

3.4 Redressement triphasé non-commandé

3.4.1 Redressement triphasé simple alternance (Montage parallèle P3)

Ce montage est appelé aussi parallèle triphasé car les sources ainsi que les commutateurs (ici les diodes) sont montés en parallèle.

3.4.1.1 Charge résistive

Le montage de la figure 23 contient trois diodes montées en parallèle à cathodes communes liées à une résistance. Les sources d'alimentation forment un système triphasé équilibré tel que :

$$\begin{aligned} v_1(t) &= \widehat{V} \sin \omega t \\ v_2(t) &= \widehat{V} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ v_3(t) &= \widehat{V} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{aligned}$$

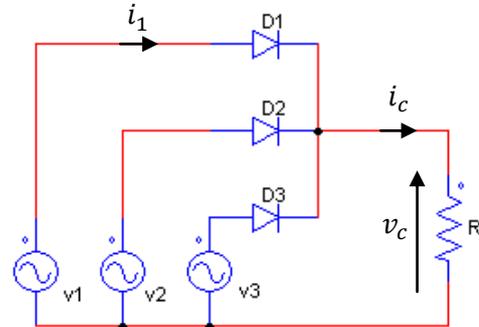


Figure 23. Circuit P3 avec charge R.

- **Analyse du montage**

La diode qui va être passante est celle qui aura le potentiel à l'anode le plus élevé. Les angles de commutation naturelle se feront donc pour : $\theta = \frac{\pi}{6}, \frac{5\pi}{6}, \text{ et } \frac{9\pi}{6}$.

La tension aux borne d'une diode (exemple D₁) est donnée par :

$$v_{D1} = v_1 - v_c$$

Intervalles	Diode passante	Tension v_c	Courant i_c	Tension v_{D1}	Tension v_{D2}	Tension v_{D3}	Courant i_1	Courant i_2	Courant i_3
$[\frac{\pi}{6} \quad \frac{5\pi}{6}]$	D₁	v_1	v_1/R	0	u_{21}	u_{31}	i_c	0	0
$[\frac{5\pi}{6} \quad \frac{9\pi}{6}]$	D₂	v_2	v_2/R	u_{12}	0	u_{32}	0	i_c	0
$[\frac{9\pi}{6} \quad \frac{13\pi}{6}]$	D₃	v_3	v_3/R	u_{13}	u_{23}	0	0	0	i_c
$[\frac{13\pi}{6} \quad \frac{17\pi}{6}]$	D₁	v_1	v_1/R	0	u_{21}	u_{31}	i_c	0	0

➤ **Chronogrammes des tensions et du courant en sortie**

R-q :

- Les tensions aux bornes de la charge sont des tensions simples et sont constituées de trois calottes d'une valeur maximale \widehat{V} .
- Chaque diode conduit pendant un tiers de période donc : $T_{red} = \frac{T}{3} \Rightarrow f_{red} = 3f$
- Chaque diode doit supporter une tension inverse de valeur max : $\widehat{V}_D = -\widehat{V}\sqrt{3}$

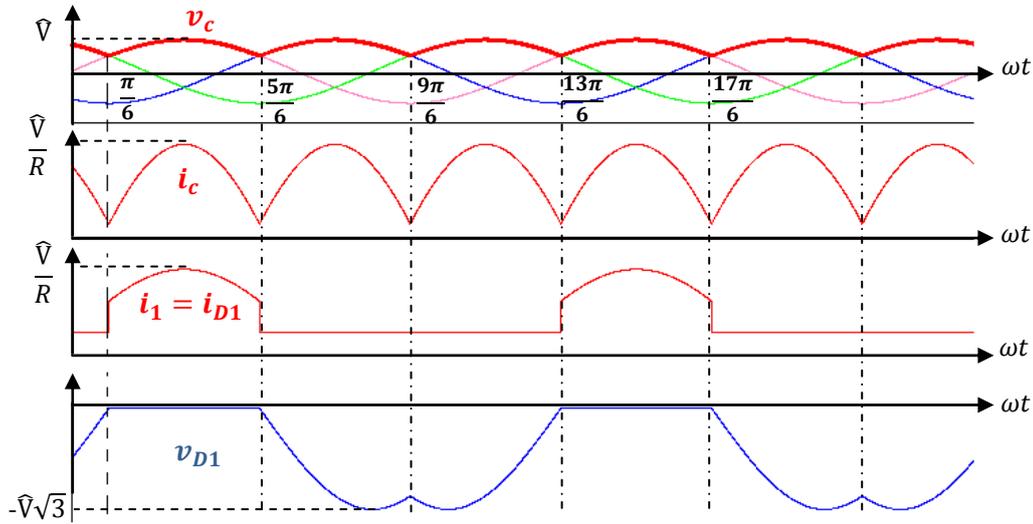


Figure 24. Circuit P3 avec charge R-L.

