

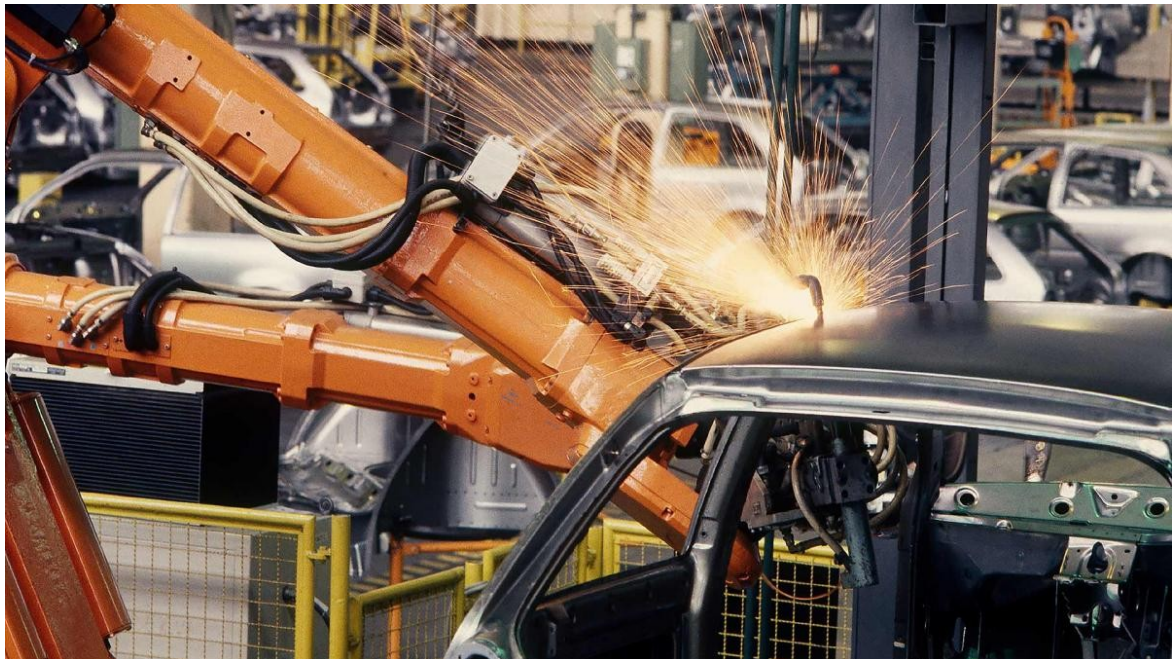
Harmoniques électriques: définition, problématique, solutions

28.11.2023

Les harmoniques électriques, de tension ou d'intensité de courant sont aujourd'hui devenues un paramètre dont la gestion et le contrôle s'avèrent indispensables. En particulier, pour prévenir l'apparition éventuelle de problèmes qui, comme nous le verrons plus tard, sont liés à leur présence sur notre réseau électrique



La gestion et le contrôle des harmoniques électriques sont essentiels pour éviter toute perturbation du réseau électrique



Qu'est-ce qu'une harmonique ?

Commençons par définir le terme "harmonique"

Pour ce faire, remontons au début du XIXe siècle, lorsque le mathématicien Jean Baptiste Fourier a établi que toute forme d'onde périodique peut être décomposée en une somme de sinusoïdales simples, de fréquences et d'amplitudes différentes, appelées harmoniques

Mais voyons un exemple qui nous permet certainement de mieux comprendre le concept

Supposons que l'onde qui apparaît dans la Fig. 1 correspond à « un cycle » de l'intensité de courant dans un réseau de 50 Hz. Autrement dit, qui se répète 50 fois en une seconde et a une durée de 20 millisecondes. S'il s'agissait d'un réseau de 60 Hz, sa durée serait de 16,6 ms. Cette onde sera dite "fondamentale"

