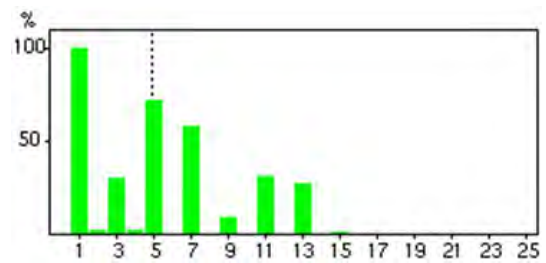


Pollution des réseaux



HB pour Melec

Table des matières



I - Pollution des réseaux	3
1. Étude de cas	3
2. Exercice : Déformation d'un signal.	4
3. Composition d'un signal	4
4. Les effets des harmoniques	5
5. Rang des harmoniques	5
6. Exercice : Identification d'un Rang	6
7. Le THD	6
8. Exercice : Lecture d'un THD	8
9. Que dit la norme ?	8
10. Pourquoi limiter ces courants harmoniques ?	9
11. Les remèdes	9
12. Et le facteur de puissance dans tous ça ?	10
13. Exercice : Application au choix d'une batterie de compensation	11
14. Exercice : Analyse d'un équipement	12
II - En résumé	13

Pollution des réseaux



Étude de cas	3
Exercice : Déformation d'un signal.	4
Composition d'un signal	4
Les effets des harmoniques	5
Rang des harmoniques	5
Exercice : Identification d'un Rang	6
Le THD	6
Exercice : Lecture d'un THD	8
Que dit la norme ?	8
Pourquoi limiter ces courants harmoniques ?	9
Les remèdes	9
Et le facteur de puissance dans tous ça ?	10
Exercice : Application au choix d'une batterie de compensation	11
Exercice : Analyse d'un équipement	12

L'énergie électrique principalement distribuée sous la forme d'un système triphasé sinusoïdal permet de fournir la puissance électrique nécessaire aux équipements et matériels de l'électrotechnique. C'est particulièrement l'aspect sinusoïdal de la tension d'origine qu'il est nécessaire de conserver, afin de lui préserver ses qualités essentielles pour la transmission de la puissance utile aux équipements terminaux.

Lorsque la forme de l'onde de tension n'est plus sinusoïdale, on rencontre alors des perturbations qui génèrent des dysfonctionnements et des échauffements des récepteurs et appareillages raccordés sur un même réseau d'alimentation électrique.

L'utilisation croissante des équipements informatiques et de l'électronique de puissance sur les réseaux électriques contribue à la dégradation de la tension d'alimentation

La norme EN 50160 définit l'ensemble des paramètres à contrôler afin de définir qualité de distribution d'un réseau électrique, notamment en ce qui concerne les perturbations électriques.

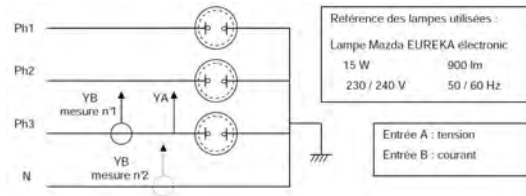
Ces charges dites déformantes *Charges déformantes*, ou encore appelées récepteurs non linéaires appellent sur le réseau électrique des courants déformés qui lorsqu'ils sont importants en amplitude, vont modifier l'allure de la tension sinusoïdale.

Cette tension réseau irrégulière a une influence directe sur les performances et le fonctionnement des équipements électriques

1. Étude de cas

L'étude portera sur la pollution du réseau engendrée par l'utilisation de lampes fluo-compactes.