- La valeur moyenne et efficace de la tension de charge v_c :

$$\bar{V}_c = \frac{3}{T} \int_{\frac{T}{12}}^{\frac{5T}{12}} v_c(t) dt = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} v_1(\theta) d\theta = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \hat{V} \sin \theta d\theta = \frac{3\sqrt{3} \hat{V}}{2\pi} = \frac{3\sqrt{3} V}{\sqrt{2\pi}}$$

$$V_c^2 = \frac{3}{T} \int_{\frac{T}{12}}^{\frac{5T}{12}} v_c^2(t) dt = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} v_1^2(\theta) d\theta = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \hat{V}^2 \sin^2(\theta) d\theta \Rightarrow V_c = \hat{V} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{8\pi}}$$

$$V_c = \frac{\hat{V}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin \frac{2\pi}{3}}{\frac{2\pi}{3}}}$$

- La valeur moyenne et efficace du courant de charge i_c :

$$\bar{I}_c = \frac{\bar{V}_c}{R} = \frac{3\sqrt{3} V}{\sqrt{2\pi} R}$$

$$I_c = \frac{V_c}{R} = \frac{\hat{V}}{R} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{8\pi}}$$

- Les valeurs du taux d'ondulation et du facteur de forme sont :

$$F = \frac{V_c}{\bar{V}_c} = \sqrt{\frac{2\pi^2}{27} + \frac{\pi}{6\sqrt{3}}} = 1,017$$

$$\tau_{ond} = \sqrt{F^2 - 1} = \sqrt{(1,017)^2 - 1} = 0,183$$

L'ondulation est bien meilleure par rapport aux montages monophasés.

3.4.1.2 Charge inductive R-L

Le Redresseur (P3) alimente maintenant une résistance R en série avec une bobine d'inductance L , le tout est alimenté par le même système d'alimentation précédant.

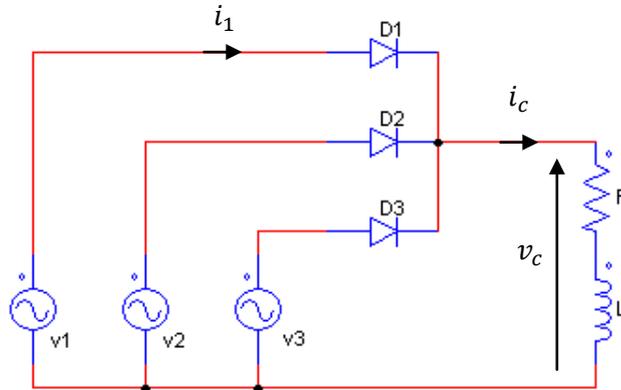


Figure 25. Circuit P3 avec charge R-L.

- **Analyse et étude du fonctionnement**

La règle de conduction des diodes étant la même que pour le montage de la figure 21, les intervalles de conduction seront aussi identiques.

Donc pour la tension aux bornes de la charge la forme restera la même. Seulement le courant dans la charge vérifiera l'équation suivante quelque soit la diode qui conductrice :

$$v_c = v_{1,2,3} = R i_c(t) + L \frac{di_c(t)}{dt}$$

- **Chronogrammes des tensions et du courant en sortie**

On constate que les tensions aux bornes de la charge et bornes des diodes sont les mêmes.

Tous les grandeurs caractéristiques tels que : la valeur moyenne et efficace de la tension de charge v_c , ainsi que le taux d'ondulation et le facteur de forme restent les mêmes.