Et superposons sur elle une autre onde, de plus petite amplitude, mais de 250 Hz, c'est-à-dire d'une fréquence 5 fois supérieure. Cette onde, celle de la Fig.2 correspondrait à la 5e harmonique, et l'onde qui en résulterait serait celle de la Fig.3

Et pour terminer, superposons sur ces deux ondes une autre de 350 Hz, d'une fréquence 7 fois supérieure à celle de la fondamentale, la 7e harmonique, qui correspond à la Fig.4. L'onde finale qui en résulterait serait celle que nous voyons dans la Fig.5, que nous connaissons de manière informelle sous le nom de "M de McDonalds"

C'est cette onde que nous mesurerions habituellement, par exemple, à l'entrée de la plupart des variateurs de vitesse triphasés, qui sont des charges devenues indispensables dans les installations industrielles

FORMES D'ONDES

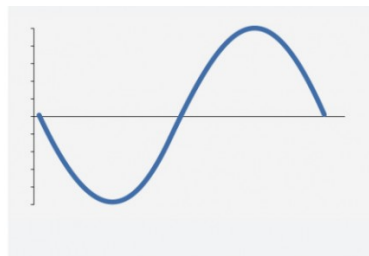


Fig. 1

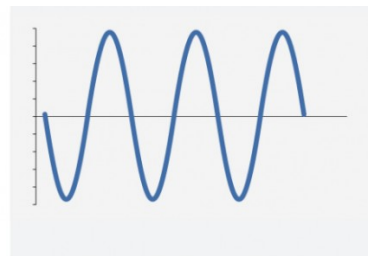


Fig. 2

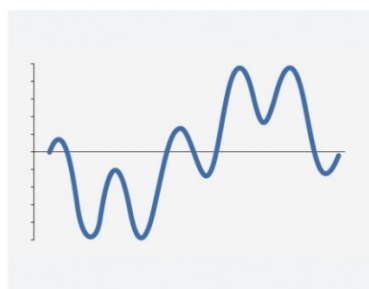


Fig. 3

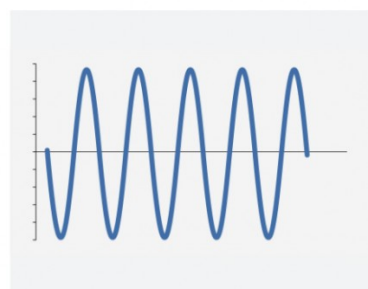


Fig. 4

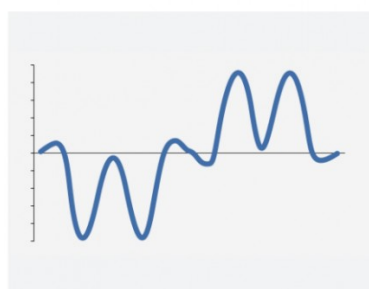
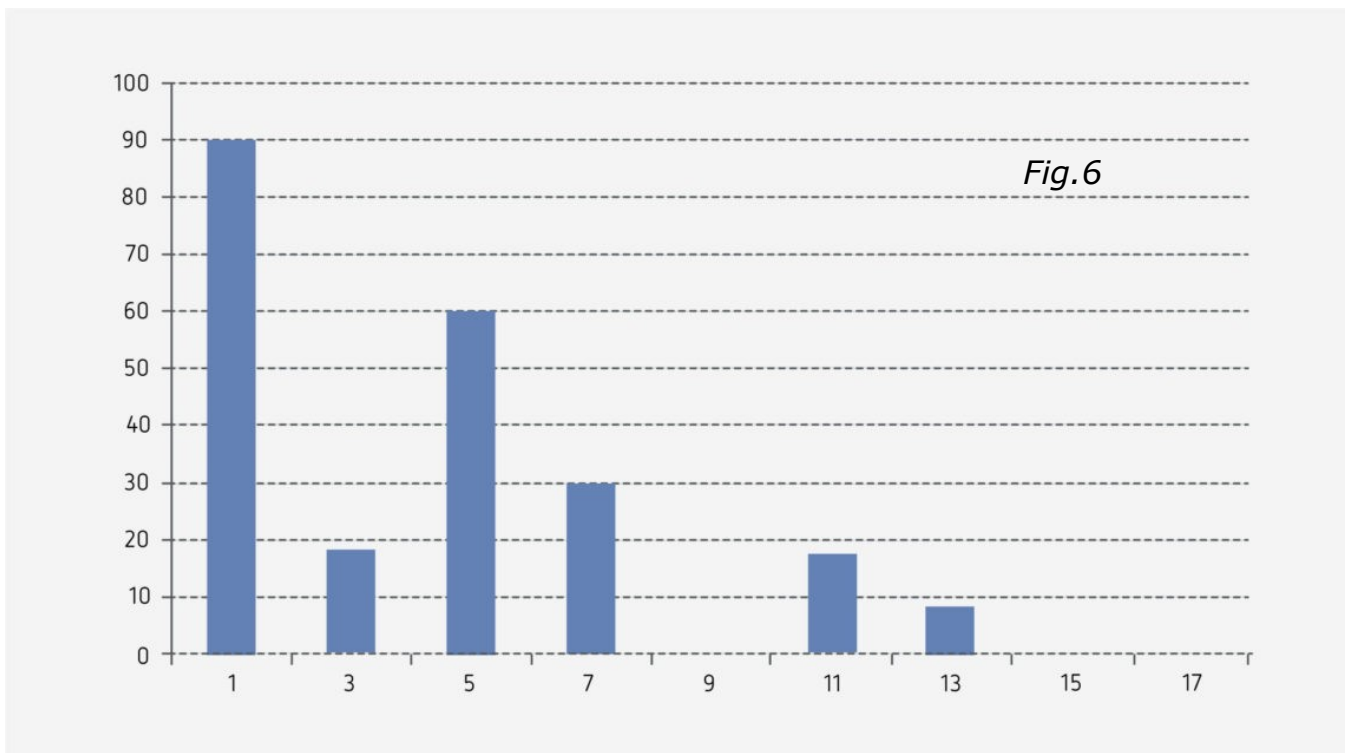


Fig. 5

En définitive, l'onde de courant générée par un variateur de vitesse peut être simplifiée, donc, et de manière très approximative, dans la fondamentale, de 50 ou 60 Hz, et essentiellement les 5e et 7e harmoniques

