

## CHII : REDRESSEMENT TRIPHASÉ NON COMMANDE

### 1. Définitions

#### 1-1 Redressement triphasé non commandé

Le redressement triphasé non commandé est la conversion d'un système équilibré de trois tensions alternatives (de valeur moyenne nulle) en une tension continue (de valeur moyenne non nulle) utilisant des interrupteurs non commandables, des diodes.

#### 1-2 Indice de commutation $q$ d'un montage

L'indice de commutation  $q$  d'un montage est donné par la durée de conduction de chaque diode et correspond au nombre de phases du réseau de distribution.

#### 1-3 Indice de pulsation $p$ d'une tension redressée

L'indice de pulsation donne le nombre de portions de sinusoïdes d'une tension redressée par période du réseau.

### 2. Montages redresseurs

On distingue trois (03) types de montages :

- les montages P3 (Parallèle 3 tensions) : montages avec source en étoile et un seul commutateur relié à chaque tension.

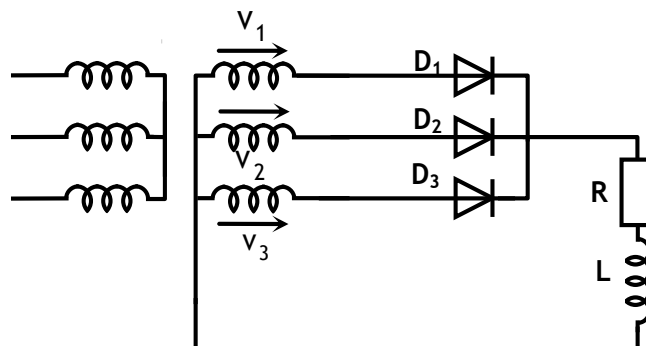


Fig.1 Montage P3 débitant sur une charge R, L

- les montages PD3 (Parallèle Double 3 tensions) : montages avec source en étoile et deux commutateurs ou redresseurs en pont, reliés à chaque tension.

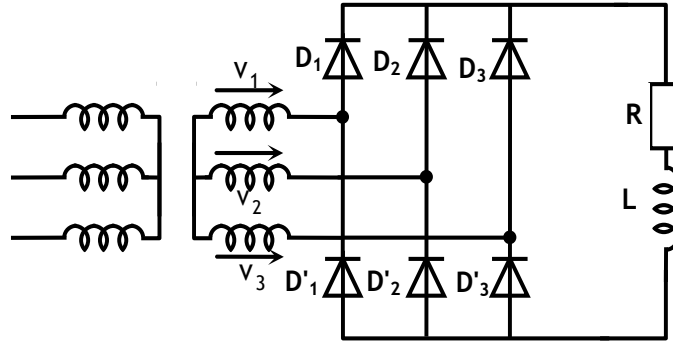


Fig.2 Montage PD3 débitant sur une charge R, L

- les montages S3 (Série 3 tensions) : montages avec source en polygone et deux commutateurs en pont.

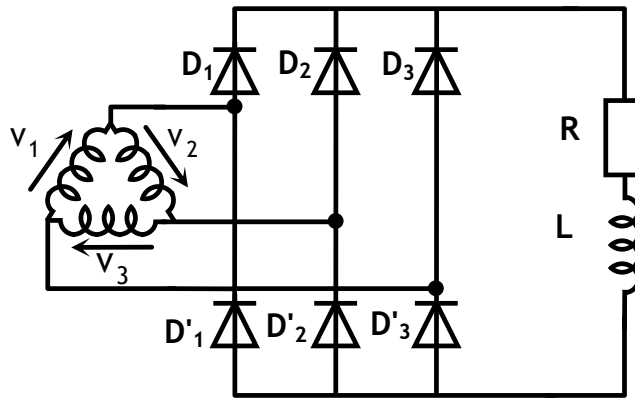
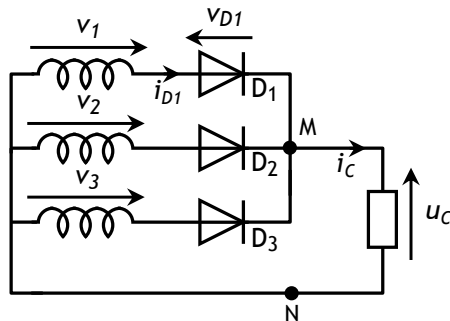


Fig.3 Montage S3 débitant sur une charge R, L

## 2-1 Montages P3

Ces montages utilisent un transformateur triphasé qui au secondaire produit trois tensions alternatives sinusoïdales formant un système triphasé équilibré.

