

Filtres d'harmoniques de rang 3

Vivre en harmonie avec son électricité

Jouko Jaakkola

L'écran de votre PC se met à scintiller, reprend son fonctionnement normal, recommence à scintiller... Phénomène gênant et première manifestation d'un problème: les harmoniques de rangs élevés. Ceux-ci sont de plus en plus présents dans les installations industrielles et commerciales au fur et à mesure que les équipements informatiques et à électronique de puissance, sans parler des éclairages fluorescents, complètent le parc d'appareils électriques. Parallèlement, la prolifération des équipements électroniques va à l'encontre des besoins et exigences de qualité de l'alimentation électrique des secteurs industriel et tertiaire.

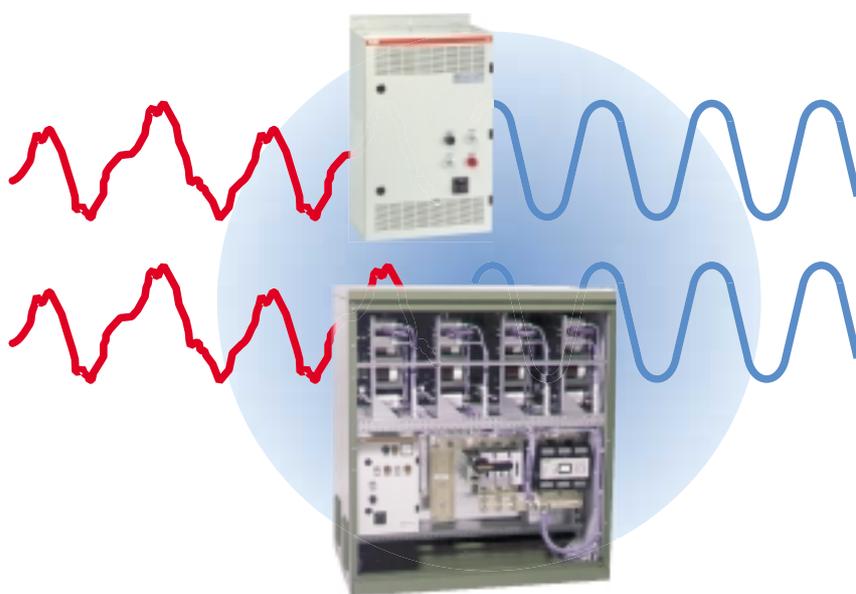
Les dispositifs monophasés à électronique de puissance comme les ordinateurs, imprimantes, photocopieurs, téléviseurs, télécopieurs, alimentations sans interruption (ASI) et éclairages, sont les principales sources de courants harmoniques dans les conducteurs neutres. Ces

courants harmoniques présents dans les câbles des bâtiments augmentent les pertes, réduisent la capacité des circuits et surchargent les condensateurs de compensation du facteur de puissance. Le problème est particulièrement important dans le conducteur neutre, où les courants harmo-

niques de rang 3 – généralement ceux d'amplitude maximale dans les phases – s'additionnent. Il est même possible que les courants harmoniques de rang 3 dans le conducteur neutre soient supérieurs au courant dans les conducteurs de phase.

Les problèmes liés aux courants harmoniques causés par les dispositifs électroniques monophasés sont les plus aigus dans les installations commerciales et dans l'industrie de l'électronique où sont concentrés un grand nombre d'équipements de ce type. Autre sujet de préoccupations: les réseaux électriques de nombreux immeubles anciens ne sont pas conçus pour supporter des environnements tout électroniques.

Un inconvénient spécifique à la plupart des dispositifs électroniques est la production de charges non linéaires par les alimentations à commutation des ordinateurs et autres équipements bureautiques, ainsi que les alimentations à pont redresseur et condensateur de lissage.



Votre réseau est-il pollué ?