Nous diviserons donc les charges électriques entre celles qui consomment un courant purement fondamental, que nous appellerons des charges linéaires, telles que les moteurs à induction ou des charges purement résistives; et celles qui consomment un courant fondamental en plus d'autres courants harmoniques, que nous appellerons des charges non linéaires ou à distorsion. Les variateurs de vitesse ou de fréquence, les équipements électroniques monophasés ou les luminaires de type LED en sont des exemples. En résumé, toutes les charges pour lesquelles une phase de fonctionnement implique une conversion de courant alternatif en courant continu



Pour analyser le contenu en harmonique du réseau électrique, nous utiliserons la décomposition en fréquence ou ce que l'on appelle son spectre. C'est-à-dire l'amplitude, ou la valeur, de chaque rang harmonique. *Fig.6*

Ainsi, pour les réseaux à prédominance de charges triphasées, les plus importantes seraient habituellement les 5e, 7e, 11e et 13e, dans cet ordre décroissant de grandeur. Et, dans le cas de réseaux à 4 fils, avec une présence importante de charges monophasées alimentées entre phase et neutre, les 3e, 9e et 15e harmoniques seraient également présentes, en plus des harmoniques précédentes, la 3e étant généralement la plus significative

Et les grandeurs que nous utiliserons habituellement pour évaluer les niveaux d'harmoniques dans le réseau sont les taux de distorsion harmonique, *total harmonic distortion* en anglais, THD (U) pour la tension, et THD (I) pour le courant, qui représentent le pourcentage de la tension ou du courant harmonique, calculé à partir de la valeur RMS, ou somme quadratique des valeurs de chaque fréquence par rapport à la valeur du courant fondamental

