

Chapitre II : Etude d'une charge non linéaire

II-1-Introduction

Dans le deuxième chapitre on présentera la modélisation du redresseur à diode, comme charge non linéaire.

Les redresseurs sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent la conversion alternative continu (AC/DC), ils sont alimentés par une source de tension alternative, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie.

Ce chapitre est composé de trois parties :

- Etude du redresseur monophasé à diode.
- Etude du redresseur bi alternance à diode.
- Etude du redresseur triphasé à diode.

Une charge non linéaire : est une charge dont l'intensité absorbée n'est pas à l'image de tension d'alimentation (bien que la tension de la source imposée à la charge soit sinusoïdale l'intensité absorbée est sinusoïdale). [9]

II -2-Redresseur à diode

II -2-1-Redresseur en monophasé

Soit le montage

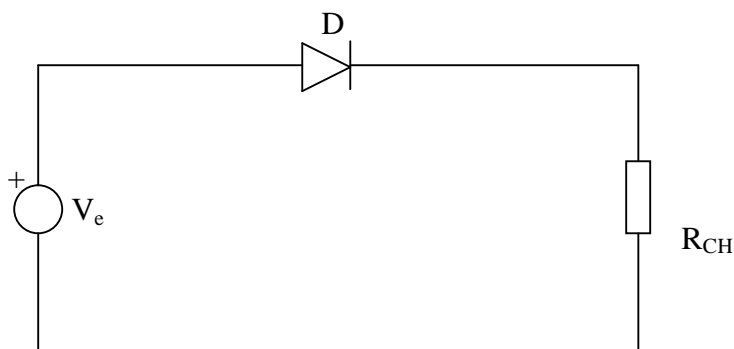


Fig (II.1) : Redresseur monophasé

