CHII : REDRESSEMENT NON COMMANDE : MONTAGES P1 - P2

1. Définitions

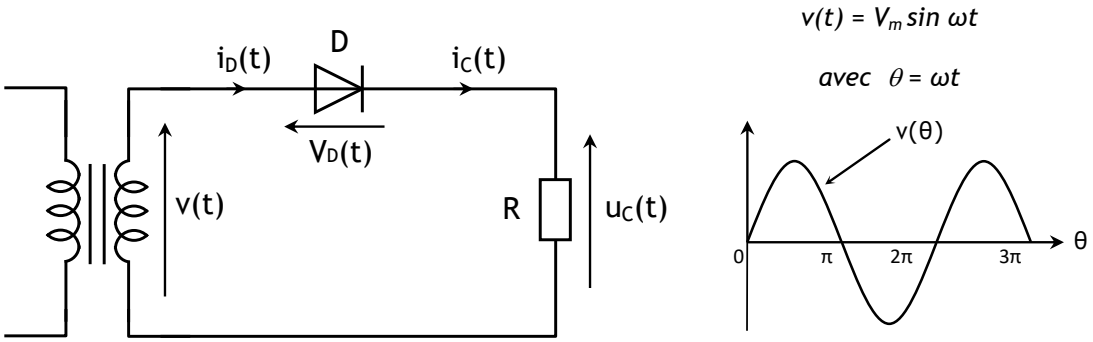
Le redressement non commandé est la conversion de tension (s) alternative (s) (de valeur moyenne nulle) en une tension continue (de valeur moyenne non nulle) utilisant des interrupteurs non commandés, des diodes.

2. Montages P

2-1 Montage P1

2-1-1 Débit sur charge résistive

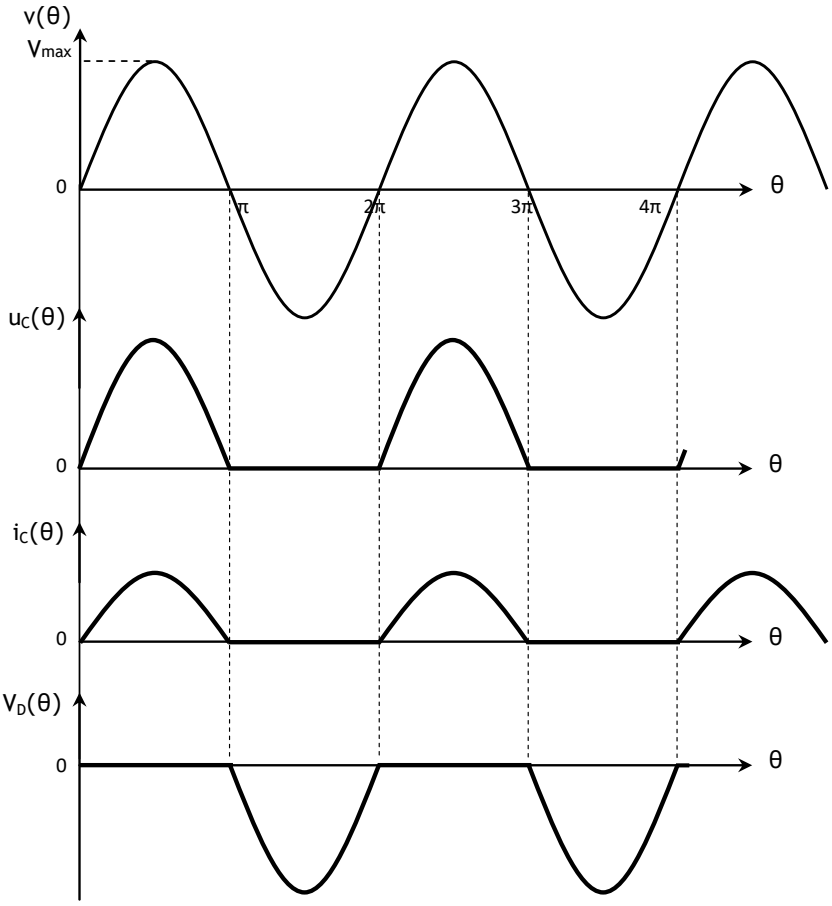
Schéma de principe



Fonctionnement

θ	0 π 2π	
Etat de D	Passant	Bloqué
u_C	v(θ)	0
v_D	0	v(θ)
i_D	$\frac{v(\theta)}{R}$	0
i_C	$\frac{v(\theta)}{R}$	0

Graphes



Grandeurs caractéristiques

- *Valeur moyenne de u_C*

$$U_{Cmoy} = \frac{1}{T}\int_T u_C(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} V_m \sin\theta \, d\theta = \frac{V_m}{\pi}$$

- *Valeur efficace de u_C*

$$U_C^2 = \frac{1}{T}\int_T u_C^2(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} V_m^2 \sin^2\theta d\theta = \frac{V_m^2}{4} \text{ avec } \sin^2\theta = \frac{1-\cos 2\theta}{2}$$

