

CHIII : REDRESSEMENT COMMANDE: MONTAGES P1 - P2

1. Définition

Le redressement commandé est la conversion de tension (s) alternative (s) (de valeur moyenne nulle) en une tension continue de valeur moyenne réglable, utilisant des interrupteurs commandables notamment des thyristors.

2. Thyristor

2-1 Définition

Le thyristor est un dispositif à semi-conducteur à conduction unidirectionnelle commandée. Il dispose d'une électrode de commande appelée gâchette.

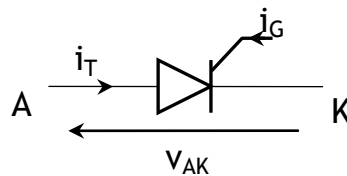


Fig.1 Symbole

2-2 Caractéristique courant-tension

La caractéristique courant-tension du thyristor se présente comme suit :

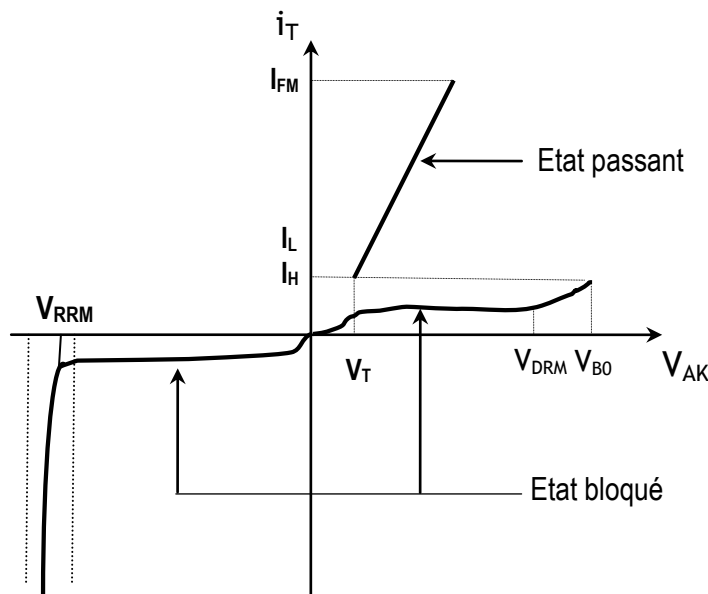


Fig.2 Caractéristique réelle courant-tension

Où I_H est le courant hypostatique ou de maintien (valeur minimale nécessaire pour la conduction),
 I_{FM} , le courant direct maximal,
 I_L , le courant d'accrochage,
 V_T , la tension de seuil,
 V_{BO} , la tension de retournement,

V_{RRM} , la tension inverse maximale (de pointe répétitive).

2-3 Fonctionnement

- Si $V_{AK} < 0$, quelque soit le courant de gâchette i_G , le thyristor est bloqué : c'est l'état bloqué inverse.
- Si $V_{AK} > 0$ et $i_G=0$ (i_G insuffisant), le thyristor est bloqué : c'est l'état bloqué direct.
- Si $V_{AK} > 0$ et i_G suffisant, la tension V_{AK} chute et le thyristor s'amorce.
 Ensuite, si $i_T > i_L$ le courant i_G peut s'annuler et la conduction entre anode et cathode persistera.

En conduction, le thyristor se bloque si $V_{AK} < 0$ ou si $i_T < i_H$.

Remarque :

- En électronique de puissance, le thyristor est utilisé en interrupteur électronique. Lorsqu'il est passant, $V_{AK} = 0$.
- Le décalage entre l'instant où $V_{AK} > 0$ et celui où l'on applique l'impulsion de courant de gâchette est appelé temps de retard à l'amorçage t_0 . À t_0 , on fait correspondre un angle α , angle d'amorçage ou de retard à l'amorçage.

