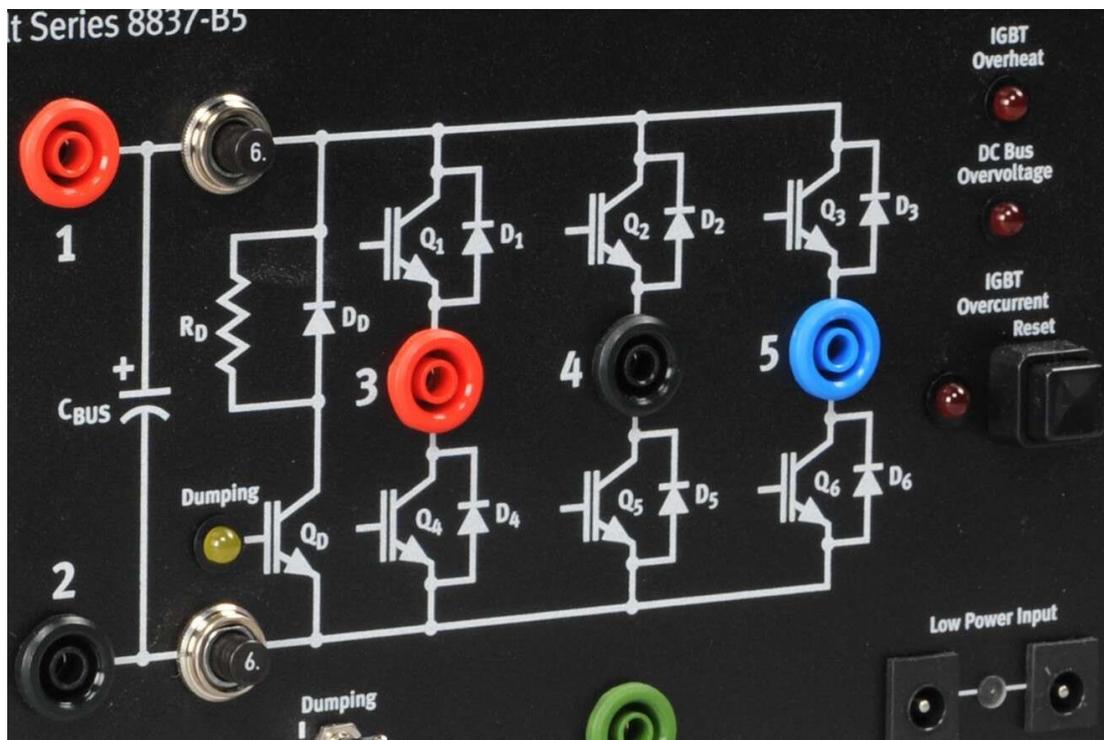


Electroniques de puissance



EL KACEM EL MOSTAFA

Les composants de l'électronique de puissance

L'électronique de puissance est l'électronique des courants forts, qui utilise des semi-conducteurs en mode commutation tel que diodes, transistors, thyristors et IGBT ...etc.

Rappel : interrupteur idéal et réel

- Ouvert : aucun courant ne le traverse, $i = 0$, le composant est soumis à la tension inverse
- Fermé : il est assimilé à un fil sans résistance, $u = 0$ pour un **interrupteur idéal**
- Fermé : il est assimilé à un fil de résistance R avec une de tension de seuil à ses bornes pour un **interrupteur réel**.

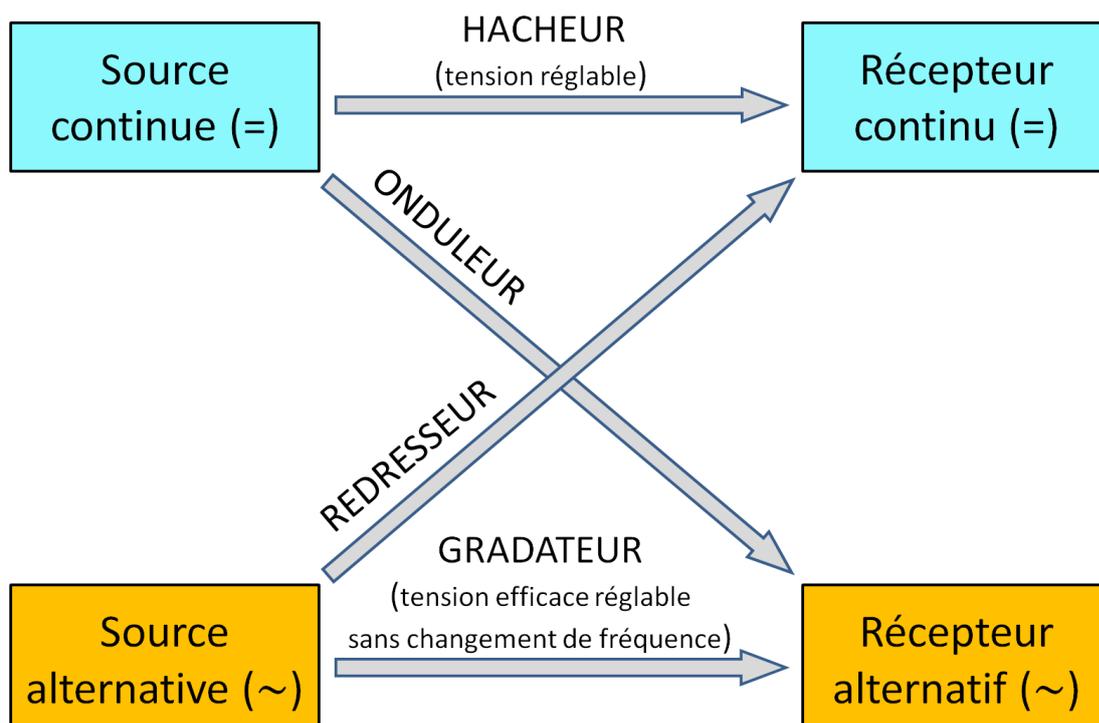
Le passage d'un état à l'autre s'appelle commutation :

- d'ouvert à l'état fermé : fermeture ou amorçage.
- de fermé à l'état ouvert : ouverture ou blocage.

Les composants de l'électronique de puissance sont utilisés dans les convertisseurs statiques, ces derniers sont capables de modifier la tension et/ou la fréquence de l'onde électrique.

On distingue deux types de sources de tension :

- ✚ Sources de tension continues caractérisées par la valeur V de la tension avec $f = 0$ Hz.
- ✚ Sources de tension alternatives définies par les valeurs de la tension efficace V et de la fréquence f .



DIODE DE PUISSANCE

Du point de vue de l'électronique de puissance, la diode est un interrupteur non commandé ; Elle laisse passer le courant dans un seul sens, de l'Anode vers la cathode.

Reprenant le principe de la jonction PN de la diode « signal », celle-ci utilise une jonction PIN (I comme Intrinsèque) constituée d'un empilement P +/N-/N+ (Figure 1). La zone intermédiaire N- assure une bonne tenue en tension.

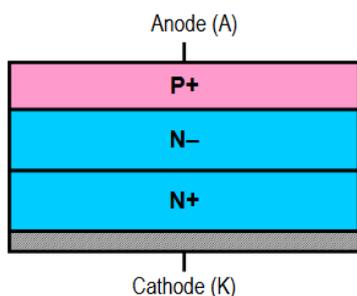


Figure 1 : diode PIN

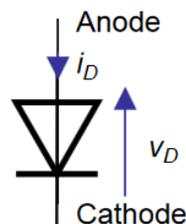


Figure 2 : symbole de la diode de puissance et notations.

Fonctionnement de la diode réelle

En polarisation directe la tension V_D est positive et présente les imperfections suivantes :

- Tension de seuil V_{D0} (de 0,8 à 2 V) ;
- Résistance dynamique R_{D0} (de 10 à 100 m Ω).

En inverse, le courant est quasi nul puis croît brutalement lors du claquage qui est un phénomène destructif pour le composant (VRM de 200 à 1000 V couramment).

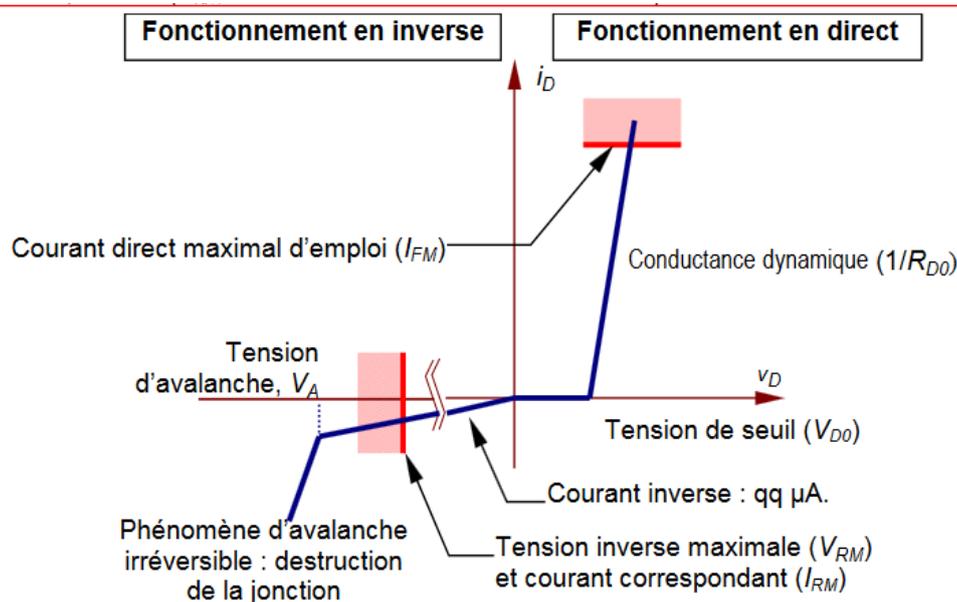
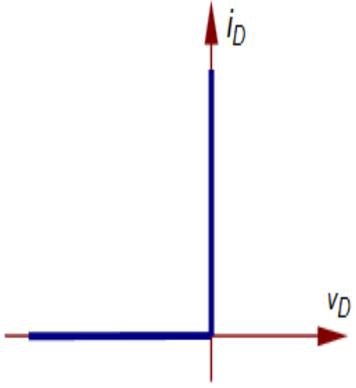
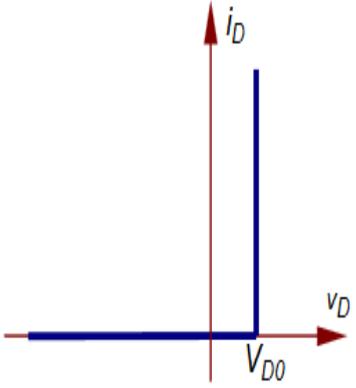
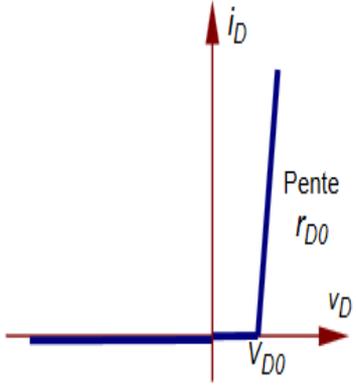
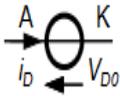
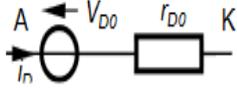
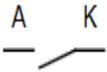
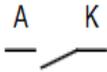
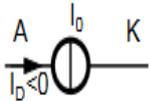


