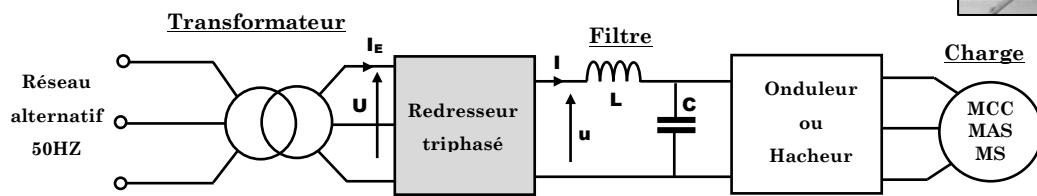
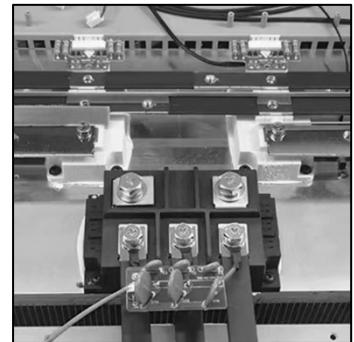


## Chapitre 6 : Redresseur triphasé PD3 à diode

### I. Introduction

Les redresseurs triphasés à diodes convertissent une tension alternative triphasée (AC) en courant continu (DC), en utilisant uniquement des composants passifs non commandés. Ils sont largement utilisés dans l'industrie pour l'alimentation de moteurs, les systèmes de traction électrique, la recharge de batteries et les installations de conversion d'énergie. Leur conception simple, leur fiabilité élevée et leur coût réduit en font une solution privilégiée lorsque la régulation fine de la tension n'est pas nécessaire, tout en offrant un rendement énergétique élevé.



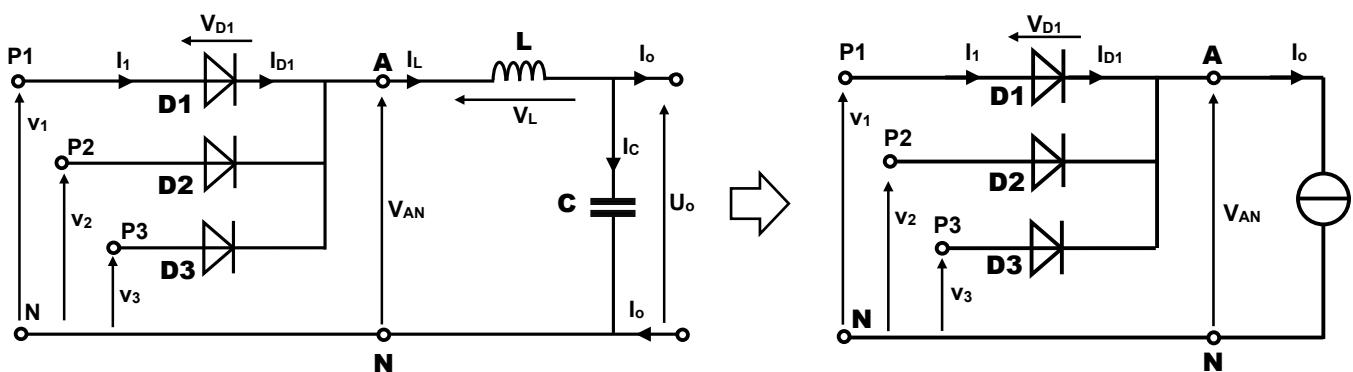
Dans ce cours, nous nous concentrerons sur les redresseurs non commandés à diodes, utilisés pour convertir le courant alternatif en courant continu. Il existe également une autre catégorie, les redresseurs commandés, que nous n'aborderons pas ici. Pour des raisons pédagogiques, nous étudierons d'abord les redresseurs parallèles simples **P3**, puis les redresseurs parallèles doubles **PD3**.

### II. Redresseur parallèle triphasé P3

Le redresseur parallèle triphasé P3 est un convertisseur alternatif-continu destiné à fonctionner avec une source de tension triphasée équilibrée. On distingue deux configurations : le P3 le plus positif et le P3 le plus négatif, selon la phase appliquée en sortie à chaque instant, ce qui détermine la polarité et la forme de la tension redressée.

#### 1. Redresseur P3 le plus positif

##### 1.1- Structure d'un redresseur P3 Sup



- Le redresseur est alimenté par un réseau triphasé équilibré. On note  $v_1, v_2, v_3$  les tensions simples, de valeur efficace  $V$ .
- Les tensions composées  $u_{12}, u_{23}, u_{31}$  ont pour valeur efficace :  $U = \sqrt{3} V$

##### ➲ Les tensions simples :

$$v_1(t) = V_m \sin(\theta)$$

$$v_2(t) = V_m \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$v_3(t) = V_m \sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right)$$

•  $V_m$  est la valeur maximale de la tension :  $V_m = \sqrt{2} V$

•  $\theta$  est la phase instantanée :  $\theta = \omega \cdot t = 2\pi \cdot f \cdot t$

•  $f$  est la fréquence de réseau, égale à **50 Hz**

### ❶ Hypothèses retenues :

- La source d'entrée est un réseau monophasé délivrant une tension alternative sinusoïdale.
- La charge est constituée d'un filtre LC, ce qui implique une source de sortie de type courant.
- Les diodes **D1**, **D2** et **D3** sont considérées idéales (sans pertes).
- L'inductance **L** est supposée suffisamment grande pour maintenir le courant quasiment constant :  $i_L(t) \approx I_0$
- Le condensateur **C** est choisi de valeur élevée afin de minimiser l'ondulation de la tension redressée.