3. Etude des montages

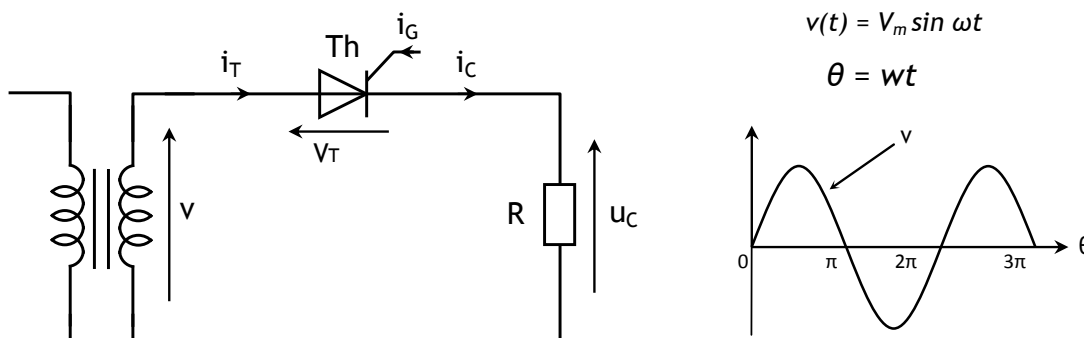
L'amorçage du thyristor s'effectue avec un retard t_0 après chaque début de période T .

Le signal de gâchette étant synchronisé avec celui de la tension d'entrée alternative, l'angle $\alpha = \omega t_0$ est l'angle de retard à l'amorçage ou d'amorçage.

3-1 Montage P1

3-1-1 Débit sur charge résistive

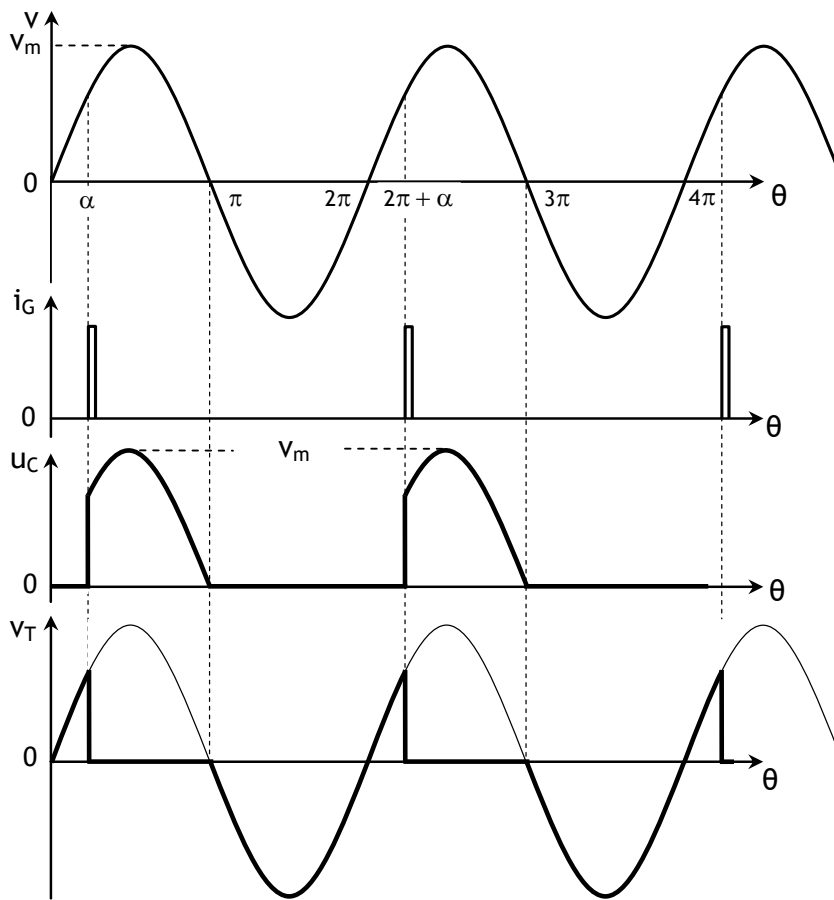
Schéma de principe



Fonctionnement

θ	0	α	π	2π
Etat de Th	Bloqué direct	Passant	Bloqué inverse	
u_c	0	$v(\theta)$	0	
v_T	$v(\theta)$	0	$v(\theta)$	
i_T	0	$\frac{v(\theta)}{R}$	0	
i_c	0	$\frac{v(\theta)}{R}$	0	