Le nombre croissant de charges électriques non linéaires – éclairages fluorescents, ordinateurs, alimentations sans interruption (ASI), postes à souder, etc. – imposent leur présence à plus d'un titre. En effet, elles engendrent des harmoniques à l'origine de problèmes très importants et souvent difficiles à identifier pour les utilisateurs raccordés au même réseau. Mais que sont les harmoniques au juste, d'où viennent-ils et pourquoi posent-ils problème ?

Les harmoniques sont simples à expliquer: il s'agit de multiples de la forme d'onde sinusoïdale produite par le générateur et présents dans le réseau électrique. Par exemple, dans un réseau de fréquence fondamentale de 50 Hz, l'harmonique de rang trois est de 150 Hz, de rang cinq 250 Hz, de rang sept 350 Hz, et ainsi de suite. Seuls les harmoniques de rangs impairs sont vraiment importants, même si tous les harmoniques affectent la forme d'onde du courant.

Les harmoniques de rangs 3 (150 Hz) et 5 (250 Hz) sont les plus fréquents. En général, les charges monophasées engendrent l'harmonique 3 et les charges triphasées l'harmonique 5. (Les harmoniques 5 et 7 peuvent être filtrés par des « circuits accordés »; cependant, jusqu'à présent, il n'existait aucun moyen économique de filtrer les harmoniques de rang 3.)

La charge électrique détermine le courant prélevé sur le réseau car la tension d'alimentation est essentiellement constante. Une charge linéaire (ex., résistance) ayant une impédance constante, le courant de charge qu'elle prélève a la même forme d'onde que la source de tension et est exactement sinusoïdale, pour autant que la tension d'alimentation soit sinusoïdale. Une charge non linéaire, au

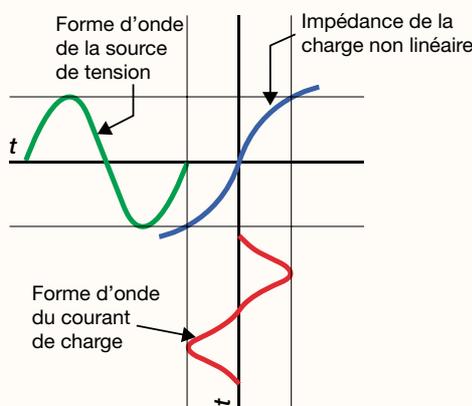
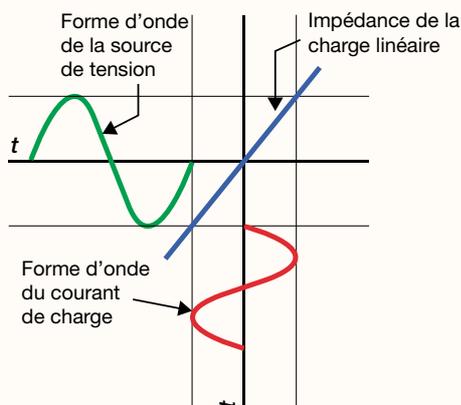
contraire, modifie son impédance par exemple lorsque l'amplitude de la tension varie, et donc prélève un courant non sinusoïdal et renvoie un courant déformé dans le réseau. Les transformateurs exploités à proximité du point de saturation et les redresseurs sont de bons exemples de charges non linéaires.

Et le problème? Historiquement, les réseaux de distribution triphasés à quatre fils alimentant des charges monophasées bien équilibrées comportaient un conducteur neutre commun qui ne véhiculait qu'un déséquilibre de courant minimal venant des charges. Toutefois, en présence de charges non linéaires monophasées déséquilibrées, le neutre commun peut véhiculer un courant excessif du fait des harmoniques de rang 3 qui s'y additionnent.

