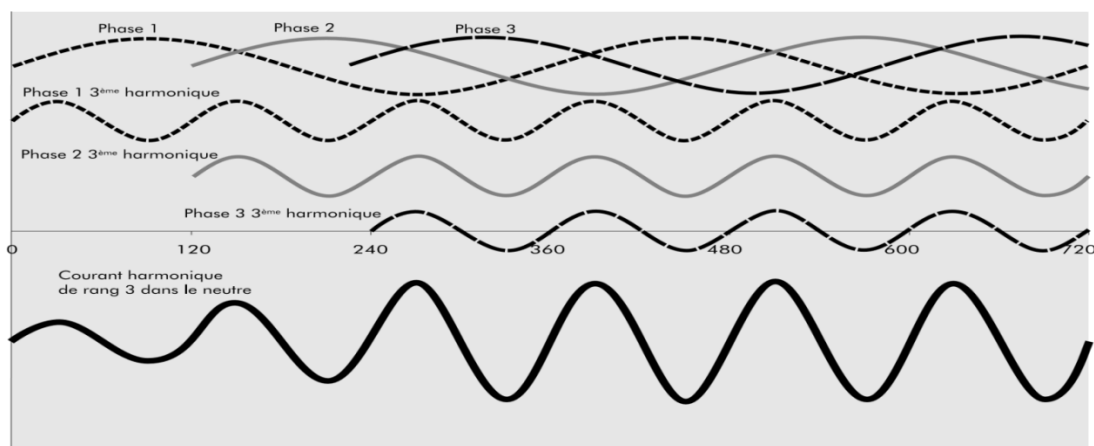


Figure 2 : Addition des courants harmoniques de rang trois dans le neutre

Harmoniques et facteur de puissance

Le courant dû aux harmoniques dans le neutre est montré dans le bas du diagramme. Dans ce cas 70 % de courant harmonique par phase produira 210 % de courant harmonique au niveau du neutre.

- Effets sur les transformateurs où l'on a augmentation des pertes par courants de Foucault qui augmentent en fonction du carré du rang des harmoniques ; [3]
- Déclenchement intempestif des coupes-circuits;

Surcharge des condensateurs utilisés pour l'amélioration du facteur de puissance.

3. Valeurs maximales d'harmoniques acceptables :

Des études internationales ont permis de rassembler des données dont l'analyse conduit à une estimation de valeurs typiques d'harmoniques pouvant être rencontrées dans les réseaux de fourniture d'énergie.

Le tableau suivant montre les niveaux qu'il est souhaitable ne pas dépasser en suivant les normes :

- Niveaux de compatibilité CEI 61000-2-2 pour les sources BT
- Niveaux de planification CEI 61000.3.6 pour les sources MT et HT :

Harmoniques impairs non multiples de 3				Harmoniques impairs multiples de 3				Harmoniques pairs			
Rang h	BT	MT	THT	Rang h	BT	MT	THT	Rang h	BT	MT	THT
5	6	5	2	3	5	4	2	2	2	1,6	1,5
7	5	4	2	9	1,5	1,2	1	4	1	1	1
11	3,5	3	1,5	15	0,3	0,3	0,3	6	0,5	0,5	0,5
13	3	2,5	1,5	21	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,4	0,4
17	2	1,6	1	> 21	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,4	0,4
19	1,5	1,2	1					12	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1,2	0,7					> 12	0,2	0,2	0,2
25	1,5	1,2	0,7								
> 25	0,2 + 1,3x(25/h)	0,2 + 0,5x(25/h)	0,2 + 0,5x(25/h)								

Figure 3 : Valeurs maximales des taux d'harmoniques acceptables [4]

II. Facteur de puissance :

Le facteur de puissance est le rapport entre la puissance active et la puissance apparente.

$$FP = \frac{P}{S}$$

Le FP est un terme qui décrit les caractéristiques des signaux en entrée d'un appareil électrique utilisant du courant alternatif.

Pour des grandeurs sinusoïdales le facteur de puissance est de même valeur que le $\cos \varphi$.

Harmoniques et facteur de puissance

1. Importance du facteur de puissance

Les récepteurs utilisés généralement en industrie sont de types résisto-inductifs, ils induisent un déphasage entre le courant I et la tension U faisant ainsi baisser le facteur de puissance.