Graphes

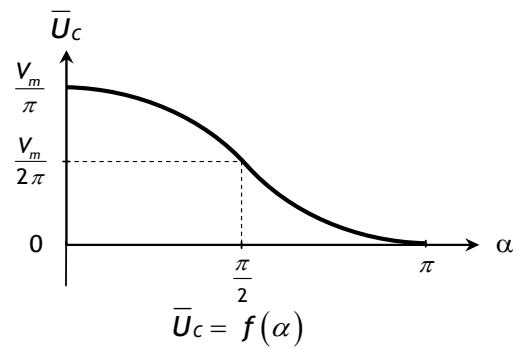


Grandeurs caractéristiques

- Valeur moyenne de u_c

$$U_{Cmoy} = \frac{1}{T} \int_T u_c(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin\theta d\theta = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos\alpha)$$

Pour $\alpha \in [0; \pi]$ $U_{Cmoy} \in \left[0; \frac{V_m}{\pi}\right]$



- Valeur efficace de u_C

$$U_C^2 = \frac{1}{T} \int_T u_C^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_\alpha^\pi V_m^2 \sin^2 \theta d\theta = \frac{V_m^2}{4\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right] \text{ avec } \sin^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{2}$$

Donc

$$U_C = \frac{V_m}{2} \sqrt{\frac{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha}{2\pi}}$$

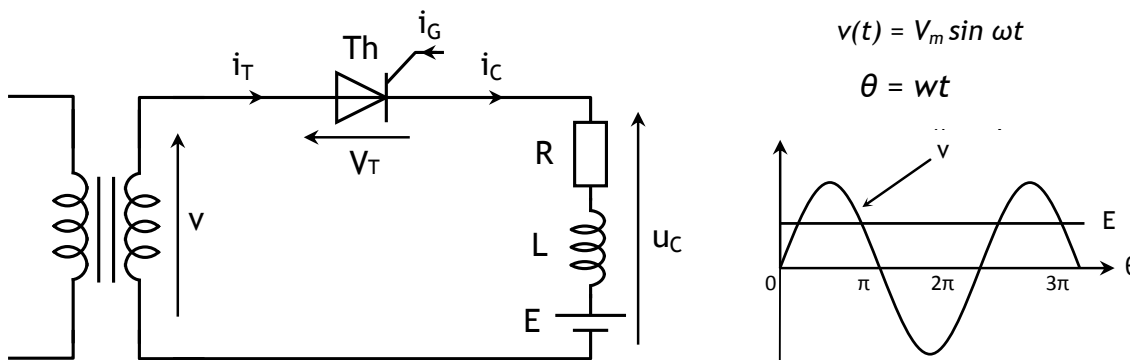
Pour $\alpha \in [0; \pi]$ $U_C \in \left[0; \frac{V_m}{2} \right]$

- Valeur moyenne de i_C

$u_C = Ri_C$ donc $I_{C\text{moy}} = \frac{V_m}{2\pi R} (1 + \cos \alpha)$

3-1-2 Débit sur charge active R, L, E

Schéma de principe



Fonctionnement

En considérant les deux angles limites de conduction θ_1 et θ_2 tels que $\theta_1 = \text{Arcsin} \frac{E}{V_m}$ et $\theta_2 = \pi - \theta_1$, on n'a amorçage que si $\alpha > \theta_1$ et à partir de θ_2 , le thyristor est en polarisation inverse.