Figure 3: caractéristique tension-courant de la diode.

Le modèle parfait

Pour les études des montages utilisant des diodes de puissance, on utilise les modèles plus ou moins simplifiés indiqués dans le Tableau

		
<p>En direct : $v_D = 0, \forall i_D.$</p> 	<p>En direct : $v_D = V_{D0}$</p> 	<p>En direct : $v_D = V_{D0} + r_{D0} \cdot i_D$</p> 
<p>En inverse : $i_D = 0, \forall v_D.$</p> 	<p>En inverse : $i_D = 0, \forall v_D.$</p> 	<p>En inverse : $i_D = I_0.$</p> 

Pertes en conduction

Il convient à l'utilisateur de déterminer ces valeurs dans le cas de son application pour évaluer les pertes moyennes en conduction (ou puissance dissipée) :

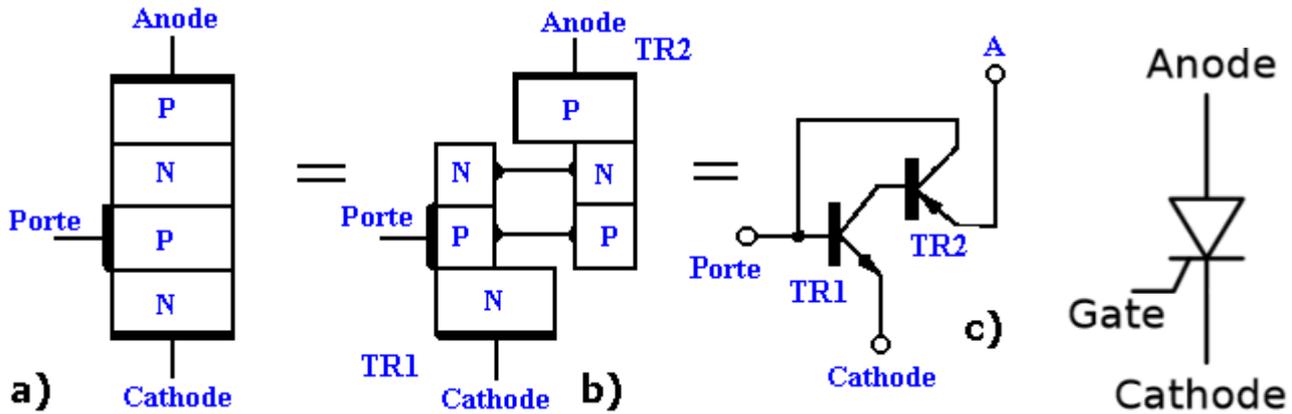
$$P_d = V_{D0} \cdot I_{F0} + r_{D0} \cdot I_{F\text{eff}}^2$$

En direct, il ne faut pas dépasser le courant maximal IFM (en valeur moyenne) et le courant maximal répétitif (IFRM) pendant un court instant. En inverse, la tension d'avalanche n'est pas atteinte car le constructeur définit la tension inverse maximale (VRM) à ne pas dépasser.

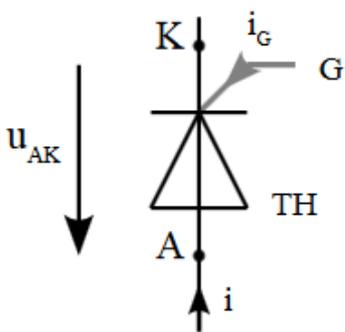
LE THYRISTOR

Définition :

Un thyristor ou SCR (Silicon Controlled Rectifier, soit « redresseur silicium commandé »), est un interrupteur électronique semi-conducteur à quatre couches, alternativement dopées N et P. C'est un des composants essentiels de l'électronique de puissance.



Principe de fonctionnement :



Un thyristor possède une anode A et une cathode K ainsi qu'une gâchette G.

Pour qu'un thyristor conduise (interrupteur fermé) :

il faut que la tension $U_{AK} \geq 0$, et envoyer un courant i_G dans la gâchette pour amorcer le thyristor.

Dès que ces deux conditions sont remplies, le thyristor conduit tant que le courant i qui circule dans le thyristor de l'anode vers la cathode reste positif. Dès que le thyristor entre en conduction, il n'est plus nécessaire de faire circuler un courant i_G dans la gâchette.

Pour qu'un thyristor se bloque (interrupteur ouvert), il suffit que le courant i s'annule ou d'appliquer une tension U_{AK} fortement négative.

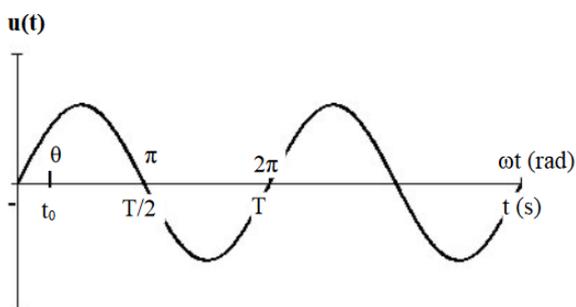
On appelle

θ , l'angle d'amorçage du thyristor.

t_0 , l'instant d'amorçage du thyristor.

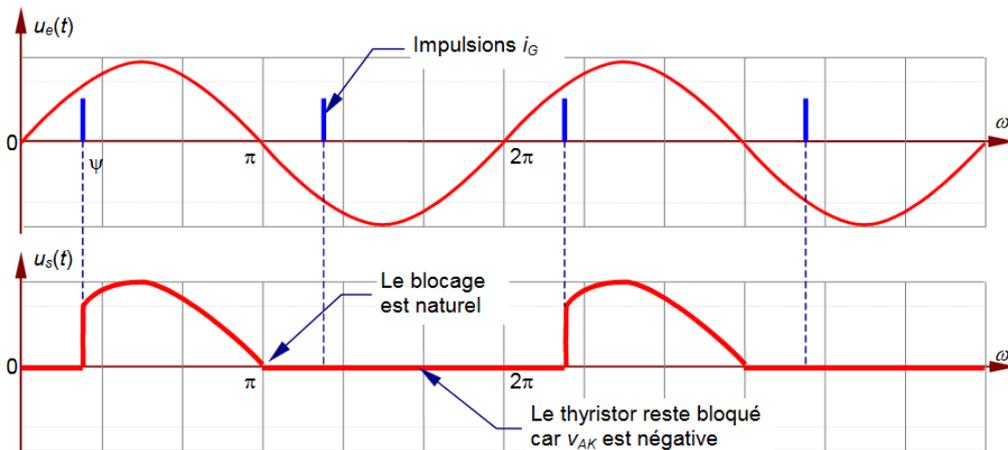
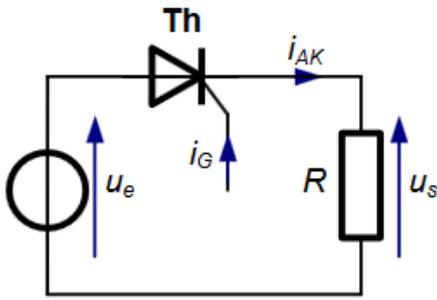
L'angle ou l'instant d'amorçage est repéré par rapport au passage par zéro de la tension d'alimentation du pont.

Rappel : une tension $u(t)$ alternative sinusoïdale a pour période temporelle T , période angulaire 2π rad (360°)



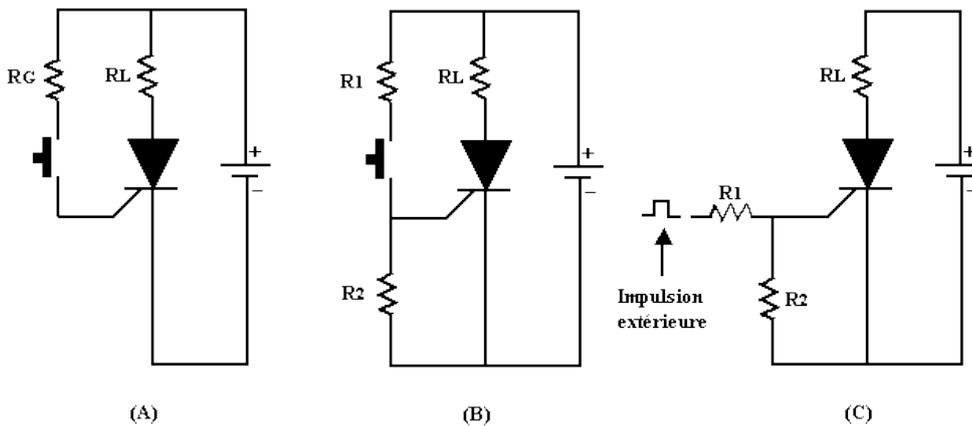
Fonctionnement d'un thyristor sur une charge résistive :

On utilise le montage ci-dessous. La charge est une résistance R .



