

Qualités de l'énergie électrique – régimes périodiques non sinusoïdaux

Les convertisseurs statiques, les onduleurs génèrent des tensions ou des courants non sinusoïdaux. La **déformation des signaux** produit des modifications des propriétés et dans le calcul des puissances.

1. Développement en série de Fourier d'une fonction périodique

1.1. Théorème de Fourier

Sous certaines conditions de continuité et de dérivation, tout signal périodique de pulsation ω (ou de fréquence $f = \frac{\omega}{2\pi}$) peut s'écrire sous la forme suivante :

$$u(t) = \langle u \rangle + U_1\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_1) + U_2\sqrt{2} \sin(2\omega t + \varphi_2) + U_3\sqrt{2} \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots$$

$\langle u \rangle$ est

$U_1\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_1)$ est

où $U_1\sqrt{2}$ est et U_1

$U_2\sqrt{2} \sin(2\omega t + \varphi_2)$ est

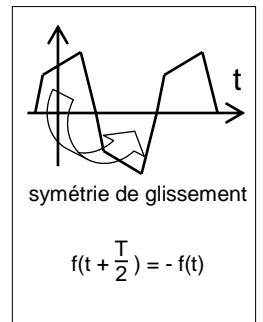
$U_3\sqrt{2} \sin(3\omega t + \varphi_3)$ est

+

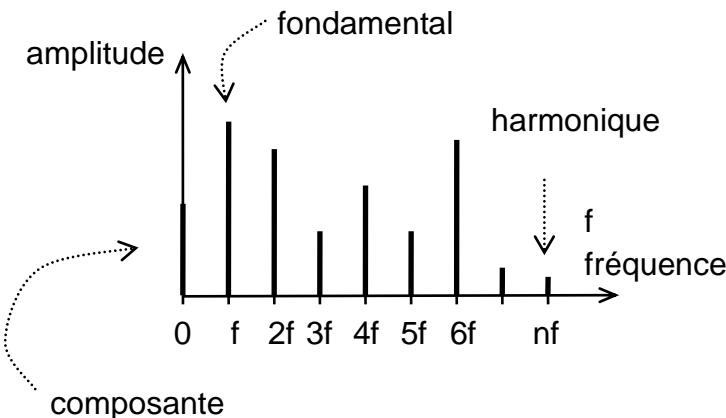
1.2. Propriété : S'il y a une symétrie de glissement,

c'est à dire si les alternances positives sont identiques aux alternances négatives : $f(t + \frac{T}{2}) = -f(t)$,

on démontre que la décomposition du signal **ne contient que des harmoniques de rang impair** .



2. le spectre en amplitude d'un signal



Le spectre d'un signal est la représentation des amplitudes D_n des harmoniques en fonction de fréquence f (Hz).

on a un **spectre de raies**,

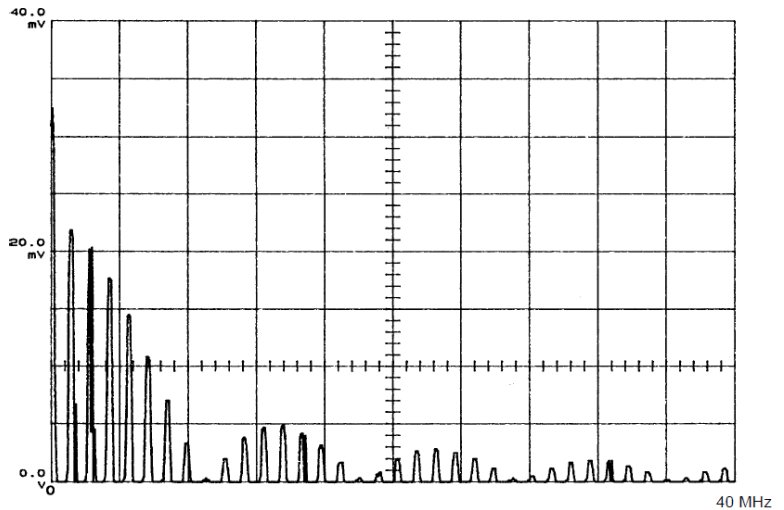
on dit que l'on a un **spectre discret**.

