

1.2. Les ponts de redressement en triphasé

1.2.1. Introduction

Contrairement aux alimentations à faible puissance qui utilisent le plus souvent des réseaux monophasés, les alimentations de puissance utilisent généralement des réseaux triphasés. De plus, comme les transformateurs à point milieu sont des appareils coûteux et fragiles, ceux-ci ne sont utilisés que pour des alimentations monophasées de faible puissance. Ainsi peut-on conclure : **en électronique de puissance, le montage le plus utilisé est le pont de Graëtz alimenté en triphasé.**

Bien que les autres montages soient peu utilisés, il est intéressant d'en faire une étude sommaire car ils permettent de mieux comprendre le pont de Graëtz en triphasé.

Signalons enfin que, si l'usage d'un transformateur n'est pas nécessaire avec un pont de Graëtz, il est utile d'une part pour adopter la tension du secteur à la valeur souhaitée pour l'alimentation en courant continu, d'autre part pour assurer une meilleure séparation du secteur alternatif et du réseau continu.

Pour classer les différents montages auxquels on a affaire, il est pratique d'utiliser la notation « P » pour désigner les montages parallèles de diodes et la notation « PD » pour les montages parallèles double (ou montage en pont de graëtz). Cette indication, suivie du nombre q de phases caractérise le montage redresseur.

La figure suivante donne le schéma électrique des montages P3 et PD3. Ces deux montages sont les plus communément utilisés pour le redressement de tensions triphasées.

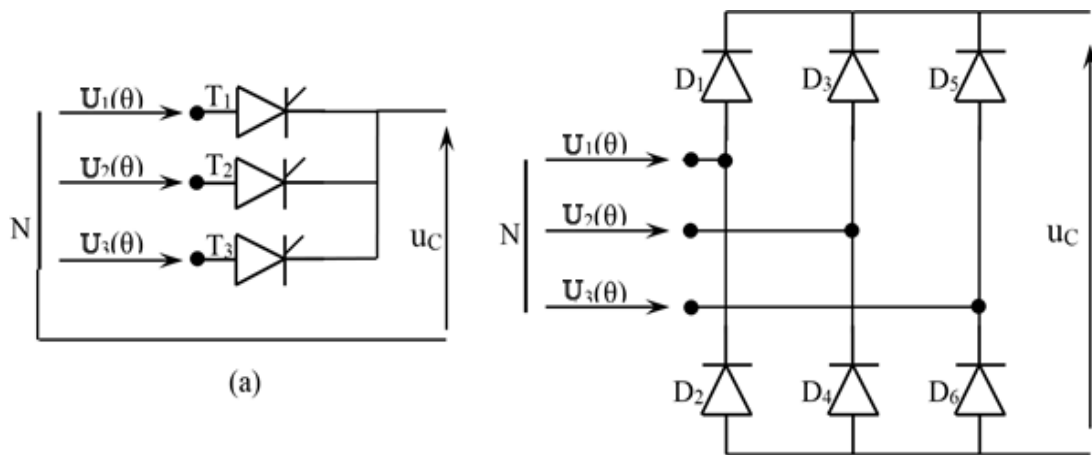


Figure N°23 : Redresseurs triphasés. (a) P3. (b) PD3.

1.2.2. Principe de l'étude d'un montage

L'étude d'un montage doit servir, pour le concepteur, à déterminer les caractéristiques de chaque élément constitutif (transformateur, diodes, thyristors...). Elle doit également permettre de calculer et définir les protections contre des échauffements dus à des surtensions ou sur courants (dus à des courts-circuits) éventuels.

On procède en général en deux étapes :

1.2.2.1. Etude des tensions (de l'entrée vers la sortie). En partant des tensions alternatives à l'entrée, on calcule la tension redressée à vide et la tension maximale aux bornes des semi-conducteurs. Pour cette étude on suppose négligeables les impédances de la source et des éléments du montage, ce qui est réaliste compte tenu des faibles chutes de tension qu'elles occasionnent.