Par souci de simplicité et afin d'éviter toute erreur dans le calcul des intégrales (notamment pour la détermination de la valeur moyenne), il est préférable de résoudre les intégrales en remplaçant la variable **temps t** par la variable de **phase  $\theta$** .

$$\langle v(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt \xrightarrow{\text{Changement de variable}} \langle v(\theta) \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v(\theta) d\theta$$

**Changement de variable :**

On pose :  $\theta = \omega t \Rightarrow \frac{d\theta}{dt} = \omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow dt = \frac{T}{2\pi} d\theta$

**Bornes de l'intégrale :**

$\theta = 0 \Rightarrow t = 0$

$\theta = 2\pi \Rightarrow t = T$

### 1.2- La conduction des diodes de redresseur

La conduction des diodes dépend de l'état de la tension alternative appliquée en entrée. Une diode devient conductrice lorsque la phase à laquelle elle est reliée présente la tension la plus élevée par rapport aux autres phases, d'où l'appellation « plus positif ».

| $v_1 > v_2$ et $v_1 > v_3$ | $v_2 > v_1$ et $v_2 > v_3$ | $v_3 > v_2$ et $v_3 > v_1$ |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| D1 passante                | $D_2$ passante             | $D_3$ passante.            |

### 1.3- Etudes analytique de redresseur P3 plus positif

#### ❷ Expression des tensions $v_{AN}(t)$ et $v_{D1}(t)$

| La tension la plus grande | La tension $v_{AN}(t)$ | La tension aux bornes de la diode D1 : $v_{D1}(t)$ |
|---------------------------|------------------------|--|
| $v_1$                     | $v_1$                  | $v_{D1}(t) = v_1 - v_{AN}$                         |
| $v_2$                     | $v_2$                  | $v_1 - v_2$  |
| $v_3$                     | $v_3$                  | $v_1 - v_3$  |

**Question 1 :** Tracer les allures des tension  $v_{AN}(t)$  et  $v_{D1}(t)$  dans le document de traçage.

La tension redressée  $v_{AN}(t)$  est formée de trois sommets de sinusoïde par période du réseau :

| Période $T_r$ en s | Fréquence $f_r$ | Valeur maximale $V_{max}$    |
|--------------------|-----------------|------------------------------|
| $T_r = T/3$        | $f_r = 3 f$     | $V_{max} = V_m = \sqrt{2} V$ |

$f$  : fréquence du réseau ( $f = 50 \text{ Hz}$ )

#### ❸ Valeur moyenne de la tension redressée $v_{AN}(t)$

La valeur moyenne de la tension  $v_{AN}(t)$  correspond à sa composante continue. Elle est définie par :  $\langle v_{AN} \rangle = \frac{1}{T_r} \int_0^{T_r} v_{AN}(t) dt$

|  |   |
|--|---|
| <p>d'après l'allure de <math>v_{AN}(t)</math> : <math>\langle v_{AN} \rangle = v_1(\theta)</math></p> <p>pour <math>\theta \in \left[ \frac{\pi}{6} ; \frac{5\pi}{6} \right]</math></p> <p><math>\Leftrightarrow \langle v_{AN} \rangle = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} v_1(\theta) d\theta</math></p> <p><math>\Leftrightarrow \langle v_{AN} \rangle = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_m \sin(\theta) d\theta</math></p> | <p><math>\Leftrightarrow \langle v_{AN} \rangle = \frac{3V_m}{2\pi} \left[ (\omega\theta) \right]_{\pi/6}^{5\pi/6}</math></p> <p>d'où : <math>\langle v_{AN} \rangle = \frac{3\sqrt{3} V_m}{2\pi}</math> avec <math>V_m = \sqrt{2} V</math></p> <p><math>\Leftrightarrow \langle v_{AN} \rangle = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V</math></p> |
|--|---|

### 5 Valeur maximale supportée par la diode

La tension maximale admissible par une diode constitue un critère déterminant dans le choix des composants d'un redresseur. Elle doit être supérieure à la tension inverse crête qu'elle subira en fonctionnement, afin de garantir la fiabilité et la sécurité du montage. On utilise généralement la valeur  $V_{RRM}$  fournie par le constructeur, en y intégrant une marge de sécurité adaptée.

D'après l'allure de la tension  $V_{D1}$  :  $V_{2\pi M} = V_{Dmax} = U_m = \sqrt{3} \cdot V_m \Rightarrow V_m = \sqrt{2} \cdot V \Rightarrow V_{RRM} = \sqrt{6} \cdot V$

### 6 Étude des courants $i_1$ et $i_{D1}$

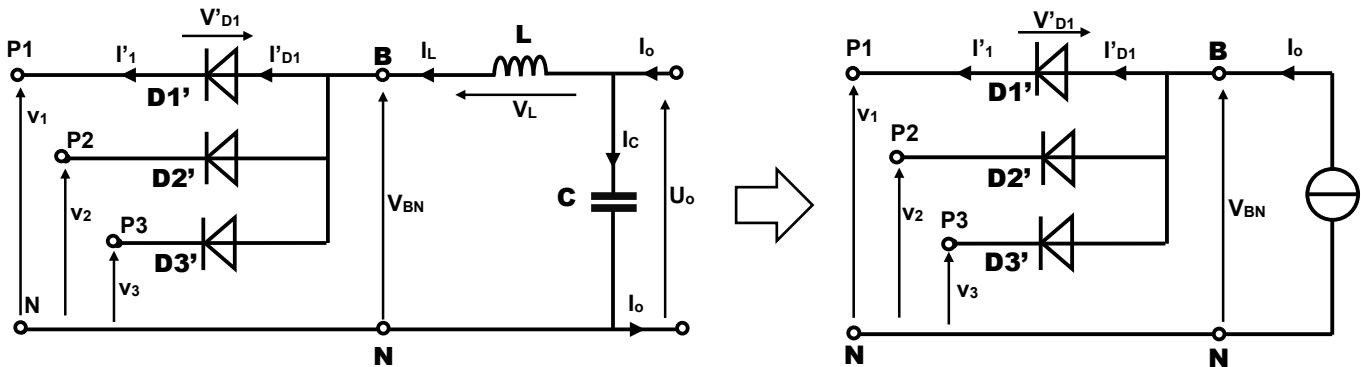
Conformément à l'hypothèse initiale, la bobine  $L$  est choisie avec une valeur suffisamment élevée pour limiter fortement l'ondulation du courant  $i_L(t)$ . Ainsi, ce courant peut être considéré comme quasi continu, c'est-à-dire :  $i_L(t) \approx I_0$ .

