

HARMONICS CONSIDERATION

What are harmonic?

Non-linear loads draw current which is distorted resulting in the presence of multiple frequencies. A non-linear load can be visualized as a current source, drawing current from the system at the fundamental frequency, and injecting current back into the system at higher frequencies.

The current waveform, though distorted, is usually identical from one cycle to the next. This means that all frequencies in the waveform are harmonics (integer multiples) of the fundamental. For example, the harmonics contained in the waveform of Figure 1 are 1, 5, 7, 11 ... Why only these harmonics? The current waveforms with identically shaped positive and negative half cycles do not have any even harmonics (2, 4, ...).

Triplen harmonics (odd multiples of 3, 9, 15, ...) are usually negligible for the type of three-phase non-linear loads that we generally encounter for industrial power factor correction. However, they can be quite significant for single-phase loads. Figure 5 shows the reason why. If the harmonic sources in each phase are balanced, any third harmonic components in the phase current must be in phase.

Therefore, they add directly into the neutral, if it exists. Summing currents at the neutral node, N, shows that if the circuit has a neutral wire and is serving single-phase loads, the third harmonic in the neutral current is three times the third harmonic in the phase current.

On the other hand, if there is no neutral wire, as in the case for the larger 3-phase non linear loads industrial plants, there will generally be no third harmonic current in the phase wires because there is no place for it to flow.

Therefore, we commonly ignore these components for design of power factor capacitor installations unless we have special reasons to believe they exist.

The most common location for triplen harmonic problems in an industrial plant is on 120V / 208V circuits where it is not common to place capacitors for power factor correction. They also appear commonly on utility 4-wire distribution feeders because there are several 3-phase loads.

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.

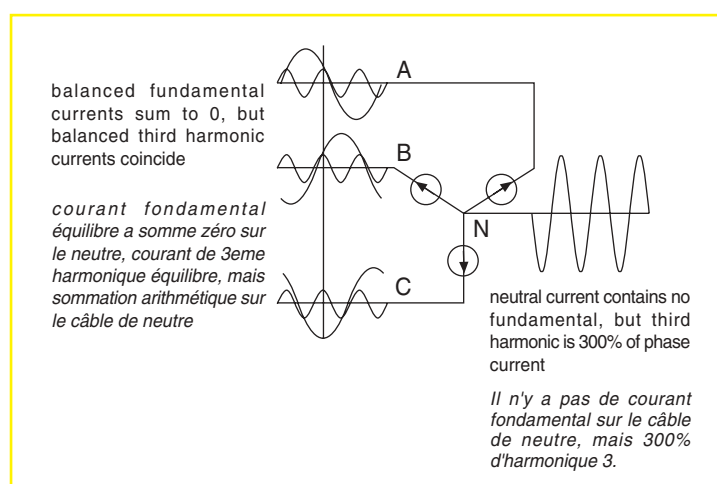


Figure 5: flow of triple harmonic currents

Figure 5: Circulation de courant harmonique multiple de 3

Why the Concern for Harmonics?

Distorted currents and the distorted voltages they create as they flow through system impedances, can reduce equipment operating reliability and service life. Potential problems include the following.

Failure of power factor correction capacitors

The presence of power factor correction capacitors in the building greatly increases the potential for harmonic problems. A capacitor can cause the system to resonate near harmonic frequency, producing high voltage and/or current distortion that can destroy the capacitor or cause nuisance capacitor fuse/breaker operation.

Equipment misoperation

Circuit breakers, adjustable speed drives (ASDs), programmable logic controllers, and other equipment employ control circuits that may not operate correctly in a distorted environment. Distortion of the equipment supply voltage may cause inaccurate measurement of control input signals. It can produce multiple zero crossing per cycle of the input signal waveform, causing crossing detector to malfunction. Typical problems include clocks running fast hunting and oscillation in motor speed control system, and circuit breaker failure to trip or nuisance trips. Voltage distortion can also reduce the ability of electronic equipment to withstand momentary voltage sags and interruptions.

Overheating of transformer

Winding eddy current losses and other stray losses vary roughly with the square of the frequency of the load current. Therefore, harmonic load currents significantly increase transformer heating. This problem is most severe in drive-type transformers.

Overloading of neutral conductor

In three-phase 4-wire circuits serving single-phase electronic power supply loads. As with transformers, harmonic current increase conductor heating. However, the neutral conductor is a special concern due to the phenomenon illustrated in Figure 5. Triplen harmonic currents from each phase add in the neutral. Though balancing loads among the phases will eliminate fundamental current in the neutral, this is not true for the triplen. Neutral current can be approximately 70% higher than phase conductor current for circuits serving balanced computer loads.

Effet des harmoniques

La présence d'intensité et de tension harmonique peuvent réduire l'efficacité de fonctionnement des équipements et engendrer 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.

