

## 1. Thyristors

### 1.1 SCR

#### 1.1.1 Analogie «2 transistors» de la structure PNPN

Les structures PN des diodes et NPN ou PNP des transistors bipolaires nous sont déjà familières. Il existe toutefois des éléments semi-conducteurs à structure PNPN, qu'on appelle thyristors. Le plus connu de ceux-ci est le SCR, Silicon Controlled Rectifier, dont la configuration apparaît à la Figure 1-1 a).

Pour en comprendre le fonctionnement, on brise symboliquement le cristal semi-conducteur tel que le schéma équivalent à 2 transistors (Figure 1-1 c)).

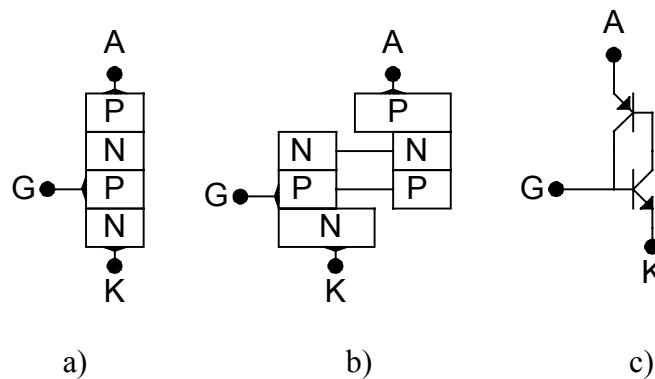


Figure 1-1 Analogie « 2 transistors »

À la Figure 1-2, on rappelle les équations du transistor bipolaire en tenant compte du  $I_{CBO}$ . On note aussi la présence de la capacité de jonction  $C_{CBO}$  dont on verra l'importance un peu plus loin.

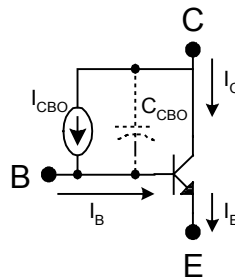


Figure 1-2 Transistor NPN

$$I_E = (\beta + 1)(I_B + I_{CBO}) \quad (1.1)$$

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1)I_{CBO} \quad (1.2)$$

$$I_B = I_E - I_C \quad (1.3)$$

Pour trouver le courant d'anode du SCR équivalent de la Figure 1-3, il suffit d'effectuer la somme des courants suivants:

$$I_A = I_{C1} + I_{B1} \quad (1.4)$$

D'après la Figure 1-3, on note que :

$$I_{B1} = I_{C2} \quad (1.5)$$

$$I_{B2} = I_G + I_{C1} \quad (1.6)$$

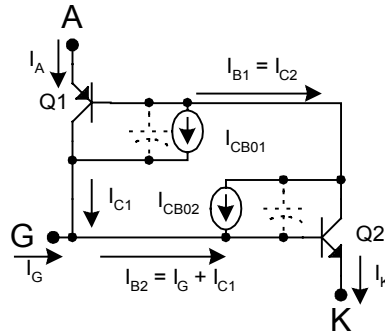


Figure 1-3 courants dans un SCR

À l'aide des équations (1.2), (1.5) et (1.6), on effectue les substitutions appropriées pour obtenir l'expression du courant d'anode.

$$I_A = \frac{\beta_2(\beta_1 + 1)I_E + (\beta_1 + 1)(\beta_2 + 1)(I_{CB01} + I_{CB02})}{1 - \beta_1\beta_2} \quad (1.7)$$

### 1.1.2 Courbe caractéristique $I_A-U_A$ et symbole du SCR

À la Figure 1-4, on trouve le symbole ainsi que la courbe  $I_A-U_A$  d'un SCR. De plus, les caractéristiques pertinentes du C106 sont fournies.

Avec un courant de gâchette nul, le SCR peut bloquer une tension aussi élevée que le  $U_{BO}$ . Passé ce point, l'amorçage par tension se produit et le SCR passe à l'état de conduction. Son courant devient élevé et sa tension devient faible car il sature. Si  $I_A$  devient inférieur à  $I_H$ , le SCR retourne à l'état bloqué.

En inverse, le SCR peut bloquer une tension aussi élevée que le  $U_{(BR)}$  puis entre en avalanche comme une diode de redressement.

