

Rédacteur :

Akshay Thakur

Ingénieur Application

Société KOHLER

Dans le présent document, nous nous intéresserons à la distorsion harmonique qui se produit dans un système d'alimentation d'urgence. La source de cette distorsion harmonique provient essentiellement des charges non linéaires.

Après la lecture de ce document, vous comprendrez les effets des charges non linéaires et leurs avantages qui vous permettront de mettre au point un cahier des charges plus précis pour les applications à charges non linéaires et de sélectionner un meilleur groupe électrogène pour vos applications à charges non linéaires.

Introduction

Le dimensionnement de base d'un groupe électrogène se compose de trois éléments principaux :

1. Baisse de la tension et de la fréquence
2. Capacité de démarrage du moteur
3. Distorsion harmonique (charges non linéaires)

Que sont les charges non linéaires ?

Une charge linéaire présente une relation linéaire entre la tension et le courant absorbé par la charge. Pour une tension d'alimentation sinusoïdale, le courant absorbé sera sinusoïdal, comme illustré par la [Figure 1.1](#). Les charges non linéaires sont les principales causes de distorsion harmonique (pollution) dans un système d'alimentation électrique. Le courant absorbé ([Figure 1.2](#)) ne sera pas linéaire par rapport à la tension d'alimentation ce qui signifie que la tension d'alimentation sera déformée. La distorsion harmonique totale en courant (ITHD, Total Harmonic Current Distortion) correspond à la distorsion totale d'un courant de charge absorbé par la charge non linéaire comme illustré par la [Figure 1.3](#).

