CHAUVIN ARNOUX

POUR L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE, LA QUALITÉ, ÇA COMPTE

Bien comprendre la problématique de la Qualité de l'énergie et y faire face.

Mesurer pour mieux Agir

LIVRE BLANC

Introduction

Si vous êtes chef d'entreprise, il est fort probable que la qualité de votre alimentation électrique ne se trouve pas dans la liste de vos sujets de réflexion fréquents. Tout d'abord, qu'est-ce que la qualité de l'énergie et comment peut-elle varier ? On devrait pouvoir s'attendre à ce que son fournisseur d'énergie s'occupe de ça, non? Et puis, de toute façon, est-ce que la qualité de l'énergie compte vraiment, ou est-ce qu'il s'agit d'un souci qui ne concerne que les ingénieurs spécialisés? Dans ce Livre blanc, nous allons apporter des réponses à toutes ces questions, mais commençons par noter que la qualité de l'énergie est certainement un enjeu qui nous concerne tous.

Est-ce que vous avez déjà rencontré un équipement – le plus souvent un ordinateur ou autre appareil électrique – qui se comportait bizarrement ou qui tombait même en panne sans raison apparente?

Vous avez peut-être des lampes qui clignotent, ou bien, si vous exploitez une usine, des moteurs qui tournent en surrégime et qui s'usent plus rapidement que prévu. Tous ces cas pourraient être le résultat d'une mauvaise qualité d'énergie et, si vous ne vous en rendez pas compte, tout le temps et l'argent mobilisés pour essayer d'en rectifier les symptômes seront probablement en pure perte. Mais ce n'est pas tout : les problèmes de qualité de l'énergie peuvent également augmenter vos dépenses d'énergie, en venant rogner encore plus vos bénéfices si durement gagnés.

Pour toutes ces raisons, tout chef d'entreprise se doit d'être conscient des bases de la qualité de l'énergie, comprendre comment l'évaluer, et savoir bien agir si des problèmes sont identifiés. Autrement dit, le fait de passer quelques minutes à lire ce Livre blanc pourrait vous permettre de réaliser des économies importantes – en termes de temps, d'argent et de soucis !

Qu'est-ce que la qualité de l'énergie ?

D'abord, soyons clairs : nous n'allons parler ici que des alimentations en courant alternatif (AC). L'alimentation en courant continu (DC) est possible et fut même assez répandue jusqu'au milieu du 20ème siècle, mais les opérateurs de réseau actuels ne proposent plus que des alimentations AC. On peut s'attendre à un retour des alimentations DC dans un futur assez proche, car elles ont certains avantages dans le contexte actuel, mais cela fera le sujet d'un autre Livre blanc!

Dans un monde idéal, votre opérateur de réseau devrait vous fournir une alimentation AC à tension constante et à fréquence fixe, avec une forme d'onde en tension et en courant parfaitement sinusoïdale, sans "pics". De plus, s'il s'agit d'une alimentation triphasée, on s'attendrait à ce que la tension des trois phases soit strictement la même. Cela correspondrait à la qualité d'énergie parfaite. Cependant, comme nous ne vivons pas dans un monde idéal, votre fourniture ne satisfait peut-être pas à ces exigences et, même si la qualité de l'énergie est conforme au point d'entrée dans votre réseau, elle pourrait se dégrader en passant par les installations électriques de votre site.

Comme cela le suggère, si vous rencontrez des problèmes de qualité d'énergie, ce n'est souvent pas la faute de votre opérateur de réseau. En fait, les opérateurs font des efforts considérables pour assurer la "propreté" de l'énergie qu'ils fournissent, mais certains des facteurs d'influence de la qualité de l'énergie, comme les orages ou les équipements installés dans vos bâtiments, restent hors de leur contrôle.

Cela dit, qu'est-ce qui peut mal se passer au niveau de la qualité de l'énergie ? Dans la pratique, on peut classer la quasi-totalité des problèmes de qualité d'énergie selon six catégories principales : les harmoniques, les creux et surtensions, les transitoires (pics), les perturbations,

les déséquilibres de tension et le facteur de puissance. Dans la suite de ce livre blanc, nous examinerons chacune de ces questions.

Les harmoniques

Comme nous l'avons évoqué dans l'introduction, dans un réseau électrique idéal, les formes d'onde en tension et en courant seraient parfaitement sinusoïdales et ceci ne serait pas trop difficile à réaliser si toutes les charges raccordées au système de puissance étaient linéaires – c'est-à-dire, les charges pour lesquelles le courant tiré à partir de l'alimentation est toujours proportionnel à la tension appliquée. Les chauffages simples et les lampes à incandescence sont des exemples de charges linéaires, comme la plupart des charges utilisées jusqu'aux dernières décennies du 20ème siècle.

Cependant, les 30 dernières années ont vu une augmentation importante du nombre de charges non linéaires raccordées au réseau électrique. Parmi ces charges non linéaires, on trouve les ordinateurs et les équipements associés, les onduleurs, les variateurs de vitesse pour les moteurs, les ballasts d'éclairage électronique, les lampes à LED, ... L'utilisation croissante de tels équipements, associée à l'emploi de l'électronique pour piloter presque tous les types de charge électrique, commence à se traduire par des effets nocifs sur la fourniture d'électricité et notamment sur des installations individuelles au sein du site. Aujourd'hui, on estime que plus de 95% des harmoniques sont générées par des équipements installés sur le site lui-même.

Comme nous l'avons déjà indiqué, lorsqu'une charge linéaire est raccordée à l'alimentation, elle tire un courant sinusoïdal de la même fréquence que la tension. Les charges non linéaires, par contre, tirent des courants qui ne sont pas forcément de forme sinusoïdale. En effet, la forme d'onde en courant peut devenir assez complexe, en fonction du type de charge et de son interaction avec les autres composantes de l'installation. Les charges non linéaires produisent des formes d'onde déformées dans le système d'alimentation et, dans certains cas sévères, il peut en résulter des formes d'onde particulières déformées en tension. Parmi les conséquences potentielles, cela peut provoquer des pertes d'énergie significatives, tout en réduisant la durée de vie et l'efficacité des appareils en fonctionnement.

Il est possible d'analyser mathématiquement la déformation de la forme d'onde provoquée par des charges non linéaires afin de démontrer qu'elle équivaut à l'ajout à la forme d'onde "pure", à la fréquence de l'alimentation, de composantes à des multiples entiers de la fréquence de l'alimentation. Autrement dit, pour une alimentation à 50 Hz, la déformation est sous forme de composantes additionnelles à 100, 150, 200, 250, 300 Hz, etc. – voir l'exemple de la Figure 1.

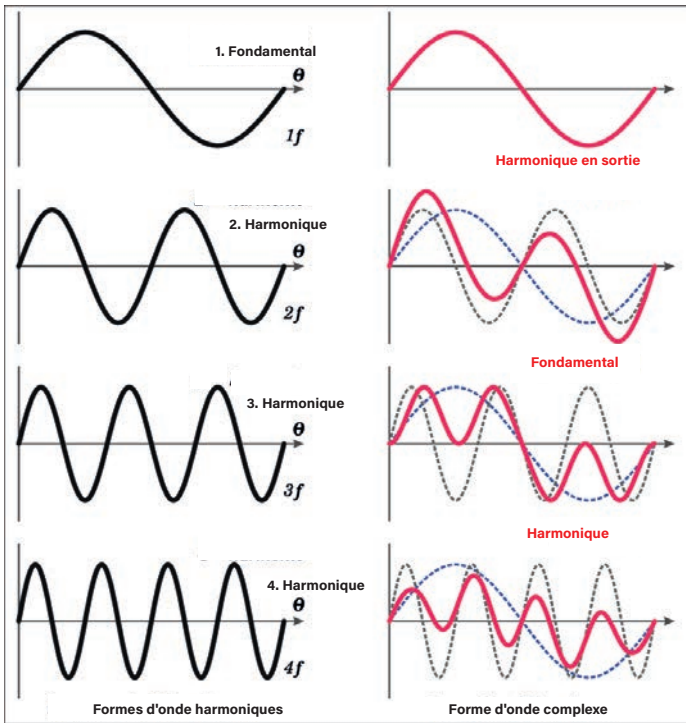


Figure 1 : Il est possible d'analyser une forme d'onde déformée comme la somme de multiples ondes sinusoïdales.

