

Tutoriel

Leonardo
ENERGY

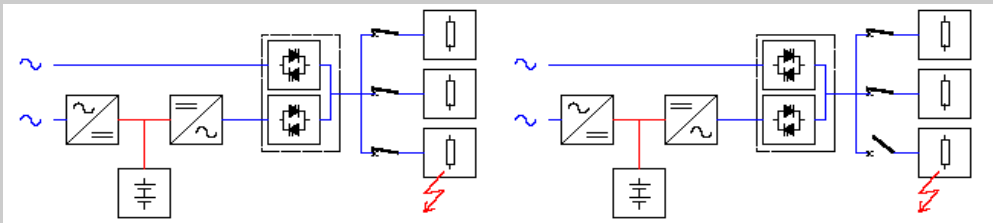


Comprendre la qualité de l'énergie

Angelo BAGGINI

Engineering Consulting & Design

Septembre 2009



POWER QUALITY

Tutoriel

fr.leonardo-energy.org

Table des matières

1.	Introduction	5
2.	Phénomènes liés à la qualité de l'énergie	5
2.1	Les Harmoniques	5
2.2	Coupures brèves (< 1 min).....	5
2.3	Coupures longues (> 1 min)	6
2.4	Bosses et creux de tension	6
2.5	Transitoires, surtensions (commutation, foudre).....	7
2.6	Flicker	7
2.7	Déséquilibre	7
2.8	Valeur de la tension (sous et surtensions de long terme)	8
2.8.1	Sous-tensions	8
2.8.2	Surtensions	8
2.9	Mises à la terre et CEM	9
3.	Problèmes de qualité de l'énergie	10
3.1	Déclenchement intempestif de disjoncteurs et de DRRs..	10
3.2	Perte d'ordinateurs	11
3.3	Les ordinateurs ou d'autres équipements électroniques sont endommagés.....	11
3.4	Perte de données	11
3.5	Flicker, papillotement ou atténuation de la lumière	11

Comprendre la qualité de l'énergie

fr.leonardo-energy.org

3.6	Perte de synchronisation d'un équipement de traitement..	12
3.7	Dysfonctionnements de moteurs ou d'autres équipements de process	12
3.8	Destructions de moteurs ou d'autres équipements de process	12
3.9	Bruit et interférences sur les lignes de communication	12
3.10	Ouvertures intempestives de relais et de contacteurs	13
3.11	Surchauffe des transformateurs et des câbles	13
4.	<u>Solutions pour maintenir la qualité de l'énergie.....</u>	13
4.1	Groupe(s) électrogène(s) de secours	13
4.2	Conditionneurs dynamiques de tension	13
4.3	Filtre harmonique (passif)	14
4.4	Transformateurs d'isolement.....	14
4.5	Conditionneurs de réseau ou filtres actifs.....	15
4.6	Alimentations multiples indépendantes.....	15
4.7	Surdimensionnement des équipements (transformateurs moteurs) et des câbles (lignes et particulièrement les conducteurs de neutre).....	16
4.8	Blindage et mise à la terre	16
4.9	Systèmes de transfert statiques	17
4.10	Compensateur statique.....	19
4.11	Parasurtenseurs sur les parties maîtresses d'un équipement	20

Tutoriel

fr.leonardo-energy.org

4.12	Alimentations sans interruption (ASI)	20
4.13	Stabilisateurs de tension	21
5.	<u>Les phénomènes affectant la qualité de l'énergie</u>	
	<u>et problèmes de conception</u>	22
6.	<u>Références bibliographiques</u>	23

1. Introduction

Ce bref tutoriel présente les phénomènes liés à la qualité de l'énergie, les problèmes qu'ils engendrent et les solutions.

2. Phénomènes liés à la qualité de l'énergie

2.1 Les harmoniques

Les fréquences harmoniques sont des multiples entiers du fondamental de la fréquence d'alimentation, à savoir, pour un fondamental à 50 Hz, le troisième harmonique sera à 150 Hz, et le cinquième à 250 Hz. Une forme d'onde présentant de la distorsion harmonique n'est bien évidemment pas sinusoïdale, ce qui signifie qu'un appareil de mesure simple, tel qu'un multimètre ferromagnétique calibré pour fournir la valeur efficace, indiquera une valeur erronée. Il faut également noter que l'onde peut présenter plus de deux passages par zéro à l'intérieur d'un cycle et qu'en conséquence, tout appareil utilisant le passage par zéro comme référence risque de dysfonctionner. La forme d'onde contient des fréquences multiples du fondamental et doit être traitée en conséquence.

Lorsque l'on parle d'harmoniques sur les installations électriques, les courants en étant la première cause, ce sont les harmoniques en courant qui sont à prendre en compte et la plupart des effets nocifs leur sont imputables. Aucune conclusion utile ne peut être faite sans connaissance du spectre des courants, mais il est encore très fréquent de ne voir mentionner que le taux de distorsion harmonique (TDH). Lorsque le phénomène harmonique se propage sur un réseau électrique, c'est-à-dire vers des circuits qui ne véhiculent pas les courants harmoniques identifiés, ce sont les tensions qui sont impliquées. Il est donc important de mesurer à la fois les valeurs concernant les tensions et les courants et qu'elles soient explicitement spécifiées comme relatives aux tensions ou aux courants. Conventionnellement, les mesures de la distorsion en courant sont fournies avec le suffixe I, par exemple 35 % TDHI et celle en tension avec un V, 4 % TDHU par exemple.

Les harmoniques de courants sont présentes sur les réseaux électriques depuis de nombreuses années. A l'origine, elles étaient générées par les redresseurs à arcs au mercure utilisés dans la conversion alternative continu sur les réseaux ferrés et par les variateurs de vitesse courant continu dans l'industrie. Plus récemment, l'étendue des types d'équipement générateurs d'harmoniques et leur nombre ont énormément augmenté et continueront de le faire, c'est pourquoi les concepteurs et les prescripteurs doivent maintenant y être très attentifs, ainsi qu'à toutes leurs conséquences.

2.2 Coupures brèves (< 1min)

Disparition de la présence tension sur toutes les phases, également définie parfois comme «...une ou plusieurs phases». Habituellement précisée par un terme additionnel fournissant la chute de tension ou la tension résiduelle et la durée d'interruption (par

exemple momentanée, temporaire ou prolongée). Les valeurs dépendent des normes.

