

Electronique de puissance (LET52)

Solution du TD N°2: Redressement monophasé non Commandé

Correction N°1

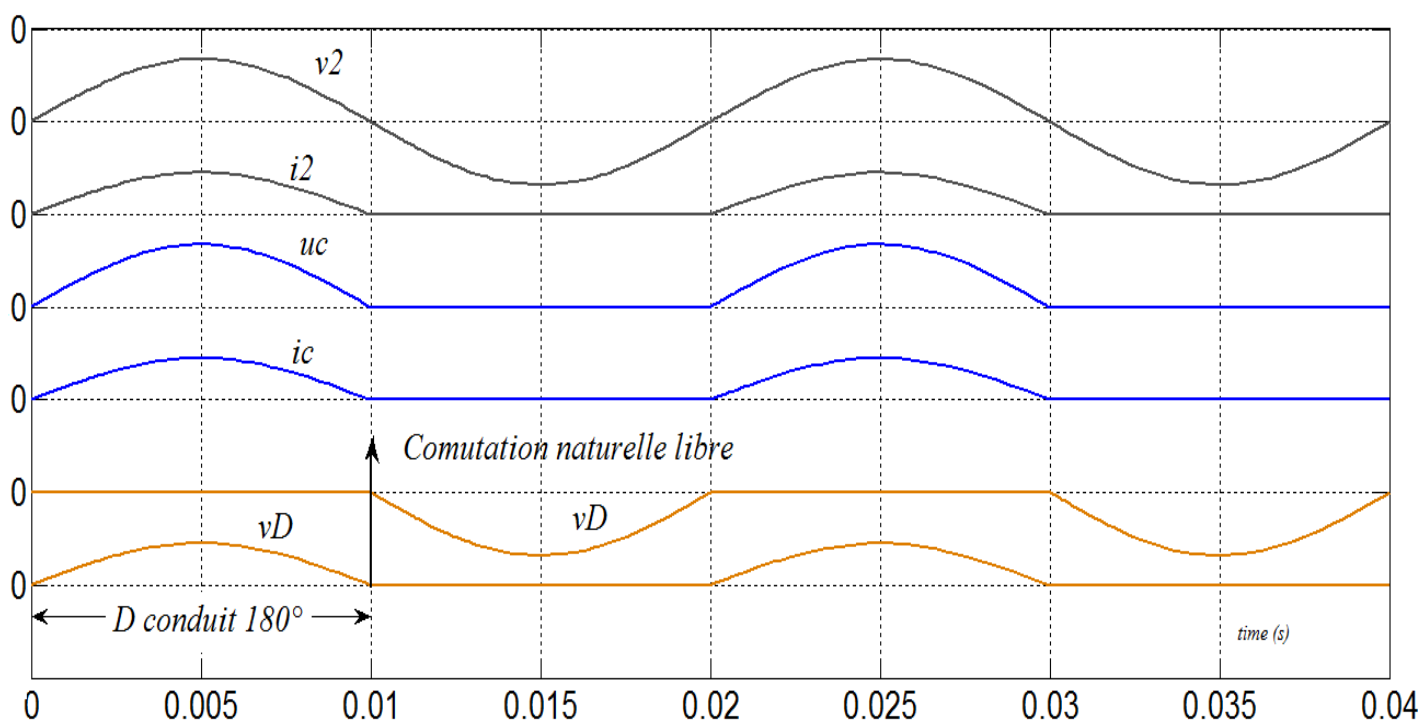
Charge résistive R

Principe de fonctionnement

<ul style="list-style-type: none"> pour $0 < \theta < \pi$ $v_2 > 0 \Rightarrow D$ est passante \Rightarrow 	<ul style="list-style-type: none"> $v_D = 0$ $i_D = i_C = i_2 = \frac{v_2}{R}$ $u_C = v_2$ 	
<ul style="list-style-type: none"> pour $\pi < \theta < 2 \cdot \pi$ $v_2 < 0 \Rightarrow D$ est bloquée \Rightarrow 	<ul style="list-style-type: none"> $i_D = i_C = i_2 = 0$ $u_C = 0$ $v_D = -v_2$ 	

Formes d'ondes

1-Les formes d'ondes des tensions u_C , v_D et celles des courants i_2 , i_C



2- L'angle de conduction de la diode D est :

$$\theta_{cond} = \pi = 180^\circ$$

3- La valeur moyenne de u_c est :

$$\langle u_c \rangle = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^\pi V_{2max} \cdot \sin\theta \cdot d\theta = \frac{V_{2max}}{2 \cdot \pi} [-\cos\theta]_0^\pi = \frac{V_{2max}}{2 \cdot \pi} [\cos 0 - \cos\pi] = \frac{V_{2max}}{\pi} = \frac{240 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = \frac{339.4}{\pi} = 108.03V$$

La valeur moyenne de i_c est :

$$\langle i_c \rangle = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^\pi \frac{V_{2max} \cdot \sin\theta}{R} \cdot d\theta = \frac{V_{2max}}{2 \cdot \pi \cdot R} [-\cos\theta]_0^\pi = \frac{V_{2max}}{2 \cdot \pi \cdot R} [\cos 0 - \cos\pi] = \frac{V_{2max}}{\pi \cdot R} = \frac{\langle u_c \rangle}{R} = \frac{108.03}{15} = 7.2A$$

La valeur efficace de u_c est :

$$U_{ceff} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^\pi (V_{2max} \cdot \sin\theta)^2 \cdot d\theta} = \sqrt{\frac{V_{2max}^2}{2 \cdot \pi} \int_0^\pi \frac{1 - \cos 2\theta}{2} d\theta} = \frac{V_{2max}}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[\theta - \frac{\sin 2\theta}{2} \right]_0^\pi} = \frac{V_{2max}}{2} = \frac{240 \cdot \sqrt{2}}{2} = 169.7V$$