En fait, le synonyme de SCR est «redresseur commandé» car, plus le courant de gâchette augmente, plus le  $U_{BO}$  diminue jusqu'à devenir, à toutes fins pratiques, nul. C'est de cette façon que se réalise l'amorçage par la gâchette.

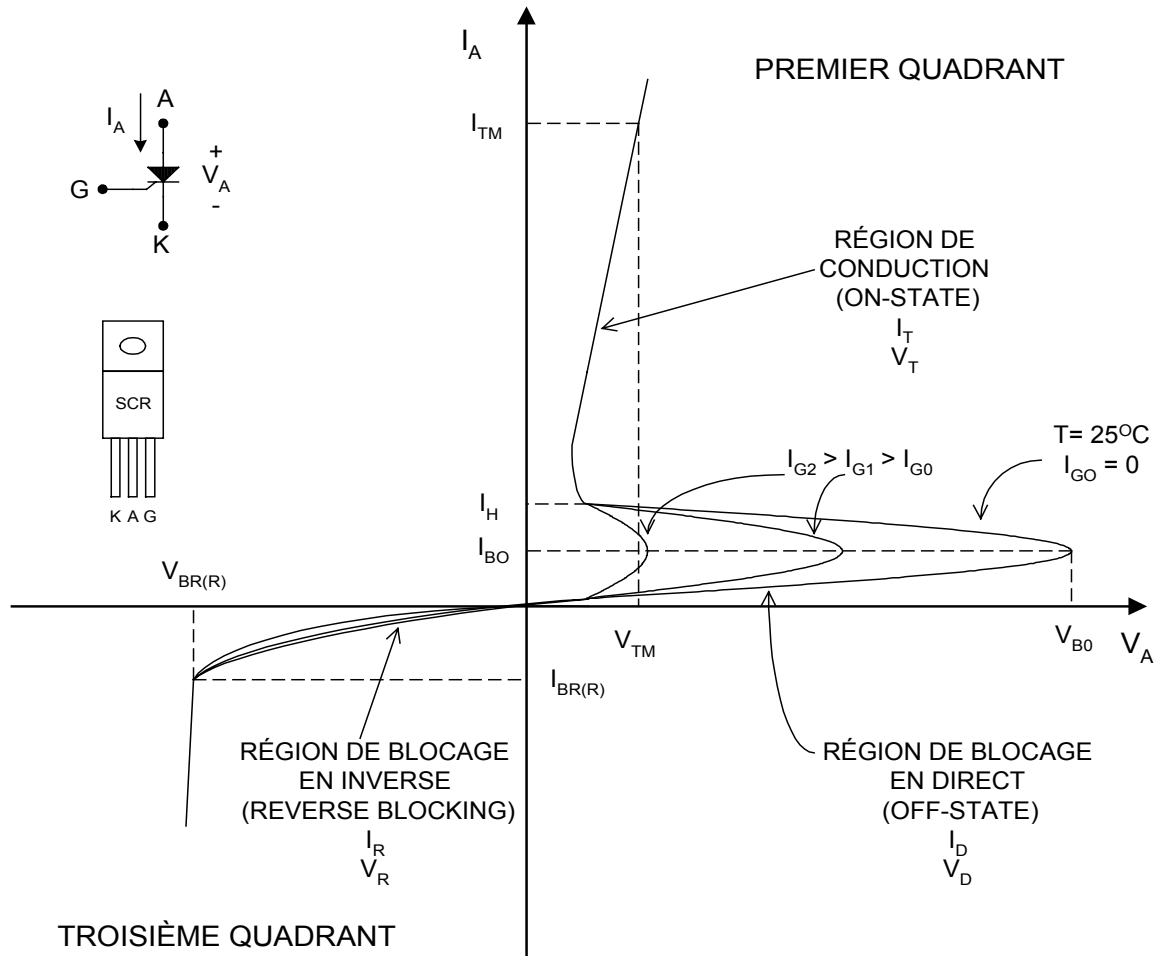


Figure 1-4 Courbe  $I_A-U_A$  du C106

### 1.1.3 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 :  $U_{Bo} > 100\text{V C106 A}$   
 $> 200\text{V C106 B}$   
 $> 300\text{V C106 C}$   
 $> 400\text{V C106 D}$

##### Amorçage :

Courant d'amorçage :  $I_{GT}=200\mu\text{A max.}$   
Tension d'amorçage :  $U_{GT}=1\text{V max.}$

La fiche technique d'un SCR comporte quatre parties. Dans la première partie, on peut trouver la description du composant, le numéro de pièce, la forme du boîtier ainsi qu'une description sommaire des modèles.