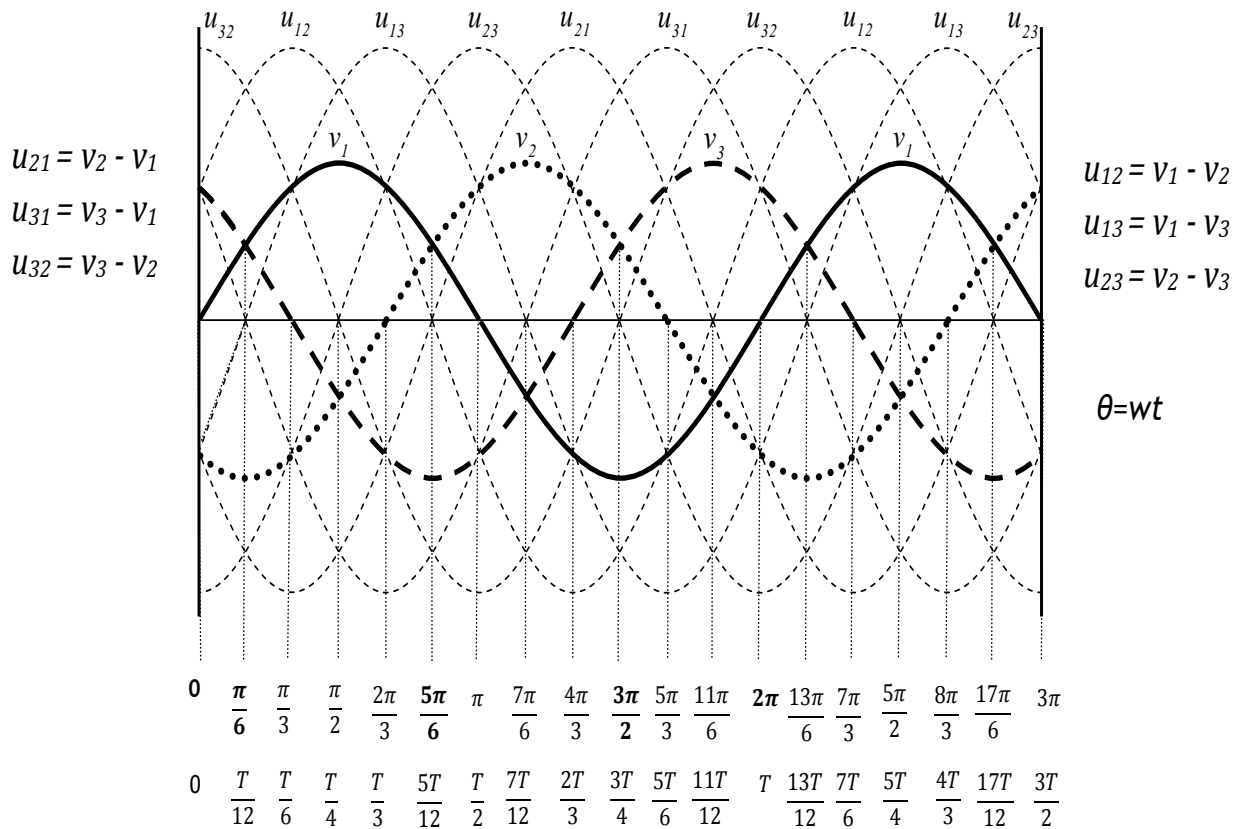
### 2-1-1 Schéma de principe



$$v_1 = V\sqrt{2} \sin \omega t$$

$$v_2 = V\sqrt{2} \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$v_3 = V\sqrt{2} \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$