En conduction discontinue, on a le fonctionnement suivant :

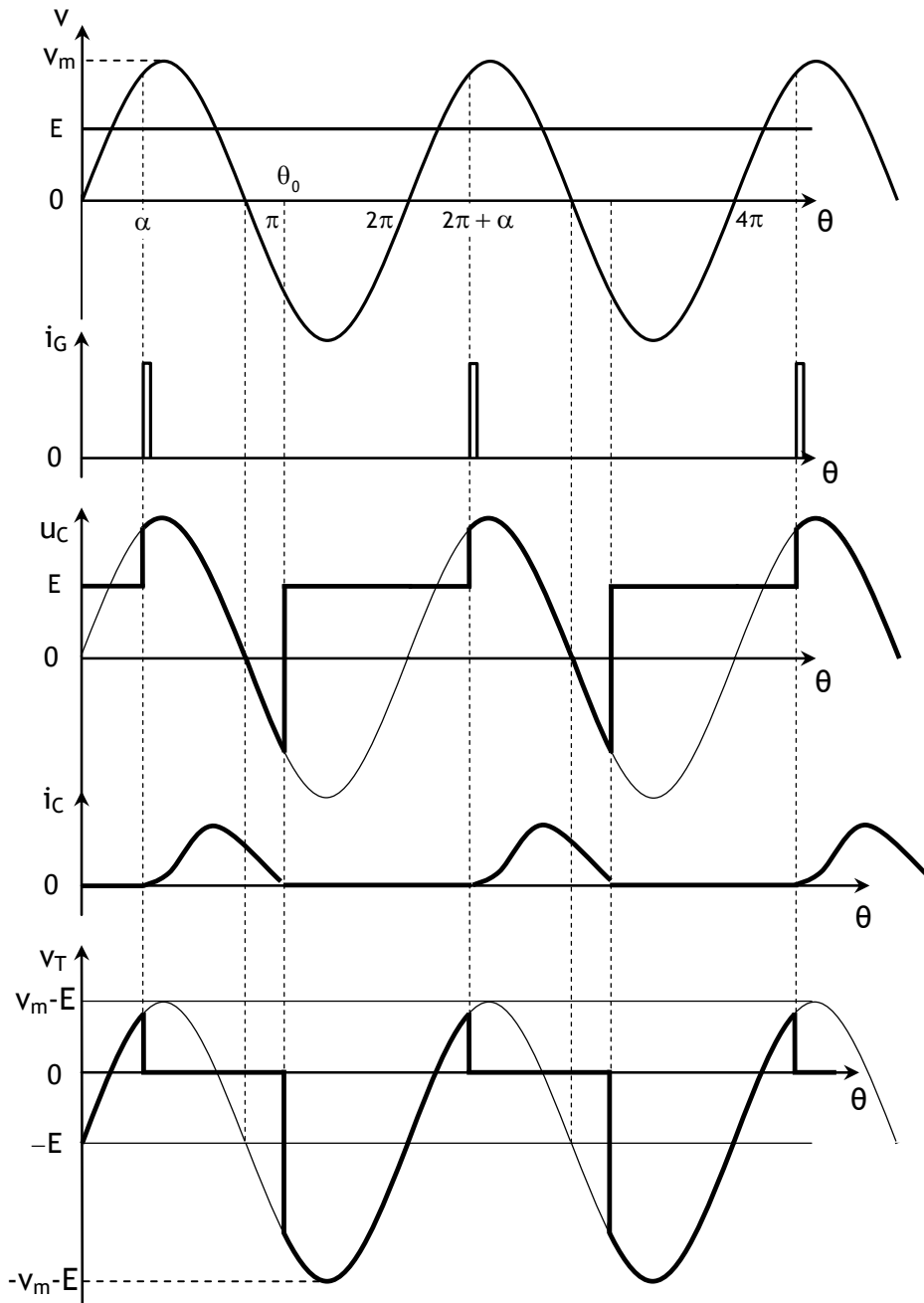
θ	0	α	θ_0	2π
Etat de Th	Bloqué	Passant	Bloqué	Bloqué
u_C	E	$v(\theta)$	E	E
v_T	$v(\theta) - E$	0	$v(\theta) - E$	$v(\theta) - E$
i_T	0	$i(\theta)$	0	0
i_C	0	$i(\theta)$	0	0

Remarque : À partir de θ_2 , le thyristor bien qu'en polarisation inverse, est en conduction forcée à cause de la self qui a emmagasiné de l'énergie pendant la phase normale de conduction. Il conduit donc jusqu'à un angle d'extinction θ_0 où toute l'énergie est évacuée.