| Etat de la diode D1 | $i_1(t)$                      | $i_{D1}(t)$                      |
|---------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Passante            | $i_1(t) = i_L(t) \approx I_0$ | $i_{D1}(t) = i_L(t) \approx I_0$ |
| Bloquée             | $i_1(t) = 0$                  | $i_{D1}(t) = 0$                  |

Question 2 : Tracer les allures des courants  $i_1(t)$  et  $i_{D1}(t)$  dans le document de traçage.

## 2. Redresseur P3 le plus négatif

### 2.1- Structure d'un redresseur P3 Inf



### 2.2- Conduction des diodes de redresseur P3 Inf

La conduction des diodes dépend de l'état de la tension alternative appliquée en entrée. Une diode devient conductrice lorsque la phase à laquelle elle est reliée présente la tension la plus faible parmi les trois phases, d'où l'appellation « plus négatif ».

| $v_1 < v_2$ et $v_1 < v_3$ | $v_2 < v_1$ et $v_2 < v_3$ | $v_3 < v_1$ et $v_3 < v_2$ |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| D1' passante               | $D_2'$                     | $D_3'$                     |

### 2.3- Etudes analytique de redresseur P3 Inf

#### 5 Expression des tensions $v_{BN}(t)$ et $v'_{D1}(t)$

| La tension la plus petite | La tension $v_{BN}(t)$ | La tension aux bornes de la diode D1 |
|---------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| $v_1$                     | $v_1$                  | $v_{D1}'(t)$                         |
| $v_2$                     | $v_2$                  | $v_{BN} = v_1 - v_2$                 |
| $v_3$                     | $v_3$                  | $v_{BN} = v_1 - v_3$                 |

Question 3 : Tracer les allures des tensions  $v_{BN}(t)$  et  $v'_{D1}(t)$  dans le document de traçage.

A partir des allures de  $v_{BN}(t)$  et  $v'_{D1}(t)$  :

- La période et la fréquence de  $v_{BN}(t)$  :  $T_{r\pi} = T/3 \Rightarrow f_r = 3f$
- La tension maximale supportée par les diodes :  $V_{BNmax} = V_m \Rightarrow V_{BNmax} = \sqrt{2} \cdot V$

### ▣ Valeur moyenne de la tension redressée $v_{BN}(t)$

Par définition :  $\langle v_{BN}(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T v_{BN}(t) dt$

$$\begin{aligned} \text{d'après l'allure de } v_{BN} \Rightarrow v_{BN}(\theta) = V_m(\theta) \\ \text{pour } \theta \in \left[\frac{7\pi}{6}; \frac{11\pi}{6}\right] \\ \Rightarrow \langle v_{BN} \rangle = \frac{1}{2\pi/3} \int_{7\pi/6}^{11\pi/6} V_m(\theta) d\theta \\ \langle v_{BN} \rangle = \frac{3}{\pi} \int_{7\pi/6}^{11\pi/6} V_m \sin(\theta) d\theta \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow \langle v_{BN} \rangle = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \left[ \cos(\theta) \right]_{7\pi/6}^{11\pi/6}$$

$$\text{donc } \langle v_{BN} \rangle = -\frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m = -\frac{3\sqrt{6}}{\pi} V$$

**Remarque :** La valeur moyenne du redresseur P3 le plus positif est égale à l'opposée de celle du P3 le plus négatif :

$$\langle v_{BN}(t) \rangle = -\langle v_{AN}(t) \rangle$$

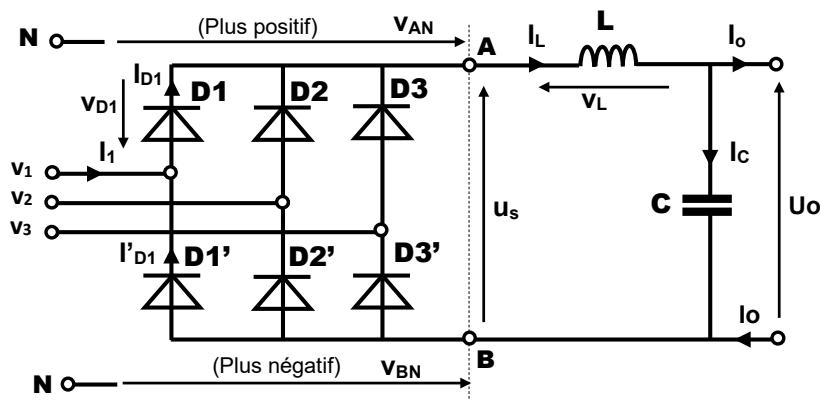
### ▣ Conclusion :

Le redresseur parallèle triphasé est peu utilisé en raison de son faible facteur de puissance ( $fp \approx 0,67$ ), ce qui limite son intérêt dans les applications industrielles. À l'inverse, le redresseur PD3 est privilégié dans les variateurs de vitesse industriels grâce à sa meilleure efficacité et à sa large adoption.