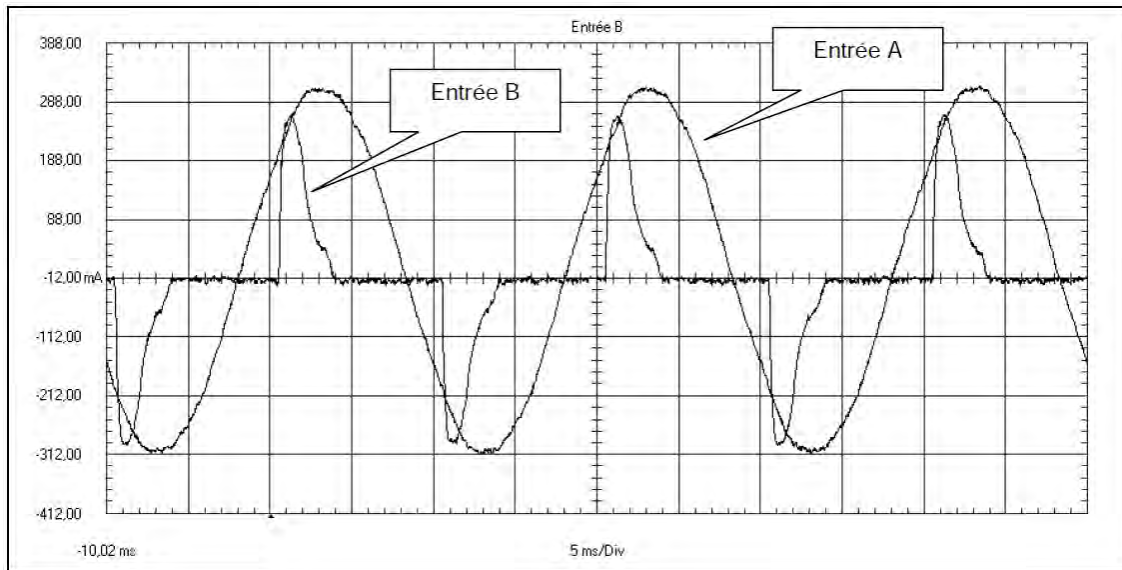
Afin d'étudier l'influence des lampes fluo-compactes sur le réseau, le montage suivant a été réalisé.



Montage réalisé

2. Exercice : Déformation d'un signal.

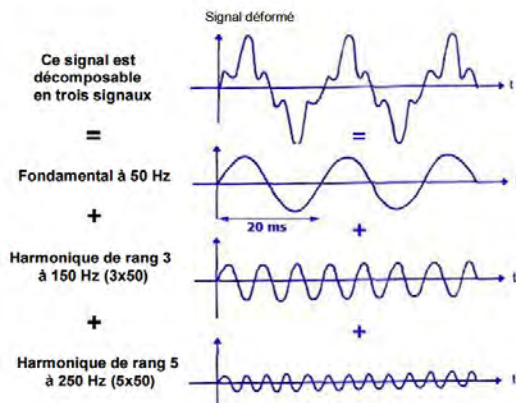
Le courant sur le relevé ci dessous est il alternatif sinusoïdal ?



Relevé de la tension aux bornes d'une lampe et du courant dans la phase correspondante

- OUI
- NON

3. Composition d'un signal



Décomposition d'un signal

On appelle la pollution harmonique la déformation subit par un signal sinusoïdale, mais que représente un harmonique.

Un physicien *Joseph Fourier*, a démontré qu'un signal non sinusoïdal peut être représenté sous la forme d'une somme de signaux de fréquence différentes (appelée harmonique de rang 3, 5, etc..)

4. Les effets des harmoniques

Principaux générateurs d'harmoniques: ce sont les démarreurs électroniques, les variateurs de vitesse et convertisseurs de fréquence, onduleurs, alimentations à découpage, lampes à décharge, ordinateurs, téléviseurs, etc ...

- Effets instantanés , ils créent des perturbations dans le fonctionnement des appareils de protection et de commutation.
- Effets à moyen et long terme: ils engendrent l'échauffement des matériels électriques, et causent un vieillissement prématuré de ceux-ci.

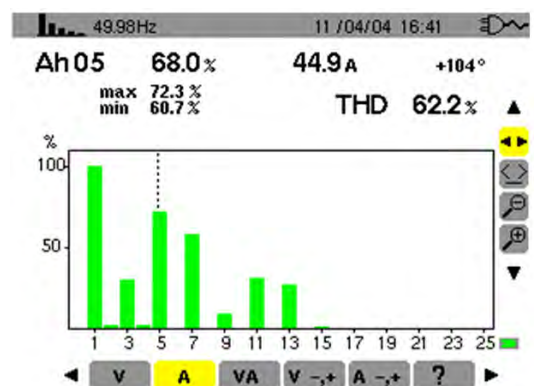
MATERIEL ELECTRIQUE	EFFETS DE LA POLLUTION HARMONIQUE
Machines tournantes (moteurs triphasés, alternateur)	Échauffements supplémentaires. Couples oscillatoires qui provoquent des vibrations et du bruit.
Transformateurs	Échauffements supplémentaires. Pertes dans le fer. Risque de saturation.
Câbles	Augmentation des pertes surtout dans le câble de neutre où s'ajoutent les harmoniques de rang 3.
Électronique de puissance	Troubles de fonctionnement.
Condensateurs	Vieillessement prématuré.
Dispositifs de protection (fusibles, disjoncteurs)	Déclenchement intempestif.
Compteurs d'énergie	Erreurs de mesure.
Téléviseurs	Déformation de l'image et du son.
Lampes à décharge	Risque de vieillissement prématuré.