Ces composantes supplémentaires sont les harmoniques et, en théorie, elles peuvent s'étendre jusqu'à l'infini. Dans la pratique, cependant, il est rarement nécessaire de considérer les harmoniques au-dessus du 50ème rang, dont la fréquence est de 50 x 50 Hz = 2,5 kHz, et dans la plupart des cas, on ne devra s'intéresser qu'aux harmoniques de rang inférieur, jusqu'au 25ème rang. Malheureusement, à moins qu'on ne les en empêche, les harmoniques d'une charge non linéaire se propageront à travers le système d'alimentation, en provoquant des problèmes ailleurs.

Le fait de savoir qu'on peut toujours représenter une forme d'onde en courant déformée comme une série d'ondes sinusoïdales superposées (au moyen d'une procédure mathématique appelée l'analyse de Fourier) permet de concevoir une mesure du niveau de déformation harmonique présente dans le courant d'un système d'alimentation. Cela s'appelle le taux d'harmoniques ou THDi (Total Harmonic Distortion en anglais) et se calcule à l'aide de la formule suivante:

$$THDi = \frac{\sqrt{(I_2^2 + I_3^2 + \ldots + I_n^2)}}{I_1}$$

Où I_1, est le courant à la fréquence d'alimentation, I_2, le courant à deux fois la fréquence d'alimentation, soit I_3, le courant à trois fois la fréquence d'alimentation, etc...

Heureusement, il est peu probable que vous soyez appelé à utiliser cette formule dans la pratique, car les appareils de mesure modernes servant à analyser les harmoniques effectuent automatiquement l'ensemble des calculs nécessaires pour vous présenter tout simplement la valeur du THDi.

Les courants harmoniques ont des effets nuisibles sur presque tous les éléments raccordés à un système électrique ; ils perturbent les appareils électroniques sensibles, augmentent les échauffements et provoquent des contraintes mécaniques. Parmi les effets les plus répandus des harmoniques, on trouve les pannes d'ordinateurs, les équipements informatiques qui se verrouillent, les éclairages qui clignotent, les composants électroniques qui arrêtent de fonctionner dans les équipements de contrôle de process, des problèmes lors de la commutation de grosses charges, la surchauffe des conducteurs de neutre, les déclenchements de différentiels intempestifs et des résultats de comptage inexacts.

Tandis qu'on pourrait considérer certains de ces effets, comme le clignotement des éclairages ou les pannes d'équipements informatiques, comme de simples irritants, d'autres comme les pannes d'équipements de process peuvent provoquer des interruptions coûteuses. Le pire, ce sont les pannes des condensateurs de rephasage ou des équipements de distribution électriques, tels que les câbles, les transformateurs, les moteurs et les générateurs de secours. Dans de tels cas, les équipements de remplacement risquent d'être chers et sujets à de longs délais de livraison. Ainsi, les coûts de la réparation et les coûts indirects peuvent s'avérer très importants. Et même s'il n'y a pas de panne franche, la présence d'harmoniques réduira l'efficacité électrique au sein de l'installation, ce qui provoquera une consommation d'énergie excessive que vous allez payer.

Le danger pour les condensateurs de rephasage (correction du facteur de puissance) concerne la propriété fondamentale du condensateur : son impédance diminue si la fréquence est augmentée. A haute fréquence, un condensateur peut se comporter presque comme un dispositif de court-circuit. Les condensateurs de rephasage sont conçus généralement pour fonctionner à la fréquence fondamentale de l'alimentation ; leur impédance réduite en présence de courants harmoniques de fréquence plus élevée augmente la circulation du courant et renforce l'échauffement, ce qui peut réduire la durée de vie des différents éléments. Il est aussi possible que les condensateurs soient endommagés de façon permanente si le circuit parallèle qu'ils constituent avec un transformateur associé provoque une résonance à l'une des fréquences harmoniques.

Dans les moteurs et les transformateurs, l'échauffement dû aux courants de Foucault est proportionnel au carré de la fréquence harmonique. Logiquement, donc, lorsque la présence d'harmoniques de rangs plus élevés s'accroît dans le système d'alimentation, l'effet d'échauffement augmente de manière encore plus dramatique. Non seulement gaspille-t-on de l'énergie – que vous payez - en générant de la chaleur, mais cela augmente aussi le risque de pannes, voire d'incendies, dans les câbles, les moteurs, les transformateurs et les autres équipements de distribution..

En plus des pertes résultant des effets d'échauffement, les harmoniques dans les moteurs peuvent aussi provoquer le phénomène problématique de la vibration de torsion de l'arbre moteur. Dans les moteurs alternatifs, le couple est produit par l'interaction entre le champ magnétique de l'entrefer et les courants induits dans le rotor. Quand un moteur est alimenté par des tensions et des courants non sinusoïdaux, les champs magnétiques d'entrefer et les courants du rotor comporteront inévitablement des composantes de fréquence harmonique.

+VE	**1, 4, 7, 10, 13**
-VE	**2, 5, 8, 11, 14**
Homopolaire	**3, 9, 15, 21**

On les regroupe en trois catégories : les composantes directes, inverses et homopolaires. Les harmoniques directes (1, 4, 7, 10, 13, etc.) produisent des champs magnétiques, et donc un couple, qui tournent dans le même sens que le champ, et le couple produit par la fréquence fondamentale de l'alimentation. Les harmoniques inverses (2, 5, 8, 11, 14, etc.) produisent des champs magnétiques et un couple qui tournent dans le sens inverse. Les harmoniques homopolaires ne développent pas de couple, mais provoquent des pertes supplémentaires dans la machine.

L'interaction des champs magnétiques et courants directs et inverses provoque des oscillations de torsion dans l'arbre moteur, ce qui se manifeste sous forme de vibrations de l'arbre. Si la fréquence de ces vibrations correspond à la fréquence mécanique naturelle de l'arbre, elles seront amplifiées, ce qui pourrait endommager sévèrement l'arbre moteur. Il est parfois possible d'entendre "chanter" ou bien "grogner" un transformateur ou un moteur en raison de ces vibrations, ce qui explique pourquoi c'est souvent l'un des premiers signes constatés d'un problème harmonique.

Parmi les harmoniques les plus problématiques, on trouve les harmoniques de rang 3 et celles qui sont des multiples impairs de 3, c'est-à-dire les rangs 9, 15, etc. On les appelle les harmoniques "triples". Ces harmoniques triples sur chacune des phases de l'alimentation sont en phase les unes avec les autres, elles s'additionnent donc dans le conducteur de neutre d'un système triphasé à quatre fils, plutôt que de s'annuler. Cela peut surcharger le conducteur de neutre si on ne l'a pas dimensionné préalablement pour tenir compte de la présence potentielle d'harmoniques.

Enregistreur de puissance et d'énergie PEL 100

Heureusement, il est facile d'identifier et de mesurer les harmoniques à l'aide d'un analyseur de qualité d'énergie ou un enregistreur de puissance et d'énergie (PEL) doté de fonctions harmoniques. Il n'est pas généralement possible d'éliminer totalement ces harmoniques, puisqu'elles sont générées lors du fonctionnement normal de beaucoup de types de charge, mais on peut les empêcher de se répandre dans tout le système de distribution ou plus largement dans le réseau électrique.