Coups brèves :

IEEE = - $\Delta U_n < 90\%$ durée entre 20 ms et 1 minute

EN = - $\Delta U_n < 99\%$ durée entre 20 ms et 3 minutes

Une coupure brève est interprétée par certaines définitions comme un type particulier de creux de tension.

2.3 Coupures longues (> 1min)

Disparition de la présence tension sur toutes les phases, également définie parfois comme «...une ou plusieurs phases». Habituellement précisée par un terme additionnel fournissant la chute de tension ou la tension résiduelle et la durée d'interruption (par exemple momentanée, temporaire ou prolongée). Les valeurs dépendent des normes.

Coups longues :

IEEE = - $\Delta U_n < 90\%$ durée > 1 minute

EN = - $\Delta U_n < 99\%$ durée > 3 minutes

2.4 Creux et bosses de tension

Un creux de tension est une diminution de faible durée ou une disparition complète de la tension efficace. Il est défini en termes de durée et de tension résiduelle, habituellement exprimée comme un pourcentage de la valeur efficace nominale subsistant au point le plus bas sur la distribution durant le creux. Un creux de tension signifie que l'énergie requise n'est plus fournie à la charge et que cela peut avoir de sérieuses conséquences selon la nature de la charge concernée. Les baisses de tension – diminution de longue durée de la tension - sont habituellement dues à une diminution délibérée de la tension par le fournisseur pour atténuer la charge à des moments de demande maximale ou par une fourniture inhabituellement faible en rapport avec la charge.

L'entraînement des moteurs, y compris par variateurs de vitesse, est particulièrement sensible, car la charge continue d'appeler de l'énergie qui n'est plus disponible, sauf à considérer l'inertie du système entraîné. Dans les processus où plusieurs entraînements sont impliqués, les unités de contrôle d'un des moteurs peuvent détecter la chute de tension et interrompre l'entraînement à un niveau de tension différent de celui des autres moteurs, et à un moment différent de la décélération, provoquant ainsi la perte de contrôle totale du processus. Le traitement des données et le contrôle des équipements sont également très sensibles aux creux de tension et peuvent être affectés par une perte de données et des arrêts prolongés.

Il existe deux causes principales aux creux de tension : le démarrage de charges importantes, aussi bien celles présentes sur le site que celles d'un autre client sur la

même alimentation et les courts-circuits sur d'autres parties du réseau.

Les bosses de tension – accroissement temporaire de la valeur efficace de la tension alternative, avec une amplitude de tension résiduelle entre 110 % et 180 % de la tension nominale.

2.5 Transitoires, surtensions (commutation, foudre)

Relatif à ou désignant un phénomène ou une quantité qui varient entre deux états permanents pendant un intervalle de temps court comparé à l'échelle de temps considérée, un transitoire peut être une impulsion unidirectionnelle de polarité quelconque ou une onde oscillatoire amortie dont la première crête est de polarité quelconque. Les causes possibles incluent les commutations de manœuvre et les coups de foudre sur le réseau, ainsi que les enclenchements de charges réactives sur le site de l'utilisateur ou ceux connectés sur la même alimentation. Les surtensions transitoires peuvent atteindre des amplitudes de plusieurs milliers de volts et peuvent causer de sérieux dommages aussi bien sur l'installation que sur les équipements qui y sont connectés. Les fournisseurs d'énergie électrique et les compagnies téléphoniques s'efforcent de faire en sorte que leurs arrivées ne permettent pas la propagation de transitoires dommageables pour les installations des clients. Cependant, certains transitoires non dommageables peuvent toutefois entraîner des perturbations importantes liées à la corruption des données. L'existence et l'influence des transitoires peuvent être notablement limités, et l'efficacité des méthodes de suppression fortement améliorées par la mise en œuvre d'un schéma de liaison à la terre sain. Un tel schéma de liaison à la terre possédera de multiples connexions au sol et de nombreux chemins vers la terre seront disponibles pour garantir l'équipotentialité et une faible impédance dans une large bande de fréquences.

2.6 Flicker

Le flicker consiste en des variations de tension de courte durée, résultant de commutations, de courts-circuits ou de modifications de la charge. L'amplitude admissible du flicker lumineux est réglementée par des normes internationales, établies à partir de critères de perception. Un flicker excessif peut provoquer des migraines et est à l'origine d'apparitions du phénomène appelé « syndrome des édifices hermétiques ».

2.7 Déséquilibre

Un système de tensions triphasées est réputé équilibré ou symétrique si les tensions et les courants présents sur les trois phases ont la même amplitude et sont déphasés l'un par rapport aux autres de 120°. Si une ou plusieurs de ces conditions ne sont pas respectées, le système est dit déséquilibré ou asymétrique. Il est ici implicite que les formes d'ondes sont sinusoïdales et donc ne contiennent pas d'harmoniques.

Dans la plupart des cas en pratique, l'asymétrie des charges est la cause principale du déséquilibre. Pour les niveaux de hautes et de moyennes tensions, les charges sont usuellement triphasées et équilibrées, bien qu'il puisse exister des charges mono ou

diphasées, comme en traction ferroviaire AC (par exemple les trains à grande vitesse) ou les fours à induction (grands systèmes de fusion des métaux utilisant de puissants arcs électriques irréguliers pour générer de la chaleur).

Les charges basse tension sont habituellement monophasés, par exemple les ordinateurs ou les systèmes d'éclairage, et l'équilibrage entre phases devient alors difficile à garantir. Dans le schéma de câblage d'un système électrique alimentant de telles charges, les circuits sont alimentés par une des trois phases, par exemple une phase par étage dans un appartement ou un immeuble de bureau, ou en alternant le raccordement sur des rangées de maisons. Malgré cela, l'équilibrage de la charge équivalente vue par le transformateur principal fluctue du fait de la répartition statistique des cycles d'utilisation des différentes charges individuelles. Des conditions anormales d'utilisation du système peuvent également être à l'origine de déséquilibre de phases. Des défauts phase-terre, phase-phase, des ruptures de conducteurs en sont des exemples typiques. Ces défauts sont à l'origine de baisses de tension sur une ou plusieurs des phases impliquées et peuvent même engendrer indirectement des surtensions sur les autres phases. Le comportement du système devient alors, par définition même, déséquilibré, mais ce type de phénomènes est généralement considéré comme une perturbation sur la tension et traité comme tel dans les guides d'application correspondants, le système de protection du réseau électrique devant alors couper le défaut.