Les courants harmoniques circulant à travers les impédances du système électrique provoquent des baisses de tension harmonique, observées sous forme de distorsion harmonique en tension.

5. Rang des harmoniques

Dans la pratique, on représente les harmoniques sous forme de "raies" appelés spectre, dont les dimensions sont proportionnelles aux amplitudes des harmoniques, comme le montre la figure ci-contre

La mesure du spectre se fait à l'aide d'un appareil réalisant la fonction "analyseur de spectre"



Spectre des harmoniques

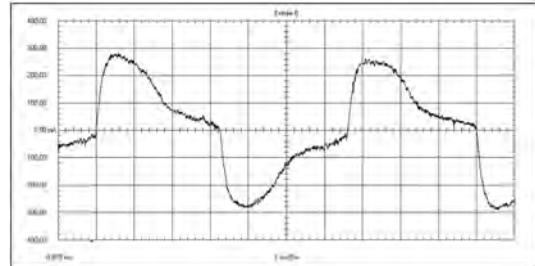
Les harmoniques de rang impair (3, 5, 7, 9 .. .) sont fréquemment rencontrés sur le réseau électrique.

Les harmoniques de rang pair (2, 4, 6, 8 ...), n'existent qu'en présence d'une composante continue. Ils sont souvent négligeables en milieu industriel.

Les harmoniques supérieurs au rang 25 sont dans une majorité des cas négligeables

6. Exercice : Identification d'un Rang

En vous aidant du relevé sur courant dans le neutre, calculer la fréquence du courant circulant dans celui-ci.



Relevé du courant dans le neutre

La fréquence dans circulant dans le neutre est de Hz « ne pas prendre en compte les chiffres après la virgules »