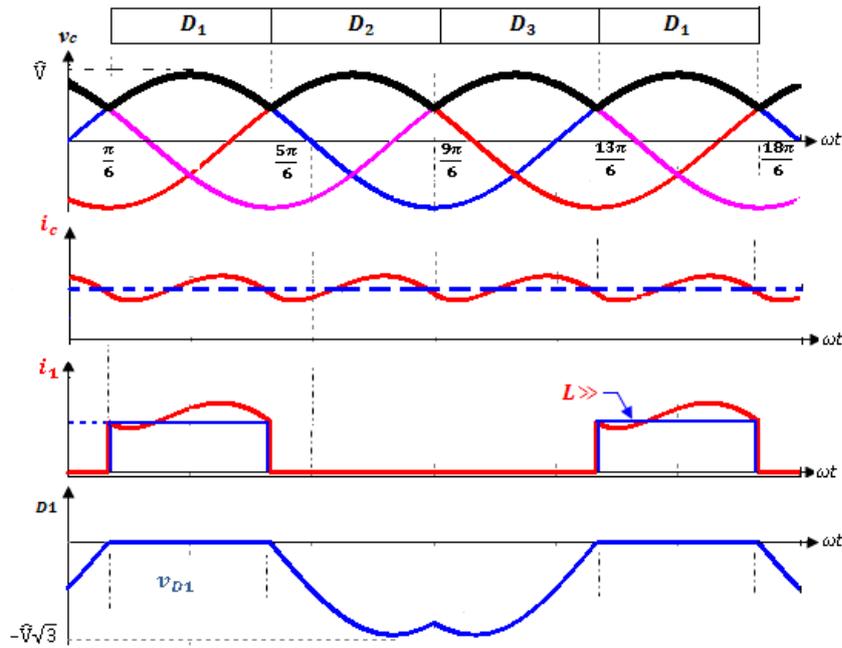


Figure 26. Montage P3 avec charge $R-L$.

On conclue que la charge même fortement inductive n'influe pas sur les formes des tensions aux bornes des éléments dans ce montage, seul le courant est affecté et qui devient du plus en plus lisse (figure 24, i_c pour $L \gg$).

➤ Facteur de puissance

Le courant dans la charge est considéré constant ($i_c = I_c$).

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v_c(t) i_c(t) dt = \frac{I_c}{T} \int_0^T v_c(t) dt = \bar{V}_c I_c = \frac{3\sqrt{3} V}{\sqrt{2}\pi} I_c$$

La puissance apparente est calculée par les valeurs efficaces du côté de la source, chaque diode conduit pendant en tiers de période donc :

$$S = 3 V I_1$$

$$I_1 = I_{D1} = \frac{1}{T} \int_0^T I_c^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_c^2 dt = \frac{I_c^2}{2\pi} \left[\frac{5\pi}{6} - \frac{\pi}{6} \right] \Rightarrow I_1 = \frac{I_c}{\sqrt{3}}$$

$$\Rightarrow FP = \frac{P}{S} = \frac{\frac{3\sqrt{3} V}{\sqrt{2}\pi} I_c}{\frac{3 V I_c}{\sqrt{3}}} = \frac{3}{\sqrt{2}\pi} = 0,675$$

On remarque bien que le facteur de puissance est assez médiocre, malgré que les autres grandeurs telles que le facteur de forme et le taux d'ondulation sont meilleurs par rapport à ceux obtenues par le redressement monophasé.

3.4.2 Redressement triphasé double alternance (Montage PD3)

Ce montage est à comparer au pont de Graëtz en monophasé, il est appelé montage parallèle double alternance triphasé abrégé PD3.

Les trois diodes supérieures du montage de la figure 27 (D_1, D_2, D_3) sont à cathodes communes, donc à tout instant la diode passante est celle qui a la plus positive des tensions, et les diodes D'_1, D'_2, D'_3 sont à anodes communes, par conséquent à tout instant la diode passante est celle qui aura la plus négative des tensions. La tension redressée aux bornes sera alors composée de la différence entre ces deux tensions.

3.4.2.1 Charge résistive

Les tensions d'alimentation issues du secondaire d'un transformateur triphasé forment un système équilibré direct :

$$\begin{aligned} v_1(t) &= \widehat{V} \sin \omega t \\ v_2(t) &= \widehat{V} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ v_3(t) &= \widehat{V} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{aligned}$$

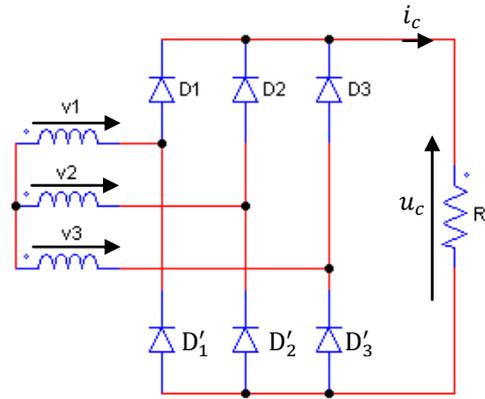


Figure 27. Montage PD3 charge R.