Circuits d'amorçage en courant continu :

Normalement, l'amorçage du thyristor a lieu si un courant approprié circule dans la gâchette. Ce courant peut être injecté par l'un ou l'autre des procédés suivants :

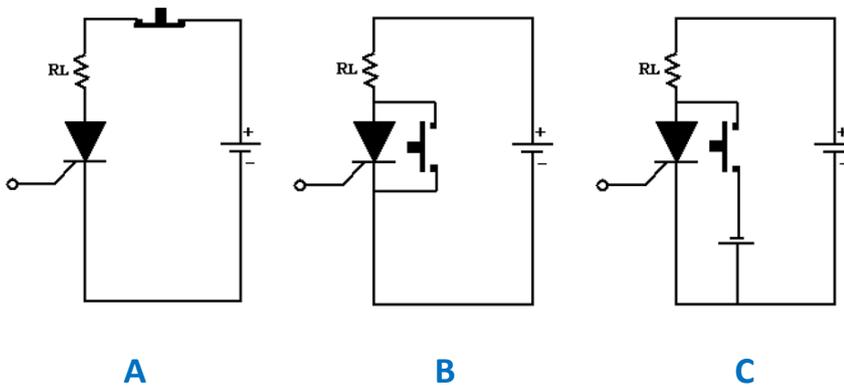


Le circuit **A** est le plus simple. On place entre l'alimentation et la gâchette, une résistance dont la valeur fixe le courant i_G à une intensité adéquate. L'interrupteur amorce le SCR.

Le circuit **B** utilise un diviseur de tension qui applique à la gâchette une fraction de la tension principale. La valeur de ce potentiel doit être suffisante pour polariser la gâchette du SCR. On la fixe aux environs de 0.6 à 0.8 volts.

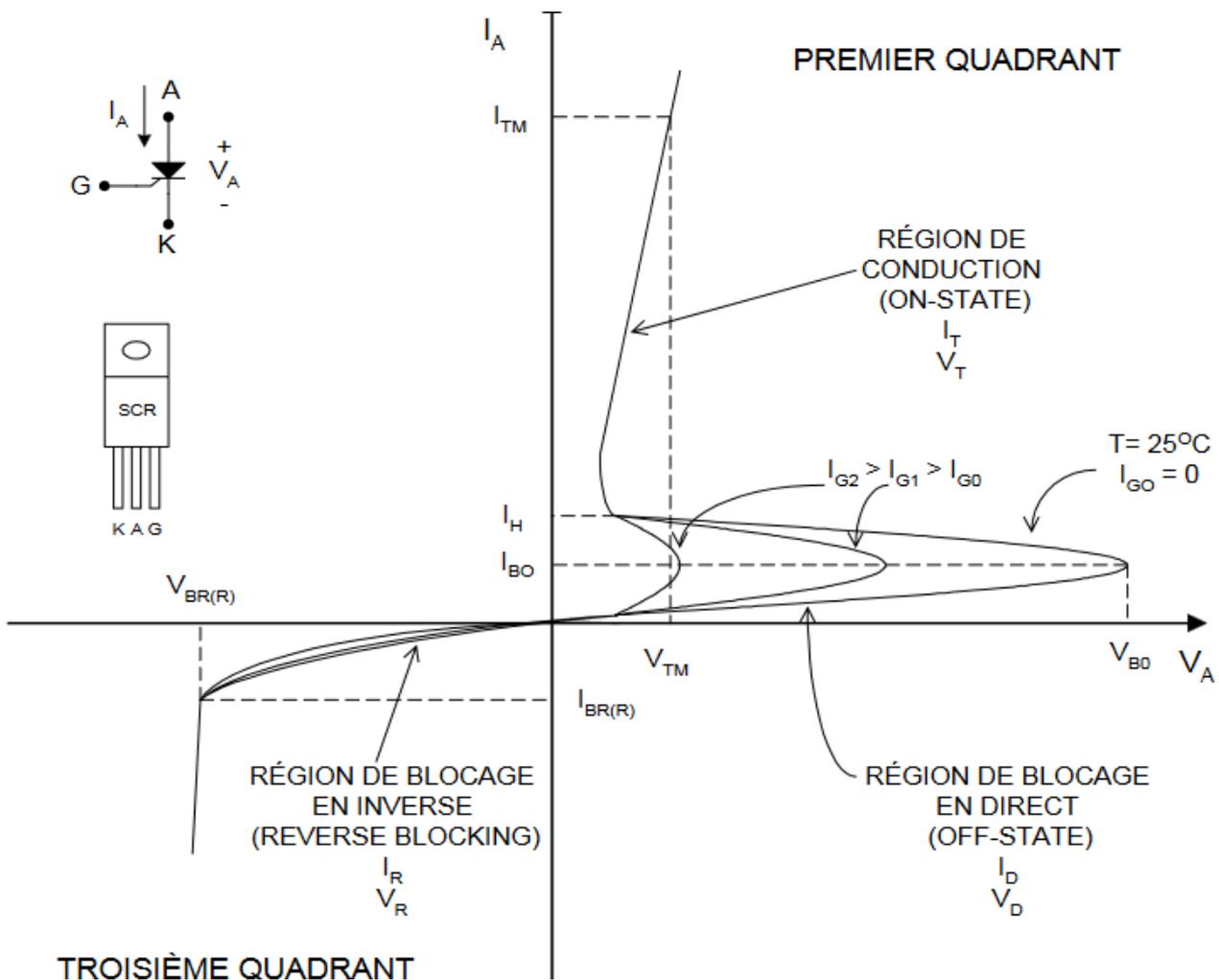
Enfin le SCR du circuit **C** n'utilise pas d'interrupteur car il reçoit ses impulsions de déclenchement d'un autre circuit constitué de transistors bipolaires. Les résistances R_1 et R_2 forment encore ici un diviseur de tension qui ajuste la tension de gâchette à la bonne valeur.

Désamorçage d'un SCR :



- Le plus simple des procédés consiste à couper, purement et simplement, l'arrivée du courant dans le circuit d'anode (fig. A).
- Le court-circuit impulsif, entre anode et cathode (fig. B), donne le même résultat.
- L'application d'une tension inverse (fig. C) est une solution intéressante si l'on dispose d'une source de tension auxiliaire.
- En alternatif, le désamorçage est automatique à la fin de chaque demi-cycle passant et il n'y a pas de conduction possible durant les demi-cycles inverses

Courbe caractéristique IA -U A



Spécifications des fabricants

Dans les fiches techniques publiées par les fabricants figurent toutes les informations nécessaires pour faciliter le choix d'un SCR pour une application donnée. Le tableau ci-dessous présente la fiche technique du SCR C106.

Caractéristiques du SCR C106 :

Région de conduction :

Courant direct max. : $I_{TM}=5\text{amp.}$

Tension directe max. : $U_{TM}=1.7\text{V}$

Courant de maintien : $I_H=5\text{mA max.}$

Région de blocage en inverse :

Courant d'avalanche : $I_{(BR)} > 1\text{mA}$

Tension d'avalanche : $U_{(BR)} > 100\text{V C106 A}$

$> 200\text{V C106 B}$

$> 300\text{V C106 C}$

$> 400\text{V C106 D}$

Région de blocage en direct :

Courant de retournement : $I_{BO} > 400\mu\text{A}$

Tension de retournement : $U_{BO} > 100\text{V C106 A}$

$> 200\text{V C106 B}$

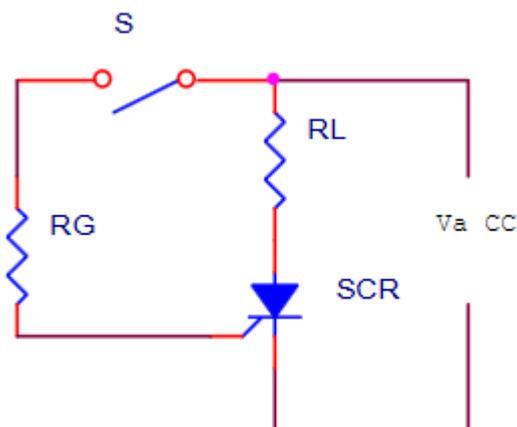
$> 300\text{V C106 C}$

Amorçage :

Courant d'amorçage : $I_{GT}=200\mu\text{A max.}$

Tension d'amorçage : $U_{GT}=1\text{V max.}$

Amorçage résistif en régime continu



Pour que le SCR puisse être amorcé il faut que le courant de gâchette I_g soit égal à la valeur du courant de gâchette prescrite pour le SCR en question.