Donc $U_C = \frac{V_m}{2}$

- *Valeur moyenne de i_C*

$u_C = Ri_C$ donc $I_{Cmoy} = \frac{V_m}{\pi R}$

- *Facteur de forme*

$$F = \frac{U_C}{U_{Cmoy}} = \frac{\pi}{2} = 1{,}57$$

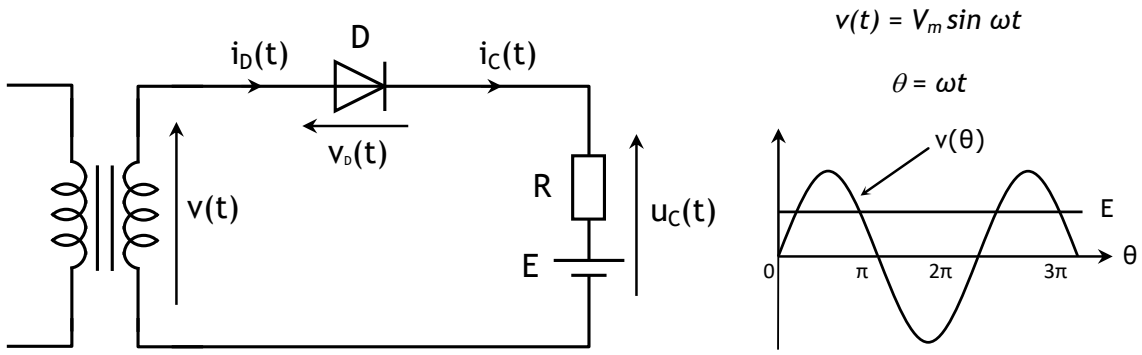
- *Taux d'ondulation*

$$\tau = \sqrt{F^2 - 1} = 1{,}21$$

2-1-2 Débit sur charge active (R,E)

Une charge active peut être un électromoteur ou une batterie. Son schéma équivalent est une f.c.é.m. E en série avec une résistance R.

Schéma de principe

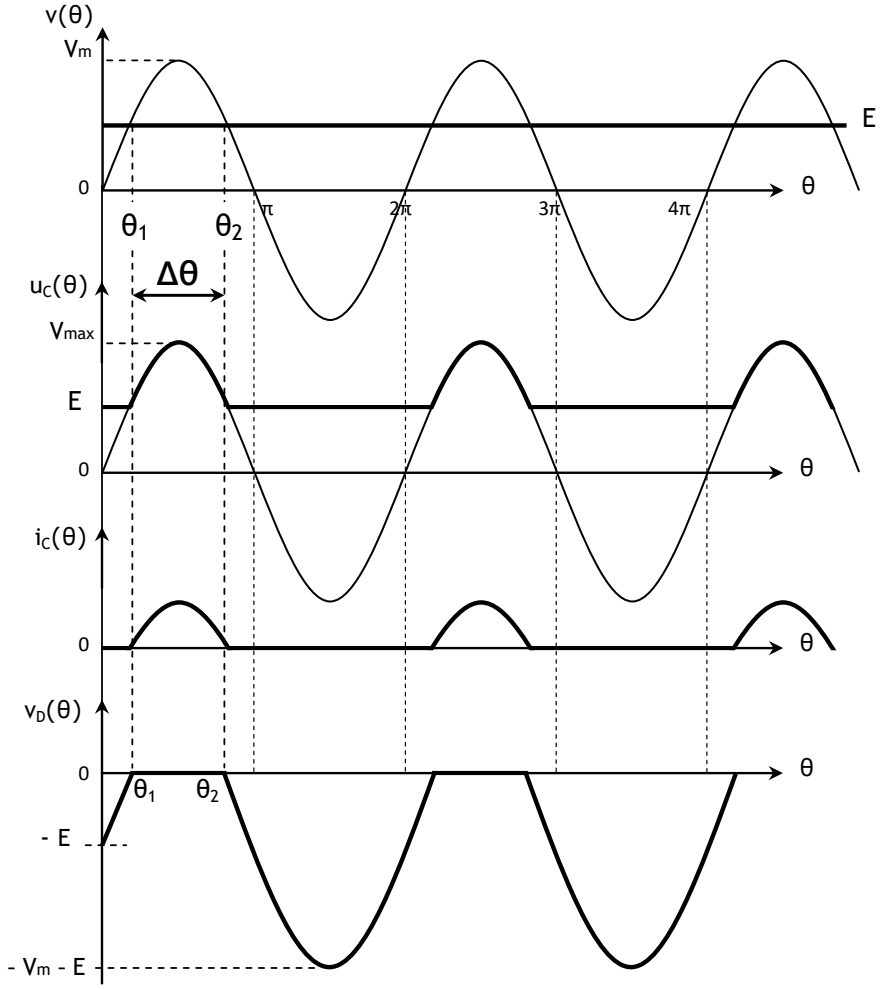


Fonctionnement

La diode D si et seulement si v(θ)>E, d'où deux angles limites de conduction θ_1 et θ_2 tels que v(θ) = E. Soit $\theta_1 = \text{Arcsin}\frac{E}{V_m}$ et $\theta_2 = \pi - \theta_1$ où θ_1 est l'angle d'allumage ou d'ouverture et θ_2, l'angle d'extinction ou de blocage ou de fermeture.