La valeur efficace de i_c est :

$$I_{ceff} = \frac{I_{cmax}}{2} = \frac{U_{ceff}}{R} = \frac{169.7}{15} = 11.3V$$

4- Facteur de forme de la tension u_c est :

$$F = \frac{U_{ceff}}{\langle u_c \rangle} = \frac{\frac{V_{2max}}{2}}{\frac{V_{2max}}{\pi}} = \frac{\pi}{2} = 1.57$$

Facteur d'ondulation de la tension u_c est :

$$\tau_{ond} = \sqrt{F^2 - 1} = 1.21$$

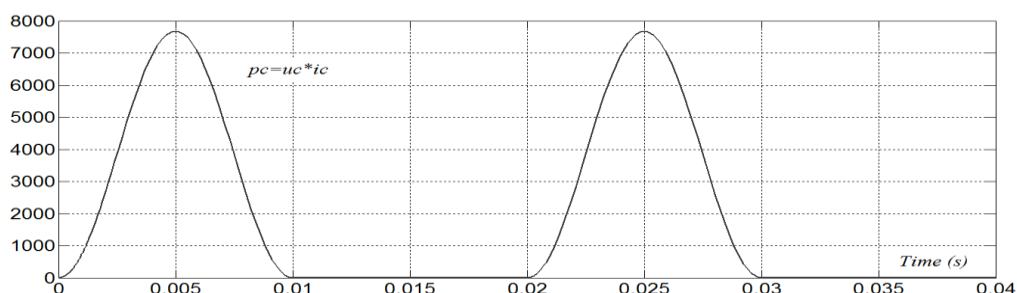
5- Efficacité du redresseur η_{tr} est :

$$\eta_{tr} = \frac{P_c}{P_2} = \frac{\langle u_c \rangle \cdot \langle i_c \rangle}{U_{ceff} \cdot I_{ceff}} = 0.405 = 40.5\%$$

Facteur d'utilisation du transformateur est:

$$FUT = \frac{P_c}{P_1} = \frac{\langle u_c \rangle \cdot \langle i_c \rangle}{V_{2eff} \cdot I_{2eff}} = 0.287 = 28.7\%$$

6- La forme d'onde de la puissance instantanée dans la charge R



La puissance moyenne est:

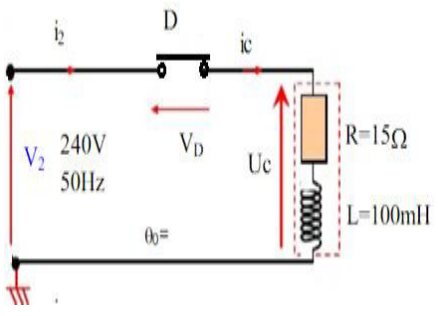
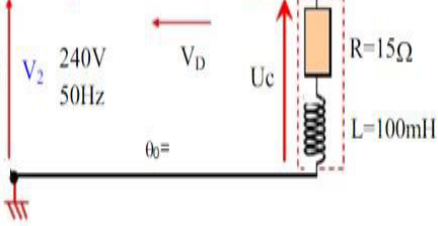
$$\langle P_c \rangle = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^\pi V_{2max} \cdot \sin\theta \cdot I_{cmax} \cdot \sin\theta \cdot d\theta = \frac{V_{2max} \cdot I_{cmax}}{4} = \frac{7680.6}{4} = 1920W$$

Charge inductive R-L

Principe de fonctionnement

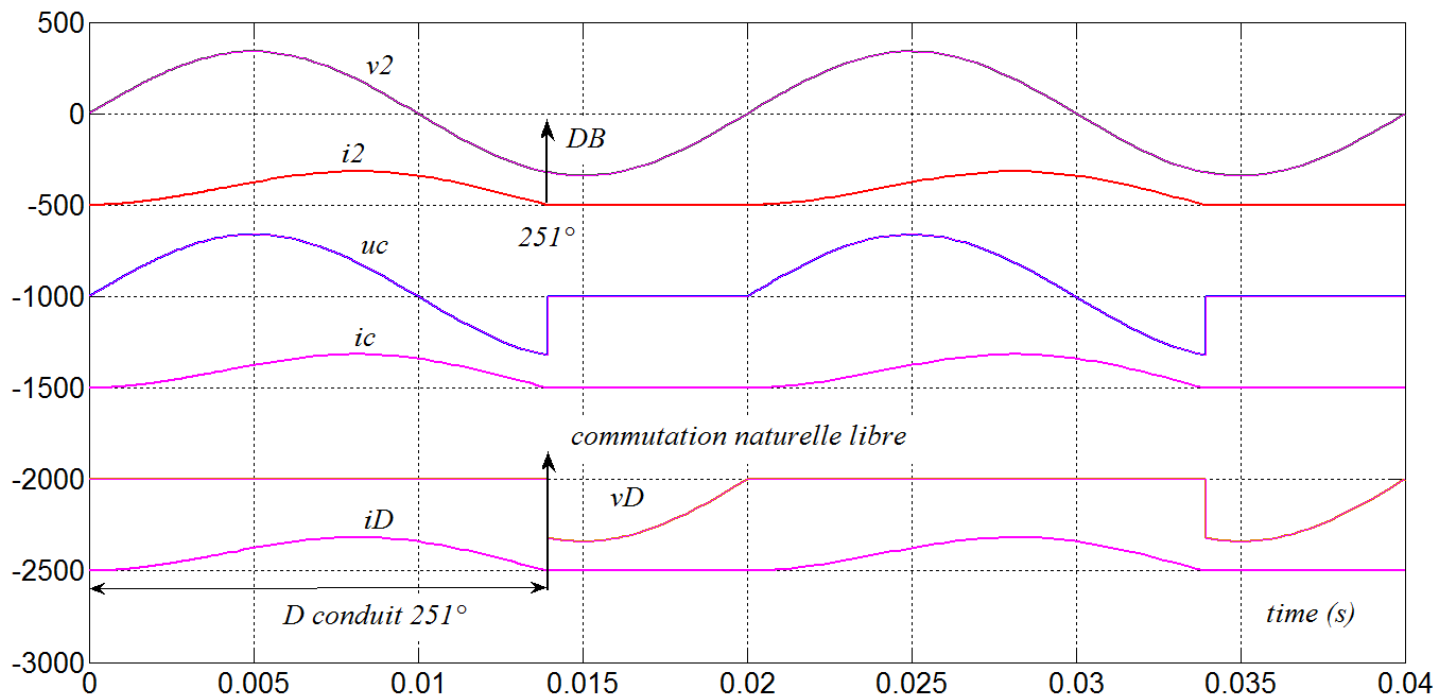
Dans le cas d'une charge **R-L**, l'angle de conduction de la diode **D** est plus grand que 180° .