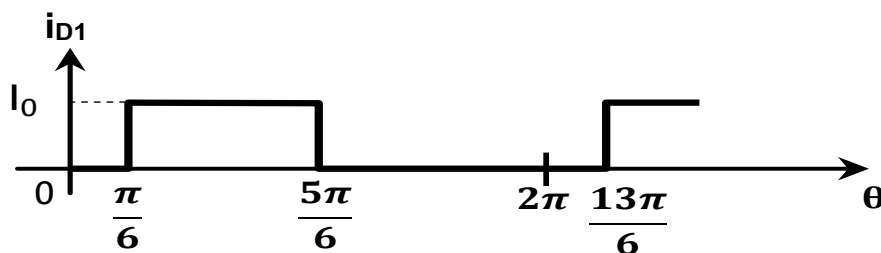
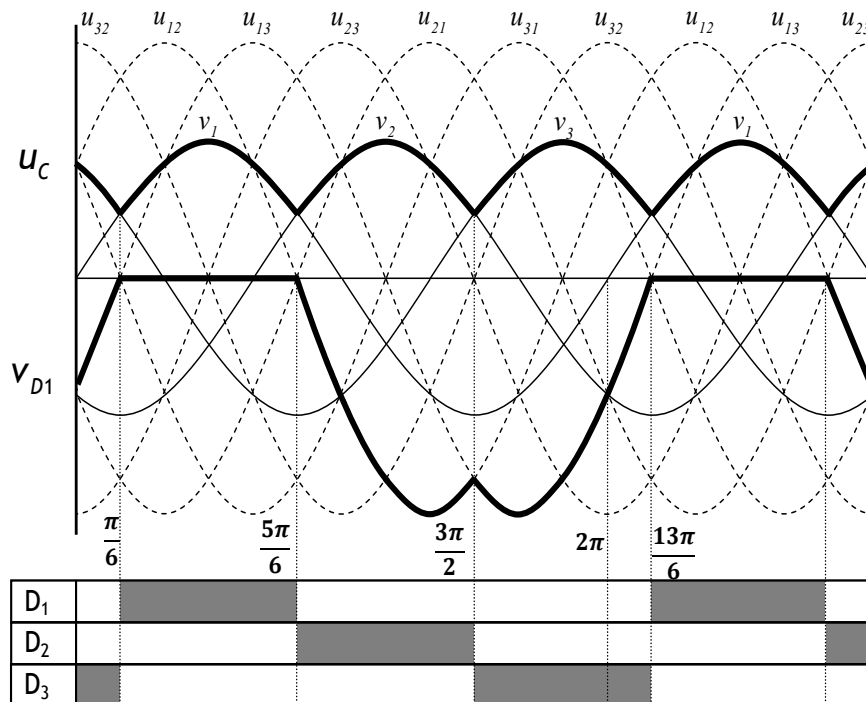
### 2-1-2 Fonctionnement

La charge est supposée suffisamment selfique de manière à considérer un courant  $i_c$  de charge constant et assimilable à sa valeur moyenne  $I_0$ .

Le montage distingue un commutateur plus positif. Ainsi, la diode passante est celle dont l'anode est reliée à la tension la plus positive.

$\theta$	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{5\pi}{6}$	$\frac{3\pi}{2}$	2π
Diode passante	D <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>
$u_c$	$v_3$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_3$
$v_{D1}$	$u_{13}$	0	$u_{12}$	$u_{13}$	$u_{13}$
$v_{D2}$	$u_{23}$	$u_{21}$	0	$u_{23}$	$u_{23}$
$v_{D3}$	0	$u_{31}$	$u_{32}$	0	0
$i_c$	$I_0$	$I_0$	$I_0$	$I_0$	$I_0$
$i_{D1}$	0	$I_0$	0	0	0
$i_{D2}$	0	0	$I_0$	0	0
$i_{D3}$	$I_0$	0	0	$I_0$	$I_0$

### 2-1-3 Graphes



Remarque : Chaque diode conduit pendant un tiers de période ( $\frac{T}{3}$  ;  $\frac{2\pi}{3}$ ). L'indice de commutation est donc 3.

### 2-1-4 Grandeurs caractéristiques

- Valeur moyenne de  $u_C$

Sur une période  $T$  du réseau, la tension  $u_C$  est constitué de 3 calottes de sinusoïdes : l'indice de pulsation est 3. Sa période est  $\frac{T}{3}$  ( $\frac{2\pi}{3}$ ).

$$U_{Cmoy} = \frac{1}{T} \int_T u_C(t) dt = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} v_1 d\theta = \frac{3V\sqrt{2}}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \sin\theta d\theta = \frac{3V\sqrt{2}}{2\pi} [\cos \frac{\pi}{6} - \cos \frac{5\pi}{6}]$$

$$U_{Cmoy} = \frac{3V\sqrt{2}}{2\pi} [\cos \frac{\pi}{6} - \cos \frac{5\pi}{6}] = \frac{3V\sqrt{2}}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} = \frac{3V_m}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} = 0,83V_m$$

- Valeur efficace de  $u_c$

$$U_C^2 = \frac{1}{T} \int_T u_C^2(t) dt = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} v_1^2 d\theta = \frac{3V^2}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \sin^2\theta d\theta = \frac{3V^2}{2\pi} \left[ \frac{2\pi}{3} + \sin\frac{\pi}{3} \right] = V^2 \left( 1 + \frac{\sin\frac{2\pi}{3}}{\frac{2\pi}{3}} \right)$$

$$\text{Donc } U_C = V \sqrt{1 + \frac{\sin\frac{2\pi}{3}}{\frac{2\pi}{3}}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin\frac{2\pi}{3}}{\frac{2\pi}{3}}} = \mathbf{0,84V_m}$$

- Facteur de forme

$$F = \frac{U_C}{U_{Cmoy}} = \frac{0,84}{0,83} = 1,02$$

- Valeurs moyenne et efficace du courant dans une diode

Le courant dans les diodes est égal à  $I_0$  lorsque la diode est **passante**. Il est égal à 0 si la diode est **bloquée**. Chaque diode est donc parcourue par un courant d'intensité  $I_0$  pendant le tiers de la période  $T$  des tensions d'alimentation.