MEASURE OF HARMONIC DISTORTION

There are several measures used for indicating the harmonic content of a waveform with a single number. One of the most common is Total Harmonic Distortion (THD), which can be calculated for voltage or current:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (M_h)^2}}{M_1}$$

where M_h is the rms magnitude of harmonic component h and M_1 is the magnitude of the fundamental value.

TDH is related to the rms, or root mean square, value of the waveform as follows:

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

HARMONIC MITIGATION

Capacitor sizing to control resonance

In many cases, harmonic problem can be eliminated by selecting capacitor size to avoid problem resonance. For an automatically switched bank, step sizes must be selected to skip over resonance, and the controllers programmed accordingly.

Unfortunately, this technique will not always work. First, the resonant peaks may be so high and broad that any capacitor size within the desired range of compensation is unacceptable. Second, if capacitors are automatically controlled or switched with motors, high diversity in plant load may make it impossible to avoid all resonant configurations.

Harmonic filters

The most common type of filter is the band pass ("notch") filter illustrated in Figure 6. The notch refers to the dip in the characteristic at the tuned frequency.

Notch filters provide reactive compensation like a capacitor bank, but the inductors introduce a series resonance which diverts harmonic current into the filter. Part (c) of the figure shown that the filter does not eliminate parallel resonance - it merely shifts the resonance to some frequency below the notch frequency. In order to prevent a second resonance problem, filters must be added starting with the lowest problem harmonic. For example, a fifth harmonic filter must be in service before a seventh harmonic filter can be energized.

Notch filters are generally tuned below the harmonic to be suppressed. Slightly detuning the filter in this way causes the impedance of the filter at the target harmonic to be not quite zero. This actually reduces capacitor and reactor current duty. The tuning is always below the target harmonic in order to insure that parallel resonance is well below harmonic. (Tolerance in the capacitor and reactor ratings may result in the notch and peak frequencies being higher than calculated.)

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:

M_h est l'amplitude de la composante harmonique d'ordre h et M_1 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:

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 supportent. 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.)

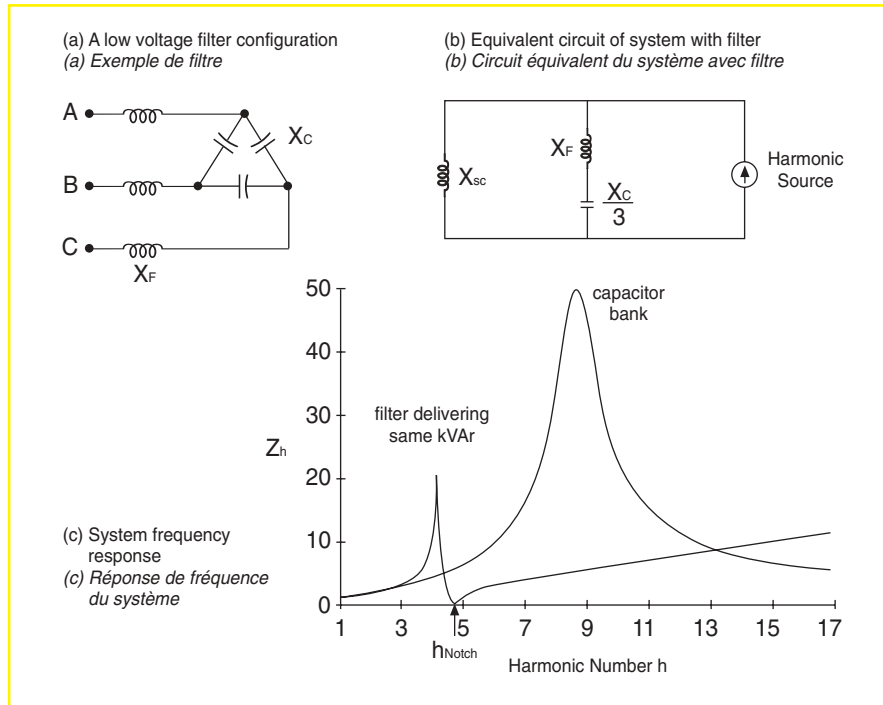


Figure 6:
Effect of notch filter
on system response

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

Modular filter

Designing a filter for individual load, without regard for the system that is the applied on, is asking for trouble. Over load is the most common problem, since the filter will attract harmonic currents from all non-linear loads or the system.

Using equipment with modular filters can create problems if capacitors are added to the system.

Other forms of mitigation

AC line chokes are series reactors used to reduce the harmonic injection from some types of adjustable speed drives (ASD). They are placed in series with the ASD. They are most effective when the capacity of the ASD is small relative to the transformer supplying it. They are also effective in reducing nuisance tripping of ASDs due to capacitor switching transients.

Active Filter has been used in low power applications for some time. Units capable of delivering the high levels of harmonic compensation for industrial applications are becoming available.

Filtres modulaires

Concevoir un filtre pour une charge simple sans considérer que cette charge est insérer 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.