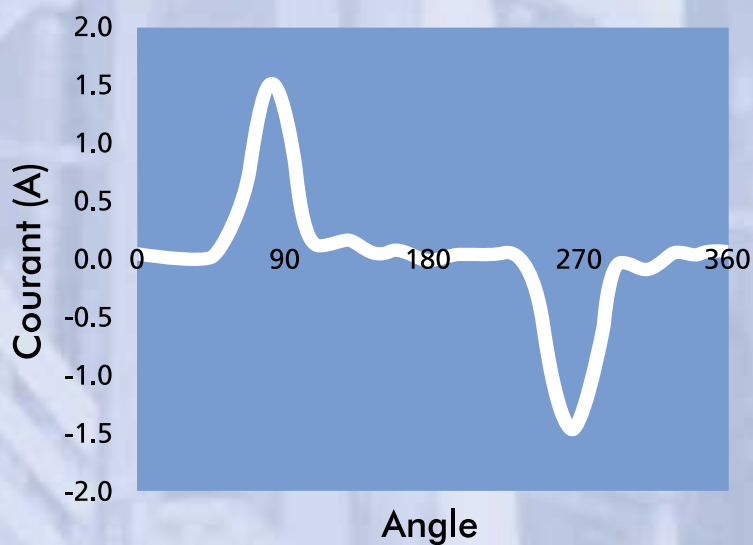
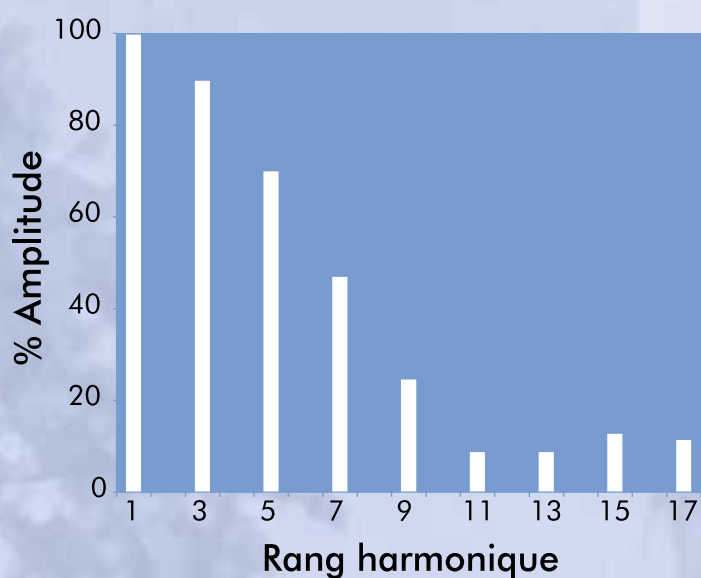


Guide Power Quality

Harmoniques Causes et Effets

3.1



Harmoniques

Causes et Effets

David Chapman
Copper Development Association
Juillet 2002

European Copper Institute

L'European Copper Institute est une joint venture Européenne entre les principaux producteurs de cuivre mondiaux et les fabricants Européens de demi-produits. Créé en 1996, l'ECI assure la promotion du cuivre en Europe avec un réseau de 10 centres de développement basés en Allemagne, au Benelux, en Espagne, en France, en Grèce, en Hongrie, en Italie, en Pologne, au Royaume Uni et en Scandinavie. L'ECI poursuit les efforts initialement engagés par le Copper Products Development Association, créé en 1959, et de l'INCRA (International Copper Research Association) créé en 1961.

Centre d'Information du Cuivre, Laiton & Alliages et Copper benelux

Ce sont les organisations professionnelles des producteurs et des transformateurs de cuivre chargées de promouvoir les applications du cuivre et de ses alliages sur les marchés français et du Benelux. Financés par les producteurs de cuivre du monde entier et par les sociétés fabricants de demi-produits, le Centre d'Information du Cuivre et Copper benelux mettent en œuvre des programmes de développement sur leurs marchés respectifs en coordination avec les structures professionnelles internationales de ses mandants : International Copper Association au niveau mondial, European Copper Institute au niveau Européen. Ils ont pour vocation de produire et de diffuser l'information technique relative au cuivre et à ses alliages, de faire connaître les meilleures méthodes de mise en œuvre des produits dans chacun de leur domaine d'emploi et d'en promouvoir l'utilisation dans les grands secteurs d'application. Le Centre d'Information du Cuivre et Copper benelux sont les coordinateurs respectivement pour la France et le Benelux du programme européen Leonardo relatif à la formation en matière de «Power Quality».

Remerciements

Ce projet a été mis en œuvre avec le soutien de la Communauté Européenne et l'International Copper Association Ltd.

Avertissement

Le contenu de ce projet ne reflète pas nécessairement la position de la Communauté Européenne. De même, il n'implique aucune responsabilité de la part de la Communauté Européenne.

L'European Copper Institute, le Centre d'information du Cuivre et Copper benelux déclinent toutes responsabilités pour toutes conséquences directes ou indirectes ou les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation du contenu ou de l'incapacité à utiliser les informations et les données de ce guide.

Copyright © European Copper Institute, Centre d'Information du Cuivre & Copper benelux

La reproduction complète est autorisée avec mention de la source.



Centre d'Information du Cuivre
Laiton et Alliages

Centre d'Information du Cuivre
30, Avenue de Messine
F-75008 Paris
France

Tél: 00 33 1 42 25 25 67
Fax: 00 33 1 49 53 03 82
Email: centre@cuivre.org
Web: www.cuivre.org

Copper benelux
a division of the European Copper Institute

Copper benelux
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Bruxelles
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 90
Fax: 00 32 2 777 70 99
Email: mail@copperbenelux.org
Web: www.copperbenelux.org



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Bruxelles
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Web: www.eurocopper.org

Harmoniques

Causes et effets

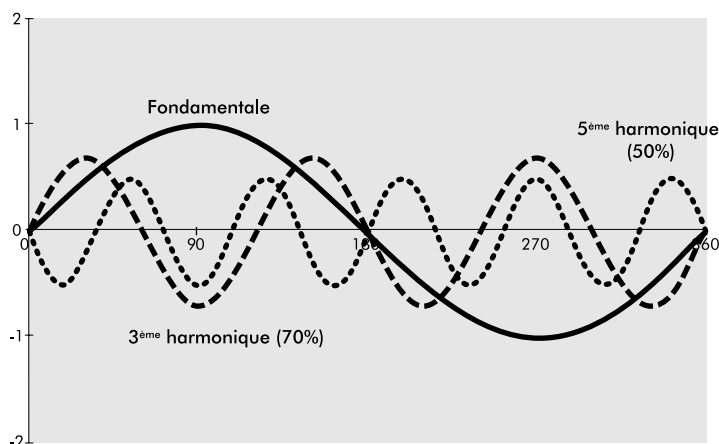


Figure 1 - Onde fondamentale avec les troisièmes et cinquièmes harmoniques

Ce module décrit l'origine des courants harmoniques ainsi que leurs effets dans le système électrique. Les méthodes d'atténuation sont décrites dans le module « Solutions aux harmoniques ».