- **Analyse et étude du fonctionnement**

Le tableau suivant résume toutes les séquences de fonctionnement, par exemple pour le premier intervalle $]\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}]$:

$$\left. \begin{aligned} v_1 > v_2 \text{ et } v_3 &\Rightarrow D_1 = 1, D_2 = D_3 = 0 \\ v_2 < v_1 \text{ et } v_3 &\Rightarrow D'_2 = 1, D'_1 = D'_3 = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow u_c = v_1 - v_2 = u_{12}$$

Intervalles	Diode passante	Tension u_c	Courant i_c	Tension v_{D1}	Tension v_{D2}	Tension v_{D3}	Courant i_1	Courant i_2	Courant i_3
$]\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}]$	D_1, D'_2	u_{12}	u_{12}/R	0	u_{21}	u_{31}	i_c	$-i_c$	0
$]\frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{6}]$	D_1, D'_3	u_{13}	u_{13}/R	0	u_{21}	u_{31}	i_c	0	$-i_c$
$]\frac{5\pi}{6}, \frac{7\pi}{6}]$	D_2, D'_3	u_{23}	u_{23}/R	u_{12}	0	u_{32}	0	i_c	$-i_c$
$]\frac{7\pi}{6}, \frac{9\pi}{6}]$	D_2, D'_1	u_{21}	u_{21}/R	u_{12}	0	u_{32}	$-i_c$	i_c	0
$]\frac{9\pi}{6}, \frac{11\pi}{6}]$	D_3, D'_1	u_{31}	u_{31}/R	u_{13}	u_{23}	0	$-i_c$	0	i_c
$]\frac{11\pi}{6}, \frac{13\pi}{6}]$	D_3, D'_2	u_{32}	u_{32}/R	u_{13}	u_{23}	0	0	$-i_c$	i_c

On retrouve la tension aux bornes d'une des diodes (par exemple D_1) de la manière suivante :

$$v_{D_1} = -u_c - v_{D'_1} \quad (1)$$

$$v_{D_1} = -u_c + u_{12} \quad \text{si } D'_2 = 1 \quad (2)$$

$$v_{D_1} = -u_c - u_{31} \quad \text{si } D'_3 = 1 \quad (3)$$

Dans les intervalles :

- $\left] \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2} \right]$ et $\left] \frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{6} \right]$: $v_{D_1} = 0$ car $D_1=1$
- $\left] \frac{5\pi}{6}, \frac{7\pi}{6} \right]$: on a $D_2 = D'_3 = 1 \Rightarrow u_c = u_{23}$ de (3) $\Rightarrow v_{D_1} = -u_{23} - u_{31} = u_{12}$
- $\left] \frac{7\pi}{6}, \frac{9\pi}{6} \right]$: on a $D_2 = D'_1 = 1 \Rightarrow u_c = u_{21}$ de (1) $\Rightarrow v_{D_1} = -u_c = u_{12}$
- $\left] \frac{9\pi}{6}, \frac{11\pi}{6} \right]$: on a $D_3 = D'_1 = 1 \Rightarrow u_c = u_{31}$ de (1) $\Rightarrow v_{D_1} = -u_c = u_{13}$
- $\left] \frac{11\pi}{6}, \frac{13\pi}{6} \right]$: on a $D_3 = D'_2 = 1 \Rightarrow u_c = u_{32}$ de (2) $\Rightarrow v_{D_1} = -u_{32} + u_{12} = u_{13}$

➤ Les chronogrammes des tensions et courants sont représentés sur la figure 28.