## III. Redresseur parallèle triphasé PD3

Le redresseur parallèle double triphasé (PD3) est un dispositif de conversion alternatif-continu destiné à transformer une tension triphasée équilibrée en courant continu. Il est constitué de l'**association de deux redresseurs parallèles triphasés** : l'un fonctionnant en mode « **plus positif** » et délivrant la tension  $v_{AN}(t)$ , et l'autre en mode « **plus négatif** » fournissant la tension  $v_{BN}(t)$ . Cette configuration permet d'obtenir une tension continue plus élevée et un meilleur rendement que le redresseur P3 simple

### 1. Structure de redresseur PD3



- Le redresseur est alimenté par un réseau triphasé équilibré. On note  $v_1, v_2, v_3$  les tensions simples, de valeur efficace  $V$ .
- Les tensions composées  $u_{12}, u_{23}, u_{31}$  ont pour valeur efficace :  $U = \sqrt{3} V$

### ○ Les tensions simples :

$$v_1(t) = V_m \sin(\theta)$$

$$v_2(t) = V_m \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$v_3(t) = V_m \sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right)$$

•  $V_m$  est la valeur maximale de la tension :  $V_m = \sqrt{2} V$

•  $\theta$  est la phase instantanée :  $\theta = \omega \cdot t = 2\pi \cdot f \cdot t$

•  $f$  est la fréquence de réseau, égale à **50 Hz**

On retient la même hypothèse que celle adoptée dans la section II consacrée au redresseur P3.

## 2. Allure de la tension de sortie $u_s(t)$

La tension de sortie est obtenue en traçant les formes d'onde de  $v_{AN}(t)$  et  $v_{BN}(t)$ , en suivant la démarche utilisée pour le redresseur P3. Ensuite, en appliquant la loi des mailles, on établit la relation reliant  $u_s(t)$  à  $v_{AN}(t)$  et  $v_{BN}(t)$ :

$$u_s(t) = v_{AN}(t) - v_{BN}(t)$$

**Question 4 :** Représenter graphiquement les évolutions de  $v_{AN}(t)$  et  $v_{BN}(t)$ , en identifiant les diodes conductrices pour chaque intervalle de fonctionnement. En déduire ensuite le **tracé de la tension de sortie  $u_s(t)$** .

## 3. Valeur moyenne de la tension redressée

La valeur moyenne d'un redresseur PD3 peut être déterminée de deux manières. La première consiste à **intégrer directement** la tension de sortie  $u_s(t)$  sur une période. La seconde repose sur l'application des **propriétés de la valeur moyenne** à partir de la relation entre  $u_s(t)$ ,  $v_{AN}(t)$  et  $v_{BN}(t)$ . Pour des raisons de simplicité et de rapidité de calcul, on privilégiera généralement cette seconde méthode.

### • Etape 1 : calcul de la valeur moyenne de $v_{AN}(t)$ ou $v_{BN}(t)$

Par définition :  $\langle v_{AN}(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T v_{AN}(t) dt$

|   |   |
|---|---|
| $\text{d'après l'allure de } v_{AN}(t)$<br>$\Rightarrow \langle v_{AN} \rangle = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} v_n(\theta) d\theta$<br>$\Rightarrow \langle v_{AN} \rangle = \frac{3V_m}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \sin(\theta) d\theta$ | $\Leftrightarrow \langle v_{AN} \rangle = \frac{3V_m}{2\pi} \left[ \cos(\theta) \right]_{\pi/6}^{5\pi/6}$<br>$\text{d'où : } \langle v_{AN} \rangle = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}$<br>$\Leftrightarrow \langle v_{AN} \rangle = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V$ |
|---|---|

### • Etape 2 : propriété de la valeur moyenne

Sachant que  $\langle v_{BN}(t) \rangle = -\langle v_{AN}(t) \rangle$ , on applique la propriété de la valeur moyenne à la relation liant  $u_s(t)$  à  $v_{AN}(t)$  et  $v_{BN}(t)$ , puis on en déduit la valeur moyenne de  $u_s(t)$ .

$$\text{on a : } u_s(t) = v_{AN}(t) - v_{BN}(t) \quad \text{on a : } \langle v_{BN} \rangle = -\langle v_{AN} \rangle$$

$$\Rightarrow \langle u_s(t) \rangle = \langle v_{AN} \rangle - \langle v_{BN} \rangle \quad \Rightarrow \langle u_s \rangle = 2 \langle v_{AN} \rangle \quad \Rightarrow \text{d'où : } \langle u_s \rangle = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} V$$

## 4. Tension maximale supportée par les diodes (Exemple D1)

La tension maximale admissible (ou supportée) par une diode, notée  $V_{RRM}$ , constitue un critère essentiel pour son dimensionnement. Pour l'évaluer, on commence par tracer l'évolution temporelle de  $v_{D1}(t)$  en se basant sur le tableau récapitulatif ci-dessous :

| La tension la plus grande | La tension $v_{AN}(t)$ | La tension aux bornes de la diode D1 : $v_{D1}(t)$ |
|---------------------------|------------------------|--|
| $v_1$                     | $v_n$                  | $v_{D1}(t) = v_1 - v_{AN}$                         |
| $v_2$                     | $v_2$                  | $v_{D1} = v_1 - v_2$                               |
| $v_3$                     | $v_3$                  | $v_{D1} = v_1 - v_3$                               |

**Question 5 :** Représenter l'allure de la tension  $v_{D1}(t)$  puis en déduire la **tension maximale inverse supportée par la diode** (valeur à comparer au  $V_{RRM}$  constructeur).

$$\text{d'après } v_{D1}(t) \Rightarrow V_{RRM} = V_{D1max} \Rightarrow V_{Dmax} = V_m = \sqrt{3} V_m$$

$$\text{d'où : } V_{RRM} = \sqrt{6} V$$

## 5. Expressions et allures des courants

Toutes les expressions seront établies en fonction du courant de sortie  $i_L(t)$ , et donc exprimées en fonction de  $I_0$ .

