

1. LES HARMONIQUES

Que sont-elles?

Les charges non linéaires absorbent un courant avec distorsion à cause de la présence de composants à fréquence multiple de la fréquence fondamentale. Les charges non linéaires peuvent être comparées à une surintensité qui est prélevée du système à la fréquence fondamentale et réinjectée sur le réseau aux fréquences supérieures.

La forme d'onde de l'intensité, même avec distorsion, résulte également d'une période à l'autre. Cela signifie que toutes les fréquences de la forme d'onde sont des harmoniques de la fondamentale, et multiple de nombres entiers.

Par exemple, les harmoniques contenues dans la forme d'onde de la figure 1 sont : 1, 5, 7, 11, ...

Pourquoi seulement ces harmoniques ? L'onde de courant avec demi période positive identique à la demi période négative n'a pas d'harmonique paire (2, 4, 6, ...). Les harmoniques impaires multiples de 3 (3, 9, 15, ...) sont habituellement négligeables pour des charges triphasées non-linéaires rencontrées dans le domaine industriel. Elles peuvent être très significatives dans le cas de charge monophasée.

La figure 5 montre les raisons de cet effet. Si les sources harmoniques dans chaque phase sont équilibrées, aucune composante 3 ne pourra être présente sur les conducteurs de phase. Par contre, ces composantes s'additionnent arithmétiquement dans le neutre (s'il existe). La somme des intensités dans le mode de neutre démontre que si le circuit a un conducteur de neutre et est alimenté par des charges monophasées, la composante d'harmonique 3 d'intensité sur le neutre est trois fois plus grande que la composante d'harmonique 3 sur les conducteurs de phase. D'autre part, s'il n'existe pas de conducteurs de neutre, comme dans le cas de charge non linéaire de type industriel, celles-ci ne produisent pas d'harmonique 3 sur les câbles puisque aucun support circulant n'existe. Dans ce cas nous ignorons cet effet lors du calcul des condensateurs de rephasage, alors que l'on peut croire que les harmoniques sont certainement présentes.

Le problème d'harmonique 3 se manifeste le plus souvent sur des réseaux 120V ou 208V où l'installation de condensateurs est peut utiliser. Ils apparaissent aussi dans les réseaux à quatre conducteurs où les charges triphasées peuvent être présent.

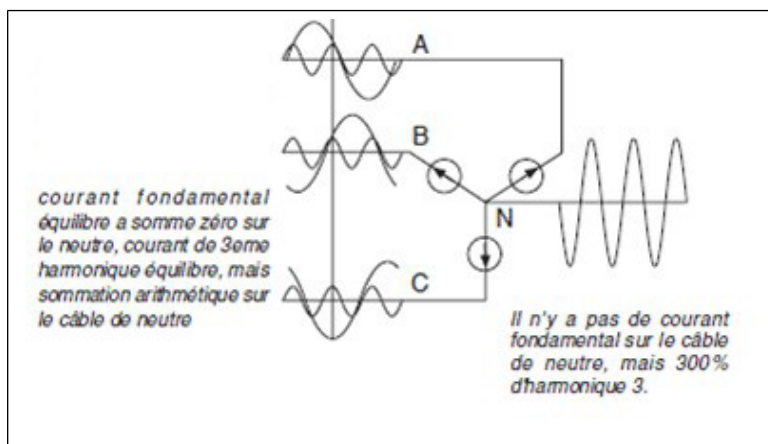


Figure 5: Circulation de courant harmonique multiple de 3

Effet des harmoniques

La présence d'intensité et de tension harmonique peuvent réduire l'efficacité de fonctionnement des équipements et engendre les problèmes décrits ci-dessous.

Détérioration des condensateurs de rephasage

La présence de condensateurs de rephasage sur un réseau électrique augmente potentiellement les problèmes provoqués par les harmoniques. Les condensateurs peuvent créer des phénomènes de résonance en correspondance avec une des fréquences des composantes harmoniques.

Cela peut provoquer une distorsion de tension et/ou de courant qui peut détruire les condensateurs ou provoquer des disjonctions intempestives.

Dégâts sur les appareillages

Les interrupteurs automatiques, variateurs de vitesse, contrôleurs logiques programmables, ainsi que tout autre appareillage électronique peuvent être perturbés sur un réseau avec présence d'harmoniques. Les problèmes les plus fréquents sont des oscillations dans les systèmes de contrôle des moteurs, anomalie ou dégâts sur les disjoncteurs.

La distorsion harmonique en tension peut également provoquer des interruptions plus ou moins prolongées de la tension d'alimentation.

Echauffements des transformateurs

Les pertes par courant de "FOUCAULT" dans les enroulements et les courants dispersés varient avec la fréquence d'intensité dans la charge.

Donc l'intensité de charge avec présence d'harmonique augmente significativement l'échauffement des transformateurs.

Surcharge du conducteur de neutre

On constate une surcharge du conducteur de neutre dans les systèmes triphasés à 4 conducteurs qui alimentent des charges de puissances monophasées avec des composants électroniques.

Comme pour des transformateurs, les harmoniques de courant augmentent l'échauffement du conducteur (cf figure 5).