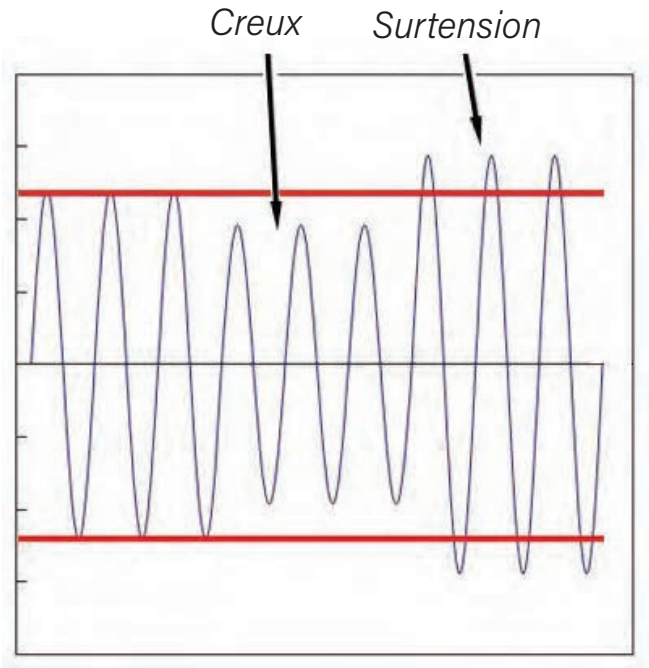
En général, ceci est réalisé par l'installation d'un système de filtrage passif ou actif à proximité de la source des harmoniques et, dans certains cas, par l'emploi d'équipements de rephasage spécialement ajustés. En maîtrisant les harmoniques, on pourra éliminer ou du moins atténuer tous les problèmes évoqués dans cette partie du livre blanc, tout en apportant d'autres avantages comme une meilleure efficacité, une durée de vie prolongée et des dépenses énergétiques réduites.

Il faut néanmoins garder une certaine mesure. L'adoption de moyens pour mitiger les harmoniques ne sera probablement pas LA solution, une fois et pour toutes. Dans l'environnement commercial dynamique d'aujourd'hui, il est probable qu'on raccorde de nouvelles charges assez fréquemment sur votre installation électrique. Sans mesures, comment savoir l'effet de celles-ci sur les performances harmoniques globales ? Autrement dit, une surveillance périodique des harmoniques est fortement recommandée pour pouvoir continuer de bénéficier des avantages de la réduction des harmoniques.

Creux de tension et surtensions

Pour un fonctionnement correct des équipements électriques, il faut qu'ils soient alimentés en énergie électrique à une tension (et à une fréquence) dans une gamme spécifiée. En novembre 1994, pour faciliter cette mise en conformité, le CENELEC a publié la norme européenne EN50160, "Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution". Cette norme définit les principales caractéristiques de la tension aux bornes d'alimentation client dans les systèmes publics de distribution de l'électricité basse et moyenne tension, dans des conditions d'exploitation normales.

La norme indique les limites qu'on devrait normalement pouvoir appliquer à la tension, mais elle ne décrit pas complètement la situation retrouvée typiquement dans un réseau de distribution public. Néanmoins, la gamme définie par ces limites est assez large (230 V ±10% pour les alimentations monophasées) et une dérive au-delà de cette bande de ±10% est tolérée pendant 5% du temps maximum. Dans la pratique, ce qui compte vraiment, ce n'est pas la conformité ou la non-conformité de la tension d'une alimentation par rapport aux exigences d'une norme, mais sa compatibilité avec les charges raccordées à cette alimentation. Parfois, ce n'est pas le cas et les creux de tension et les surtensions en sont le plus souvent la cause.



Qu'est-ce que les creux de tension et les surtensions ?

Un creux de tension, appelé aussi parfois une sous-tension, est une baisse soudaine de 10% à 90% de la tension d'alimentation pendant une période de 10 ms à 1 minute. La profondeur d'un creux de tension est définie comme étant la différence entre le minimum de tension RMS pendant le creux et la tension nominale de la fourniture. Les variations de tension qui représentent une réduction de moins de 10% de la tension d'alimentation ne sont pas considérées comme étant des creux de tension.
Les creux de tension peuvent être provoqués par des facteurs externes sur le réseau d'alimentation ou bien par des facteurs internes au sein d'une installation.

Cela peut concerner des événements ponctuels se produisant aléatoirement, ou bien une série d'événements qui se répète selon une certaine configuration. Dans tous les cas, la surveillance et l'enregistrement de la tension d'alimentation en fonction du temps permettront de découvrir ce qui se passe réellement et d'en identifier la cause.

Les événements ponctuels sont le plus souvent le résultat de facteurs externes, comme la commutation de charges ou l'élimination des défauts sur le réseau d'alimentation. Un effet similaire peut se produire lors de la commutation entre l'alimentation réseau et des onduleurs ou des générateurs de secours. Souvent, les creux de tension au sein d'une installation sont provoqués par la commutation de grosses charges, comme les moteurs, les fours à arc et les dispositifs de soudure, et l'exploitation

de charges dont la demande en courant peut fluctuer. Les creux de tension au sein d'une installation se produisent souvent à des intervalles réguliers ou à une heure particulière.
Les effets des creux sur les équipements électriques et les utilisateurs des bâtiments peuvent varier significativement en fonction de plusieurs facteurs, dont la nature de l'événement et le type d'équipement raccordé au système d'alimentation. Dans un bureau éclairé par des luminaires fluorescents, qui emploient des équipements dotés d'une alimentation à découpage et d'un onduleur, il est tout à fait possible que même des creux assez sévères puissent passer inaperçus. Cependant, dans un bureau équipé de manière similaire mais avec un type d'éclairage différent et des équipements plus anciens dotés d'une alimentation linéaire mais sans onduleur, on pourrait être confronté à des perturbations considérables.

Les moteurs à induction AC peuvent subir des problèmes particuliers dont la sévérité peut varier. Si la tension d'alimentation du moteur diminue, sa vitesse a tendance à décroître aussi. En fonction de la profondeur et de la durée du creux de tension, le moteur peut revenir à sa vitesse normale lorsque la tension d'alimentation est rétablie. Si la magnitude ou la durée du creux dépassent certaines limites, pourtant, le moteur peut caler ou se retrouver déconnecté de l'alimentation à cause d'un défaut sur un contacteur ou du déclenchement d'un différentiel en raison d'une tension insuffisante. Pour les moteurs alimentés à partir d'un variateur de vitesse, il se peut que le variateur soit désactivé pour éviter d'endommager le moteur.
Une surtension est le contraire d'un creux de tension, définie comme une augmentation soudaine de la tension d'alimentation de 10% ou plus pendant une période courte au bout de laquelle la tension retourne à sa valeur normale. Encore une fois, la durée pour une surtension est géné-

ralement considérée comme étant entre 10 ms et 1 minute. Les surtensions sont presque toujours provoquées par la mise hors tension d'une grosse charge quelque part sur le réseau d'alimentation électrique ou dans l'installation locale.

Bien que les effets des creux soient plus faciles à distinguer, les surtensions sont souvent plus destructrices. En cas de surtensions régulières et soutenues, il peut se produire une dégradation de l'isolement des moteurs à induction à cause de l'augmentation des courants qui circulent et de la génération de chaleur, ce qui provoquera à terme une panne prématurée du moteur. Les surtensions peuvent aussi provoquer la panne de composantes des alimentations à cause des effets de surcharge cumulés, tout en endommageant les équipements électroniques, qui sont souvent sensibles aux surtensions.

