

## Electronique de puissance

### Chapitre 2

#### Les Convertisseurs Alternatifs/Continu

##### A Les Montages Redresseurs monophasés non commandés

### 2- Introduction

Les redresseurs permettent de convertir une alimentation alternative en continue.

#### 2-1- Redressement simple alternance

##### 2.1.1- Débit sur une charge résistive

##### a- Montage

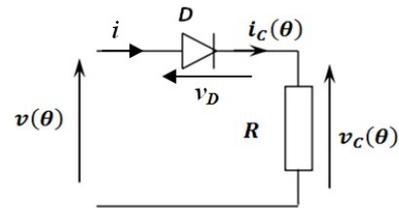
$$v = V_M \cdot \sin \theta \quad \text{avec} \quad \theta = \omega \cdot t$$

$$V_M = V_{eff} \cdot \sqrt{2}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

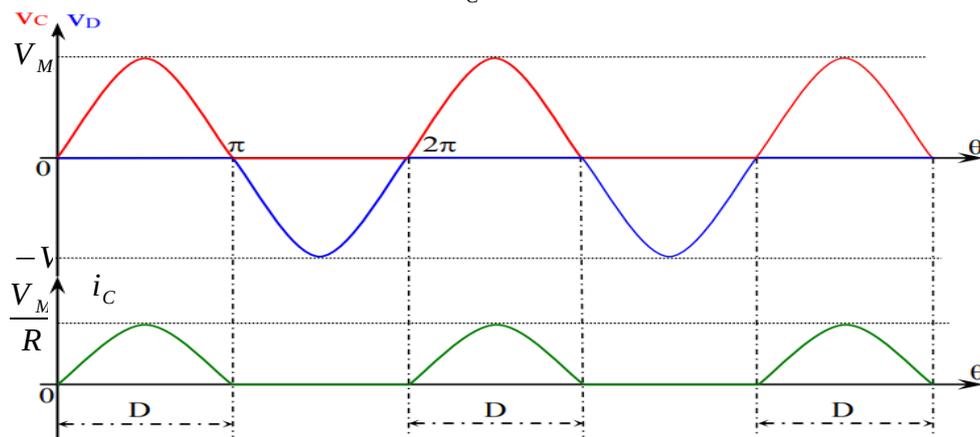
$$f = \frac{1}{T} = 50 \text{ Hz} \rightarrow T = 20 \text{ ms}$$

$$T = 2 \cdot \pi$$



##### b- Principe de fonctionnement

- pour  $0 < \theta < \pi \rightarrow D$  est conductrice  $\Rightarrow$ 
  - $v_C = v = V_M \cdot \sin \theta$
  - $i_C = \frac{v_C}{R} = \frac{v}{R} = \frac{V_M}{R} \cdot \sin \theta = I_{CM} \cdot s \in \theta$
- D'où  $v_C$  et  $i_C$  ont la même forme
- pour  $\pi < \theta < 2 \cdot \pi \rightarrow D$  est bloquée  $\Rightarrow$ 
  - $i_C = 0$
  - $v_C = 0$
- car à  $\theta = \pi$  le courant s'annule



##### c- Valeur moyenne de la tension $v_C$ et du courant $i_C$

$$\langle v_C \rangle = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{\pi} v_C \cdot d\theta = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{\pi} V_M \cdot \sin \theta \cdot d\theta = \frac{V_M}{\pi}$$

- La valeur moyenne de la tension de sortie est positive et dépend uniquement des paramètres de la tension d'entrée.
- La tension maximale à supporter par les diodes en inverse est:  $V_{Dmax} = -V_M$

$$\langle i_C \rangle = \frac{\langle v_C \rangle}{R} = \frac{V_M}{R \cdot \pi}$$

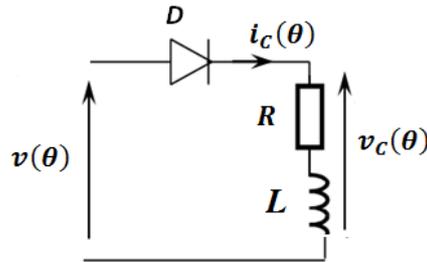
Application numérique :

$$V_{eff} = 220V \text{ et } R = 10 \Omega \rightarrow \langle v_C \rangle = \frac{V_M}{\pi} = \frac{220 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = 99V \text{ et } \langle i_C \rangle = \frac{\langle v_C \rangle}{R} = \frac{99V}{10} = 9.9A \text{ et}$$

$$V_{Dmax} \cong -311V$$

## 2.1.2- Débit sur une charge inductive

### a- Montage



### b- Principe de fonctionnement

- la tension  $v(\theta)$  est positive  $\rightarrow D$  est conductrice  $\Rightarrow$

$$\begin{aligned} \bullet v_C &= v = V_M \cdot \sin \theta \\ \bullet L \cdot \frac{di_C}{dt} + R \cdot i_C &= v_C \end{aligned}$$