2.8 Valeur de la tension (sous et surtensions de longue durée)

Les variations de tension de longue durée se produisent généralement sur des périodes de plusieurs secondes. Elles ne résultent pas de défaut sur le système. Elles peuvent être induites par des variations de charge, des manœuvres de commutation sur le réseau et des pratiques de régulation de tension du système général. Ces variations de longues durées peuvent aussi bien être des sous et des surtensions, selon la cause de la variation. Elles peuvent avoir de l'influence sur un équipement sensible à la valeur de la tension, si par exemple celui-ci est protégé contre ce phénomène ou s'il s'agit d'équipements contrôlés en tension comme des moteurs, protégés contre des surcharges.

2.8.1 Sous-tensions

Une sous-tension est une diminution de la valeur efficace de la tension (à partir d'au moins 90 % de la tension nominale) à la fréquence de travail pendant plusieurs secondes (ou même une minute).

2.8.2 Surtensions

Une surtension est une augmentation de la valeur efficace de la tension (à partir de plus de 110 % de la tension nominale) à la fréquence de travail pendant plusieurs secondes (ou même une minute).

2.9 Mises à la terre et CEM

La mise à la terre des installations et des équipements est un sujet qui traverse les frontières de diverses disciplines relatives à la construction et à l'installation d'un immeuble moderne à usage commercial ou industriel. En général, un système de mise à la terre doit satisfaire à trois besoins :

- foudre et court-circuit : le schéma de mise à la terre doit protéger les usagers, prévenir contre les dommages directs tels que le feu, l'étincelage ou les explosions dus à un coup de foudre ou une surchauffe provoquée par un courant de court-circuit.
- sécurité : le schéma de mise à la terre doit conduire la foudre et les courants de court-circuit, sans apparition de tensions de pas ou de tensions de contact inadmissibles.
- protection des équipements et fonctionnalité : le schéma de mise à la terre doit protéger les systèmes électroniques en proposant un chemin basse impédance pour interconnecter les équipements. Le schéma de câblage adapté, ainsi que le zonage et le blindage sont des aspects importants et répondent au besoin d'empêcher les sources de perturbations d'interférer avec le bon fonctionnement des équipements électriques.

Bien que les spécifications pour ces trois aspects soient souvent présentées séparément, leur mise en œuvre nécessite une approche globale des systèmes. Chaque partie d'un équipement électrique ou électronique est une source de rayonnement électromagnétique. Réciproquement, toute partie d'un équipement électrique est aussi plus ou moins sensible au rayonnement électromagnétique. Lorsque tout fonctionne, le niveau cumulé de rayonnement dans un environnement donné doit être inférieur à celui qui interromprait le bon fonctionnement d'un équipement fonctionnant dans cet environnement. Afin d'atteindre cet objectif, tout équipement est conçu, construit et testé sur la base de normes afin de réduire la quantité de rayonnement émis et augmenter son immunité à celui reçu.

La CEM est définie dans les normes IEC 61000 comme :

« la capacité d'un équipement ou un système à fonctionner de façon satisfaisante dans son environnement électromagnétique, sans provoquer lui-même des perturbations électromagnétiques inacceptables pour les autres équipements dans cet environnement ».

Obtenir en pratique cette compatibilité nécessite d'apporter un grand soin à la conception et à la réalisation de l'installation, ainsi qu'au schéma de liaison à la terre. Des conseils détaillés seront fournis dans la suite de ce guide ; seule une vue d'ensemble générale est ici présentée.

Tutoriel

fr.leonardo-energy.org

Des systèmes de mise à la terre séparés, comme par exemple une terre pour le petit signal, une terre informatique, une terre pour la puissance, une terre pour l'éclairage, etc., étaient utilisés dans les conceptions de distributions électriques traditionnelles. Aujourd'hui, de nouvelles visions se sont imposées sur le sujet, en relation avec la protection des instruments. Le concept des systèmes de mise à la terre séparés a été abandonné et les normes internationales prescrivent de nos jours un système unique. Il n'existe pas de notion de terre "propre" ou "sale".

Le concept de terre unique signifie, en pratique, que les conducteurs de protection équipotentielle (PE), les conducteurs de mise à la terre parallélisés, les armoires électriques ainsi que les blindages et écrans des câbles petit signal ou de puissance sont tous interconnectés. Les parties métalliques du bâtiment, ainsi que les canalisations d'eau ou de gaz en font partie. De façon idéale, tous les conducteurs entrant dans une zone doivent y pénétrer en un point unique où tous les écrans et autres conducteurs de terre sont connectés.

Afin d'éviter les interférences sur un équipement, il faut minimiser la surface des boucles entre les câbles écrans et tous les autres conducteurs de terre. Relier les câbles aux structures métalliques équivaut à faire de ces structures des conducteurs parallèles équipotentiels (CPE). Les structures parallèles équipotentielles sont utilisées aussi bien pour le petit signal que pour la puissance. Les exemples typiques sont, par ordre croissant d'efficacité, les câbles de mise à la terre, les gaines montantes, les surfaces métalliques plates, les chemins de câbles et enfin les canalisations métalliques. Les CPE réduisent l'impédance de la boucle formée par un câble et le réseau de terre. La valeur de la résistance du puits de terre a peu d'importance pour la protection des équipements. Une architecture très efficace pour les CPE consiste en un maillage dense ou un câble écran de forte section métallique connecté aux deux bouts.

Afin de conserver l'impédance des connections au réseau de terre à une valeur basse pour les hautes fréquences, du câble toronné (torsadé, chaque brin isolé individuellement), ou des bandes métalliques avec un rapport longueur largeur inférieur à 5 doivent être utilisés. Pour les fréquences supérieures à 10 MHz, il ne faut pas utiliser du câble cylindrique.