La loi de Kirchhoff appliquée au circuit gâchette permet d'écrire l'équation suivante :

$$V_A = R_g I_{gt} + V_{gt} \Rightarrow R_g = (V_A - V_{gt})/I_{gt}$$

La loi de Kirchhoff appliquée au circuit de charge nous permet d'écrire l'équation suivante :

$$V_A = I_t R_L + V_{ak} \Rightarrow I_t = (V_A - V_{ak})/R_L$$

En fait, on doit considérer les limites suivantes pour le courant principal :

Pour l'amorçage : $I_{tmax} > I_t > I_L$

Pour maintenir l'amorçage sans courant de gâchette : $I_{tmax} > I_t > I_h$

La valeur de la résistance de charge doit donc se situer entre les limites suivantes :

$$R_{Lmin} \leq R_L \leq R_{Lmax} \Rightarrow (V_A - V_{ak})/I_{tmax} \leq R_L \leq (V_A - V_{ak})/I_L$$

Exemple d'application :

La fiche technique du SCR S2003LS3 fournit les données suivantes :

$I_{gt} = 200 \mu A$; $V_{gt} = 0.8 V$; $I_{tmax} = 3 A$ $I_h = 6 mA$ V_{tm} (ou V_{ak}) = 1.6 V

On considère la figure précédente avec une résistance de charge de 1 kΩ et une source de tension de 12 Vcc.

1. Calculer la valeur de R_g pour assurer l'amorçage.
2. on décide de remplacer la résistance de charge de 1 kΩ par une autre de 3 kΩ la résistance R_g demeure la même. Le SCR peut-il être amorcé ? Pourquoi ?
3. trouver la valeur maximale de R_L en tenant compte d'un courant d'accrochage I_L de 8 mA.
4. Trouver la valeur minimale de R_L en tenant compte du courant maximal permis à travers le SCR.
5. Trouver la puissance de la résistance R_{Lmin} .

Corrigé :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

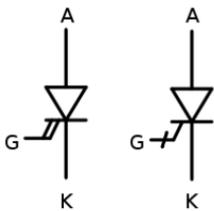
.....

LE THYRISTOR GTO

Définition :

Le thyristor GTO (Gate Turn Off ou thyristor à gâchette d'extinction) est un composant comme le thyristor vu précédemment sauf que celui-ci est commandé à la fermeture et à l'ouverture.

Symbole :



Fonctionnement du thyristor GTO :

Un thyristor GTO est amorcé de la même manière que le thyristor ordinaire :

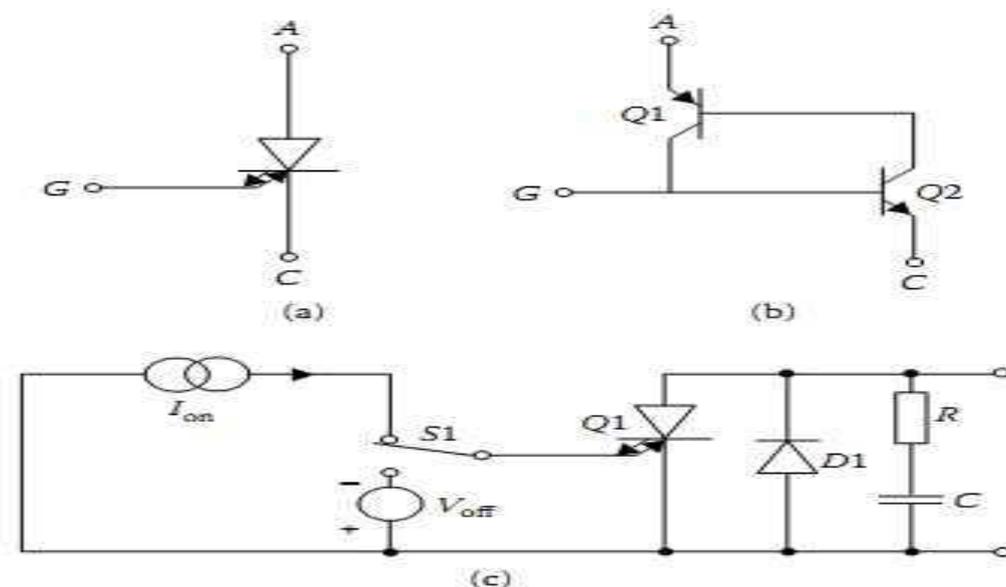
- sa tension anode-cathode est positive $V_{AK} > 0$;
- et si une impulsion de courant **gâchette-cathode** est injectée.

Un thyristor GTO est désamorcé si :

- On extrait une impulsion de courant **cathode-gâchette** d'intensité suffisante ;
- ou bien il faut, comme pour le thyristor ordinaire, que $V_{AK} < 0$.

Bien qu'un des symboles du thyristor GTO comporte deux gâchettes, dans la réalité, c'est la même gâchette qui sert aussi bien pour l'amorçage que pour le désamorçage,

Exemple de circuit de commande :



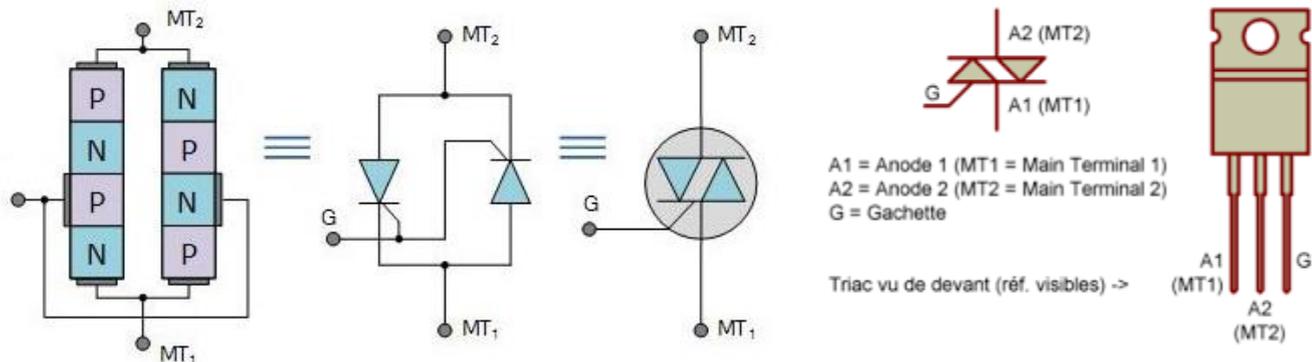
LE TRIAC

Définition

Le Triac est un composant semi-conducteur comme le thyristor sauf que celui-ci laisse passer le courant dans les deux sens si un courant de gâchettes lui est fourni donc il peut être utilisé en courant alternatif (2 sens) et continu (1 sens).

On pourrait dire qu'un triac est constitué de deux thyristors montés "tête-bêche", en antiparallèle.

Symbole et constitution :

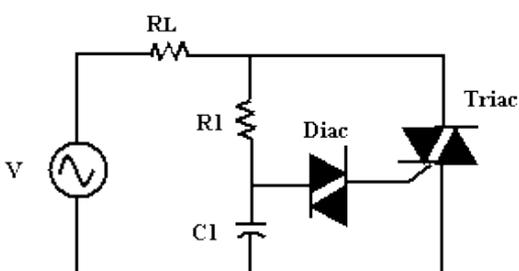
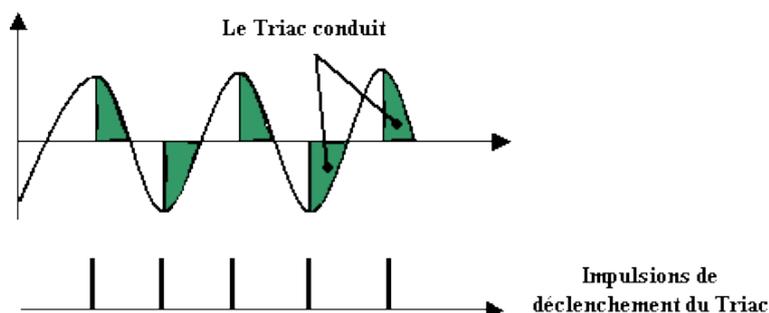


Fonctionnement :

Une impulsion de courant de commande en gâchette très faible (environ 50 mA) déclenche le triac, qui reste amorcé jusqu'à ouverture du circuit pour le fonctionnement en CC et jusqu'au passage par zéro de la sinusoïde pour un fonctionnement en CA.

La puissance fournie à la charge est maximale lorsque le déclenchement a lieu juste après le passage par zéro de la tension alternative, mais en retardant l'impulsion de déclenchement, on peut faire varier à volonté l'intensité appliquée à la charge.

Commande de puissance par angle d'amorçage alternatif



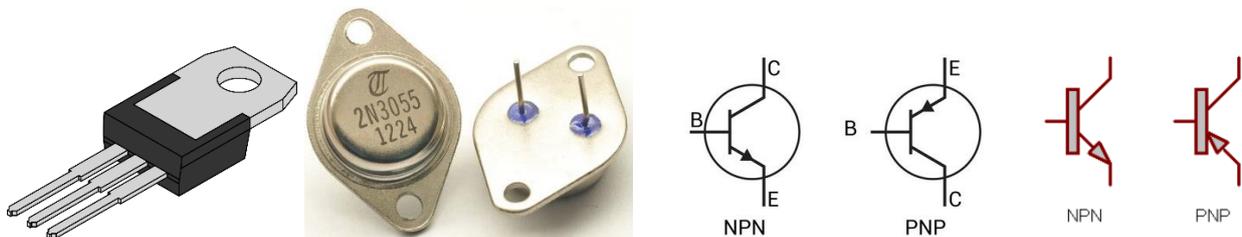
Transistor de puissance

Transistor bipolaire

En électronique de puissance, les transistors fonctionnent en régime de commutation tandis que le fonctionnement linéaire est plutôt utilisé en amplification de signaux.