Courbes obtenues

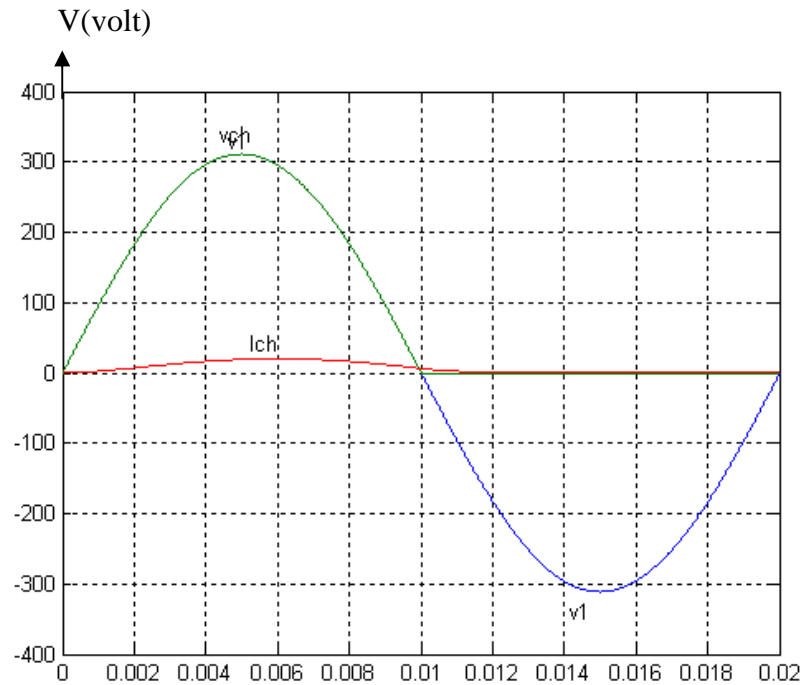


Fig (II.2) : signal d'un redresseur monophasé

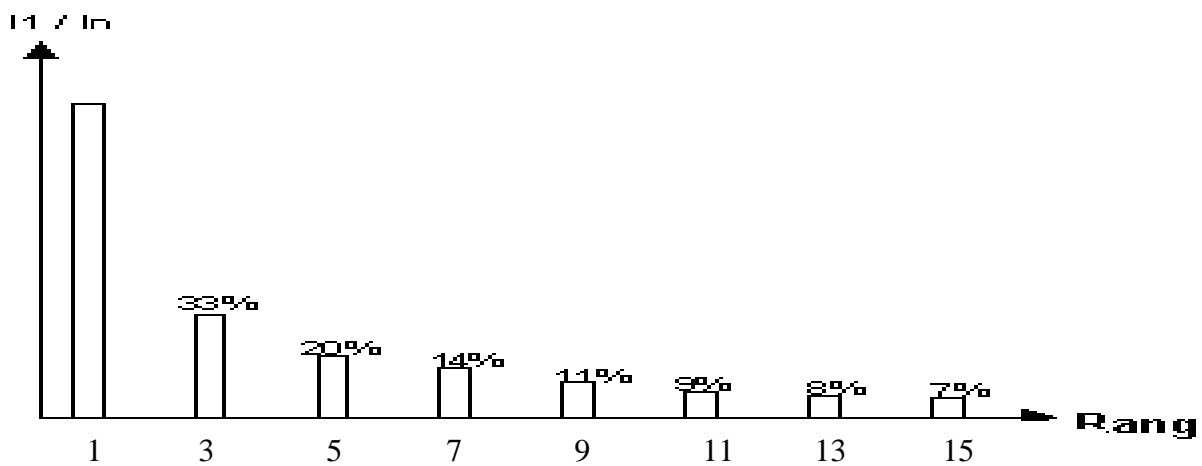


Fig (II.3) : harmonique d'un redresseur monophasé

Grandeurs caractéristiques

$$V_{s \max} = V_{e \max} - V_d$$

$$V_{s \text{ eff}} = \frac{V_{e \text{ eff}}}{2}$$

$$V_{s \text{ moy}} = \frac{V_{e \max}}{\pi}$$

II-2-2-Redressement des (2) alternances

II-2-2-1-Redresseurs monophasé bi alternance

Il existe deux montages de bases :

La structure à pont de « GRAETZ » et la structure « A POINT MILIEU ».

► Le premier montage pont de « GRAETZ »

La tension redressée mono alternance est moins efficace que la tension alternative, puisque le courant ne circule que pendant la moitié du temps.

En utilisant 4 diodes habilement connectées, on peut redresser les 2 alternances et augmenter ainsi l'efficacité.

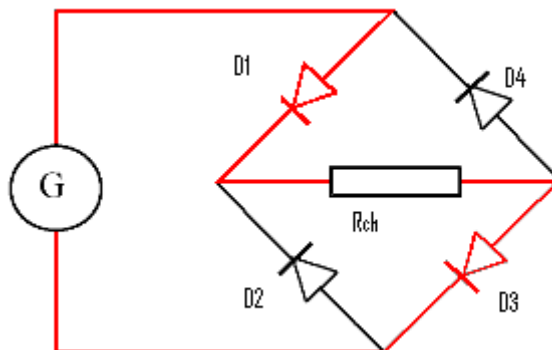
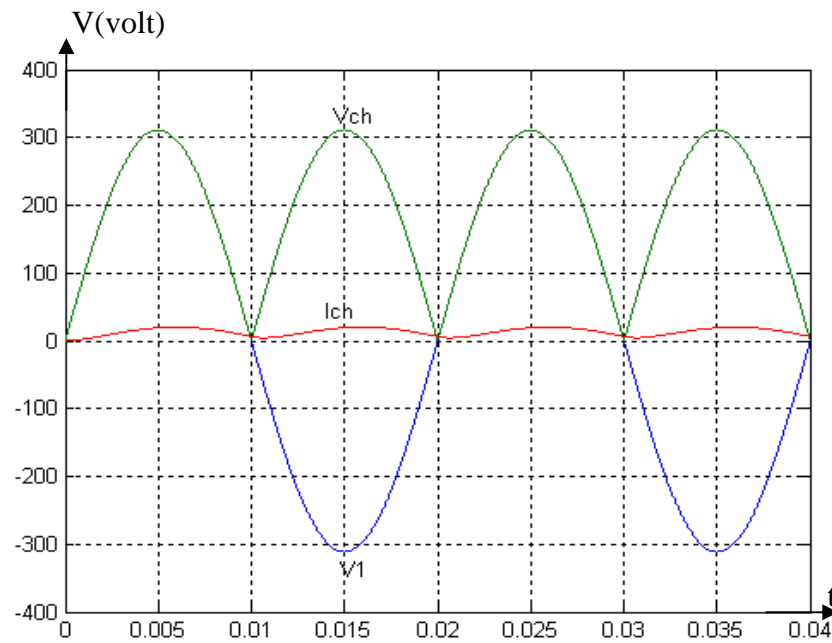