spectre d'amplitude d'un **signal sinusoïdal pur** exemple du secteur 230 V 50 Hz

$u(t) =$

l'appareil qui relève le spectre
d'un signal s'appelle

il relève un **spectre de pics**
exemple du spectre relevé pour
une impulsion :



2.1. la valeur efficace U_{eff} d'un signal périodique

calcul en fonction des valeurs efficaces des harmoniques

La valeur efficace d'une tension $u(t)$ est la tension U_{eff} (notée U) continue qui dissipe la même puissance dans un même résistor R

$$\text{Donc } P = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{\langle u \rangle^2}{R} + \frac{U_1^2}{R} + \frac{U_2^2}{R} + \frac{U_3^2}{R} + \dots$$

$$\text{puis } U_{\text{eff}}^2 = \langle u \rangle^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots$$

et finalement

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\langle u \rangle^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots}$$

2.2. **le taux de distorsion harmonique TDH** : permet de comparer un signal à son fondamental

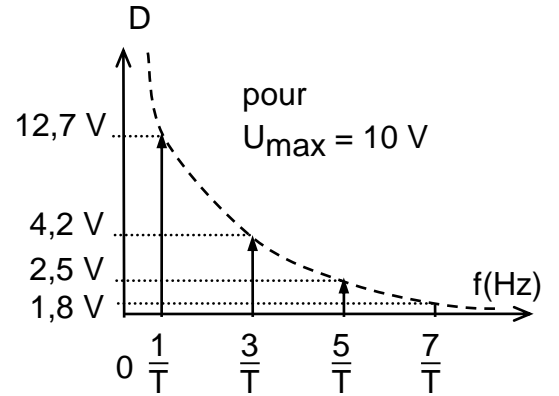
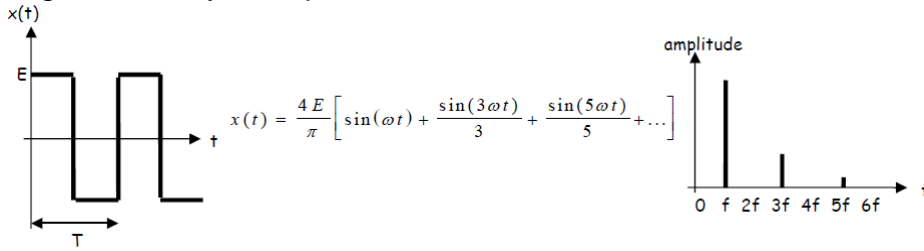
$\text{TDH} = \frac{\text{valeur efficace des harmoniques autres que le fondamental}}{\text{valeur efficace du fondamental}}$ $= \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1} = \frac{\sqrt{U_{\text{eff}}^2 - U_1^2}}{U_1}$
--

Il s'exprime souvent en % et indique **la pureté spectrale** d'un signal :
le **signal sinusoïdal** qui n'a qu'une seule raie comme spectre a un TDH de 0%.

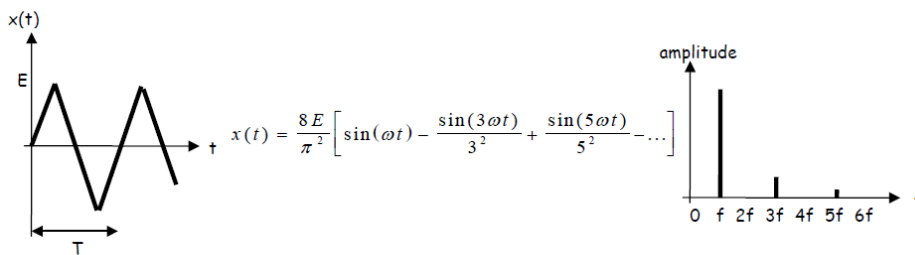
Pour un **signal carré**, TDH = 48,3 % .