Le courant dans la charge est la somme d'une composante libre  $i_{Cl}$  caractérisant le régime transitoire et d'une composante forcée  $i_{Cf}$  caractérisant le régime permanent.

$$i_C = i_{Cl} + i_{Cf}$$

- La composante  $i_{Cl}$  est solution de l'équation sans second membre:

$$L \cdot \frac{di_C}{dt} + R \cdot i_C = 0$$

$$i_{Cl} = K \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ avec } \tau = \frac{L}{R}$$

- La composante  $i_{Cf}$  est solution de l'équation avec second membre:

$$L \cdot \frac{di_C}{dt} + R \cdot i_C = v_C$$

$$i_{Cf} = I_{CM} \cdot \sin(\theta - \varphi)$$

$$\text{avec } \begin{cases} \operatorname{tg} \varphi = \frac{L \cdot \omega}{R} \\ I_{CM} = \frac{V_M}{\sqrt{R^2 + (L \cdot \omega)^2}} \end{cases}$$

La solution générale est alors :

$$i_C = K \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + I_{CM} \cdot \sin(\theta - \varphi)$$

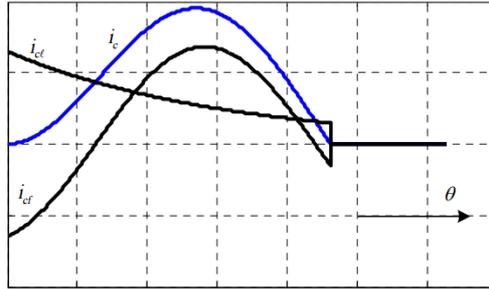
Condition initiale à :  $t=0 \rightarrow i_C(0)=0 = K + I_{CM} \cdot \sin(-\varphi) \rightarrow K = I_{CM} \cdot \sin(\varphi)$

Finalement l'expression générale  $i_C$  est:

$$i_C = I_{CM} \cdot \left[ \sin(\theta - \varphi) + \sin \varphi \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \right]$$

Soit:

$$i_C = I_{CM} \cdot \left[ \sin(\theta - \varphi) + \sin \varphi \cdot e^{\frac{-\theta}{\tau}} \right]$$

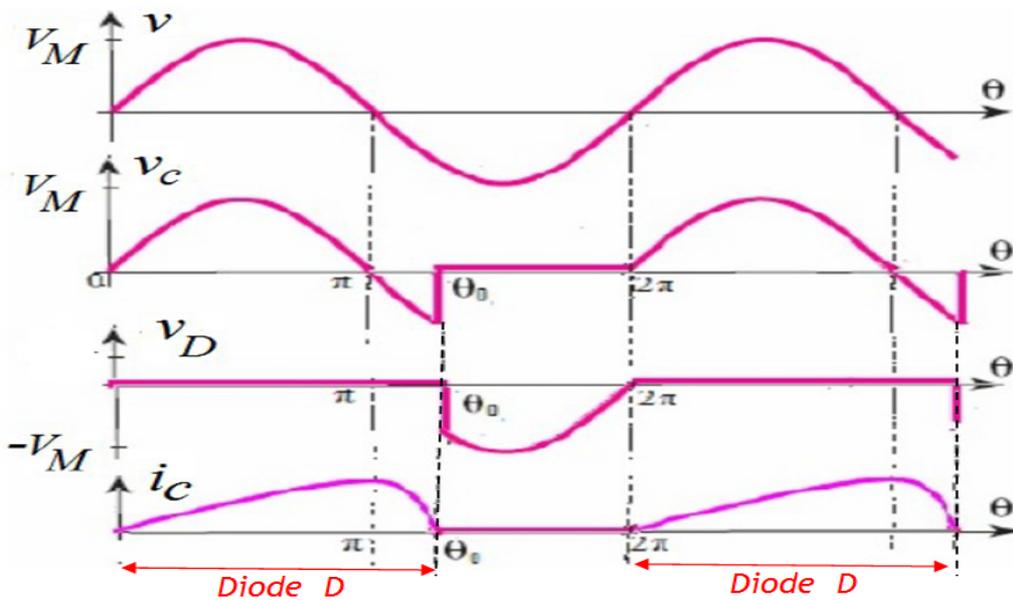


On remarque la superposition du régime transitoire (terme exponentiel) et du régime permanent faisant apparaître le déphasage  $\varphi$  du courant sur la tension. Le courant  $i_C$  ne s'annule pas pour  $\theta = \pi$ , mais un peu au-delà  $\theta_0 = \omega \cdot t_0$ . La diode est alors en conduction forcée si bien que la tension  $v_C$  devient négative jusqu'à l'annulation de  $i_C$ .