## 5.1. Le courant dans la diode D1 et D1' : $i_{D1}(t)$ et $i_{D1}'(t)$

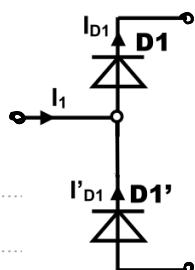
| Etat de la diode D1 | Passante       | Bloquée      | Etat de la diode D1' | Passante     | Bloquée         |
|---------------------|----------------|--------------|----------------------|--------------|-----------------|
| $i_{D1}(t)$         | $i_{D1} = I_0$ | $i_{D1} = 0$ |                      | $i_{D1}'(t)$ | $i_{D1}' = I_0$ |

Question 6 : représenter les allures de  $i_{D1}(t)$  et  $i_{D1}'(t)$ .

## 5.2. Le courant de phase 1 : $i_1(t)$

En appliquant la loi des nœuds au point commun aux diodes D1 et D1', on obtient la relation suivante :

$$\text{donc } i_{D1} = i_1 + i_{D1}' \Rightarrow i_1(t) = i_{D1}(t) - i_{D1}'(t) \Rightarrow \text{voir l'allure de } i_1(t) \text{ dans la page 10}$$



## 5.3. Valeur moyenne de courant dans la diode D1 et D1' : $\langle i_{D1}(t) \rangle$ et $\langle i_{D1}'(t) \rangle$

Un autre critère important pour le dimensionnement d'une diode est l'évaluation du courant qui la traverse, lequel doit toujours être inférieur au **courant direct maximal  $I_F$** . Dans notre cas, il s'agit du courant moyen circulant dans les diodes. La forme d'onde étant rectangulaire, il est plus simple de déterminer cette valeur moyenne par la méthode de la surface :

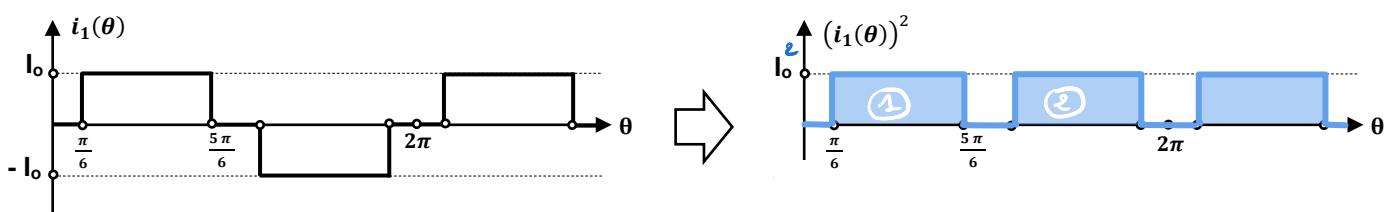
$$\langle i_{D1} \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T i_{D1}(t) dt \Rightarrow I_{D1\text{moy}} = \frac{\text{Surface}}{T}$$

| $\langle i_{D1}(t) \rangle$  | $\langle i_{D1}'(t) \rangle$  |
|--|---|
| $\text{On a: } \langle i_{D1} \rangle = \frac{\frac{2\pi}{3} \times I_0}{2\pi} \Rightarrow \langle i_{D1} \rangle = \frac{I_0}{3}$ | $\Rightarrow \text{même démonstration: } \langle i_{D1}' \rangle = \frac{I_0}{3}$ |

## 5.4. Valeur efficace du courant de phase 1 : $i_1(t)$

L'évaluation du **facteur de puissance  $f_p$** , paramètre clé de l'efficacité énergétique d'un redresseur, nécessite de connaître précisément le **courant efficace de ligne  $I$**  dans chacune des phases. Dans ce cadre, la détermination de la valeur efficace du courant  $I_1$  de phase 1 revêt une importance particulière pour l'analyse du fonctionnement du redresseur.

La figure ci-dessous illustre la forme de courant dans la phase 1 :



On définit la valeur efficace de courant  $I_1$  de la phase 1 :  $I_1 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_1(t))^2 dt} \Rightarrow I_1 = \sqrt{\langle (i_1(t))^2 \rangle}$

$$\text{On a: } \langle i_1^2 \rangle = \frac{\text{surface}}{2\pi} = \frac{\frac{2\pi}{3} \times I_0^2}{2\pi}$$

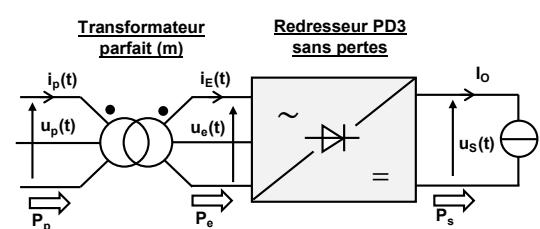
$$\text{On a: } I_1 = \sqrt{\langle i_1^2 \rangle}$$

$$\text{donc: } \langle i_1^2 \rangle = \frac{2}{3} \times I_0^2$$

$$\text{donc: } I_1 = \sqrt{\frac{2}{3} \times I_0}$$

## 6. Comportement globale en puissance du redresseur

Un facteur de puissance élevé traduit une utilisation optimale de l'énergie fournie par le réseau, ce qui réduit les pertes et améliore le rendement global du système. Il en résulte une consommation d'énergie optimisée et une diminution des coûts d'exploitation.



On définit :

- **Facteur de puissance au primaire :**  $f_p = \frac{P_p}{S_p} = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p}$
- **Facteur de puissance au secondaire :**  $f_s = \frac{P_e}{S_e} = \frac{P_s}{\sqrt{3} \cdot U_e \cdot I_E}$
- $P_p$  : Puissance active au primaire du transformateur.
- $P_e$  : Puissance active au secondaire du transformateur.
- $P_s$  : Puissance active fournie à la charge.