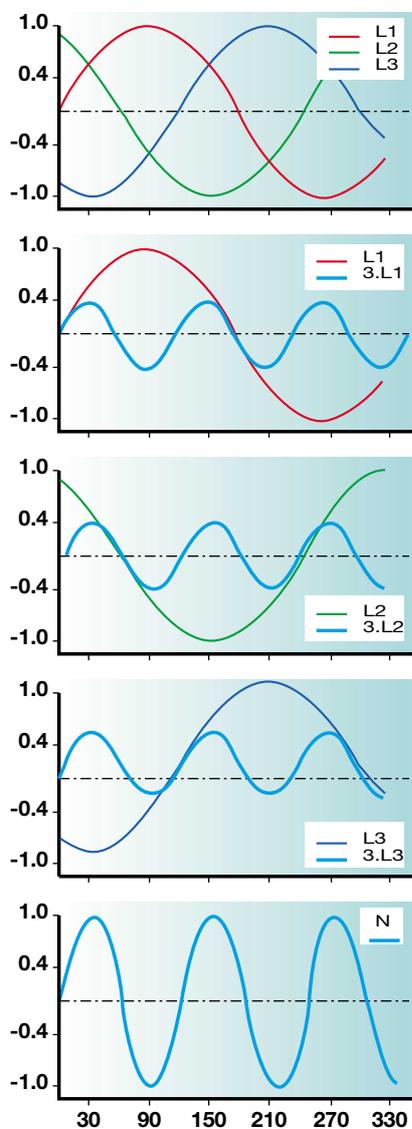
La surcharge du conducteur neutre peut, bien sûr, être évitée en dotant chaque phase d'un conducteur neutre distinct et de calibre nominal jusqu'au tableau de distribution, mais cette solution est onéreuse.

Dans une expérience en vraie grandeur, trois micro-ordinateurs PC de 120 V furent raccordés à un réseau 208/120 V triphasé – un PC sur chaque phase. Chaque PC consommait 1,2 A, mais le neutre véhiculait 2 A! A l'évidence, il y avait un risque d'incendie car des courants très élevés circulaient dans un conducteur neutre mal calibré, aucun fusible n'étant prévu pour le protéger.

Les problèmes d'harmoniques de rang 3 peuvent être résolus avec le filtre spécial décrit dans cet article. Un client d'ABB en Scandinavie qui a installé ce type de filtre fait état d'économies annuelles de l'ordre de 100 000 dollars US grâce à la réduction de sa consommation électrique et aux meilleures performances de ses équipements. Et la « pollution » engendrée par ses équipements a radicalement diminué!



1 Les courants harmoniques de rang 3 s'additionnent dans le conducteur neutre. Par exemple, un courant harmonique de rang 3 de 20 % dans chaque phase (L1, L2, L3) atteint 60 % dans le neutre (N).



A chaque cycle, les alimentations à commutation conduisent pendant seulement une portion de chaque demi-période, de sorte que le condensateur de lissage reçoit un courant alternatif pulsé, non sinusoïdal. Parmi les autres sources de courant harmonique de rang 3, citons les lampes à décharge comme les tubes fluorescents et les nouvelles ampoules à faible consommation d'énergie.

Prédominance des courants harmoniques de rang 3

Dans les réseaux triphasés équilibrés, le courant de fréquence fondamentale ainsi que les harmoniques de rangs 5, 7, etc., s'annulent, alors que les courants harmoniques de rang 3 monophasés ont le même angle de phase et, par conséquent, s'additionnent dans le conducteur neutre.

Comme les équipements électroniques monophasés tirent des courants harmoniques élevés, un réseau peut connaître des problèmes importants même si la charge, en terme de puissance réelle, est relativement faible.

Le courant harmonique de rang 3 peut ajouter jusqu'à 1 A par kW pour les éclairages et 4 A par kW pour les ordinateurs, selon l'impédance de boucle du réseau et la concentration de la charge **1**. Les harmoniques qui, comble de l'ironie, sont engendrés par les sources qui en sont les principales victimes, entraînent l'échauffement, la détérioration et des pertes dans ces appareils. De plus, ils créent des champs électromagnétiques et dégradent la qualité du courant, provoquant le mauvais fonctionnement des appareils.

Les courants neutres générés sont suffisamment élevés pour être à l'origine d'incendies. Une étude récente a mis en évidence des courants neutres atteignant 1250 A, alors que les courants de phase équilibrés n'atteignaient que 1000 A.