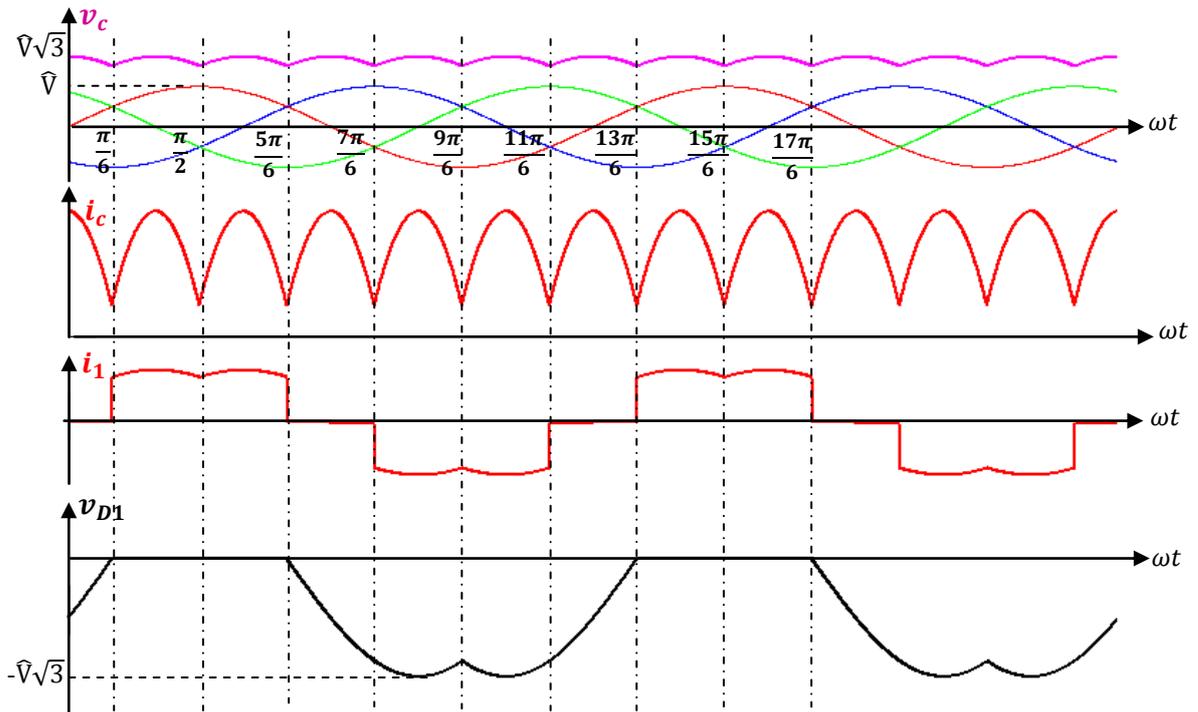


Figure 28. Évolutions des tensions et courants dans le circuit.

Les courants sont ondulés mais se rapprochent certainement à la forme continue.

- La valeur moyenne et efficace de la tension aux bornes de la charge u_c :

$$\bar{V}_c = \frac{6}{T} \int_{\frac{T}{12}}^{\frac{6T}{12}} v_c(t) dt = \frac{6}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} u_{12}(\theta) d\theta = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} \hat{V} \sin(\theta + \frac{\pi}{6}) d\theta = \frac{3\sqrt{3}\hat{V}}{\pi}$$

$$V_c^2 = \frac{6}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} u_{12}^2(\theta) d\theta \Rightarrow V_c = \frac{\hat{V}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin \frac{2\pi}{6}}{\frac{2\pi}{6}}} = \hat{V} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}}$$

- La valeur moyenne et efficace du courant i_c

$$\bar{I}_c = \frac{\bar{V}_c}{R} = \frac{3\sqrt{3}\hat{V}}{\pi R}$$

$$I_c = \frac{V_c}{R} = \frac{\hat{V}}{R} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}}$$

- Les valeurs du facteur de forme et du taux d'ondulation sont :

$$F = \frac{V_c}{\bar{V}_c} = \sqrt{\frac{\pi^2}{18} + \frac{\pi}{4\sqrt{3}}} = 1,0009$$

$$\tau_{ond} = \sqrt{F^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{\pi^2}{18} + \frac{\pi}{4\sqrt{3}}\right)^2 - 1} = 0,0042$$

3.4.2.1 Charge inductive R-L

On va maintenant considérer le même circuit mais en ajoutant une bobine à la charge pour la rendre de nature inductive (figure 29).