Un plancher surélevé peut constituer un bon plan de masse. Le quadrillage de cuivre inférieur doit avoir une maille au plus égale à 1,2 mètre et être relié au réseau de terre général au moyen de nombreuses liaisons équipotentiels. Le quadrillage doit être connecté à un anneau de cuivre de 50 mm² ceinturant toute la surface du plancher surélevé, à l'intérieur du plancher, et connecté tous les 6 mètres. Les câbles petit signal et puissance doivent être séparés d'au moins 20 cm et, s'ils doivent se croiser, c'est à angle droit.

3. Problèmes de qualité d'énergie

3.1 Déclenchement intempestif de disjoncteurs et de DDRs (Dispositifs Différentiels à courants Résiduels)

Les courants d'appel peuvent faire déclencher les disjoncteurs. Il se peut que ceux-ci n'effectuent pas correctement la somme du fondamental et des différentes harmoniques et déclenchent par erreur ou ne déclenchent pas alors qu'ils devraient. Les courants de fuite peuvent dépasser les seuils provoquant le déclenchement des dispositifs différentiels résiduels.

3.2 Perte d'ordinateurs

Un courant de terre interne à l'équipement peut avoir comme conséquence une chute de tension entre l'équipement et la vraie terre. Même si elle est faible, la tension de bruit peut être significative, comparée au signal de tension (quelques volts) sous lequel fonctionne l'équipement informatique. Le hardware d'un PC est conçu pour minimiser la sensibilité à ce type de perturbations, mais elles ne peuvent être totalement éliminées, particulièrement lorsque la fréquence du bruit augmente. Les protocoles de communications modernes possèdent des détections d'erreurs et des algorithmes correctifs implantés qui demandent la retransmission des données erronées reçues – et, par conséquent, réduisant le débit des données. Il en résulte souvent un ralentissement des PCs ou leur perte, phénomène fréquent de nos jours dans les environnements de bureaux.

3.3 Les ordinateurs ou d'autres équipements électroniques sont endommagés

Si la foudre ou des phénomènes de commutation de manœuvre se produisent "au voisinage" des ordinateurs ou d'autres équipements électroniques, cela peut endommager totalement l'équipement si celui-ci n'est pas suffisamment protégé contre ces pics de tension.

3.4 Perte de données

Les courants de fuite à la terre provoquent de légères baisses de tension le long du conducteur de protection équipotentiel. Sur un réseau TN-C, le conducteur commun neutre-terre véhicule de façon permanente un courant significatif où prédomine des harmoniques de rang trois et multiples. Du fait de l'augmentation croissante des signaux basse tension dans les équipements informatiques, le taux d'erreurs sur les bits augmente jusqu'à bloquer la totalité du réseau ou le paralyser. Combien de grands et petits réseaux privés n'ont pas connu ce phénomène, au moins une fois par semaine ? Là où cela se produit, le réseau est bloqué, le service de courrier électronique n'est plus disponible et l'impression de documents n'est plus possible sans raison apparente.

3.5 Flicker, papillotement ou atténuation de la lumière

Des modifications de courtes durées, dues à des commutations, des courts-circuits ou des modifications de charge peuvent engendrer du flicker lumineux. L'amplitude admissible du flicker lumineux est défini par des normes internationales et est basée sur des critères de perception. Le papillotement ou l'atténuation lumineuse peuvent également être causés par des baisses de tension courtes ou longues, provoquées par des fluctuations de la charge et une puissance de court-circuit du système électrique local trop faible.

3.6 Perte de synchronisation d'un équipement de traitement

Une distorsion harmonique élevée peut provoquer de multiples passages par zéro dans un cycle de l'onde de tension sinusoïdale et impacter un équipement de mesure sensible. La synchronisation de l'équipement de contrôle du process peut alors être affectée et les automates peuvent se bloquer.

3.7 Dysfonctionnement de moteurs ou d'autres équipements de process

Les harmoniques de tension sont à l'origine de pertes supplémentaires dans les moteurs asynchrones directement connectés au réseau. Le 5ème harmonique crée un champ tournant antagoniste, tandis que le 7ème en engendre un au-delà de la vitesse de synchronisme. Le couple résultant est pulsant et induit une usure sur les accouplements et les roulements. La vitesse étant fixe, l'énergie contenue dans ces harmoniques est dissipée sous forme de chaleur supplémentaire et s'accompagne d'un vieillissement prématuré. Les courants harmoniques sont également induits au rotor avec, là encore, une augmentation de l'échauffement. La chaleur additionnelle diminue la taille de l'entrefer conduisant à une diminution du rendement.

Les variateurs de vitesse sont également la cause de problèmes qui leur sont inhérents. Ils ont tendance à être sensibles aux creux de tension, provoquant des interruptions sur les lignes de productions synchronisées. Ils sont souvent éloignés des moteurs qu'ils alimentent et sont à l'origine d'interférences électromagnétiques et de pics de tension liés à de très raides fronts de montée en tension.

Une attention particulière doit être apportée lors du démarrage des moteurs, suite à un creux de tension, si le moteur fonctionne normalement au voisinage de sa charge nominale. L'excès de chaleur dû au courant d'appel au démarrage peut provoquer l'arrêt du moteur. Un dimensionnement optimisé des moteurs permet d'éliminer ce phénomène.

3.8 Destructions de moteurs ou d'autres équipements de process

Dans certains cas extrêmes, si le moteur fonctionne dans un environnement riche en harmoniques, des destructions peuvent survenir par surchauffe.

3.9 Bruit et interférences sur les lignes de télécommunications

Si le bruit électrique ne peut pas être réduit à un niveau suffisamment bas, il générera des signaux interférant qui, s'ils dépassent les niveaux d'immunité de télécommunication, provoqueront l'augmentation des taux d'erreur de transmission.

3.10 Ouvertures intempestives de relais et de contacteurs

Les relais et les contacteurs sont sensibles aux baisses de tension et sont souvent le maillon faible du système. Il est établi qu'un équipement peut tomber lors d'une baisse de tension, même si la tension résiduelle est supérieure à la tension minimum de maintien à l'état permanent. La résilience d'un contacteur aux creux de tension ne dépend pas seulement de la tension résiduelle et de sa durée, mais également de l'instant de l'apparition de la chute dans le cycle, le moins contraignant étant le maximum.