$\theta_0$  est l'angle d'extinction du courant.

- pour  $\theta_0 < \theta < 2 \cdot \pi \rightarrow D$  est bloquée  $\rightarrow$  •  $i_C = 0$
- car à  $\theta = \theta_0$  le courant s'annule •  $v_C = 0$

Plus que le récepteur est **inductif** plus on augmente le **temps de conduction** de la diode.



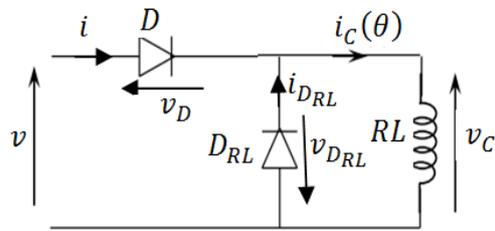
Les performances du montage sont médiocres, la tension redressée  $v_C$  étant en partie négative, sa valeur moyenne est diminuée par rapport au cas d'une charge résistive.

**c- Valeur moyenne de la tension  $v_C$**

$$\langle u_C \rangle = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{\theta_0} v_C \cdot d\theta = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{\theta_0} V_M \cdot \sin \theta \cdot d\theta = \frac{V_M}{2 \cdot \pi} [-\cos \theta]_0^{\theta_0} = \frac{V_M}{2 \cdot \pi} (1 - \cos \theta_0)$$

**2.1.3- Débit sur une charge inductive+résistive avec diode roue libre**

**a- Montage**



### b- Principe de fonctionnement

Pour éviter cet inconvénient, on emploie une diode  $D_{RL}$  dite «roue libre», montée en parallèle inverse sur la charge mixte.

La nouvelle structure, assure une phase de roue libre qui s'inspire de démagnétisation du circuit inductive. Durant l'alternance positive de la tension  $v$ , la diode  $D$  est passante, si bien que est  $D_{RL}$  bloquée. Dès que  $v$  s'annule la diode  $D$  peut se bloquer car la diode  $D_{RL}$  prend le relais de la conduction du courant  $i_C$  dans la charge.  $D_{RL}$  conduisant, la tension à ses bornes  $v_C$  est nulle. L'énergie emmagasinée dans l'inductance est dissipée dans la résistance  $R$  et le courant  $i_C$  décroît dans la charge; deux cas peuvent se présenter:

- $i_C$  s'annule avant la fin de la période  $\Rightarrow$  Conduction Discontinue.
- Si l'énergie est suffisante, le courant ne s'annule pas, c'est la conduction continue.

#### ◆ conduction continue

- Pour  $0 < \theta < \frac{T}{2}$  : la tension  $v$  est positive

- $v_C = v = V_M \cdot \sin$

$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{La diode } D \text{ est conductrice} \\ \text{alors que la diode } D_{RL} \text{ est bloquée} \end{array} \right\}$ , on a :

$$L \cdot \frac{di_C}{dt} + R \cdot i_C = v_C$$

La solution générale est alors :

$$i_C = K \cdot e^{\frac{-t}{\tau}} + I_{CM} \cdot \sin(\theta - \varphi)$$

Condition initiale à:  $t=0 \rightarrow i_C(0) = I_{C0} = K + I_{CM} \cdot \sin(-\varphi) \rightarrow K = I_{C0} + I_{CM} \cdot \sin \varphi$

Finalement l'expression générale  $i_C$  est:

$$i_C = I_{CM} \cdot \sin(\theta - \varphi) + (I_{C0} + I_{CM} \cdot \sin \varphi) \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}$$

A l'instant  $t = \frac{T}{2} \rightarrow i_C\left(\frac{T}{2}\right) = I_{C\frac{T}{2}}$

$$i_C\left(\frac{T}{2}\right) = I_{C\frac{T}{2}} = I_{CM} \cdot \sin(\varphi) + (I_{C0} + I_{CM} \cdot \sin \varphi) \cdot e^{\frac{-T}{2} \cdot \frac{1}{\tau}}$$