Le transistor bipolaire joue le rôle d'interrupteur unidirectionnel en courant et tension commandé à la fermeture et à l'ouverture par le biais du courant de base i_B :

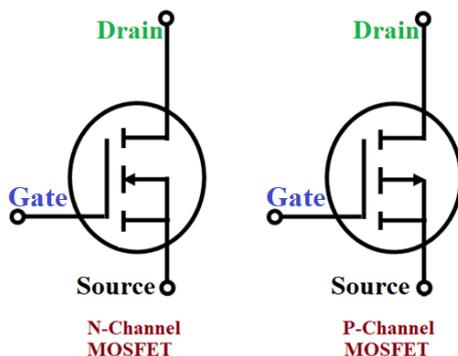
- ❖ transistor bloqué : état obtenu en annulant le courant de base i_B ($i_B = 0$) ce qui induit un courant de collecteur nul ($i_C = 0$) et une tension VCE non fixée. L'équivalent est un commutateur ouvert.
- ❖ Transistor saturé : ici, le courant i_B est tel que le transistor impose une tension VCE nulle tandis que le courant i_C atteint une valeur limite dite de saturation i_{Csat} . L'équivalent est un commutateur fermé.



Transistor MOSFET de puissance :

Le transistor MOSFET est un interrupteur commandé à la fermeture et à l'ouverture par la tension VGS :

- ❖ $V_{GS} = 0$ annule le courant i_D ($i_D = 0$) : transistor bloqué
- ❖ $V_{GS} \geq V_{GSat}$ permet au courant i_D de se croître : transistor saturé

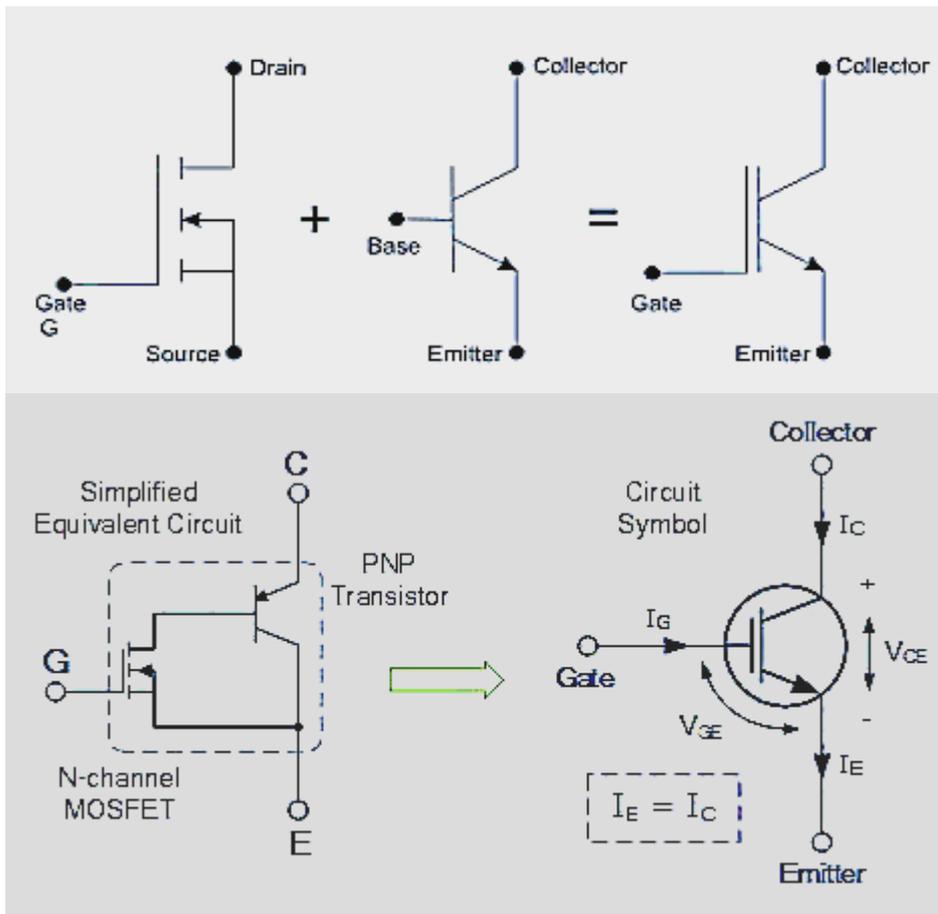


Transistor IGBT de puissance :

Le transistor IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) est l'association d'un transistor bipolaire (collecteur et émetteur) et d'un transistor MOSFET. Il associe les performances en courant entre collecteur et émetteur d'un transistor bipolaire et la commande en tension par sa grille d'un transistor MOSFET qui nécessite un courant permanent quasiment nul.

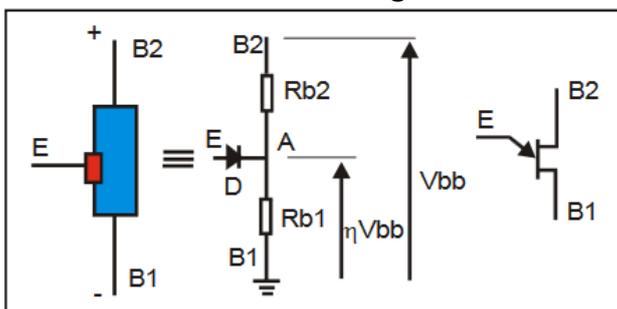
Il est commandé à la fermeture et à l'ouverture par la tension VGE.

Pour le transistor IGBT, le comportement est sensiblement différent au mosfet, dans le sens où un IGBT est commandé en courant (par le courant iB).



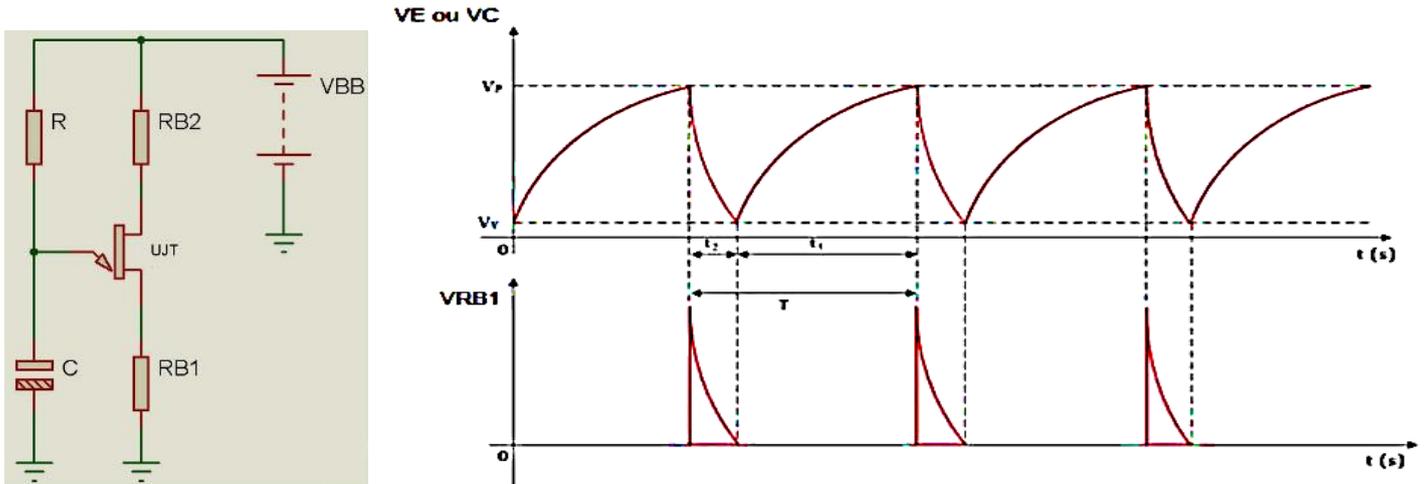
Transistor UJT (pour générateur d'impulsions) :

Dans la famille des transistors nous trouvons le transistor uni jonction appelé également UJT. Ce composant un peu particulier est souvent nommé par les électroniciens diode à deux bases. L'appellation "uni jonction" vient du fait qu'il n'existe qu'une seule jonction sur ce composant. L'UJT est souvent utilisé en générateur d'impulsion.



$$V_{BB} \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \eta V_{BB}$$

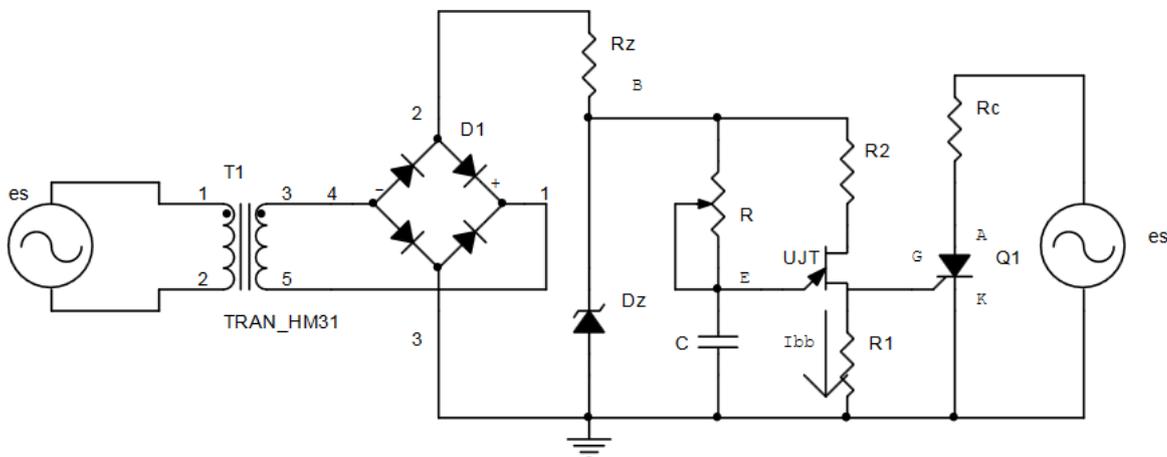
- L'UJT est alimenté aux points B1 - B2, l'émetteur est en l'air. Un courant circule entre B2 - B1.
- Une tension est appliquée entre l'émetteur et la masse, cette tension est inférieure à V_{rb1} . La diode est donc bloquée, on ne détecte aucun courant d'émetteur.
- Augmentons la tension d'émetteur, quand celle-ci dépasse V_{rb1} + tension de seuil de la jonction, un courant circule de l'émetteur vers R_{b1}
- La conduction entraîne un phénomène cumulatif, r_{b1} diminue ce qui entraîne une diminution du potentiel V_{rb1} donc une augmentation de courant etc. La tension d'émetteur à laquelle le phénomène se déclenche est appelé tension de Pic, la tension à laquelle l'UJT part en saturation est appelée tension de Vallée. La tension de vallée est atteinte quand la résistance interne ne peut plus diminuer.