1.2.2.2. Etude des courants (de la sortie vers l'entrée). A partir du courant débité supposé continu, on calcule la valeur du courant dans les semi-conducteurs ainsi que dans les enroulements secondaires et primaires du transformateur. Les chutes de tension dues aux impédances citées précédemment sont négligées.

On n'étudiera dans ce chapitre que l'allure des tensions obtenues au moyen de montages redresseurs triphasés. Les diodes sont supposées parfaites et le courant à la sortie du montage redresseur continu (charge

fortement inductive). On supposera également négligeable l'inductance ramenée au secondaire du transformateur.

1.2.3. Redressement non commandé P3 (diodes)

1.2.3.1. Montage

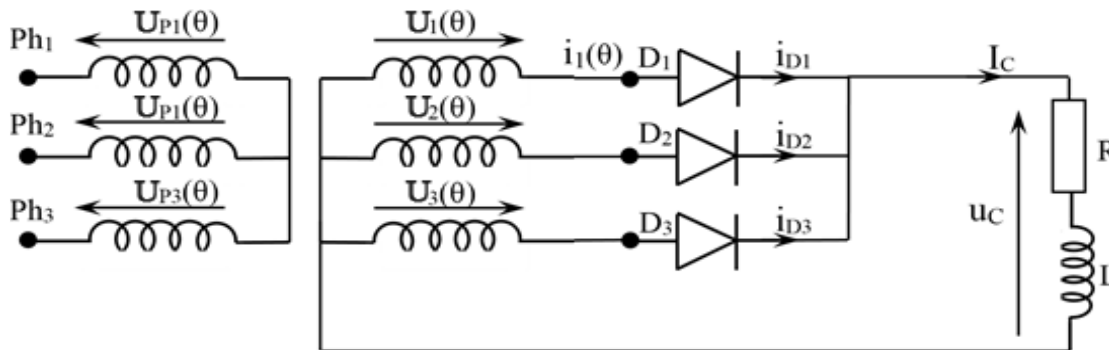


Figure N°24: Redresseurs triphasés P3 tous diodes.

Le transformateur en couplage étoile- étoile sera considéré comme dépourvu de fuites magnétiques et de résistances. Le pont de diodes (couplage P3) sera lui aussi considéré comme parfait et la charge est constituée d'une résistance R et d'une inductance L de forte valeur que l'on assimile à un générateur de courant I_C . Le réseau de tensions secondaires du transformateur sera noté de la façon suivante :

$$\begin{cases} u_1 = U_m \sin(\theta) \\ u_2 = U_m \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ u_3 = U_m \sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \end{cases}$$

1.2.3.2. Analyse du fonctionnement

Dans ce montage la diode en conduction est celle dont l'anode est reliée à la plus positive des tensions du générateur, les autres sont bloquées. Donc, nous avons à partir de $\theta = \frac{\pi}{6}$ qu'on appelle l'angle **d'amorçage naturel**.

Les intervalles de conduction sont les suivants

Intervalle	Diode en conduction	Diodes bloquées	Tension de sortie u_C	Tension aux bornes de D_1	Courant i_t
$\left[\frac{\pi}{6}; \frac{5\pi}{6}\right]$	D_1	D_2 et D_3	u_1	0	I_C
$\left[\frac{5\pi}{6}; \frac{3\pi}{2}\right]$	D_2	D_1 et D_3	u_2	$u_1 - u_2$	0
$\left[\frac{3\pi}{2}; \frac{13\pi}{6}\right]$	D_3	D_1 et D_2	u_3	$u_1 - u_3$	0
$\left[\frac{13\pi}{6}; \frac{17\pi}{6}\right]$	D_1	D_2 et D_3	u_1	0	I_C