Heureusement, il existe des moyens pour réduire les effets des creux de tension et des surtensions, mais une première étape essentielle consiste toujours à localiser la source du problème. Pour cela, il faut mener une étude du site, ce qui implique de se déplacer dans l'installation en mesurant les valeurs de courant et de tension à différents endroits, avant d'utiliser ces informations pour identifier la source des creux et des surtensions.

Les études de site sont plus faciles à effectuer avec un appareil moderne comme un enregistreur de puissance et d'énergie (PEL) ou un analyseur de qualité de l'énergie. On peut raccorder ces instruments rapidement et de manière non intrusive à des tableaux de distribution et à d'autres points clé de l'installation électrique, puis les laisser en place pour cueillir et enregistrer les informations. Dans beaucoup de cas, il n'est même pas nécessaire de mettre hors tension avant de raccorder l'instrument.

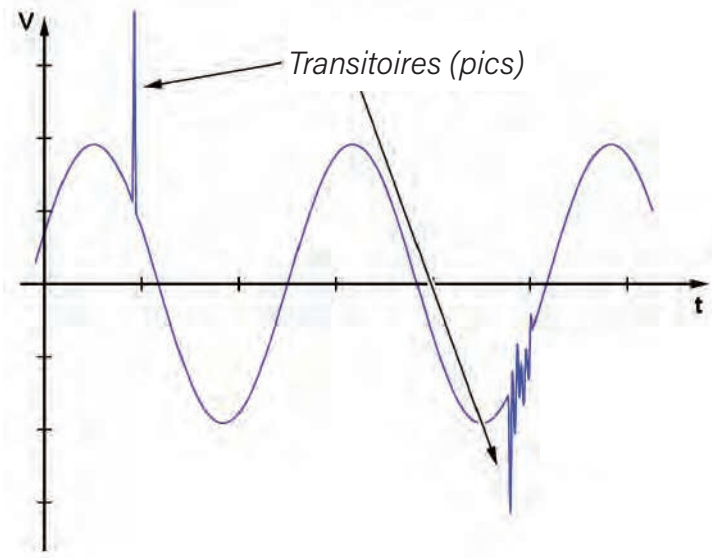
Si le dispositif de surveillance démontre que les problèmes viennent de la fourniture externe et que les limites de tension imposées pour la fourniture publique sont dépassées, c'est le moment d'appeler votre fournisseur d'électricité. Dans beaucoup de cas, cependant, on trouvera la source du problème au sein de sa propre installation et, une fois identifié l'équipement à l'origine du creux ou de la surtension, vous pourrez commencer à réfléchir aux remèdes potentielles.

On pourrait envisager, par exemple, d'alimenter l'équipement concerné via un circuit dédié, d'installer un onduleur ou, pour un moteur, de le doter d'un dispositif de démarrage à commandes de couple (soft start) ou d'un variateur de vitesse, afin de réduire les changements soudains du courant tiré de l'alimentation par le moteur au démarrage. Si ces remèdes s'avèrent peu pratiques ou inefficaces, il faudra peut-être rappeler votre fournisseur d'électricité pour voir s'il ne peut pas fournir un service plus résilient.

Variateur de vitesse

Les transitoires

Les transitoires – qu'on appelle aussi des pics de tension – peuvent avoir des effets sur les équipements et les installations allant de légèrement énervants jusqu'à très destructeurs et coûteux. Un transitoire électrique est un pic de tension très rapide et de durée très courte qui peut atteindre plusieurs kV. Il peut s'agir d'un événement isolé, mais les transitoires viennent souvent en rafale. Le pic de tension provoque une augmentation du niveau de courant dans la charge, ce qui produit une augmentation momentanée de l'énergie transférée de l'alimentation vers la charge. En fonction de l'amplitude et de la durée du transitoire, la quantité d'énergie supplémentaire transmise ainsi peut être sans conséquence majeure, mais elle peut aussi suffire pour endommager sérieusement les équipements.



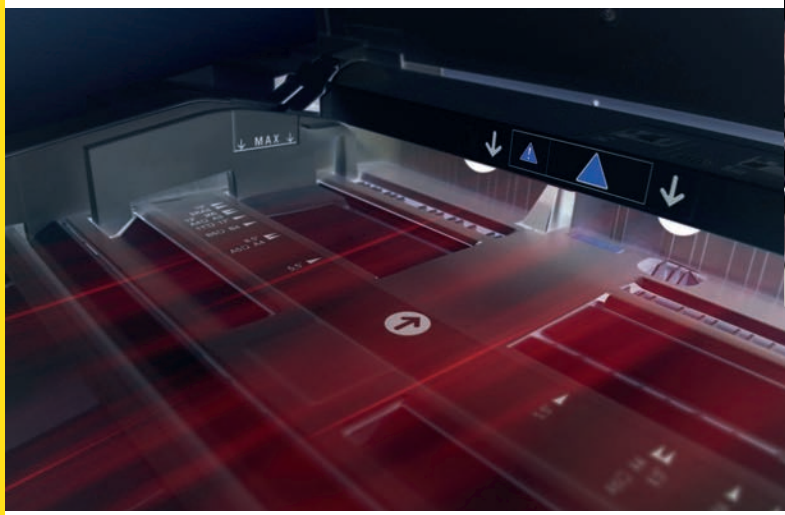
On suppose souvent que la plupart des transitoires sont générés par des événements externes à l'installation affectée, comme la foudre, la commutation de charges ou l'élimination des défauts dans les équipements d'alimentation du distributeur d'énergie. S'il est vrai que les transitoires provoqués par la foudre représentent le plus gros risque en termes de dégâts et de pannes à cause de leur tensions élevées et de l'énergie qu'ils véhiculent, les études ont démontré que plus de 80% des transitoires sont générés en fait au sein de l'installation elle-même.

Les rafales

Les transitoires dus à la foudre sont rares. Pourquoi sont-ils donc si destructeurs ? Le courant dans un coup de foudre monte rapidement jusqu'à son niveau maximum après 1 à 10 microsecondes, puis retombe plus lentement en 50 à 200 microsecondes. Cette variation rapide du courant crée un rayonnement électromagnétique (ondes radio) qui se propage de l'endroit du coup de foudre vers l'extérieur. Si ce rayonnement rencontre un conducteur électrique, comme un câble électrique, une voie d'intercommunication ou un tuyau métallique, le conducteur agit comme une antenne et une tension élevée – le transitoire – est créée dans le conducteur. Il faut bien rappeler que la foudre n'a pas besoin de frapper directement le conducteur; même un coup de foudre par terre à côté d'un conducteur peut créer des transitoires considérables.

D'autres facteurs externes comme la commutation de charges et l'élimination des défauts dans l'alimentation peuvent générer des transitoires. Les transitoires dus à la commutation de charges sont le résultat d'une émission soudaine d'énergie électrique, magnétique ou, dans le cas des moteurs tournants, mécanique stockée dans un dispositif à l'instant où il est mise sous ou hors tension. Les transitoires dus à l'élimination des défauts sont provoqués par une émission soudaine d'énergie semblable à l'instant même où le courant de défaut est interrompu. Les transitoires dus à ces sources externes sont relativement rares et presque toujours moins importants que ceux provoqués par la foudre.

Une source beaucoup plus fréquente de transitoires est la commutation de charges au sein d'une installation. L'événement déclencheur du transitoire pourrait être quelque chose comme la commutation de jeu de barres, mais plus probablement un événement encore plus simple comme l'ouverture ou la fermeture d'un différentiel ou d'un contacteur. Même l'actionnement d'un commutateur d'éclairage peut générer des transitoires et, dans tous les cas, le niveau des transitoires augmente si le dispositif de commutation possède des contacts défectueux ou sales. Les équipements bureautiques, comme les photocopieuses et les imprimantes laser, sont connus pour générer des transitoires, tout comme les systèmes CVC. En fait, lorsqu'on met sous tension ou hors tension une charge inductive ou capacitive, il est quasi certain que cela générera un transitoire – petit dans la plupart des cas, certes – qui se propagera à travers l'installation électrique.