- Pour  $\frac{T}{2} < \theta < T$  : la tension  $v$  est négative

- $v_C = v = 0$

$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{La diode } D \text{ est bloquée} \\ \text{alors que la diode } D_{RL} \text{ est conductrice} \end{array} \right\}$ , on a :

$$L \cdot \frac{di_C}{dt} + R \cdot i_C = 0$$

Une solution particulière avec la condition initiale:  $t = \frac{T}{2} \rightarrow i_C\left(\frac{T}{2}\right) = I_{C\frac{T}{2}}$

$$i_C = I_{C\frac{T}{2}} \cdot e^{\frac{-R}{L}\left(t - \frac{T}{2}\right)}$$

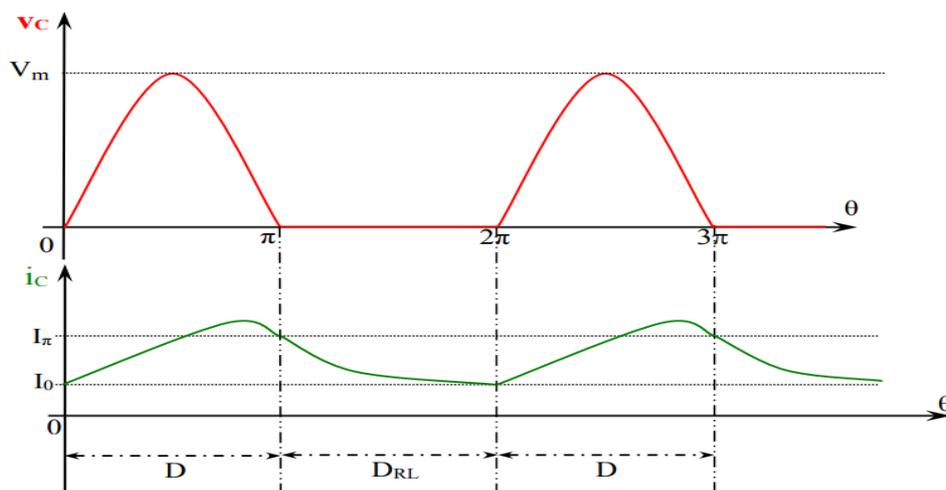
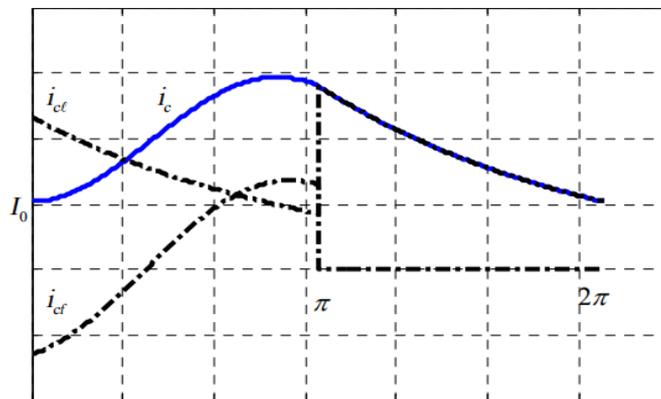
A la fin de la période  $i_C$  doit retrouver la valeur initiale  $I_{C0}$

$$i_C(T) = I_{C0} = I_{C\frac{T}{2}} \cdot e^{\frac{-R \cdot T}{L}}$$

On en déduit le courant  $I_{C0}$  et le courant  $I_{C\frac{T}{2}}$  à l'instant  $\frac{T}{2}$ .

$$I_{C0} = I_{CM} \cdot \sin \varphi \cdot \frac{1 + e^{\frac{-R \cdot T}{L \cdot 2}}}{1 - e^{\frac{-R \cdot T}{L \cdot 2}}}$$

$$I_{C\frac{T}{2}} = I_{CM} \cdot \sin \varphi \cdot \frac{1 + e^{\frac{-R \cdot T}{L \cdot 2}}}{1 - e^{\frac{-R \cdot T}{L \cdot 2}}}$$



### ◆ Conduction Discontinue

• Pour  $0 < \theta < \frac{T}{2}$  :

la tension  $v$  est positive  $\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{La diode } D \text{ est conductrice} \\ \text{alors que la diode } D_{RL} \text{ est bloquée} \end{array} \right\}$

on a :