Comme l'instant où le courant s'annule est donné $\theta_{ext} = \theta_1 = 251^\circ = 4,38rad = 13.94ms$

<ul style="list-style-type: none"> pour $0 < \theta < \theta_1 = 251^\circ$ $v_2 > 0 \Rightarrow D$ est passante \Rightarrow 	<ul style="list-style-type: none"> $v_D = 0$ $i_D = i_c = i_2$ $u_c = v_2$ $\begin{cases} L \cdot \frac{di_c}{dt} + R \cdot i_c = u_c = v_2 \\ \text{à } t = 0 \Rightarrow i_c = 0 \end{cases}$ $i_c = I_{CM} \cdot \left[\sin(\theta - \varphi) + \sin(\varphi) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \right]$ avec $\begin{cases} \text{tg}\varphi = \frac{L \cdot \omega}{R} \\ I_{CM} = \frac{V_{2max}}{\sqrt{R^2 + (L \cdot \omega)^2}} \end{cases}$ et $\tau = \frac{L}{R}$ 	
<ul style="list-style-type: none"> pour $\theta_1 = 251^\circ < \theta < 2 \cdot \pi$ $v_2 < 0 \Rightarrow D$ est bloquée \Rightarrow 	<ul style="list-style-type: none"> $i_D = i_c = i_2 = 0$ $u_c = 0$ $v_D = -v_2$ 	

Formes d'ondes

1-Les formes d'ondes des tensions u_c , v_D et celles des courants i_2 , i_c



2- L'angle de conduction de la diode D est:

$$\theta_{cond} = \theta_1 = 251^\circ$$

3- La valeur moyenne de u_c est:

$$\begin{aligned} \langle u_c \rangle &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{\theta_1} V_{2max} \cdot \sin \theta \cdot d\theta = \frac{V_{2max}}{2 \cdot \pi} [-\cos \theta]_0^{\theta_1} = \frac{V_{2max}}{2 \cdot \pi} [\cos 0 - \cos \theta_1] = \frac{V_{2max}}{2 \cdot \pi} (1 - \cos \theta_1) \\ &= \frac{240 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot \pi} (1.33) = 71.85V \end{aligned}$$

La valeur efficace de u_c est:

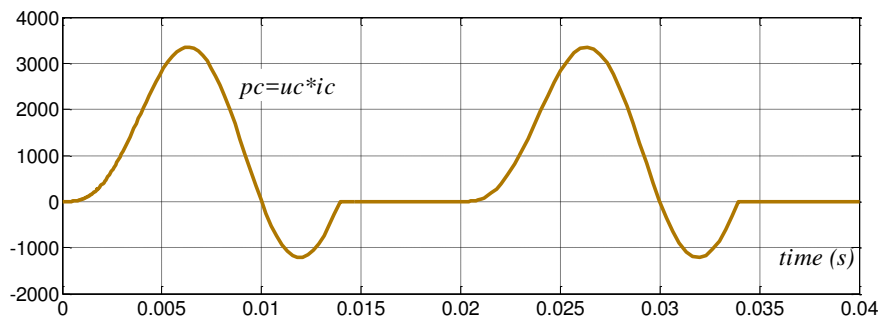
$$\begin{aligned} (\sin \theta)^2 &= \frac{1 - \cos 2\theta_1}{2} \\ U_{ceff} = U_{eff} &= \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{\theta_1} (V_{2max} \cdot \sin \theta)^2 \cdot d\theta} = \sqrt{\frac{V_{2max}^2}{4 \cdot \pi} \int_0^{\theta_1} (1 - \cos 2\theta_1) \cdot d\theta} \\ &= \frac{V_{2max}}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[\theta_1 - \frac{\sin 2\theta_1}{2} \right]} = 193.2V \end{aligned}$$