On déduit alors les courants moyen et efficace :

$$I_{Dmoy} = I_{D1moy} = I_{D2moy} = I_{D3moy} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_0 d\theta = \frac{I_0}{3}$$

$$I_D = I_{D1} = I_{D2} = I_{D3} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_0^2 d\theta} = \frac{I_0}{\sqrt{3}}$$

- Valeurs moyenne et efficace du courant au secondaire du transformateur

Le courant dans un enroulement secondaire est identique au courant passant dans la diode qui lui est connectée :

$$I_{Smoy} = I_{S1moy} = I_{S2moy} = I_{S3moy} = I_{Dmoy} = \frac{I_0}{3}$$

$$I_S = I_{S1} = I_{S2} = I_{S3} = I_D = \frac{I_0}{\sqrt{3}}$$

- Tension inverse maximale aux bornes d'une diode

La valeur maximale de la tension inverse supportée par  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  vaut respectivement :

$$V_{D1max} = \max(v_1 - v_2) = \max(v_1 - v_3) = u_{12}\sqrt{2} = V\sqrt{3}\sqrt{2} = V\sqrt{6}$$

$$V_{D2max} = \max(v_2 - v_1) = \max(v_2 - v_3) = u_{23}\sqrt{2} = V\sqrt{3}\sqrt{2} = V\sqrt{6}$$

$$v_{D3\max} = \max(v_3 - v_2) = \max(v_3 - v_1) = u_{31}\sqrt{2} = V\sqrt{3}\sqrt{2} = V\sqrt{6}$$

- Puissances et facteur de puissance au secondaire du transformateur

Le facteur de puissance  $\cos\Phi_{\text{sec}}$  est donné par la relation suivante :

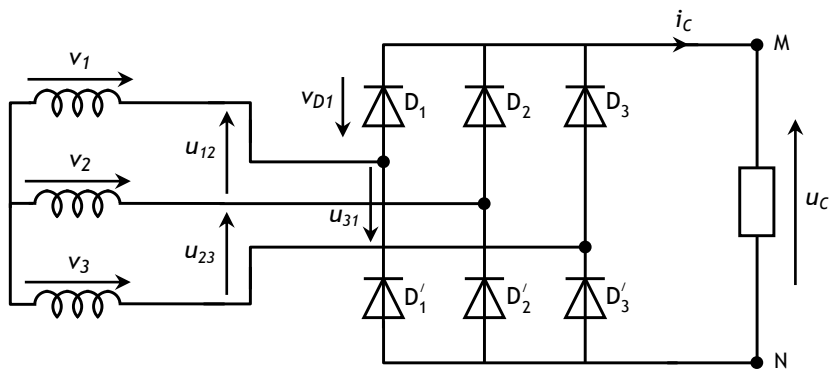
$$\cos\Phi_{\text{sec}} = \frac{P_a}{S}$$

- $P_a = \langle u_C i_C \rangle = \frac{3V_m}{\pi} \sin\frac{\pi}{3} I_0$
- $S = qV_{\text{sec}} I_{\text{sec}} = 3VI_s = \sqrt{3}VI_0$

Donc 
$$\cos\Phi_{\text{sec}} = \frac{P_a}{S} = \frac{\sqrt{6}\sin\frac{\pi}{3}}{\pi} = 0,675$$