L'application la plus fréquente consiste à réaliser un oscillateur à relaxation, cet oscillateur servira au déclenchement de dispositifs utilisant des thyristors ou triac

Amorçage du thyristor par un transistor uni jonction UJT :

Un circuit d'amorçage du thyristor par un transistor UJT est représenté à la figure suivante. Dans ce circuit de base, l'impulsion positive produite par l'oscillateur relaxateur est appliquée directement à gâchette du thyristor.



L'angle d'amorçage du thyristor, qui correspond à la période d'oscillation T , est contrôlé par la variation de la vitesse de charge du condensateur à l'aide du potentiomètre R . Ce circuit permet de faire varier l'angle d'amorçage de 0° à 180° .

Comparaison entre les interrupteurs électroniques

On distingue trois types différents :

Fonction diode : non commandable

Fonction thyristor = commandable à fermeture

Fonction transistor = commandable à la fermeture et à l'ouverture

Le Thyristor : très robuste mais très lent (temps de commutation élevé)

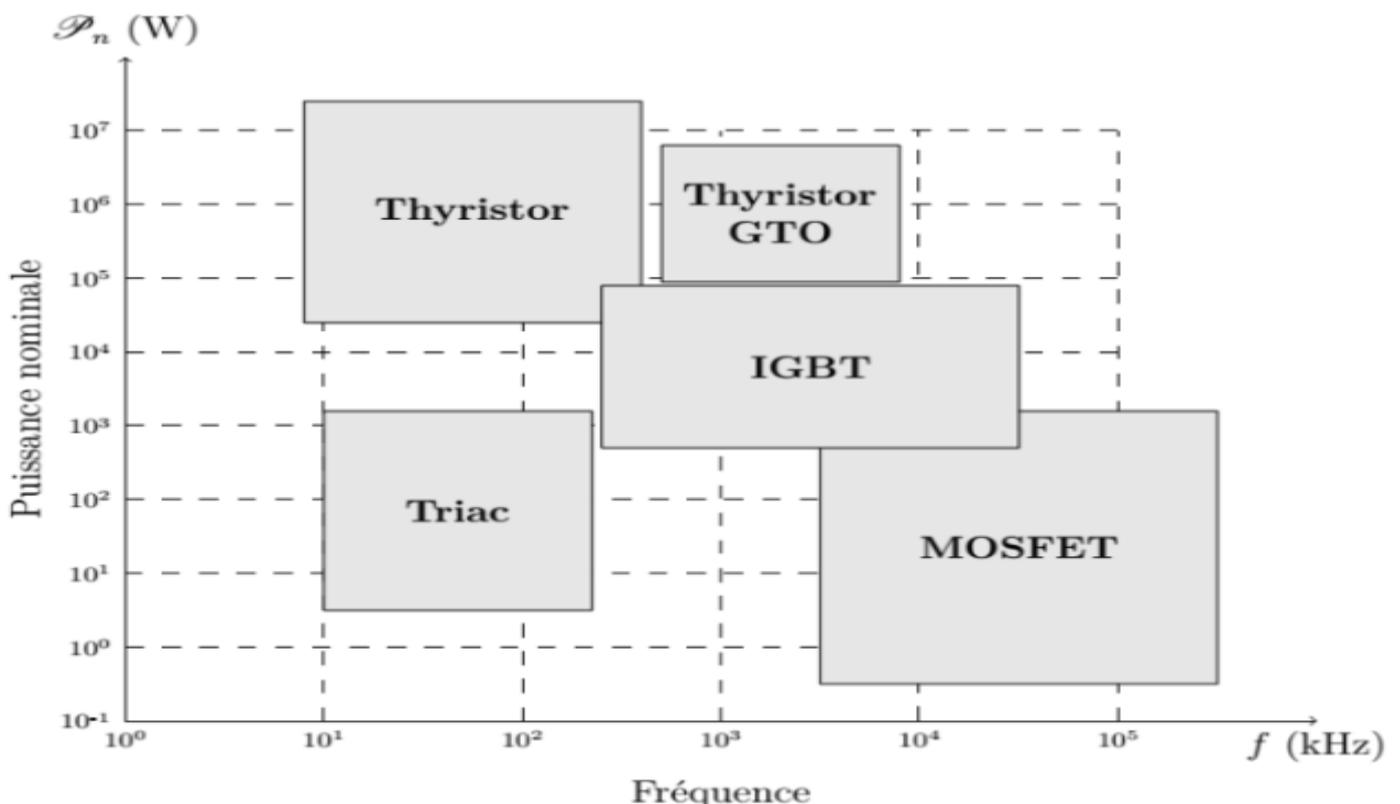
GTO : très robuste commandé à la fermeture et à l'ouverture mais lent.

Les thyristors et les GTO supportent bien les forts courants et les fortes tensions donc destinés à des applications fortes puissances à la fréquence du secteur.

Transistor bipolaire : présente comme avantages une faible chute de tension à l'état passant et le pouvoir de commuter de forts courants, mais nécessite une puissance de commande non négligeable (commandé par un courant (iB) et sa fréquence de travail est relativement basse.

MOSFET : commandé par une tension (une puissance de commande presque nulle), fréquence de commutation très élevée (des KHZ) mais c'est une composante très fragile donc destiné aux applications faible puissance haute fréquence.

L'IGBT réunit les avantages du bipolaire et du MOSFET : il a remplacé le bipolaire dans les applications de puissance moyenne.



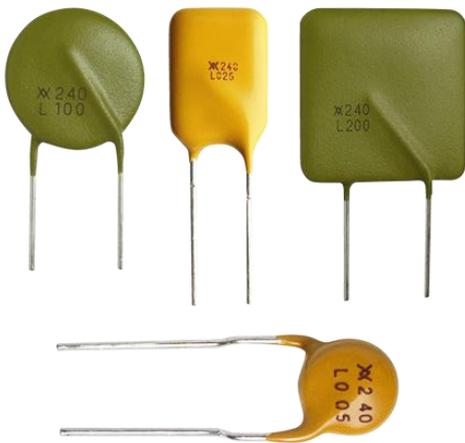
Protection contre les surintensités :

Fusible UR

Cette protection est assurée par un fusible ultra rapide (UR) dont la contrainte thermique ($I^2.t$) est plus faible que le circuit ou le composant à protéger. (Si bien qu'il « fond » avant le composant.)



Fusible réarmable Poly Switch

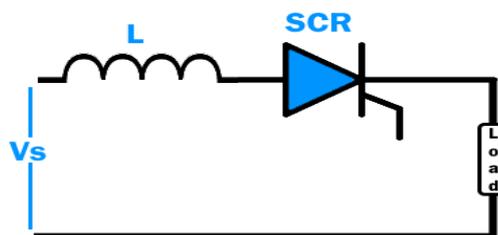


Les Polyswitch sont des fusibles électroniques réarmable qui protègent les circuits électroniques sans besoin de remplacement. Le nombre de réarmement est illimité. Le Polyswitch est un composant résistif à coefficient de température ohmique positif. Sa valeur ohmique augmente (circuit ouvert) rapidement sous l'effet d'un accroissement de la température (à 110° sa résistance augmente brutalement) ou du courant (augmentation de la t°). Le retour à l'état d'origine (circuit fermé) ne s'effectue qu'après coupure de la source d'alimentation. Le composant se refroidit et retrouve sa faible valeur ohmique. Ainsi dans bien des cas et en fonction de ses caractéristiques, le Polyswitch peut remplacer avantageusement un fusible classique.

Protection des thyristors ou triac :

Protection contre les di/dt (variations de courant)

Au début de l'amorçage du thyristor, seule une petite partie de la jonction est conductrice. Si la vitesse de croissance du courant principal est trop importante, elle peut entraîner des densités de courant énormes qui vont détruire le composant. Pour limiter ce phénomène, on utilise des petites inductances en série avec le thyristor.