Lorsqu'on considère l'effet des transitoires sur une installation électrique et les équipements qui lui sont raccordés, les transitoires générés au sein de l'installation, qui sont en général mineurs, provoqueront probablement une dégradation lente avec le temps. Mais les transitoires beaucoup plus importants générés par la foudre ou la commutation de grosses charges inductives peuvent provoquer une panne immédiate au niveau de l'isolement, avant d'injecter d'importantes quantités d'énergie dans les équipements, ce qui provoquera de nombreuses pannes et, dans les pires cas, l'incendie ou même l'explosion.

Le mécanisme derrière ces pannes dramatiques est le suivant : quand un équipement subit un transitoire dont la tension est supérieure à la tension de claquage de l'isolement de l'équipement, cela provoquera probablement un arc électrique.

Les équipements électriques classiques ne devraient être endommagés que s'ils sont exposés à des transitoires importants et/ou à énergie élevée, mais les équipements électroniques sont beaucoup plus sensibles et, sans protection, ils peuvent subir des dégâts irréparables sous l'effet de transitoires relativement petits. La raison en est que les microcontrôleurs et les autres composants similaires utilisent comme isolement des zones de silicium minuscules et très peu épaisses ; cet isolement peut être endommagé par des surtensions qui resteraient

inaperçus dans les équipements classiques. Il faut noter que les dégâts produits par les transitoires sur les dispositifs électroniques ne provoquent pas nécessairement une panne immédiate, mais qu'elle pourrait se révéler sous la forme d'une panne apparemment aléatoire à un moment futur. Puisque presque tous les aspects du commerce, des affaires et de la production sont basés sur des systèmes électroniques, de telles pannes représentent un vrai problème, car ils provoquent souvent des interruptions coûteuses et d'autres frais associés.

Même lorsque les transitoires ne provoquent pas la panne des équipements, ils peuvent être perturbateurs, en faisant planter les ordinateurs avec perte de données, par exemple, ou en provoquant l'arrêt intempestif des systèmes de contrôle de process, ou même en déclenchant les différentiels sans raison apparente.

Un choix très large de moyens est disponible pour protéger contre les transitoires et, pour bien sélectionner, il faut tenir compte de la tension, de la durée, et du niveau de puissance des transitoires, ainsi que du type d'équipement à protéger. Certains équipements comme les moteurs peuvent être conçus pour résister aux transitoires rencontrés sur un système d'alimentation typique sans protection supplémentaire, mais il ne faut jamais considérer cela comme acquis. Les équipements électroniques peuvent aussi être dotés d'un système de protection intégrale, mais il est peu probable qu'il soit suffisant, seul, si aucun autre type de protection n'est installé sur le réseau de distribution du lieu d'utilisation de ces équipements.

On pourrait imaginer que les multimètres, contrôleurs d'installation multifonction et autres appareils de test et mesure n'aient pas besoin de protection contre les transitoires, mais en fait, un tel dispositif de protection est essentiel. Les transitoires peuvent se produire aussi facilement pendant la réalisation des contrôles qu'à tout autre moment, et si l'énergie émise lors du transitoire est suffisante pour détruire un instrument sans protection, l'utilisateur, qui est probablement à proximité de l'instrument ou le tient à la main, peut risquer la blessure, voire plus.

La nécessité de protéger les instruments contre les transitoires est bien prise en compte dans la norme EN 61010, "Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire". Cette norme stipule que les appareils de test et mesure doivent pouvoir résister aux niveaux de transitoires rencontrés à l'endroit de l'installation où on va utiliser les instruments concernés (voir tableau).

Norme EN61010-1 Contrôle de la tenue aux surtensions transitoires

Tension d'alimentation	Surtensions transitoires			
	CAT I	CAT II	CAT III	CAT IV
150 V	800 V	1500 V	2500 V	4000 V
300 V	1500 V	2500 V	4000 V	6000 V
600 V	2500 V	4000 V	6000 V	8000 V
1000 V	4000 V	6000 V	8000 V	12 000 V

La norme EN 61010 reconnaît que les transitoires générés à l'extérieur seront plus sévères au point où la fourniture entre dans le bâtiment, mais qu'ils diminueront progressivement lors de leur passage à travers l'installation électrique, à cause des effets de l'inductance, de la capacité et de la résistance des câbles et autres équipements. Pour simplifier, cela veut dire que les instruments raccordés près du point de livraison de l'électricité devront être capables de résister à des tensions transitoires bien plus importantes que celles auxquelles seront exposées les instruments raccordés aux câbles fixes à l'intérieur de l'installation, instruments qui eux-mêmes auront une tenue aux surtensions transitoires supérieure aux appareils qui ne serviront qu'à contrôler des équipements branchés sur une prise d'alimentation classique. Le tableau présente un résumé des catégories (CAT).

Les appareils CAT I peuvent être utilisés pour les mesures réalisées sur des circuits secondaires qui ne sont pas raccordés directement au réseau. Les appareils CAT II conviennent pour les mesures réalisées sur des éléments raccordés à une prise d'alimentation réseau standard 230 V.

Les instruments CAT III conviennent pour les mesures réalisées sur le câblage fixe dans l'installation d'un bâtiment, dont les tableaux de distribution, les disjoncteurs, les barres, les coffrets de raccordement et les équipements industriels. Les instruments CAT IV servent pour les mesures réalisées à la source de l'installation basse tension.

Puisqu'il est possible d'utiliser un instrument d'une catégorie donnée pour des applications de catégorie inférieure – on peut utiliser un instrument CAT IV à tout point d'une installation basse tension – il est souvent rentable d'investir dans des instruments de catégorie CAT élevée afin de réduire le risque d'utilisation d'un instrument inadapté pour une tache particulière.

On peut réduire les effets des transitoires à l'aide d'un dispositif de protection contre les surtensions, conçu pour empêcher les transitoires et les surtensions d'endommager le câblage, l'infrastructure et les équipements de l'installation.

Si une surtension se produit, le dispositif de protection détourne vers la terre le courant excessif qui en résulte et limite la tension à une valeur maximum prédéterminée. En fonction des circonstances, on peut installer des dispositifs de protection près de la source interne des transitoires, près des charges qui ont besoin de protection, ou bien les deux.

Trois types de dispositifs de protection contre les surtensions sont actuellement disponibles. Les dispositifs de Type 1 peuvent décharger des courants de foudre partiels et sont employés dans les bâtiments alimentés par ligne aérienne ou équipés d'un système parafoudre monté sur le toit, conformément à la norme EN 62305. Les dispositifs de Type 2 conviennent pour tous les autres types d'installation et sont souvent installés au point d'entrée de la fourniture et/ou dans les sous-tableaux de distribution. Les dispositifs de Type 3 ont une capacité de décharge peu élevée et servent à réaliser une protection localisée pour les équipements sensibles. Dans la plupart des cas, on ne doit les utiliser qu'en supplément de la protection fournie par les dispositifs de Type 2. Les sites web des fournisseurs donnent des informations beaucoup plus détaillées pour la sélection et la mise en œuvre des dispositifs de protection et il faut également se référer à la dernière édition des règles de câblage « IET Wiring Regulations » (BS 7671), qui comprend désormais une rubrique dédiée à la protection contre les surtensions et les dispositifs de protection disponibles.