Précisez de quel rang d'harmoniques il s'agit -> Rang

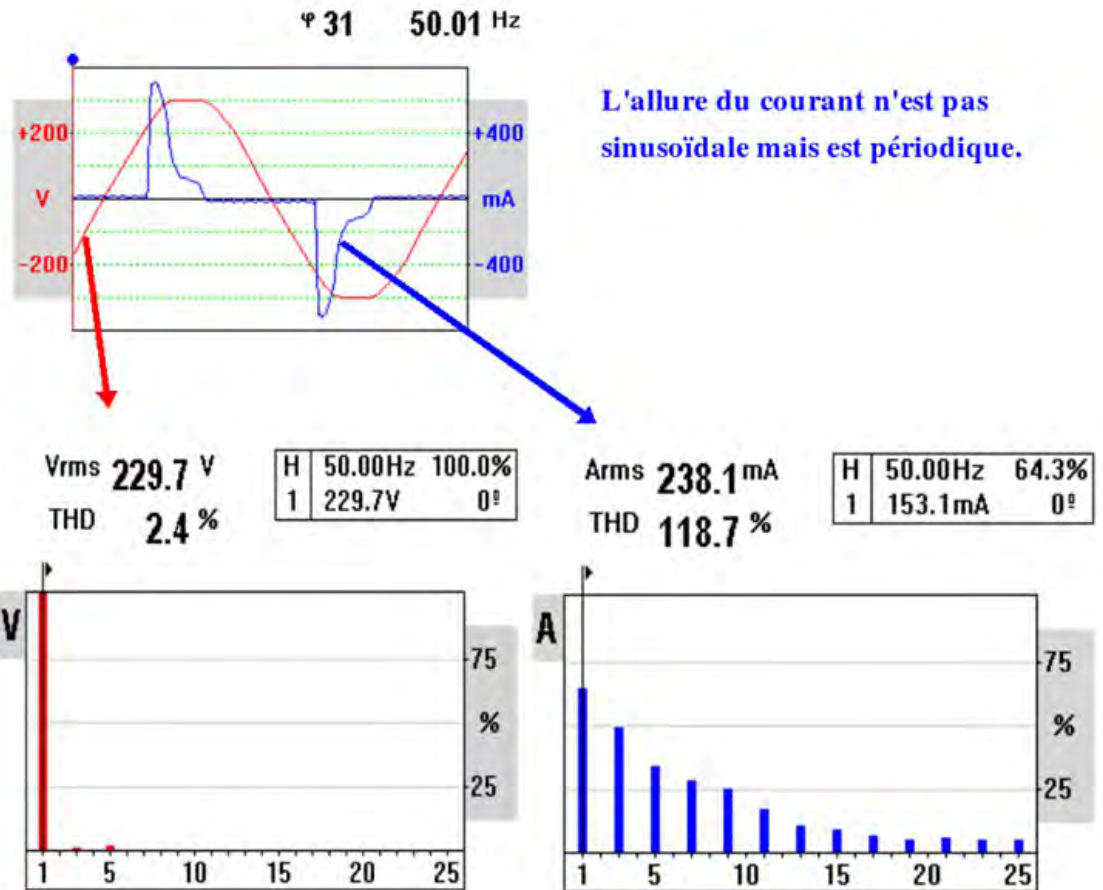
7. Le THD

L'une des solutions destinées à déceler la présence d'harmoniques est le calcul du THD, taux de distorsion harmonique.

Il en existe 2 sortes : en tension (apparaît à la source) ou en courant (dû aux charges).

Lorsque le THD est égal à zéro, on peut conclure qu'il n'y a pas d'harmoniques sur le réseau.

Ce taux de distorsion harmonique correspond au rapport entre la réelle valeur efficace de l'harmonique d'un signal (U ou I) et sa valeur efficace à la fréquence du fondamental.



Exemple de relevé de signaux effectués sur une lampe basse consommation d'énergie.

Analyse des captures d'écran ci-dessus,

- On relève un THD-V pour la tension de 2,4%. La tension est une sinusoïde presque parfaite (en rouge), les composantes harmoniques (h3, h5,..) sont négligeables
- Le THD-I pour le courant de 118,7%, L'allure du courant (en bleu) n'est pas sinusoidale, mais est périodique. Le courant est donc composé de courants harmoniques qui ici ne sont pas négligeables

Pour connaître la déformation globale d'un signal, il est nécessaire de tenir compte de tous les harmoniques présents, en général jusqu'au rang 30.

Les niveaux de THD sont souvent exprimés en pourcentage du niveau fondamentale. *Fondamentale*

Le spectre est un mode de représentation qui fournit l'amplitude de chaque harmonique en fonction de son rang et permet d'apprécier leur importance.

Dans le cadre de la fourniture d'électricité :

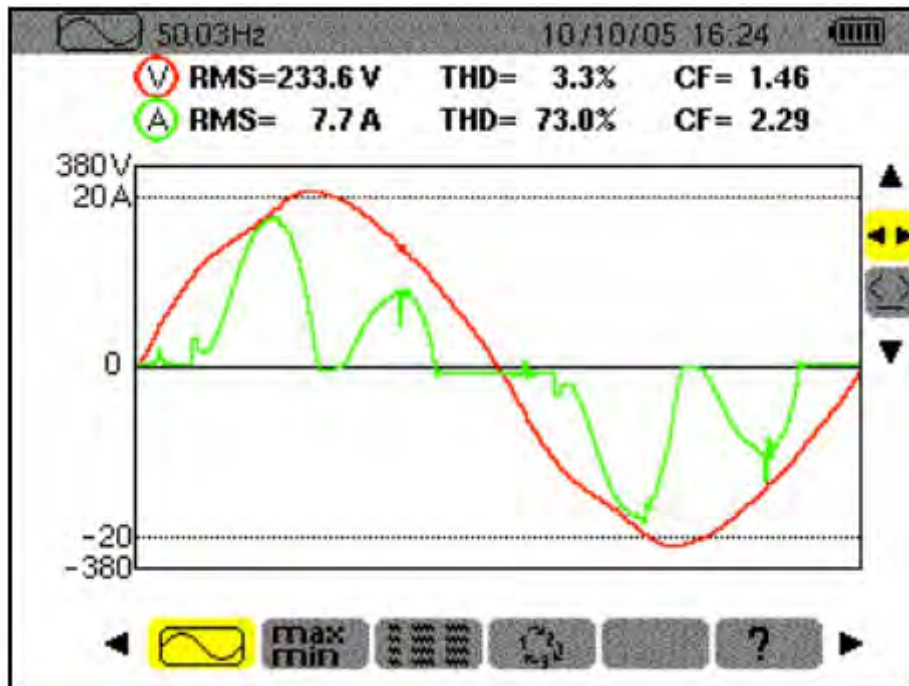
- Les taux de tension harmonique THD-V < 5%
- Les taux de courants harmoniques THD-I < 10%