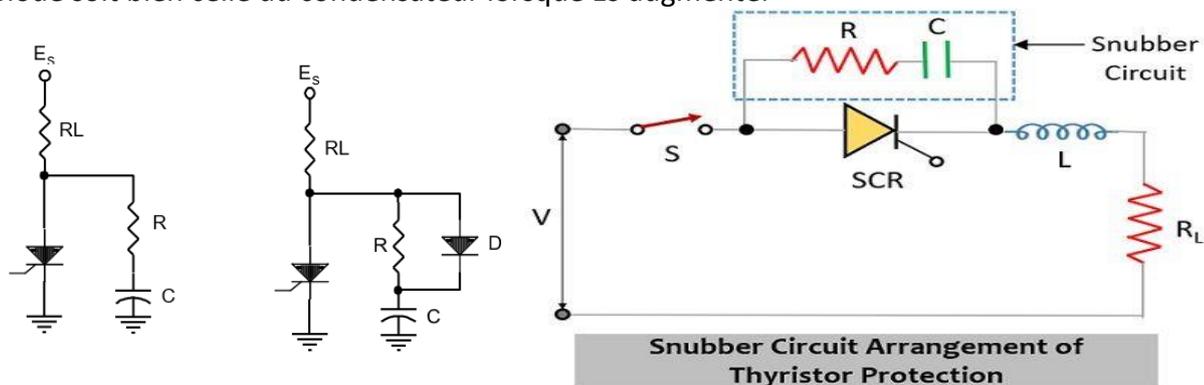


Protection for di/dt

Protection contre les dv/dt (variations de tension)

Si la tension anode-cathode augmente trop rapidement, elle peut entraîner un amorçage non souhaité du thyristor (sans signal de gâchette). Pour neutraliser ce phénomène, on utilise le circuit suivant :

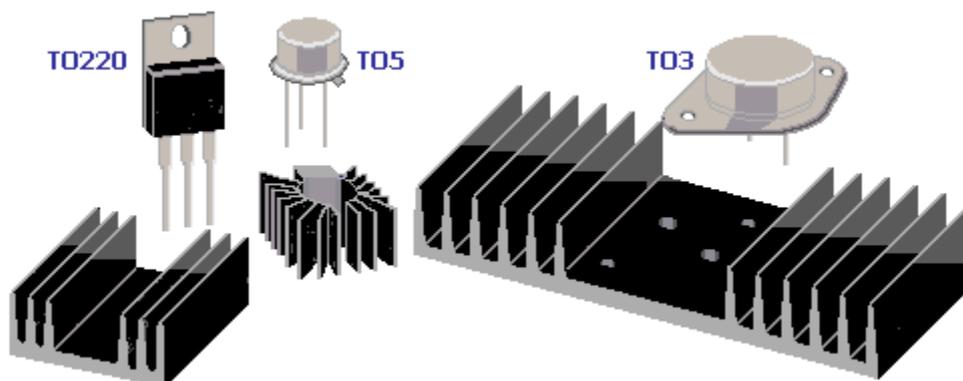
Si la résistance R est plus grande que R_L , il convient de placer une diode en parallèle pour que la tension d'anode soit bien celle du condensateur lorsque E_s augmenté.



Protection contre les échauffements excessifs :

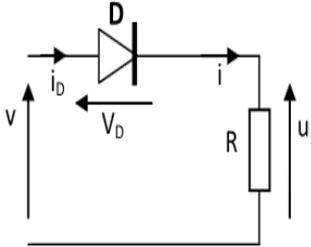
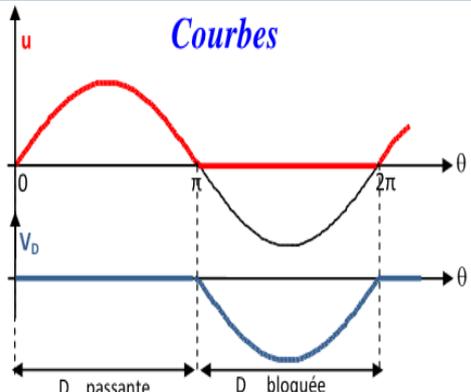
La bonne utilisation des thyristors exige que l'énergie thermique provenant du passage du courant soit dissipée afin que la température de la jonction se maintienne à un niveau admissible. Les différents procédés de refroidissement sont :

- Le refroidissement par le boîtier : il est utilisé pour les thyristors de faible puissance.
- Le refroidissement par dissipateur de chaleur : le dissipateur est fixé sur le thyristor. Il est généralement en aluminium et muni d'ailettes augmentant sa surface totale.



Redressement non commandé charge résistive

Redressement monophasé simple alternance :

Redresseur monophasé- simple alternance-		
<p>Schéma de montage</p> 	<p>Grandeurs caractéristiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valeur moyenne de u $u_{moy} = \frac{V \cdot \sqrt{2}}{\pi}$ • Valeur efficace de u : $U = \frac{V \cdot \sqrt{2}}{2}$ • Tension maximale supportée par la diode : $V_{Dmax} = V \cdot \sqrt{2}$ 	<p>Courbes</p> 

Démonstration de la valeur moyenne :

$$U_{moy} = \langle U \rangle = \frac{\text{surface}}{\text{période}} = \frac{S}{T}$$

surface = intégral

$$\begin{aligned}
 U_{moy} &= \frac{1}{T} \cdot S \\
 &= \frac{1}{T} \int_0^T v(\theta) \cdot d\theta \\
 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{max} \sin \theta \cdot d\theta \\
 &= \frac{V_{max}}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin \theta \cdot d\theta \\
 &= \frac{V_{max}}{2\pi} \cdot [-\cos \theta]_0^{\pi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{moy} &= \frac{V_{max}}{2\pi} \cdot [-(\cos \pi - \cos 0)] \\
 &= \frac{V_{max}}{2\pi} \cdot [-(-1 - 1)] \\
 &= \frac{V_{max}}{2\pi} \cdot [-(-2)] \\
 &= \frac{V_{max}}{2\pi} \cdot 2 \\
 &= \frac{V_{max}}{\pi}
 \end{aligned}$$

$$* I_{moy} = \frac{U_{moy}}{R} = \frac{V_{max}}{\pi R} = \frac{V_{max}}{\pi \cdot R}$$

$$I_{moy} = \frac{V_{max}}{\pi R}$$

$$* I_{max} = \frac{V_{max}}{R}$$

$$* I_{moy} = \frac{I_{max}}{\pi}$$

Démonstration de la valeur efficace :

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{S^2}{T}} \text{ ou } U^2 = \frac{S^2}{T} = \frac{1}{T} \cdot S^2$$

$$U^2 = \frac{1}{T} \int_0^T V^2(\theta) \cdot d\theta = \frac{1}{T} \int_0^T V_{max}^2 \cdot \sin^2(\theta) \cdot d\theta$$

$$= \frac{V_{max}^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\theta) \cdot d\theta = \frac{V_{max}^2}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(\theta) \cdot d\theta$$

$$= \frac{V_{max}^2}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{1 - \cos(2\theta)}{2} \cdot d\theta = \frac{V_{max}^2}{2\pi} \cdot \frac{1}{2} \int_0^{\pi} 1 - \cos(2\theta) \cdot d\theta$$

$$= \frac{V_{max}^2}{4\pi} \cdot \left(\int_0^{\pi} 1 \cdot d\theta - \int_0^{\pi} \cos(2\theta) \cdot d\theta \right)$$

$2\theta = u \rightarrow \theta = \frac{u}{2}$
 $d\theta = \frac{1}{2} \cdot du$

$$= \frac{V_{max}^2}{4\pi} \cdot \left(\int_0^{\pi} d\theta - \int_0^{\pi} \cos u \cdot \frac{1}{2} \cdot du \right)$$

$$= \frac{V_{max}^2}{4\pi} \cdot \left(\int_0^{\pi} d\theta - \frac{1}{2} \int_0^{\pi} \cos u \cdot du \right)$$

$\int_x^y \cos = [\sin]_x^y$

$$= \frac{V_{max}^2}{4\pi} \cdot \left([\pi - 0] - \frac{1}{2} [\sin \pi - \sin 0] \right)$$

$$= \frac{V_{max}^2}{4\pi} \cdot (\pi - 0 - 0) = \frac{V_{max}^2}{4\pi} \cdot \pi = \frac{V_{max}^2}{4}$$

$$U^2 = \frac{V_{max}^2}{4} \rightarrow U = \sqrt{\frac{V_{max}^2}{4}} \Rightarrow \boxed{U = \frac{V_{max}}{2}}$$

Facteur de forme :

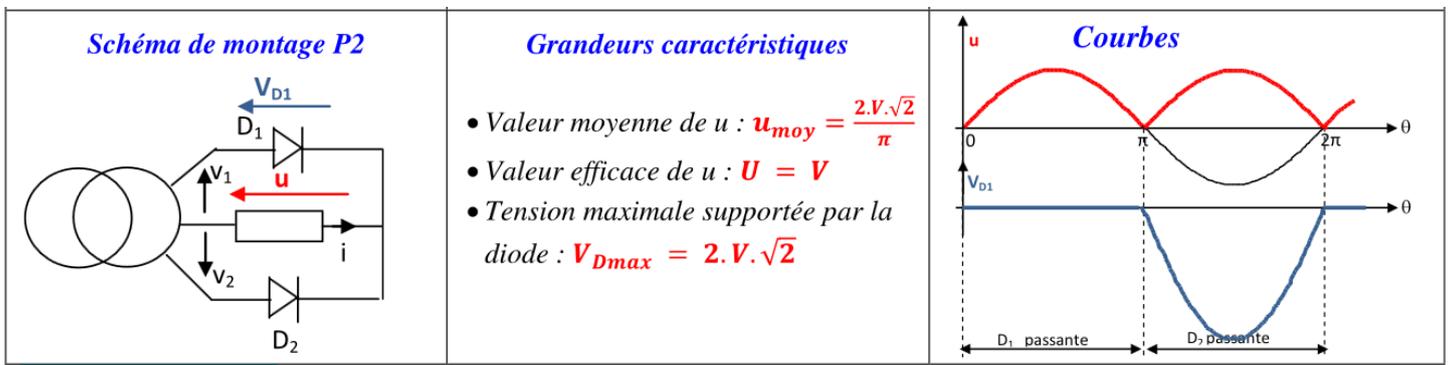
$$F = \frac{U_{eff}}{U_{moy}}$$

Taux d'ondulation :

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

Redressement monophasé double alternance :