2.3. Exemples de développements en série de Fourier

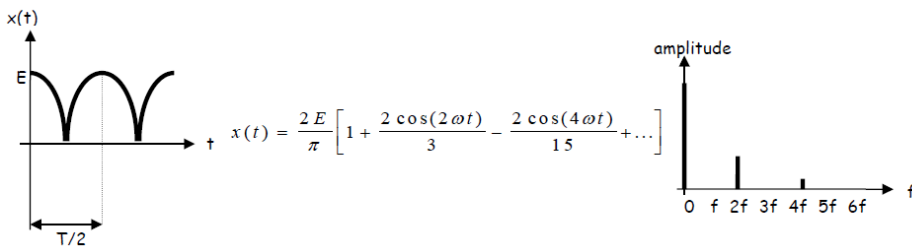
2.3.1. Signal carré symétrique



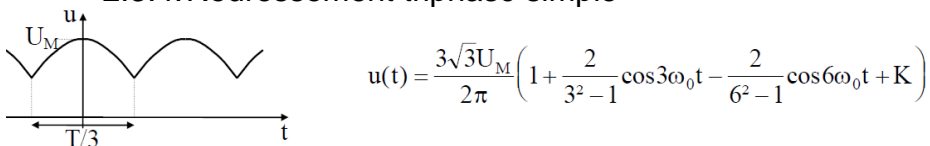
2.3.2. le signal triangulaire



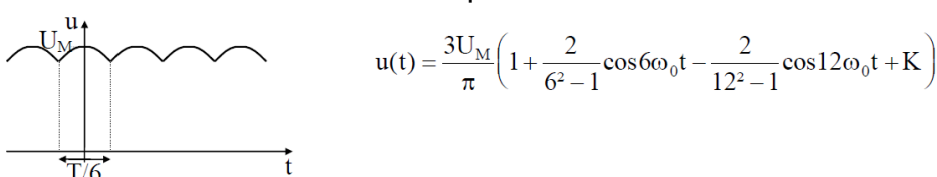
2.3.3. Redressement double alternance



2.3.4. Redressement triphasé simple



2.3.5. Redressement hexaphasé

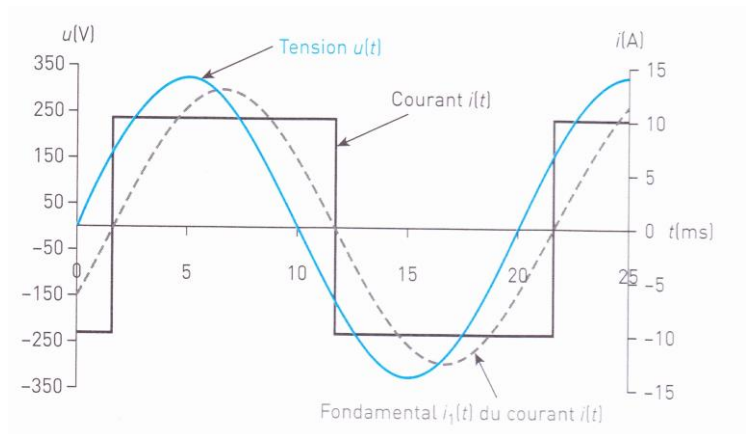


3. Puissances en régime non sinusoïdal

3.1. cas d'une tension sinusoïdale $u(t)$ et d'un courant $i(t)$ non sinusoïdal

c'est le cas des convertisseurs

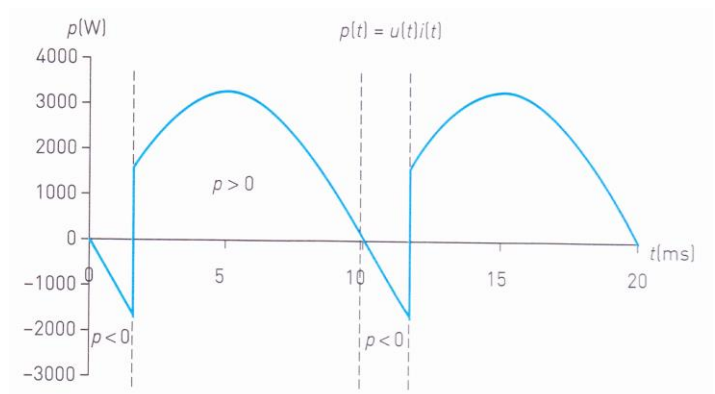
3.1.1. la tension $u(t)$, le courant $i(t)$ et la puissance instantanée $p(t) =$