4- Facteur de forme de la tension u_c est:

$$F = \frac{U_{ceff}}{\langle u_c \rangle} = \frac{193.2V}{71.85V} = 2.69$$

Facteur d'ondulation de la tension u_c est $\tau = \sqrt{F^2 - 1} = 2.5$

5- La forme d'onde de la puissance instantanée dans la charge



Charge inductive R - L avec diode roue libre D_r

Principe de fonctionnement

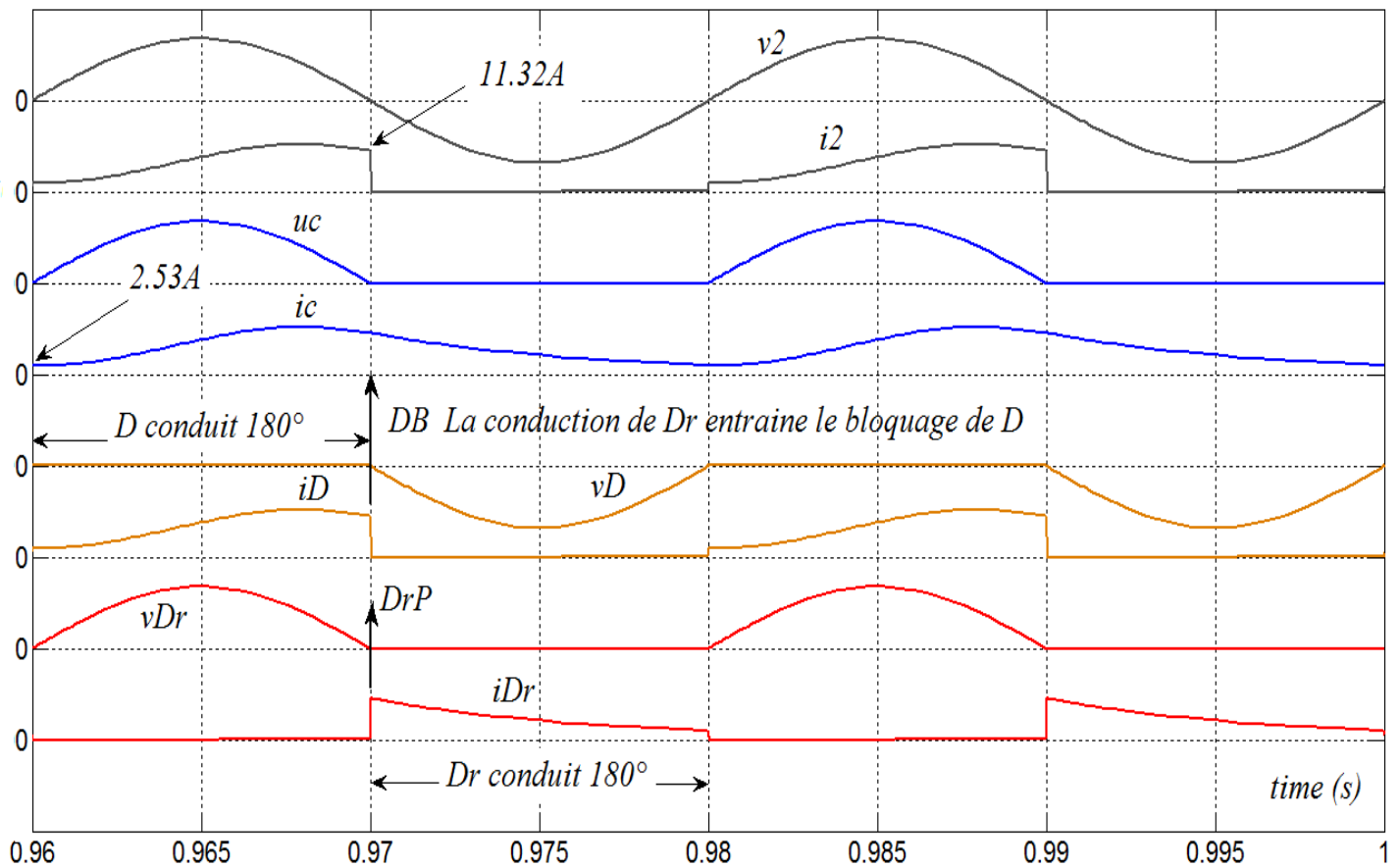
Dans le cas d'une charge R - L avec diode de roue libre, l'angle de conduction de la diode D est 180° . A l'instant $\theta = \pi$, $v_2 < 0$ devient négative $\Rightarrow D$ devient polarisée en sens bloquée et D_r devient polarisée en sens passant.

<p>• pour $0 < \theta < \pi$</p> <p>$v_2 > 0 \Rightarrow D$ est passante et D_r est bloquée \Rightarrow</p>	<ul style="list-style-type: none"> • $v_D = 0$ • $i_{Dr} = 0$ • $v_{Dr} = v_2$ • $i_D = i_C = i_2$ • $u_C = v_2$ • $\begin{cases} L \cdot \frac{di_C}{dt} + R \cdot i_C = u_C = v_2 \\ \text{à } t = 0 \Rightarrow i_C = 2.53A = I_{C0} \end{cases}$ $i_C = K \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + I_{CM} \cdot \sin(\theta - \varphi)$ $i_C = I_{CM} \cdot \sin(\theta - \varphi) + (I_{C0} + I_{CM} \cdot \sin\varphi) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ <p>Avec $\begin{cases} \varphi = \arctg \frac{L \cdot \omega}{R} = \arctg \frac{0.1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}{15} = 64.48^\circ \\ I_{CM} = \frac{V_{2max}}{\sqrt{R^2 + (L \cdot \omega)^2}} = \frac{240\sqrt{2}}{34.81} = 9.75A \end{cases}$</p> <p>et $\tau = \frac{L}{R} = \frac{100e-3}{15} = 6.66e-3s$</p> $\sqrt{R^2 + (L \cdot \omega)^2} = \sqrt{15^2 + (0.1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f)^2} = 34.81\Omega$	
<p>• pour $\pi < \theta < 2 \cdot \pi$</p> <p>$v_2 < 0 \Rightarrow D$ est bloquée et D_r est passante \Rightarrow</p>	<ul style="list-style-type: none"> • $i_D = i_2 = 0$ • $v_D = v_2$ • $v_{Dr} = 0$ • $i_{Dr} = i_C$ • $u_C = 0$ • $\begin{cases} L \cdot \frac{di_C}{dt} + R \cdot i_C = u_C = 0 \\ \text{à } t = \pi \Rightarrow i_C(\pi) = 11.32A \end{cases}$ $i_C = i_C(\pi) \cdot e^{-\frac{R}{L}(t-\pi)}$	