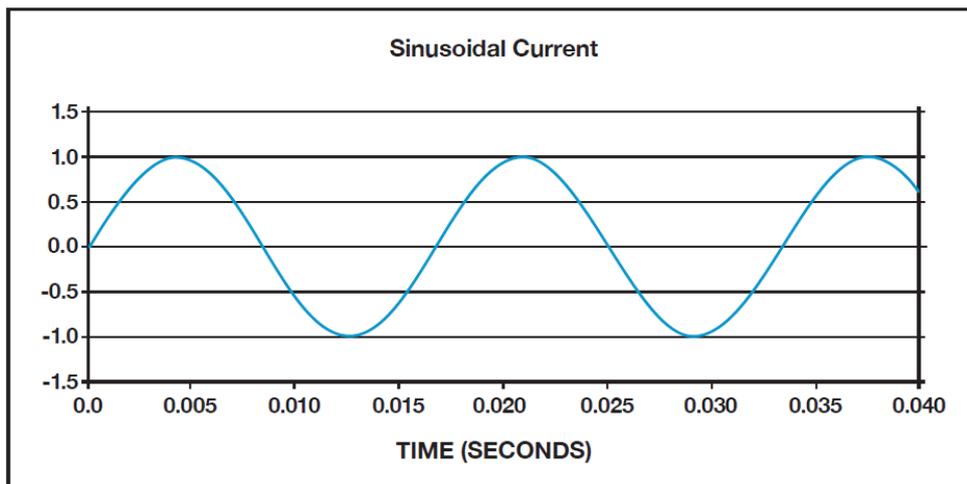


Figure 1.1

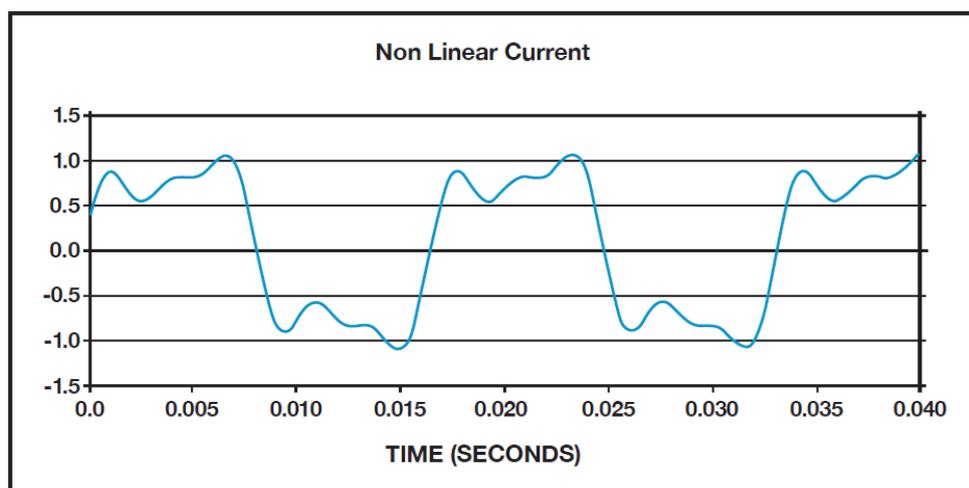


Figure 1.2

Cette ITHD est à l'origine d'une distorsion harmonique totale en tension (VTHD, Total Voltage Harmonic Distortion) proportionnelle dans les circuits du système.

Nous observerons une tension d'alimentation déformée dans l'ensemble des charges connectées électriquement à la même alimentation, à cause d'une seule charge non linéaire connectée. Cette VTHD est à l'origine de baisses anormales au niveau de la tension d'alimentation. Une ITHD et une VTHD sont causées par la présence d'harmoniques dans une charge non linéaire en raison de la mise sous et hors tension de n'importe quel circuit de commutation électronique statique. Le circuit de commutation doit comporter des dispositifs de type thyristors, RCS, transistors bipolaires à porte isolée et ballasts qui se mettent sous et hors tension si rapidement qu'ils créent de multiples courants de haute fréquence appelés harmoniques.

Exemples de charges non linéaires :

1. Blocs d'alimentation commutée pour les ordinateurs
2. Ballasts électroniques et magnétiques
3. Systèmes d'alimentation sans coupure (UPS)
4. Imprimantes, télécopieurs, photocopieurs
5. Éclairages DHI/fluorescents
6. Variateurs de fréquence (VFD, Variable-Frequency Drive) et entraînement par moteur CC
7. Chargeurs de batterie
8. Redresseurs commandés au silicium (RCS)
9. Appareils de soudage

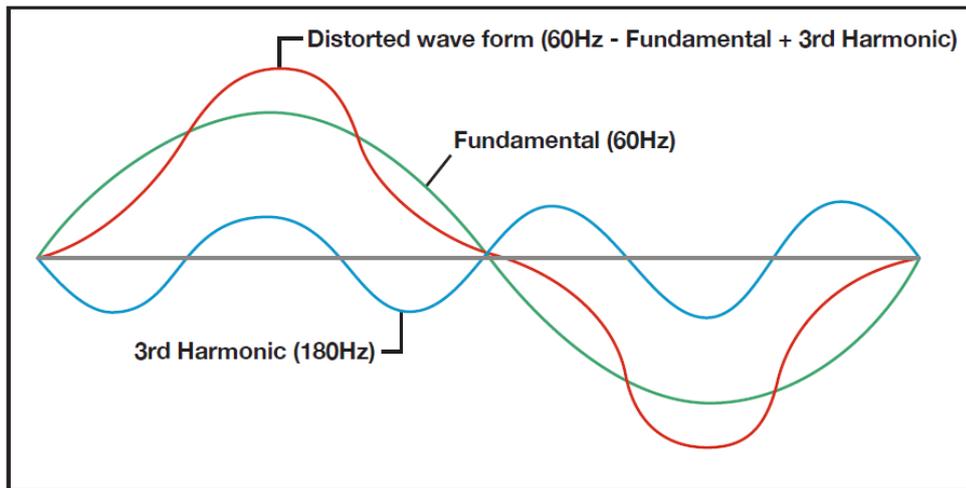


Figure 1.3

L'ITHD est le résultat de l'effet cumulatif d'harmoniques dans un courant individuel. La Figure 1.4 illustre la distorsion en tension d'alimentation qui se produit dans le système pour un courant de charge absorbé avec VFD à six impulsions. L'onde déformée illustrée par la Figure 1.3 peut être décrite comme l'ajout de sinusoïdes de fréquences différentes comme le troisième, le cinquième, le septième, etc. harmonique. Le cinquième, le septième ou le onzième harmonique, par exemple, créent un couple négatif allant à l'encontre du couple fondamental. Les harmoniques sont équivalents à 5, 7, 11 fois la fréquence fondamentale. Par exemple, le troisième harmonique équivaldra 180 Hz, comme illustré par la Figure 1.3. La figure montre la manière dont les harmoniques et la tension d'alimentation sinusoïdale créent l'onde de sortie déformée représentée en rouge.