Fig (II.4) : Redresseur de Graetz a diode



Courbes obtenues

Fig (II.5) : La tension ou borne de la charge

Remarque

Lorsqu'une diode est traversée par le courant on observe une chute de tension de l'ordre de 0,7V à ses bornes (voir caractéristique d'une diode). Dans le pont de Graetz, la chute de tension sera donc de $2 \times 0,7V = 1,4V$

► Grandeurs caractéristiques

$$V_{S \max} = V_{e \max} - 2 V_d$$

$$V_{S \min} = 0 V$$

$$V_{S \text{ eff}} \approx \frac{V_{e \max}}{\sqrt{2}}$$

$$V_{S \text{ moy}} = 2 \times \frac{V_{e \max}}{\pi}$$

► Deuxième type Redresseur à point milieu

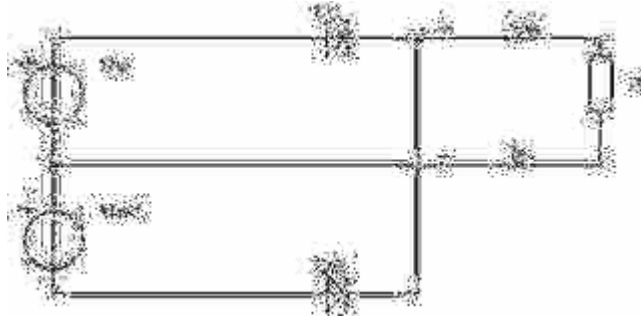


Fig (II.6) : Redresseur à point milieu a diode

II-3-Redresseur a diodes triphasées

Nous utilisons le pont triphasé à diodes alimenté par un système de tensions sinusoïdales triphasées, schématisé par la **Fig (II.7)**.

Les tensions simples des réseaux triphasés équilibrés directs sont :

$$\begin{cases} V_1 = V_m \sin(\omega t - \varphi) \\ V_2 = V_m \sin(\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}) \\ V_3 = V_m \sin(\omega t - \varphi - \frac{4\pi}{3}) \end{cases}$$

