

Chapitre M

Détection et atténuation des harmoniques

Sommaire

1	Pourquoi détecter les harmoniques et les combattre ?	M2
	1.1 Les perturbations dues aux harmoniques	M2
	1.2 Un impact économique important	M2
	1.3 Quelques exemples	M3
	1.4 Des conséquences de plus en plus importantes	M3
	1.5 En pratique, quels harmoniques mesurer et combattre ?	M3
2	Les normes	M4
3	Les généralités	M5
4	Les principaux effets des harmoniques dans les installations	M7
	4.1 Phénomène de résonance	M7
	4.2 Augmentation des pertes	M7
	4.3 Surcharge des matériels	M8
	4.4 Perturbations des charges sensibles	M10
5	Les indicateurs essentiels de la distorsion harmonique et les principes de mesure	
	5.1 Facteur de puissance	M11
	5.2 Facteur de crête	M11
	5.3 Puissances et harmoniques	M11
	5.4 Spectre en fréquence et taux d'harmonique	M12
	5.5 Taux de distorsion harmonique (THD)	M12
	5.6 Intérêt de chacun des indicateurs	M13
6	La mesure des indicateurs	M14
	6.1 Quels appareils pour mesurer ces indicateurs ?	M14
	6.2 Procédures pour l'analyse harmonique du réseau	M14
	6.3 Anticiper la lutte contre les harmoniques	M15
7	Les dispositifs de détection	M16
8	Les solutions pour atténuer les harmoniques	M17
	8.1 Solutions de base	M17
	8.2 Filtrage des harmoniques	M18
	8.3 L'expertise	M20
	8.4 Les produits spécifiques	M20

Nota :

Les spécificités des normes et réglementations françaises sont présentées sur un fond gris.

1 Pourquoi détecter les harmoniques et les combattre ?

1.1 Les perturbations dues aux harmoniques

Les harmoniques circulant dans les réseaux détériorent la qualité de l'énergie, et sont ainsi à l'origine de nombreuses nuisances :

- surcharge des réseaux de distribution par l'augmentation du courant actif/efficace,
- surcharge des conducteurs de neutre en raison de la sommation des harmoniques de rang 3 créés par les charges monophasées,
- surcharge, vibrations et vieillissement des alternateurs, transformateurs, moteurs, ronflement des transformateurs,
- surcharge et vieillissement des condensateurs de compensation d'énergie réactive,
- déformation de la tension d'alimentation pouvant perturber des récepteurs sensibles,
- perturbation des réseaux de communication ou des lignes téléphoniques.

1.2 Un impact économique important

Pertes énergétiques

Les courants harmoniques provoquent dans les conducteurs et équipements des pertes supplémentaires par effet Joule.

Surcoût d'abonnement

La présence de courants harmoniques nécessite d'augmenter le niveau de puissance souscrite, et le coût de l'abonnement.

De plus, les distributeurs d'énergie auront de plus en plus tendance à pénaliser les producteurs d'harmoniques.

Surdimensionnement des matériels

- Le déclassement des sources d'énergie (générateurs, transformateurs et onduleurs) nécessite leur surdimensionnement.
- Les conducteurs doivent être dimensionnés de façon à permettre la circulation des courants harmoniques. Comme les fréquences de ces harmoniques sont plus élevées que celle du fondamental, les impédances inductives vues par ces courants sont plus élevées ; pour éviter des pertes par effet Joule trop importantes, il est nécessaire de surdimensionner les conducteurs.
- La circulation de courants harmoniques dans le conducteur de neutre nécessite son surdimensionnement.

Réduction de la durée de vie des matériels

Lorsque la tension d'alimentation présente un taux de distorsion voisin de 10 %, la durée de vie des appareils est réduite de manière sensible ; estimée à :

- 30 % pour les machines monophasées,
- 15 % pour les machines triphasées,
- 5 % pour les transformateurs.

Conserver la durée de vie correspondant à la charge nominale implique de surdimensionner ces appareils.

Déclenchements intempestifs et arrêts d'installation

Les disjoncteurs d'une installation sont soumis à des pointes de courant dues aux harmoniques. Ces pointes de courants peuvent provoquer des déclenchements intempestifs, et induire des pertes de production ainsi que des coûts liés au temps de remise en marche de l'installation.

1 Pourquoi détecter les harmoniques et les combattre ?

1.3 Quelques exemples

Comme le montrent les exemples cités ci-dessous, ce sont les conséquences économiques de la présence des harmoniques qui ont conduit à la mise en œuvre de filtres d'harmoniques.

Centre de calcul d'une compagnie d'assurances

Dans ce centre de calcul, le déclenchement intempestif d'un disjoncteur occasionnait une perte estimée à 100 000 euros par heure de coupure.

Laboratoire pharmaceutique

Les harmoniques ont provoqué la défaillance d'un groupe électrogène, et l'interruption d'une phase de test de longue durée sur un nouveau médicament ; la conséquence est une perte estimée à 17 millions d'euros.

Usine métallurgique

Des fours à induction ont provoqué la surcharge et la destruction de trois transformateurs de 1500 et 2500 kVA en un an et des coûts d'arrêts de production estimés à 20 000 euros par heure.

Fabrication de meubles de jardin

La défaillance de plusieurs variateurs a provoqué des arrêts de production chiffrés à 10 000 euros par heure.

1.4 Des conséquences de plus en plus importantes

Le phénomène des harmoniques était encore peu considéré il y a seulement dix ans, car leurs effets sur les réseaux étaient généralement peu importants. Mais l'arrivée en force de l'électronique de puissance dans les récepteurs a amplifié fortement le phénomène dans tous les secteurs d'activité.

Les harmoniques sont d'autant plus difficiles à combattre que les équipements vitaux pour l'entreprise sont souvent les responsables de la génération des perturbations.

1.5 En pratique, quels harmoniques mesurer et combattre ?

Les harmoniques les plus fréquemment rencontrés dans le cas des réseaux triphasés sont les harmoniques de rangs impairs. L'amplitude des harmoniques décroît normalement avec la fréquence. Au-delà du rang 50, les courants harmoniques sont négligeables et leur mesure n'est plus significative. Ainsi, une bonne précision de mesure est obtenue en considérant les harmoniques jusqu'au rang 30. Les distributeurs d'énergie surveillent les harmoniques de rangs 3, 5, 7, 11 et 13.

Pratiquement, la compensation des harmoniques des rangs les plus bas (jusqu'au rang 13) est généralement suffisante. Une bonne compensation prendra également en compte les harmoniques jusqu'au rang 25.

M3

Les émissions harmoniques sont soumises à différentes dispositions normatives et réglementaires :

- normes de compatibilité adaptées aux réseaux,
- normes d'émission applicables aux produits générateurs d'harmoniques,
- recommandations des distributeurs d'énergie applicables aux installations.

Afin d'atténuer rapidement les effets de la pollution harmonique, un triple dispositif normatif et réglementaire est actuellement en vigueur, et se retrouve dans les éléments suivants.

Normes de compatibilité entre réseaux électriques et produits

Ces normes donnent des directives pour la compatibilité entre les réseaux électriques et les produits :

- les harmoniques générés par un appareil ne doivent pas perturber le réseau au-delà de niveaux spécifiés ;
- chaque appareil doit pouvoir fonctionner normalement en présence des perturbations égales aux niveaux spécifiés par les normes :
 - CEI 61000-2-2 pour les réseaux publics à basse tension,
 - CEI 61000-2-4 pour les installations industrielles à basse tension et moyenne tension.