Désormais, cette onde déformée (aux multiples baisses de tension) représentée en rouge symbolisera la tension d'alimentation des appareils électriquement connectés au groupe électrogène ce qui entraînera plusieurs dysfonctionnements sur les appareils sensibles aux harmoniques. Les caractéristiques de la plupart des groupes électrogènes destinés aux hôpitaux, par exemple, ont été pensées pour répondre au fait que les scanners IRM sont sujets aux baisses de tension au niveau de l'alimentation ce qui peut fausser les examens TDM. De la même manière, chaque application a des exigences spécifiques qui peuvent être affectées par une charge non linéaire. Le cercle tracé sur la Figure 1.4 (le courant de charge et la tension qui en résulte ont des échelles différentes) s'affiche lorsqu'un circuit de commutation tire le courant dans une charge non linéaire. Il en résulte alors une baisse de tension. En fonction du nombre de dispositifs de commutation, l'onde varie pour chaque charge non linéaire individuelle.

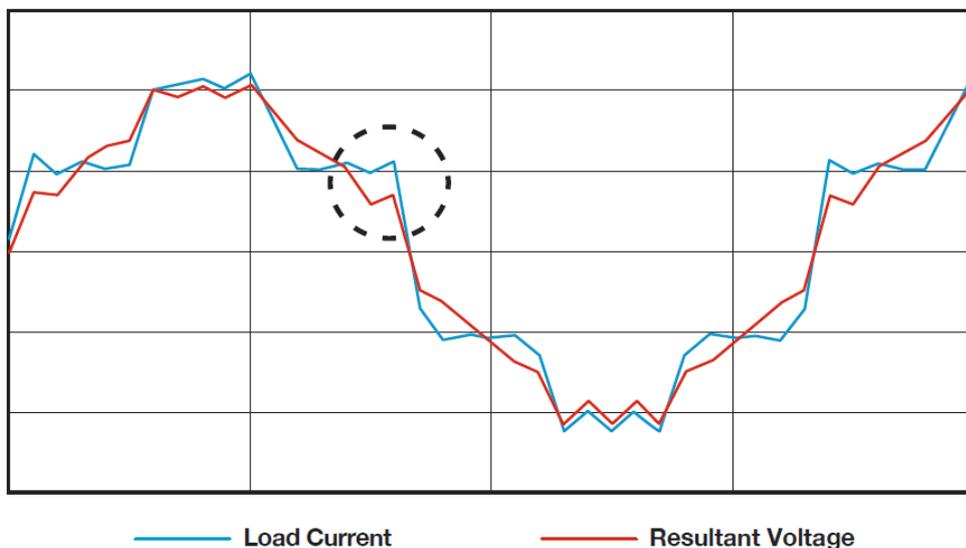


Figure 1.3

Quels sont les effets des charges non linéaires sur le groupe électrogène ?

La VTHD résulte de l'effet de l'ITHD combiné à la X_d'' de l'alternateur. L'ITHD correspond généralement à la part d'harmoniques dans l'amplitude totale du courant de charge. Plusieurs charges typiques (linéaires et non linéaires) peuvent être confrontées à des dysfonctionnements en raison de la tension d'alimentation déformée. C'est l'une des principales raisons pour lesquelles il existe de plus en plus d'applications, comme les stations de traitement des eaux usées, les centres de données ou les cabinets médicaux, qui nécessitent une faible réactance subtransitoire au niveau des alternateurs, le moyen le plus usité pour éviter tout problème avec les harmoniques du système. La VTHD est plus ou moins accentuée selon les dimensions du groupe électrogène en raison de l'impact mesurable de la distorsion en tension sur les charges électriquement connectées et le groupe électrogène. L'ITHD de la charge n'a pas obligatoirement un impact important sur la VTHD du système si la charge non linéaire est très faible par rapport à la puissance nominale (kVA) de l'alternateur.