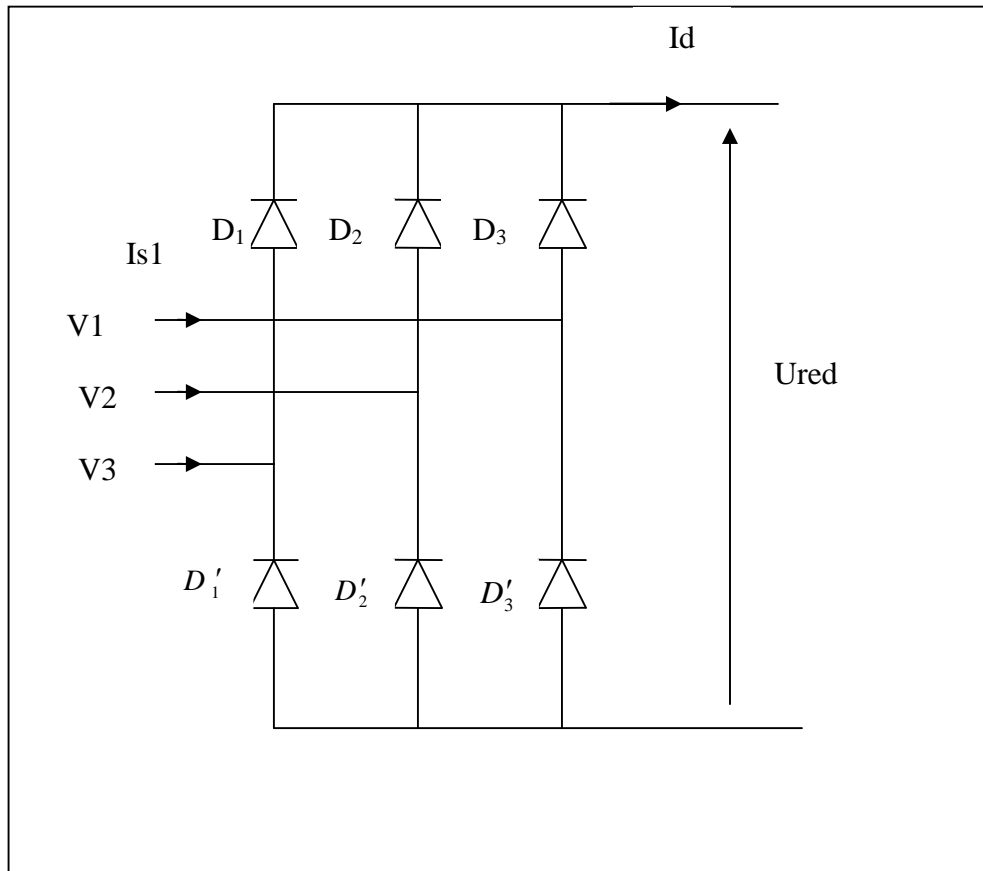


Fig. (II.7) : Redresseur triphasé a diode

Deux diodes d'un même bras ne peuvent conduire simultanément. Lorsque D_1 conduit, l'une des deux diodes D'_2 et D'_3 conduit également. Il en vient que D_1 conduit lorsque V_1 est supérieur à V_2 et V_3 , ou encore :

$$V_1 = \text{Max}(V_j); j = 1, 2, 3.$$

Le même raisonnement conduit aux conditions suivantes

$$D_i \text{ Conduit si } V_i = \text{Max}(V_j); i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3.$$

$$D'_i \text{ Conduit si } V'_i = \text{Min}(V_j); i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3.$$

Pendant chaque séquence de conduction, la tension U_d à la sortie du redresseur est :

$$U_d = \text{Max}(V_j) - \text{Min}(V_j); j = 1, 2, 3.$$

► Pour $0 < \theta < \pi/6$ on a $V_3 > V_1 > V_2$

V_3 Plus positive $\Rightarrow VD_3 > 0 \Rightarrow D_3$ passant

$$\Rightarrow U_d^+ = V_3$$

V_2 Plus négative $\Rightarrow VD_2' > 0 \Rightarrow D_2'$ passant

$$\Rightarrow U_d^- = V_2$$

Donc $U_d = \text{Max}(V_i) - \text{Min}(V_i)$

$$U_d = U_d^+ - U_d^- = V_3 - V_2 = U_{32}$$

► Pour $\pi/6 < \theta < \pi/2$ on a $V_1 > V_3 > V_2$

V_1 Plus positive $\Rightarrow D_1$ conduit $\Rightarrow U_d^+ = V_1$

V_2 Plus négative $\Rightarrow D_2'$ conduit $U_d^- = V_2$

Donc

$$U_d = \text{Max}(V_i) - \text{Min}(V_i)$$

$$U_d = U_d^+ - U_d^- = V_1 - V_2 = U_{12}$$

► Pour $\pi/2 < \theta < 5\pi/6$ $V_1 > V_2 > V_3$

$$U_d^+ = V_1$$

$$U_d^- = V_3$$

Donc $U_d = U_d^+ - U_d^- = V_1 - V_3$

$$U_d = \text{Max}(V_i) - \text{Min}(V_i) = U_{13}$$

► Pour $5\pi/6 < \theta < 7\pi/6$ $V_2 \rangle V_1 \rangle V_3$

$$Ud^+ = V_2$$

$$Ud^- = V_3$$

Donc $Ud = \text{Max}(Vi) - \text{Min}(Vi)$
 $Ud = Ud^+ - Ud^- = V_2 - V_3 = U_{23}$