1.2.3.3. Formes d'ondes des différentes grandeurs

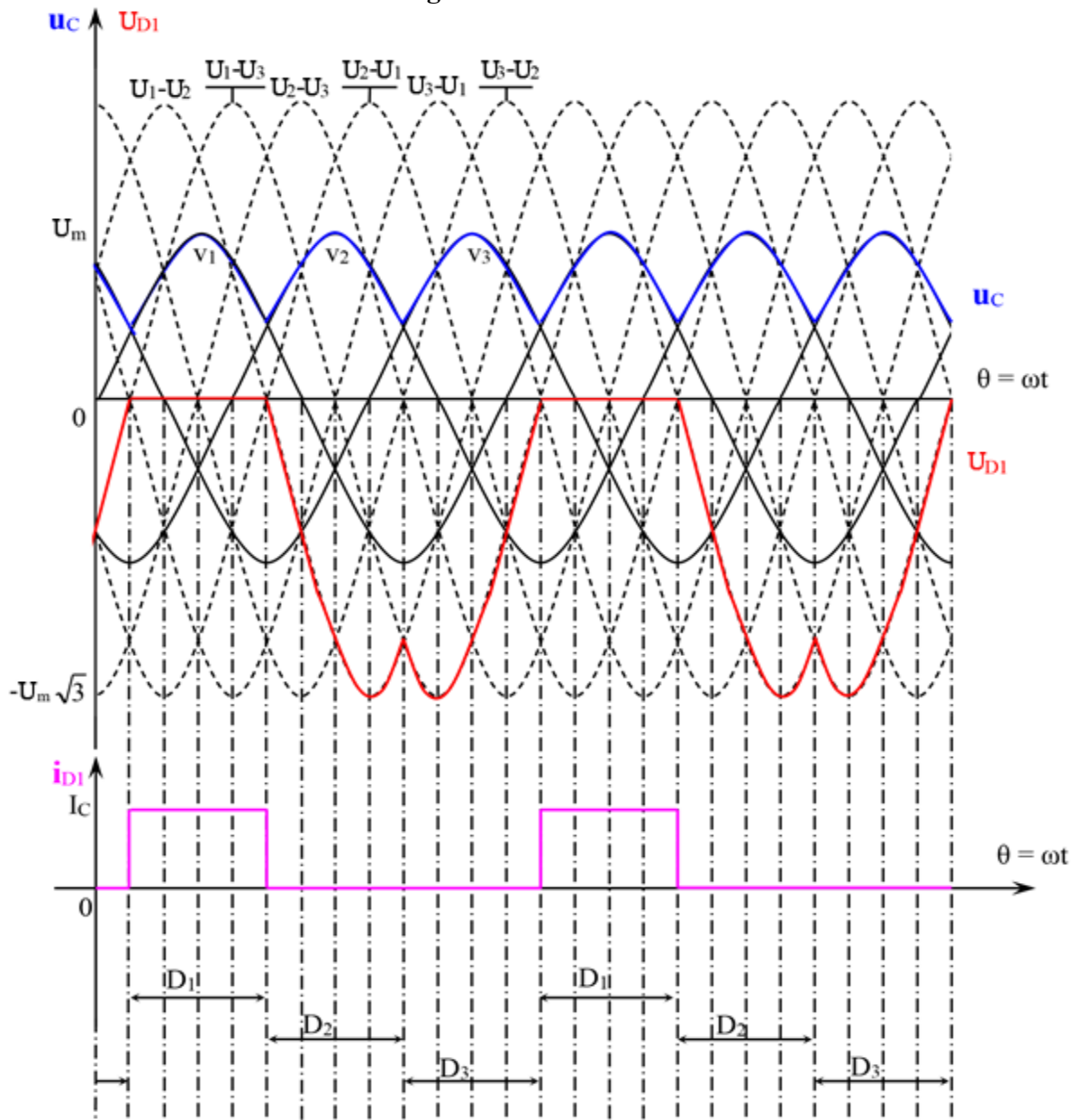


Figure N°25 : Formes d'ondes des différentes grandeurs d'un redresseur P3 toutes diodes.