Les fréquences des harmoniques sont des multiples entiers de la fréquence de l'alimentation ou onde fondamentale. Par exemple pour une alimentation de 50 Hz, la troisième harmonique aura une fréquence de 150 Hz et la cinquième de 250 Hz. La figure 1 illustre une onde sinusoïdale fondamentale avec la troisième et la cinquième harmoniques.

La figure 2 montre le résultat de la somme de 70 % de la troisième harmonique et de 50 % de la cinquième harmonique. On remarquera qu'en pratique l'onde résultante ou onde déformée sera beaucoup complexe que dans cet exemple et contiendra plus d'harmoniques.

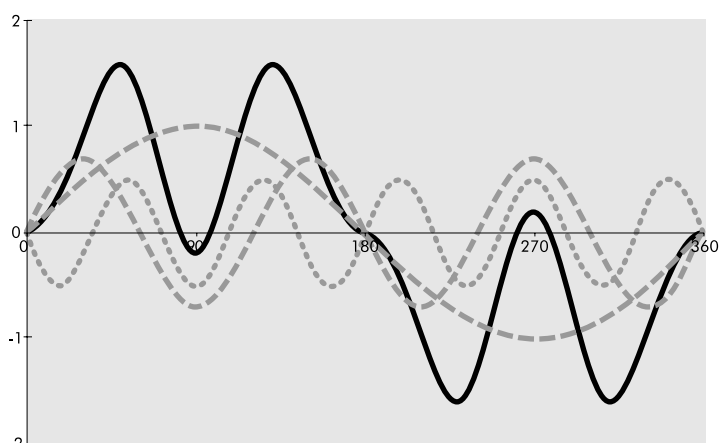


Figure 2 - Onde fondamentale de courant déformée

Il est évident que cette onde déformée ne sera pas sinusoïdale, cela signifie qu'un appareil de mesure comme par exemple un multimètre calibré RMS enregistrant la moyenne des mesures donnera des résultats incorrects.

On remarquera qu'il y a six passages par zéro par cycle au lieu de deux, un appareil utilisant le passage par zéro comme référence ne fonctionnera pas correctement.

Lorsqu'on parle d'harmoniques dans les installations de puissance, ce sont les courants harmoniques qui posent le plus de problèmes. Il est très difficile d'établir un état des lieux sans connaître le spectre

des harmoniques de l'installation, on trouve néanmoins des valeurs indicatives pour le taux de distorsion harmonique - *total harmonic distortion* - THD.

Lorsque les harmoniques se propagent dans le système de distribution y compris dans les branchements non concernés par ce transport de courant elles le font sous la forme de tensions. Il est essentiel de mesurer à la fois les valeurs des distorsions de courant et de tension. Conventionnellement, les mesures de distorsion du courant portent le suffixe I, par exemple 35 % de THDI, et celles de la tension le suffixe V, par exemple 4 % de THDV.

Les courants harmoniques existent dans les systèmes électriques depuis de nombreuses années. Au départ, ils étaient produits par les redresseurs à vapeur de mercure utilisés pour convertir le courant alternatif en courant continu pour la traction et par les variateurs de vitesse à courant continu utilisés par l'industrie. Plus récemment, le nombre et le type d'appareils susceptibles de créer des harmoniques ont augmenté et continueront à le faire. Les concepteurs et les bureaux d'études devront donc prendre de plus en plus en considération les harmoniques et leurs effets. Ce module décrit comment et pourquoi les harmoniques sont générées, comment elles affectent l'installation électrique et les appareils et comment en minimiser les effets.

Types d'appareils et d'équipement générant des harmoniques

Toutes les charges non linéaires génèrent des courants harmoniques. En font partie :

Les charges monophasées

- ◆ Alimentation commutable marche/arrêt (*Switched Mode Power Supply* ou SMPS)
- ◆ Ballast électronique pour l'éclairage fluorescent
- ◆ Les unités ASI (alimentation sans interruption)

Les charges triphasées

- ◆ Variateurs de vitesse
- ◆ Les unités ASI (alimentation sans interruption)

Les charges monophasées

SMPS - Switched Mode Power Supply

La majorité des appareils électriques modernes utilisent des alimentations SMPS. Ces alimentations sont différentes des anciens systèmes. Le transformateur et le rectificateur sont ici remplacés par un contrôle direct de l'alimentation: un condensateur est mis sous tension et fournit le courant demandé par la charge en fonction de la tension et du courant de sortie. L'avantage pour le fabricant est que les dimensions, le poids et le coût sont nettement réduits et que les unités peuvent être réalisées selon différents modèles. L'inconvénient est

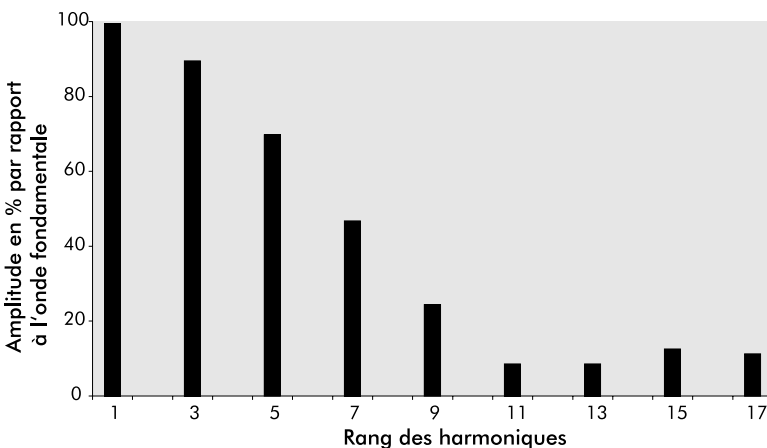


Figure 3 - Spectre des harmoniques d'un ordinateur de bureau

qu'au lieu de produire une onde de courant continu depuis l'alimentation, l'unité produit des impulsions contenant de grandes quantités d'harmoniques de rang 3 et supérieurs. Un filtre est placé à l'entrée pour dériver les composants à hautes fréquences de la ligne et du neutre vers la terre. Il n'a cependant pas d'effet sur les courants harmoniques qui reviennent vers l'alimentation. Les effets de ces filtres vers la terre sont expliqués dans le module 6.

Les alimentations ASI monophasées ont un spectre harmonique très similaire à celui des alimentations SMPS.

Pour les unités SMPS de forte puissance on utilise la méthode dite de « correction du facteur de puissance ». L'objectif est de rendre le profil de la charge d'alimentation équivalent à celui d'une charge résistive. Le courant d'entrée apparaît comme sinusoïdal et non pulsé, il est en phase avec la tension appliquée. On obtient ce résultat en créant un courant d'entrée dont la forme est une onde triangulaire haute fréquence transformée en sinusoïde par l'intermédiaire d'un filtre à l'entrée. Ce niveau de sophistication n'est pas applicable aux unités bon marché qui alimentent la majeure partie des charges dans les installations commerciales et industrielles.

