

Chapitre 3 : Qualité de l'Énergie Electrique et phénomènes physiques perturbateurs

Particularités de l'électricité

Certaines de ses caractéristiques dépendent à la fois du producteur ou du distributeur d'électricité, des convertisseurs électriques et des consommateurs de cette dernière. C'est-à-dire que la qualité de l'énergie électrique dépend d'une chaîne fermée (du producteur au consommateur puis au producteur via son amélioration après dégradation de sa qualité). Tous ces facteurs compliquent énormément le problème et rendent le sujet de la maîtrise de la qualité de l'énergie très complexe.

L'objectif à travers ce chapitre est de comprendre les phénomènes principaux qui dégradent la qualité de l'énergie électrique, leurs origines, les conséquences sur tous les équipements électriques et les solutions principales (compensation de l'énergie réactive, amélioration de la forme de l'onde électrique en réduisant les harmoniques de tension, de courant, ...). Et ceci en introduisant des filtres électriques qui seront étudiés au chapitre 4.

Nous savons que l'électricité est un domaine d'utilité publique par excellence, suite à la souplesse de la forme de l'onde pour le transport de l'énergie électrique d'une part et de la transformation facile en d'autres formes d'énergie (thermique, mécanique, chimique, ...) d'autre part.

Par contre, le principal inconvénient réside dans son stockage impossible (la quantité d'énergie accumulée dans le réseau électrique représente quelques secondes de consommation).

Nous allons citer les facteurs influençant la qualité de cette énergie :

- Conditions climatiques
- Phénomènes transitoires (défauts, manœuvre, ...)
- Phénomènes atmosphériques (foudre, ...)
- Configuration du réseau électrique (Energie renouvelables

Ce. Qui permettra de détecter en amont les problèmes par une maintenance préventive, afin de maintenir un rendement élevé.

Ce qui permet de réduire la facture énergétique, de préserver l'environnement par réduction des gaz de l'atmosphère, de ralentir le vieillissement prématuré des installations et réduire le nombre de pannes.

Contexte

- Nécessité économique d'accroître la compétitivité pour les entreprises.
- La réduction des coûts liés à la perte de continuité de service et à la non qualité.
- La réduction des coûts liés au surdimensionnement des installations.
- La généralisation d'équipements sensibles aux perturbations de la tension et / ou eux-mêmes générateurs de perturbations (convertisseurs en saturation magnétique, convertisseurs de l'électronique de puissance), leurs multiplicité au sein d'un même procédé exige une alimentation électrique de plus en plus performante en termes de continuité et de qualité.

Exemples (concernant l'intérêt de continuité de service)

- La chaîne de froid alimentaire (viandes, produits laitiers ...).
- Fours, imaginer la discontinuité de l'énergie dans un four métallurgique (El hadjar), usine de fabrication de batteries à plomb (four utilisé pour faire fondre le plomb) ...
- Hôpitaux.
- De nos jours, l'importance de l'internet dans notre vie quotidienne, surtout dans le domaine scientifique.

Mesure de la qualité de l'énergie électrique

Pour assurer une continuité de l'énergie avec une bonne qualité, il faut avoir la compétence et les moyens de mesure. Les paramètres à mesurer dépendent de l'application.

- Mesure de la qualité de l'énergie : rapport énergie active / énergie réactive, d'énergie réactive. Ceci implique souvent le traitement d'un nombre important de données.
- Mesure du taux d'harmoniques.
- Faire de la maintenance corrective, c'est-à-dire revoir l'évolution des installations, à travers des charges modifiées ou nouvelles.
- Optimisation du fonctionnement des installations électriques :
 - disposer d'une bonne qualité d'énergie électrique ;

-des moyens supplémentaires sont nécessaires tels que : outils logiciels afin de pouvoir contrôler et bien commander les installations électriques pour réaliser des gains de productivité (réduction des coûts d'exploitation).