3.11 Surchauffe des transformateurs et des câbles

Les harmoniques créent des pertes par courants de Foucault supplémentaires qui conduisent à la surchauffe des transformateurs et des câbles. De plus, les harmoniques de rang trois et multiples s'additionnent dans les conducteurs de neutre et les enroulements des transformateurs couplés en triangle, provoquant des échauffements supplémentaires.

4. Solutions pour maintenir la qualité de l'énergie

4.1 Groupe(s) électrogène(s) de secours

Les unités motrices génératrices (UMG) sont généralement un ou plusieurs moteurs diesel à combustion interne qui fournissent l'énergie mécanique, un alternateur qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique, des accélérateurs, des systèmes de régulation et de contrôle et un réducteur. Ce type d'équipement peut être conçu pour un fonctionnement sur des temps relativement longs à savoir, de plusieurs heures à plusieurs jours, ou bien pour un fonctionnement en continu. Les UMGs sont disponibles dans une large gamme de puissance, habituellement de quelques dizaines de kW jusqu'à quelques MW. Une turbine gaz est parfois installée à la place du moteur diesel, dans le cas des alternateurs de forte puissance, dans la gamme de plus de quelques MW. Les groupes électrogènes entraînés par des turbines gaz sont souvent conçus comme des sources permettant d'absorber les pics ou dans les usines de co-génération. Les UMGs sont également utilisées dans des applications spéciales où le réseau n'est pas disponible, comme par exemple en marine, ou encore là où, sur des courtes périodes, une forte demande existe, comme dans le cas de retransmission d'un événement sportif majeur. Ce type d'utilisation des UMGs ne sera pas étudié dans ce guide. Les UMGs peuvent fonctionner de deux façons différentes, distinguées ici comme le groupe I et le groupe II.

4.2 Conditionneurs dynamiques de tension

Lorsque des charges importantes ou de forts creux de tension sont à prendre en considération, on utilise un conditionneur dynamique de tension (CDT). Cet équipement est placé en série avec la charge et fournit le complément de tension ; si la tension chute à 70 % de sa valeur nominale, le CDT fournit les 30 % manquants. Les CDTs sont prévus pour supporter la charge sur une période courte et utiliseront des batteries de démarrage, des super-condensateurs ou d'autres formes de stockage énergétique comme des volants d'inertie à très grande vitesse. Les CDTs ne peuvent pas être utilisés pour corriger des sous ou des surtensions sur le long terme.

4.3 Filtre harmonique (passif)

Les filtres passifs sont utilisés afin de proposer aux courants harmoniques un chemin basse impédance, afin qu'ils les traversent au lieu de remonter vers la source. Le filtre peut être dimensionné pour une seule harmonique ou pour une bande plus large selon le besoin. Il est parfois nécessaire de concevoir un filtre plus complexe pour augmenter l'impédance série aux fréquences harmoniques, en réduisant ainsi le niveau de courant qui remonte vers l'alimentation. De simples filtres série réjeteur de bande sont parfois proposés, à installer soit sur la phase, soit sur le neutre. Les filtres série sont prévus pour bloquer les courants harmoniques plutôt que pour leur fournir un chemin défini aux bornes duquel apparaît une importante chute de tension harmonique. La tension harmonique est présente sur l'alimentation côté charge. Si la tension d'alimentation est fortement distordue, elle ne satisfait plus aux normes pour lesquelles l'équipement a été conçu et garanti. Certains équipements sont relativement peu sensibles à cette distorsion, mais d'autres le sont beaucoup. Des filtres série peuvent être utilisés sous certaines conditions, mais ils doivent être soigneusement choisis ; on ne saurait les recommander comme une solution usuelle.

4.4 Transformateurs d'isolement

Comme cela a été dit ci-dessus, les courants de rang trois et multiples circulent dans les enroulements couplés en triangle des transformateurs ; bien que cela représente un problème pour les fabricants et les prescripteurs de transformateurs - la charge supplémentaire doit être prise en compte – cela présente un intérêt, car les harmoniques de rang trois et multiples ne remontent plus vers l'alimentation.

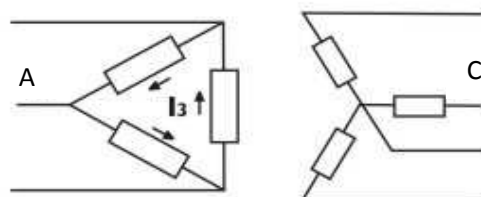


Figure 1 : transformateur d'isolement triangle étoile

A : Alimentation, C : Charge

Le même résultat peut être obtenu en utilisant un transformateur à couplage zigzag. Les transformateurs zigzag sont des autotransformateurs à couplage étoile avec une imbrication des phases particulières entre les enroulements connectés en parallèle avec l'alimentation.

4.5 Conditionneurs de réseau ou filtres actifs

L'idée du compensateur actif d'harmoniques (CAH) est relativement ancienne, bien que l'absence d'une technique efficace à des coûts compétitifs ait ralenti son développement durant de nombreuses années. Aujourd'hui, la disponibilité largement diffusée des transistors bipolaires à grille isolée (IGBT) et des processeurs de signaux digitaux (DSP) a fait du CAH une solution pratique. Le concept du CAH est simple ; l'électronique de puissance est utilisée pour générer les courants harmoniques nécessaires aux charges non linéaires afin que l'alimentation normale ne fournisse que le fondamental de courant. Le courant appelé par la charge est mesuré par un transformateur de courant à la sortie duquel un DSP détermine le spectre harmonique. L'information est utilisée par le générateur de courant pour fournir exactement le courant harmonique nécessaire à la charge, dès le cycle suivant de l'onde fondamentale. En pratique, le courant harmonique nécessaire à la charge est réduit d'environ 90 %.

Du fait que le CAH utilise la mesure du transformateur de courant, il peut s'adapter rapidement aux variations des harmoniques dans la charge. Les méthodes d'analyse et de génération étant contrôlées par software, il est facile de programmer l'équipement pour ne supprimer que certaines harmoniques afin de profiter au mieux de son dimensionnement.

Différentes topologies ont été proposées et certaines d'entre elles sont décrites ci-dessous. Pour chacune des topologies, il s'agit de déterminer le dimensionnement des composants nécessaires et la méthode de dimensionnement du compensateur dans sa globalité pour les charges à compenser.