Ballast pour l'éclairage fluorescent

Les ballasts électroniques se sont développés ces dernières années afin d'optimiser les rendements énergétiques. Ils ont généralement un rendement à peine supérieur à celui des ballasts magnétiques, la majorité du gain est attribuable à l'augmentation du rendement de la lampe utilisée à de plus hautes fréquences. Le principal avantage est que le niveau d'éclairage peut être maintenu pour une durée plus longue par un contrôle a posteriori du courant de passage, cette pratique conduit cependant à une



Figure 4 - Spectre des harmoniques pour une lampe fluorescente

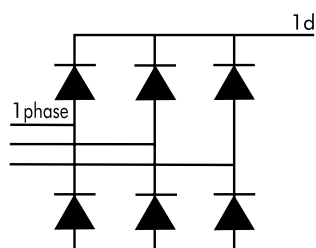


Figure 5 - Pont triphasé (6 impulsions)

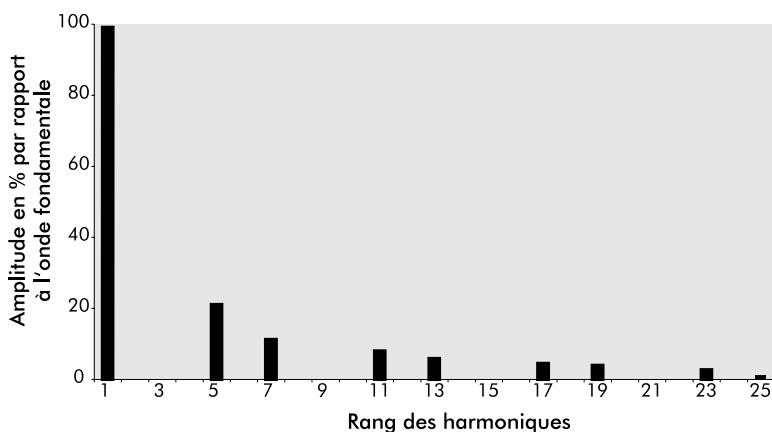


Figure 6 - Spectre des harmoniques pour un pont triphasé (6 impulsions)

diminution du rendement global. L'inconvénient majeur est qu'ils génèrent des harmoniques. Les modèles équipés de la correction du facteur de puissance et ayant rendement supérieur existent mais sont plus coûteux. Les petites unités ne sont généralement pas équipées de ce système. Les lampes fluorescentes compactes sont proposées en remplacement des lampes à filament de tungstène. Un ballast miniaturisé est logé dans le boîtier et contrôle le tube fluorescent. Les lampes fluorescentes d'une puissance de 11 W sont proposées en remplacement des lampes de 60 W et ont une espérance de vie de 8 000 heures. Le spectre des courants harmoniques générés par ces lampes est illustré à la figure 4. Ces lampes sont de plus en plus utilisées en remplacement des lampes à incandescence dans les secteurs domestique et tertiaire. C'est principalement dans les hôtels que des problèmes d'harmoniques liés à ces lampes peuvent surgir.

Charges triphasées

Les variateurs de vitesse, les unités ASI et les convertisseurs de courant sont d'une façon générale alimentés par un pont triphasé avec un nombre de pulsation égale à 6.

Un pont à 6 impulsions produit des harmoniques dominantes de rang $6n \pm 1$. En théorie, l'importance de chacune des harmoniques est proportionnelle à la valeur de son rang. Par exemple, il y aura 20 % d'harmonique de rang 5 et 9 % d'harmonique de rang 11, ...

Un spectre typique est donné à la figure 6.

L'amplitude des harmoniques est réduite significativement par l'emploi d'un pont à 12 impulsions.

Il s'agit en fait de deux ponts à 6 impulsions, alimentés par un transformateur (étoile ou triangle) provoquant un déphasage de 30° . Les harmoniques de rang 6 sont en théorie supprimés mais en pratique la réduction dépend du rendement du convertisseur et le facteur de réduction moyen est de l'ordre de 20 à 50.

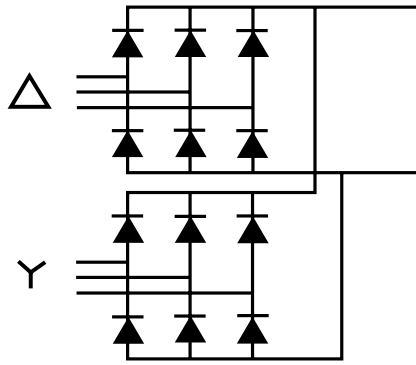


Figure 7 - Pont à douze impulsions

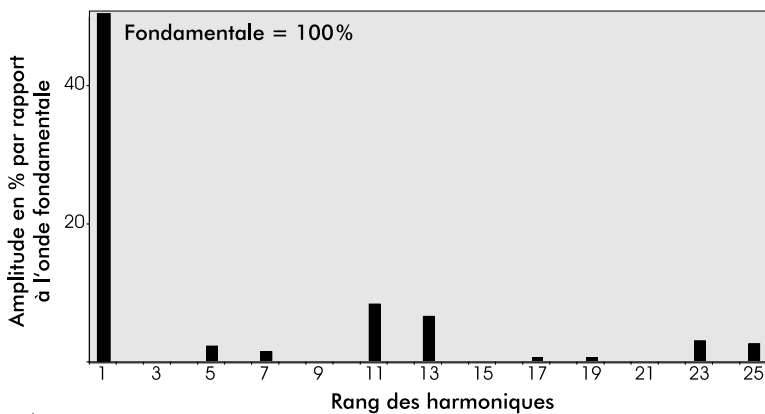


Figure 8 - Spectre des harmoniques pour un pont triphasé (12 impulsions)

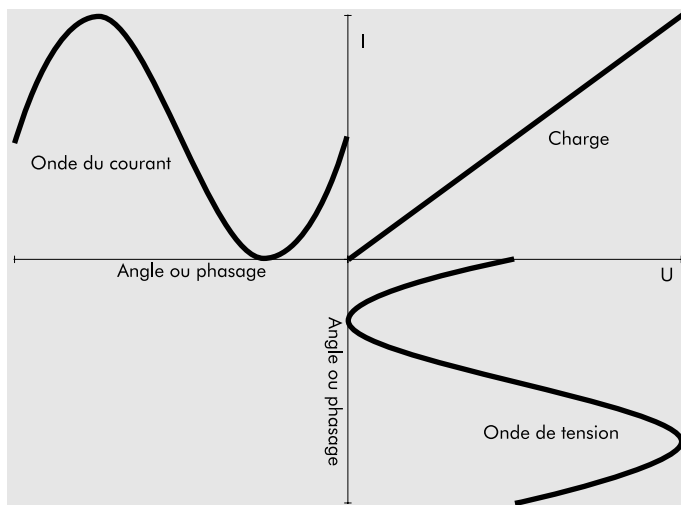


Figure 9 - Onde du courant pour une charge linéaire

Les harmoniques de rang 12 demeurent inchangées. Dans ce cas, le courant harmonique total est réduit mais les harmoniques résiduelles sont d'un rang élevés ce qui rendra le dimensionnement d'un filtre plus aisé. Les producteurs d'appareils prennent certaines mesures en vue de réduire l'importance des courants harmoniques comme par exemple l'ajout de filtre ou d'inducteurs en série. Ces équipements sont qualifiés comme répondant aux normes « G5/3 ». Il est important de noter que cette norme s'applique à l'installation et qu'il est donc impossible de dire si elle sera respectée sans connaître les spécifications des équipements du site. Une nouvelle augmentation du nombre de impulsions de 12 à 24 en utilisant deux unités à douze impulsions en parallèle avec un déphasage de 15°, réduira le courant harmonique d' environ 4,5 % du courant d'alimentation. Cependant la sophistication des équipements est telle que les coûts deviennent prohibitifs et de ce fait ces équipements ne sont utilisés qu'en cas de nécessité absolue.