Ces taux nous permettront, comme nous le verrons, de déterminer la gravité de la distorsion harmonique dans notre réseau et la nécessité ou non de mettre en œuvre des mesures correctives

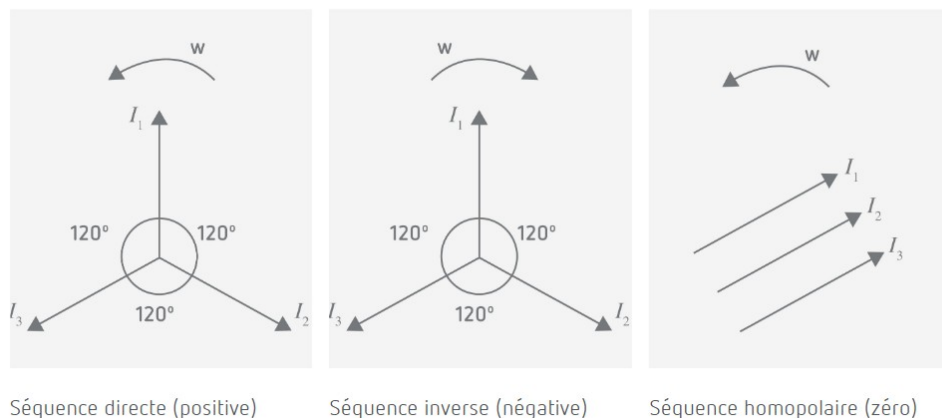
$$THD_U = \frac{\sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \cdot 100 (\%)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \cdot 100 (\%)$$

Un aspect important à considérer est que, comme nous l'avons déterminé, ce sont les charges non linéaires ou à distorsion qui génèrent des harmoniques de courant, et le fait que ces courants harmoniques circulent dans les câbles de distribution provoque des chutes de tension aux différentes fréquences harmoniques. Cela implique l'apparition de tensions harmoniques, c'est-à-dire de distorsions de tension, augmentant ainsi la valeur du THD (U). Les taux de THD (I) et THD (U) seront donc toujours des valeurs à analyser conjointement, lorsque la nécessité de résoudre une quelconque problématique liée aux harmoniques électriques dans notre réseau se fait sentir

Une autre particularité importante des harmoniques électriques est le fait qu'elles présentent différentes séquences de phase. Elles peuvent être directes, inversées ou homopolaires, également connues sous le nom de séquence zéro

Fig. 7



L'origine des problèmes dans les réseaux électriques

Dans la pratique, ce sont ces dernières, qui correspondent aux harmoniques triples, qui posent le plus de problèmes dans les réseaux électriques parce qu'elles s'ajoutent entre elles en phase. Ainsi, dans des réseaux à 4 fils, 3 phases et 1 neutre, avec un nombre significativement élevé de charges monophasées électroniques (ordinateurs et récepteurs similaires), ne s'annulant pas entre eux, elles s'ajoutent dans le conducteur de neutre

Par conséquent, si nous supposons un réseau avec 50 A de courant harmonique de rang 3 par phase, nous aurons directement 150 A de courant harmonique 3 dans le conducteur de neutre

Cela comporte un risque de surcharge pour ce conducteur de neutre, tant au niveau de déclenchement de protections thermiques que de sectionnement du neutre. Cela conduirait à une situation très défavorable, en raison du déséquilibre important des tensions d'alimentation des charges que cela provoquerait, pouvant entraîner de graves pannes des équipements raccordés à ce moment-là par surtension

Les problèmes se posent aussi généralement au niveau des transformateurs de puissance qui alimentent l'installation. Si ces derniers doivent fournir, outre le courant fondamental associé à la puissance active, des courants harmoniques non productifs (c'est-à-dire qui ne sont pas utiles), les pertes peuvent être si élevées que la qualité de la tension fournie est médiocre, avec des niveaux élevés de THD (U). Cela affecterait le fonctionnement des charges alimentées. Dans le cas le plus extrême, une température excessive pourrait se produire dans le transformateur et entraîner sa destruction

