Chapitre 6

Harmoniques

6.1 Introduction

Il existe dans le réseau des composantes causant l'apparition de courants et/ou tensions non-sinusoïdaux. On a qu'à penser aux convertisseurs en électronique de puissance (redresseur, onduleur, etc), aux fours à arcs, ou à tout autre charge non-linéaire. Ces charges non-linéaires créent des courants harmoniques dans le réseau.

Les courants harmoniques s'additionnent dans le neutre, contrairement aux courants des composantes fondamentales. Pour des charges non-linéaires élevées, ceci peut produire des courants élevés qui risquent de surchauffer le neutre.

La présence de courants et tensions harmoniques dans le réseau provoque beaucoup de perturbations qui ont des répercussions : mauvais facteur de puissance, pertes Joules supplémentaires, interférences, malfonctionnement d'appareils, etc. Par exemple, le Code Canadien d'Électricité spécifie qu'un circuit de distribution de 120V, 15A est limité à 1440W pour une utilisation sinusoïdale. Si on veut brancher le réseau à une charge non-linéaire, comme un ordinateur, cette limite de puissance est 800W.

Un autre effet des harmoniques est de réduire l'efficacité des transformateurs. À cause des harmoniques, on doit réduire la capacité des tranformateurs pour éviter qu'ils surchauffent. Pour de très grandes charges non-linéaires, ceci peut entraîner une perte de 50% de l'efficacité du transformateur.

Les composantes utilisées en électronique de puissance ont grandement contribué au problème des harmoniques. Ces nouveaux circuits (hacheurs, redresseurs, alimentations à découpage, etc) présentent de nombreuses harmoniques qu'il faut traiter de façon assez significative afin de limiter les effets néfastes sur le réseau.

On réduit la propagation des harmoniques dans le réseau à l'aide de filtres appropriés.

6.2 Circuits monophasés

Soit $v(t)$ une tension instantanée non sinusoïdale :

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2}V_1\cos(\omega t + \beta_1) + \sqrt{2}V_2\cos(\omega t + \beta_2) + \ldots$$

et un courant instantané $i(t)$ non-sinusoïdal :

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2}I_1\cos(\omega t + \alpha_1) + \sqrt{2}I_2\cos(\omega t + \alpha_2) + \ldots$$

où V_0 et I_0 représentent les composantes continues ou valeurs moyennes de $v(t)$ et $i(t)$.

Les valeurs V_1 et I_1 représentent les valeurs efficaces des composantes fondamentales de $v(t)$ et $i(t)$.

Les valeurs V_2 et I_2 représentent les valeurs efficaces des deuxièmes harmoniques de $v(t)$ et $i(t)$.

En général,

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2}\sum_{n=1}^{\infty} V_n\cos(n\omega t + \beta_n)$$
$$i(t) = I_0 + \sqrt{2}\sum_{n=1}^{\infty} I_n\cos(n\omega t + \alpha_n)$$

De sorte que les valeurs efficaces de la tension et du courant sont données par :

$$V = \sqrt{V_0^2 + V_1^2 + V_2^2 + \ldots} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} V_n^2}$$
$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \ldots} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} I_n^2}$$

et la puissance active est donnée par :

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T}\int_0^T v(t)i(t)dt \\ &= V_0I_0 + V_1I_1\cos(\beta_1 - \alpha_1) + V_2I_2\cos(\beta_2 - \alpha_2) + \ldots \\ &= V_0I_0 + V_1I_1\cos(\phi_1) + V_2I_2\cos(\phi_2) + \ldots \end{aligned}$$
$$\Rightarrow P = V_0I_0\sum_{n=1}^{\infty} V_nI_n\cos\phi_n$$

La puissance apparente est donnée par $S = VI$, avec

$$F_p = \frac{P}{S} \qquad \text{et } Q = V_1 I_1 \sin\phi_1 + V_2 I_2 \sin\phi_2 + \dots$$

$$\Rightarrow Q = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \sin\phi_n$$

De façon générale,

$$S \neq \sqrt{P^2 + Q^2} \rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

où D est la puissance déformante (la puissance qui provient des harmoniques).

La supression des harmoniques se fait à proximité de la source des harmoniques à l'aide de filtres qui présentent une impédance plus faible pour les harmoniques à supprimer. Mais le phénomène de résonance vient compliquer le design des filtres.

Exemple d'un filtre de 3e harmonique : transformateur dont le secondaire est connecté en Δ et qui présente une impédance plus faible pour la 3^e harmonique mais le problème thermique du transformateur devient très important.