4.6 Alimentations multiples indépendantes

Lorsque la demande de puissance est élevée et que le coût se justifie, comme dans le cas d'une usine fonctionnant en continue (fabrication de papier ou d'acier), deux raccordements indépendants au réseau peuvent être utilisés. Cette approche n'est efficace que si les deux connections sont électriquement indépendantes, à savoir que si la perte prévisible de l'une d'entre elle survient, l'autre ne peut être perdue simultanément. Cela dépend de la structure du réseau et souvent cette nécessité ne peut être satisfaite que par l'utilisation de lignes très longues (et coûteuses). L'utilisation d'une double alimentation ne signifie pas que d'autres alimentations de secours ne sont pas nécessaires.

Ce type de solution ne réduit pas pour autant le nombre ou la gravité des perturbations sur la tension car la nature active du système de distribution permet aux baisses de tension – qui résultent des défauts – de se propager sur de très longues distances.

4.7 Surdimensionnement des équipements (transformateurs, moteurs) et des câbles (lignes et particulièrement les conducteurs de neutre)

Les transformateurs sont sensibles aux harmoniques pour deux raisons. Premièrement, les pertes par courants de Foucault, qui représentent normalement environ 90 % des pertes à pleine charge, augmentent comme le carré du rang harmonique. En pratique, pour un transformateur fonctionnant à pleine charge et alimentant une charge comportant des équipements informatiques, les pertes totales du transformateur seront doublées par rapport à une charge linéaire équivalente. Il en résulte une température de fonctionnement nettement plus élevée et une diminution du temps de vie. De fait, dans ces conditions, le temps de vie serait réduit de 40 ans à 40 jours ! Heureusement, il existe peu de transformateurs fonctionnant à pleine charge, mais cet effet doit être pris en considération au moment des choix.

Le second effet est dû aux harmoniques de rang 3 et multiples. Lorsqu'ils remontent vers des enroulements couplés en triangle, le fait qu'ils sont en phase fait qu'ils circulent dans ces enroulements. Le rang trois et ses multiples restent confinés dans les enroulements et ne circulent pas en amont de la distribution et c'est pourquoi les transformateurs proposant ce type de couplage sont utiles en tant que transformateurs d'isolement. Il faut noter que tous les autres rangs eux se propagent. Ce courant de circulation interne doit être pris en compte dans le dimensionnement d'un transformateur.

La distorsion harmonique en tension a pour effet une augmentation des pertes par courant de Foucault dans les moteurs de la même façon que pour les transformateurs. De plus, des pertes supplémentaires apparaissent avec la création de champs harmoniques au stator, chaque champ cherchant à faire tourner le moteur à une autre vitesse, aussi bien dans le même sens que dans le sens inverse. Les courants hautes fréquences induits au rotor contribuent également à l'augmentation des pertes. Lorsqu'une telle distorsion harmonique en tension existe, il convient de déclasser les moteurs pour prendre en compte ces pertes additionnelles.

Le courant variable a tendance à être conduit en périphérie d'un conducteur. Ce phénomène connu sous le nom d'effet de peau est d'autant plus prononcé que la fréquence est élevée. L'effet de peau n'est normalement pas pris en considération du fait de sa faible influence à la fréquence réseau, mais au-delà d'environ 350 Hz, à savoir le septième rang harmonique et plus, l'effet de peau commence à devenir significatif, cause de pertes supplémentaires et d'échauffements. En présence de courants harmoniques, les concepteurs devraient prendre l'effet de peau en compte et procéder au déclassement conséquent des câbles. Des câbles à âmes multiples et des jeux de barres laminés peuvent être utilisés pour diminuer ce type de problème. Il faut également faire attention à ce que le type de montage des jeux de barres de l'installation ait une conception permettant d'éviter les résonances mécaniques aux fréquences harmoniques.

4.8 Blindage et mise à la terre

La mise à la terre des installations et des équipements est un sujet qui traverse les frontières de diverses disciplines relatives à la construction et à l'installation d'un

immeuble moderne à usage commercial ou industriel. En général, un système de mise à la terre doit satisfaire à trois besoins :

- Foudre et court-circuit : le schéma de mise à la terre doit protéger les usagers, prévenir contre les dommages directs tels que le feu, l'étincelage, ou les explosions dus à un coup de foudre ou une surchauffe provoquée par un courant de court-circuit.
- Sécurité : le schéma de mise à la terre doit conduire la foudre et les courants de court-circuit, sans apparition de tensions de pas ou de tensions de contact inadmissibles.
- Protection des équipements et fonctionnalité : le schéma de mise à la terre doit protéger les systèmes électroniques en proposant un chemin basse impédance pour interconnecter les équipements. Le schéma de câblage adapté, ainsi que le zonage et le blindage sont des aspects importants et répondent au besoin d'empêcher les sources de perturbations d'interférer avec le bon fonctionnement des équipements électriques.

Bien que les spécifications pour ces trois aspects soient souvent présentées séparément, leur mise en œuvre nécessite une approche globale des systèmes.

Le blindage consiste en la mise en œuvre d'une barrière conductrice et/ou ferromagnétique entre une source de bruit potentiellement perturbatrice et les circuits électriques sensibles. Les blindages sont utilisés pour protéger les câbles (données et puissance) et les circuits électroniques. On les trouve sous forme de barrières métalliques, d'enveloppes autour des circuits émetteurs ou récepteurs.

4.9 Systèmes de transfert statiques

Système d'alimentation de puissance AC – commutation rapide des circuits AC à l'aide d'un commutateur statique.

Au-delà du composant de base extrêmement fiable que constitue un onduleur AC (ASI), un complément comme un système de transfert statique peut être utilisé pour augmenter la fiabilité de l'alimentation.

Tutoriel

fr.leonardo-energy.org

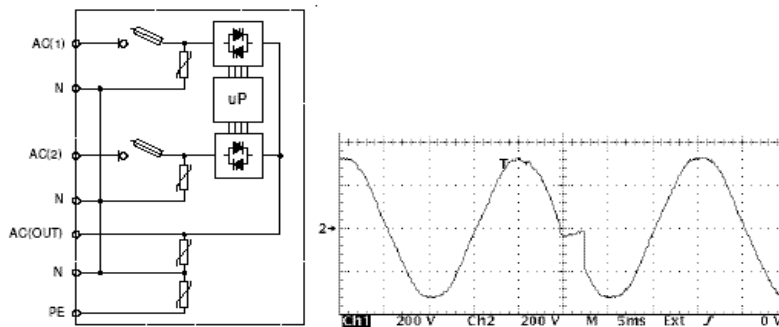


Figure 2 : schéma bloc d'un système de transfert statique et oscillogramme de la tension de sortie AC

La figure 2 propose le schéma d'un système de transfert statique et un exemple d'oscillogramme lors du transfert d'alimentation du circuit AC (1) au circuit AC (2).