Par exemple, la VTHD d'un ballast sans filtre utilisé pour un éclairage à LED doit être de 3,1 % même si l'ITHD est égale à 167 %. À l'inverse, un système d'alimentation sans coupure à six impulsions avec une ITHD de 28,9 % peut avoir une VTHD de 15,4 % même si la charge représente 50 % de la capacité totale de l'alternateur.

- Les effets harmoniques sont répertoriés ci-dessous par ordre croissant.
- Les erreurs de communication et la mauvaise utilisation des composants électroniques fragiles.

Tableau 4.1. (Remarque : 1 cycle équivaut à 0,0167 seconde)

Temps après le changement de charge	État	Quantité mathématique
5 secondes et plus	État stable	Réactance synchrone (X_d)
3 cycles - 5 secondes	Transitoire (capacité au démarrage du moteur)	Réactance transitoire (X_d')
Jusque 3 cycles	Distorsion harmonique	Réactance subtransitoire (X_d'')

- La surchauffe au niveau du groupe électrogène, des moteurs, des transformateurs et des charges électriquement connectées.

En raison de la présence d'harmoniques plus élevés, la puissance totale équivaut à la puissance fondamentale (puissance réelle), tandis qu'un taux de distorsion plus élevé entraînerait une baisse de puissance. Les cinquième, septième et onzième harmoniques du courant inverse sont la cause principale de la surchauffe. À cause de cette distorsion, la charge non linéaire absorbe un courant plus fort pour compenser, ce qui entraîne une surchauffe.

- La durée de vie de l'alternateur est raccourcie en raison du vieillissement thermique de l'isolation.
- Les disjoncteurs peuvent se déclencher de manière inopinée en raison des importantes distorsions harmoniques en tension.
- Les cas de surfréquence observés résultent de la présence d'harmoniques plus élevés au niveau du régulateur de tension (alternateur excité par un auxiliaire).

Comment limiter les effets nuisibles des charges non linéaires ?

Le [Tableau 4.1](#) illustre l'état du groupe électrogène et la quantité mathématique liée responsable dudit état. Les X_d , X_d' , X_d'' , etc., sont des quantités mathématiques permettant d'évaluer la performance d'une machine synchrone. Quand la valeur de X_d'' diminue, le groupe électrogène est en mesure de gérer une plus grande distorsion harmonique causée par une charge harmonique. Il n'est pas rare dans le secteur industriel que les caractéristiques des groupes électrogènes indiquent une X_d'' de 12 % comme limite standard pour la distorsion harmonique. Toutefois, la distorsion harmonique d'une charge non linéaire doit également être prise en considération avant le dimensionnement du groupe électrogène.

Le [Tableau 4.2](#) illustre l'exemple type d'une distorsion en courant dans un système d'alimentation sans coupure à six impulsions.

ITHD	28,9 %
3 ^e	0,0 %
5 ^e	20,0 %
7 ^e	14,0 %
9 ^e	0,0 %
11 ^e	9,0 %
13 ^e	8,0 %
15 ^e	0,0 %
17 ^e	6,0 %
19 ^e	5,0 %
21 ^e	0,0 %
23 ^e	4,0 %
25 ^e	4,0 %

Tableau 4.2

Comprendre les principaux facteurs de dimensionnement, étude de cas n° 1 : (levier sur le coût de la réactance subtransitoire)

Système d'alimentation sans coupure de 150 kVA (charge non linéaire) + 150 kVA (charge linéaire) = 300 kVA

Si aucune limite n'est indiquée pour la VTHD (distorsion en tension) dans les caractéristiques, la règle empirique de 10 % s'applique. L'ITHD (distorsion en courant) de la charge non linéaire pour la norme industrielle du système d'alimentation sans coupure est de 30 % (peut être légèrement inférieure avec les nouveaux UPS).

Xd'' requise pour le système = (VTHD %/ITHD %) x (pulsations pour l'UPS/6) x 10

Ainsi pour le Cas n° 1, Xd'' = 3,33 %

Pour l'alternateur de 300 kVA 480 V avec isolation de classe F et une Xd'' de 12 %, la Xd'' avec l'UPS sera égale à $150/300 \times 12 \% = 6 \%$ c'est-à-dire bien plus que les 3,33 % escomptés. L'alternateur n'est donc pas acceptable.