Causes de dégradation de la Q.E.E

Afin de bien comprendre les causes de la dégradation de la QEE, nous allons rappeler d'abord la définition de cette dernière.

La qualité de l'énergie électrique peut être interprétée comme étant :

- **qualité de l'alimentation ;**
- **qualité de la fourniture ;**
- **qualité de l'énergie électrique ;**
- **qualité de l'électricité ;**
- **qualité de la tension.**

Tout est résumé en une phrase : « **Toute variation dans l'alimentation en puissance électrique, ayant pour conséquence le dysfonctionnement ou l'avarie d'équipements des utilisateurs (creux de tension, surtension, transitoire, harmoniques, déséquilibre).** »

Les dégradations de la qualité de l'énergie électrique sont dues à plusieurs phénomènes physiques, principalement :

- Les perturbations électromagnétiques, c'est-à-dire le champ électrique et le champ magnétique et leurs effets sur les équipements électriques en fonction de la fréquence. Ce phénomène est classé en plusieurs classes :
 - Haute fréquence $\geq 9 \text{ kHz}$
 - Basse fréquence $\leq 9 \text{ kHz}$

Généralement, la mesure de la QEE consiste habituellement à caractériser les perturbations électromagnétiques conduites basse fréquence.

- Décharges électrostatiques (foudre,)
- Creux de tensions et coupures
- Harmoniques et interharmoniques
- Surtensions temporaires
- Surtensions transitoires
- Fluctuations de tension
- Déséquilibre de tension
- Variation de la fréquence d'alimentation
- Tension continue dans les réseaux alternatifs (surtout par la présence des convertisseurs de l'électronique de puissance).

La mesure de la qualité de l'énergie électrique peut être résumée comme suit :

- Mesure de l'amplitude de l'onde de tension
- Mesure de la forme de l'onde (harmoniques, interharmoniques)
- Mesure de la fréquence de l'onde

Tous ces phénomènes affectent essentiellement la tension qui est fournie à l'utilisateur (consommateurs, c'est pourquoi on dit généralement que la qualité de l'électricité se réduit à la qualité de la tension.

1) Creux de tensions et coupures

Un creux de tension est une baisse brutale de la tension pendant un laps de temps très court, compris entre la demi période fondamentale et 1 minute.

Les paramètres caractéristiques d'un creux de tension sont :

-Son amplitude

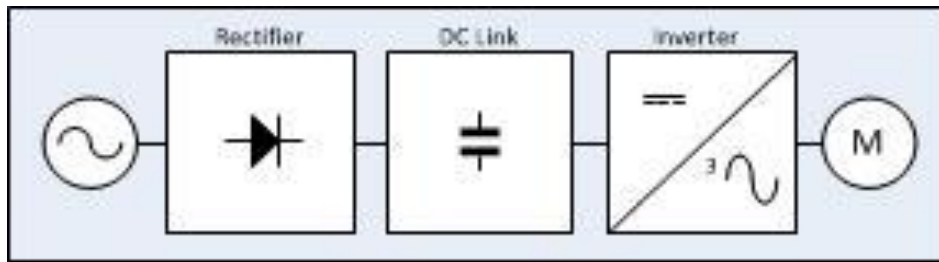
-Sa durée ΔT , définie comme le laps de temps pendant lequel la tension est inférieure à 90%. Si la durée est inférieure à la demi période du fondamentale (10 ms pour une fréquence de 50 Hz), la perturbation est considérée comme étant un transitoire.

Dans le cas d'un système triphasé, l'amplitude et ΔT sont en général différentes sur les trois phases. Un système triphasé est considéré comme subissant un creux de tension si au moins une phase est affectée par cette perturbation.

Remarque : la commutation de charges de puissance importante (moteurs asynchrones, fours à arc ...) provoquent des creux de tensions importants.

2) Harmoniques et interharmoniques

Les harmoniques proviennent principalement de charges non linéaires (convertisseurs de l'électronique de puissance, machines électriques saturées), il en résulte donc un courant qui n'a pas la même forme que la tension.