Ces récepteurs sont dimensionné selon des conditions de fonctionnement, notamment le courant nominal, mais ce n'est qu'une partie de ce courant qui se transforme en énergie utile, la proportion de cette énergie est égale au facteur de puissance on remarque alors qu'on peut obtenir la même puissance active pour un courant apparent plus faible. En effet, un récepteur ayant un bon facteur de puissance permettra une meilleure exploitation des équipements qui l'alimentent, ce qui économise l'investissement dans une éventuelle extension de puissance rien qu'en améliorant le facteur de puissance.

2. Conséquence d'un mauvais facteur de puissance

Les conséquences d'un mauvais facteur de puissance sont :

- Pénalités financières due à la valeur du facteur de puissance
- Importante pertes en ligne
- Chutes de tensions
- Fort appel de puissance non justifié

Relation entre facteur de puissance et THD :

Quand la tension est sinusoïdale ou pratiquement sinusoïdale, la puissance P a pour valeur :

$$P \approx P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$$

D'où :

$$FP = \frac{P}{S} \approx \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1}{U_1 \cdot I_{eff}}$$

$$\frac{I_1}{I_{rms}} = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

Harmoniques et facteur de puissance

$$FP \approx \frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

III. Puissance déformante :

La puissance déformante est la puissance due aux charges déformantes, et qui altère la forme sinusoïdale du courant, celle-ci est due aux harmoniques et est donnée par la relation suivante :

$$D = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2)}$$

$$D = V \cdot \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}$$

I. Filtre passif :

Cette solution est recommandée pour les installations industrielles présentant :

- Installations industrielles avec un ensemble de générateurs d'harmoniques de puissance totale supérieure à 200kVA environ (variateurs de vitesse, alimentations sans interruptions, redresseurs...).
- Un besoin de compensation d'énergie réactive.
- Une nécessité de réduction du taux de distorsion en tension pour éviter la perturbation de récepteurs sensibles.
- Une nécessité de réduction du taux de distorsion en courant pour éviter les surcharges.

Cette solution se présente comme un circuit LC accordé sur chaque fréquence d'harmonique à filtrer, et placé en parallèle sur le générateur d'harmoniques (voir Figure 4).

Ce circuit de dérivation absorbe les harmoniques et évite que ceux-ci ne circulent dans l'alimentation. En général, le filtre passif est accordé sur un rang d'harmonique proche de l'harmonique à éliminer.

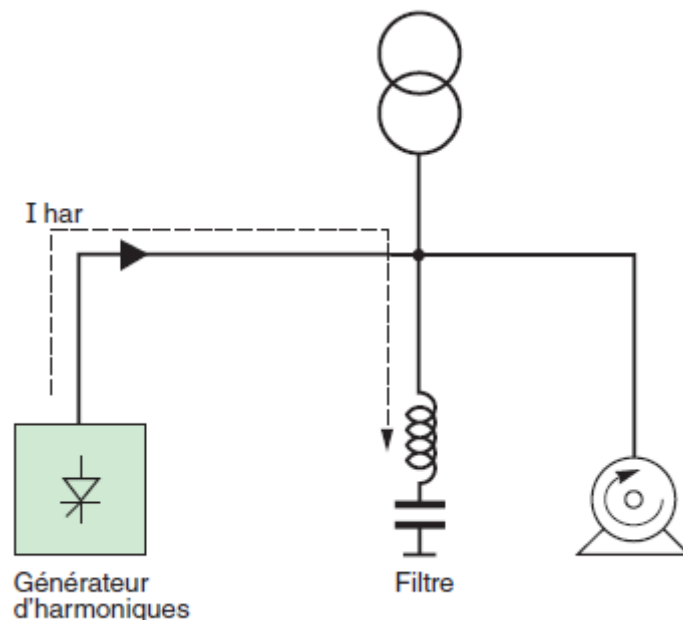


Figure 4 : Principe de fonctionnement d'un filtre passif [4]

II. Filtre actif (ou compensateur actif) :

Ce filtre est préconisé pour :

Solutions contre les harmoniques

- Une Installation tertiaire avec générateurs d'harmoniques de puissance totale inférieure à 200kVA (variateurs de vitesse, alimentations sans interruptions,...).
- Nécessité de réduction du taux de distorsion en courant pour éviter les surcharges.