Le mode de conduction est continu parce que le courant i_c ne s'annule pas durant la période de fonctionnement

Formes d'ondes

1- Les formes d'ondes des tensions u_c , v_D et celles des courants i_2 , i_c



2- L'angle de conduction de la diode D est :

$$\theta_{cond} = 180^\circ$$

3- La valeur moyenne de u_c est:

$$\begin{aligned} \langle u_c \rangle &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^\pi V_{2max} \cdot \sin\theta \cdot d\theta = \frac{V_{2max}}{2 \cdot \pi} [-\cos\theta]_0^\pi = \frac{V_{2max}}{2 \cdot \pi} [\cos 0 - \cos\pi] = \frac{V_{2max}}{\pi} = \frac{240 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = \frac{339.4}{\pi} \\ &= 108.03V \end{aligned}$$

La valeur efficace de u_c est:

$$\begin{aligned} U_{ceff} &= \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^\pi V_{2max}^2 \sin^2\theta \cdot d\theta} = \sqrt{\frac{V_{2max}^2}{4 \cdot \pi} \int_0^\pi (1 - \cos 2\theta) \cdot d\theta} = \frac{V_{2max}}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[\theta - \frac{\sin 2\theta}{2} \right]_0^\pi} = \frac{V_{2max}}{2} \\ &= 169.7V \end{aligned}$$

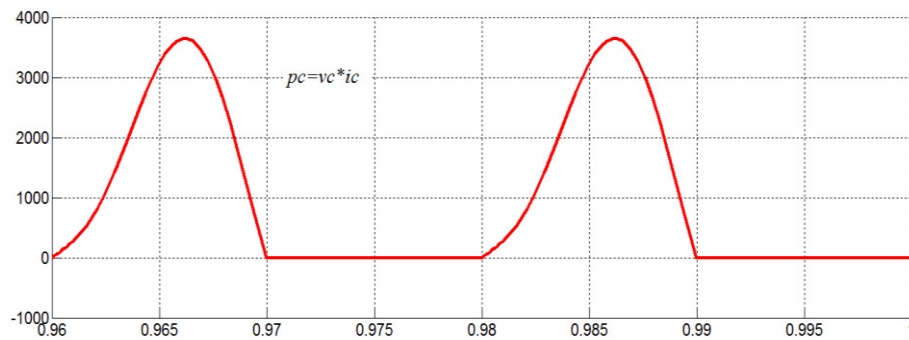
4- Facteur de forme de la tension u_c est:

$$F = \frac{U_{ceff}}{\langle u_c \rangle} = \frac{169.7V}{108.03V} = 1.57$$

Facteur d'ondulation de la tension u_c est:

$$\tau = \sqrt{F^2 - 1} = 1.21$$

5- La forme d'onde de la puissance instantanée dans la charge



Correction N°2

Principe de fonctionnement

La diode D conduit seulement lorsque la tension $v_e = V_{eM} \cdot \sin\theta$ est plus grande que la tension de la batterie $E = 12V$.

On distingue trois intervalles de fonctionnement:

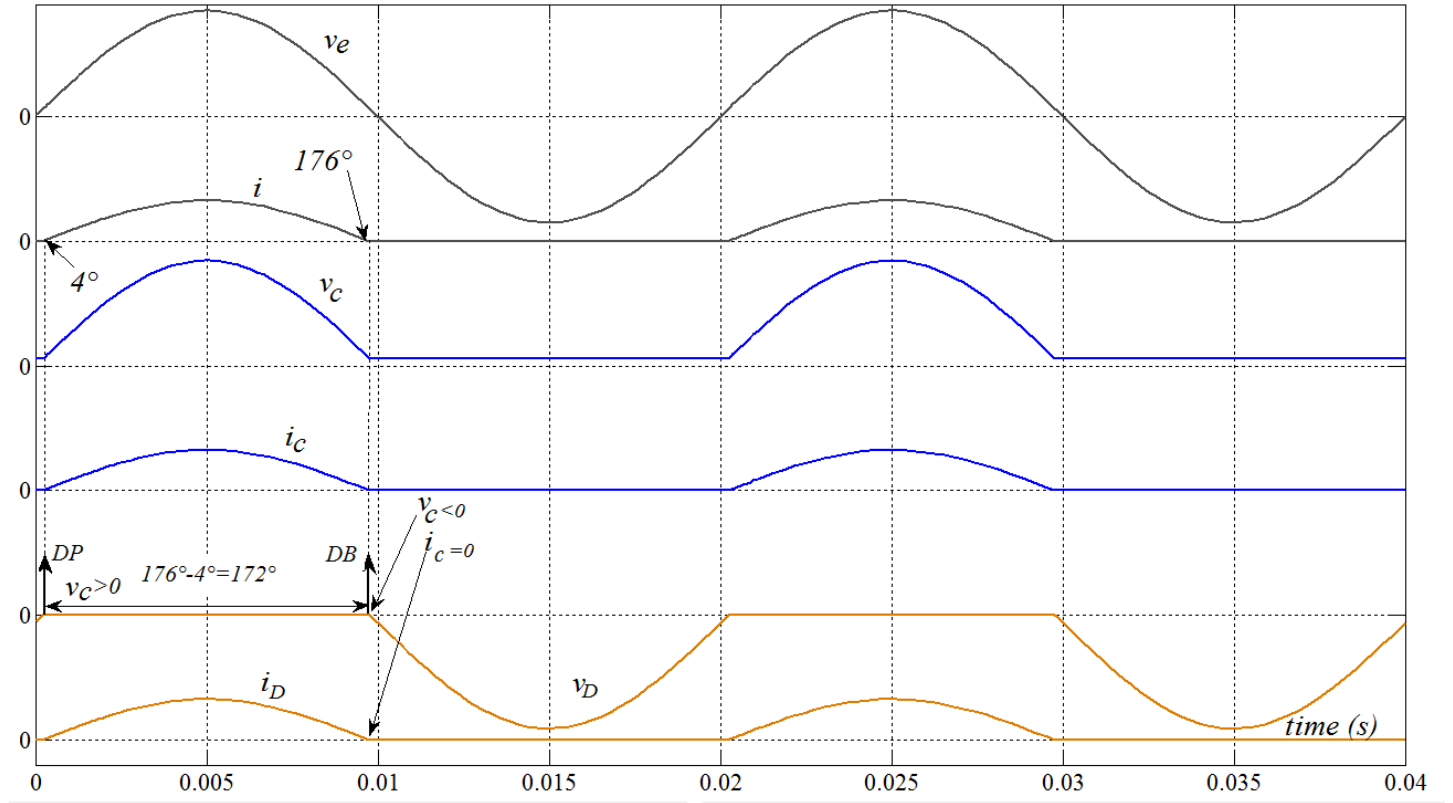
La diode D commence à conduire à partir de $V_{eM} \cdot \sin\theta_1 = E \Rightarrow \theta_1 = \arcsin\frac{E}{V_{eM}} = \arcsin\frac{12}{170} = 4^\circ = 0,07rad$