Normes de qualité des réseaux

- La norme EN 50160 précise les caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics basse tension et moyenne tension.
- IEEE 519 est une approche conjointe entre le distributeur d'énergie et le client pour limiter l'impact des charges non-linéaires. Par ailleurs, les distributeurs d'énergie encouragent les actions de prévention afin de réduire les dégradations de la qualité de l'électricité, les échauffements et les altérations du facteur de puissance. Ils réfléchissent de plus en plus à la possibilité de taxer les clients pollueurs.

Norme d'installation

La norme NF C 15-100 prend en compte les courants harmoniques, notamment pour le calcul de la section des conducteurs et en particulier du conducteur de neutre (§ 523.5.2 et 524.3).

Normes d'appareillage

- CEI 61000-3-2 ou EN 61000-3-2 pour les appareils basse tension raccordés au réseau public absorbant un courant inférieur ou égal à 16 A.
- CEI 61000-3-12 ou EN 61000-3-12 pour les appareils absorbant un courant supérieur à 16 A et inférieur ou égal à 75 A.

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.

La **Figure M1** reflète l'opinion d'un bon nombre de distributeurs sur les niveaux qu'il est souhaitable de ne pas dépasser.

M4

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)								

Sources BT : Niveaux de compatibilité CEI 61000-2-2.

Sources MT et HT : Niveaux de planification CEI 61000.3.6

Fig. M1 : Valeurs maximales des taux d'harmoniques acceptables

3 Les généralités

La présence d'harmoniques est synonyme d'une onde de tension ou de courant déformée. La déformation de l'onde de tension ou de courant signifie que la distribution de l'énergie électrique est perturbée et que la qualité de l'énergie n'est pas optimale.

Les courants harmoniques sont générés par les charges non-linéaires connectées au réseau. La circulation des courants harmoniques crée des tensions harmoniques à travers les impédances du réseau, et donc une déformation de la tension d'alimentation.

Origine des harmoniques

Les dispositifs générateurs d'harmoniques sont présents dans tous les secteurs industriels, tertiaires et domestiques. Les harmoniques sont le fait d'une charge non-linéaire (le courant qu'elle absorbe n'a pas la même forme que la tension qui l'alimente).

Exemples de charges non-linéaires :

- Les équipements industriels (machines à souder, fours à arc, fours à induction, redresseurs).
- Les variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones ou moteurs à courant continu.
- Les onduleurs.
- Les appareils de bureautique (ordinateurs, photocopieurs, fax, etc.).
- Les appareils domestiques (TV, fours micro-ondes, éclairage néon...).
- Certains équipements avec saturation magnétique (transformateurs).

Perturbations induites par les charges non-linéaires : courant et tension harmoniques

L'alimentation de charges non-linéaires génère des courants harmoniques, circulant dans le réseau. La tension harmonique est due à la circulation du courant harmonique dans les impédances des circuits d'alimentation (ensemble transformateur et réseau, dans le cas de la **Figure M2**).

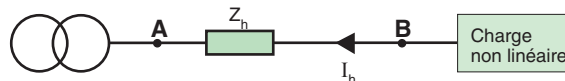


Fig. M2 : Schéma unifilaire représentant l'impédance du circuit d'alimentation vue par l'harmonique de rang h

L'impédance inductive d'un conducteur augmente en fonction de la fréquence du courant qui le parcourt. A chaque courant harmonique de rang h correspond donc une impédance de circuit d'alimentation Z_h .

Le courant harmonique de rang h va créer à travers l'impédance Z_h une tension harmonique U_h , avec $U_h = Z_h \times I_h$, par simple application de la loi d'Ohm. La tension en B est donc déformée. Tout appareil alimenté à partir du point B recevra alors une tension perturbée.

Cette déformation sera d'autant plus forte que les impédances du réseau sont importantes, pour un courant harmonique donné.

Circulation des courants harmoniques dans les réseaux

Tout se passe comme si les charges non-linéaires réinjectaient un courant harmonique dans le réseau en direction de la source.

Les **Figures M3** et **M4** page suivante présentent la vue d'une installation polluée par les harmoniques considérant tout d'abord l'installation parcourue par le courant de fréquence 50 Hz (voir Fig. M3), auquel se superpose l'installation parcourue par le courant harmonique de rang h (voir Fig. M4).

M5

3 Les généralités

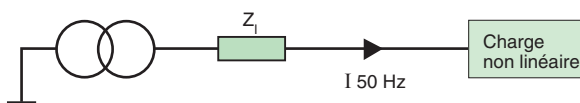


Fig. M3 : Schéma d'une installation alimentant une charge non-linéaire, pour laquelle seuls les phénomènes liés à la fréquence 50 Hz (fréquence fondamentale) sont pris en considération

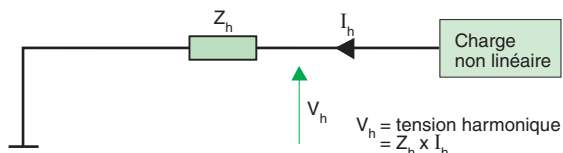
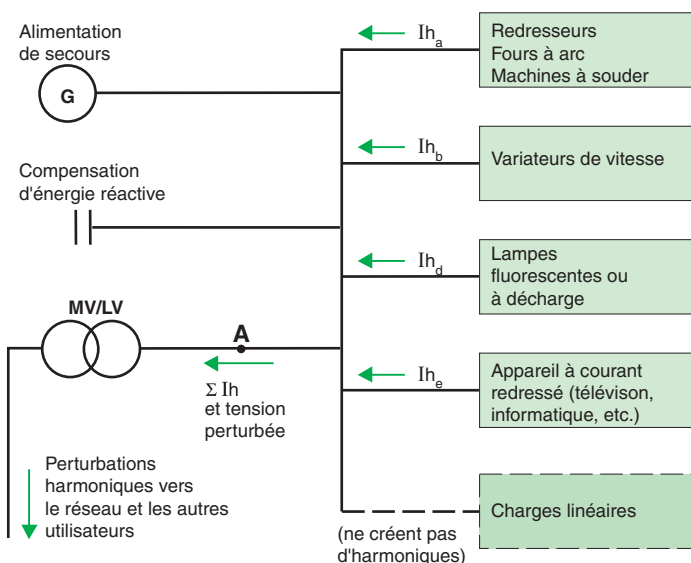


Fig. M4 : Schéma de la même installation, pour laquelle seuls les phénomènes liés à la fréquence de l'harmonique de rang h sont pris en compte

L'alimentation de cette charge non-linéaire génère dans le réseau la circulation du courant I_{50Hz} (représenté sur la Fig. M3), auquel s'ajoute chacun des courants harmoniques I_h (représenté sur la Fig. M4) correspondant à chaque harmonique de rang h.

Considérant toujours le modèle des charges réinjectant un courant harmonique dans le réseau, la **Figure M5** représente la circulation des courants harmoniques dans un réseau.



A remarquer sur cette figure que si certaines charges créent dans le réseau des courants harmoniques, d'autres charges peuvent absorber ces courants.

Fig. M5 : Circulation des courants harmoniques dans un réseau

Les harmoniques ont un impact économique important dans les installations :

- augmentation des dépenses énergétiques,
- vieillissement des matériels,
- pertes de production.

4 Les principaux effets des harmoniques dans les installations

4.1 Phénomène de résonance

L'association sur les réseaux d'éléments capacitifs et inductifs entraîne l'apparition de phénomènes de résonance. Ceux-ci se manifestent par des valeurs extrêmement élevées ou extrêmement faibles des impédances. Ces variations d'impédance vont modifier les courants et tensions présents sur le réseau.

Dans ce paragraphe, seuls sont abordés les phénomènes de type résonance parallèle, les plus fréquents.

Considérons le schéma simplifié suivant (voir **Fig. M6**), représentant une installation comprenant :

- un transformateur d'alimentation,
- des charges linéaires,
- des charges non-linéaires génératrices de courants harmoniques,
- des condensateurs de compensation.