L'échauffement dû aux courants harmoniques peut provoquer le déclenchement des disjoncteurs et la fusion des fusibles. Les disjoncteurs actionnés par les courants résiduels sont des dispositifs électromécaniques où les composantes de plus haute fréquence peuvent être totalisées de manière incorrecte, provoquant le déclenchement intempestif des disjon-

teurs. Avec les courants harmoniques, le courant qui circule dans le circuit est plus élevé que prévu. Et si les systèmes de mesure sont trop simples, il y aura éventuellement une totalisation erronée des composantes de plus haute fréquence.

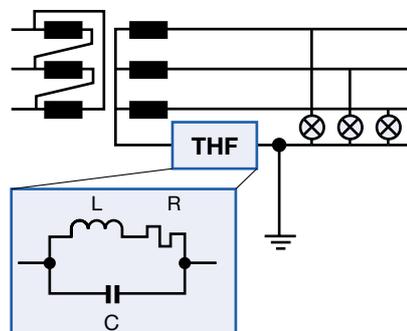
Filtres d'harmoniques de rang 3 – la solution économique

Le filtre d'harmoniques de rang 3 est un filtre résonant parallèle ayant une impédance élevée pour le courant harmonique de rang 3 et une impédance très faible pour la fréquence fondamentale. Celle-ci est tellement faible qu'en insérant ce filtre sur le conducteur neutre, on n'augmente que très légèrement l'impédance de boucle du réseau et le temps de fonctionnement des dispositifs de protection contre les courts-circuits. Le raccordement du filtre d'harmoniques de rang 3 en série dans le conducteur neutre a été breveté par ABB Control en Finlande.

Le conducteur neutre constitue l'emplacement logique et idéal pour le montage du filtre d'harmoniques de rang 3 car c'est précisément là que les courants harmoniques de rang 3 des phases s'additionnent. Solution passive, son niveau de bruit est très faible et, étant un filtre de type à blocage plutôt que de type à impédance nulle, il n'a aucun effet néfaste sur les signaux logiques et ne provoque aucune instabilité ni résonance dans le réseau. Une bobine d'amortissement intégrée confère aux éléments du filtre une bonne tenue aux pointes de tension **2**.

Le filtre est monté sur le conducteur neutre ou sur le point étoile du transformateur à côté du tableau de distribution du réseau en schéma TN-S **3**. Il est pourvu d'une protection contre les courants de déséquilibre à la fréquence

2 Le conducteur neutre est l'emplacement idéal pour monter le filtre d'harmoniques de rang 3. Solution passive, le niveau de bruit est très faible et il ne provoque aucune résonance dans le réseau. Grâce à une bobine d'amortissement intégrée, les composants du filtre peuvent supporter les pointes de tension.



Contrat Emerald d'EDF en France limite déjà l'injection de courant à 34 A et 4% respectivement, alors que la norme IEEE 519 préconise 5% pour les gros abonnés dans le réseau. Le filtre d'harmoniques de rang 3 peut réduire les niveaux d'injection aux PCC des consommateurs vers le réseau public tout en diminuant la distorsion de tension du côté de l'alimentation **4**.

fondamentale de 50 Hz et contre les surintensités à 150 Hz.

Réduction efficace des courants du neutre et injectés dans le réseau

En plus de supprimer en moyenne 95% des harmoniques de rang 3 dans le conducteur neutre, le filtre élimine également le courant à 150 Hz dans les conducteurs de phase. Un défi majeur à relever dans les années à venir sera le maintien de faibles niveaux d'injection au point de couplage commun (PCC); les normes comme G5/3 au Royaume-Uni ou le