La diode D s'arrête de conduire à partir de $\theta_2 = \pi - \theta_1 = 180^\circ - 4^\circ = 176^\circ = 3,07rad$

<ul style="list-style-type: none"> pour $0 < \theta < \theta_1 = 4^\circ$ $v_e < E \Rightarrow D$ est bloquée \Rightarrow 	<ul style="list-style-type: none"> $i_D = i_C = i = 0$ $u_C = E$ $v_e - v_D - u_C = 0 \Rightarrow v_D = v_e - E$ 	
<ul style="list-style-type: none"> pour $\theta_1 = 4^\circ < \theta < \theta_2 = 176^\circ$ $v_e > E \Rightarrow D$ est passante \Rightarrow 	<ul style="list-style-type: none"> $v_D = 0$ $u_C = v_e = V_{eM} \cdot \sin\theta = R \cdot i_C + E$ $i_C = \frac{v_e - E}{R} = i = i_D$ 	
<ul style="list-style-type: none"> pour $\theta_2 = 176^\circ < \theta < 2 \cdot \pi$ $v_e < E \Rightarrow D$ est bloquée \Rightarrow 	<ul style="list-style-type: none"> $i_D = i_C = i = 0$ $u_C = E$ $v_e - v_D - u_C = 0 \Rightarrow v_D = v_e - E$ 	

Formes d'ondes

1- Les formes d'ondes des tensions u_c et v_D et celles des courants i et i_c .



2-La durée de conduction de la diode D est $\theta_{cond} = \theta_2 - \theta_1 = 176^\circ - 4^\circ = 172^\circ = 3\text{rad}$

La valeur moyenne du courant i_c est donnée par $\langle i_c \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left(\frac{V_{eM} \cdot \sin\theta - E}{R} \right) \cdot d\theta = \frac{V_{eM}}{2\pi \cdot R} [-\cos\theta]_{\theta_1}^{\theta_2} - E \cdot [\theta]_{\theta_1}^{\theta_2}$

3-La valeur de la résistance R pour avoir un courant moyen de $5A$ est :

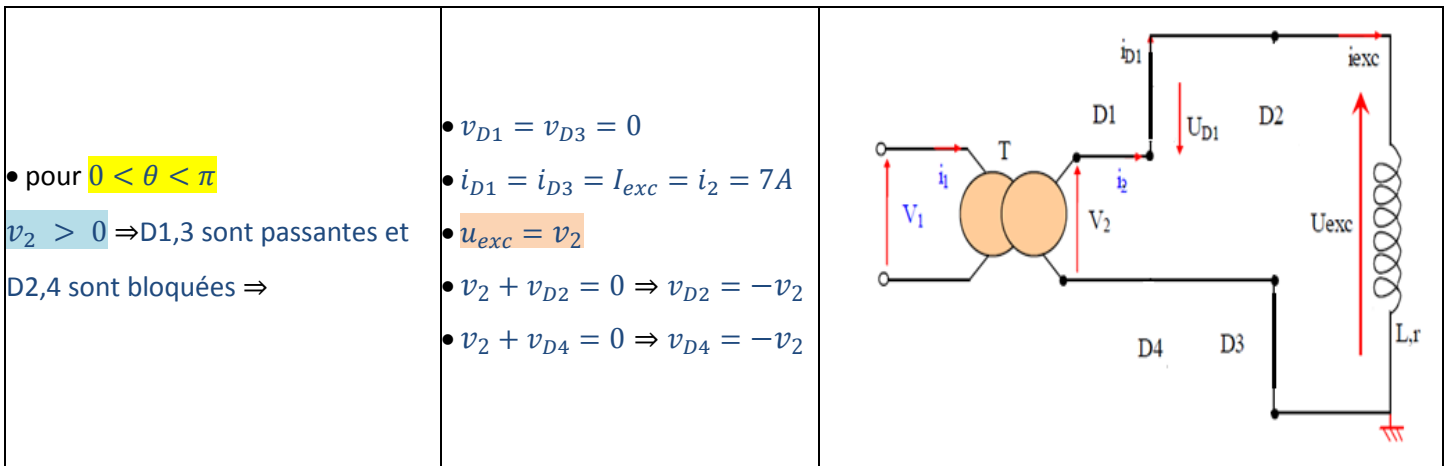
$$\langle i_c \rangle = \frac{1}{2\pi \cdot R} ([V_{eM}(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)] - E \cdot [\theta_2 - \theta_1]) = \frac{48.26}{R} = 5A \Rightarrow R = 9.63\Omega$$