θ	0	θ_1	θ_2	2π
Etat de D	Bloqué	Passant		Bloqué
u_C	E	v(θ)		E
v_D	v(θ) - E	0		v(θ) - E
i_D	0	$\frac{v(\theta) - E}{R}$		0
i_C	0	$\frac{v(\theta) - E}{R}$		0

Graphes



Grandeurs caractéristiques

- *Valeur moyenne de u_C*

$$U_{Cmoy} = \frac{1}{T}\int_T u_C\,(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} u_C\, d\theta = E\left(\frac{\theta_1}{\pi}+\frac{1}{2}\right) + \frac{V_m \cos\theta_1}{\pi}$$

- *Valeur efficace de u_C*

$$U_C^2 = \frac{1}{T}\int_T u_C^2\,(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} u_C^2\, d\theta = \frac{E^2}{2\pi}(2\theta_1+\pi) + \frac{V_m^2}{4\pi}(\pi - 2\theta_1 + \sin 2\theta_1)$$

$$\text{Donc } U_C = \sqrt{\frac{E^2}{2\pi}(2\theta_1+\pi) + \frac{V_m^2}{4\pi}(\pi - 2\theta_1 + \sin 2\theta_1)}$$

- *Valeur moyenne de i_C*

$u_C = E + Ri_C$ donc $I_{Cmoy} = \frac{U_{Cmoy}-E}{R}$

- *Durée de conduction Δt de la diode*

$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = w.\Delta t$ donc $\Delta t = \frac{\theta_2 - \theta_1}{w}$ où Δθ est l'angle de conduction.

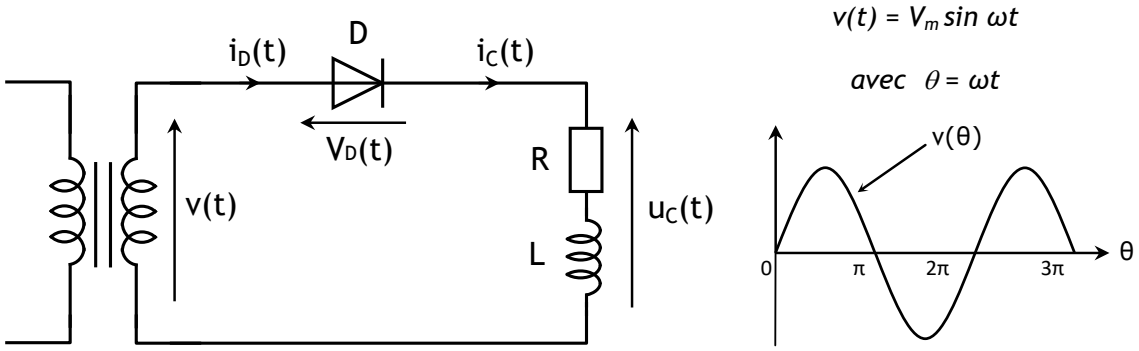
- *Tension inverse maximale aux bornes de la diode*

$V_{RRM} = V_m + E$

2-1-3 Débit sur charge inductive (R,L)

En électrotechnique, les charges inductives sont aussi résistives. Les circuits des induits et des inducteurs des machines à courant continu en sont des exemples.

Schéma de principe



Fonctionnement

- Quand $v(t) > 0$ ($0 < \theta < \pi$), la diode D est passante.

$V_D(t) = 0$; $u_C(t) = v(t)$; $i_D(t) = i_C(t)$

Pour déterminer $i_C(t)$, on obtient l'équation suivante :

$$L\frac{di_C}{dt} + R.i_C = v(t) = V_m \sin\theta = V_m \sin\omega t$$

Nous avons 2 solutions : une solution ***homogène*** et une solution ***particulière***.

Solution homogène i_{CH} de i_C :

$$L\frac{di_{CH}}{dt} + R.i_{CH} = 0 \Rightarrow \quad i_{CH} = K.e^{-\frac{R}{L}t}$$ K étant un réel.