Capacité accrue du réseau et pertes en ligne réduites

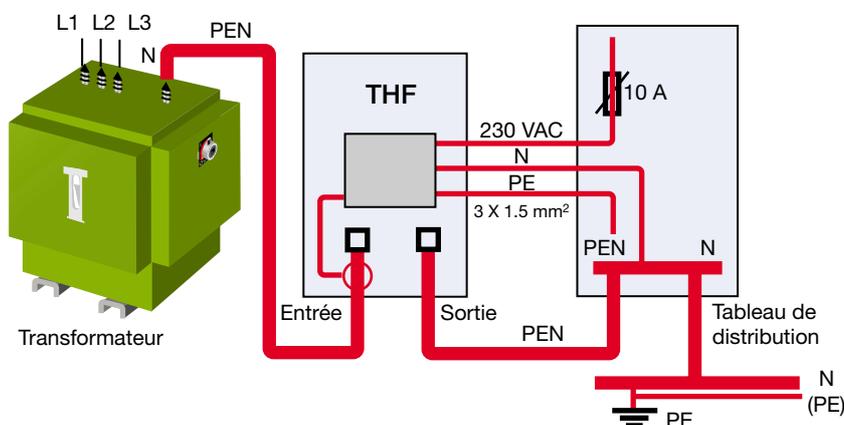
Le courant harmonique de rang 3 dans le réseau basse tension (BT) forme une boucle qui englobe les appareils monophasés, les conducteurs de ligne, les tableaux de distribution, le point étoile du transformateur et le conducteur neutre, où il est induit dans l'enroulement en triangle moyenne tension (MT). A l'état équilibré, le courant harmonique de rang 3 ne se propage pas au réseau MT mais circule dans l'enroulement en triangle, où il augmente les pertes ohmiques et la température de fonctionnement tout en réduisant

Problèmes causés par les harmoniques de rang 3

- Courants au sein de l'installation
- Surcharge des neutres
- Echauffement des transformateurs
- Déclenchement intempestif des disjoncteurs
- Surcharge des condensateurs de compensation du facteur de puissance
- Effet de peau
- Echauffement des moteurs asynchrones
- Courants dans le point de couplage commun
- Champs magnétiques
- Scintillement des écrans

la capacité de charge utile. Les courants harmoniques, de fréquence supérieure, contribuent également à l'augmentation des pertes magnétiques dans le noyau, des pertes par courant de Foucault et des pertes dues à l'effet de peau dans les enroulements.

3 Raccordement du filtre d'harmoniques de rang 3 (THF), avec sa protection, au point étoile du transformateur.



Economies d'énergie

En atténuant l'harmonique de rang 3, non seulement on prolonge la durée de vie des composants du réseau, mais on diminue aussi les pertes en réduisant la composante de puissance. Le filtre d'harmoniques de rang 3 lui-même consomme très peu de puissance (les pertes par unité sont de 40 W).

En plus de limiter les risques d'incendie liés à la surcharge des conducteurs, les utilisateurs y gagnent grâce à la réduction des pertes dans les câbles des immeubles causées par les courants harmoniques élevés. Dans des cas établis de concentration de charges harmoniques de rang 3, des

4 La gamme ABB de filtres d'harmoniques de rang 3, calibrée de 25 A à 3000 A, pour utilisation à l'intérieur et à l'extérieur



économies d'énergie entre 4 et 5% ont été mesurées, permettant un retour sur investissement du filtre entre 3 et 10 ans, selon les caractéristiques électriques et la charge réelle des réseaux.

Champs magnétiques

Contrairement aux harmoniques 5 et 7 qui s'annulent, le courant harmonique de rang 3 crée un champ magnétique autour des conducteurs des phases et du neutre. Le filtre d'harmoniques de rang 3 atténue les

courants dans les conducteurs de phase, de neutre et de terre du réseau en schéma TN-C. En atténuant l'harmonique de rang 3, le champ magnétique global dans un immeuble type de bureau ou d'un hôpital est réduit d'environ 50% 5.