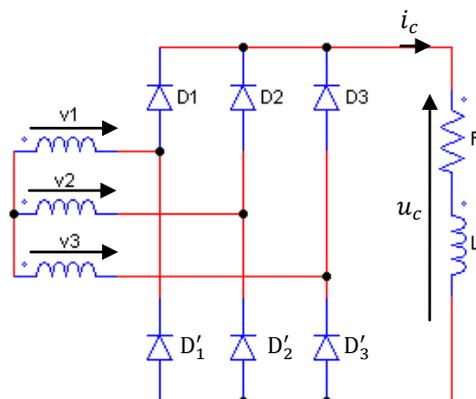


Figure 29. Montage PD3 charge R-L.

➤ Les chronogrammes des tensions et courants sont représentés sur la figure 30.

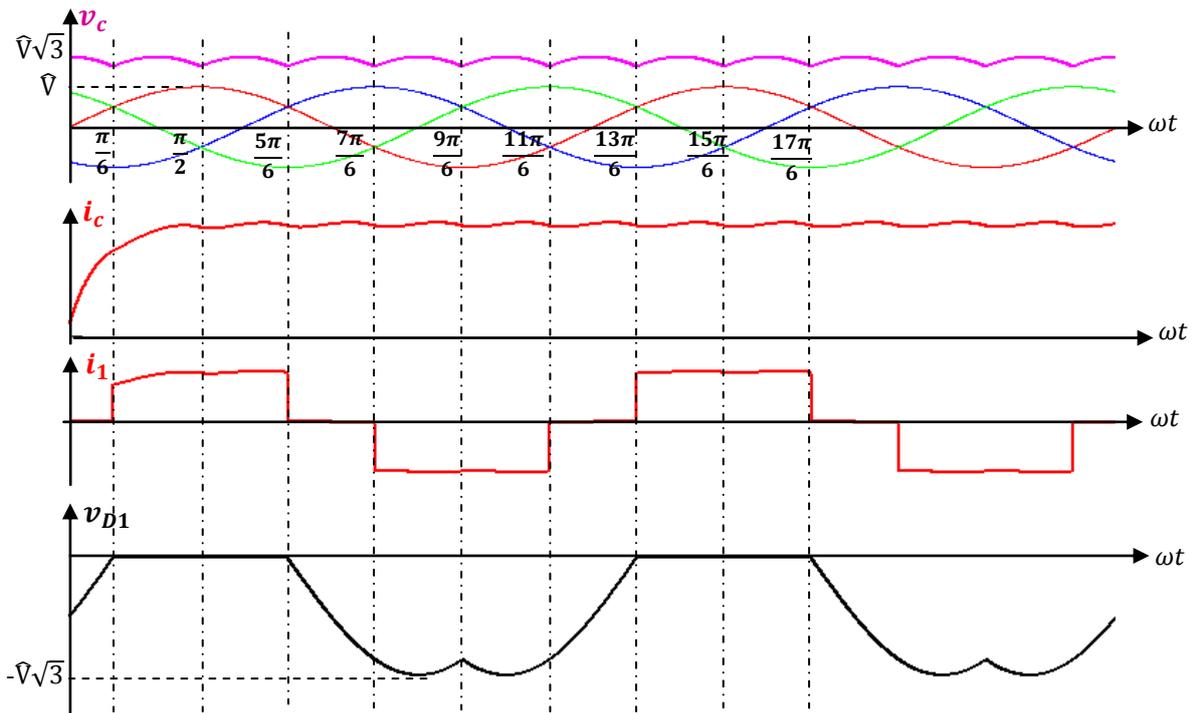


Figure 30. Évolutions des tensions et courants dans le circuit.

Par comparaison au montage précédent lorsque la charge était purement résistive, On constate à travers les chronogrammes que la bobine ajoutée à la charge n'a pas d'influence sur l'évolution des courbes des tensions (v_c , v_{D1}). Le tableau précédent résumant les séquences de fonctionnement restera donc le même.

Par contre, le courant est devenu plus lisse et présente nettement moins d'ondulation, dès lors, c'est avec une charge fortement inductive que le courant sera le plus souvent considéré comme constant.

R-q :

Tous les calculs concernant les tensions qui ont été fait dans le paragraphe précédent (valeur moyenne, efficace, taux d'ondulation, et facteur de forme) restent dans ce cas valables.