Ce sont des systèmes électroniques de puissance installés en série ou en parallèle avec la charge non-linéaire, visant à compenser soit les tensions harmoniques, soit les courants harmoniques générés par la charge. La (Figure 5) donne un exemple de filtre actif parallèle compensant le courant harmonique ($I_{har} = -I_{act}$). Le filtre actif réinjecte en opposition de phase les harmoniques présents sur l'alimentation de la charge, de telle sorte que le courant de ligne i_s soit sinusoïdal.

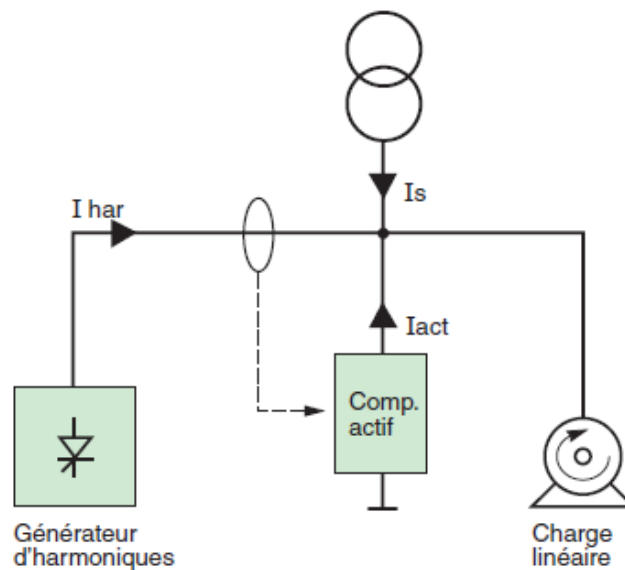


Figure 5 : Principe de fonctionnement d'un filtre actif [4]

III. Filtre hybride :

Applications typiques :

- Installations industrielles avec un ensemble de générateurs d'harmoniques de puissance totale supérieure à 200 kVA environ (variateurs de vitesse, alimentations sans interruptions, redresseurs...).
- Installation présentant un besoin de compensation d'énergie réactive.
- Nécessité de réduction du taux de distorsion en tension pour éviter la perturbation de récepteurs sensibles.
- Nécessité de réduction du taux de distorsion en courant pour éviter les surcharges.

Les deux types de dispositifs précédemment présentés peuvent être associés au sein d'un même équipement et constituer un filtre hybride (voir Figure 6). Cette nouvelle solution de

Solutions contre les harmoniques

filtrage permet de cumuler les avantages des solutions existantes et de couvrir un large domaine de puissance et de performances.

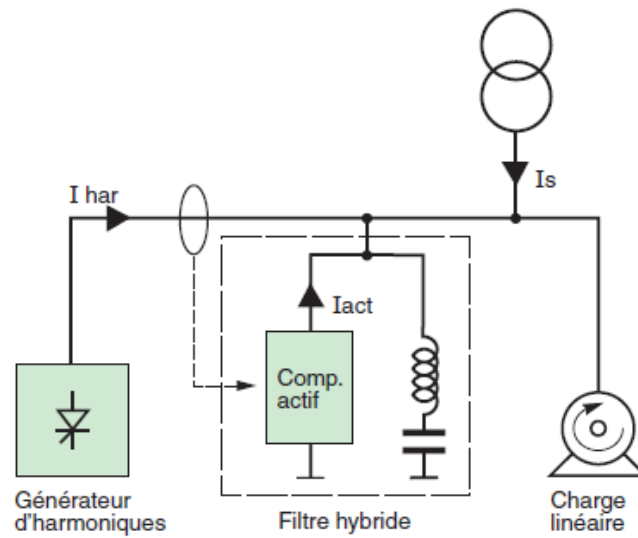


Figure 6 : Principe d'utilisation d'un filtre hybride [4]

Étude du cas d'un atelier de la cimenterie de Meftah

Pour réaliser l'étude nous allons prendre les données du stage de projet de fin d'études qui s'est déroulé dans la cimenterie de Meftah SCMi, nous prendrons donc le cas de l'atelier APS où l'on a détecté des harmoniques qui sont dus aux variateurs de vitesse qui s'y trouvent, nous avons effectué les mesures grâce à un analyseur de réseau, et nous avons eu comme résultats pour les harmoniques :

Forme d'onde du courant :