Pour une analyse harmonique, le schéma équivalent est le suivant (voir **Fig. M7**) : L'impédance Z vaut :

$$Z = \frac{jLs\omega}{1 - LsC\omega^2}$$

en négligeant R , où

Ls = Inductance de l'alimentation (réseau + transformateur + ligne)

C = Capacité des condensateurs de compensation

R = Résistance des charges linéaires

Ih = Courant harmonique de rang h

Il y a résonance lorsque le dénominateur $1 - LsC\omega^2$ tend vers zéro. La fréquence correspondante est alors appelée fréquence de résonance du circuit. A cette fréquence, l'impédance aura sa valeur maximale. Il y a donc une apparition de tensions harmoniques importantes et donc une forte distorsion de tension. Ces distorsions de tensions s'accompagnent de circulations de courants harmoniques dans le circuit $Ls + C$ supérieurs aux courants harmoniques injectés.

Le réseau d'alimentation ainsi que les condensateurs de compensation sont soumis à des courants harmoniques importants et donc à des risques de surcharge. Pour éviter le phénomène de résonance, la solution consiste à ajouter des bobines anti-harmoniques en série avec les condensateurs.

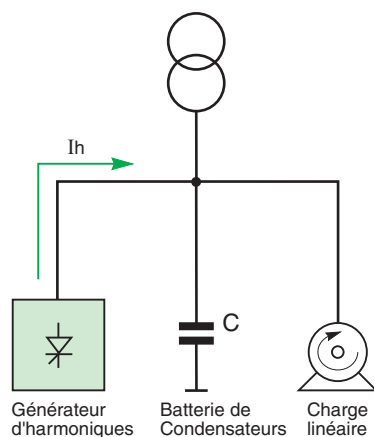


Fig. M6 : Schéma réel d'une installation

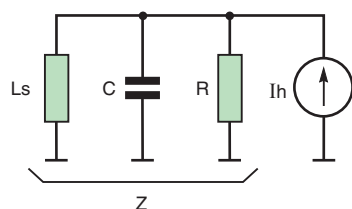


Fig. M7 : Schéma équivalent de l'installation L6

4.2 Augmentation des pertes

Pertes dans les conducteurs

La puissance active transmise à une charge est fonction du courant fondamental. Lorsque le courant absorbé par la charge contient des harmoniques, la valeur efficace de ce courant, I_{eff} , est supérieure au fondamental $I1$.

La définition du THD donne :

$$THD = \sqrt{\left(\frac{I_{eff}}{I1}\right)^2} - 1$$

$$\text{d'où : } I_{eff} = I1 \sqrt{1 + THD^2}$$

Sur la **Figure M8** ont été représentés, en fonction du taux de distorsion harmonique :

- l'accroissement du courant efficace I_{eff} pour une charge absorbant un courant fondamental donné,

- l'accroissement des pertes Joule PJ , sans tenir compte de l'effet de peau (Sur le graphique, la référence 1 pour I_{eff} et PJ correspond à l'absence d'harmonique).

Les courants harmoniques provoquent donc une augmentation des pertes Joule dans tous les conducteurs qu'ils parcourent et un échauffement supplémentaire dans les transformateurs, appareillages, câbles...

Pertes dans les machines asynchrones

Les tensions harmoniques de rang h appliquées aux machines asynchrones provoquent la circulation dans le rotor de courants de fréquences supérieures à 50 Hz, responsables de pertes supplémentaires.

M7

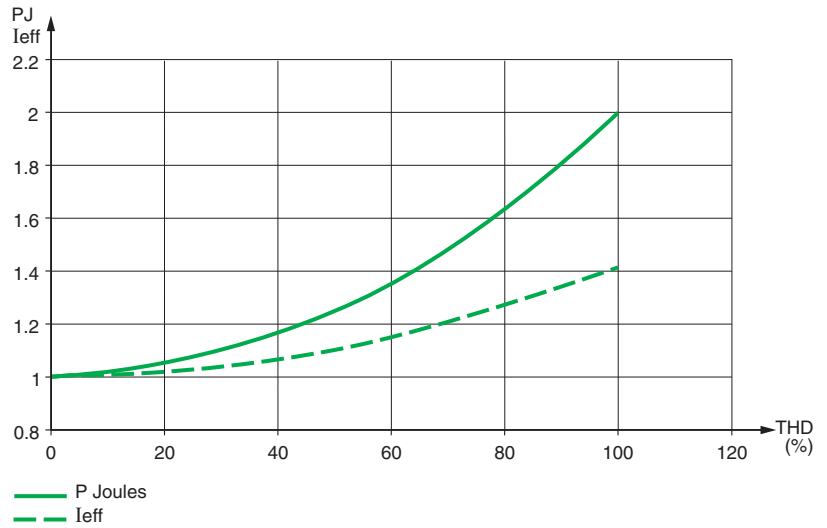


Fig. M8 : Evolution du courant efficace et des pertes Joule en fonction de la valeur du THD

Ordres de grandeur

- Une tension d'alimentation quasi rectangulaire provoque une **augmentation des pertes de 20 %**.
- Une tension d'alimentation avec les taux d'harmoniques u_h suivant $u_5 = 8\%$ (de U_1 , la tension fondamentale), $u_7 = 5\%$, $u_{11} = 3\%$, $u_{13} = 1\%$, soit un THDu de 10 %, implique une augmentation des pertes de 6 %.

Pertes dans les transformateurs

Les courants harmoniques circulant dans les transformateurs provoquent une augmentation des "pertes cuivre" par effet Joule et des "pertes fer" par courants de Foucault. Les tensions harmoniques sont responsables de pertes fer par hystérésis. Les pertes dans les bobinages varient comme le carré du THD_i , et les pertes dans le noyau linéairement en fonction du THDu.

Dans les transformateurs de distribution publique, où les taux de distorsion sont limités, les pertes augmentent de 10 à 15 %.

Pertes dans les condensateurs

Les tensions harmoniques appliquées aux condensateurs provoquent la circulation de courants proportionnels à la fréquence des harmoniques. Ces courants sont responsables de pertes supplémentaires.

Exemple

Une tension d'alimentation a les taux d'harmoniques u_h de rang h suivants : Tension fondamentale U_1 , tensions harmoniques : $u_5 = 8\%$ de U_1 , $u_7 = 5\%$, $u_{11} = 3\%$, $u_{13} = 1\%$, ce qui représente un THDu de 10 %. L'intensité du courant est multipliée par 1,19. Les pertes Joule sont multipliées par $1,19^2 = 1,4$.

4.3 Surcharge des matériels

Alternateurs

Les alternateurs alimentant des charges non-linéaires doivent être déclassés en raison des pertes supplémentaires créées par les courants harmoniques. Ce déclassement est de l'ordre de 10 % pour un alternateur alimentant 30 % de charges non-linéaires, d'où la nécessité de surdimensionner l'appareil.

Onduleurs

Le courant absorbé par du matériel informatique présente un facteur de crête élevé, aussi un onduleur dimensionné sur la seule valeur de courant efficace risque de ne pas pouvoir fournir la crête de courant nécessaire et de se trouver en surcharge.

M8

4 Les principaux effets des harmoniques dans les installations

Transformateurs

■ La courbe suivante (voir Fig. M9) donne le déclassement typique à appliquer à un transformateur alimentant des charges électroniques.