Un autre aspect essentiel est l'impact que la présence d'harmoniques électriques peut avoir sur les protections différentielles contre les courants de fuite. Il est indispensable d'utiliser des relais différentiels appropriés pour garantir une protection adéquate dans ces réseaux. À cet égard, l'utilisation de protection différentielles de type B pour tous les récepteurs qui intègrent une conversion CA/CC dans leur fonctionnement (comme les variateurs de vitesse, les ASI, les redresseurs ou les chargeurs de véhicules électriques) devient non seulement essentielle mais obligatoire

En ce qui concerne les niveaux élevés de distorsion harmonique en tension dans le réseau, nous pouvons les relier à des problèmes qui apparaissent dans des équipements électroniques « sensibles ». Dans ce cas, la mauvaise qualité de la tension d'approvisionnement peut causer un dysfonctionnement lié aux « resets », des interférences, des erreurs de calcul, etc.

Enfin, le problème le plus connu et le plus fréquent est sans aucun doute la problématique entre l'installation d'une batterie de condensateurs pour compenser l'énergie réactive inductive et l'existence d'harmoniques électriques dans le réseau

L'explication du cas

Regardons d'abord comment est la courbe d'impédance d'un condensateur, que nous pouvons appeler « résistance ». Comme on peut le voir dans la Fig. 8, l'impédance diminue à mesure que la fréquence augmente. Et nous savons déjà que les courants harmoniques ont une fréquence supérieure à celle du courant fondamental du réseau. Le condensateur présente donc une résistance moindre à ces fréquences harmoniques. Il devient donc une « voie à basse impédance » pour ces courants. En d'autres termes, il tend à les absorber, de sorte que, dans des réseaux ayant une présence d'harmoniques, les condensateurs sont toujours surchargés à un certain niveau. Et cela provoque leur détérioration à court terme

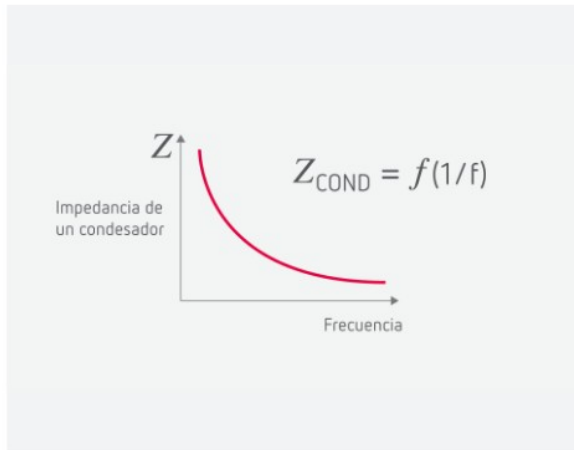


Fig. 8

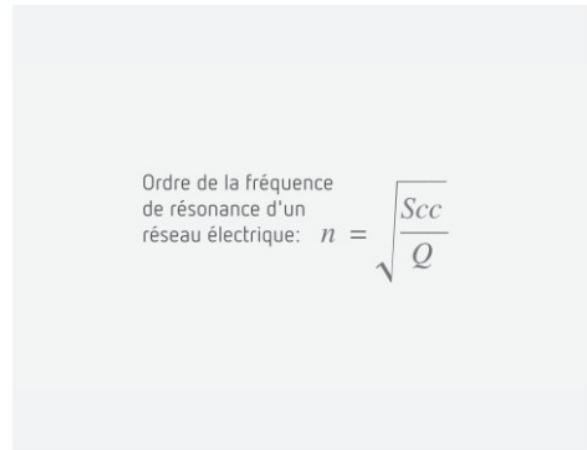


Fig. 9

Ce n'est pas cette surcharge qui pose toutefois le plus grand problème. Mais la possible survenue d'un phénomène de résonance, impliquant l'amplification des courants harmoniques précédemment présents dans le réseau avant la connexion de la batterie de condensateurs