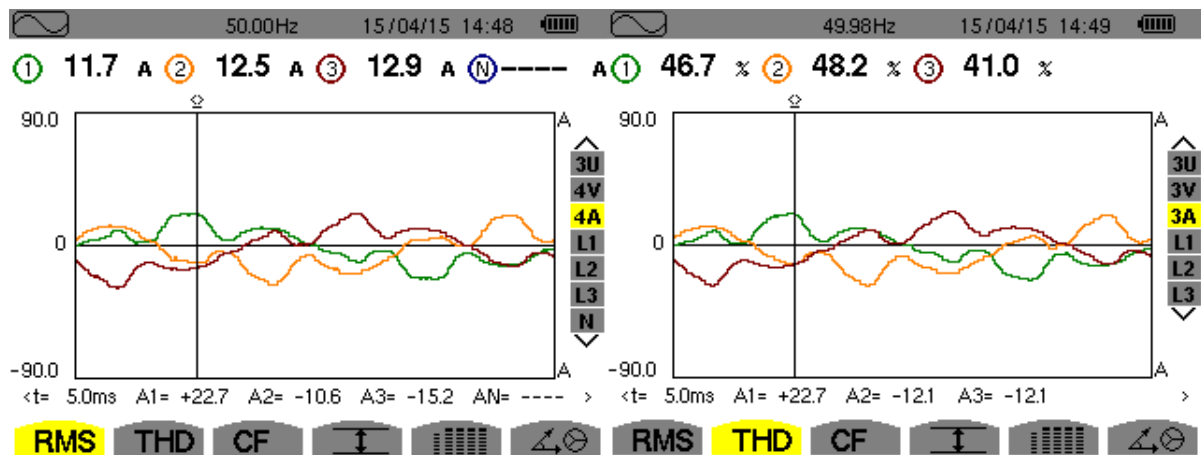


Figure 7 : Forme d'onde du courant sur les 3 phases suivie du THD en couran

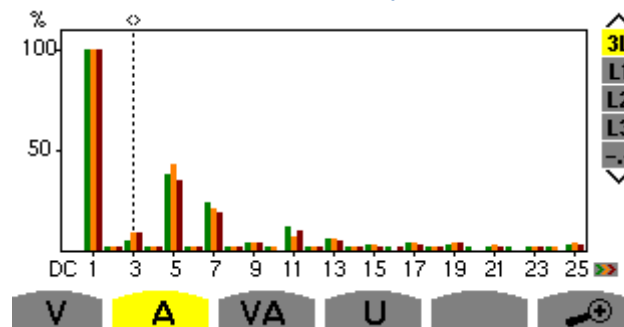


Figure 8 : Taux de distorsion harmonique

I. Atténuation des harmoniques dans l'atelier APS :

Nous remarquons alors que les harmoniques 5 et 7 sont très importants, nous choisissons alors de les atténuer à l'aide d'un filtre passif car l'atelier n'est pas très énergivore.

L'idée du filtre passif est de prendre un piège à harmonique qui consiste à prendre un filtre LC série qui possède une impédance nulle à la fréquence de résonance que l'on choisit alors à $5*50\text{Hz}$ pour l'harmonique de rang 5, et $7* 50 \text{ Hz}$ pour l'harmonique de rang 7.

L'impédance nulle du filtre à cette fréquence a pour effet de court-circuiter l'harmonique du courant :

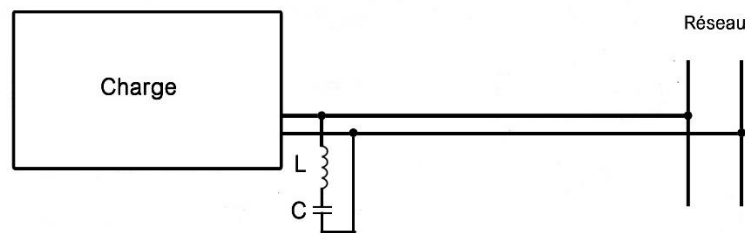


Figure 9 : Filtre passif

A la résonance nous avons :

$$jL\omega + \frac{1}{jC\omega} = 0$$

De cette équation on peut tirer :

$$L * C * \omega^2 = 1$$

Donc le dimensionnement de L et C diffère suivant le rang de l'harmonique que l'on veut atténuer, cependant nous devons éviter que l'impédance du filtre soit faible à 50 Hz.