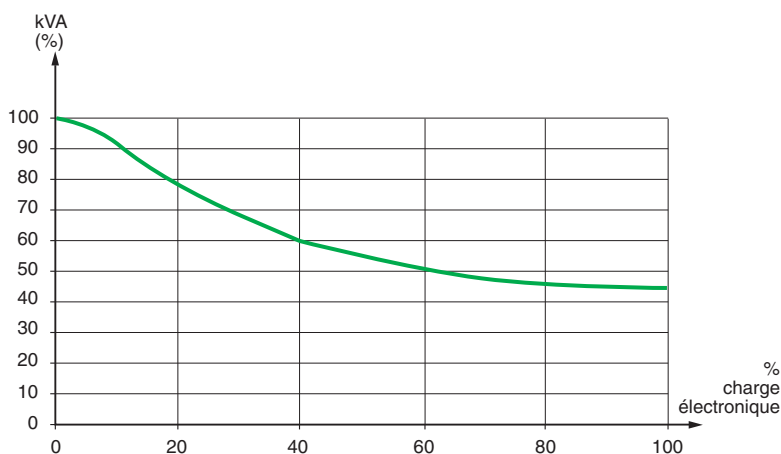


Fig. M9 : Taux de déclassement à appliquer à un transformateur alimentant des charges électroniques

Exemple

Si le transformateur alimente 40 % de charges électroniques, le déclassement vaut 40 %.

■ Le guide UTE C15-112 fournit un facteur de déclassement des transformateurs fonction des courants harmoniques :

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.1 \left(\sum_{h=2}^{40} h^{1.6} T_h^2 \right)}}$$

$$T_h = \frac{I_h}{I_1}$$

Valeurs typiques :

- Courant de forme rectangulaire (spectre en $1/h^{(1)}$) : $k = 0,86$
- Courant type convertisseur de fréquence (THD $\approx 50\%$) : $k = 0,80$

Machines asynchrones

La norme CEI 60892 définit un taux d'harmoniques pondéré (Harmonic Voltage Factor) dont l'expression et la valeur maximale sont données ci-dessous :

$$HVF = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} \frac{U_h}{h^2}} \leq 0.02$$

Exemple

Une tension d'alimentation a une tension fondamentale U_1 et des tensions harmoniques $u_3 = 2\%$ de U_1 , $u_5 = 3\%$, $u_7 = 1\%$. Le THDu vaut $3,7\%$, et $HVF = 0,018$. Le taux d'harmoniques pondéré est très proche de la valeur limite au-delà de laquelle la machine doit être déclassée. Pratiquement, ne pas dépasser un THDu de 10% pour l'alimentation de la machine.

Condensateurs

Le courant efficace circulant dans les condensateurs ne doit pas excéder, selon la norme CEI 60831-1, 1,3 fois leur courant nominal.

En reprenant l'exemple cité plus haut : Tension fondamentale U_1 , tensions harmoniques $u_5 = 8\%$ de U_1 , $u_7 = 5\%$, $u_{11} = 3\%$, $u_{13} = 1\%$, soit un THDu de 10% , conduit à $\frac{I_{eff}}{I_1} = 1,19$, à tension nominale. Pour une valeur de tension égale à 1,1 fois la tension nominale, la limite de $\frac{I_{eff}}{I_1} = 1,3$ est atteinte, il faut donc revoir le dimensionnement des condensateurs.

M9

(1) En réalité, c'est le cas pour tout redresseur de courant (redresseur triphasé, four à induction, ...).

4 Les principaux effets des harmoniques dans les installations

Conducteurs de neutre

Soit le système constitué d'une source triphasée équilibrée et de 3 charges monophasées identiques connectées entre phases et neutre (voir **Fig. M10**), la **Figure M11** montre un exemple des courants parcourant les trois phases et du courant résultant dans le conducteur de neutre.

Dans cet exemple, le courant dans le conducteur neutre a une valeur efficace de $\sqrt{3}$ fois supérieure à celle du courant dans une phase. Le conducteur de neutre doit donc être renforcé en conséquence.

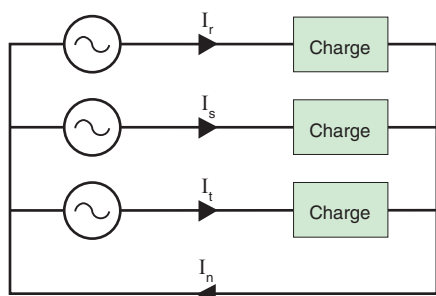


Fig. M10 : Principe de circulation des courants dans les différents conducteurs reliés à une source triphasée

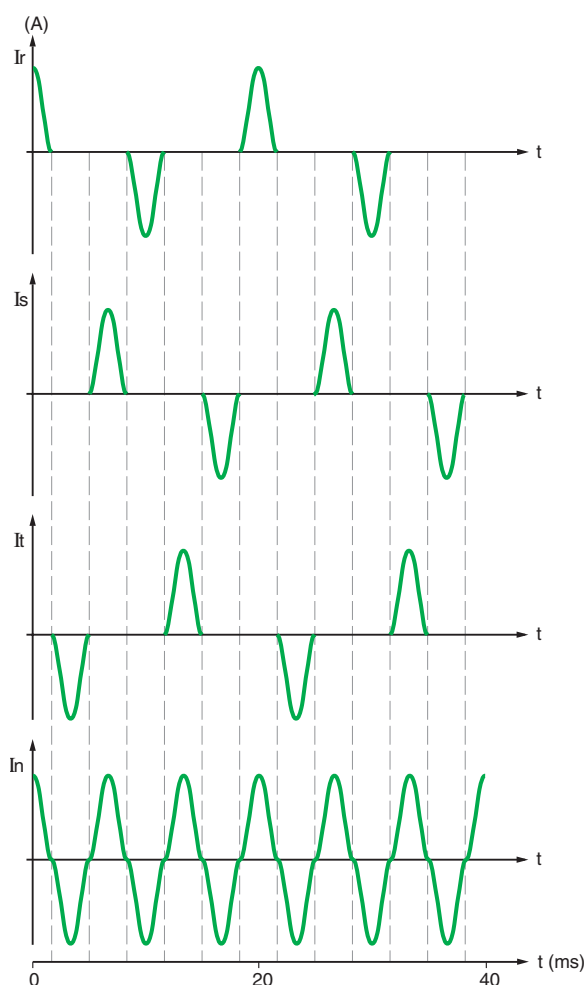


Fig. M11 : Exemple de valeurs de courants circulant dans les différents conducteurs reliés à une charge triphasée : ($I_n = I_r + I_s + I_t$)

4.4 Perturbations des charges sensibles

Effet de la déformation de la tension d'alimentation

La déformation de la tension d'alimentation peut perturber le fonctionnement d'appareils sensibles :

- dispositifs de régulation (température),
- matériel informatique,
- dispositifs de contrôle-commande (relais de protection).

Dégradation des signaux téléphoniques

Les harmoniques induisent des perturbations dans les circuits à courants faibles, dont le niveau est fonction de la longueur du cheminement en parallèle des câbles de puissance et de signal, de la distance entre les circuits et de la fréquence des harmoniques.

5 Les indicateurs essentiels de la distorsion harmonique et les principes de mesure

Des indicateurs permettent de quantifier et d'évaluer la distorsion harmonique des ondes de tension et de courant :

- le facteur de puissance,
- le facteur de crête,
- la puissance de distorsion,
- le spectre en fréquence,
- le taux de distorsion harmonique.

Ces indicateurs sont l'outil indispensable à la détermination des actions correctrices éventuelles.

5.1 Facteur de puissance

Définition

Le facteur de puissance F_p est égal au rapport entre la puissance active P et la puissance apparente S .

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

Pour les électriciens, il est souvent confondu avec :

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1}$$

P_1 = puissance active du fondamental.

S_1 = puissance apparente du fondamental.

Le $\cos \varphi$ se rapporte uniquement à la fréquence fondamentale et, en présence d'harmoniques, est donc différent du facteur de puissance F_p .