Avec :

- $U_p$  : Valeur efficace de la tension entre phase au primaire.
- $U_e$  : Valeur efficace de la tension entre phase au secondaire.
- $I_p$  : Valeur efficace du courant en ligne au primaire.
- $I_E$  : Valeur efficace du courant en ligne au secondaire.

#### ■ Hypothèses :

- Les diodes sont supposées parfaits :  $P_e = P_s$
- Le transformateur est parfait :  $P_p = P_e$

$$3 \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot V \cdot I_p$$

$$\cancel{3} \times \cancel{\sqrt{3}} \times \cancel{\sqrt{2}}$$

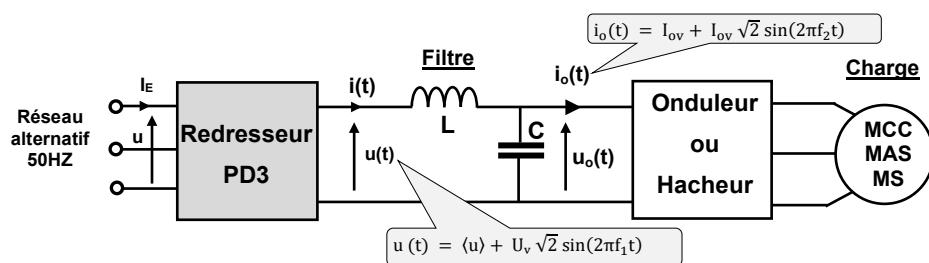
Le facteur de puissance au primaire du transformateur s'exprime alors par :

| $P_p = P_e = P_s = \langle u_s \cdot I_o \rangle$   | $S_p = 3 V \cdot I_1$   | $f_p = \frac{P_p}{S_p}$   |
|---|---|---|
| $\text{donc } P_p = \langle u_s \cdot I_o \rangle$<br>$P_p = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot V \cdot I_o$ | $\text{Or } I_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_o$<br>$\Rightarrow S_p = \sqrt{6} \cdot V \cdot I_o$ | $f_p = \frac{P_p}{S_p} = \frac{\frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot V \cdot I_o}{\sqrt{6} \cdot V \cdot I_o} \Rightarrow f_p = \frac{3}{\pi}$<br>$\text{Donc } f_p = 0,95$ |

Un facteur de puissance cible de **0,95** est conforme aux recommandations des fournisseurs d'électricité. Toutefois, les imperfections du transformateur et du redresseur peuvent entraîner une baisse de cette valeur. Les conditions thermiques, la technologie utilisée et le vieillissement des composants influencent également cette diminution. Une surveillance régulière associée à un entretien préventif demeure essentielle pour maintenir et améliorer l'efficacité énergétique du système

#### IV. Dimensionnement du filtre : méthode du 1er harmonique

Le filtre de sortie d'un redresseur, souvent constitué d'une inductance  $L$  en série et d'un condensateur  $C$  en parallèle, a pour rôle de réduire l'ondulation de la tension et du courant afin d'obtenir une alimentation aussi continue que possible. Le dimensionnement repose sur la méthode du premier harmonique, qui consiste à ne considérer que la composante fondamentale de la tension redressée, les harmoniques supérieurs étant négligeables.



- L'inductance  $L$  est choisie pour limiter l'ondulation crête-à-crête  $\Delta i$  du courant. En utilisant la tension du premier harmonique et la pulsation  $\omega$ , on obtient :

$$L = \frac{2 U \sqrt{2}}{35 \pi \Delta i \omega}$$

**Exemple :**

Un redresseur PD3 est alimenté par un réseau triphasé qui présente une tension entre phases : **U = 400 V, 50Hz**

On souhaite limiter l'ondulation crête-à-crête du courant à  $\Delta i = 0,5 \text{ A}$ .

$$\text{On a : } L = \frac{2 U \sqrt{2}}{35 \pi \Delta i \omega} \Rightarrow L = 66 \text{ mH}$$

- Le condensateur C, associé à L, permet de maintenir la tension de sortie  $u_0(t)$  stable face aux variations de la tension redressée  $u(t)$  et du courant de charge  $i_0(t)$ . Deux cas sont analysés :

| Variation de tension seule  | Variation de courant seule                           |
|---|--|
| $C1 \geq \frac{U_v}{\omega_1^2 \cdot L \cdot \Delta_{0v1}}$ Avec $U_v = \frac{6U}{35\pi\sqrt{2}}$ et $\omega_1 = 6\omega$ | $C2 \geq \frac{I_{0v}}{\omega_2 \cdot \Delta_{0v2}}$ |

Où  $U_v$  et  $I_{0v}$  sont les valeurs efficaces des variations de tension et de courant, et  $\Delta_{0v1}$  et  $\Delta_{0v2}$  les tolérances maximales acceptées en sortie (la charge Hacheur ou Onduleur).  $\omega_1$  est la pulsation du premier harmonique de la tension redressée d'un PD3 et  $\omega_2$  est pulsation liée à la fréquence de découpage du hacheur ou onduleur en aval

La valeur finale de C est choisie comme la plus grande issue des deux conditions précédentes. Cette approche garantit un filtrage efficace, minimise l'ondulation résiduelle et assure la conformité aux exigences de l'application.

### Exemple :

Un redresseur PD3 est alimenté par un réseau triphasé de tension  $U = 400$  V,  $f = 50$  Hz.

On utilise une inductance  $L = 0,31$  H et on souhaite une tolérance de l'ondulation de sortie :  $\Delta_{0v1} = \Delta_{0v2} = 6$  V.