Pendant la conduction, le courant ($i_T=i_C=i$) est solution de l'équation différentielle suivante :

$$L \frac{di}{dt} + Ri + E = v(t)$$

Graphes



Grandeurs caractéristiques

- Valeur moyenne de u_C

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

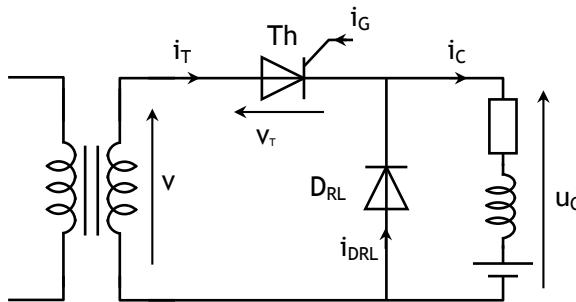
- Valeur efficace de u_C

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

Donc

$$U_C = \sqrt{\frac{E^2}{2\pi} (2\pi - \theta_0 + \alpha) + \frac{V_m^2}{4\pi} \left(\pi - \alpha - \frac{\sin 2\theta_0 - \sin 2\alpha}{2} \right)}$$

Remarque : On peut améliorer le montage en montant en parallèle sur la charge, une **diode D_{RL} dite de roue libre**.



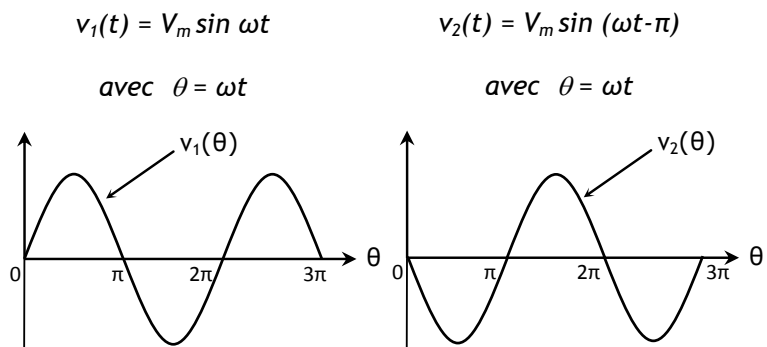
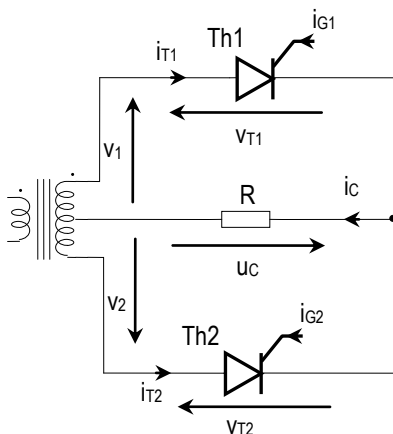
Dans ces conditions, entre π et θ_0 , la diode de roue libre conduit et $u_C=0$.

3-2 Montages P2

Ces montages utilisent un transformateur à point milieu qui au secondaire produit deux tensions alternatives sinusoïdales en opposition de phase. L'amorçage des thyristors est effectué avec un angle de retard α sur le début de chaque demi-période.