Génération des harmoniques

Dans un système idéal, la forme de l'onde du courant et de la tension sont des sinusoïdes parfaites. En pratique des courants non sinusoïdaux apparaissent lorsque la charge n'est pas linéaire. Dans le cas d'un circuit simple contenant uniquement des charges linéaires résistives, inductives ou capacitatives ; le courant sera proportionnel à la tension appliquée pour une fréquence donnée. Si une tension sinusoïdale est appliquée à ce système le courant aura la même forme, comme illustré à la figure 9. La courbe de charge est la relation entre la tension appliquée et le courant qui en résulte dans la charge. La cas illustré à la figure 9 correspond à une charge linéaire. Il faut remarquer que si un élément réactif est placé dans le circuit, il y aura un déphasage entre la tension et le courant ; le facteur de puissance est réduit mais le circuit ou la courbe de charge sont encore linéaire.

Causes et Effets

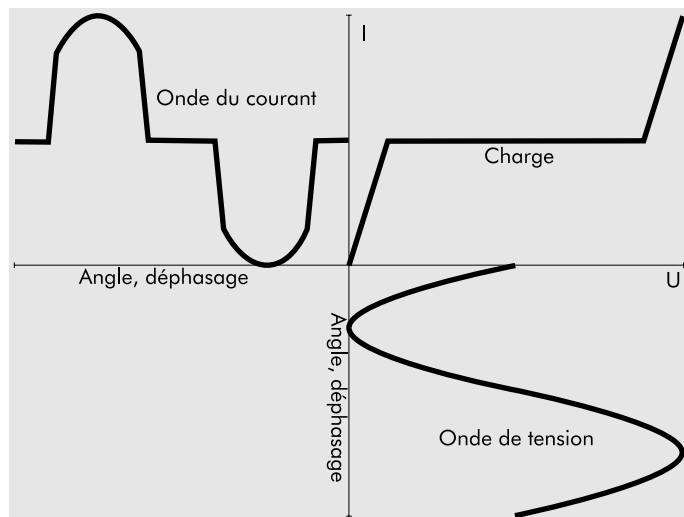


Figure 10 - Onde du courant pour une charge non linéaire

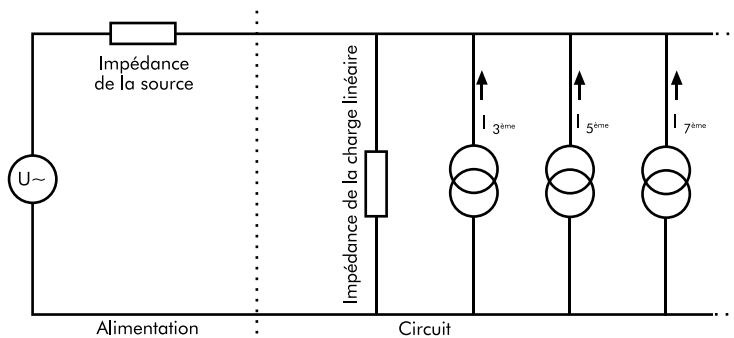


Figure 11 - Circuit équivalent d'une charge non linéaire

Il est établi sur base d'une charge non linéaire mise en parallèle avec un certain nombre de sources de courant; chaque source correspondant à un rang d'harmonique. Les courants harmoniques générés par la charge vont circuler dans le circuit et des tensions harmoniques vont apparaître. Les générateurs d'harmoniques sont considérés parfois comme des générateurs de tension cependant si c'était le cas, l'impédance de la source n'aurait aucune influence sur l'ampleur de la tension harmonique. En réalité, l'ampleur de la tension est proportionnelle- jusqu'à certaines limites- à la valeur de l'impédance de la source, ce qui indique que le générateur se comporte plutôt comme une source de courant. Comme l'impédance de l'alimentation est faible, la tension harmonique résultant d'un courant harmonique sera faible et bien souvent largement inférieure aux valeurs du courant circulant dans le réseau. Cette situation permettrait de penser qu'il n'y a pas de problèmes liés aux courants harmoniques alors qu'ils sont présents. Nous sommes dans le même cas de figure que celui de mesurer un courant de terre avec un voltmètre. Chaque fois que l'on soupçonne la présence d'harmoniques ou qu'on essaye de vérifier leur absence, il est impératif de mesurer le courant.

Problèmes causés par les harmoniques

Les courants harmoniques engendrent des problèmes tant au niveau de la distribution qu'au niveau de l'installation. Les effets et les solutions sont divers et il convient de les traiter séparément.

Problèmes au niveau de l'installation

- ◆ Problèmes causés par les courants harmoniques:
 - ◆ surchauffe du neutre
 - ◆ surchauffe des transformateurs
 - ◆ déclenchement intempestif des coupes-circuits
 - ◆ surcharge des condensateurs ($\cos \varphi$)
 - ◆ effet de peaux dans les conducteurs
- ◆ Problèmes causés par les tensions harmoniques:
 - ◆ distorsion de la tension
 - ◆ au niveau des moteurs à induction
 - ◆ de bruit lors du passage à zéro
- ◆ Problèmes causés par les courants harmoniques au niveau de l'alimentation

Les paragraphes suivants traiteront de ces différents problèmes.

Problèmes causés par les courants harmoniques

Surchauffe du neutre

Dans un système triphasé, la tension est déphasée de 120° si bien que lorsque les charges sont égales, le courant résultant dans le neutre est nul. Lorsque les charges ne sont pas équilibrées, seule la résultante de la somme des courants de retour se retrouve dans le neutre. Ce principe était admis et a conduit à un sous-dimensionnement du neutre. Toutefois 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 à la figure 12. Sur cette figure, les courants de phase sont introduits avec un déphasage de 120° . La troisième harmonique de chacune des phases est identique avec une fréquence triple et donc un cycle trois fois plus court.