➤ Le facteur de puissance

Parce que le courant dans la charge est considéré constant ($i_c = I_c$), la puissance consommée est :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v_c(t) i_c(t) dt = \frac{I_c}{T} \int_0^T v_c(t) dt = \bar{V}_c I_c = \frac{3\sqrt{6} V I_c}{\pi}$$

P peut être calculé du côté source :

$$P = 3 V I_1 \cos \varphi_1$$

Où I_1 et φ_1 représentent la valeur efficace du fondamental du courant i_l dans la source et son déphasage par rapport à la tension.

$$i_1(t) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_c \left(\sin \omega t - \frac{1}{5} \sin(5\omega t) - \frac{1}{7} \sin(7\omega t) + \frac{1}{11} \sin(11\omega t) + \dots \right)$$

Pas d'harmoniques pairs et pas d'harmoniques multiples de trois.

La puissance apparente est calculée du côté de la source sachant que les courants sont tantôt positifs et tantôt négatifs, mais qui sont identiquement décalés de $2\pi/3$, on a alors :

$$S = 3 V I_1$$

$$I_1 = \frac{1}{T} \int_0^T I_c^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_c^2 d\omega t + \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{7\pi}{6}}^{\frac{11\pi}{6}} (-I_c)^2 d\omega t = \frac{I_c^2}{2\pi} \left[\frac{4\pi}{6} + \frac{4\pi}{6} \right] \Rightarrow I_1 = I_c \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$\Rightarrow FP = \frac{P}{S} = \frac{\frac{3\sqrt{6} V I_c}{\pi}}{\frac{3\sqrt{2} V I_c}{\sqrt{3}}} = \frac{3}{\pi} = \mathbf{0,955}$$

On remarque bien que le facteur de puissance est bon, par rapport à celui obtenu par le redressement triphasé simple alternance (P3) qui a une valeur assez faible ce qui limite l'intérêt du montage P3, on lui préfère souvent le pont de Graëtz (PD3).

➤ On peut aussi calculer la puissance réactive et la puissance déformante

$$Q = 3 V I_1 \sin \varphi_1$$

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

Ici $Q=0$ car v_l et i_l sont en phase ($\varphi_l = 0$).

$$D = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$D = \sqrt{(\sqrt{6} V I_c)^2 - \left(\frac{3\sqrt{6} V I_c}{\pi}\right)^2} = V I_c \sqrt{6 \left(1 - \frac{9}{\pi^2}\right)}$$

3.5 Tableau récapitulatif des principales grandeurs des montages étudiés

	\bar{V}_c	V_c	\bar{I}_e	I_e	I_{e1}	P_s	S_s	FP
P1	$\frac{\sqrt{2} V}{\pi}$	$\frac{v}{\sqrt{2}}$				$\frac{V^2}{2R}$	$\frac{V^2}{\sqrt{2}R}$	0,707 Charge R
PD2	$\frac{2\sqrt{2} V}{\pi}$	V	0	I_c	$\frac{2\sqrt{2} I_c}{\pi}$	$\frac{2\sqrt{2} V I_c}{\pi}$	$V I_c$	0,9 Charge R-L

P3	$\frac{3\sqrt{3} V}{\sqrt{2}\pi}$	$\sqrt{2} V \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{8\pi}}$	$\frac{I_c}{3}$	$\frac{I_c}{\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{6} I_c}{2\pi}$	$\frac{3\sqrt{6} V I_c}{2\pi}$	$\sqrt{3} V I_c$	0,675 Charge R-L
PD3	$\frac{3\sqrt{6} V}{\pi}$	$\sqrt{2} V \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}}$	0	$I_c \sqrt{\frac{2}{3}}$	$I_c \frac{\sqrt{6}}{\pi}$	$\frac{3\sqrt{6} V I_c}{\pi}$	$\sqrt{6} V I_c$	0,955 Charge R-L

3.6 Conclusion de la deuxième partie de ce chapitre

Le facteur de forme et le taux d'ondulation sont bien meilleurs pour les montages parallèle double par rapport à celui des montages parallèle simple soit en mono ou triphasé.

On a constaté aussi que le facteur de puissance des montages parallèle double est meilleur que celui des montages parallèle simple.

Le facteur de puissance atteint des valeurs maximums en triphasé, donc le dimensionnement des installations (par exemple le transformateur) est moins onéreuse en triphasé.