Interprétation de la valeur du facteur de puissance

Une première indication de présence significative d'harmoniques peut être un facteur de puissance F_p mesuré différent du $\cos \varphi$ (le facteur de puissance sera inférieur au $\cos \varphi$).

5.2 Facteur de crête

Définition

C'est le rapport entre la valeur de crête du courant ou de la tension (I_m ou U_m) et sa valeur efficace.

- Pour un signal sinusoïdal, ce facteur est donc égal à $\sqrt{2}$.
- Pour un signal non sinusoïdal, il peut être soit inférieur, soit supérieur à $\sqrt{2}$.

Ce facteur indique la présence de valeurs de crête exceptionnelles par rapport à la valeur efficace.

Interprétation de la valeur du facteur de crête

Le facteur de crête typique des courants absorbés par les charges non-linéaires est très supérieur à $\sqrt{2}$. Il peut prendre des valeurs égales à 1,5 ou 2, allant jusqu'à 5 dans les cas critiques. Un facteur de crête très élevé signifie des surintensités ponctuelles importantes. Ces surintensités, détectées par les dispositifs de protection, peuvent être à l'origine de déclenchements intempestifs.

5.3 Puissances et harmoniques

Puissance active

La puissance active P dans un circuit où circulent des harmoniques est la somme des puissances actives dues aux tensions et courants du fondamental et de chaque harmonique.

Puissance apparente

La puissance apparente S dans un circuit monophasé est le produit des valeurs efficaces de tension et de courant, soit $S = U \cdot I$

Puissance réactive

La puissance réactive n'est définie que pour le fondamental, soit

$$Q = U_1 \times I_1 \times \sin\phi_1$$

Puissance de distorsion

En présence d'harmoniques, la puissance de distorsion D est définie par l'équation : $D = (S^2 - P^2 - Q^2)^{1/2}$

5.4 Spectre en fréquence et taux d'harmonique

Principe

Chaque type d'appareil pollueur possède sa propre empreinte de courants harmoniques (amplitudes et déphasages).

Ces valeurs, notamment l'amplitude pour chaque rang d'harmonique, sont essentielles pour l'analyse.

Taux individuel d'harmonique (ou taux d'harmonique de rang h)

On définit le taux individuel d'harmonique comme le pourcentage d'harmonique de rang h ramené au fondamental :

$$u_h (\%) = 100 \frac{U_h}{U_1}$$

ou

$$i_h (\%) = 100 \frac{I_h}{I_1}$$

Spectre en fréquence

L'histogramme représentant l'amplitude de chaque rang d'harmonique vis-à-vis de sa fréquence, est appelé analyse spectrale.

La **Figure M12** donne l'exemple de l'analyse spectrale d'un signal rectangulaire.

Valeur efficace

La valeur efficace de la tension et du courant peut se calculer en fonction de la valeur efficace des différents rangs d'harmoniques :

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

et

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2}$$

5.5 Taux de distorsion harmonique (THD)

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.

Définition du THD

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

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}}{y_1}$$

Cette notion suit la définition de la norme CEI 61000-2-2.

Noter que sa valeur peut dépasser 1.

Selon la norme h peut être généralement limité à 50. Cette grandeur permet d'évaluer à l'aide d'un nombre unique la déformation d'une tension ou d'un courant circulant en un point du réseau.

Le taux de distorsion harmonique est habituellement exprimé en pourcentage.

M12

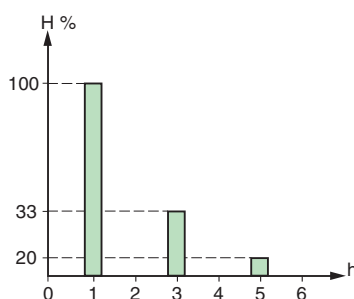
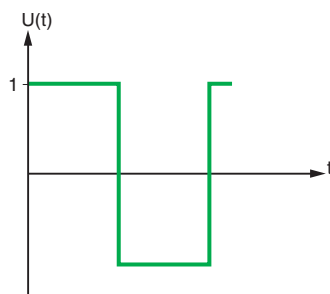


Fig. M12 : Analyse spectrale d'un signal rectangulaire, pour la tension U (t)

5 Les indicateurs essentiels de la distorsion harmonique et les principes de mesure

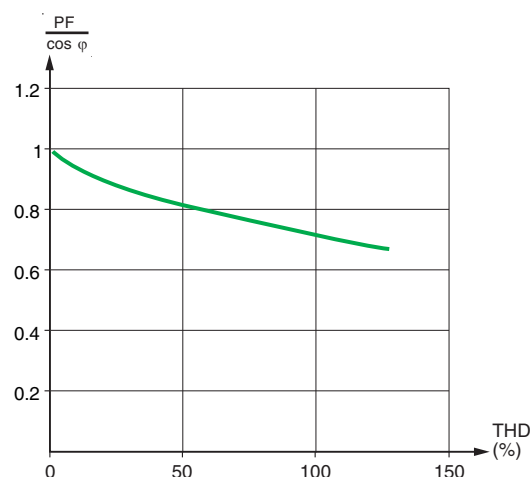


Fig. M13 : Variation de $\frac{PF}{\cos \varphi}$ selon THDi avec THDu = 0

THD en courant ou en tension

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

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

Cette formule est équivalente à la formule suivante, plus directe et plus facile à utiliser lorsque l'on connaît la valeur efficace totale :

$$THD_i = \sqrt{\left(\frac{I_{eff}}{I_1}\right)^2 - 1}$$

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

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1}$$

Relation entre facteur de puissance et THD (voir Fig. M13)

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

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

$$\text{d'où : } PF = \frac{P}{S} \approx \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}{U_1 \cdot I_{rms}}$$

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

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

La figure M13 montre la variation de $\frac{PF}{\cos \varphi}$ fonction de THDi.

5.6 Intérêt de chacun des indicateurs

Le THDu caractérise la déformation de l'onde de tension.

Valeurs du THDu mesurées et phénomènes observés dans une installation :

- inférieure à 5 % : normale, aucun dysfonctionnement n'est à craindre,
- de 5 à 8 % : pollution harmonique significative, quelques dysfonctionnements sont possibles,
- supérieure à 8 % : pollution harmonique importante, des dysfonctionnements sont probables. Une analyse approfondie et la mise en place de dispositifs d'atténuation sont nécessaires.

Le THDi caractérise la déformation de l'onde de courant.

La recherche du pollueur s'effectue en mesurant le THDi sur l'arrivée et sur chacun des départs des différents circuits, afin de s'orienter vers le perturbateur.

Valeurs du THDi mesurées et phénomènes observés dans une installation :

- inférieure à 10 % : normale, aucun dysfonctionnement n'est à craindre,
- de 10 à 50 % : pollution harmonique significative, il y a risque d'échauffements, ce qui implique le surdimensionnement des câbles et des sources,
- supérieure à 50 % : pollution harmonique importante, des dysfonctionnements sont probables. Une analyse approfondie et la mise en place de dispositifs d'atténuation sont nécessaires.

Le facteur de puissance Fp permet d'évaluer le surdimensionnement à appliquer à l'alimentation d'une installation.

Le facteur de crête est utilisé pour caractériser l'aptitude d'un générateur (onduleur ou alternateur) à fournir des courants instantanés de valeur élevée.

Par exemple, le matériel informatique absorbe un courant très déformé dont le facteur de crête peut atteindre 3 à 5.

Le spectre (décomposition en fréquence du signal) donne une autre représentation des signaux électriques, et permet d'évaluer leur déformation.

M13

6.1 Quels appareils pour mesurer ces indicateurs ?

Le choix d'un appareil

Méthodes classiques d'observation et de mesure :

- Observation au moyen d'un oscilloscope.