Nous devons donc considérer le paramètre connu sous le nom de fréquence de résonance du système (Fig. 9), qui relie la puissance de court-circuit au point de connexion de la batterie de condensateurs au réseau avec la puissance kvarC de la même batterie. Cette valeur indique le rang de l'harmonique, c'est-à-dire 5, 7, 11... qui pourrait être amplifié par la connexion des condensateurs au réseau

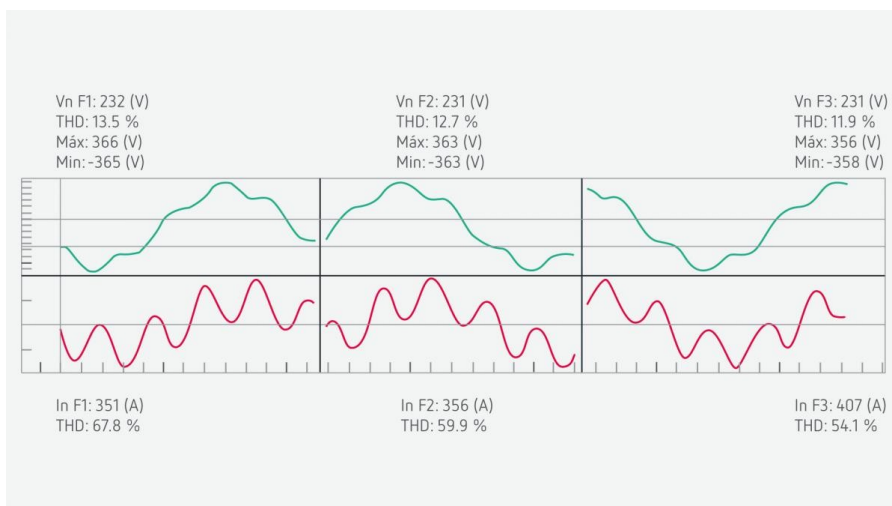


Fig. 10

Dans l'exemple de la Fig. 10, une résonance claire apparaît dans la 5e harmonique. Nous devons simplement compter les 5 « pics » qui apparaissent dans un cycle.

La procédure à suivre pour éviter ce phénomène de résonance est d'installer des batteries de condensateurs avec des filtres de rejet ou décalés. Ces batteries comportent en série, avec chaque condensateur ou groupe de condensateurs de chaque échelon, une réactance, qui dans la Fig. 11 peut être identifiée avec une couleur jaunâtre. Ce groupe réactance-condensateur est ainsi ajusté à une fréquence inférieure à la première harmonique pertinente dans le réseau.



Fig. 11, Batteries de condensateurs avec des filtres de rejet ou décalés

Comme nous l'avons dit, la première harmonique pertinente dans le réseau est, dans la grande majorité des cas, la troisième ou la cinquième. Et les fréquences normales de résonance sont celles spécifiées dans la Fig. 12 (valeurs indiquées à 50 Hz/60 Hz)

P%	Fréquence	Harmoniques rejetées
7%	189 / 277 Hz	$h > 5^{\circ}$, $f > 250 / 300$ Hz
14%	134 / 160 Hz	$h > 3^{\circ}$, $f > 150 / 180$ Hz
8,7%	170 / 203 Hz	$h > 5^{\circ}$, $f > 250 / 300$ Hz*
*Filtre renforcé: $THD(U) > 5\%$		

Fig. 12

Les systèmes qui garantissent à 100 % la compensation de l'énergie réactive de manière totalement immunisée à la présence d'harmoniques dans le réseau sont les générateurs statiques de réactive, en particulier la gamme SVGm de CIRCUTOR (Fig. 13). Ces générateurs de réactive, dotés d'une capacité de compensation à la fois inductive et capacitive, sont basés sur l'électronique de puissance et constituent la solution technologique la plus avancée pour corriger le cosinus de phi