Solution particulière :

$$L\frac{di_{Cp}}{dt} + R.i_{Cp} = v(t) = V_m \sin\omega t$$

L et R sont des dipôles linéaires. En utilisant notation complexe, on a :

$$jL\omega.\underline{I_{Cp}} + R.\underline{I_{Cp}} = \underline{V} \Rightarrow \quad (R + jL\omega).\underline{I_{Cp}} = \underline{V} \Rightarrow \quad \underline{I_{Cp}} = \frac{\underline{V}}{(R + jL\omega)}$$

Module : $I_{Cp} = \dfrac{V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}$ *Argument :* $\varphi = -\,arctg\,\dfrac{L\omega}{R}$

Donc $i_{Cp} = \dfrac{\sqrt{2}.V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin(\omega t + \varphi)$

En définitive : $i_C = i_{CH} + i_{Cp} \Longrightarrow i_C = K.e^{-\frac{R}{L}t} + \dfrac{\sqrt{2}.V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin(\omega t + \varphi)$

Condition initiale : $t = 0 \Longrightarrow i_C(t) = 0$

$K + \dfrac{\sqrt{2}.V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin\varphi = 0 \Longrightarrow K = -\dfrac{\sqrt{2}.V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin\varphi$

D'où $i_C = -\dfrac{\sqrt{2}.V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin\varphi.e^{-\frac{R}{L}t} + \dfrac{\sqrt{2}.V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin(\omega t + \varphi)$

$$i_C = \frac{\sqrt{2}.V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \left(\sin(\omega t + \varphi) - \sin\varphi.e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

On pose $\theta = \omega t$

Et on sait que : $tg\varphi = -\dfrac{L\omega}{R} \Longrightarrow \dfrac{L}{R} = -\dfrac{tg\varphi}{\omega}$ soit $\dfrac{R}{L} = -\dfrac{\omega}{tg\varphi}$

D'où :

$$\boxed{i_C = \frac{\sqrt{2}.V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \left(\sin(\theta + \varphi) - \sin\varphi.e^{\frac{\theta}{tg\varphi}} \right)}$$

Remarque : $\theta = \pi$, $i_C(\pi) = -\dfrac{\sqrt{2}.V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin\varphi \left(1 + e^{\frac{\pi}{tg\varphi}} \right)$

On constate que le courant i_C ne s'annule pas pour $\theta = \pi$ mais un peu au-delà en un angle θ_0 appelé ***angle d'extinction***. La diode est alors en conduction forcée si bien que $u_C(t)$ devient négative jusqu'à l'annulation de i_C.

- Quand $v(t) < 0$ ($\pi < \theta < 2\pi$), la diode D reste passante tant que i_C n'est pas redevenu nul. $V_D(t) = 0$; $u_C(t) = v(t) < 0$

à θ_0, la diode D se bloque et $u_C(t) = 0$; $V_D(t) = v(t)$; $i_C(t) = 0$

Remarque :

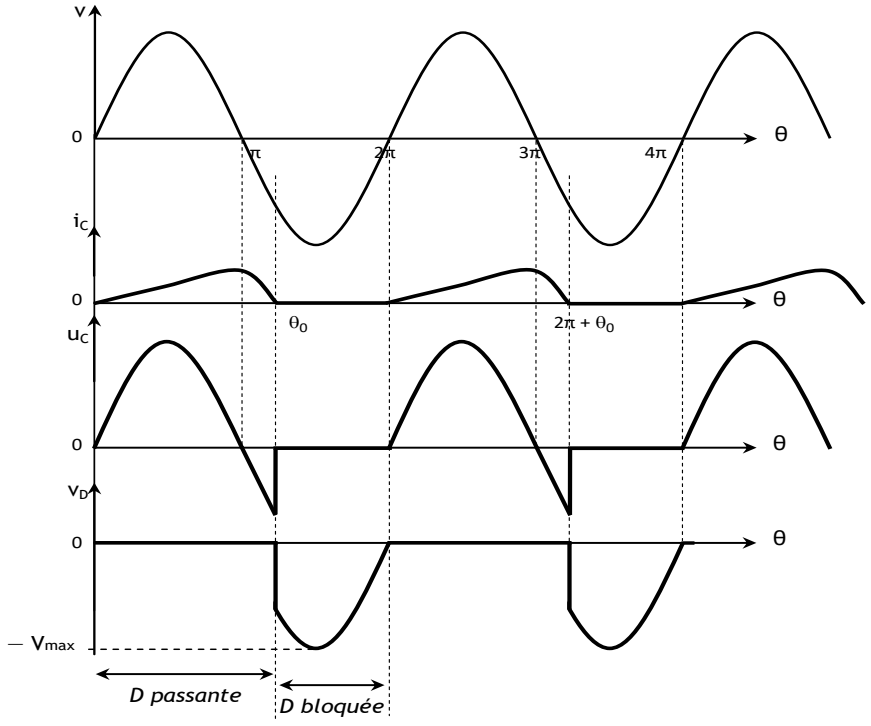
Pour le calcul de θ_0, résoudre l'équation (E) : $i_C(\theta) = 0$

Soit $\sin(\theta + \varphi) - \sin\varphi.e^{\frac{\theta}{tg\varphi}} = 0$

En définitive :

θ	0 π θ_0 2π		
Etat de D	Passant	Passant	Bloqué
u_C	v(θ)	v(θ)	0
v_D	0	0	v(θ)