Afin de déterminer si votre installation subit des problèmes dus aux transitoires, la première étape consiste à se servir d'un analyseur de qualité d'énergie et, puisque les transitoires sont presque toujours intermittents, il faut que l'analyseur soit doté d'une fonctionnalité d'enregistrement des données pour pouvoir enregistrer sur des durées suffisamment longues. Tout bon analyseur vous permettra de définir des limites et des alarmes afin de vous alerter lors de la détection d'un transitoire significatif, pour que vous puissiez examiner ensuite les données mémorisées par l'instrument afin de cueillir des informations supplémentaires sur la forme et la durée du transitoire. Ces informations sont essentielles pour en déterminer la source.

Analyseur de qualité d'énergie

Les perturbations électriques

Les perturbations électriques se divisent plus formellement en deux catégories : les perturbations électromagnétiques (EM) et les perturbations radioélectriques (RF). En fait, le terme « perturbations électriques » est plus général car, pour être exact, les perturbations radioélectriques ne concernent que les perturbations sur la bande de fréquences utilisée pour les transmissions radio. Pour nos besoins, pourtant, ces deux termes sont interchangeables et, dans la suite de cette rubrique, on parlera seulement des perturbations EM.

En général, les perturbations EM sont beaucoup moins nocives que les transitoires. Leur effet typique consiste à provoquer un dysfonctionnement de l'équipement, plutôt qu'à l'endommager de façon permanente. Les perturbations EM restent néanmoins un réel problème car les dysfonctionnements d'équipements sont coûteux et perturbateurs.

Les perturbations EM peuvent avoir des origines variées, dont le radar, la télévision, la radio, les émetteurs de téléphonie mobile et d'hyperfréquences, ainsi que de sources moins évidentes comme les orages magnétiques solaires et les signaux radio produits par les orages distants avec foudre. Les perturbations EM externes peuvent entrer dans une installation électrique par induction électromagnétique, par couplage électrostatique ou par conduction. Les équipements dans une installation peuvent également générer des perturbations au sein de l'installation, même si les appareils et équipements modernes devraient être fabriqués selon les normes de compatibilité électromagnétique (CEM) qui minimisent le risque de génération de perturbations EM.

Il est peu probable que les équipements de puissance et d'éclairage soient affectés directement par les perturbations EM, même si les dispositifs électroniques servant à commander ces équipements pourraient y être sensibles. On ressent souvent les effets des perturbations EM à travers le bruit ou les sifflements sur les équipements audio et le brouillage de l'image sur l'écran de la télévision. Il existe d'autres effets fréquents qui sont moins facilement repérables, comme la dégradation des performances des réseaux de données, y compris jusqu'à leur arrêt total. Cela peut provoquer des taux d'erreur surélevés et, potentiellement, la perte totale des données. Il est important de noter que les perturbations EM peuvent se transmettre par diaphonie entre des câbles installés les uns à côté des autres. Pour cette raison, il faut toujours séparer les câbles d'alimentation et les câbles de données, voire utiliser des câbles blindés si nécessaire.

De nombreux produits très variés sont proposés pour bloquer les perturbations EM et les empêcher de pénétrer dans les équipements. Parmi ces produits, on trouve les filtres d'élimination des perturbations EM et

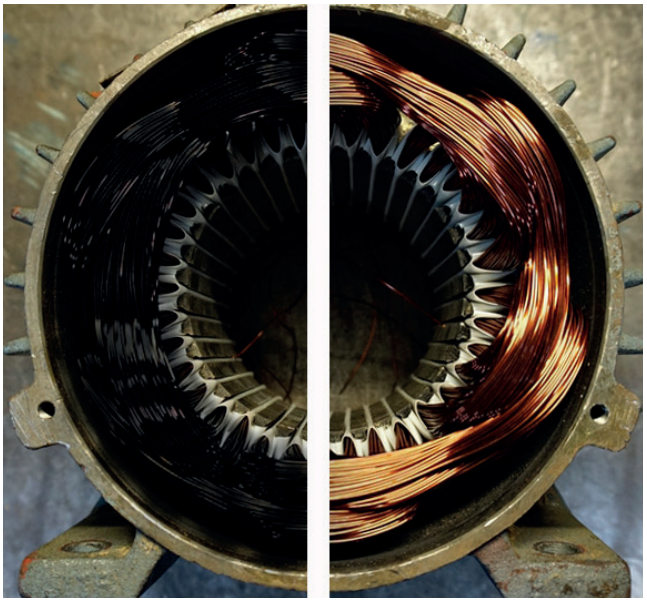
les filtres antiparasites AC , ainsi que les tores de ferrite et les absorbeurs de micro-ondes. De tels dispositifs ne sont efficaces que contre les perturbations EM par conduction. Un blindage efficace – ce qui consiste à encapsuler les équipements sensibles dans un boîtier conducteur relié à la terre – reste la meilleure précaution contre les perturbations électromagnétiques par rayonnement et par induction. Ainsi, pour bénéficier d'une solution complète, il faut une combinaison de blindage et de filtrage.

Si vous soupçonnez la présence de problèmes dus aux perturbations EM, il faut vous procurer un analyseur de qualité de l'énergie et l'installer pour surveiller l'installation. Les perturbations EM seront visibles, surimposées sur la forme d'onde du réseau, même si elles seront peut-être de nature intermittente et ne seront donc détectées que par un enregistrement sur une période se comptant en jours, voire en semaines.

Le déséquilibre de tension

Le déséquilibre de tension est un problème de qualité de l'énergie auquel on prête peu d'attention. C'est dommage car, comme nous allons voir, une alimentation en déséquilibre peut avoir des effets graves. Évidemment, si votre entreprise n'a que des charges monophasées, le déséquilibre n'est pas un problème pour vous et vous pourrez sauter cette rubrique sans risque. Si vous avez charges triphasées, cependant, il vous est conseillé de continuer votre lecture !

Dans un système triphasé AC équilibré, les tensions dans les trois phases sont d'amplitude égale et/ou les phases sont séparées de 120 degrés. Dans un système déséquilibré, les tensions des phases ne sont pas égales ou ne sont pas séparées de 120 degrés. Le déséquilibre de tension est plus fréquent que le déphasage ; il est provoqué typiquement par des charges monophasées importantes, telles que les points de recharge de véhicules électriques, les fours à induction et certains systèmes de traction.



Enroulement endommagé par un déséquilibre de tension

Ces charges monophasées peuvent être raccordées entre l'une des phases et le neutre de la fourniture lorsqu'elles tirent de l'énergie de seulement l'une des trois phases. Elles peuvent aussi être raccordées entre deux phases pour tirer de l'énergie de deux des trois phases.

Quelle que soit la configuration, les charges sur les trois phases sont en déséquilibre et la tension sur la ou les phase(s) lourdement chargées diminuera. Cette réduction de tension sera perçue comme un déséquilibre de tension par tous les autres équipements raccordés au même système d'alimentation.

Une répartition irrégulière de charges monophasées même peu importantes peut produire un léger déséquilibre de tension si elles sont suffisamment nombreuses. Cette situation se développe souvent avec le temps lorsqu'on ajoute des circuits supplémentaires à une installation qui était initialement équilibrée à sa construction. La dégradation inégale des condensateurs dans une batterie de rephasage d'un banc ou même la panne totale d'un ou de plusieurs condensateurs peuvent aussi provoquer un déséquilibre, et des déséquilibres temporaires peuvent se produire à la suite d'un défaut sur l'une des phases au sein de l'installation ou en amont dans le réseau d'alimentation.

L'obtention de tensions de phase équilibrées est parmi les exigences les plus importantes pour une installation industrielle, notamment si elle utilise des moteurs triphasés, et encore plus si ces moteurs fonctionnent à la limite de leur capacité de charge. Avec un moteur en pleine charge, des tensions déséquilibrées sur les bornes du moteur peuvent provoquer un déséquilibre du courant de phase jusqu'à 10 fois supérieur en pourcentage que le pourcentage de déséquilibre de tension.