## 2-2 Montages PD3

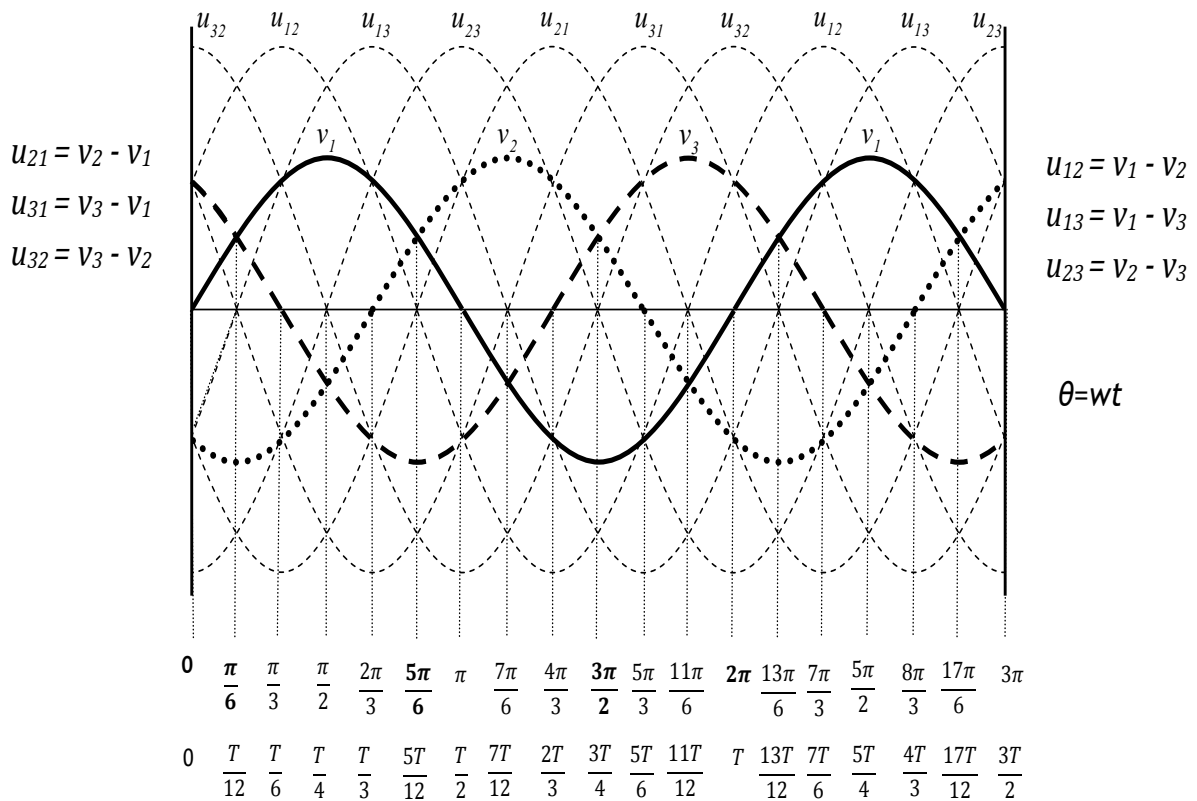
### 2-2-1 Schéma de principe



$$v_1 = V\sqrt{2} \sin \omega t$$

$$v_2 = V\sqrt{2} \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$v_3 = V\sqrt{2} \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$



### 2-2-2 Fonctionnement

La charge est supposée suffisamment selfique de manière à considérer un courant  $i_c$  de charge constant et assimilable à sa valeur moyenne  $I_0$ .

Le montage distingue un commutateur plus positif et un plus négatif. L'existence d'un courant continu dans la charge exige la conduction de deux diodes à tout instant, une de chaque commutateur :

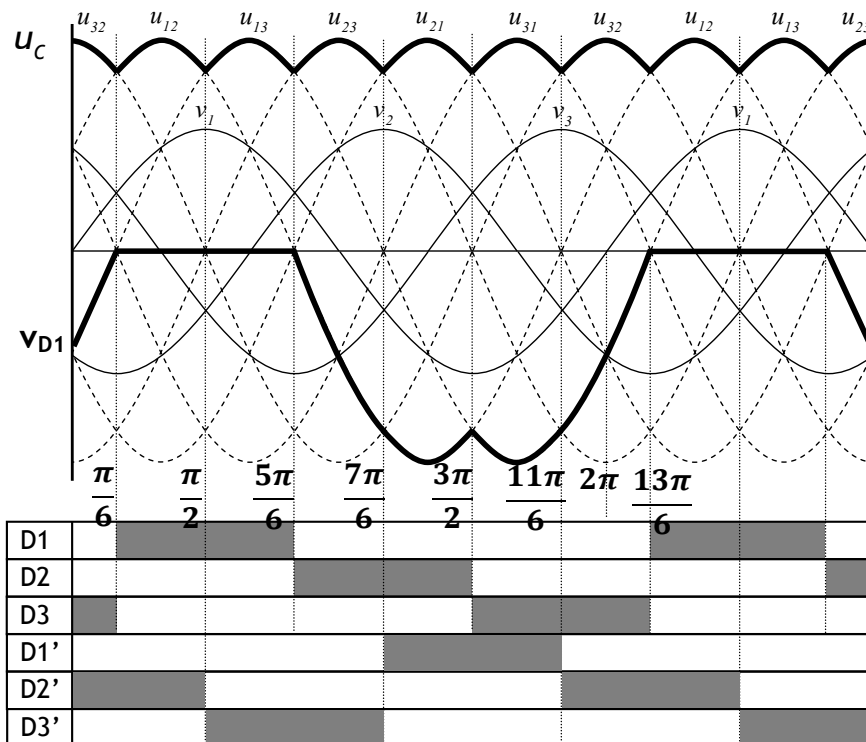
- pour le commutateur plus positif, la diode dont l'anode est au potentiel le plus élevé conduit,
- pour le commutateur plus négatif, la diode dont la cathode est au potentiel négatif le plus faible conduit.