Spécification du filtre

Le filtre d'harmoniques de rang 3 est dimensionné selon le fusible ou le transformateur de puissance côté réseau, le principe de base voulant qu'il supporte, dans toutes les situations, les contraintes dynamiques et thermiques au point étoile du transformateur et dans le conducteur neutre, quelle que soit la valeur réelle de la charge apparente, réactive ou de distorsion. Ainsi, on garantit la stabilité du réseau lors des variations de charge.

Des références dans le monde entier

Depuis 1994, les filtres d'harmoniques de rang 3 installés partout dans le monde –

Harmoniques de rang 3 et normalisation

Aujourd'hui, tout le monde reconnaît le marquage «CE» sur les produits électroniques. Ce marquage indique que le dispositif a été testé: il a subi un rayonnement électromagnétique couvrant une large plage de fréquence et on l'a « mis sur écoute » pour savoir quelles fréquences il émet en cours de fonctionnement.

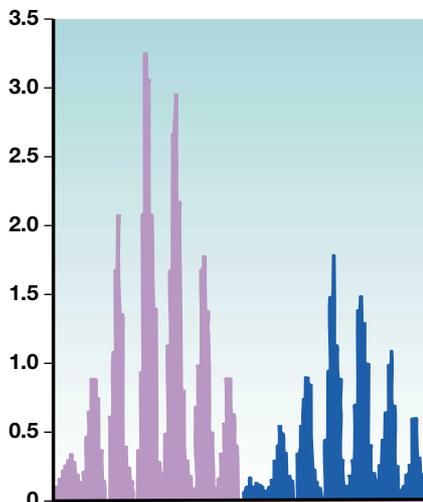
Il s'agit là d'un essai de compatibilité électromagnétique (CEM), plusieurs normes définissant les limites d'émission et de susceptibilité des appareils qui ne peuvent porter le marquage «CE» que s'ils satisfont ces limites.

La norme CEI 1000 partie 3, paragraphe 2 (CEI 1000-3-2), fixe les limites d'harmoniques qu'un dispositif peut produire. Depuis janvier 2001, tous les

dispositifs consommant moins de 16 A doivent *obligatoirement* être conformes – faute de quoi ils ne peuvent être vendus au sein de l'UE! Les normes pour les dispositifs consommant des courants plus élevés sont en préparation. Le document «IEEE 519 Harmonic Guidelines» fixe également des limites et est utilisé par de nombreux pays en dehors de l'UE.

Malgré ces normes, des millions de dispositifs pollueurs resteront en exploitation au cours des décennies à venir. La qualité du réseau devenant une préoccupation majeure et un argument commercial, les filtres décrits dans cet article joueront un rôle de plus en plus important pour contrer la présence de ces dispositifs pollueurs.

5 Mesures de champs magnétiques en plusieurs points d'un grand hôpital. L'installation du filtre d'harmoniques de rang 3 a permis de réduire ces champs de 50% (bleu).



dans des immeubles de bureaux, salles d'informatique, sociétés de radiodiffusion, industries de procédé, hôtels **6**, ou dans d'importants projets d'éclairage ou de serres de culture – ont montré qu'ils sont capables de réduire le courant dans le neutre de 95% avec des économies moyennes de pertes de 4%. En améliorant la qualité du réseau, leur retour sur investissement se situe en général entre 3 et 10 ans.

Pour en savoir plus sur les filtres d'harmoniques de rang 3, nous vous invitons à visiter notre site

<http://www.abb.com/lvswitches>. Un CD-ROM est également disponible pour vous aider à sélectionner le filtre le mieux adapté aux applications envisagées.

Auteur

Jouko Jaakkola

ABB Control Oy

PO box 622

FI-65101 Vaasa, Finlande

jouko.jaakkola@fi.abb.com

Fax: +358 1022 45708

6 Des filtres d'harmoniques de rang 3 d'ABB sont installés dans un immeuble parmi les plus prestigieux au monde: l'hôtel Burj Al Arab de Dubaï. Ils contribuent à réduire la température des conducteurs, ce qui a permis d'utiliser des colonnes de jeux de barres de plus petites dimensions.