Graphes



Grandeurs caractéristiques

- *Valeur moyenne de u_C*

$$U_{Cmoy} = \frac{1}{T}\int_T u_C(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\theta_0} V_m \sin\theta \, d\theta = \frac{V_m}{2\pi}(1 - \cos\theta_0)$$

- *Valeur moyenne de i_C*

$u_C = Ri_C$ donc $I_{Cmoy} = \frac{U_{Cmoy}}{R}$

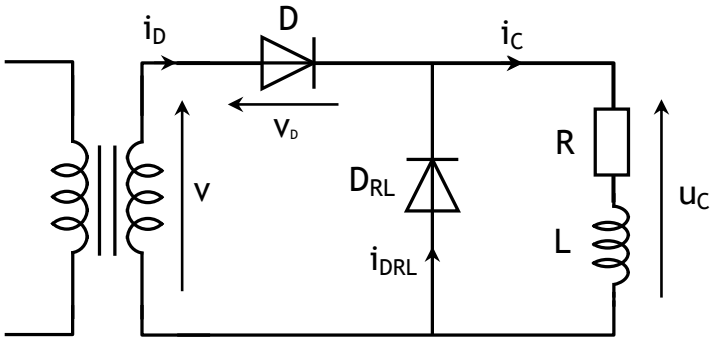
- *Valeur efficace de u_C*

$$U_C^2 = \frac{1}{T}\int_T u_C^2(t)dt = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\theta_0} u_C^2 \, d\theta = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\theta_0} V_m^2 \sin^2\theta \, d\theta = \frac{V_m^2}{4\pi}\left(\theta_0 - \frac{\sin 2\theta_0}{2}\right)$$

Donc $U_C = \frac{V_m}{2}\sqrt{\frac{2\theta_0 - \sin 2\theta_0}{2\pi}}$

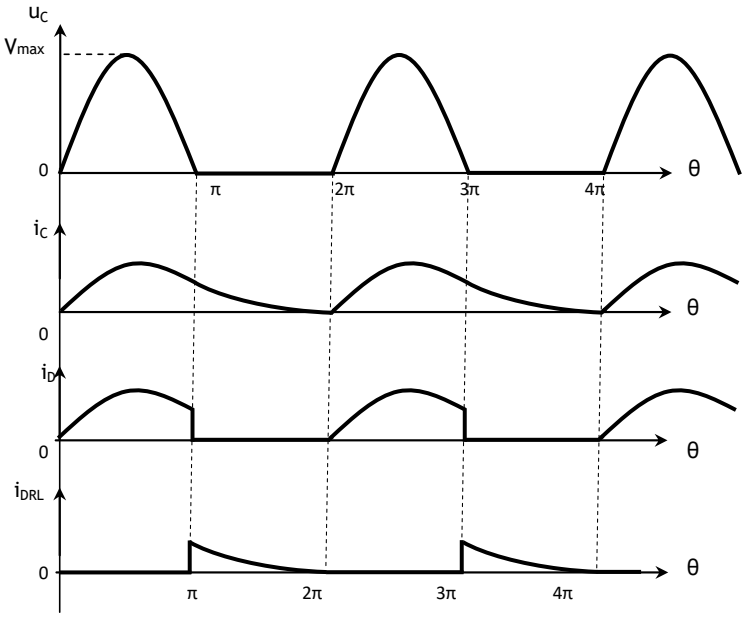
Remarque : La charge inductive introduit un retard à l'établissement et à l'extinction du courant. La tension u_C redressée étant en partie négative, sa valeur moyenne est réduite par rapport au cas d'une charge résistive. De plus, la conduction forcée est un phénomène susceptible de

mettre en péril la diode. On emploie alors une diode dite de "roue libre" montée en parallèle inverse avec la charge inductive.

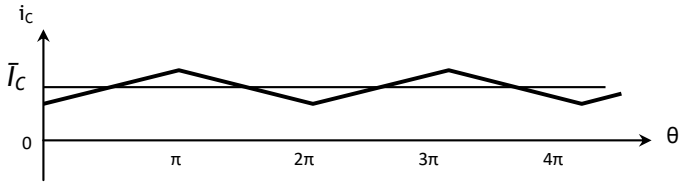


Charge inductive améliorée (avec diode de roue libre)

Dès que la tension u_C tend à devenir négative, la diode de roue libre D_{RL} se met à conduire, court-circuitant et démagnétisant la bobine qui a emmagasinée de l'énergie. La self restitue alors cette énergie à par la diode de roue libre.



Remarque : Si l'énergie emmagasinée est suffisante (très grande), le courant ne s'annule pas : c'est une conduction continue. De plus, si $\frac{L}{R} >> T$ (L très grand), le courant i_C reflète une conduction continue assimilable à des segments de droite, confondus dans un cas extrême au courant moyen $\bar{I}_C$: on dit que le courant est lissé.