Dans certains cas, le fournisseur d'énergie électrique peut imposer des niveaux maximaux de courants harmoniques générés par ses clients.

Remarque : Le fondamentale

La valeur de la fréquence de la tension ou du courant de rang 1 (h1) est appelé aussi terme fondamental

8. Exercice : Lecture d'un THD



Capture d'écran d'un relevé.

Sur la capture d'écran ci-dessus, relever :

Le THD_u pour la tension : %

Le THD_i pour le courant : %

9. Que dit la norme ?

Les harmoniques de courant ne peuvent pas être supprimés : c'est la charge qui les génère ! Il va donc falloir les confiner au plus près des charges polluantes pour éviter qu'elles ne remontent sur la totalité du réseau.

Les principales méthodes utilisées correspondent à la mise en place de système de filtrage ou d'isolement (transformateurs).

Cette méthode limitera la dégradation de l'énergie (déqualification de la tension de source) ainsi que leurs autres effets nocifs.

Une fois les harmoniques « maîtrisés », les pertes de puissance associées disparaissent. La totalité de la puissance fournie par le réseau est alors disponible pour les autres charges.

La puissance fournie par le réseau sera donc optimisée entraînant une réduction des coûts énergétiques.

La norme CEI 61000-3-2 (cf. [cei 61000-3-2.pdf](#)) traite de la limitation des courants harmoniques injectés dans le réseau public d'alimentation.

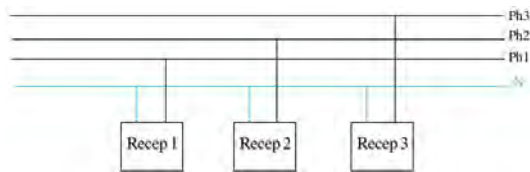
Elle définit les limites des harmoniques du courant d'entrée qui peuvent être produits par les matériels soumis à l'essai dans des conditions spécifiées.

Cette partie de la CEI 61000 est applicable aux appareils électriques et électroniques ayant un courant d'entrée dont la valeur est inférieure ou égale à 16 A par phase et qui sont destinés à être raccordés à des réseaux publics de distribution à basse tension.

Harmoniques de rang n mesurée			Courant harmonique maximal exprimé en pourcentage du courant fondamental d'entrée des luminaires (%)	
harmoniques impairs seulement	2	0%	2	OK
	3	49,5% (117,9mA)	30xFP=30x0,866 soit 26%	Non
	5	34,2% (81,4mA)	10	Non
	7	28,4% (67,6mA)	7	Non
	9	25,1% (59,8mA)	5	Non
	11 < n < 39	h11 17,5% (41,7mA) h13 10,6% (25,2mA) h15 8,9% (21,2mA) h17 6,6% (15,7mA) h19 4,8% (11,4mA) h21 5,8% (13,8mA) h23 5,5% (13,1mA) h25 5% (11,9mA)	3	Non

Limites des courants harmoniques pour les luminaires d'après la norme NF EN61000-3-2

10. Pourquoi limiter ces courants harmoniques ?



Lors de la distribution d'énergie en triphasé nous avons le schéma ci-contre :

Si chacun des récepteurs Recept1, Recept2, et Recept3 génèrent individuellement des courants harmoniques, il est aisé de voir que le conducteur neutre sera parcouru par la somme des harmoniques.

Le neutre peut alors subir de fortes surcharges, qui sont parfois à l'origine d'incendies dans les bâtiments

De plus, lorsque les courants harmoniques sont présents, on observe les échauffements importants dans les transformateurs de distribution.