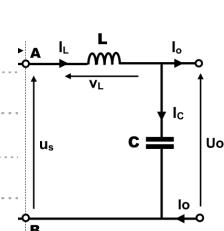
Le courant efficace ondulant côté charge est  $I_{0v} = 8$  A et la fréquence du hacheur est  $f_2 = 20$  kHz

**Question :** Déterminer la valeur minimale de C à retenir.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <u>Variation de tension seule</u><br>$U_v = 15,43$ V ; $\omega_1 = 600\pi$ rad/s<br>$C_1 \geq \frac{U_v}{\omega_1^2 \cdot L \cdot \Delta_{0v1}} \Rightarrow C_1 \geq 2,33 \mu F$ | <u>Variation de courant seule</u><br>On a : $C_2 \geq \frac{I_{0v}}{\omega_2 \cdot \Delta_{0v2}}$<br>$\Rightarrow C_2 \geq 10,61 \mu F$ | or : $C = \sup(C_1, C_2)$<br>d'où : $C = C_2 \geq 10,6 \mu F$ |
|--|---|---|

### Relation supplémentaire : filtre LC

- Filtrage de la tension :  $u_s(t) = u_L(t) + u_o$ , effet de filtrage  $\Rightarrow \langle u_s \rangle = \langle u_L \rangle + \langle u_o \rangle$   
or :  $u_L$  est périodique  $\Rightarrow \langle u_L \rangle = 0 \Rightarrow$  d'où :  $U_o = \langle u_o \rangle \Rightarrow U_o = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} V$
- Filtrage du courant :  $i_s(t) = i_L(t) + i_o$   
 $\Rightarrow \langle i_s \rangle = \langle i_L \rangle + \langle i_o \rangle \Rightarrow \langle i_o \rangle = 10$   
 $\text{et } \langle i_o \rangle = 0 \Rightarrow U_o = \frac{10}{\pi} \Rightarrow$  "  $u_o$  est périodique "



### V. Choix des diodes du redresseur PD3

Les diodes d'un redresseur sont soumises à des courants directs et à des tensions inverses. Pour garantir leur fiabilité, il faut que leurs caractéristiques nominales soient **supérieures aux valeurs maximales** que l'on prévoit dans l'application.

Les paramètres essentiels à vérifier sont :

- Courant direct moyen  $I_{FAV}$  :**  $I_{FAV} \geq I_{Dmoy}$

Où  $I_{Dmoy}$  est la valeur moyenne du courant traversant la diode (souvent  $I_0/3$  pour un PD3).

- Tension inverse répétitive maximale  $V_{RRM}$  :**  $V_{RRM} \geq 2 \times V_{D\max}$

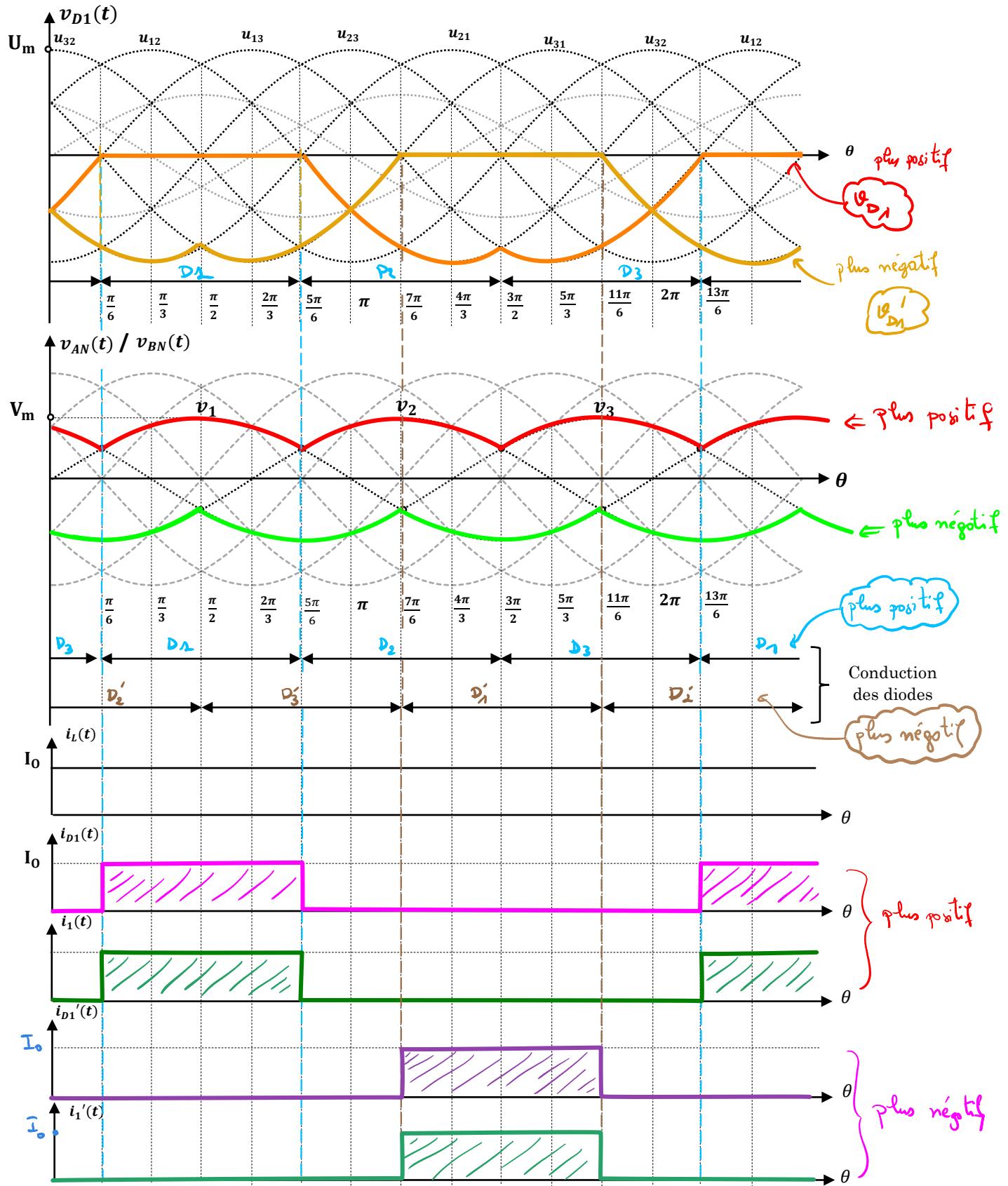
(Facteur  $\times 2$  recommandé par AN-556 ON Semiconductor et IEC 60038 pour couvrir les surtensions et variations secteur).