Le mode de contrôle d'un système de transfert statique doit permettre une commutation ultra rapide entre deux réseaux de puissance ; Les commutations se produisent en moins de 6 ms et un retour vers l'alimentation en 0,2 ms. Ceci garantit le fonctionnement ininterrompu des charges, y compris de celles qui sont très sensibles aux courtes dégradations de tension. Si l'on utilise des contacteurs standards, l'interruption d'alimentation peut atteindre des dizaines, voire même des centaines de millisecondes. Un avantage supplémentaire des systèmes de transfert statiques réside dans le fait qu'ils n'engendrent pas de surtensions de commutation comme les contacteurs standards. Par conséquent, il convient particulièrement de les utiliser dans les environnements sensibles aux surtensions, notamment en présence de charges inductives.

Les systèmes de transfert statiques sont également utilisés dans le cadre de réseaux triphasés pour des courants d'une dizaine à quelques centaines d'ampères. Une des caractéristiques importantes des systèmes de transfert statiques est leur capacité très élevée de surcharge instantanée (à savoir 2000%/20ms).

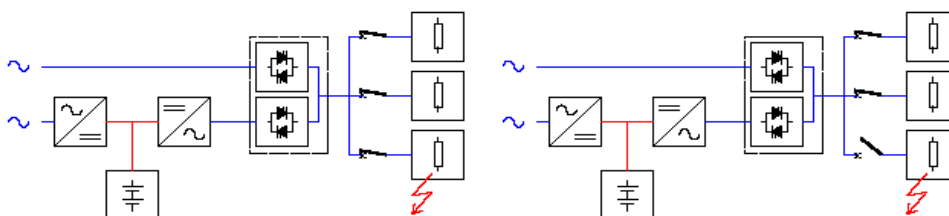


Figure 3 : bypass rapide d'un court-circuit à l'aide d'un système de transfert statique

Si plusieurs départs sont alimentés par l'ASI et qu'un court-circuit survient sur l'un d'eux, cette situation est vue par la sortie de l'ASI. Ceci va durer pendant le temps de fusion

des fusibles de protection du départ en court-circuit et les autres départs ne sont pas alimentés. Le basculement ultra rapide sur l'alimentation par by-pass garantit une réaction très rapide du fusible et assure un court-circuit plus court sur les autres départs. Le retour vers l'alimentation sous ASI est également très rapide. Cela garantit un fonctionnement non interrompu des charges fonctionnant de façon satisfaisante connectées à l'ASI. Si deux ASI sont utilisés (figure 4a), la fiabilité d'alimentation des 1L et 2L peut être augmentée de façon significative avec la mise en œuvre de deux systèmes de transfert statique additionnels.

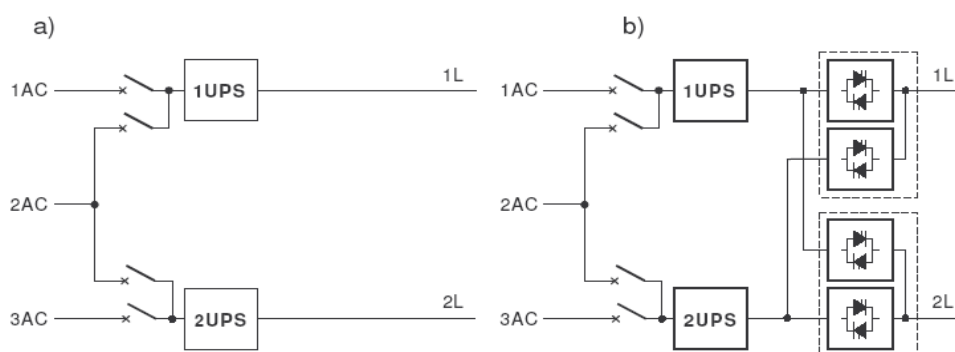


Figure 4 : amélioration de la fiabilité d'une alimentation à l'aide de systèmes de transfert statiques

Cette structure permet de réaliser un système où chaque ASI alimente ses propres charges. Dans le cas de la perte de l'un d'entre eux, le système de transfert statique assure un basculement très rapide de façon telle que l'ASI qui continue de fonctionner correctement alimente simultanément les départs 1L et 2L.

Un groupe électrogène peut être utilisé à la place de l'arrivée 2AC, ce qui garantit l'alimentation des départs 1L et 2L même en cas d'une dégradation de tension longue sur le réseau.

L'architecture proposée permet également une maintenance et un entretien facile, ce qui est important en situation de fonctionnement longue durée sur le réseau.

4.10 Compensateur statique

Enfin, des circuits d'électronique de puissance particulièrement rapides, comme les compensateurs statiques peuvent être configurés pour limiter le déséquilibre. Ils se comportent comme s'ils assuraient une modification très rapide d'impédances de façon simultanée, compensant ainsi les changements d'impédance des charges sur chaque phase. Ils peuvent également assurer la compensation d'énergie réactive excédentaire. Toutefois, ce type d'équipement est très onéreux et n'est utilisé que sur des charges très puissantes (par exemple des fours à arc), lorsque d'autres solutions sont insuffisantes.

L'influence de charge cyclique, comme les soudeuses à point, peut être limitée par un compensateur statique qui corrige le facteur de puissance « à la volée » et minimise l'impact sur le système.

4.11 Parasurtenseurs sur les parties maîtresses d'un équipement

Les parasurtenseurs sont des équipements non linéaires qui limitent le niveau de tension sur une ligne électrique. Comme le nom l'indique, cet équipement empêche les problèmes de surtension (par exemple la foudre). En réalité, les niveaux de tension, les temps de réponse et l'installation définissent quelles surtensions peuvent être limitées par un parasurtenseur.