Une première indication de la déformation du signal peut être obtenue en visualisant le courant ou la tension sur un oscilloscope.

La forme de l'onde, si elle diffère de celle d'une sinusoïde, met en évidence la présence d'harmoniques. Les pics de tension ou de courant peuvent être ainsi visualisés.

Il faut noter que cette approche ne permet pas une quantification précise des composantes harmoniques.

- Les analyseurs de spectre analogiques.

Ils sont constitués de filtres passe-bande associés à un voltmètre à valeur efficace. Ils ont des performances moyennes, et ne donnent pas d'information de déphasage.

Seuls les analyseurs numériques récents permettent de déterminer de façon suffisamment précise la valeur de l'ensemble de ces indicateurs.

Fonctions assurées par les analyseurs numériques

Les microprocesseurs équipant les analyseurs numériques :

- calculent les valeurs des indicateurs du niveau d'harmoniques (facteur de puissance, facteur de crête, puissance de distorsion, THD),
- réalisent diverses fonctions complémentaires (corrections, détections statistiques, gestion des mesures, visualisation, communication...),
- peuvent, s'ils sont multicanaux, fournir quasiment en temps réel les décompositions spectrales simultanées de tensions et de courants.

Principe des analyseurs, mode de traitement des données

Les signaux analogiques sont convertis en une suite de valeurs numériques.

Un algorithme utilisant la Transformée de Fourier Rapide (FFT) calcule à partir de ces valeurs les amplitudes et les phases des harmoniques pour un grand nombre de fenêtres temporelles d'observation.

La plupart des analyseurs numériques mesurent les harmoniques jusqu'aux rangs 20 ou 25 pour le calcul du THD.

Le traitement des valeurs successives calculées par la FFT (lissage, classification, statistiques) peut être effectué par l'appareil de mesure ou réalisé par un logiciel externe.

6.2 Procédures pour l'analyse harmonique du réseau

Cette prise de mesure s'effectue sur le site industriel ou tertiaire :

- à titre préventif pour faire l'estimation globale de l'état du réseau (cartographie du réseau) ;
- à titre curatif :
 - pour diagnostiquer un problème de perturbation, et envisager des solutions pour le supprimer,
 - pour vérifier la conformité d'une solution (suivi d'une modification de réseau pour vérifier la diminution des harmoniques).

Mode opératoire

L'étude des tensions et des courants doit se faire aux niveaux :

- de la source d'alimentation,
- du jeu de barres du tableau de distribution principal (ou du jeu de barres HTA),
- de chacun des départs du tableau de distribution principal (ou du jeu de barres HTA).

Lors des mesures, il faut connaître les conditions précises de l'installation, en particulier l'état des batteries de condensateurs (en service/hors service, nombre de gradins déclenchés).

M14

6 La mesure des indicateurs

Résultats de l'analyse

Les résultats de l'analyse permettent d'effectuer la comparaison des valeurs mesurées aux valeurs de référence des distributeurs d'énergie : valeurs limites de taux d'harmoniques, valeurs acceptables, ...

Ils permettront d'envisager :

- soit le déclassement du matériel à installer,
- soit la quantification des protections et filtrages contre les harmoniques à positionner sur le réseau.

Utilisation de l'appareil de mesure

Les appareils servent à montrer à la fois les effets instantanés et les effets à long terme des harmoniques. Des valeurs intégrées sur des durées allant de quelques secondes à quelques minutes, pour des périodes d'observation de quelques jours sont nécessaires.

Les grandeurs à restituer sont :

- les amplitudes des tensions et courants harmoniques,
- le taux d'harmonique pour chaque rang des courants et des tensions,
- le taux de distorsion harmonique du courant et de la tension,
- éventuellement la valeur du déphasage entre tension et courant harmoniques de même rang, et la phase des harmoniques par rapport à une référence commune (la tension fondamentale par exemple).

6.3 Anticiper la lutte contre les harmoniques

Les indicateurs du niveau d'harmonique peuvent être mesurés :

- soit par des appareils installés à demeure sur le réseau,
- soit par un expert intervenant au moins une demi-journée sur le site (pour une vision ponctuelle).

Privilégier les appareils de mesure installés à demeure sur le réseau

Pour plusieurs raisons, l'installation à demeure d'appareils de mesure sur le réseau reste à privilégier.

- Une intervention d'expert reste ponctuelle, alors que des mesures en différents points de l'installation et sur une période déterminée suffisamment longue (1 semaine à un mois) donnent une vision globale du fonctionnement de l'installation, et prennent en compte tous les cas de figure qui peuvent se présenter suite :
 - à la fluctuation de la source d'alimentation,
 - aux variations de fonctionnement de l'installation,
 - aux nouveaux équipements ajoutés à l'installation.
- Les appareils de mesure installés sur le réseau préparent et facilitent le diagnostic des experts, réduisant ainsi la durée et le nombre de leurs interventions.
- Les appareils de mesure en place détectent les nouvelles perturbations dues à l'installation de nouveaux équipements, à de nouveaux modes de fonctionnement, ou à des fluctuations du réseau d'alimentation.

Tirer profit d'appareils de mesure ou de détection intégrés

Les appareils de détection ou mesure intégrés aux équipements de distribution électrique sont aussi utiles pour une analyse préventive que pour une analyse curative.

- Dans le cas de l'estimation globale du réseau de distribution (analyse préventive), ils évitent :
 - la location de matériel de mesure,
 - des interventions d'experts,
 - les connexions et déconnexions des matériels de mesure.

Pour l'estimation globale du réseau, l'estimation faite au niveau des tableaux généraux de distribution (TGBT) peut typiquement être réalisée par l'appareil d'arrivée et/ou les appareils de mesure intégrés à chaque départ.

- Dans le cas de l'analyse curative les appareils permettent :
 - de retrouver les conditions de fonctionnements qu'il y avait au moment de l'incident,
 - une cartographie du réseau, et la relativisation de la solution mise en place.

Le diagnostic sera complété par l'utilisation de matériels adaptés au problème évalué.

M15

PowerLogic, avec les centrales de mesure Power Meter et Circuit Monitor et les unités de contrôle Micrologic, offre une gamme complète de dispositifs pour la détection de la distorsion harmonique.

Effectuer des mesures est la première étape pour maîtriser la pollution harmonique. En fonction de chaque installation, différents types de matériels Schneider Electric apportent une solution.

Power monitoring

Power Meter et Circuit Monitor de PowerLogic System

Ces appareils sont des outils performants d'expertise des réseaux moyenne et basse tension. Ce sont des centrales de mesure numériques dédiées à la mesure de la qualité de l'énergie.

PowerLogic system comprend, entre autres, les centrales de mesure Power Meter (PM) et Circuit Monitor (CM). Cette offre, très modulaire, couvre des besoins les plus simples avec les PM jusqu'aux besoins les plus complexes avec les CM. Ces appareils seront utilisés dans les installations neuves ou existantes où le niveau de qualité de l'énergie électrique doit être important. Ils pourront être exploités en local ou à distance.

Les centrales PM permettent, suivant leur position dans le réseau une première estimation de la qualité de l'énergie. Leurs principales mesures Power Meter sont :

- mesure du THD en courant et tension,
- mesure du facteur de puissance.

Ces mesures sont associées suivant les produits à des possibilités d'horodatage et d'alarmes.

Les centrales CM (voir **Fig. M14**) permettent l'analyse détaillée de la qualité de l'énergie et l'analyse des perturbations du réseau. Leurs fonctions principales sont :

- mesure de plus de 100 paramètres électriques,
- mémorisation et datation des valeurs minimales et maximales de chaque paramètre électrique,
- fonctions d'alarmes sur paramètres électriques,
- consignation des données d'événements,
- enregistrement des perturbations sur courants et tensions,
- analyse des harmoniques,
- enregistrement des formes d'onde (oscilloperturbographie).