1.2.3.4. Etude des tensions

La tension redressée u_C est périodique de période $T/3$.

a. Valeur moyenne de la tension de sortie u_C

$$U_{C\text{moy}} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} U_m \sin(\theta) d(\theta) = \frac{3U_m}{2\pi} [-\cos(\theta)]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} = \frac{3U_m}{2\pi} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \right] \Rightarrow U_{C\text{moy}} = \frac{3\sqrt{3}U_m}{2\pi} = 0.827 U_m$$

$$\text{On a } U_m = U\sqrt{2} \text{ donc } U_{C\text{moy}} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U$$

b. Valeur efficace de la tension de sortie u_c

$$U_{\text{Ceff}}^2 = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} (U_m \sin(\theta))^2 d\theta = \frac{3U_m^2}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \left(\frac{1 - \cos(2\theta)}{2} \right) d\theta = \frac{3U_m^2}{4\pi} \left[\theta - \frac{\sin(2\theta)}{2} \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}}$$

$$U_{\text{Ceff}}^2 = \frac{3U_m^2}{4\pi} \left\{ \frac{5\pi}{6} - \frac{\pi}{6} - \frac{\sin\left(\frac{5\pi}{3}\right) - \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)}{2} \right\} = U_m^2 \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{4\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \right)$$

$$U_{\text{Ceff}} = U_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{4\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right)} = 0.84 U_m$$

c. Facteur de forme k_F .

$$\text{On a } k_F = \frac{U_{\text{Ceff}}}{U_c} = \frac{0.84 U_m}{0.827 U_m} = 1.0157$$

Remarque :

- Pour un système monophasé et un redressement simple alternance, le facteur de forme est égal à $\pi/2 = 1.57$.
- Dans ce cas, la tension maximale à laquelle se trouve soumise l'une quelconque des diodes est donnée par le maximum des tensions composées sur les différents intervalles considérés, on obtient :

$$U_{\text{Dmax}} = -U\sqrt{6}$$

1.2.3.5. Etude des courants

a. Courants dans les diodes :

$$i_{\text{max}} = I_C$$

$$i_{\text{moy}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_C d\theta = \frac{I_C}{2\pi} [\theta]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \implies i_{\text{moy}} = \frac{I_C}{3}$$

$$I_{\text{D1eff}} = I_{\text{1eff}} \implies I_{\text{D1eff}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} (i_1)^2 d\theta} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_C d\theta} = \frac{I_C}{\sqrt{3}}$$

b. Courant et facteur de puissance secondaire

- Courant secondaire : $I_{\text{1eff}} = I_{\text{D1eff}} = \frac{I_C}{\sqrt{3}}$
- Puissance de la charge : $P_C = U_{\text{Cmoy}} \cdot I_C = \frac{3\sqrt{2} U_m}{2\pi} I_C$
- Puissance apparente secondaire : $S = 3U I_1 = 3 \frac{U_m}{\sqrt{2}} \frac{I_C}{\sqrt{3}} = \frac{3}{\sqrt{6}} U_m I_C$
- Facteur de puissance : $f_S = \frac{P_C}{S} = \frac{\frac{3\sqrt{3} U_m I_C}{2\pi}}{\frac{3}{\sqrt{2}\sqrt{3}} U_m I_C} = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} = 0.675$

c. Courant et facteur de puissance primaire

- Courant efficace primaire :

Les trois courants primaires ont forcément une somme nulle par contre au secondaire les A.T ont une composante homopolaire donc $AT_{H0} = \frac{1}{3} N_2 (i_1 + i_2 + i_3)$ celle-ci ne peut être compensée par les AT primaire.

Ainsi pour le noyau A on a :

$$N_1 i_{P1} = N_2 i_1 - \frac{1}{3} N_2 (i_1 + i_2 + i_3) \implies N_1 i_{P1} = \frac{2}{3} N_2 i_1 - \frac{1}{3} N_2 (i_2 + i_3)$$

Donc on obtient les courbes des courants primaires suivants :