3-2-1 Débit sur charge résistive

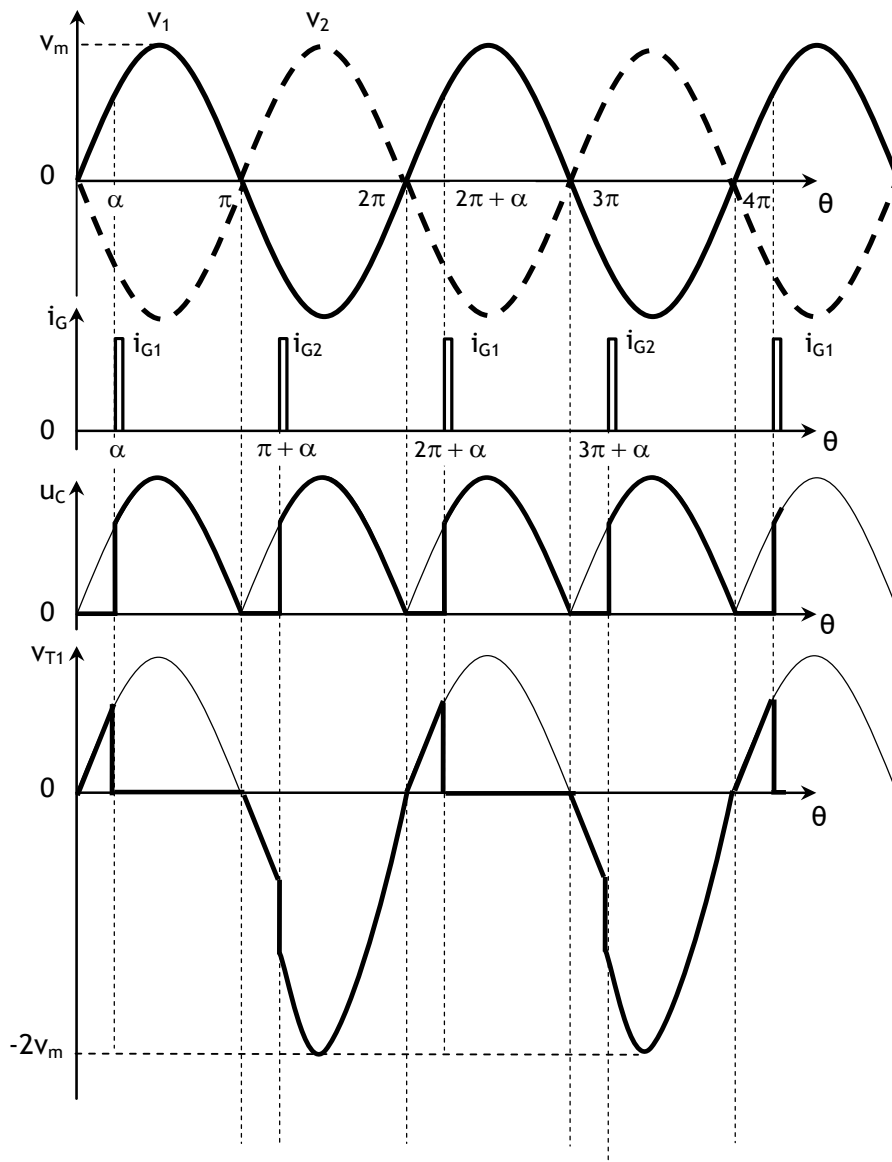
Schéma de principe



Fonctionnement

θ	0	α	π	$\pi+\alpha$	2π
Etat de Th ₁	Bloqué	Passant	Bloqué	Bloqué	Bloqué
Etat de Th ₂	Bloqué	Bloqué	Bloqué	Passant	Passant
u_c	0	$v_1(\theta)$	0	$v_2(\theta)$	$v_2(\theta)$
v_{T1}	$v_1(\theta)$	0	$v_1(\theta)$	$v_1(\theta) - v_2(\theta)$	$v_1(\theta) - v_2(\theta)$
v_{T2}	$v_2(\theta)$	$v_2(\theta) - v_1(\theta)$	$v_2(\theta)$	0	0
i_c	0	$\frac{v_1(\theta)}{R}$	0	$\frac{v_2(\theta)}{R}$	$\frac{v_2(\theta)}{R}$
i_{T1}	0	$\frac{v_1(\theta)}{R}$	0	0	0
i_{T2}	0	0	0	0	$\frac{v_2(\theta)}{R}$

Graphes



Grandeurs caractéristiques

- Valeur moyenne de u_C

$$U_{C\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_T u_C(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \theta d\theta = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

- Valeur efficace de u_C

$$U_C^2 = \frac{1}{T} \int_T u_C^2(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \theta d\theta = \frac{V_m^2}{2\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)$$