La deuxième partie est consacrée aux limites maximales d'utilisation du SCR qu'il ne faut jamais dépasser pour éviter d'endommager le SCR.

La troisième partie indique les caractéristiques électriques d'utilisation normale du SCR. La quatrième est une extension de la troisième, mais sous la forme de graphes.

## 1.2 Procédés d'amorçage des thyristors

### 1.2.1 Introduction

Tout processus de commutation comporte quatre phases :

- 1- L'amorçage (turn-on)
- 2- L'état conducteur (on state)
- 3- Le désamorçage (turn-off)
- 4- L'état bloqué (off state)

Lorsqu'un SCR conduit, les principales caractéristiques à considérer sont le courant maximum  $I_t$ , le courant minimum ou courant de maintien  $I_H$  et la puissance dissipée  $P_D$ .

Pour un SCR bloqué, il faut tenir compte principalement de la tension maximale qu'il peut supporter en direct, c'est la tension de retournement ou « Breakover Voltage »  $U_{BO}$  et en inverse, c'est la tension d'avalanche  $U_{BR}(R)$ .

Dans les pages qui suivent, nous porterons notre attention sur le comportement dynamique du SCR à l'amorçage et au désamorçage. Nous discuterons du temps de fermeture  $T_{on}$  (turn-on-time) et du phénomène de  $di/dt$  ainsi que du temps d'ouverture  $T_{off}$  (turn-off-time).

### 1.2.2 Amorçage par résistance et condensateur

Pendant l'alternance négative (B(+)), la diode D2 court-circuite R et le condensateur C se charge à la valeur  $E_{max}$ ; l'armature inférieure est alors positive, puis il commence à se décharger (zone OP). Pendant l'alternance positive (A(+)), le condensateur reçoit le courant  $i$  et se charge en fonction de la constante de temps RC jusqu'à ce que la tension  $V_c$  atteigne la valeur de  $V_{gt}$ , ce qui provoque l'amorçage du Th. L'angle d'amorçage est directement proportionnel à la valeur de R et peut varier de 0 à 180°.

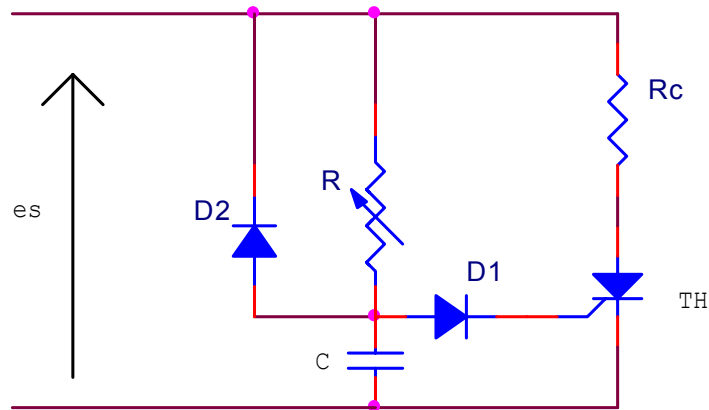


Figure 1-5 : Déclenchement par RC : schéma de principe

### 1.2.3 Amorçage résistif en régime continu

Le circuit de la figure 1-6 montre l'amorçage résistif d'un SCR en régime continu. Comme le courant de gâchette est fourni par la source d'entrée, une résistance dans le circuit de la gâchette est nécessaire pour limiter le courant à une valeur qui n'endommagera pas le SCR. Pour amorcer le dispositif, il suffit de fermer momentanément l'interrupteur afin de solliciter la gâchette

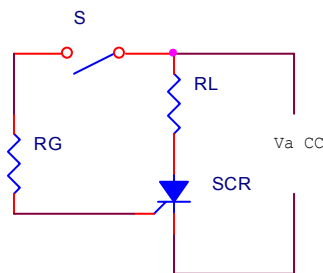


Figure 1-6 : Amorçage résistif d'un SCR

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 Kirchoff 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 Kirchoff 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 :

$$R_{Lmin} \leq R_L \leq R_{Lmax} \Rightarrow (V_A - V_{ak}) / I_{tmax} \leq R_L \leq (V_A - V_{ak}) / I_L \quad (1.8)$$

### Exercice 1.1

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 1-6 avec une résistance de charge de 1 k $\Omega$  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 k $\Omega$  par une autre de 3 k $\Omega$  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  $R_{Lmin}$ .