11. Les remèdes

Compte tenu des risques que fait encourir la pollution harmonique aux installations électriques, il convient d'éliminer les courants harmoniques générés, à l'aide de filtres.

Filtres passifs :

Les filtres passifs sont accordés sur la fréquence à éliminer ou peuvent atténuer une plage de fréquences



Filtre harmonique passifs

Filtres actifs/compensateurs actifs



d'harmoniques :

Les filtres actifs, ou compensateurs actifs d'harmoniques, annulent les harmoniques en injectant des courants harmoniques exactement égaux là où elles surviennent.

Ce type de filtre réagit en temps réel aux harmoniques existantes pour les éliminer.

Ils sont plus souples et efficaces que les filtres passifs

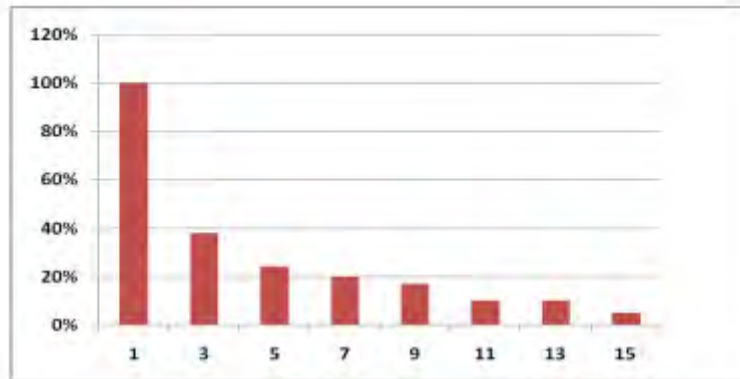


Figure 1: SPECTRE HARMONIQUE AVANT LE FILTRE ACTIF MERUS

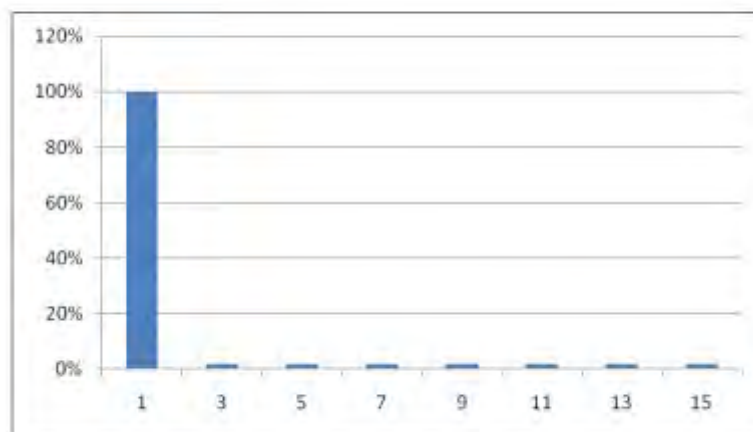


Figure 2: SPECTRE HARMONIQUE APRES FILTRE ACTIF MERUS

Spectres sans et avec filtre

12. Et le facteur de puissance dans tous ça ?

Facteur de Puissance

Dans un milieu où il n'y a que des charges linéaires, le Facteur de Puissance est tout simplement le Cosinus de l'angle de phase entre la Tension et le Courant à la fréquence 50HZ soit le $\cos \varphi$.

En présence de charges non linéaires, le $\cos \varphi$ n'est plus applicable, on parlera du FACTEUR DE PUISSANCE

- Dans un milieu non harmonique : $FP = \cos \varphi$
- Dans un milieu harmonique : $FP < \cos \varphi$

Remarque

- Pour améliorer le $\cos \varphi$, il faut injecter du courant réactif à partir des batteries de condensateurs.
- Pour améliorer le TPF (Facteur de puissance), il faut réduire le facteur de distorsion en réduisant la magnitude du courant harmonique par : le traitement des harmoniques.

13. Exercice : Application au choix d'une batterie de compensation

Le taux de distorsion en courant harmonique THD(I) au niveau du TGBT P4 est de 15,4 % pour une charge de 650 KVA au moment de la mesure. Tout en sachant que la puissance réactive compensée est de 50 kvar.