Micrologic : une centrale de mesure intégrée au disjoncteur

Pour les nouvelles installations, l'unité de contrôle Micrologic H, intégrée au disjoncteur de puissance Masterpact, NW et NT, est particulièrement intéressante dans le cas d'une mesure en tête d'installation ou sur de gros départs (voir **Fig. M15**). Elle permet une analyse fine de la qualité de l'énergie et un diagnostic détaillé des événements sur un écran de tableau ou sur un superviseur.

L'unité de contrôle Micrologic H permet :

- la mesure des courants, tensions, puissance active et réactive,
- la mesure du THD et THF en courant et tension,
- l'affichage des composantes harmoniques en amplitude et en phase jusqu'au rang 51 en courant et tension,
- l'enregistrement des formes d'onde (oscilloperturbographie).

Les fonctions proposées par le Micrologic H sont équivalentes de celles proposées par les Circuit Monitor.

Le disjoncteur Compact NSX équipé d'une unité de contrôle Micrologic E permet aussi cette analyse. Un afficheur déporté FDM 121 (voir Fig. M15) peut lui être associé pour disposer d'un contrôle en face avant des tableaux.

L'exploitation des centrales de mesure

Exploitation et analyse à distance : logiciel d'exploitation et d'analyse

Dans le cadre plus global d'un réseau à surveiller, une offre donne la possibilité de relier ces différents matériels par un réseau de communication, autorisant ainsi de centraliser les informations, et d'avoir une vision globale des perturbations sur l'ensemble d'un réseau.

Suivant l'application, il est possible d'effectuer des mesures en temps réel, moyenner, enregistrer la forme des ondes, prévoir le déclenchement d'alarmes...

Les centrales de mesure communiquent soit sur Modbus, Bus Digipact ou réseau Ethernet pour transmettre toutes les données accessibles.

Ce dispositif vise essentiellement à supporter l'identification et la planification des tâches de maintenance. Il sera avantageusement mis à profit pour réduire le temps d'intervention et le coût d'installation des matériels ponctuels dans le cas de mesures sur site ou pour le dimensionnement de matériels (filtres).

SMS

SMS est un logiciel très complet d'analyse de réseau associé aux produits PowerLogic System. Installé sur un PC standard, il permet :

- l'affichage des mesures en instantané,
- l'affichage des historiques, sur une période déterminée,
- la sélection du mode de représentation des données (tableaux, courbes de différents types),
- le traitement statistique des données (visualisation d'histogrammes).



M16

Fig. M14 : Centrale de mesure Circuit Monitor



Fig. M15 : Unité de contrôle et de mesure Micrologic H et afficheur FDM 121.

8 Les solutions pour atténuer les harmoniques

Les solutions possibles pour atténuer les effets des harmoniques sont de trois natures différentes :

- adaptations de l'installation,
- utilisation de dispositifs particuliers dans l'alimentation,
- filtrage.

8.1 Solutions de base

Pour limiter la propagation des harmoniques dans le réseau, des dispositions peuvent être prises et sont à observer en particulier dans le cas d'une nouvelle installation.

Positionner les charges polluantes en amont du réseau

La perturbation harmonique globale croît lorsque la puissance de court-circuit diminue. En dehors de toute considération économique, il est donc préférable de connecter les charges polluantes le plus en amont possible (voir **Fig. M16**).

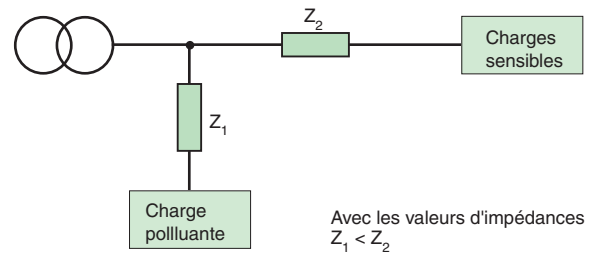


Fig. M16 : Alimentation le plus en amont possible des charges non-linéaires (schéma conseillé)

Regrouper les charges polluantes

Pour établir un schéma unifilaire, il convient de séparer les équipements perturbateurs des autres (voir **Fig. M17**) : en pratique, alimenter les charges polluantes et non polluantes par des jeux de barres différents.

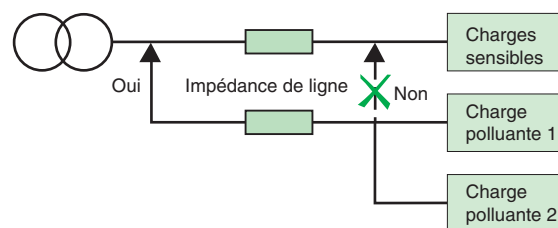


Fig. M17 : Regroupement des charges non-linéaires et alimentation le plus en amont possible (schéma conseillé)

Séparer les sources

Dans la lutte contre les harmoniques, une amélioration supplémentaire est obtenue en réalisant une alimentation par transformateur séparé, selon le schéma de principe suivant (voir **Fig. M18** page suivante).

L'inconvénient de cette solution est l'augmentation du coût de l'installation.

M17

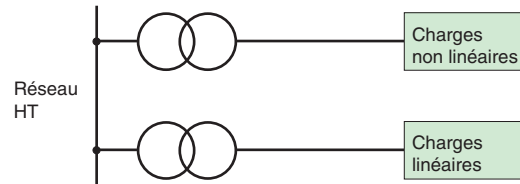


Fig. M18 : Alimentation des charges polluantes par transformateur séparé

Utiliser des transformateurs à couplages particuliers

L'effet de couplage de transformateurs permet la suppression de certains rangs d'harmoniques. En fonction des types de couplages différents rangs d'harmoniques sont arrêtés :

- un couplage Dyd arrête les harmoniques de rangs 5 et 7 (voir Fig. M19),
- un couplage Dy arrête les harmoniques de rang 3,
- un couplage DZ 5 arrête les harmoniques de rang 5.

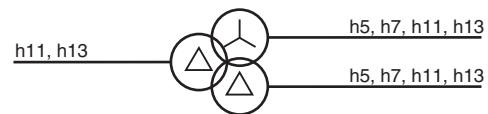


Fig. M19 : L'utilisation d'un transformateur Dyd stoppe la propagation des harmoniques de rangs 5 et 7 vers l'amont du réseau.

Placer des inductances dans l'installation

Dans le cas d'alimentation de variateurs de vitesse, il est possible de lisser le courant en mettant en place des inductances de ligne. Et l'augmentation de l'impédance du circuit d'alimentation limite le courant harmonique.

La mise en place de selfs anti-harmoniques sur les batteries de condensateurs augmente l'impédance de l'ensemble self et condensateur pour les harmoniques de rangs élevés. Cela évite le phénomène de résonance et protège les condensateurs.

Choisir un schéma de liaison à la terre adapté

Cas du régime TNC

Dans le cas du régime de neutre TNC, un seul conducteur (PEN) assure la protection en cas de défaut (terre) et assure le transit des courants de déséquilibre.

En régime permanent, les courants harmoniques transitent dans le PEN. Or, celui-ci a une certaine impédance, ce qui implique de petites différences de potentiel (de l'ordre de quelques volts) entre appareils, et peut entraîner le dysfonctionnement des équipements électroniques.

Le régime de neutre TNC doit donc être réservé à l'alimentation des circuits de puissance, en tête d'installation, et est à proscrire dans le cas de l'alimentation de charges sensibles.

Cas du régime TNS

Il est conseillé dans le cas de présence d'harmoniques. En effet, le conducteur de neutre et le conducteur de protection PE étant complètement séparés, le potentiel du réseau est beaucoup mieux fixé.