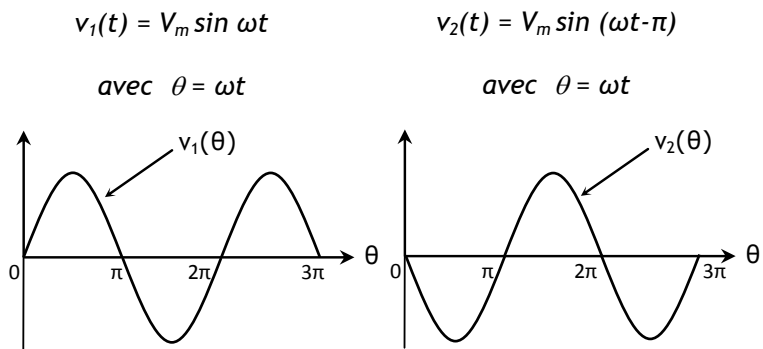
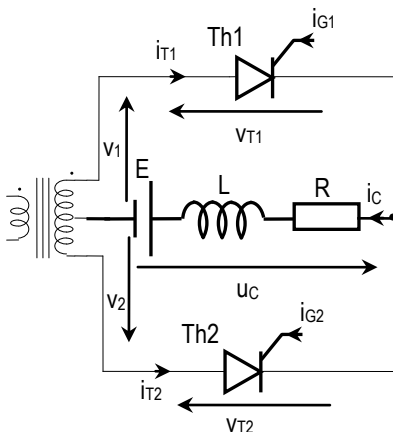
Donc