• Pour  $\frac{T}{2} < \theta < t_0$  :

la tension  $v$  est négative

- $v_C = v = V_M \cdot \sin \theta$

- $L \cdot \frac{di_C}{dt} + R \cdot i_C = v_C$

- Condition initiale à :

$$t=0 \Rightarrow i_C(0) = 0$$

- $v_C = v = 0$

- $L \cdot \frac{di_C}{dt} + R \cdot i_C = 0$

$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{La diode } D \text{ est bloquée} \\ \text{alors que la diode } D_{RL} \text{ est conductrice} \end{array} \right\}$ , on a :

- Pour  $t_0 < \theta < T$  :

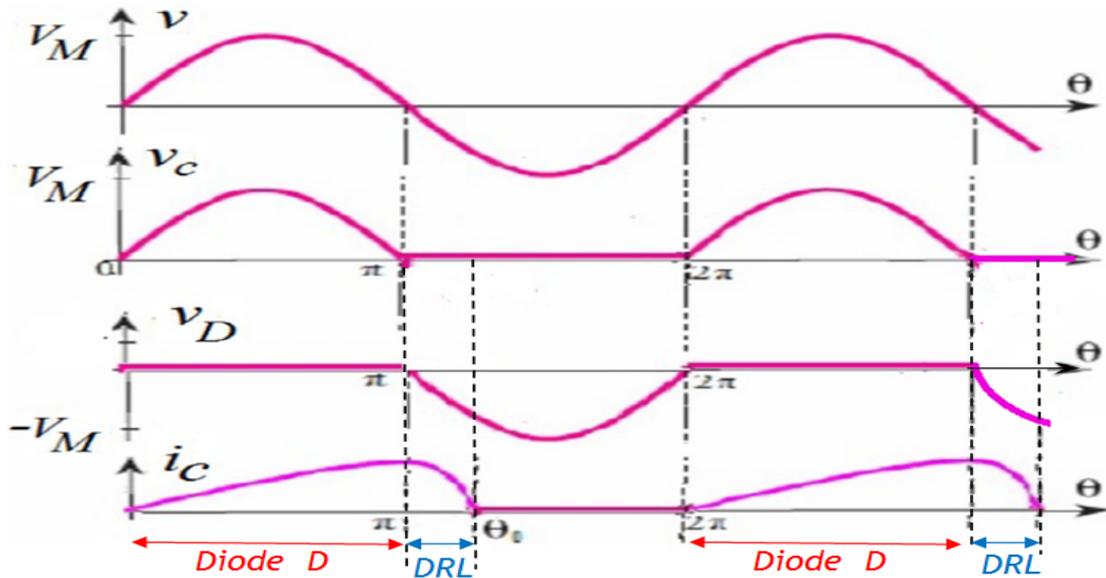
la tension  $v$  est négative  $\Rightarrow$  La diode  $D$  et  $D_{RL}$  sont bloquées, on

a :

- Condition initiale à :  $t = \frac{T}{2} \Rightarrow i_C = \frac{T}{2}$

- $v_C = v = 0$

- $i_C = 0$

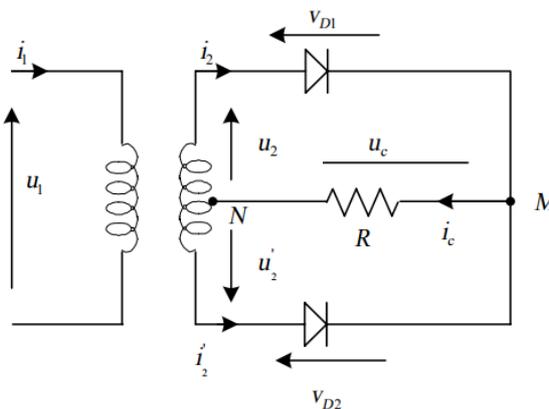


## 2-2. Redressement double alternances

### 2-2-1. Redresseur à prise médiane

#### 1- Débit sur une charge résistive

##### a- Montage



##### b- Principe de fonctionnement

A partir du réseau monophasé, on obtient par l'intermédiaire du transformateur à point milieu deux tensions sinusoïdales  $u_2$  et  $u'_2$  de même amplitude et déphasées entre elles de  $\pi$  :

$$u_2 = U_{2M} \cdot \sin \theta$$

$$u'_2 = U_{2M} \cdot \sin(\theta + \pi) = -U_{2M} \cdot \sin \theta$$

- Pour  $0 < \theta < \pi$  :

la tension  $u_2$  est positive  $\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{La diode } D_1 \text{ est conductrice} \\ \text{La diode } D_2 \text{ est bloquée} \end{array} \right\}$ , on

a :