Pour l'alternateur de 600 kVA 480 V avec isolation de classe F et une Xd'' de 10 %, la Xd'' avec l'UPS sera égale à $150/600 \times 12 \% = 3 \%$, soit un résultat dans la limite acceptable des 3,33 % escomptés. L'alternateur est donc acceptable.

Avec le cas illustré ci-dessus, nous pouvons voir que la puissance et le coût de l'alternateur peuvent atteindre des sommets selon les exigences de la charge non linéaire.

Comprendre les principaux facteurs de dimensionnement, étude de cas n° 2 : (compromis en termes de charge non linéaire)

Les méthodes permettant de connecter un moteur au groupe électrogène utilisé dans l'exemple ci-dessus pour comparaison sont I) à pleine tension (pas de démarreur spécifique), II) VFD

Hypothèses pour cette étude :

- La limite pour la baisse de tension est de 30 %.
- La limite pour la baisse de fréquence est de 10 %.
- La limite pour la VTHD est de 10 %.
- La charge du groupe électrogène est comprise entre 25 % et 90 %.
- La distorsion en tension est uniquement associée à l'application du VFD tant que la distorsion est nulle pour les applications à pleine tension.

Comparatif : Le VFD comparé au démarreur à pleine tension

- Le VFD permet de mieux contrôler le couple. Par conséquent, il convient parfaitement pour les applications comme les appareils de levage et les ascenseurs, en offrant un contrôle sans à-coup.

- Aujourd'hui, la programmation d'un logiciel offre de meilleures fonctionnalités ainsi qu'un contrôle à distance de la charge.

- Tout appel de courant pendant un démarrage à pleine tension est interdit.

- Les économies d'énergie sont un autre avantage du VFD dès lors qu'un gros moteur actionnant une pompe dans un système CVC n'a pas besoin de tourner à pleine capacité en permanence. Le VFD modifie ainsi la courbe des pompes.

Selon les lois de similitude relatives à la vitesse et la pression, la puissance approximative requise pour actionner une pompe à 80 % ou à la vitesse nominale est de 51,2 %, soit environ la moitié de la capacité totale.

Alternateur sélectionné				
Charge mixte totale (kW)	Part non linéaire de la charge (kW)	À pleine tension (kW)	VFD (kW)	Distorsion en tension %
300	81,11	350	350	4,55
300	222,22	700	500	9,23
303,33	303,33	800	700	7,74

Tableau 4.3

Le surdimensionnement de l'alternateur est un autre moyen d'atténuer les harmoniques, car la puissance totale au démarrage requise pour une charge non linéaire est faible. Dans le secteur industriel, la principale ligne directrice consiste à dire que la distorsion harmonique totale en tension pour une charge non linéaire doit être inférieure à 25 %. Le ratio entre la charge non linéaire et la pleine charge donne la distorsion harmonique totale (THD). Plus le ratio est faible, plus la THD du groupe électrogène est élevée. Si nous nous intéressons au [Tableau 4.3](#), nous pouvons voir comment la distorsion en tension augmente proportionnellement à la hausse de charge non linéaire. Nous devons grader à l'esprit que pour l'application du moteur à pleine tension, aucune distorsion en tension n'est requise. Elle est donc considérée comme nulle (0 % de la charge). Le démarrage du gros moteur de 222,22 kW a un avantage. Les VFD étant plus efficaces, la puissance requise pour le groupe électrogène (500 kW) décroît par rapport à un démarrage à pleine tension (700 kW).

Plus l'alternateur est supérieur à la charge non linéaire, meilleure sera sa capacité à atténuer les harmoniques.

Selon les données disponibles pour chaque baisse de 10 % drop en termes de vitesse, l'économie d'énergie réalisée s'élève à 27 %.

Cette étude de cas souligne les caractéristiques de l'application importantes pour évaluer le type de source d'alimentation d'urgence requis. Par exemple, si les baisses de tension sont un enjeu majeur, un démarreur progressif ou un VFD peuvent être une bonne solution, mais si la distorsion harmonique injectée dans l'alimentation électrique doit être réduite, alors un démarreur direct (à pleine tension) sera un choix avisé.