Les courants d'harmoniques multiples de 3 sur chaque phase s'additionnent sur le neutre. Cependant l'équilibrage des charges élimine la composante de courant fondamentale mais pas pour l'harmonique 3. Le courant sur le neutre peut être dans certains cas supérieur à 70 % de l'intensité sur les conducteurs de phase dans des réseaux qui alimentent des ordinateurs.

2. MESURES DE DISTORSION HARMONIQUE

Il existe plusieurs modes pour indiquer le contenu d'harmoniques d'une forme d'onde.

La plus utilisée est le taux de distorsion harmonique total (THD) qui peut être calculé par la façon suivante:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (M_n)^2}}{M_1}$$

Mh est l'amplitude de la composante harmonique d'ordre h et M1 est l'amplitude de la composante fondamentale.

Le THD ainsi que la vraie valeur efficace d'une forme d'onde sont liés par la relation suivante:

$$rms = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (Mh)^2} = M_1 \cdot \sqrt{1 + THD^2}$$

3. REDUCTION D'HARMONIQUE

Choix des condensateurs et vérification du phénomène de résonance

Dans beaucoup de cas, les phénomènes d'harmoniques peuvent être éliminés ou du moins évités en choisissant des condensateurs adaptés pour ne pas causer des problèmes de résonance.

Dans le cas d'une batterie automatique, la puissance de chaque gradin doit être sélectionnée pour éviter la résonance. Cette technique ne fonctionne pas dans tous les cas. Dans un premier temps, les pics de résonance peuvent être tellement élevés qu'aucun condensateur ne les supporte. D'autre part, si les condensateurs sont contrôlés automatiquement, la diversité des conditions de fonctionnement peuvent rendre impossible l'élimination du phénomène.

Filtres passifs

La solution la plus utilisée pour la réduction d'harmonique est le filtre passif passe-bande (cf figure 6).

Le filtre fournit de la puissance réactive comme une batterie de condensateurs mais les réactances installées déterminent une résonance série qui détourne le courant harmonique dans le filtre. La partie (C) de la ligne montre que le filtre n'élimine pas la résonance parallèle mais la déplace à une fréquence inférieure à la fréquence d'accord.

Afin d'empêcher un dysfonctionnement, les filtres doivent s'enclencher en commençant par les harmoniques inférieurs.

Les filtres passifs sont généralement étudiés en considérant une fréquence d'accord légèrement différente de l'harmonique à filtrer. Dans ce cas, l'impédance du filtre n'est pas égale à zéro, et il est réduit à l'intensité nominale des condensateurs et des inductances.

L'accord est normalement déplacé vers le bas afin de s'assurer que la résonance parallèle est bien au-dessous des harmoniques présentes (la tolérance sur les condensateurs et réactances peut avoir comme conséquence que la fréquence de la résonance parallèle soit supérieure à celle calculée.)

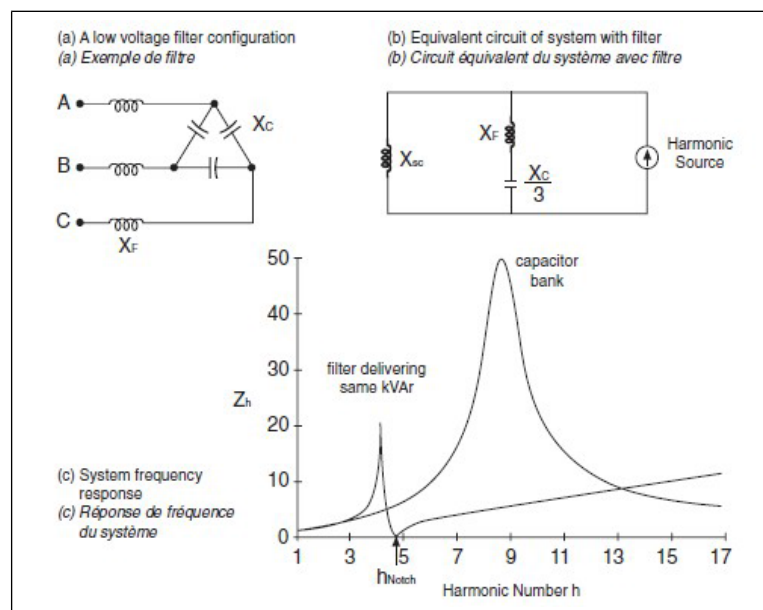


Figure 6: Effet de la fréquence d'accord sur la réaction du système

Filtres modulaires

Concevoir un filtre pour une charge simple sans considérer que cette charge est insérée dans un système avec présence d'autres charges non linéaires serait une erreur.

La surcharge est un problème souvent rencontré après l'installation d'un filtre. En effet, les filtres absorbent les courants harmoniques de toutes les charges non linéaires.

En utilisant des appareils comme des filtres modulaires, on peut être confrontés à des futurs problèmes d'amplitude des applications et des charges fonctionnant à un régime variable.

Filtres actifs: par contre, les filtres actifs, représentent une nouvelle typologie d'appareillage pour la réduction des harmoniques produites par des charges non linéaires.

Ces produits réinjectent un courant correspondant à la composante harmonique totale, donc au sommet du point de connexion du filtre, le réseau est parcouru par un courant égal à la seule composante fondamentale.