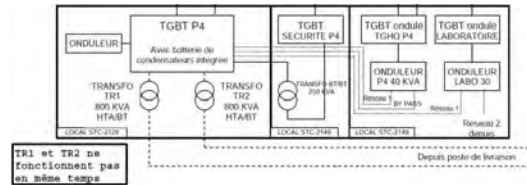


Schéma d'alimentation

Exercice

Choisir le type d'équipement de compensation adapté au niveau dépollution harmonique du réseau.

La pollution est due essentiellement à l'éclairage et aux centrales de traitement d'air.

Les équipements de compensation peuvent être de trois types, adaptés au niveau de pollution harmonique du réseau.

Le choix peut se faire :

- soit à partir du rapport G_h/S_n
- soit à partir du taux de distorsion en courant harmonique THD (i) mesuré :

$THD(1) \times \frac{S}{S_n} < 5\% \rightarrow$ **Équipement Classic**

$5\% < THD(1) \times \frac{S}{S_n} < 10\% \rightarrow$ **Équipement Comfort**

$10\% < THD(1) \times \frac{S}{S_n} < 20\% \rightarrow$ **Équipement Harmony**

S_n = puissance apparente du transformateur.

S = charge en kVA au secondaire du transformateur au moment de la mesure

- Équipement CLASSIC
- Équipement Comfort
- Équipement Harmony

Exercice

L'analyse harmonique jusqu'au rang 15 du courant dans une phase a donné les résultats suivants :

Remarque : les harmoniques de rang pair sont négligeables.

I_1	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	I_{15}
100 %	2,8 %	12,4 %	6,8 %	4,4 %	1,2 %	2,4 %	0,4%

Relever les rangs des 2 principaux courants harmoniques. Préciser la fréquence de ces harmoniques.

Rang Fréquence Hz

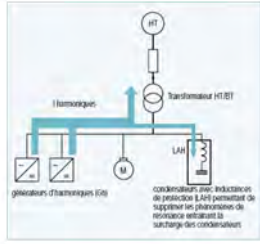
Rang Fréquence Hz

Exercice

But : réaliser l'accord du circuit LAH à une fréquence pauvre en harmonique pour supprimer les risques de forts courants harmoniques dans les condensateurs.

Moyen : montage en série avec le condensateur d'une inductance dite anti-harmonique (LAH).

- Fréquences typiques d'accord :
- 135 Hz rang 2.7 si 1er rang significatif est 3
 - 190 Hz rang 3.8 (BT) si 1er rang significatif est 5 en BT
 - 215 Hz rang 4.3 si 1er rang significatif est 5 en HT.



Choisir la fréquence d'accord des selfs anti-harmoniques.

Choix de la fréquence d'accord des selfs antiharmoniques

Fréquence d'accord : [] Hz

Exercice

En déduire la référence d'un module de compensation sans jeu de barres qui convient pour cette installation.

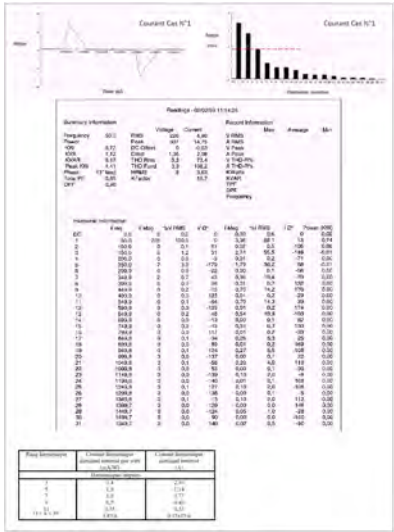
Documentation ressource (cf. Dr_Compensation.pdf)

Puissance réactive compensée par module : [] kvar

Référence : []

14. Exercice : Analyse d'un équipement

L'objectif est de déterminé d'après des relevés si un équipement de classe D est conforme en terme d'harmoniques
Extrait de la NF En 61000-3-2 (cf. Extr_En 61000.pdf)



Exercice


Cette équipement est il conforme au vu de la norme NF En 61000-3-2 ?

- Conforme
- Non conforme



En résumé



 *Complément : Pour aller plus loin*

 *Conseil*

Vous pouvez si vous le souhaitez répondre au QCM ci-dessous afin d'évaluer les connaissances que vous venez d'acquérir

Merci à l'auteur