8.2 Filtrage des harmoniques

Dans le cas où les actions préventives ci-dessus sont insuffisantes, il est nécessaire d'équiper l'installation polluée de dispositif de filtrage.

Il existe trois types de filtres :

- le filtre passif,
- le filtre actif,
- le filtre hybride.

M18

8 Les solutions pour atténuer les harmoniques

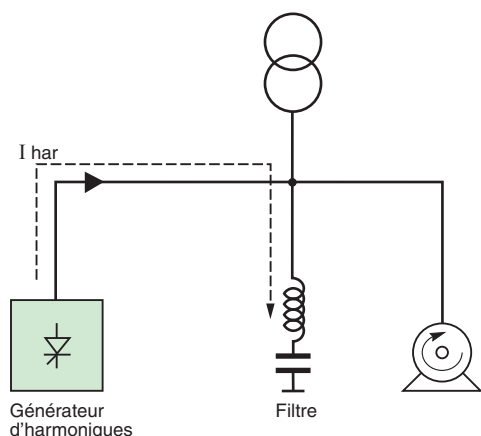


Fig. M20 : Principe d'utilisation d'un filtre passif

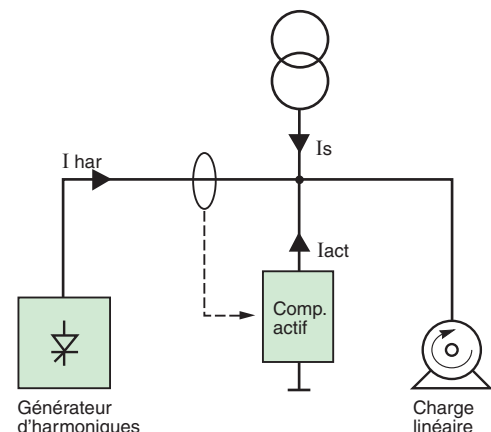


Fig. M21 : Principe d'utilisation d'un filtre actif

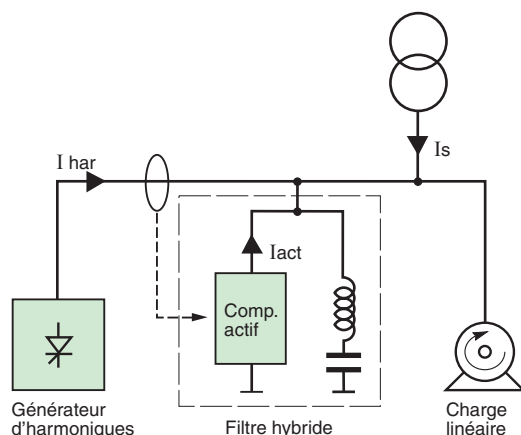


Fig. M22 : Principe d'utilisation d'un filtre hybride

Filtre passif

Applications typiques

- Installations industrielles avec un ensemble de générateurs d'harmoniques de puissance totale supérieure à 200 kVA environ (varianteurs 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.

Principe de fonctionnement

Un circuit LC accordé sur chaque fréquence d'harmonique à filtrer, est placé en parallèle sur le générateur d'harmoniques (voir Fig. M20). 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. Plusieurs branches de filtres en parallèle peuvent être utilisées lorsque l'on souhaite une réduction forte du taux de distorsion sur plusieurs rangs.

Filtre actif (ou compensateur actif)

Applications typiques

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

Principe de fonctionnement

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 M21 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.

Filtre hybride

Applications typiques

- Installations industrielles avec un ensemble de générateurs d'harmoniques de puissance totale supérieure à 200 kVA environ (varianteurs 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.
- Recherche de conformité à des limites strictes d'émission harmonique.

Principe de fonctionnement

Les deux types de dispositifs précédents peuvent être associés au sein d'un même équipement et constituer un filtre hybride (voir Fig. M22). Cette nouvelle solution de filtrage permet de cumuler les avantages des solutions existantes et de couvrir un large domaine de puissance et de performances.

Critères de choix

Le filtre passif permet à la fois la compensation d'énergie réactive et une grande capacité de filtrage en courant.

Le filtre passif réduit aussi les tensions harmoniques des installations dont la tension d'alimentation est polluée. Si la puissance réactive fournie est importante, il est conseillé de mettre hors tension le filtre passif pendant les période de faible charge. L'étude de raccordement d'un filtre doit tenir compte de la présence éventuelle d'une batterie de compensation et peut conduire à sa suppression.

Le compensateur actif permet le filtrage des harmoniques sur une large bande de fréquence. Il s'adapte à n'importe quelle charge. Cependant, sa puissance harmonique est limitée.

Le filtre hybride réunit l'ensemble des performances des filtres passifs et actifs.

Une offre de service complète peut être proposée pour le traitement des harmoniques :

- une expertise d'analyse,
- des dispositifs de mesure et surveillance,
- des dispositifs de filtrage.

8.3 L'expertise

Le choix de la solution la plus appropriée, tant du point de vue technique qu'économique, est le résultat d'une étude approfondie.

Le diagnostic MT et BT

Le recours à un expert permet de disposer d'une garantie d'efficacité de la solution proposée (exemple : garantie d'un THDu maximum).

Ce diagnostic harmonique est réalisé par un ingénieur spécialiste dans le domaine des perturbations des réseaux électriques équipé de moyens d'analyses, d'équipements de simulations et de logiciels.

Les étapes du diagnostic sont :

- La mesure des perturbations en courant et en tension simple et composée aux niveaux des récepteurs pollueurs, des départs perturbés et des sources d'alimentation.
 - Une modélisation des phénomènes réalisée avec un logiciel permettant une explication précise de leurs causes et une détermination optimisée des solutions possibles.
 - Un rapport de diagnostic complet mettant en évidence :
 - les niveaux de perturbations actuels,
 - les niveaux de perturbation maximum admis (CEI 61000, CEI 34...).
 - Une garantie de performance sur les solutions présentées.
 - Puis la mise en œuvre, au moyen de matériels adaptés.
- La prestation est certifiée ISO 9002.

8.4 Les produits spécifiques

Filtres passifs

Ils sont constitués de bobines et de condensateurs configurés en circuits résonants accordés sur la fréquence d'un rang d'harmonique à éliminer.

Un équipement peut comprendre plusieurs ensembles afin d'éliminer plusieurs rangs d'harmoniques.

Adaptés à la tension triphasée de 400 V, leur puissance atteint :

- 265 kvar/470 A pour le filtre rang 5
- 145 kvar/225 A pour le filtre rang 7
- 105 kvar/145 A pour le filtre rang 11

Les filtres passifs peuvent être réalisés pour tout niveau de tension et de courant.

Filtres actifs

■ Filtres actifs SineWave

- adaptés à la tension triphasée de 400 V, leur capacité de compensation est de 20 à 120 A par phase,
- les courants harmoniques traités ont les rangs 2 à 25. La compensation est globale ou rang par rang,
- taux d'atténuation : (THDi charge/THDi réseau) supérieur à 10 à capacité harmonique nominale du compensateur),
- fonctions : compensation du facteur de déphasage, compensation des harmoniques homopolaires, système de diagnostic et de maintenance, mise en parallèle possible, commande à distance, interface de communication Modbus/RS485.

■ Filtres actifs Accusine

- adaptés aux tensions triphasées de 400 et 480 V, leur capacité de compensation est de 50 à 300 A par phase,
- les courants harmoniques sont traités jusqu'au rang 50,
- fonctions : compensation du facteur de déphasage, mise en parallèle, réponse instantanée aux variations de charge.

Filtres hybrides

Ces équipements cumulent les avantages en incluant dans la même enveloppe un filtre passif et un compensateur actif SineWave.

M20