Fig. 13

Il existe des options de filtrage passif de courants harmoniques, parmi lesquelles les plus simples sont les réactances de ligne ou de choc (Fig. 14). Elles s'installent à l'entrée des variateurs de vitesse ou des charges similaires, permettant une certaine réduction des niveaux de THD (I). Habituellement, de valeurs initiales d'environ 40 %, jusqu'à des valeurs finales de 25 %

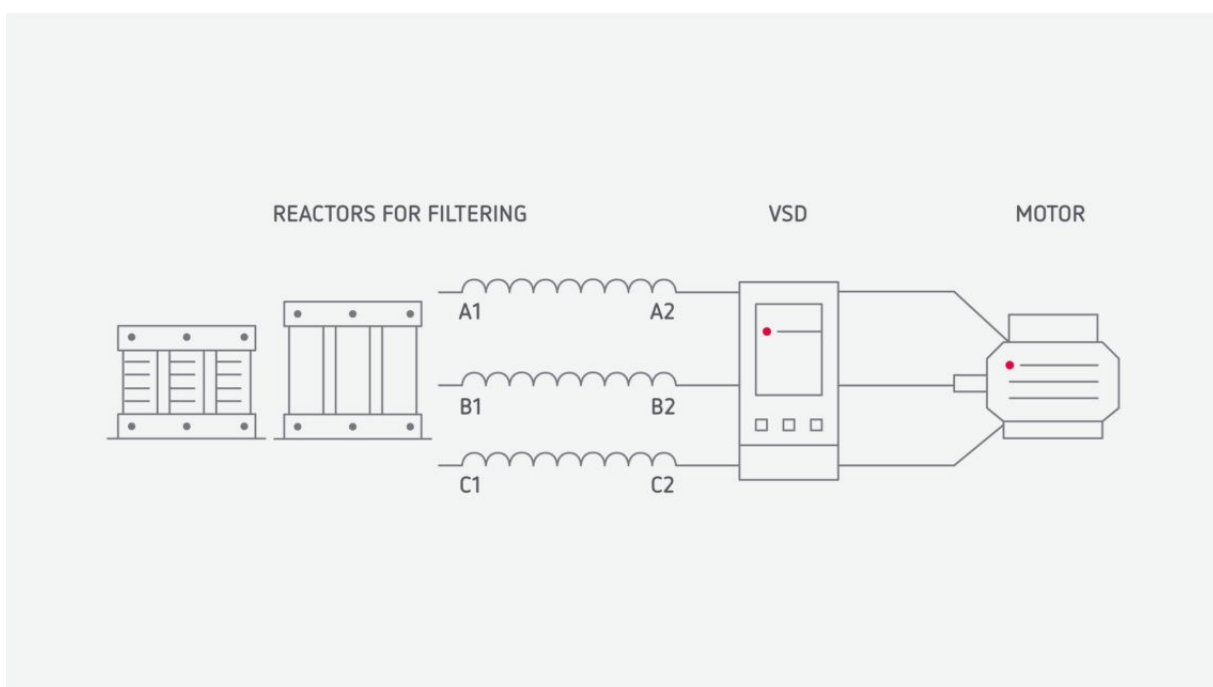
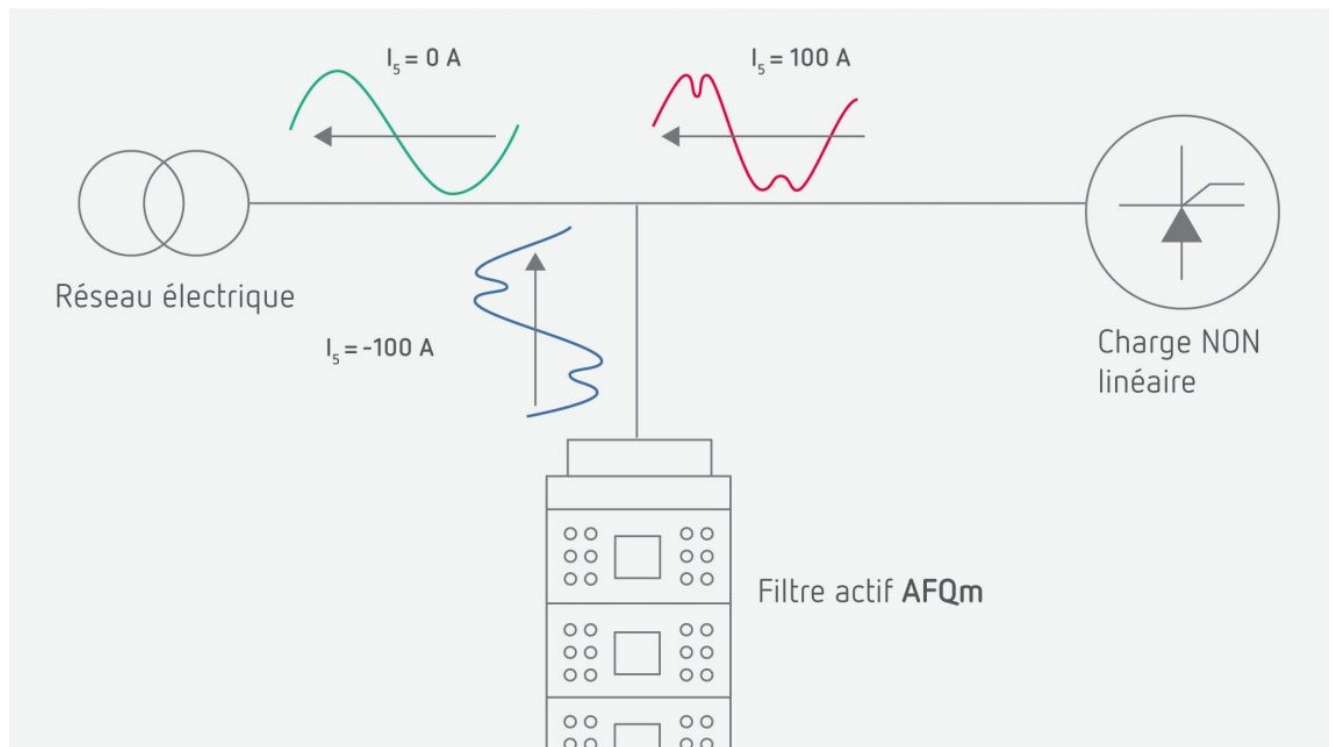