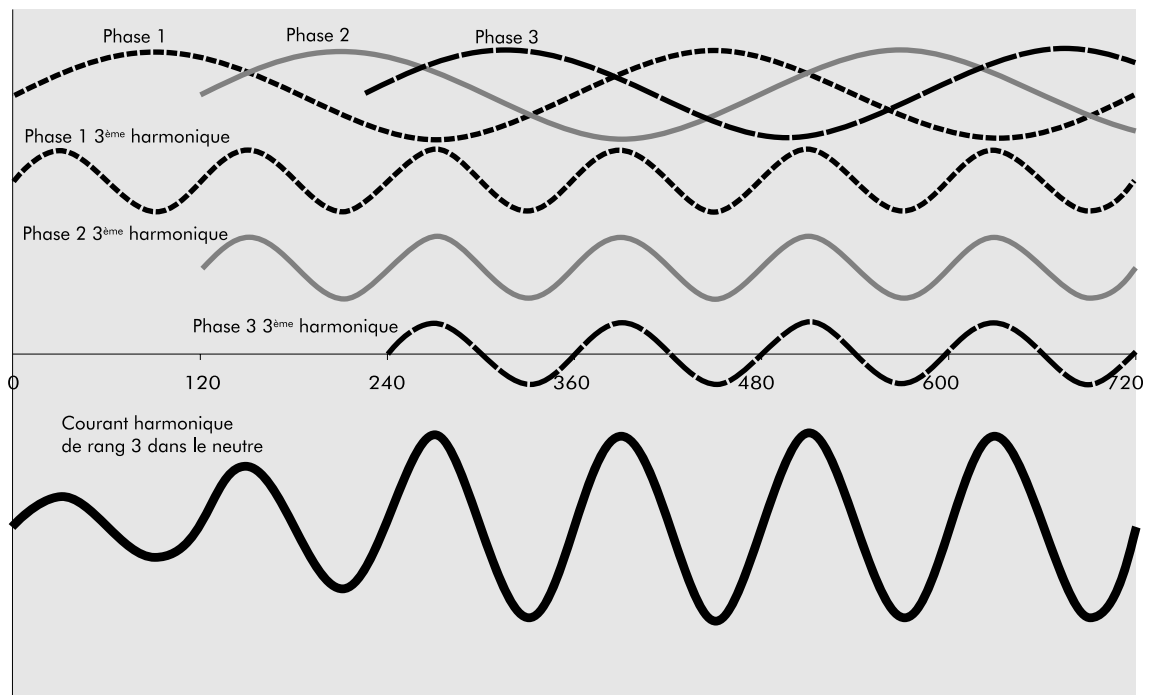


Figure 12 – Addition des courants harmoniques de rang trois dans le neutre

Causes et Effets

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.

Des mesures dans des immeubles commerciaux donnent des valeurs de l'ordre de 150 à 210 % des courants de phase dans les conducteurs neutres.

La solution simple consiste à doubler la section du neutre soit avec un conducteur soit avec deux conducteurs neutres de section égale à 50 % de celle des conducteurs de phase. La situation lorsque l'on utilise des câbles à âmes multiples est plus complexe. Les évaluations de ces câbles (par exemple IEC 60364-5-523 tableau 52 et BS 7671 annexe) présume que la charge est équilibrée et que le conducteur neutre ne transporte aucun courant ; en d'autres termes, seuls trois des quatre ou cinq des conducteurs transportent un courant et s'échauffent. Comme la capacité maximale du câble est définie uniquement par la quantité de chaleur qu'il peut dissiper, il s'ensuit que pour des câbles soumis à des courants harmoniques (de rang trois) il faudra réduire la charge admissible.

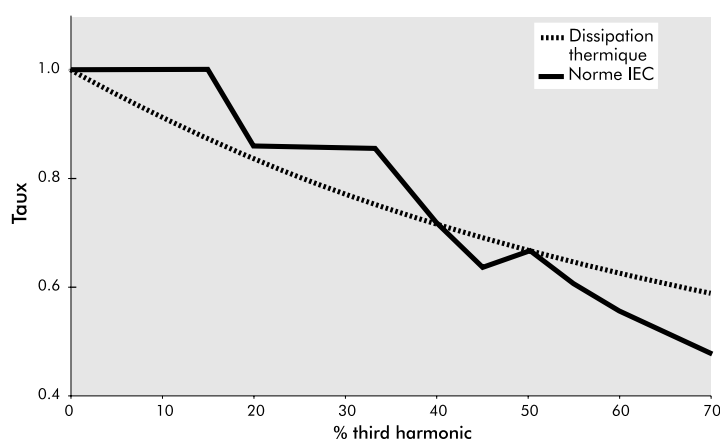


Figure 13 - Diminution de la capacité d'un câble en tenant des harmoniques de rang 3

Dans l'exemple ci-dessus, le câble transporte 5 unités de courant- 3 dans les phases et 2 dans le neutre- alors qu'il est dimensionné pour 3 unités de courant. Il faudrait donc réduire la charge d'environ 60 %.

La norme IEC 60364-5-523 annexe C suggère, à titre d'information, une série de facteurs de réduction de la charge en fonction du pourcentage de courant d'harmonique de rang 3 présent dans l'installation. La figure 13 compare le facteur de réduction de charge par rapport à un contenu d'harmonique de rang trois selon le document IEC 60364-5-523 et selon la méthode thermique. Les règlements sont en discussion et il est probable que de nouvelles réglementations soient introduites prochainement.

Effets sur les transformateurs

Les transformateurs sont affectés à deux niveaux. Premièrement, les pertes par courants de Foucault représentent environ 10 % de la perte totale à pleine charge et augmentent en fonction du carré du rang des harmoniques. En pratique pour un transformateur travaillant à pleine charge et alimentant des équipements informatique, les pertes totales seront deux fois plus élevées que pour l'alimentation d'une charge linéaire. Le résultat est une température beaucoup plus élevée réduisant d'autant la durée de vie du transformateur. En fait dans ces conditions extrêmes la durée de vie serait réduite de 40 ans à probablement 40 jours. Heureusement les transformateurs fonctionnant à pleine charge sont rares, mais il est important de tenir compte de cet effet lors du choix.

Le deuxième effet concerne les harmoniques de rang trois. Elles se retrouvent en phase dans le bobinage d'un transformateur raccordé en triangle. Elles seront absorbées par ce bobinage et ne seront pas distribuées vers l'alimentation. Il est important de noter que les harmoniques impaires non multiples des harmoniques de rang trois passeront vers la distribution. Cette question sera étudiée en détail dans un autre module de ce guide.