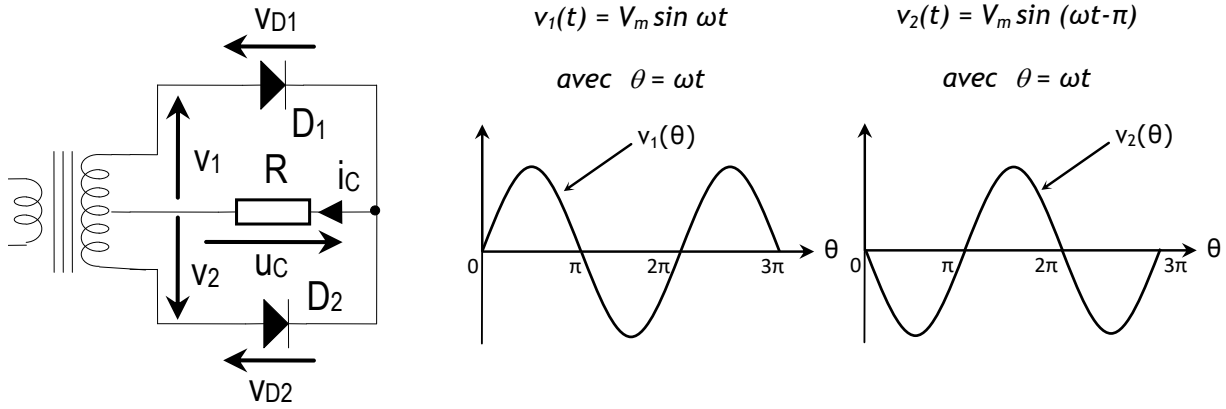
Remarque : De manière générale, ces convertisseurs redresseurs étudiés ne prennent en compte qu'une seule alternance de la tension v(t) au secondaire du transformateur monophasé. Ils réalisent donc un redressement **mono** ou **simple alternance**.

2-2 Montages P2

Ces montages utilisent un transformateur à point milieu qui au secondaire produit deux tensions alternatives sinusoïdales en opposition de phase.

2-2-1 Débit sur charge résistive

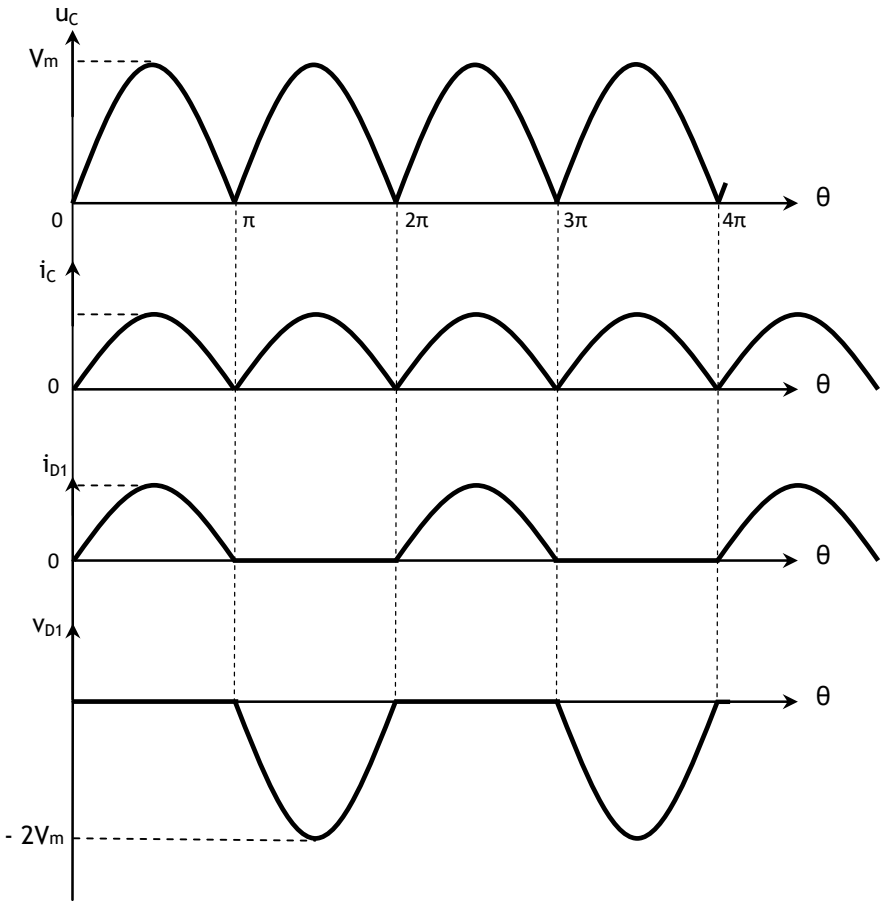
Schéma de principe



Fonctionnement

θ	0 π 2π	
Etat de D_1	Passant	Bloqué
Etat de D_2	Bloqué	Passant
u_C	$v_1(\theta)$	$v_2(\theta)$
v_{D1}	0	$v_1(\theta) - v_2(\theta)$
v_{D2}	$v_2(\theta) - v_1(\theta)$	0
I_C	$\frac{v_1(\theta)}{R}$	$\frac{v_2(\theta)}{R}$
I_{D1}	$\frac{v_1(\theta)}{R}$	0
I_{D2}	0	$\frac{v_2(\theta)}{R}$