► Pour $7\pi/6 < \theta < 9\pi/6$ $V_2 \rangle V_3 \rangle V_1$

$$V_2 \text{ plus positif} \Rightarrow D_2 \text{ Conduit} \Rightarrow Ud^+ = V_2$$

$$V_1 \text{ plus négatif} \Rightarrow D'_1 \text{ Conduit} \Rightarrow Ud^- = V_1$$

$$Ud = Ud^+ - Ud^- = V_2 - V_1 = U_{21}$$

► Pour $9\pi/6 < \theta < 11\pi/6$ $V_3 \rangle V_2 \rangle V_1$

$$Ud^+ = V_3$$

$$Ud^- = V_1$$

Donc $Ud = Ud^+ - Ud^- = V_3 - V_1 = U_{31}$

► Pour $11\pi/6 < \theta < 13\pi/6$ $V_3 \rangle V_1 \rangle V_2$

$$V_3 \text{ plus positive} \Rightarrow D_3 \text{ conduit} \Rightarrow Ud^+ = V_3$$

$$V_2 \text{ plus négatif} \Rightarrow D'_2 \text{ conduit} \Rightarrow Ud^- = V_2$$

Donc

$$Ud = \text{Max}(Vi) - \text{Min}(Vi)$$

$$Ud = Ud^+ - Ud^- = V_3 - V_2 = U_{32}$$

II-3-1-La tension redressée

$$U_d = \begin{cases} U_{12} \text{ pour } \theta \left[\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2} \right] \\ U_{13} \text{ pour } \theta \left[\frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{6} \right] \\ U_{23} \text{ pour } \theta \left[\frac{5\pi}{6}, \frac{7\pi}{6} \right] \\ U_{21} \text{ pour } \theta \left[\frac{7\pi}{6}, \frac{9\pi}{6} \right] \\ U_{31} \text{ pour } \theta \left[\frac{9\pi}{6}, \frac{11\pi}{6} \right] \\ U_{32} \text{ pour } \theta \left[\frac{11\pi}{6}, \frac{13\pi}{6} \right] \end{cases}$$

II-3-2-La valeur moyenne de tension redressée

$$\overline{U_d} = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/6}^{\pi/2} U_{12}(\theta) d\theta = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} (V_1 - V_2) d\theta = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m$$

Pour q phases : $\overline{U_d} = \frac{2q}{\pi} V_m \sin \frac{\pi}{q}$

II-3-3-Courant de redresseur

Chaque enroulement secondaire est connecté à deux diodes D_i, D_i' ($i=1, 2, 3$)

Il est parcouru par I_{ch} pendant l'intervalle (T/q) ou la diode de premier groupe débite, et par $(-I_{ch})$ pendant l'intervalle de durée (T/q) ou c'est celle du second groupe qui conduit.