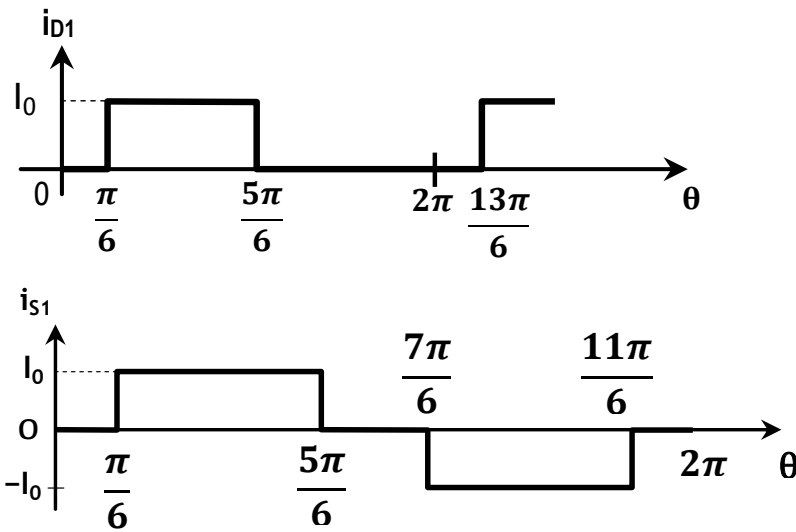
Ainsi,

$$\begin{aligned}
 & \text{si } \{ v_1 > v_3 > v_2 \} \quad D_1 \text{ et } D'_2 \text{ conduisent et } u_c = v_1 - v_2 \\
 & \text{si } \{ v_1 > v_2 > v_3 \} \quad D_1 \text{ et } D'_3 \text{ conduisent et } u_c = v_1 - v_3 \\
 & \text{si } \{ v_2 > v_1 > v_3 \} \quad D_2 \text{ et } D'_3 \text{ conduisent et } u_c = v_2 - v_3 \\
 & \text{etc...}
 \end{aligned}$$

$\theta$	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{5\pi}{6}$	$\frac{7\pi}{6}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{11\pi}{6}$	$2\pi$
Diodes passantes	D <sub>3</sub> - D' <sub>2</sub>	D <sub>1</sub> - D' <sub>2</sub>	D <sub>1</sub> - D' <sub>3</sub>	D <sub>2</sub> - D' <sub>3</sub>	D <sub>2</sub> - D' <sub>1</sub>	D <sub>3</sub> - D' <sub>1</sub>	D <sub>3</sub> - D' <sub>2</sub>	
$u_C$	$u_{32}$	$u_{12}$	$u_{13}$	$u_{23}$	$u_{21}$	$u_{31}$	$u_{32}$	$u_{32}$
$v_{D1}$	$u_{13}$	0	0	$u_{12}$	$u_{12}$	$u_{13}$	$u_{13}$	$u_{13}$
$v_{D2}$	$u_{23}$	$u_{21}$	$u_{21}$	0	0	$u_{23}$	$u_{23}$	$u_{23}$
$v_{D3}$	0	$u_{31}$	$u_{31}$	$u_{32}$	$u_{32}$	0	0	0
$v_{D'1}$	$u_{21}$	$u_{21}$	$u_{31}$	$u_{31}$	0	0	0	$u_{21}$
$v_{D'2}$	0	0	$u_{32}$	$u_{32}$	$u_{12}$	$u_{12}$	0	0
$v_{D'3}$	$u_{23}$	$u_{23}$	0	0	$u_{13}$	$u_{13}$	$u_{23}$	$u_{23}$
$i_C$	$I_0$	$I_0$	$I_0$	$I_0$	$I_0$	$I_0$	$I_0$	$I_0$
$i_{D1}$	0	$I_0$	$I_0$	0	0	0	0	0
$i_{D2}$	0	0	0	$I_0$	$I_0$	0	0	0
$i_{D3}$	$I_0$	0	0	0	0	$I_0$	$I_0$	$I_0$
$i_{D'1}$	0	0	0	0	$I_0$	$I_0$	0	0
$i_{D'2}$	$I_0$	$I_0$	0	0	0	0	0	$I_0$
$i_{D'3}$	0	0	$I_0$	$I_0$	0	0	0	0
$i_{S1} = i_{D1} - i_{D'1}$	0	$I_0$	$I_0$	0	$-I_0$	$-I_0$	0	0
$i_{S2} = i_{D2} - i_{D'2}$	$-I_0$	$-I_0$	0	$I_0$	$I_0$	0	$-I_0$	$-I_0$
$i_{S3} = i_{D3} - i_{D'3}$	$I_0$	0	$-I_0$	$-I_0$	0	$I_0$	$I_0$	$I_0$