Graphes



Grandeurs caractéristiques

- *Valeur moyenne de u_C*

$$U_{Cmoy} = \frac{1}{T}\int_T u_C(t)dt = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V_m \sin\theta \, d\theta = \frac{2V_m}{\pi}$$

- *Valeur efficace de u_C*

$$U_C^2 = \frac{1}{T}\int_T u_C^2(t)dt = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V_m^2 \sin^2\theta d\theta = \frac{V_m^2}{2}$$

Donc $U_C = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$

- *Valeur moyenne de i_C*

$u_C = Ri_C$ donc $I_{Cmoy} = \frac{2V_m}{\pi R}$

- *Facteur de forme*

$$F = \frac{U_C}{U_{Cmoy}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1{,}11$$

- *Taux d'ondulation*

$\tau = \sqrt{F^2-1} = 0{,}48$

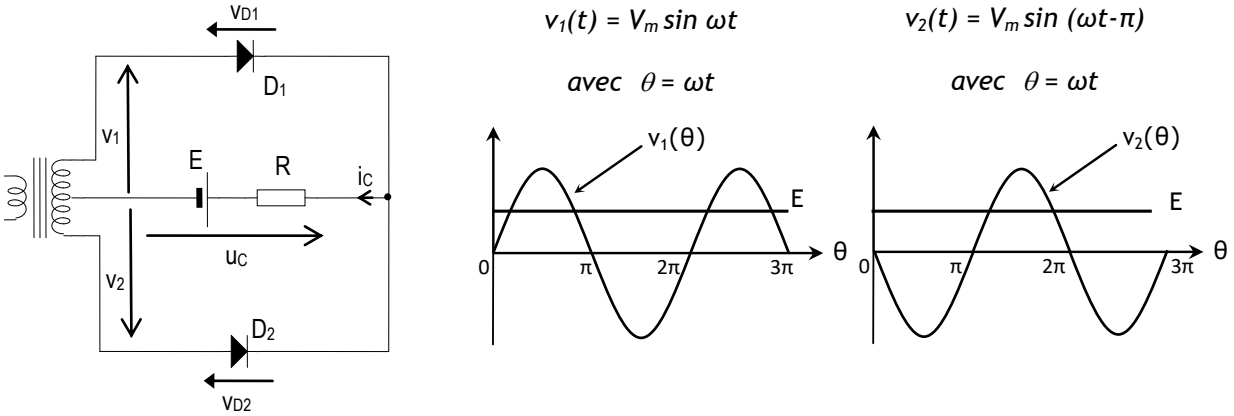
Remarque : Le facteur de forme est plus proche de 1 et le taux d'ondulation, plus proche de 0. on obtient une tension redressée plus proche du continu constant qu'avec le montage P1.