Ainsi par exemple pour la première phase on donne

$$I_{s1} = + I_{ch}, \text{ quand } D_1 \text{ conduit.}$$

$$I_{s1} = - I_{ch}, \text{ quand } D_1' \text{ conduit.}$$

$$I_{s1} = 0, \text{ quand } D_1, D_1' \text{ ne conduisent.}$$

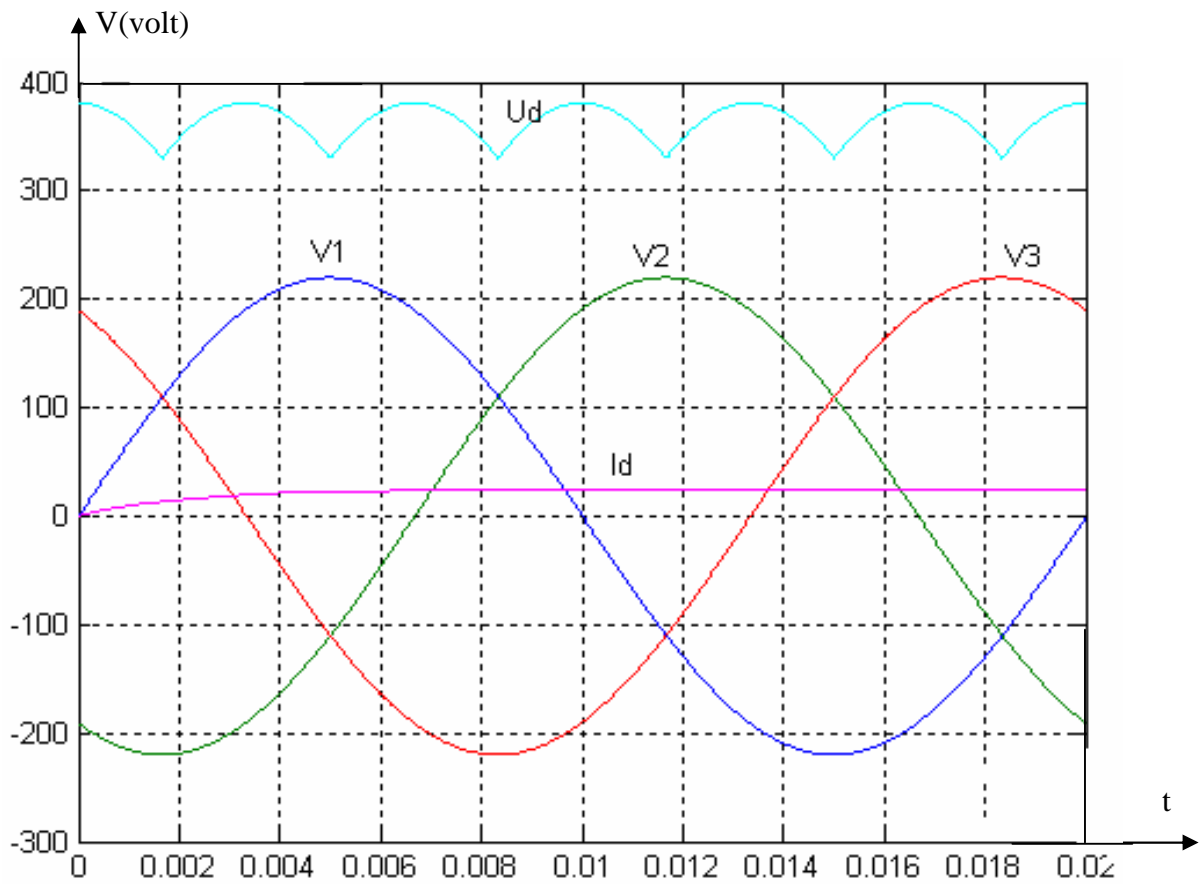
q : nombre des phases.

II-3-4-La valeur efficace de courant

$$I_{S1} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(I_{ch}^2 2 \frac{T}{q} \right)} \quad \text{II.17}$$

$$I_{S1} = I_{ch} \sqrt{\frac{2}{q}} \quad \text{II.18}$$

Courbes obtenues



Fig(II-8) :signal redresseur triphasé

II-4-Développement en série de fourrie (harmonique courant)

Un réseau alimentant un montage redresseur fournit a celui- ci courant presque rectangulaire

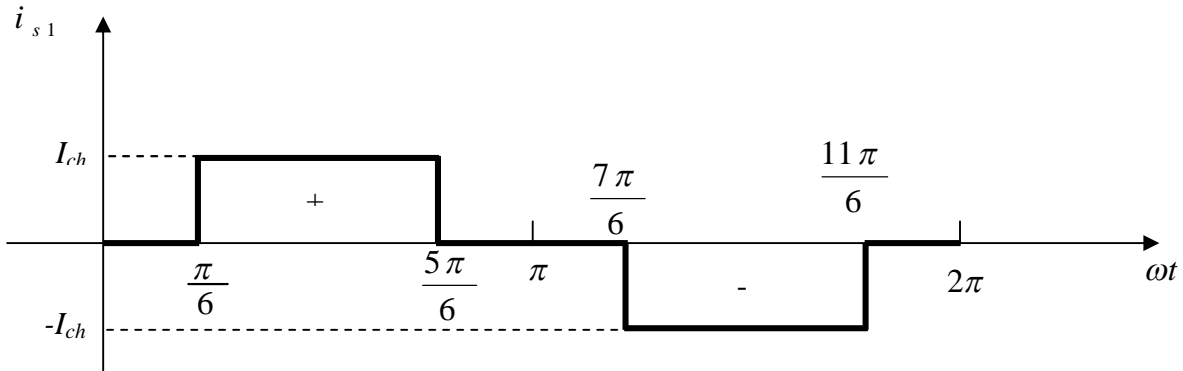


Fig. (II.9) : La forme rectangulaire de courant d'entré de pont a diodes

On peut appliqué le théorème de fourrier :