3.1.2. la puissance apparente

3.1.3. la puissance active

3.1.4. la puissance réactive

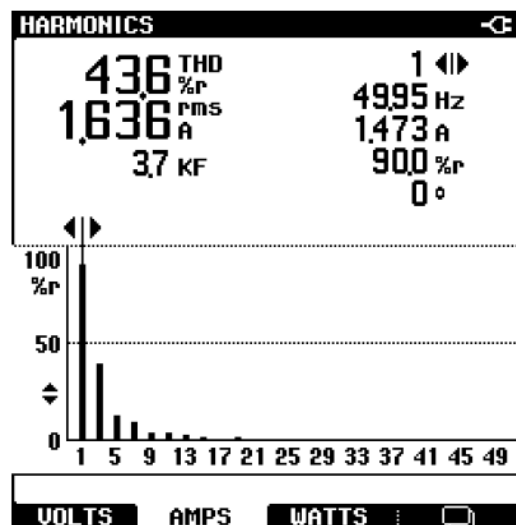
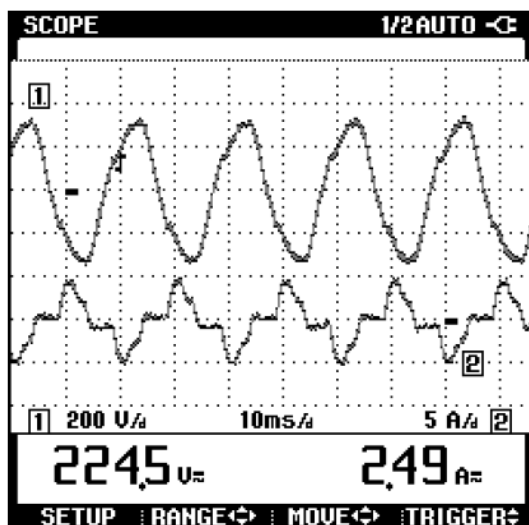


3.1.5. la puissance déformante

3.1.6. le facteur de puissance PF (Power Factor)

3.1.7. le facteur de déplacement DPF (Displacement Power Factor)

3.2. **exemple** le secteur 230 V 50 Hz alimente des lampes de basses consommations, le courant n'est pas sinusoïdal

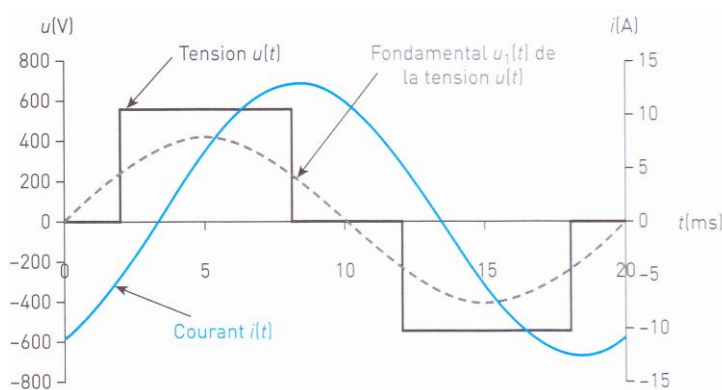


(copie d'écran du Fluke 43B)

3.3. **cas d'une tension non sinusoïdale $u(t)$ et d'un courant $i(t)$ sinusoïdal**

c'est le cas des

.....