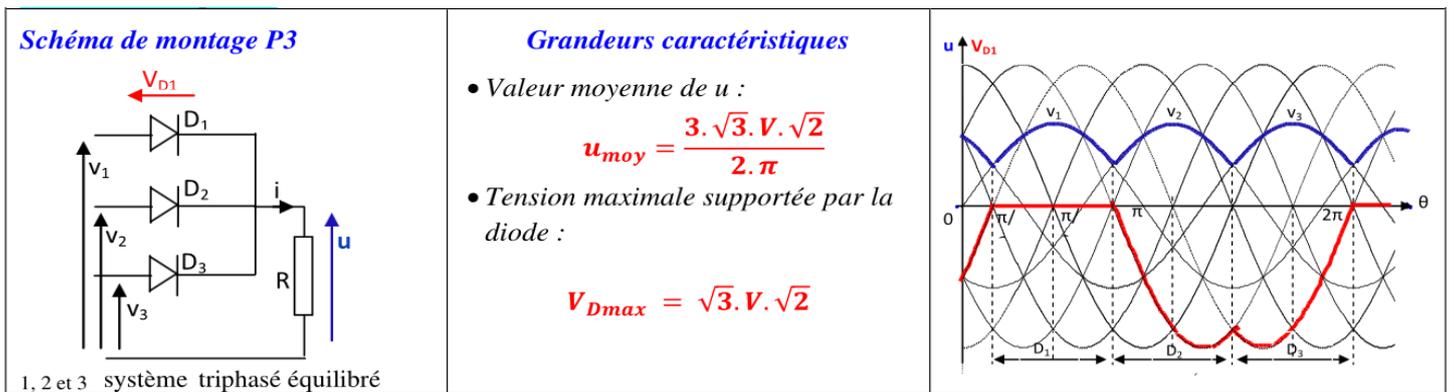
<p>Schéma de montage PD2</p>	<p>Grandeurs caractéristiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valeur moyenne de u : $u_{moy} = \frac{2 \cdot V \cdot \sqrt{2}}{\pi}$ • Valeur efficace de u : $U = V$ • Tension maximale supportée par la diode : $V_{Dmax} = V \cdot \sqrt{2}$ 	<p>Courbes</p>
-------------------------------------	---	-----------------------



$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T V(\theta). d\theta \quad U_{moy} = \frac{2}{2\pi} \int_0^\pi V_{max} \sin(\theta). d\theta$$

$$U_{moy} = \frac{2V_{max}}{2\pi} \int_0^\pi \sin(\theta). d\theta$$

Redressement triphasé simple alternance :



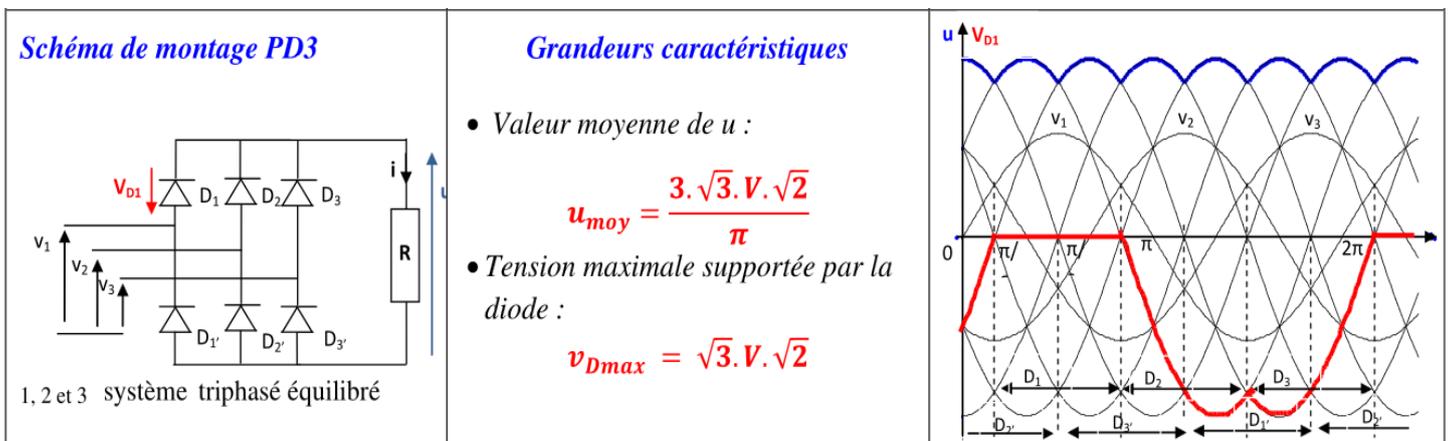
$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T V(\theta). d\theta \quad U_{moy} = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_{max} \sin(\theta). d\theta$$

$$U_{moy} = \frac{3V_{max}}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \sin(\theta). d\theta$$

$$U=0,840.V_{max}$$

$$U_{moy}= 0,827.V_{max}$$

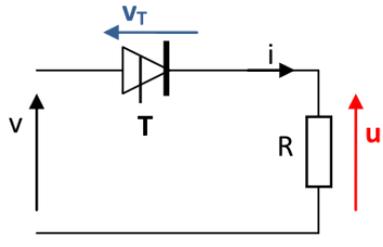
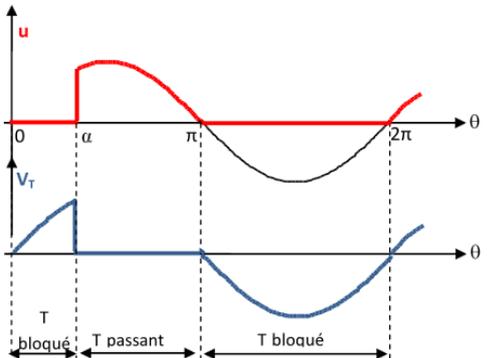
Redressement triphasé double alternance :



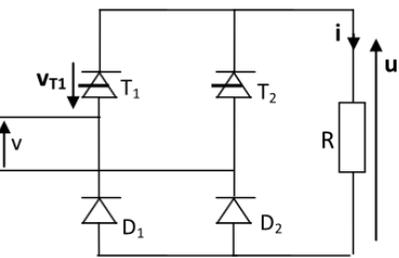
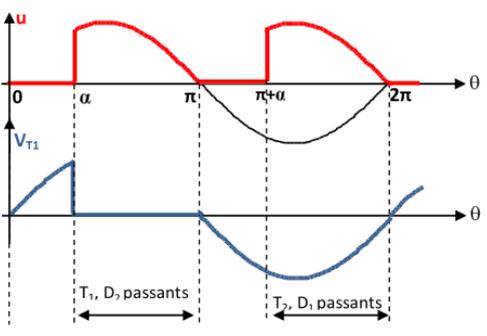
$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T V(\theta). d\theta \quad U_{moy} = \frac{6}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_{max} \sin(\theta). d\theta$$

$$U=1,662.V_{max}$$

Redressement commandé charge résistive

Redresseur commandé - simple alternance-		
<p>Schéma de montage</p>  <p>$\alpha =$ l'angle de retard à l'amorçage</p>	<p>Grandeurs caractéristiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valeur moyenne de u : $u_{moy} = \frac{V \cdot \sqrt{2}}{\pi} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right)$ • Valeur efficace de u : $U = \frac{V \cdot \sqrt{2}}{2} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2}}$ • Tension maximale supportée par le thyristor : $v_{Tmax} = V \cdot \sqrt{2}$ 	<p>Courbes</p> 

$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T V(\theta) \cdot d\theta \quad U_{moy} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_{max} \sin(\theta) \cdot d\theta \quad U_{moy} = \frac{V_{max}}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin(\theta) \cdot d\theta$$

Redresseur commandé - double alternance - pont mixte		
<p>Schéma de montage</p>  <p>$\alpha =$ l'angle de retard à l'amorçage</p>	<p>Grandeurs caractéristiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valeur moyenne de u : $u_{moy} = \frac{2V \cdot \sqrt{2}}{\pi} \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right)$ • Valeur efficace de u : $U = V \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2}}$ • Tension maximale supportée par le thyristor : $v_{Tmax} = v_{Dmax} = V \cdot \sqrt{2}$ 	<p>Courbes</p> 

$$U_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T V(\theta) \cdot d\theta \quad U_{moy} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_{max} \sin(\theta) \cdot d\theta \quad U_{moy} = \frac{2V_{max}}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin(\theta) \cdot d\theta$$

Pour mesurer les grandeurs moyennes ou continues, on utilise :

- soit un appareil numérique sur la position DC (Direct Current) ou +/-
- soit un appareil analogique de type magnétoélectrique  sur la position DC.

Pour mesurer les valeurs efficaces sinusoïdales, on utilise :

- soit un appareil numérique sur la position AC (Alternative Current)
- soit un appareil analogique de type magnétoélectrique avec redresseur incorporé  sur la position AC

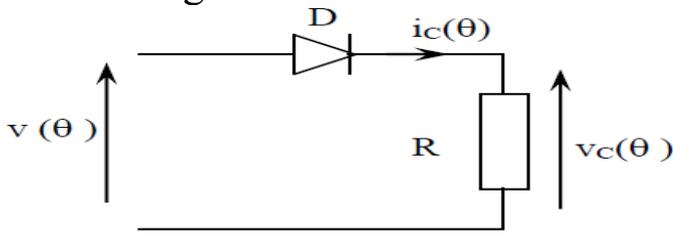
La puissance moyenne (active) de la charge: $(P_{ch})_{moy} = P = (u_{ch} i_{ch})_{moy}$

La puissance apparente de la charge: $S = (u_{ch})_{eff} \cdot (i_{ch})_{eff}$

Facteur de puissance : $\frac{P}{S}$

Exercice N°1

Soit le montage suivant :



Dans ce circuit la tension d'alimentation est : $v(\theta) = V\sqrt{2} \sin(\theta)$ ou $\theta = \omega t$
 On donne $V = 220\text{V}$; $\omega = 2\pi \times 50 \text{ rad/s}$ et $R = 10\Omega$.

- 1- Analyser le fonctionnement du montage et représenter sur Document de réponse, l'allure de $v(\theta)$, $i_c(\theta)$, $v_c(\theta)$ et $v_D(\theta)$.
- 2- Quels éléments sont à prendre en compte pour le choix de D ?
- 3- Calculer la puissance moyenne délivrée à la charge, la puissance apparente et le facteur de puissance.