Afin de protéger une installation contre la foudre, il est nécessaire d'utiliser des parafoudres. Dans le cas d'une tension résiduelle basse, il convient de coordonner les parafoudres avec les parasurtenseurs.

Les parafoudres de type « éclateurs » et les parasurtenseurs type « varistors » qui sont associés en série ont été utilisés en protection contre la foudre et les surtensions depuis les deux dernières décennies. Avec une dissipation d'énergie interne relativement basse les éclateurs sont capables de plusieurs décharges non destructives, même soumis à des coups de foudre très énergétiques. Après l'évacuation, ils laissent subsister une basse tension résiduelle. La tension de claquage, de généralement 4 kV est relativement élevée. C'est pourquoi, avant le claquage du diélectrique ou si la tension de claquage n'est pas atteinte, il est nécessaire qu'un parasurtenseur à varistor assure la limitation en tension. D'une part, il convient que les tensions résiduelles qui dépassent la coordination d'isolement autorisée pour les équipements à protéger ne soient pas atteintes, d'autre part, les varistors ne doivent pas être en surcharge. Les valeurs pour une bonne coordination de l'isolement sont fournies dans l'IEC 60364-4-443

Afin d'éviter la surcharge des parasurtenseurs, les deux limiteurs - aussi bien l'éclateur que le varistor - sont coordonnés l'un avec l'autre. Si l'on se conforme aux procédures conventionnelles, une tension additionnelle est engendrée en insérant une inductance entre les deux limiteurs, ce qui s'oppose à la chute de tension dans le varistor.

4.12 Alimentations sans interruption (ASI)

Les ASI sont aujourd'hui largement utilisés comme source d'alimentation des charges critiques, lorsque les temps de transfert doivent être extrêmement courts ou nuls. Les ASI statiques sont aisément disponibles dans des gammes allant de 200 VA à 50 kVA (monophasés) et de 10 kVA jusqu'à environ 4000 kVA (triphases). Permettant de fournir une alimentation alternative en cas de disparition du réseau, les ASIs peuvent également servir à améliorer la qualité de l'énergie localement. Le rendement de ces équipements est très élevé, avec des pertes entre 3 % et 10 % selon le nombre de convertisseurs utilisés et le type de batteries.

Comprendre la qualité de l'énergie

La classification de base de ces ASI est fournie par la norme IEC 62040-3 publiée en 1999 et adoptée par le CENELEC sous la référence EN-50091-3 [1]. La norme distingue trois classes d'ASI, distinguant la dépendance des tensions et fréquences de sortie selon les caractéristiques internes.

- TFD (Tension et fréquence de sortie dépendantes du réseau d'alimentation),
- TI (Tension de sortie indépendante du réseau d'alimentation),
- VFI (Tension et fréquence de sortie indépendantes du réseau d'alimentation).

Toutefois, en pratique, cette classification correspond à une classification des architectures internes :

- off line,
- line interactive,
- double conversion.

Tableau 1 - classification et caractéristiques des classes normalisées

Classification selon la norme [1]	TFD	TI	VFI
Solution ASI	off line	line interactive	double conversion
Prix	le plus bas	moyen	le plus élevé
Régulation en tension	aucune	limitée	oui
Régulation en fréquence	aucune	aucune	oui
Temps de transfert	court	nul	nul

d'ASI

4.13 Stabilisateurs de tension

La plupart des creux de tension ont une tension résiduelle significative, si bien que l'énergie reste disponible, mais à un niveau de tension trop faible pour la charge. L'équipement d'atténuation des creux de tension est présenté dans ce chapitre. Aucun mode de stockage d'énergie n'est ici nécessaire. La méthode consiste à générer la pleine tension à partir de l'énergie disponible sous tension réduite (et courant augmenté) durant le creux. Ces équipements sont généralement regroupés sous le nom générique de stabilisateurs automatiques de tension. D'autres types d'équipements, décrits dans une autre section de ce guide, sont disponibles pour traiter des creux de tension lorsque la tension résiduelle est nulle. Une description basique de chacun des types de stabilisateur automatique de tension est proposée ci-dessous. Les avantages et les inconvénients sont indiqués pour permettre de faire le choix qui convient selon l'application concernée.

Les principaux types de stabilisateurs de tension automatiques sont les suivants :

- électromécanique
- ferro-résonant ou transformateur à tension constante (TTC)
- régulateurs électroniques à gradins
- réactances saturables (transducteur)
- stabilisateur électronique de tension (SET).

Un élément important dont il faut tenir compte dans le choix d'un stabilisateur automatique de tension est que la solution choisie doit résoudre le problème existant sans en créer d'autres. Un exemple typique serait de connecter un stabilisateur ferro-résonant en sortie d'un générateur de puissance inférieure pour réduire les variations de tension. Le résultat global se traduirait en contrepartie par des fluctuations de fréquence du générateur qui conduiraient à une modification de la tension AC de 1,5 % pour chaque variation de fréquence de 1 %.

5. Les phénomènes affectant la qualité de l'énergie et problèmes de conception

Les phénomènes affectant la qualité de l'énergie, les problèmes et les solutions abordés par LPQI ont été synthétisés pour proposer un tableau Qualité de l'énergie – Problème de conception qui a été utilisé pour concevoir la trame d'interviews réalisées et les modèles d'installation.

N° du problème de conception	Nom de l'équipement relatif au problème de conception	Type de problème de conception	Type de problème de conception									
			Coupures	Variations de fréquence	Variations de tension	Fluctuations de tension/Flicker	Creux et bosses de tension	Harmoniques et Inter-harmoniques	Déséquilibre	Surtensions et transitoires	CEM et perturbations hautes fréquences	
DI-01	Alimentation	PS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
DI-02	Schéma	SY	X				X				X	X
DI-03	Transformateurs et inductances	EQ	X						X		X	
DI-04	Moteurs	EQ	X	X	X			X	X	X	X	
DI-05	Systèmes de correction du facteur de puissance	EQ							X		X	
DI-06	Câbles	EQ							X	X	X	
DI-07	Equipements de protection	EQ							X		X	
DI-08	Systèmes de mise à la terre	EQ							X		X	X
DI-09	Eclairage	EQ	X		X	X					X	
DI-10	Prises	FC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

6. Références bibliographiques

[1] www.lpqi.org