Fig. 14

En tout état de cause, l'utilisation de filtres actifs d'harmoniques est la plus efficace pour réduire les niveaux de courants harmoniques et donc aussi de tensions harmoniques dans notre réseau électrique. C'est-à-dire la gamme AFQm de CIRCUTOR

Un filtre actif AFQm est en fait un générateur de courants harmoniques qui, à partir de l'utilisation de l'électronique de puissance la plus avancée et des systèmes de contrôle les plus novateurs, sont capables d'injecter des courants harmoniques en contrephase avec ceux qui existent dans le réseau, ce qui permet de les annuler

Fig. 15



Parmi ses nombreux avantages par rapport aux systèmes de filtrage passif, nous pouvons souligner sa précision. Il est capable d'injecter le courant harmonique exact pour compenser celui qui existe dans le réseau dans chaque harmonique, sans dépendre de la variabilité de la charge

Sa versatilité est également à mettre en avant, il offre en effet non seulement la capacité de filtrage des courants harmoniques, mais aussi la capacité de compensation de réactive

La gamme de filtres actifs AFQm comprend une gamme de capacités d'injection de courant couvrant l'ensemble des scénarios au niveau de toute installation électrique, que ce soit au niveau industriel ou de services, grâce à sa modularité. En outre, elle comprend des tensions de fonctionnement de 208 à 690 VCA

Filtre Actif AFQm



2 Solutions : Format mural et format rack

Pour les réseaux de 50/60 Hz ± 5

- 4 fils 3P+N: 208 - 400 V - 525 V phase-phase
- 3 fils 3P: 230 - 480 V - 690 V phase-phase

Format mural	Format rack (cabinet)	
30 A	100 A	200 A
60 A	300 A	400 A
100 A		