- $v_{D1} = 0$  et  $i'_2 = 0$

- $u_C = u_2 = U_{2M} \cdot \sin \theta$

- $i_C = \frac{u_C}{R} = \frac{u_2}{R} = i_2$

- $v_{D2} = -2 \cdot u_2$

- Pour  $\pi < \theta < 2 \cdot \pi$  :

la tension  $u_2$  est négative  $\rightarrow$   $\begin{cases} \text{La diode } D_1 \text{ est bloquée} \\ \text{La diode } D_2 \text{ est conductrice} \end{cases}$ ,

on a :

- $v_{D2} = 0$  et  $i_2 = 0$
- $u_C = u_2 = U'_{2M} \cdot \sin(\theta)$
- $i_c = \frac{u_C}{R} = \frac{u_2}{R} = i_2'$
- $v_{D1} = -2 \cdot u_2'$

Le courant primaire  $i_1$  s'exprime en fonction des courants  $i_2$  et  $i_2'$  par la relation suivante où  $m$  est le rapport de transformation du transformateur.

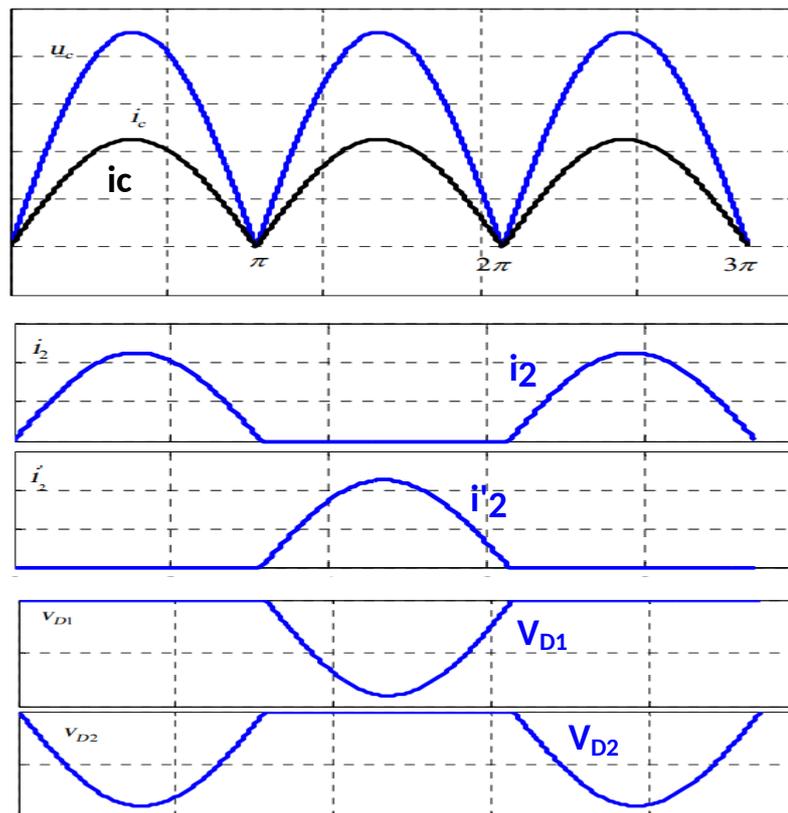
$$i_1 = m(i_2 - i_2')$$

**c- Valeur moyenne de la tension  $u_C$  et du courant  $i_C$**

$$\langle u_C \rangle = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u_C \cdot d\theta = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_{2M} \cdot \sin(\theta) \cdot d\theta = \frac{V_{2M}}{\pi} [-\cos(\theta)]_0^{\pi} = \frac{2 \cdot V_{2M}}{\pi}$$

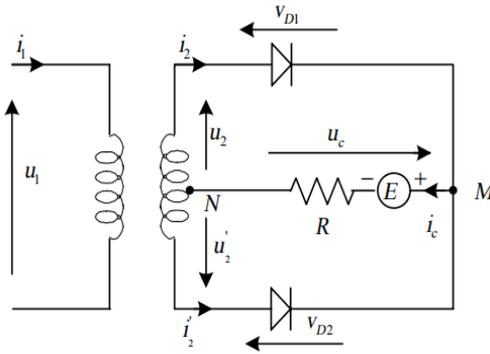
$$\langle i_C \rangle = \frac{\langle u_C \rangle}{R} = \frac{2 \cdot V_{2M}}{R \cdot \pi}$$

$$\langle i_{D1} \rangle = \langle i_{D2} \rangle = \frac{\langle i_C \rangle}{2} = \frac{V_{2M}}{R \cdot \pi}$$