Cela signifie que les moteurs qui fonctionnent sur une alimentation déséquilibrée doivent subir un derating significatif, même si le déséquilibre de tension semble relativement mineur. En cas de déséquilibre, on peut aussi être obligé d'appliquer un derating sur les câbles de puissance à cause de l'augmentation des pertes I^2R.

Selon la IEC, le déséquilibre de tension est défini comme le rapport entre la tension inverse et la tension homopolaire. En bref, on peut exprimer les trois tensions de phase de façon mathématique comme la somme des composantes directe, inverse et homopolaire. Les tensions directes produisent un flux magnétique qui fait tourner le moteur dans le sens prévu, tandis que les tensions inverses produisent un flux qui tourne dans le sens inverse. Puisque les tensions directes sont toujours beaucoup plus élevées que les tensions inverses (si le moteur est raccordé correctement!), le sens de rotation du moteur n'est pas affecté.

Le flux magnétique en sens contraire produit par les tensions inverses provoque des échauffements supplémentaires dans les enroulements du moteur. Ces échauffements peuvent conduire à terme à une panne de l'isolation et à la défaillance prématurée du moteur. Une exploitation en continu à 10° C au-dessus de la température de fonctionnement conseil-

lée peut réduire la durée de vie d'une machine tournante par un facteur de deux, et une telle réduction de la durée de vie est toujours chère et source de perturbations. L'importance et la prévalence de ce problème sont confirmées par le grand nombre d'entreprises qui développent et fabriquent des dispositifs de surveillance du déséquilibre de tension pour permettre de protéger les moteurs.

En plus des moteurs, de nombreux régulateurs de moteur à semi-conducteurs et onduleurs incorporent des composantes sensibles au déséquilibre de tension. En fonction du produit, certains de ces dispositifs arrêteront de fonctionner, pour se protéger et pour protéger le moteur, s'ils détectent un déséquilibre de tension important. Cette méthode a l'avantage de préserver les équipements, certes, mais les perturbations qui en résultent peuvent être coûteuses. Pour les produits moins sophistiqués, qui ne s'arrêtent pas automatiquement, les déséquilibres de tension sont souvent à l'origine d'une réduction de la durée de vie des diodes de protection et des condensateurs de jeu de barres.

Les systèmes d'alimentation sans coupure (UPS – Uninterruptible Power Supply en anglais) et les alimentations à base d'onduleur sont aussi moins efficaces lorsqu'elles sont en présence de tensions d'alimentation déséquilibrées. Cela se traduit souvent par une augmentation de l'ondulation sur la sortie DC et, dans beaucoup de cas, du niveau des courants harmoniques dans le réseau d'alimentation.

Enregistreur de puissance et d'énergie PEL103

Comme les effets des déséquilibres de tension peuvent être si préjudiciables, il n'est pas surprenant que cet aspect soit couvert par des normes nationales et internationales. La norme IEC 60034-1, par exemple, qui impose de limiter à 1% les tensions inverses sur les départs qui alimentent des machines. La norme EN 50160 déclare pourtant qu'on peut s'attendre à un déséquilibre allant jusqu'à 3%, en indiquant une norme acceptable pour les systèmes d'alimentation : « en conditions d'exploitation normales, pendant chaque période d'une semaine, 95% des valeurs RMS moyennes sur 10 minutes de la composante inverse de la tension d'alimentation devront représenter entre 0 et 2% de la composante directe".

Heureusement, il est facile de mesurer l'équilibre de la tension et de la charge (courant), et d'identifier ainsi le déséquilibre, à l'aide d'un enregistreur de puissance et d'énergie PEL. En raccordant un PEL sur l'arrivée de l'alimentation, on pourra surveiller l'évolution dans le temps du niveau de charge sur l'ensemble de l'installation afin de comprendre comment il varie pendant une journée ou une semaine d'exploitation normale. On peut déplacer rapidement les PEL au sein de l'installation et les raccorder de façon non intrusive pour contrôler la charge d'équipements ou de circuits individuels afin de rétablir l'équilibre dans l'ensemble de l'installation. On peut ensuite les reconnecter à l'entrée de la fourniture pour une surveillance en continu, non seulement de l'équilibre de tension, mais aussi d'autres paramètres d'alimentation importants comme les harmoniques ou le facteur de puissance.

Il y a deux étapes clé pour la réduction des déséquilibres de tension et leurs effets. La première consiste à employer des circuits séparés pour les charges monophasées importantes, puis de les raccorder au plus près de la source de l'alimentation. Comme ça, chaque charge monophasée ne provoquera pas de chute de tension sur des circuits utilisés par d'autres équipements. La deuxième étape consiste à s'assurer que toutes les charges monophasées, quelle qu'en soit l'importance, sont distribuées de manière égale sur les trois phases. Ces deux étapes peuvent vous épargner beaucoup de soucis et de dépenses.

Le facteur de puissance

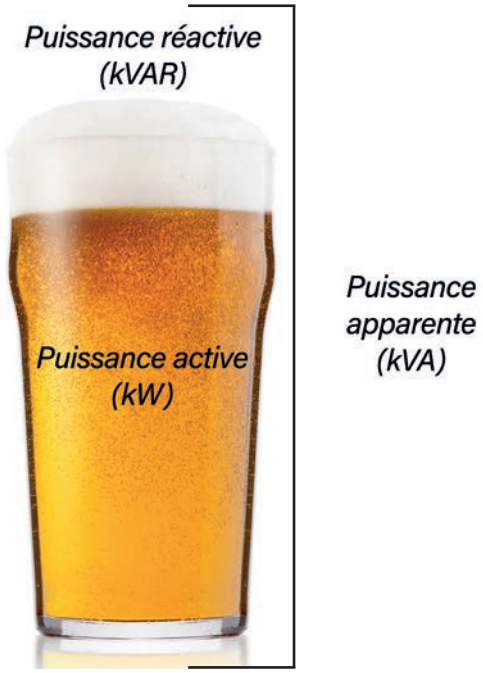
Comme les déséquilibres de tension, le facteur de puissance est rarement associé à la problématique de la qualité de l'énergie, mais on devrait clairement le prendre en compte parce qu'un mauvais facteur de puissance est un problème très répandu. Cela veut dire que les entreprises dépensent de grosses sommes d'argent pour de l'énergie qu'ils n'utilisent pas parce qu'ils ne peuvent pas l'utiliser, et pourtant, la solution du problème est assez simple et peu chère !

Un mauvais facteur de puissance, ça n'a rien de nouveau ; cela fait des décennies que des ingénieurs expérimentés, responsables d'installations industrielles ou commerciales, ont mis en place des actions pour garantir que le facteur de puissance de leur site reste bon. Aujourd'hui, cependant, de moins en moins de sites bénéficient de tels ingénieurs soucieux de s'occuper de cette problématique et, en conséquence, on laisse de côté le facteur de puissance, avant de finir inévitablement par gonfler inutilement les factures d'énergie. Mais quelle est la vraie nature du facteur de puissance et pourquoi est-il d'une si grande importance? La clé, c'est de savoir que certains types d'équipements électriques employés pour les applications industrielles et commerciales consomment une certaine quantité d'énergie réactive, en plus de l'énergie réelle (ou active) nécessaire à leur fonctionnement attendu. Il

s'agit souvent d'appareils inductifs – c'est-à-dire, des appareils qui intègrent des bobines de fil de par leur construction. Parmi les exemples courants, on trouve les moteurs, les systèmes de chauffage par induction, les postes de soudage à l'arc, les compresseurs et la plupart des types d'éclairage fluorescent. Il faut bien comprendre que, pour l'utilisateur des équipements, l'énergie réactive ne sert strictement à rien.

