

Les harmoniques

INTRODUCTION

La modernisation des process industriels, la sophistication des machines et appareillages électriques ont entraîné, ces dernières années, un développement important de l'électronique de puissance :

Ces systèmes à base de semi-conducteurs (transistors, thyristors...) destinés à réaliser :

- Des convertisseurs statiques de puissance : alternatif/ continu
- Des redresseurs
- Des onduleurs
- Des convertisseurs de fréquences
- Et bien d'autres dispositifs de commande par train d'ondes ou réglage de phase.

Ces systèmes représentent pour les réseaux électriques des charges dites « non linéaires ». Une charge « non linéaire » est une charge dont l'intensité absorbée n'est pas à l'image de la tension d'alimentation (bien que la tension de la source imposée à la charge soit sinusoïdale ; l'intensité absorbée est sinusoïdale).

D'autres charges « non linéaires » sont également présentes dans les installations électriques, en particulier :

- Charge à impédance variable, faisant appel à l'arc électrique : fours à arc, postes à souder, tubes fluorescents, lampes à décharge...
- Charges utilisant de forts courants magnétisants : transformateurs saturés, inducteurs...

La décomposition en série de FOURIER du courant absorbé par un récepteur non linéaire, met en évidence :

- Un terme sinusoïdal à la fréquence 50 Hz du réseau, le fondamental
- Des termes sinusoïdaux dont les fréquences sont des multiples de la fréquence du fondamental, les harmoniques.

Selon la relation :

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{h=2}^n I_h^2}$$

Σ : somme de toutes les intensités harmoniques du rang 2 (50 Hz x 2) au dernier rang n (50 Hz x n)

Ces courants harmoniques circulent dans la source, les impédances harmoniques de celle-ci donnent alors naissance à des tensions harmoniques, selon la relation :

$$U_h = Z_h \times I_h$$

Les intensités harmoniques induisent la plus grande part des tensions harmoniques à l'origine de la distorsion harmonique globale de la tension du réseau.

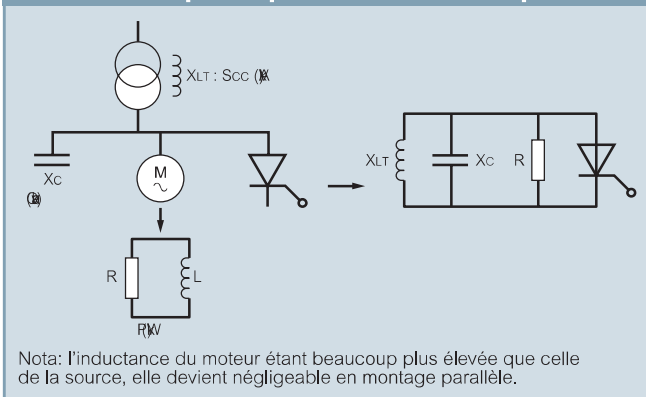
$$V_{\text{rms}} = \sqrt{U_1^2 + \sum_{h=2}^n U_h^2}$$

Nota = la distorsion harmonique de la tension générée par les imperfections de construction des bobinages des alternateurs et des transformateurs est généralement négligeable

Les harmoniques (suite)

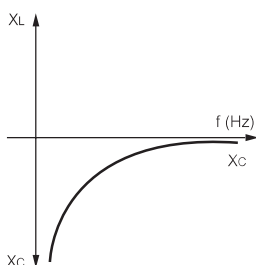
INFLUENCE DES HARMONIQUES SUR LES CONDENSATEURS

Schéma de principe Schéma équivalent



- Scc (kVA) : Puissance court-circuit de la source
- Q (kVAr) : Puissance batterie condensateur
- P (kW) : Puissance des charges non polluantes

> Diminution de la réactance des condensateurs



- La réactance du condensateur

$$X_C = \frac{1}{C \cdot \omega} = \frac{1}{C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}$$

est inversement proportionnelle à la fréquence, sa faculté à se poser aux courants harmoniques diminue, notablement, quand la fréquence augmente.