### 2-2-3 Graphes





Remarque : Chaque diode conduit pendant un tiers de la période (on dira que l'indice de commutation de ce montage est  $q = 3$ ) tandis que la tension redressée se compose de six calottes de sinusoides par période  $T$  (on dira que l'indice de pulsation est  $p = 6$ ) ; ces deux indices avaient des valeurs égales dans le cas des montages parallèles simples.

### 2-2-4 Grandeurs caractéristiques

- Valeur moyenne de  $u_C$

L'indice de pulsation est 6. Sa période est  $\frac{T}{6}$  ( $\frac{\pi}{3}$ ).

$$U_{Cmoy} = \frac{1}{T_{u_C}} \int_{T_{u_C}} u_C(t) dt = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} u_{12} d\theta = \frac{3V\sqrt{2}}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} (\sin\theta - \sin(\theta - \frac{2\pi}{3})) d\theta = \frac{6V\sqrt{2}}{\pi} [\cos \frac{\pi}{6}]$$

$$U_{Cmoy} = \frac{6V\sqrt{2}}{\pi} \cos \frac{\pi}{6} = \frac{6V_m}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} = \frac{3V_m\sqrt{3}}{\pi} = 1,654V_m$$

- Valeur efficace de  $u_C$

$$U_C^2 = \frac{1}{T_{u_C}} \int_{T_{u_C}} u_C^2(t) dt = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} u_{12}^2 d\theta = \frac{6V^2}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} (\sin\theta - \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}))^2 d\theta = \frac{12\sin^2 \frac{\pi}{3} V^2}{\pi} [\frac{\pi}{3} + \sin \frac{\pi}{3}]$$

$$U_C^2 = \frac{12\sin^2 \frac{\pi}{3} V^2}{\pi} [\frac{\pi}{3} + \sin \frac{\pi}{3}] = 3V^2 (1 + \frac{\sin \frac{2\pi}{6}}{\frac{2\pi}{6}}) = \frac{3V_m^2}{2} (1 + \frac{\sin \frac{2\pi}{6}}{\frac{2\pi}{6}})$$

$$\text{Donc } U_C = \sqrt{3}V \sqrt{1 + \frac{\sin \frac{2\pi}{6}}{\frac{2\pi}{6}}} = \frac{\sqrt{3}V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \frac{\sin \frac{2\pi}{6}}{\frac{2\pi}{6}}} = 1,6554V_m$$

- *Facteur de forme*

$$F = \frac{U_C}{U_{C\text{moy}}} = \frac{1,6554}{1,654} = 1,0008$$

- *Valeurs moyenne et efficace du courant dans une diode*

Le courant dans les diodes est égal à  $I_0$  lorsque la diode est **passante**. Il est égal à 0 si la diode est **bloquée**. Chaque diode est donc parcourue par un courant d'intensité  $I_0$  pendant le tiers de la période  $T$  des tensions d'alimentation.

On déduit alors les courants moyen et efficace :

$$I_{D\text{moy}} = I_{D1\text{moy}} = I_{D2\text{moy}} = I_{D3\text{moy}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_0 d\theta = \frac{I_0}{3}$$

$$I_D = I_{D1} = I_{D2} = I_{D3} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_0^2 d\theta} = \frac{I_0}{\sqrt{3}}$$

- *Valeurs moyenne et efficace du courant au secondaire du transformateur*

$$I_{S\text{moy}} = I_{S1\text{moy}} = I_{S2\text{moy}} = I_{S3\text{moy}} = \frac{1}{T_{i_s}} \int_{T_{i_s}} i_s d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_0 d\theta - \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{7\pi}{6}}^{\frac{11\pi}{6}} I_0 d\theta = 0$$

$$I_S = I_{S1} = I_{S2} = I_{S3} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_0^2 d\theta} = \frac{\sqrt{2}I_0}{\sqrt{3}}$$