$$I_a(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{n=\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t))$$

$$a_0 = \frac{1}{2T} \int_0^T I_a(t) dt$$

$$a_n = \frac{1}{2T} \int_0^T I_a(t) \cos(n\omega t) dt$$

$$b_n = \frac{1}{2T} \int_0^T I_a(t) \sin(n\omega t) dt$$

$I_a(t)$ est impaire donc $a_0 = a_n = 0$ puisque ;

$$a_o = \frac{1}{2T} \int_0^T I_a(t) dt = \frac{1}{2T} \left(\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_d dt + \int_{\frac{7\pi}{6}}^{\frac{11\pi}{6}} -I_d dt \right) = \frac{I_d}{12T} (5\pi - \pi - 11\pi + 7\pi) = 0$$

$$a_n = \frac{I_d}{2T} \left(\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \cos(n\omega t) dt - \int_{\frac{7\pi}{6}}^{\frac{11\pi}{6}} \cos(n\omega t) dt \right) = 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(t) \sin(n\omega t) d\omega t$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_d \sin(n\omega t) d\omega t + \frac{1}{\pi} \int_{\frac{7\pi}{6}}^{\frac{11\pi}{6}} (-I_d) \sin(n\omega t) d\omega t$$

Après le calcul on trouve :

$$b_n = \frac{2I_d}{n\pi} (1 - (-1)^n \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right))$$

$$b_n = \begin{cases} 0 & \text{Si } n \text{ pair} \\ \left(\frac{4I_d}{n\pi}\right) \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) & \text{Si } n \text{ impair} \\ 0 & \text{Si } n \text{ multiple de 3} \end{cases}$$

Donc:

$$n = 1, [5, 7], [11, 13], [17, 19], [23, 25], \dots, [6k - 1, 6k + 17], \text{ et } k = 1, 2, 3, \dots$$

Alors:

$$i_a(t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega t)$$

$$i_a(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4I_d}{n\pi} \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) \sin(n\omega t)$$

$$i_a(t) = \frac{4I_d}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) \sin(n\omega t)$$

II-4-1-Le courant d'entrée du redresseur est donné par la relation suivante

$$i_5 I(t) = 2I_d \frac{\sqrt{3}}{\pi} \left[\sin(n\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5n\omega t) + \frac{1}{7} \sin(7n\omega t) + \frac{1}{11} \sin(11n\omega t) + \frac{1}{13} \sin(13n\omega t) \dots \right]$$

II-4-2-La valeur efficace de courant d'entrée est

$$I_{eff} = I_d \sqrt{\frac{2}{3}}$$

II-4-3-La valeur efficace de courant fondamental

$$I_{ef} = 2I_d \frac{\sqrt{3}}{\pi} \sin(n\omega t)$$

$$I_{ef} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\int_0^{2\pi} \left(2I_d \frac{\sqrt{3}}{\pi} \sin(\omega t) \right)^2 d\omega t}$$

$$I_{ef} = I_d \frac{\sqrt{6}}{\pi}$$

II-4-4-La valeur efficace de courant harmoniques

$$I_{heff} = I_{ef} - I_{1ef}$$

$$I_{heff} = I_d \sqrt{\frac{2}{3}} - I_d \frac{\sqrt{6}}{\pi}$$

$$I_{heff} = 0.03I_d \cdot [17]$$

Après l'étude de l'identification de la charge non linéaire (pont redresseur à thyristors) du côté tension et courant d'où les équations trouvées on passe au troisième chapitre pour présenter et étudier les méthodes d'identifications du courant harmonique.