Sur le plan technique, l'énergie réactive est la différence vectorielle entre l'énergie réelle ou active consommée par un appareil et l'énergie totale qu'il consomme appelée : La puissance apparente. Et le facteur de puissance est le rapport entre la puissance réelle, active, et la puissance apparente. Un appareil dont le facteur de puissance est bas – appelé plus communément un « mauvais » facteur de puissance – tire plus de courant qu'un appareil qui fournit un travail utile équivalent mais qui bénéficie d'un facteur de puissance élevé (un « bon » facteur de puissance). Parce que l'élévation des courants provoque une augmentation des pertes d'énergie dans le réseau de distribution électrique, les fournisseurs d'énergie pénalisent les clients si leur facteur de puissance est mauvais, en leur facturant leur électricité à un tarif plus fort.

L'unité de mesure de la puissance active est le kVAr (kilovolt-ampère réactif), la puissance active ou réelle se mesure en kW (kilowatt) et la puissance apparente en kVA (kilovolt-ampère).



D'un point de vue moins technique, on peut comprendre la problématique plus facilement en la comparant à la bière ! Lorsque vous commandez une bière à la pression, le verre entier que vous payez est équivalent à la puissance apparente. Mais regardez de plus près : il y a de la mousse sur cette bière ! Le liquide est la partie que vous voulez avoir vraiment, équivalent à la puissance active, tandis que la mousse, qui ne contribue pas du tout à votre rafraîchissement, est équivalent à la puissance réactive. Un verre entièrement rempli de bière, sans mousse, représenterait un facteur de puissance de 1, sans aucune puissance réactive. Dans la vie réelle, il est généralement impossible d'arriver à ce niveau et on considère habituellement qu'un facteur de puissance de 0,95 (ce qui correspond à moins de 5% de mousse !) ou plus est admissible.

Jusque-là, pas de problème, mais si un appareil électrique consomme de la puissance active de manière inhérente, qu'est qu'on peut faire pour y remédier ? Heureusement, il est possible de corriger le facteur de puissance en ajoutant un système de correction du facteur de puissance, qu'on appelle aussi un système de rephasage. En général, il s'agit de condensateurs raccordés au tableau de distribution principal, ou parfois à d'autres endroits.

Beaucoup de sites ont déjà un système de rephasage sous une forme ou une autre mais, comme nous avons évoqué tout à l'heure, il ne s'agit pas vraiment d'une solution qu'on peut juste implémenter, puis oublier. Si on installe des équipements supplémentaires sur un site ou si le type d'équipements exploité sur le site change de manière significatif, on peut se retrouver avec un système de rephasage qui n'est plus suffisant. Il faut aussi noter que les condensateurs utilisés pour le rephasage peuvent se dégrader au fil des longues années de service et, à terme, on peut être contraint de les remplacer. En fait, selon The Carbon Trust, un consultant expert en développement durable, il n'est pas rare de voir des installations industrielles qui fonctionnent avec un niveau élevé de puissance réactive et un facteur de puissance entre 0,7 et 0,8. Cela peut paraître surprenant et même négligent, car le facteur de puissance n'est pas difficile à mesurer. On peut facilement le contrôler à l'aide d'instruments de test et mesure portables. Sinon, on peut le surveiller en temps réel avec les valeurs affichées en continu, ainsi qu'un grand nombre d'autres grandeurs utiles, comme la tension, le courant et la consommation d'énergie.

Même si la définition d'un système de rephasage pour réduire le niveau de puissance réactive exige une connaissance de plusieurs facteurs, dont le niveau de tension et l'utilisation typique des charges réactives sur le site, le profil d'utilisation sur le site et la qualité d'énergie nécessaire aux charges sur le site, il est facile de les mesurer et/ou les calculer. Et un système de rephasage bien conçu coûtera une fraction seulement des économies qu'il vous permettra de réaliser. Pour les dispositifs de rephasage les plus simples, il suffit d'installer des condensateurs, mais ça vaut la peine de comparer les offres disponibles et de demander les conseils d'un expert afin de réaliser un système qui répondra le plus précisément à vos besoins spécifiques. Si le facteur de puissance d'une machine en particulier s'avère mauvais, on pourra raccorder des condensateurs en parallèle pour compenser le mauvais facteur de puissance à chaque fois que la machine est mise sous tension. Autrement, si le facteur de puissance d'un site est en permanence mauvais sans que ce soit imputable à un seul équipement en particulier, il est possible de raccorder un dispositif de rephasage fixe sur l'alimentation principale des locaux.
Pour les applications plus complexes, où de multiples machines sont mises sous et hors tension à des moments différents, le facteur de puissance peut varier d'un instant à l'autre. Dans ce cas, le niveau de rephasage doit être contrôlé automatiquement par la commutation en et hors tension de batteries de condensateurs, selon les besoins. Lorsqu'il s'agit d'installations incorporant de grosses charges non linéaires, avec les courants harmoniques associés, il peut être nécessaire d'utiliser un système de rephasage à réactances désaccordées. De nombreuses solutions existent sur le marché pour fournir cette fonctionnalité, mais il faut toujours rechercher les conseils d'un expert si vous avez le moindre doute.

Garder un œil sur la qualité

Chez Chauvin Arnoux, nous espérons que ce livre livret blanc a réussi la démystification du sujet parfois complexe de la qualité de l'énergie, tout en expliquant pourquoi nous le trouvons si important. Si vous êtes un chef d'entreprise ou manager typique, vous êtes sûrement très attentif à la qualité des produits et des services que vous achetez pour le compte de votre entreprise ; vous devriez faire preuve de la même attitude concernant l'alimentation électrique. Après tout, la facture d'énergie représente une part significative de vos dépenses.

Comme nous l'avons démontré, la qualité de l'énergie peut se retrouver dégradée par de multiples facteurs, et cette dégradation a souvent des conséquences lourdes en termes de perturbations et de coûts. Ce qui est aussi important, cependant, c'est que nous avons montré que les problèmes de qualité de l' énergie sont faciles à détecter – si on dispose des bons appareils, bien sûr – et que, dans la plupart des cas, une fois les problèmes identifiés, il existe des solutions adaptées à des prix abordables.

Nous avons essayé de présenter aussi clairement que possible les informations dans ce Livre Livret blanc, mais la qualité de l'énergie reste sans aucun doute un sujet intimidant! Ainsi, si vous souhaitez de plus amples informations sur les idées que nous avons évoquées, ou si vous souhaitez de l'aide pour réaliser vos propres études de la qualité de l'énergie, n'hésitez pas à nous contacter. Cela ne vous coûtera rien de discuter avec Chauvin Arnoux, mais cela peut faire une sacrée différence au niveau de vos coûts et de votre rentabilité !

Julian Grant

CHAUVIN ARNOUX GROUP

Mesurer pour mieux Agir

DP4157 - FR - FM

FRANCE
Chauvin Arnoux
12-16, rue Sarah Bernardt
92600 Asnières Sur Seine
Tél. : +33 1 44 85 44 85
Fax : +33 1 46 27 73 89
info@chauvin-arnoux.fr
www.chauvin-arnoux.fr

INTERNATIONAL
Chauvin Arnoux
12-16, rue Sarah Bernardt
92600 Asnières Sur Seine
Tél : +33 1 44 85 44 38
Fax : +33 1 46 27 95 59
export@chauvin-arnoux.fr
www.chauvin-arnoux.com

SUISSE
Chauvin Arnoux AG
Moosacherstrasse 15
8804 AU / ZH
Tél. : +41 44 727 75 55
Fax : +41 44 727 75 56
info@chauvin-arnoux.ch
www.chauvin-arnoux.ch

CHAUVIN ARNOUX GROUP