- *Tension inverse maximale aux bornes d'une diode*

La valeur maximale de la tension inverse supportée par  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  vaut respectivement :

$$V_{D1\text{max}} = \max(v_1 - v_2) = \max(v_1 - v_3) = u_{12}\sqrt{2} = V\sqrt{3}\sqrt{2} = V\sqrt{6}$$

$$V_{D2\text{max}} = \max(v_2 - v_1) = \max(v_2 - v_3) = u_{23}\sqrt{2} = V\sqrt{3}\sqrt{2} = V\sqrt{6}$$

$$V_{D3\text{max}} = \max(v_3 - v_2) = \max(v_3 - v_1) = u_{31}\sqrt{2} = V\sqrt{3}\sqrt{2} = V\sqrt{6}$$

- *Puissances et facteur de puissance au secondaire du transformateur*

Le facteur de puissance  $\cos\Phi_{\text{sec}}$  est donné par la relation suivante :

$$\cos\Phi_{\text{sec}} = \frac{P_a}{S}$$

- $P_a = \langle u_C i_C \rangle = \frac{6\sqrt{2}V}{\pi} \sin\frac{\pi}{3} I_0 = \frac{3\sqrt{6}V}{\pi} I_0 = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} I_0$

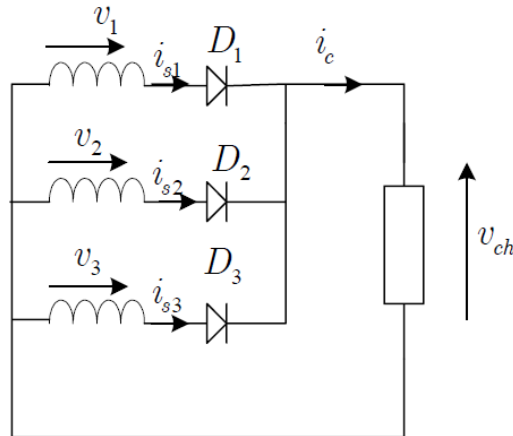
- $S = qV_{\text{sec}} I_{\text{sec}} = 3VI_s = \sqrt{6}VI_0 = \sqrt{3}V_m I_0$

Donc  $\cos\Phi_{\text{sec}} = \frac{P_a}{S} = \frac{3}{\pi} = 0,955$

## TRAVAUX DIRIGES

### EXERCICE I

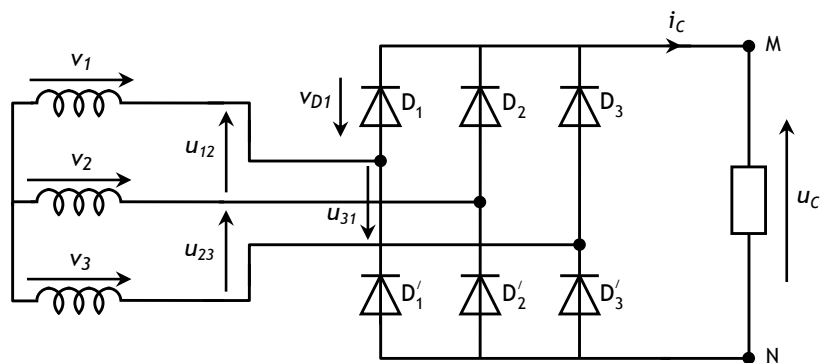
On considère le montage P3 à diodes représenté par la figure ci-après. Il est relié au réseau triphasé par l'intermédiaire d'un transformateur tel que  $v_1 = 220\sqrt{2}\sin\theta$ ,  $\theta = \omega t$ . La charge est fortement inductive telle que le courant qui la traverse est considéré pratiquement constant et vaut  $I_0 = 14$  A.



1. Représenter  $v_{ch}$ ,  $i_{s1}$  et  $i_{s3}$ .
2. Calculer  $V_{chmoy}$  et  $I_{s3moy}$ .
3. Calculer le facteur de puissance au secondaire  $\cos\varphi_{sec}$ .

### EXERCICE I

Un pont redresseur PD3 à diodes alimenté par un système de tensions triphasé équilibré de fréquence 50 Hz et de valeur efficace  $V_{eff} = 150V$ , est connecté à une charge suffisamment selfique de telle sorte que le courant de charge  $i_c$  soit supposé constant et égal à 340A.



1. Tracer  $u_c$ ,  $i_{D1}$  (courant traversant la diode  $D_1$ ) et  $i_{s1}$  (courant dans la ligne de tension  $v_1$ ).
2. Montrer que  $\langle u_c \rangle = 2,34V_{eff}$ .
3. Calculer  $\langle u_c \rangle$ .
4. Calculer la valeur efficace du courant  $i_{D1}$ .