Déclenchement intempestif des coupes-circuits

Les coupes-circuits contre le courant résiduel ou courant de court-circuit (RCCB- *Residual Current Circuit Breakers*) additionnent les courants des phases et celui du neutre et si le résultat n'est pas dans la limite fixée, ils déconnectent la charge. Un déclenchement intempestif peut survenir à cause des harmoniques pour deux raisons. Premièrement, étant un module électromécanique, il ne peut additionner correctement les

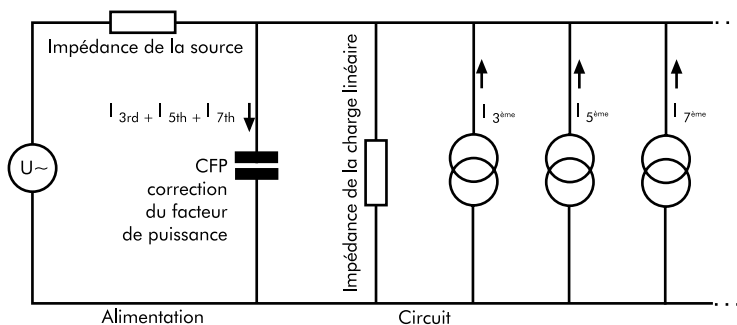


Figure 14 - Circuit équivalent d'une charge non linéaire avec condensateur (CFP)

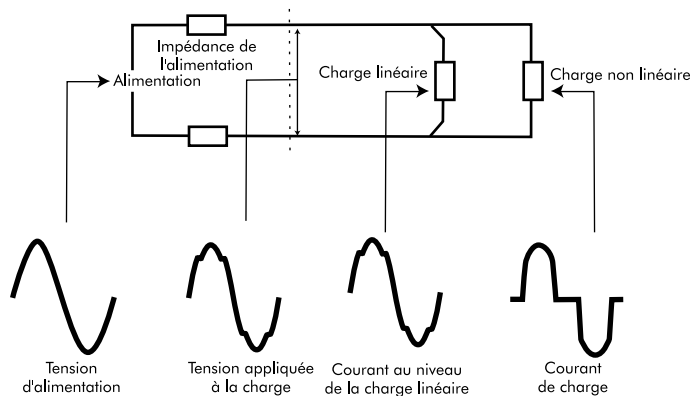


Figure 15 - Déformation de la tension due à une charge non linéaire

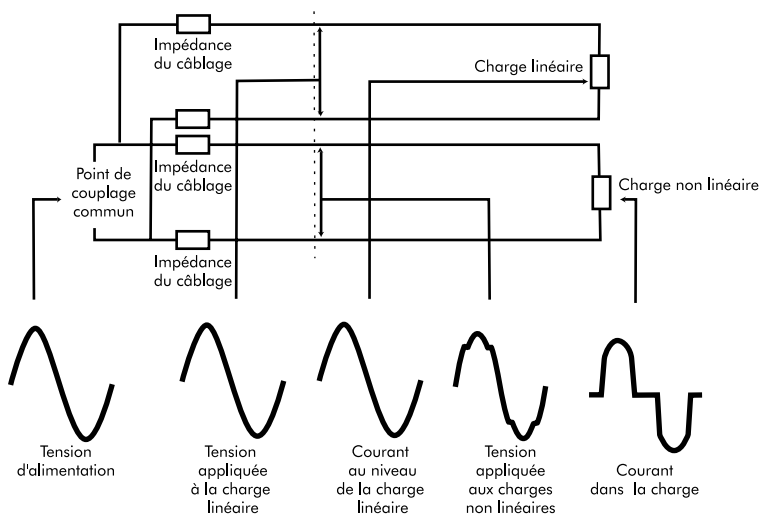


Figure 16 - Séparation des charges linéaires et non linéaires

composants à haute fréquence et se déclenche donc de façon erronée. Deuxièmement, les équipements créant des harmoniques provoquent un bruit dû à la commutation qui est filtré lors de la connexion au secteur.

Les filtres habituellement utilisés ont un condensateur entre la ligne et le neutre par rapport à la terre, et donc il y aura une faible perte vers la terre. Ce courant est limité par les normes à 3,5 mA. Il est généralement beaucoup plus faible. Cependant lorsque l'équipement est connecté à un seul circuit, le courant harmonique peut être suffisant pour déclencher le coupe-circuit. Il est possible de remédier à cette situation en prévoyant plusieurs circuits, chacun d'eux alimentant moins de charges.

Un autre module de ce guide décrit plus en détail le problème des courants importants au niveau du neutre. Les coupes-circuits miniaturisés (MCB- *Miniature Circuit Breakers*) se déclenchent lorsque le courant circulant dans le circuit est plus élevé que celui calculé ou mesuré sans tenir compte de la présence de courants harmoniques. La plupart des appareils de mesure portables ne mesurent pas les valeurs RMS réelles et peuvent sous-estimer les courants non-sinusoidaux de 40 %. Le module 3.2.2 (RMS vraie- la seule mesure correcte) traite en détail de ce problème.

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

Les condensateurs pour la correction du facteur de puissance sont prévus pour compenser le déphasage du courant dû à une charge inductive tel qu'un moteur. La fig. 14 montre le circuit équivalent de ce système en présence d'une charge non linéaire. L'impédance du condensateur diminue en fonction de l'augmentation de la fréquence, tandis que l'impédance de la source qui est généralement inductive augmente avec la fréquence. Il est donc probable que le condensateur supporte de très forts courants harmoniques et des dégâts peuvent en résulter s'ils n'ont pas été conçus pour les supporter. Un problème plus grave est que le condensateur entre en résonance

Causes et Effets

avec la source à une fréquence harmonique ou proche de celle-ci. Si cela se produit des courants et des tensions très importants peuvent être générés entraînant alors des pannes catastrophiques. Il est possible d'éviter la résonance en ajoutant en série avec le condensateur une self de façon à ce que l'ensemble soit inductif vis à vis de l'harmonique significative de rang le plus bas. Cette solution limite également le courant harmonique qui peut circuler dans le condensateur. Cependant la taille de la self peut constituer un problème surtout en présence d'harmonique de faible rang.

Effet de peau

Le courant alternatif a tendance à circuler à l'extérieur du conducteur, c'est ce que l'on appelle l'effet de peau. Il est plus important pour les hautes fréquences. Cet effet est habituellement ignoré car il est faible pour les fréquences habituelles. Cependant aux fréquences de plus de 350 Hz soit à partir de la 7^{ème} harmonique et au-delà, l'effet de peau devient de plus en plus important et les pertes par échauffement deviennent plus importantes. En présence de courants harmoniques, les concepteurs doivent prendre cet effet en compte en diminuant la charge dans les câbles. L'utilisation de câbles à plusieurs conducteurs ou de barres omnibus contribue à résoudre ce problème. De plus les assemblages barres omnibus doivent être conçu pour éviter la résonance mécanique aux fréquences harmoniques. La publication 'Copper for Busbar - CDA 22' donne les conseils relatifs à ces assemblages.

Problèmes causés par les tensions harmoniques

En raison de l'impédance de la source, les courants harmoniques engendrent une tension harmonique qui déformera la tension de base (figure 15). L'impédance de la source est constituée de deux éléments : l'impédance du câblage à partir du point de couplage commun et celui de l'alimentation (le transformateur).

Le courant qui est déformé par la charge non linéaire, appliqué à l'impédance du câblage provoque une chute de tension déformée. La tension résultante est appliquée sur toutes les autres charges du circuit, les courants harmoniques y circuleront même si les autres charges sont linéaires.