Annexe : Conséquences des perturbations harmoniques de courant sur le réseau

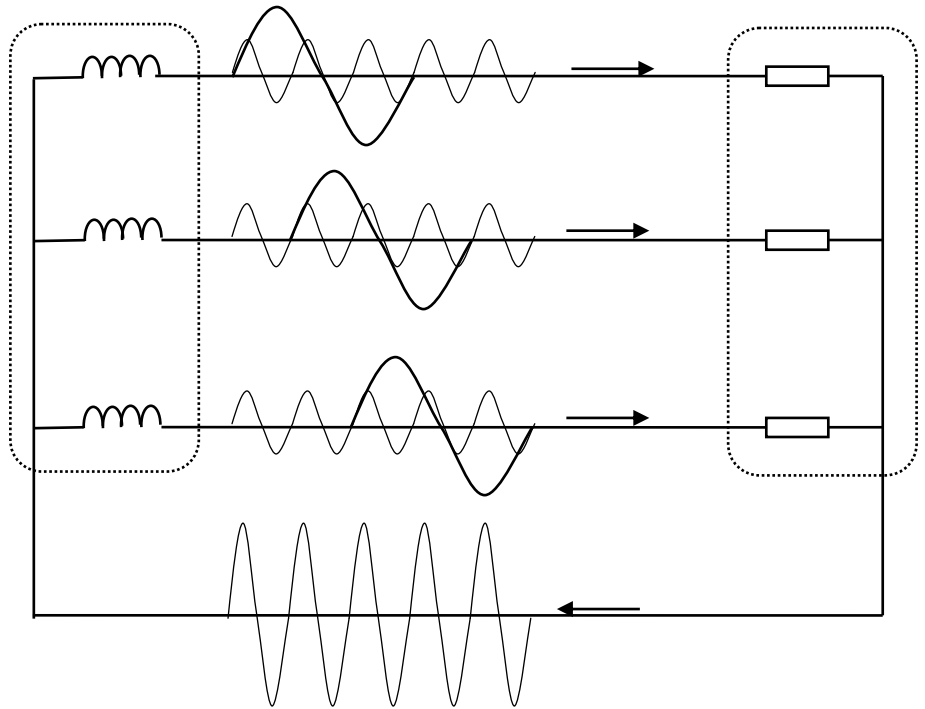
La circulation des courants harmoniques dans le réseau entraîne donc une déformation de l'onde de tension. Cela peut être préjudiciable au bon fonctionnement des récepteurs sensibles branchés sur ce même réseau.

Conséquences pour le conducteur de neutre

L'un des effets les plus connus est celui de la circulation des courants harmoniques de rang 3 et multiples de 3 dans le conducteur de neutre. Il peut être bien supérieur au courant circulant dans les phases.

Comme le montre la figure ci-contre, les courants harmoniques de rang 3, dans chacune des trois phases, s'ajoutent dans le conducteur de neutre.

Celui-ci est ainsi parcouru par un courant de fréquence 150 Hz, dont l'intensité est égale à trois fois celle de chaque conducteur de phase, en supposant la charge équilibrée.



On montre l'influence des harmoniques sur le **choix de la section des conducteurs** :

Lorsqu'un circuit alimente des appareils susceptibles de générer des courants harmoniques, la section des conducteurs déterminée d'après le courant nominal doit être majorée.

La NFC 15100 permet lorsque le conducteur de neutre est peu chargé de choisir une section moitié de celle des conducteurs de phase. Elle ne peut être appliquée que si les matériels électriques ne produisent aucun harmonique ou des harmoniques de valeur réduite.

Quelques remèdes contre la pollution harmonique

- Rechercher une puissance de court-circuit le plus élevée possible (impédance de source faible).
- Connecter les charges polluantes le plus en amont possible du réseau.
- Alimenter les charges polluantes par une source séparée.
- Placer des inductances en amont de ces charges.
- Utiliser des filtres passifs accordés sur la fréquence du ou des harmoniques à atténuer. Ces filtres (R, L, C) sont de types : - Shunt résonnant. - Amortis.
- Utiliser un compensateur actif.
- Confiner les harmoniques (suppression en amont des transformateurs grâce à un couplage particulier).