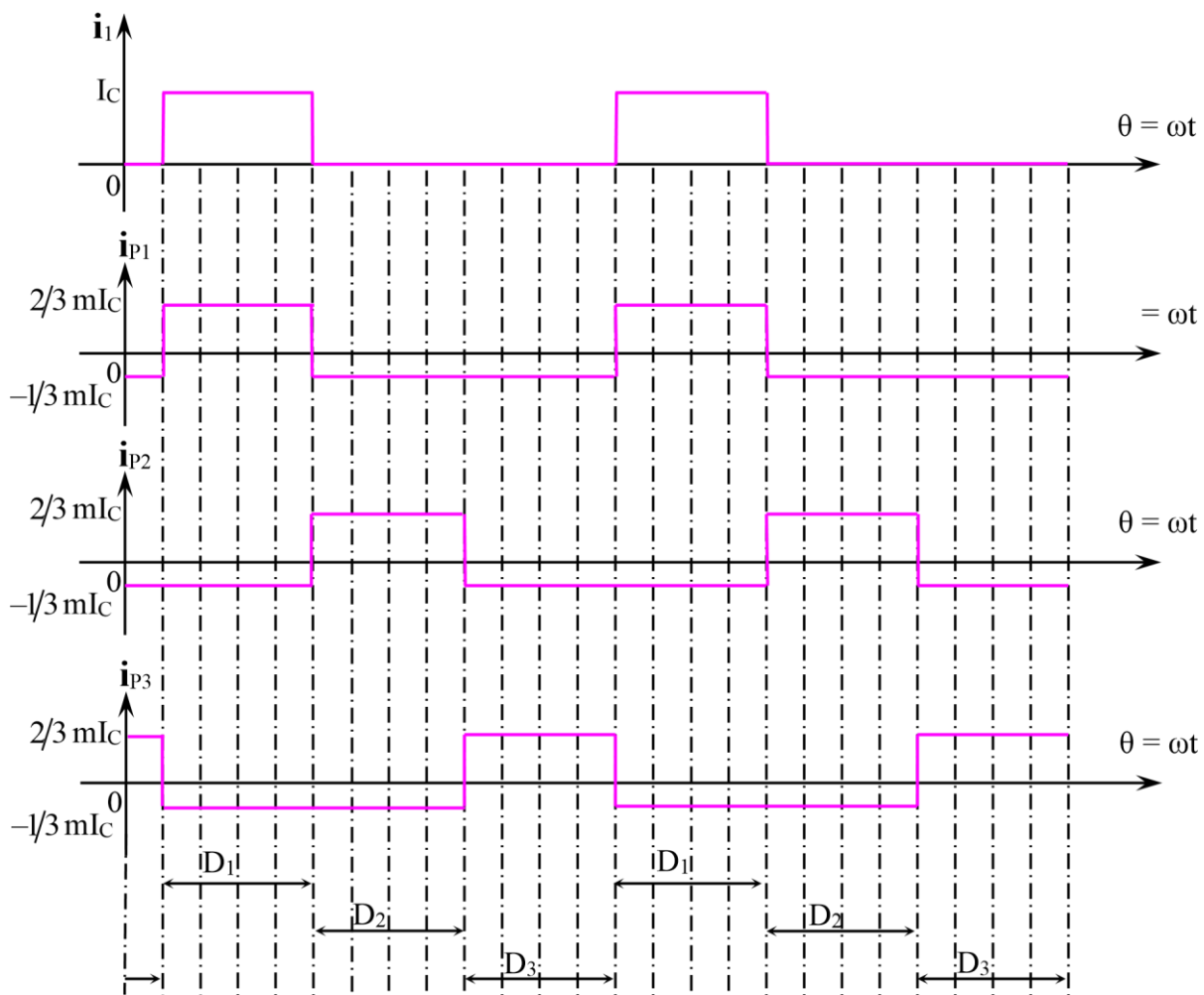


Figure N°26: Formes d'ondes des différentes courantes primaires d'un redresseur P3 toutes diodes.

Donc le courant efficace au primaire :

$$I_p = \frac{\sqrt{2}}{3} m I_C \quad \text{avec} \quad m = \frac{N_2}{N_1}$$

- ▶ Tension efficace primaire : $U_p = \frac{U}{m} = \frac{U_m}{m\sqrt{2}}$
- ▶ Facteur de puissance : $f_p = \frac{U_C I_C}{3 U_p I_p} = \frac{\frac{3\sqrt{3} U_m I_C}{2\pi}}{3 \frac{U_m}{m\sqrt{2}} m \frac{\sqrt{2}}{3} I_C} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} = 0.827$