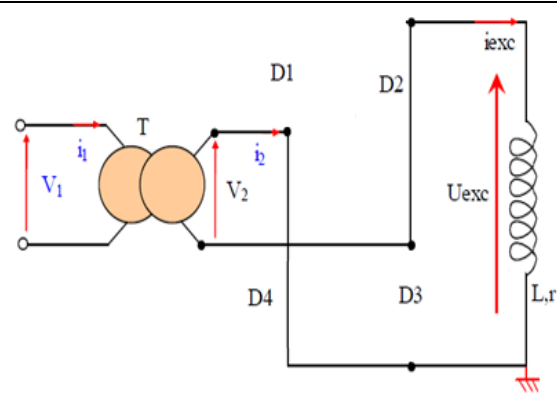
4-Le temps de charge d'une batterie vide est : $t_{charge} = \frac{E_{bat}}{E \cdot \langle i_c \rangle} = \frac{500Wh}{12 \cdot 5} = 8.34H$

Correction N°3

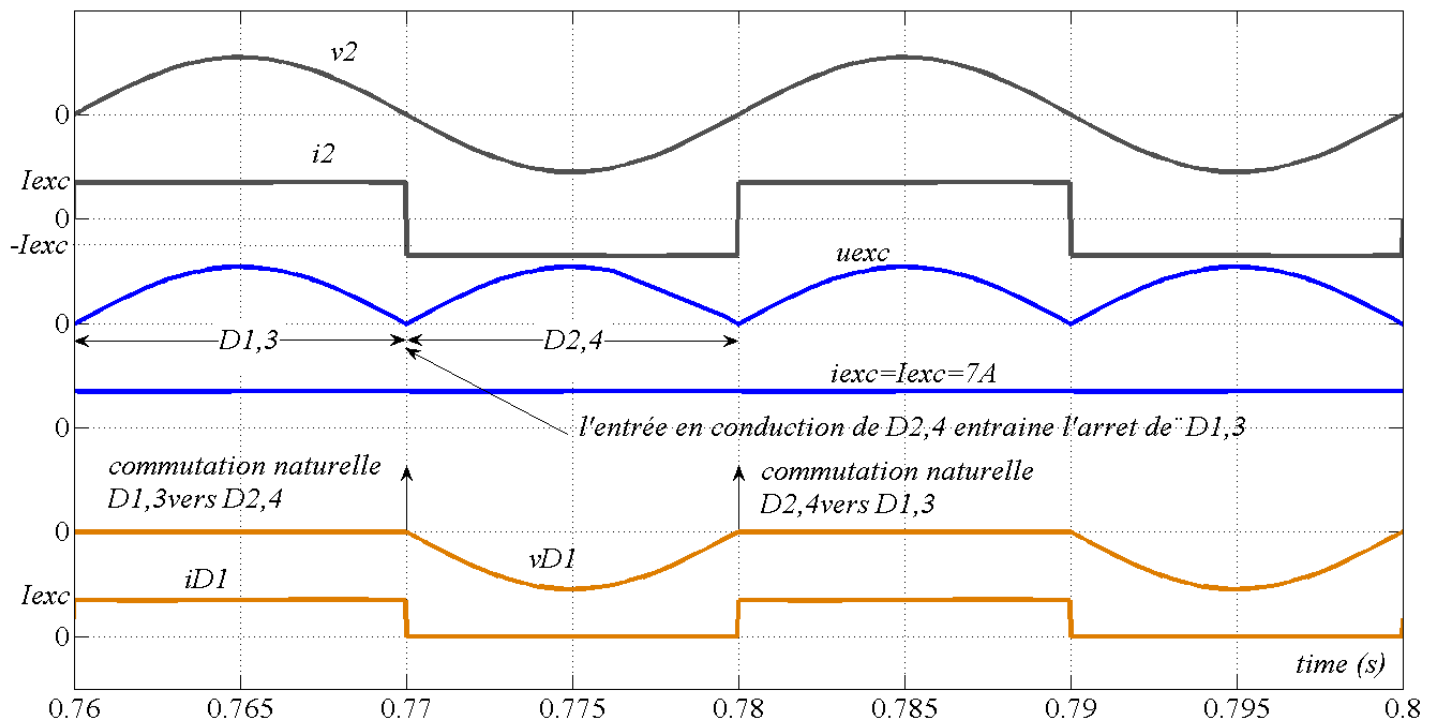
Principe de fonctionnement

Le courant de la charge i_{exc} est constant sur tout la période de fonctionnement