La solution consiste à séparer les circuits qui alimentent des charges générant des harmoniques de ceux qui alimentent des charges sensibles aux harmoniques, comme illustré à la figure 16. Dans ce cas, des circuits séparés alimentent les charges linéaires et non linéaires à partir du point de couplage commun, si bien que la distorsion de tension causée par la charge non linéaire n'affecte pas la charge linéaire. Lorsqu'on examine l'ampleur de la distorsion de la tension harmonique, il faut se souvenir que lorsque la charge est transférée vers une alimentation ASI ou de secours lors d'une coupure de courant, l'impédance de la source et la distorsion de tension seront beaucoup plus élevées.

Lors de leurs installations les transformateurs seront choisis de façon à avoir une impédance de sortie suffisamment basse et permettant l'évacuation du surplus de chaleur ; en d'autres termes en sélectionnant un transformateur surdimensionné. Le choix d'un transformateur dont la capacité de refroidissement s'effectue par ventilation forcée n'est pas à recommander car des températures trop élevées persisteront au sein de l'appareil diminuant sa durée de vie. Le refroidissement forcé sera réservé au systèmes de secours.

Les moteurs à induction

Les tensions harmoniques entraînent dans les moteurs un accroissement des pertes par courants de Foucault comme dans le cas des transformateurs. De plus, des champs d'harmoniques sont générés au niveau du stator provoquant des pertes supplémentaires tendant à faire varier la vitesse ou même à changer le sens de rotation. Les courants à hautes fréquences induits au niveau du rotor augmentent les pertes. Lorsque des tensions harmoniques sont présentes les moteurs doivent redimensionner afin de prendre en compte les pertes additionnelles.

Bruit lors du passage à zéro

De nombreux appareils de mesure détectent le moment auquel la tension d'alimentation passe par zéro pour déterminer la mise en charge afin d'éviter les phénomènes transitoires lors de l'alimentation des charges inductives. Ceci réduit l'interférence électromagnétique ainsi que les contraintes au niveau des semi-conducteurs des interrupteurs. Lorsque des harmoniques ou des phénomènes transitoires sont présents au niveau de l'alimentation le nombre de passage par zéro augmente et ceci conduit à des dysfonctionnements.

Problèmes d'harmoniques affectant l'alimentation

Lorsqu'un courant harmonique est produit à partir de l'alimentation, il crée une chute de tension harmonique proportionnelle à l'impédance de la source au point de branchement et au courant. Comme le réseau d'alimentation est généralement inductif, son impédance augmentera en fonction de la fréquence. La tension est déformée au PCC à cause des courants harmoniques produits par les autres utilisateurs et à cause des distorsions inhérentes au niveau des transformateurs. Les consommateurs ne sont pas autorisés à ajouter des pollutions dans le réseau au détriment des autres utilisateurs. Dans la plupart des pays, les distributeurs d'électricité ont établi des règlements limitant le niveau de courant harmonique pouvant être produit. De nombreux règlements sont basés sur le G5/3 de la "UK Electricity Association" publié en 1975 et récemment remplacé par le G5/4-2001. Cette norme est décrite en détail dans ce guide.

Mesures visant à réduire les harmoniques

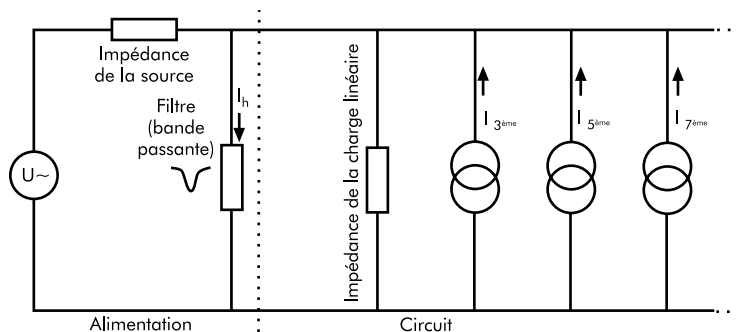


Figure 17 - Filtre parallèle passif

Les mesures permettant la réduction des courants harmoniques seront décrites en détail dans les module suivants de ce guide. Dans ce module, nous donnerons un bref aperçu des différentes options. Les méthodes peuvent être classées en trois groupes : les filtres passifs, les transformateurs d'isolement et les filtres actifs. Chaque option présente ses avantages et inconvénients, et il n'y a donc pas une seule bonne solution. Une étude approfondie permettra d'éviter la mise en œuvre de solution inadéquate ainsi que des investissements inutiles.

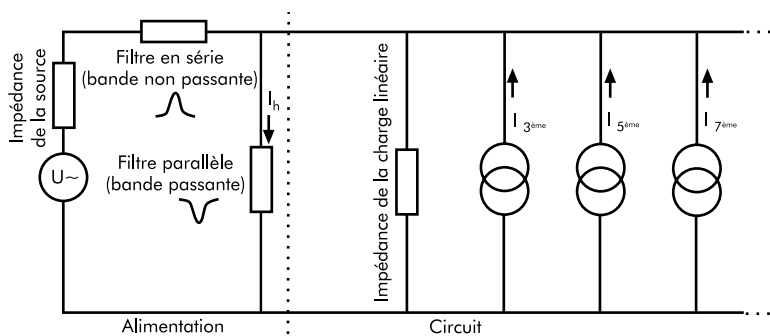


Figure 18 - Filtres passifs en série et parallèle

Filtres passifs

Les filtres passifs sont conçus pour offrir un chemin de faible impédance aux courants harmoniques, de façon à ce qu'ils circulent dans le filtre et non dans l'alimentation (fig. 17).

Le filtre peut être conçu pour une seule harmonique ou pour une série d'harmoniques. Parfois, il peut être nécessaire de concevoir un filtre plus complexe en augmentant les impédances en série aux fréquences harmoniques de façon à réduire la proportion de courant retournant vers l'alimentation (fig. 18).

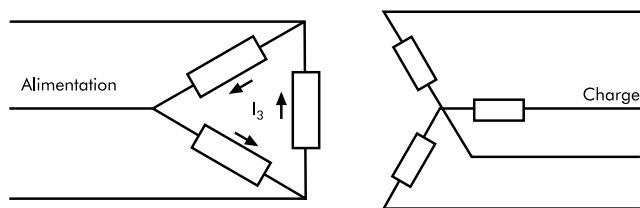


Figure 19 - Transformateurs d'isolement triangle/étoile

Des filtres à fréquence unique placés en série sont parfois utilisés soit sur la phase ou sur le neutre. Ils sont plutôt prévus pour bloquer le courant que le dévier. Ceci conduit à une chute de tension harmonique importante au niveau du filtre.

Causes et Effets

La tension d'alimentation sera fortement déformée et ne répondra plus aux normes pour lesquelles les équipements ont été conçus et garantis. Certains équipements sont peu sensibles à ces distorsions d'autres le sont fortement. Les filtres en série sont utilisables dans certaines circonstances, mais il faut faire preuve de prudence car ils ne peuvent être recommandés comme solution générale.