- Plus la puissance de court-circuit de la source (Scc) est élevée, plus la fréquence de résonance s'éloigne des fréquences harmoniques dangereuses.
- Plus la puissance (P) des charges non polluantes est importante, plus le facteur d'amplification des courants harmoniques diminue.

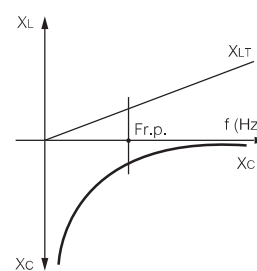
> Principaux courants harmoniques

Les principaux courants harmoniques présents dans les installations électriques proviennent des systèmes à base de semi-conducteurs dont les taux théoriques sont les suivants :

- harmonique 5 (250 Hz) - I5 - 20 % I1*
- harmonique 7 (350 Hz) - I7 - 14 % I1*
- harmonique 11 (550 Hz) - I11 - 9 % I1*
- harmonique 13 (650 Hz) - I13 - 8 % I1*

(* I1 : Intensité à 50 Hz du système semi-conducteurs)

> Résonance parallèle ou anti-résonance entre les condensateurs et la source



- La réactance de la source X_{LT} est proportionnelle à la fréquence.
- La réactance des condensateurs X_C est inversement proportionnelle à la fréquence.

À la fréquence $Fr.p.$, il y a une résonance parallèle ou anti-résonance (car les deux réactances sont égales mais opposées), et amplification (F.A.)

des courants harmoniques dans les condensateurs et dans la source (transformateurs) avec :

$$Fr.p. = F_{réseau} \cdot \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}} \quad F.A. = \sqrt{\frac{S_{cc} \cdot Q}{P}}$$

PROTECTION DES CONDENSATEURS PAR SELFS ANTI-HARMONIQUES

Dans le cas d'un réseau fortement pollué par les harmoniques, l'installation d'une self anti-harmoniques accordée en série avec le condensateur, s'avère la seule protection efficace.

La self anti-harmoniques assure un double rôle :

- Augmenter l'impédance du condensateur vis-à-vis des courants harmoniques,
- Déplacer la fréquence de résonance parallèle (Fr.p) de la source et du condensateur au dessous des principales fréquences des courants harmoniques perturbants.

• Fr.p. : fréquence résonance parallèle self anti-harmoniques / condensateur/transformateur MT/BT

• Fr.s. : fréquence résonance série self anti-harmoniques / condensateur

- Les valeurs Fr.s les plus couramment utilisées sont :

- fondamental 50 Hz : 215 Hz (n=4,3)
190 Hz (n=3,8)
135 Hz (n=2,7)

- fondamental 60 Hz : 258 Hz (n=4,3)
228 Hz (n=3,8)
162 Hz (n=2,7)

- Pour les fréquences inférieures à Fr.s., le système self/condensateur se comporte comme une capacité et compense l'énergie réactive.
- Pour les fréquences supérieures à Fr.s., le système self/condensateur se comporte comme une inductance qui, en parallèle avec l'inductance XLT, annule tout danger de résonance parallèle aux fréquences supérieures à Fr.s. et en particulier aux principales fréquences harmoniques.

FILTRES HARMONIQUES

Dans le cas d'une installation très polluée par les harmoniques, l'utilisateur pourra être confronté à un double besoin :

- Compenser l'énergie réactive et protéger les condensateurs
- Réduire le taux de distorsion de la tension à des valeurs acceptables et compatibles avec le fonctionnement correct de la plupart des récepteurs sensibles (automates, informatique industrielle, condensateurs...)

Pour cette application, LEGRAND est en mesure de proposer des filtres harmoniques de « type passif ». Un filtre harmonique de « type passif » est une association série d'un condensateur et d'une inductance, dont chaque fréquence d'accord correspond à la fréquence d'une tension harmonique perturbatrice à éliminer.

Pour ce type d'installation, les prestations LEGRAND comprennent :

- L'analyse du réseau sur lequel l'équipement doit être installé avec mesures des intensités et tensions harmoniques,
- La simulation sur informatique de la comptabilité des impédances harmoniques du réseau et des différents filtres,
- Le calcul et la définition des différents composants du filtre,
- La fourniture des condensateurs, inductances...
- La mesure de l'efficacité du système après installation sur site.