Ce courant est riche en composantes harmoniques dont le spectre est fonction de la nature de la charge. Ces courants harmoniques circulant à travers les impédances du réseau créent des tensions harmoniques qui peuvent perturber le fonctionnement des autres utilisateurs raccordés à la même source.

Le taux de distorsion harmonique (THD) donne une mesure de la déformation du signal.

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{V_n}{V_1}\right)^2}$$

avec $v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \sqrt{2} \sin(2\pi n f + \varphi_n)$

La composante de rang n=1 est la composante fondamentale V_0 est la composante continue du signal quand elle existe.

Les principales sources d'harmoniques :

- Convertisseurs d'électronique de puissance
- Démarrage des moteurs par démarreurs électriques

Interharmoniques

Sont des composantes sinusoïdales, qui ne sont pas à la fréquence multiples entières de celle du fondamental (donc situées entre les harmoniques).

Surtensions

Les surtensions sont de trois natures :

- Temporaires,
- De manœuvre ;
- D'origine atmosphériques.

Les surtensions temporaires ont plusieurs origines :

- Défaut d'isoloment (principalement lors d'une mauvaise mise à la terre)
- Rupture du conducteur du neutre
- Surcompensation de l'énergie réactive, due principalement aux condensateurs shunt ; particulièrement en période d'heures creuses.
- Les surtensions de manœuvre
- Les surtensions atmosphériques due à la foudre

Variation et fluctuations de tension : principalement dues à des charges industrielles rapidement variables.

Déséquilibre : un système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ ou ne sont pas déphasées les unes par rapport aux autres de 120 degrés.

La valeur approchée utilisée est :

$$\Delta U_i = \max_i \frac{V_i - V_{moy}}{V_{moy}}$$

V_i : tension de la phase i

$$V_{moy} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$$

Effets des perturbations sur les charges

Les effets sur les convertisseurs électriques sont instantanés ou différés.

- **Effets instantanés** : dûs au mauvais fonctionnement d'une ou de la totalité d'une installation, l'impact financier est alors directement chiffrable.
- **Effets différés** : pertes énergétique, vieillissement accéléré du matériel dû aux échauffements et aux efforts électrodynamiques supplémentaires engendrés par les perturbations.

Creux de tension et coupures

Ils sont la cause la plus fréquente du problème de qualité d'énergie. Un creux de tension ou une coupure est néfaste pour beaucoup d'applications industrielles.

- Sidérurgie , pétrochimie, chaîne alimentaire ...
- Hôpitaux, équipements informatique.

Nous citons à titre d'exemple le cas d'un moteur asynchrone, le couple est proportionnel au carré de la tension. Un creux de tension de 10% provoque une diminution de 20% sur le couple moteur.

Les creux de tensions répétés provoquent un vieillissement prématuré des convertisseurs électriques et mécaniques.

Harmoniques

Les conséquences dus à la présence d'harmoniques sont liées à des échauffements supplémentaires, c'est-à-dire une mauvaise conversion de l'énergie.

Ceci se traduit par exemple, dans les machines électriques par des vibrations donc fatigue mécanique.

Leurs effets ont toujours un impact économique du fait du surcoût lié à :

- une perte d'énergie, donc dégradation du rendement énergétique ;
- un surdimensionnement des équipements ;
- une perte de productivité (vieillesse accélérée des équipements).

Dans le cas d'une distorsion dans le taux dépasse 10% , les dysfonctionnements sont très probables. Ce qui sera suivi par une destruction rapide de matériels.

Surtension

Leurs conséquences sont très diverses selon le temps d'application.

Les surtensions de manœuvre peuvent conduire à des dégradations aussi importantes que la foudre.

Variation des fluctuations de tension

Déséquilibre

Le principal effet est le suréchauffement des machines asynchrones triphasées et autres.