Transformateurs d'isolement

Comme il a été expliqué précédemment les courants de rang trois circulent dans le circuit secondaire des transformateurs raccordés en triangle. Les fabricants de transformateur prennent ce problème en charge, au niveau de l'utilisateur, il s'agit d'un avantage car les harmoniques de rang trois sont isolées du système. Il est possible d'obtenir le même effet en utilisant un raccordement en "zig-zag".

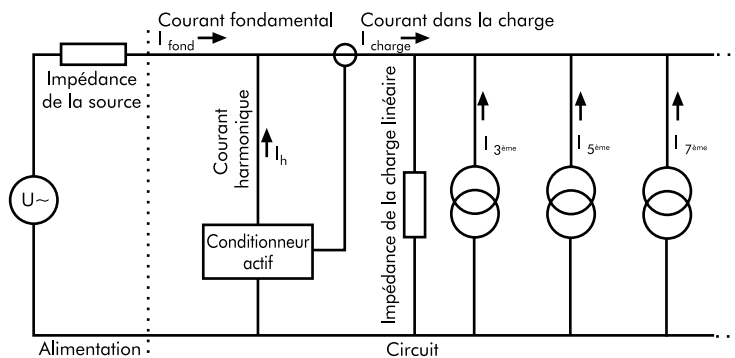


Figure 20 - Conditionneur actif

Les filtres actifs

Les solutions mentionnées jusqu'à présent conviennent uniquement pour des harmoniques particulières; le transformateur d'isolement pour les harmoniques de rang trois et les filtres passifs pour des fréquences connues. Pour certaines installations, le contenu harmonique est difficile à prévoir. Pour beaucoup d'installations alimentant des systèmes informatique, les équipements seront mélangés et déplacés si bien que le contenu harmonique changera constamment. Le filtre ou conditionneur actif constitue ici une solution appro-

prochée. Comme il est illustré à la figure 20, le filtre actif est un équipement du type shunt. Un transformateur de courant mesure le contenu harmonique du courant de charge et contrôle un générateur afin de produire une réplique exacte du courant qui sera injectée lors du cycle suivant. Le courant harmonique est produit par le filtre actif et le courant fondamental par l'alimentation. En pratique les harmoniques de courant sont réduites de 90 % et comme l'impédance de la source est faible aux fréquences harmoniques, la distorsion de tension sera également réduite.

Conclusion

Pratiquement, tous les équipements électriques et électroniques modernes possèdent des SMPS ou un système de contrôle de puissance.

Il en résulte une charge non linéaire. Les charges linéaires sont relativement rares.

Un autre module de ce guide décrit en détail les futures normes pour les équipements. Celles-ci ne sont cependant pas assez sévères pour obtenir un effet au niveau de la pollution harmonique causée par les équipements électroniques comme les ordinateurs.

Ce sont ces équipements qui causent la plupart des problèmes rencontrés dans l'industrie et le commerce, surtout de part leur nombre et de la production d'harmonique de rang trois.

Suite à l'augmentation du nombre des équipements et sans l'application de normes sévères, il est probable que la pollution harmonique continuera à augmenter. C'est un risque pour les entreprises, qui est peut être géré par des investissements appropriés dès la conception, lors de l'achat des équipements et pour la maintenance.

Notes

Partenaires

Copper benelux

168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 90
Fax: 00 32 2 777 70 99
Email: mail@copperbenelux.org
Web: www.copperbenelux.org

Contact: Mr B Dôme

Copper Development Association

Verulam Industrial Estate
224 London Road
St Albans AL1 1AQ
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731205
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Webs: www.cda.org.uk & www.brass.org

Contact: Mrs A Vessey

Deutsches Kupferinstitut e.V

Am Bonnheshof 5
D-40474 Duesseldorf
Germany

Tel: 00 49 211 4796 323
Fax: 00 49 211 4796 310
Email: sfassbinder@kupferinstitut.de
Web: www.kupferinstitut.de

Contact: Mr S Fassbinder

ECD Services

Via Cardinal Maffi 21
I-27100 Pavia
Italy

Tel: 00 39 0382 538934
Fax: 00 39 0382 308028
Email: info@ecd.it
Web: www.ecd.it

Contact: Dr A Baggini

European Copper Institute

168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Web: www.eurocopper.org

Contact: Mr H De Keulenaer

Hevrox

Schoebroekstraat 62
B-3583 Beringen
Belgium

Tel: 00 32 11 454 420
Fax: 00 32 11 454 423
Email: info@hevrox.be

Contact: Mr I Hendriks

HTW

Goebenstrasse 40
D-66117 Saarbruecken
Germany

Tel: 00 49 681 5867 279
Fax: 00 49 681 5867 302
Email: wlang@htw-saarland.de

Contact: Prof Dr W Langguth

Istituto Italiano del Rame

Via Corradino d'Ascanio 4
I-20142 Milano
Italy

Tel: 00 39 02 89301330
Fax: 00 39 02 89301513
Email: ist-rame@wirednet.it
Web: www.iir.it

Contact: Mr V Loconsolo

KU Leuven

Kasteelpark Arenberg 10
B-3001 Leuven-Heverlee
Belgium

Tel: 00 32 16 32 10 20
Fax: 00 32 16 32 19 85
Email: ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be

Contact: Prof Dr R Belmans

Polish Copper Promotion Centre SA

Pl.1 Maja 1-2
PL-50-136 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 78 12 502
Fax: 00 48 71 78 12 504
Email: copperpl@wroclaw.top.pl

Contact: Mr P Jurasz

TU Bergamo

Viale G Marconi 5
I-24044 Dalmine (BG)
Italy

Tel: 00 39 035 27 73 07
Fax: 00 39 035 56 27 79
Email: graziana@unibg.it

Contact: Prof R Colombi

TU Wroclaw

Wybrzeze Wyspianskiego 27
PL-50-370 Wroclaw
Poland

Tel: 00 48 71 32 80 192
Fax: 00 48 71 32 03 596
Email: i8@elektryk.ie.pwr.wroc.pl

Contact: Prof Dr H Markiewicz



David Chapman

 **Copper Development Association**

Copper Development Association
Verulam Industrial Estate
224 London Road
St Albans AL1 1AQ
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731200
Fax: 00 44 1727 731216
Email: copperdev@compuserve.com
Web: www.cda.org.uk
www.brass.org



Centre d'Information du Cuivre
Laiton et Alliage

Centre d'Information du Cuivre
30, Avenue de Messine
F-75008 Paris
France

Tél: 00 33 1 42 25 25 67
Fax: 00 33 1 49 53 03 82
Email: centre@cuivre.org
Web: www.cuivre.org

Copper benelux

a member of the European Copper Institute

Copper benelux
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Bruxelles
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 90
Fax: 00 32 2 777 70 99
Email: mail@copperbenelux.org
Web: www.copperbenelux.org

COPPER
INSTITUTE

European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Bruxelles
Belgique

Tél: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Web: www.eurocopper.org