Ainsi, un moteur équipé d'un VFD subira moins de baisses de tension et moins de distorsion en tension lorsqu'il sera raccordé au réseau public par rapport à un groupe électrogène de secours. Le taux d'harmoniques peut être différent en fonction du point de mesure.

Comment les normes du secteur industriel régissent les charges non linéaires ?

La norme IEEE 5-19-2014 fournit des lignes directrices en matière de limites admissibles pour la distorsion harmonique. L'IEEE recommande de définir un point commun de raccordement au réseau public (PCC, point of common coupling) pour mesurer la part d'harmoniques. Néanmoins, le PCC concerne le réseau public, pas le groupe électrogène d'urgence. Le PCC désigne donc tout ce qui pourra relier le groupe électrogène aux charges (par exemple, un commutateur de transfert automatique). L'IEEE suggère également que la responsabilité des harmoniques basés sur la charge non linéaire doit être partagée entre le fabricant du groupe électrogène et l'ingénieur désigné.

Des filtres et de meilleures charges non linéaires

Différents filtres peuvent être appliqués au système pour supprimer les harmoniques individuels. Les méthodes sont les suivantes :

- Filtre passif : il s'agit globalement d'un circuit à condensateur/inducteur qui filtre les harmoniques spécifiques, sans tous les éliminer. Il est également important de veiller à ce que le filtre passif ne soit pas simplement capacitif, car cela causerait un facteur de puissance capacitif pouvant entraîner une auto-excitation et la perte de contrôle de la tension.
- Filtre actif : le filtrage actif est une manière plus coûteuse de filtrer les harmoniques et d'ajouter de multiples frais indirects au projet. Le courant absorbé est géré pour corriger le facteur de puissance lorsque la distorsion harmonique est quasiment nulle.
- Des charges avec une plus faible ITHD : utilisation de charges non linéaires avec plus d'impulsions (des VFD à 12 ou 18 impulsions au lieu de 6, par exemple). Les VFD à 12 ou 18 impulsions se composent de plusieurs redresseurs qui permettent une commutation plus rapide de manière à éliminer les harmoniques plus faibles.

Conclusion

Le présent document évoque les bonnes pratiques en matière d'identification et d'atténuation des effets liés aux charges non linéaires observés dans un système d'alimentation moderne. En premier lieu, nous avons abordé les effets des harmoniques sur le dimensionnement d'un groupe électrogène de secours. Les études de cas ont mis en évidence que le choix d'un groupe électrogène pour alimenter l'application dépendait de l'application et des charges choisies. Les caractéristiques se sont révélées de première importance et les exemples de dimensionnement présentés dans ce document ont montré que la fourniture d'informations pertinentes sur l'application était essentielle avant de pouvoir publier une spécification.

Les charges non linéaires comportent de multiples risques et peuvent causer des situations compliquées comme l'identification des problèmes majeurs (capacité à gérer les baisses de tension ou les distorsions, etc.). Néanmoins, elles sont essentielles pour les applications critiques comme les centres de données, les établissements médicaux et les stations de traitement des eaux usées. Par conséquent, il est primordial de consulter KOHLER-SDMO pendant la phase de rédaction des caractéristiques afin d'être sûr d'opter pour une solution de secours efficace et efficiente.

Le présent document n'aborde pas l'ensemble des effets dus aux charges. Il est donc recommandé d'utiliser le logiciel Sizing Program proposé par KOHLER-SDMO qui prend en considération les caractéristiques spécifiques de chaque application.

Références :

Actes de la 22^e Conférence annuelle sur l'irrigation des plaines centrales, Kearney, NE., 23-24 février 2011

La Figure 1.3 relative à la qualité de la puissance a été mise gracieusement à notre disposition par M. Jagadeesan ASP/EEE KLN, College of Engineering Pottapalayam

FAQ de l'Association des fabricants et fournisseurs de systèmes de production d'énergie électrique (Association of Manufacturers and Suppliers of Power Generating Systems).

Actes de la 6^e Conférence internationale WSEAS sur les systèmes d'alimentation, Lisbonne, Portugal, 22-24 septembre 2006 <https://electricalnotes.wordpress.com/2011/03/20/harmonics-and-its-effects/>

Copyright 2019