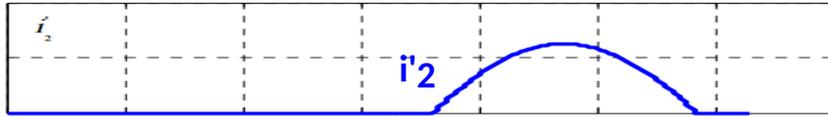
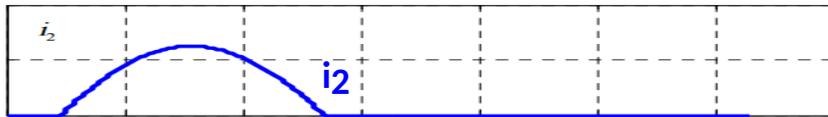
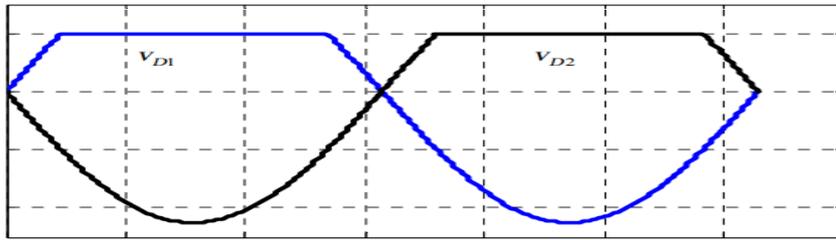
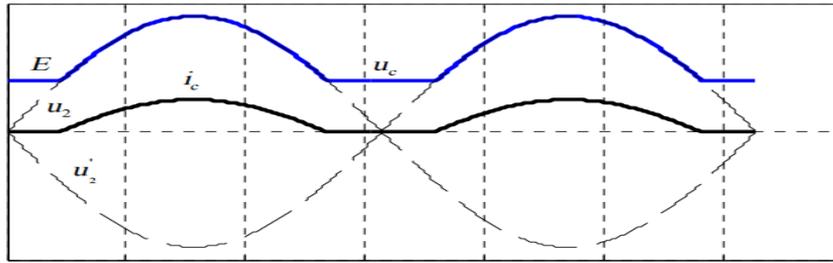


## 2- Débit sur un récepteur actif et résistif

### a- Montage



**b- Principe de fonctionnement**



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour <math>0 &lt; \theta &lt; \theta_0</math> et <math>\theta_0 &lt; \theta &lt; \theta_1</math> :</li> <li>• <math>u_2 &lt; E \Rightarrow</math> Les diodes <math>D_1</math> et <math>D_2</math> sont bloquées , on a</li> <li>• <math>\sin \theta_0 = \frac{E}{U_{2M}}</math></li> <li>• <math>\theta_1 = \pi - \theta_0</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>i_2 = i'_2 = 0</math></li> <li>• <math>v_{D1} = u_2 - E</math></li> <li>• <math>v_{D2} = u'_2 - E = -u_2 - E</math></li> <li>• <math>u_C = E</math></li> <li>• <math>i_c = 0</math></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour <math>\theta_0 &lt; \theta &lt; \theta_1</math> :</li> <li>• <math>u_2 &gt; E \rightarrow \begin{cases} \text{La diode } D_1 \text{ est conductrice} \\ \text{La diode } D_2 \text{ est bloquée} \end{cases}</math> , on a :</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>i'_2 = 0</math> et <math>v_{D1} = 0</math></li> <li>• <math>v_{D2} = -2 \cdot u_2</math></li> <li>• <math>u_C = E + R \cdot i_c = u_2</math></li> <li>• <math>i_c = i_2 = \frac{u_2 - E}{R}</math></li> </ul>

$$i_1 = m \cdot i_2$$

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour <math>\pi &lt; \theta &lt; \pi + \theta_0</math> et <math>2 \cdot \pi - \theta_0 &lt; \theta &lt; 2 \cdot \pi</math> :</li> <li>• <math>u'_2 &lt; E \Rightarrow</math> Les diodes <math>D_1</math> et <math>D_2</math> sont bloquées , on a</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>i_2 = i'_2 = 0</math></li> <li>• <math>v_{D1} = u_2 - E</math></li> <li>• <math>v_{D2} = u'_2 - E</math></li> </ul>
--	--