Rang 5 :

$$L_5 * C_5 * \omega_5^2 = 1$$

Avec $\omega_5 = 5* \omega$ tel que $\omega = 50 \text{ Hz}$

De ce fait L_5 et C_5 doivent assurer la relation suivante :

$$L_5 * C_5 = \frac{1}{(5*\omega)^2} = \frac{1}{(250)^2} = 1,6 * 10^{-5}$$

Une infinité de valeurs est possible pour le choix de : L_5 et C_5 ,

L'impédance du filtre à 50 Hz est donnée par la relation :

$$Z = \left| \frac{L_5 C_5 \omega^2 - 1}{C_5 * \omega} \right|$$

Etude du cas d'un atelier de la cimenterie de Meftah

Donc la valeur de Z doit être « grande » à 50 Hz, ce qui signifie que la valeur de C doit être la plus petite possible.

Nous prenons donc : $C_5 = 1,1 \mu\text{F}$

Nous aurons donc : $L_5 = 14,5 \text{ H}$

Rang 7

A la résonance nous avons $L_7 * C_7 * \omega_7^2 = 1$

Avec $\omega_7 = 7 * \omega$ tel que $\omega = 50 \text{ Hz}$

De ce fait L_7, C_7 doivent assurer la relation suivante :

$$L_7 * C_7 = \frac{1}{(7*\omega)^2} = \frac{1}{(350)^2}$$

Une infinité de valeurs est possible pour le choix de L_7 et C_7 , l'impédance du filtre à 50 Hz est donnée par la relation :

$$Z = \left| \frac{L_7 C_7 \omega^2 - 1}{C_7 * \omega} \right|$$

Pour assurer Z élevée à 50 Hz (le filtre ne doit pas court-circuiter le courant fondamental) il devient nécessaire de prendre C_7 aussi faible que possible, nous pouvons choisir les valeurs suivantes :

Nous prenons donc : $C_7 = 1,1 \mu\text{F}$

Nous aurons donc : $L_7 = 7,42 \text{ H}$

Supposons maintenant que ce filtre puisse nous atténuer les harmoniques jusqu'aux valeurs proposées par les normes, nous obtenons ainsi :

		Anciennes valeurs	Nouvelles valeurs
		Phase	Phase
Rang 5	%	32,8	6
	I (A)	4,2	0,768
Rang 7	%	22,6	5
	I (A)	2,5	0,553

II. Comparaison entre l'ancienne et la nouvelle valeur du facteur de puissance :

Comme ancienne valeur du facteur de puissance, nous avons celle donnée par l'analyseur de réseau et qui est de :

$$FP = 0.541$$

Pour pouvoir calculer le nouveau facteur de puissance, on se doit de calculer la nouvelle puissance déformante :

$$D = V \cdot \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} = 220.3$$

Ce qui nous donne :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} = 8.402kVA$$

$$P=4.640kW$$

$$Q=7.002kVAr$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{4.640}{8.402} = 0.552$$

Nous avons alors augmenté la valeur du facteur de puissance de 0.541 à 0.552.

Conclusion Générale

Lors de ce travail nous nous sommes intéressés à l'impacte qu'a le filtre à harmoniques sur le facteur de puissance et nous en sommes sortis avec une conclusion très intéressante, car d'une part le filtre atténue les harmoniques, amoindrissant ainsi la puissance déformante qui dépend des harmoniques, et d'autre part augmente le facteur de puissance car celui-ci dépend de la puissance déformante. Le filtre à harmoniques agit donc directement sur le taux des harmoniques et indirectement sur le facteur de puissance en améliorant ce dernier.

Le choix du filtre passif s'est fait compte tenu du fait que l'atelier sur lequel l'étude a été réalisée n'est pas un grand consommateur d'énergie électrique, et donc, un filtre passif suffirait largement, cependant, un filtre passif a l'avantage de pouvoir compenser la puissance réactive grâce à la capacité qui le constitue.

Bibliographie

IV. Bibliographie

- [1] Ignatova, V. (2006). *Méthodes d'analyse de la qualité de l'énergie électrique. Application aux creux de tension et à la pollution harmonique*. Université JOSEPH FOURIER.
- [2] Schonek., C. C.-...-.. (1999). *Cahier technique n° 152 : Perturbations harmoniques dans les*. Schneider Electric.
- [3] Chapman., D. (2002). *Harmoniques, Causes et Effets*. Copper Development Association.
- [4] Schneider Electric, S. (2010). *Guide de l'installation électrique*. Schneider Electric.