<ul style="list-style-type: none"> pour $\pi < \theta < 2 \cdot \pi$ <p>$v_2 < 0 \Rightarrow$ D1,3 sont bloquées D2,4 sont passantes \Rightarrow</p>	<ul style="list-style-type: none"> $v_{D2} = v_{D4} = 0$ $i_{D2} = i_{D4} = I_{exc} =$ $i_2 = -I_{exc} = -7A$ $u_{exc} = -v_2$ $v_2 - v_{D1} = 0 \Rightarrow v_{D1} = v_2$ $v_2 - v_{D3} = 0 \Rightarrow v_{D3} = v_2$ 	
---	--	--

Formes d'ondes



1-La valeur maximale de la tension d'alimentation v_2 est :

$$V_{2max} = \sqrt{2} \cdot V_{2eff} = \sqrt{2} \cdot 77,8V = 110.02V$$

2-La valeur moyenne de u_{exc} est :

$$\langle u_{exc} \rangle = \frac{2}{2 \cdot \pi} \int_0^\pi V_{2max} \cdot \sin \theta \cdot d\theta = \frac{V_{2max}}{\pi} [\cos 0 - \cos \pi] = \frac{2 \cdot V_{2max}}{\pi} = 70.07V$$

Les appareils à utiliser pour mesurer la tension moyenne sont :

- Appareil en position continu (=) ou DC
- Un voltmètre numérique sur la position DC (continue, =)
- Un voltmètre analogique (à aiguille) magnétoélectrique sur la position DC.

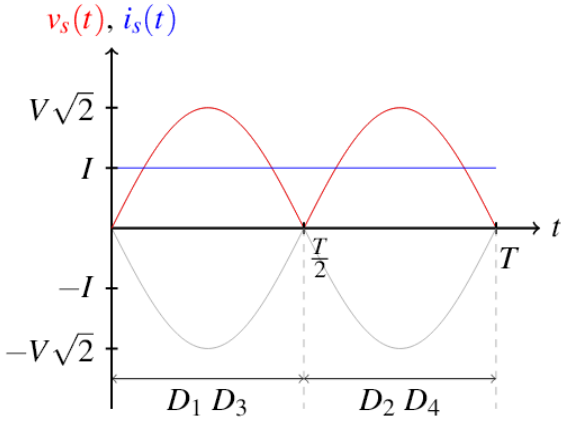
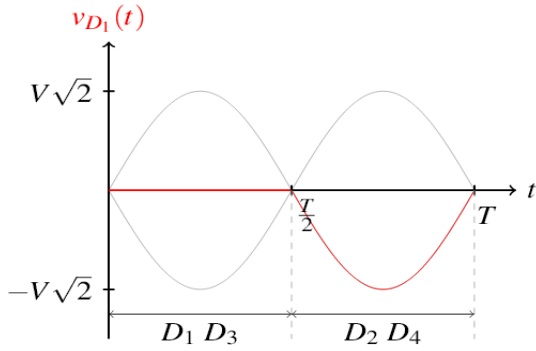
3-La valeur moyenne de i_{D1} est :

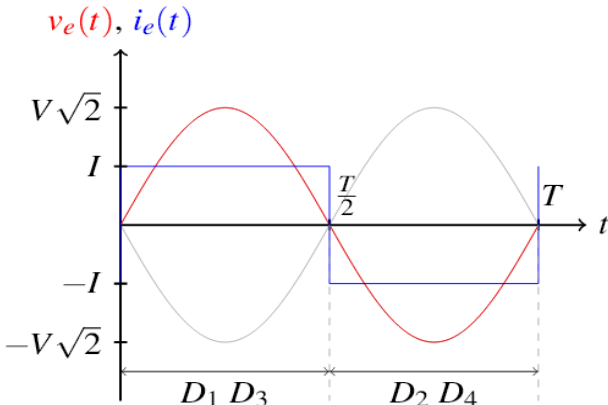
$$\langle i_{D1} \rangle = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^\pi I_{exc} \cdot d\theta = \frac{I_{exc}}{2 \cdot \pi} \pi = \frac{I_{exc}}{2} = 3.5A$$

4-La valeur efficace de i_{D1} est :

$$I_{D1eff} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^\pi I_{exc}^2 \cdot d\theta} = I_{exc} \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \pi} = \frac{I_{exc}}{\sqrt{2}} = 4.94A$$

Correction N°4

1., 2.	 <p>Tension et courant de sortie du pont PD2 débitant sur une source de courant constante.</p>
3.	$\langle v_s \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \omega t \cdot dt$ $\langle v_s \rangle = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot V}{\pi} = 0,9 \cdot V$
4.	$\tau_{ond} = \frac{V_{smax} - V_{smin}}{\langle v_s \rangle}$ $\tau_{ond} = \frac{\sqrt{2} \cdot V}{\frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot V}{\pi}}$ $\tau_{ond} = \frac{\pi}{2} \sim 157\%$ <p>Cela traduit le fait que la tension de sortie est loin d'être parfaitement continue.</p>
5.	 <p>Évolution temporelle de la tension aux bornes de la diode D₁</p>

6.	 <p>Tension et courant en entrée du pont PD2 débitant sur une source de courant constante</p>
7.	$I_e = I$
8.	$i_e(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4 \cdot I}{(n+1) \cdot \pi} \sin(n+1) \omega t$
9.	$THD_{i_e} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I^2 - \left(\frac{4 \cdot I}{\sqrt{2} \cdot \pi}\right)^2}}{\frac{4I}{\sqrt{2}\pi}} \cong 48\%$ $THD_{v_e} = 0$
10.	$F_p = \frac{P}{S}$ <p>Puissance active P en sortie du PD2 (côté DC) :</p> $P = \langle v_s \rangle \cdot I = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot V}{\pi} \cdot I$ <p>Puissance apparente S en entrée du PD2 (côté AC) :</p> $S = V \cdot I$ $F_p = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = 0,9$