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

$V_{RRM} = 2V_m$

2-2-2 Débit sur charge active

Schéma de principe



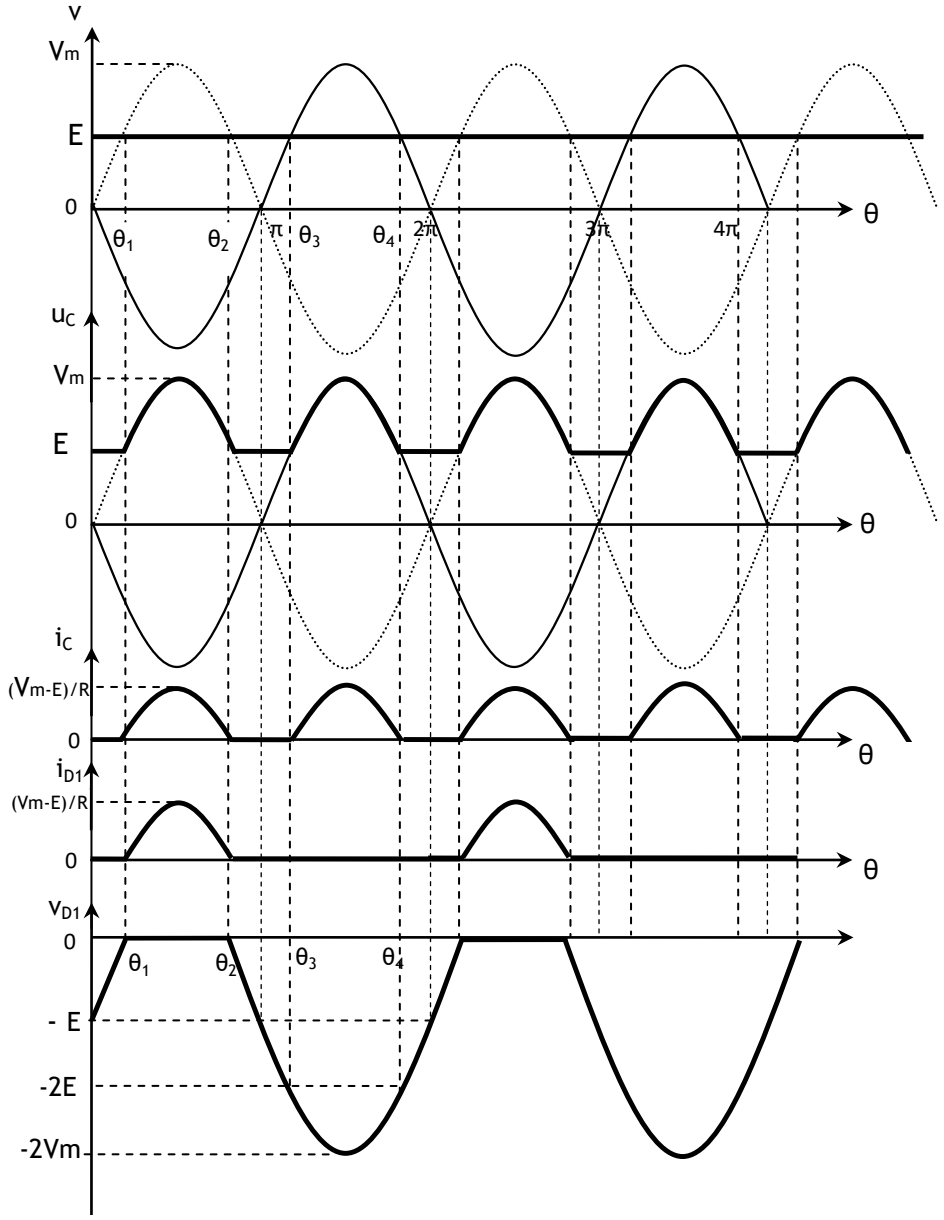
Fonctionnement

Les diodes D_1 et D_2 conduisent respectivement si et seulement si $v_1(\theta)>E$ et si $v_2(\theta)>E$. Sinon, elles sont bloquées. On obtient ainsi quatre angles limites de conduction :

- pour D_1 : $\theta_1 = \text{Arcsin}\frac{E}{V_m}$ et $\theta_2 = \pi - \theta_1$
- pour D_2 : $\theta_3 = \theta_1 + \pi$ et $\theta_4 = \theta_2 + \pi$

θ	0	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	2π
Etat de D_1	Bloqué	Passant	Bloqué	Bloqué	Bloqué	
Etat de D_2	Bloqué	Bloqué	Bloqué	Passant	Bloqué	
u_C	E	$v_1(\theta)$	E	$v_2(\theta)$	E	
v_{D1}	$v_1(\theta) - E$	0	$v_1(\theta) - E$	$v_1(\theta) - v_2(\theta)$	$v_1(\theta) - E$	
v_{D2}	$v_2(\theta) - E$	$v_2(\theta) - v_1(\theta)$	$v_2(\theta) - E$	0	$v_2(\theta) - E$	
i_C	0	$\frac{v_1(\theta) - E}{R}$	0	$\frac{v_2(\theta) - E}{R}$	0	
i_{D1}	0	$\frac{v_1(\theta) - E}{R}$	0	0	0	
i_{D2}	0	0	0	$\frac{v_2(\theta) - E}{R}$	0	

Graphes



Grandeurs caractéristiques

- *Valeur moyenne de u_C*

$$U_{Cmoy} = \frac{1}{T}\int_T u_C(t)dt = \frac{1}{\pi}\int_{\theta_1}^{\theta_3} u_C\, d\theta = \frac{1}{\pi}\int_{\theta_1}^{\theta_2} V_m \sin\theta\, d\theta + \frac{1}{\pi}\int_{\theta_2}^{\theta_3} E d\theta = \frac{2}{\pi}(V_m\cos\theta_1 + E\theta_1)$$

- *Valeur efficace de u_C*

$$U_C^2 = \frac{1}{T}\int_T u_C^2(t)dt = \frac{1}{\pi}\int_{\theta_1}^{\theta_3} u_C^2\, d\theta = \frac{2E^2}{\pi}\theta_1 + \frac{V_m^2}{2\pi}(\pi - 2\theta_1 + \sin 2\theta_1)$$

$$\text{Donc } U_C = \sqrt{\frac{2E^2}{\pi}\theta_1 + \frac{V_m^2}{2\pi}(\pi - 2\theta_1 + \sin 2\theta_1)}$$

- *Valeur moyenne de i_C*

$u_C = E + Ri_C$ donc $I_{Cmoy} = \frac{U_{Cmoy}-E}{R}$