- Courant de surtension admissible  $I_{FSM}$  :**  $I_{FSM} \geq k \times I_0$

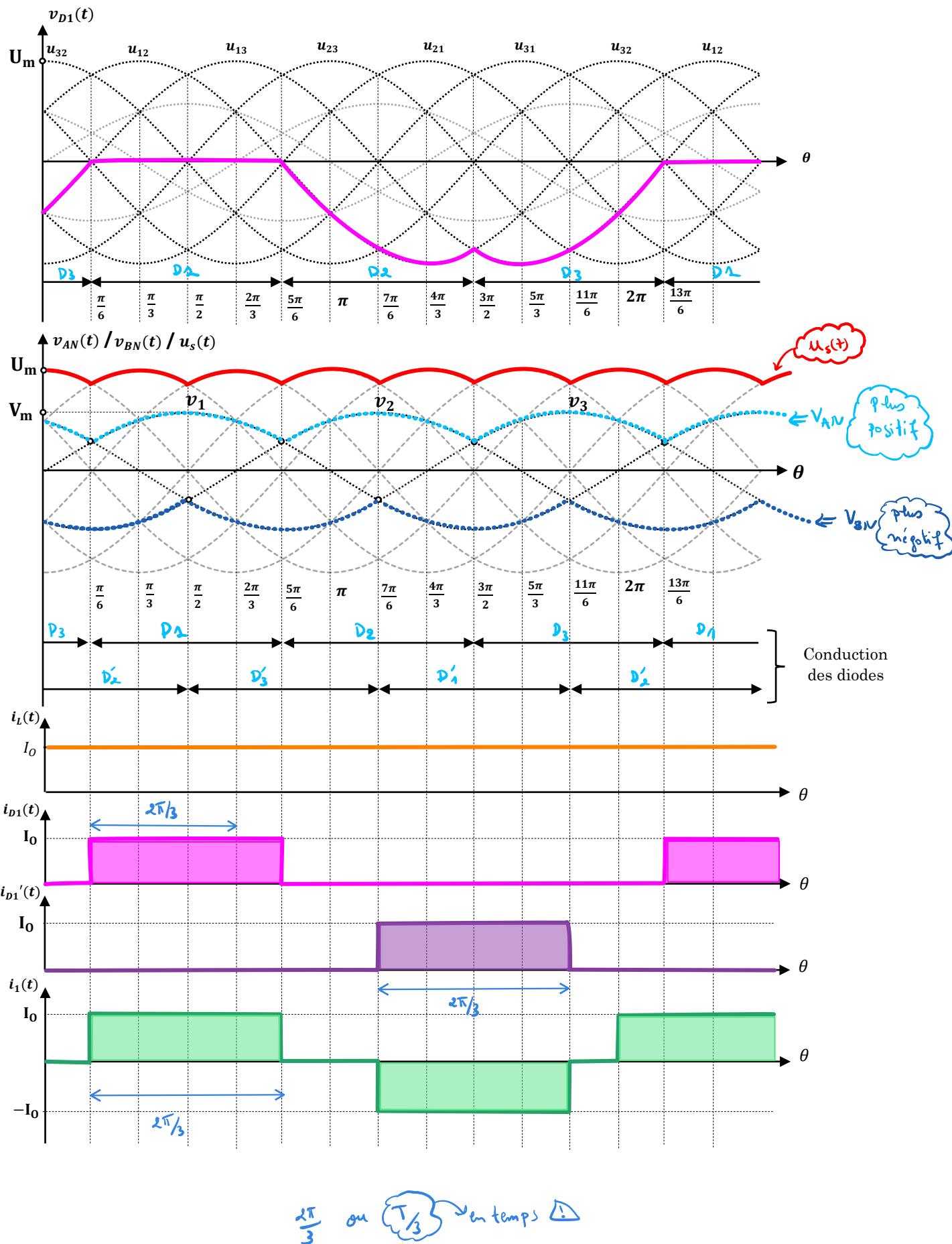
Avec  $k = 10$  à  $20$  selon la charge indicative (IEC 60747-2 et AN Vishay). En charge capacitive, on retient souvent  $k \approx 20$ .

⚠ Pour un exemple de calcul et le choix des diodes. Consultez le cours des redresseur monophasé PD2.

## Allures du redresseur triphasé P3



## Allures du redresseur triphasé PD3



**Références bibliographiques :**

- ❖ **Claude CHEVASSU.** Électronique de puissance (Principes) : cours et problèmes [PDF]. Version 5 décembre 2013. Licence Libre. Disponible sur : <http://mach.elec.free.fr>
- ❖ **Christophe FRANÇOIS.** Les grandes fonctions de la chaîne d'énergie - IUT, BTS, CPGE, FRANCE : Ellipses, 2016
- ❖ **Pierre Tréhin,** Sciences industrielles de l'ingénieur (SII) - spécial ATS, Ellipses 2019
- ❖ **Piou Michel.** Les bases d'électricité (Baselecpro : Ch3 – Conversion AC - DC) [PDF]. France, 2014.