$$U_C = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha}{2\pi}}$$

- Tension inverse maximale aux bornes d'une diode : $V_{RRM} = 2V_m$

3-2-2 Débit sur charge R, L, E

Schéma de principe



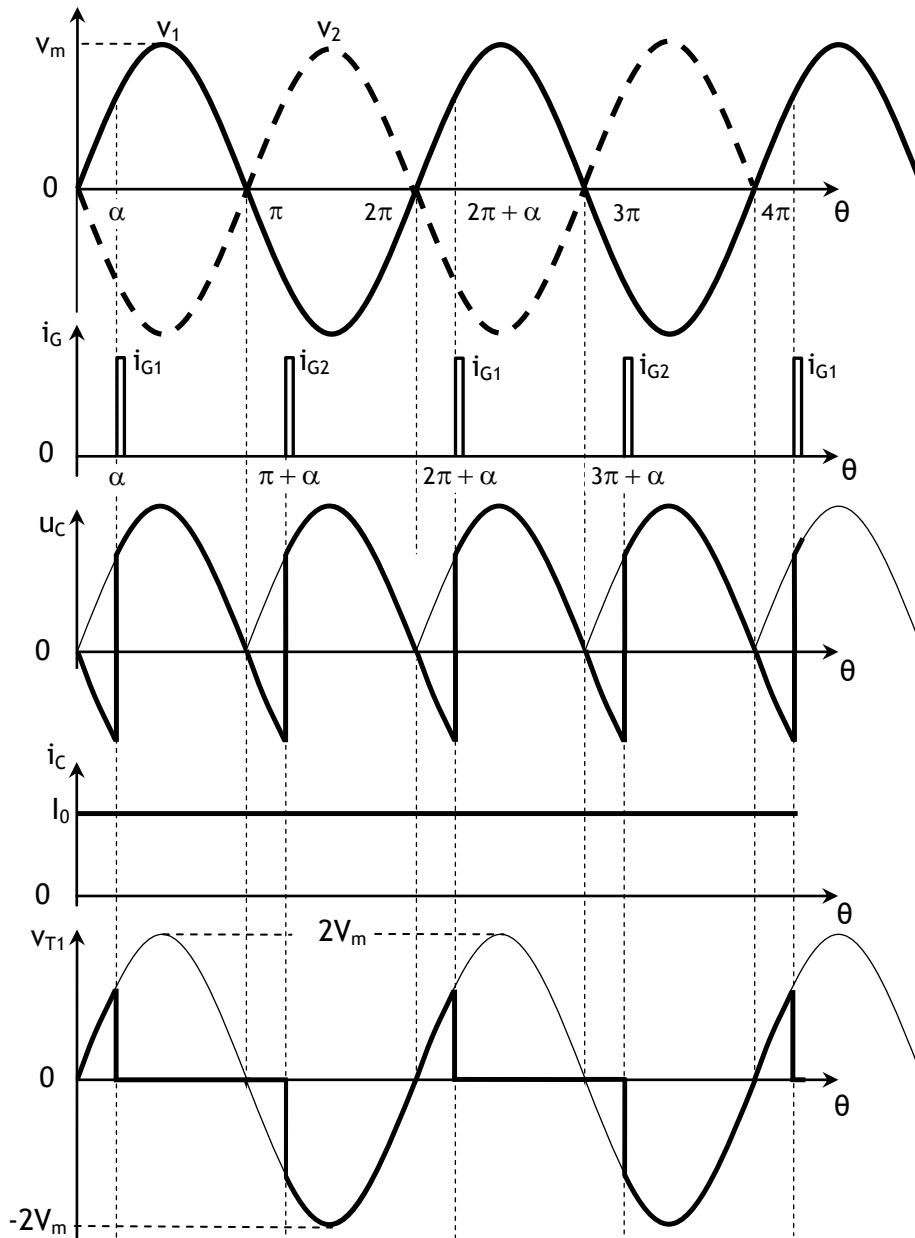
Fonctionnement

On suppose la charge suffisamment selfique de manière à considérer un régime de conduction continue avec un courant i_C de charge constant et égal à sa valeur moyenne I_0 .

L'existence d'un courant ininterrompu dans la charge implique toujours la conduction d'un thyristor.

θ	0	α	π	$\pi + \alpha$	2π
Etat de Th ₁	Bloqué	Passant	Passant	Bloqué	
Etat de Th ₂	Passant	Bloqué	Bloqué	Passant	
u_C	$v_2(\theta)$	$v_1(\theta)$	$v_1(\theta)$	$v_2(\theta)$	
v_{T1}	$v_1(\theta) - v_2(\theta)$	0	0	$v_1(\theta) - v_2(\theta)$	
v_{T2}	0	$v_2(\theta) - v_1(\theta)$	$v_2(\theta) - v_1(\theta)$	0	
i_C	I_0	I_0	I_0	I_0	
i_{T1}	0	I_0	I_0	0	
i_{T2}	I_0	0	0	I_0	

Graphes



Grandeurs caractéristiques

- Valeur moyenne de u_c

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

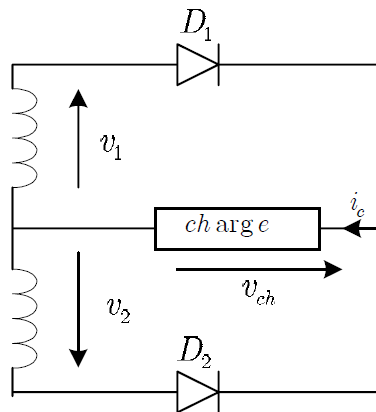
- Valeur efficace de u_c

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

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

TRAVAUX DIRIGES

On considère le montage ci-après dans lequel les diodes sont supposées idéales. Les tensions v_1 et v_2 sont fournies par un transformateur à point milieu tel $v_1 = -v_2 = V_m \sin \theta$, $V_m = 24V$.



Les diodes D_1 et D_2 sont remplacées par des thyristors Th_1 et Th_2 , et on suppose que la charge de type R,L avec $R = 1\Omega$ est fortement inductive de sorte que le courant de charge soit supposé constant et égal à I_0 .

1. Calculer l'angle d'amorçage α des thyristors pour $v_{ch\text{moy}} = 0$.
2. Indiquer leurs intervalles de conduction.
3. Représenter v_{ch} , i_{T2} .
4. Exprimer $I_{T2\text{moy}}$.

EXERCICE II

Une charge résistive $R = 100\Omega$ est alimentée à travers un thyristor Th supposé parfait par une source de tension alternative sinusoïdale $v = V_m \cos \omega t$, $V_m = 220V$ ($f=50\text{Hz}$).

Le temps de retard à l'amorçage est 2 ms.

1. Donner le schéma du montage.
2. Analyser le fonctionnement.
3. Tracer v et u_c , tension aux bornes de la charge.
4. Calculer $u_{C\text{moy}}$ et U_C .