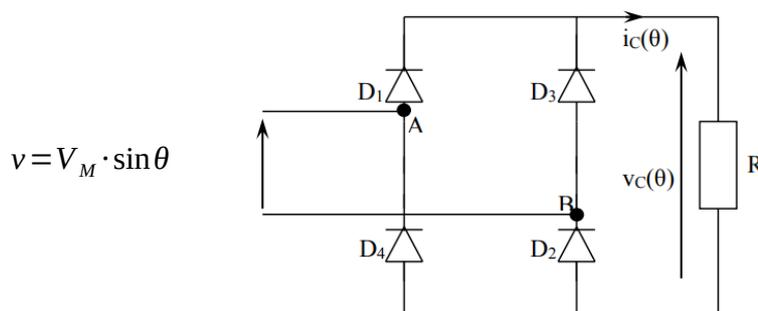
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>u_C = E</math></li> <li>• <math>i_c = 0</math></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour <math>\pi + \theta_0 &lt; \theta &lt; 2 \cdot \pi - \theta_0</math> :</li> </ul> $u_2' > E \Rightarrow \begin{cases} \text{La diode } D_1 \text{ est bloquée} \\ \text{La diode } D_2 \text{ est conductrice} \end{cases}, \text{ on a :}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>i_2 = 0</math> et <math>v_{D_2} = 0</math></li> <li>• <math>v_{D_1} = -2 \cdot u_2'</math></li> <li>• <math>u_C = E + R \cdot i_c = u_2'</math></li> <li>• <math>i_c = i_2' = \frac{u_2' - E}{R}</math></li> </ul>

$$i_1 = -m \cdot i_2'$$

## 2-2-2. Redresseur en pont

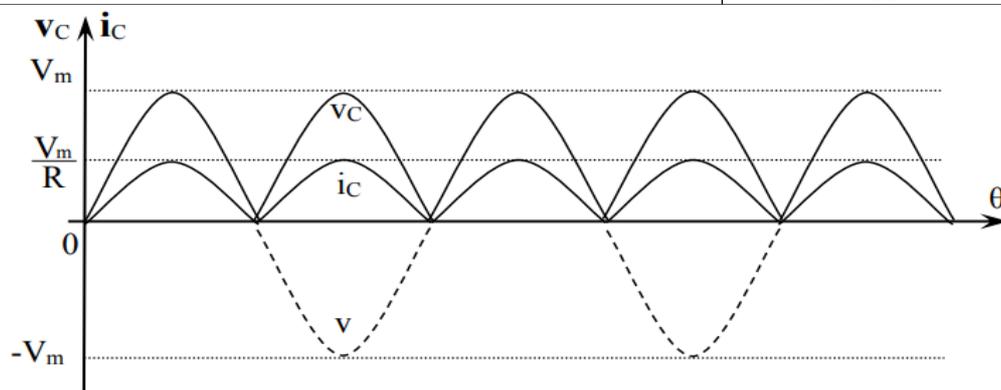
### 2.2.1- Débit sur une charge résistive

#### a- Montage



#### b- Principe de fonctionnement

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour <math>0 &lt; \theta &lt; \pi</math> :</li> </ul> la tension $v$ est positive $\rightarrow \begin{cases} \text{Les diodes } D_1 \text{ et } D_2 \text{ sont conductrices} \\ \text{Les diodes } D_3 \text{ et } D_4 \text{ sont bloquées} \end{cases}$ , on a :	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>v_{D_1} = v_{D_2} = 0</math> et <math>i_{D_3} = i_{D_4} = 0</math></li> <li>• <math>v_C = v</math></li> <li>• <math>i_c = \frac{v_C}{R} = \frac{v}{R} = i = i_{D_1} = i_{D_2}</math></li> <li>• <math>v_{D_3} = v_{D_4} = -v</math></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour <math>\pi &lt; \theta &lt; 2 \cdot \pi</math> :</li> </ul> la tension $v$ est négative $\rightarrow \begin{cases} \text{Les diodes } D_1 \text{ et } D_2 \text{ sont bloquées} \\ \text{Les diodes } D_3 \text{ et } D_4 \text{ sont conductrices} \end{cases}$ , on a :	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>v_{D_3} = v_{D_4} = 0</math> et <math>i_{D_1} = i_{D_2} = 0</math></li> <li>• <math>v_C = -v</math></li> <li>• <math>i_c = \frac{v_C}{R} = \frac{-v}{R} = -i = i_{D_3} = i_{D_4}</math></li> <li>• <math>v_{D_1} = v_{D_2} = v</math></li> </ul>



### 2.2.2- Débit sur une charge fortement inductive

#### a- Montage

On suppose que la charge **est fortement inductive** ; ceci se traduit par le fait que le courant dans la charge **est constant** (voir la figure suivante, le courant de la charge et le courant dans les diodes).