### 1.2.4 Amorçage résistif en régime alternatif

Le circuit de la figure 1-7 réalise l'amorçage d'un SCR en régime alternatif.

Le SCR s'amorce quand la tension instantanée,  $e_s = E_{max} \sin \omega t$ , atteint une valeur égale à :

$$e_s = V_{gt} + V_d + R_g I_{gt}$$

la valeur de l'angle d'amorçage qu'on veut réaliser dépendra directement de la valeur de la résistance  $R_g$  ;

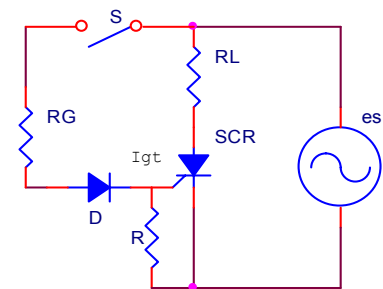


Figure 1-7 : Amorçage résistif d'un SCR en régime alternatif

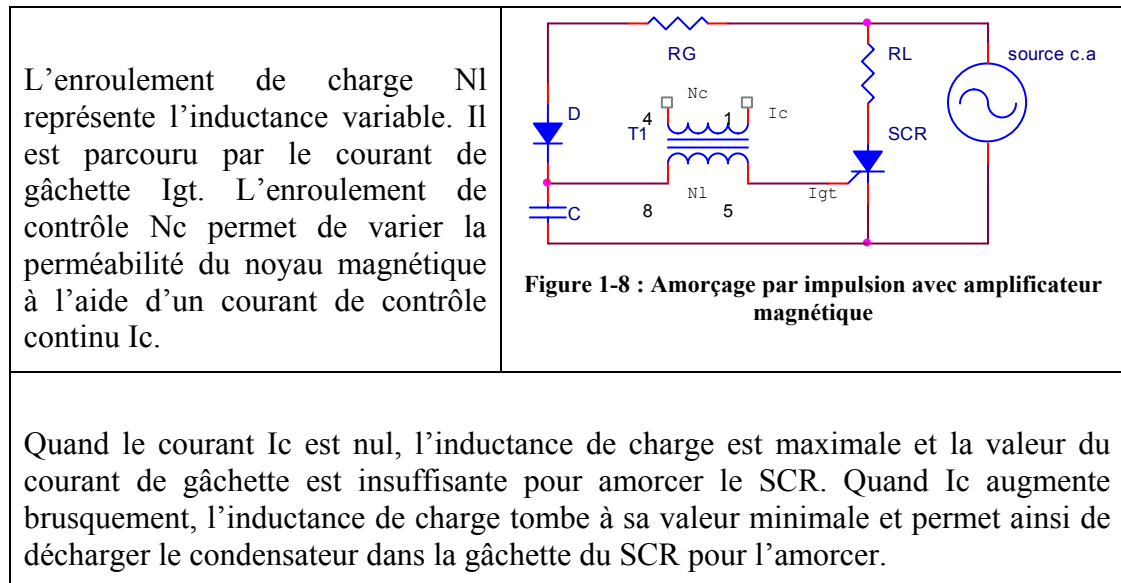
Le rôle de la diode D, en série avec la résistance  $R_g$ , est de protéger la jonction gâchette-cathode du SCR contre les surtensions en polarisation inverse.

Quant à la résistance, en parallèle avec la jonction gâchette-cathode, elle sert à protéger le SCR contre l'amorçage accidentel qui pourrait parvenir du courant de fuite de la jonction anode-gâchette du SCR.

### 1.2.5 Amorçage par impulsion électrique

L'amorçage par impulsion électrique est la méthode d'amorçage la plus souvent utilisée, car elle permet d'obtenir des angles de conduction plus précise et ce, d'une manière plus efficace. Les premiers dispositifs permettent ce genre d'amorçage utilisaient des amplificateurs magnétiques.

L'amorçage par impulsion électrique se fait de plus en plus avec l'aide des semi-conducteurs à seuil de tension, appelés encore dispositifs de déclenchement.



### 1.2.6 Angle d'amorçage et angle de conduction d'un SCR

Lorsqu'on examine la forme d'onde de la tension aux bornes du SCR, on remarque que ce dernier ne laisse passer qu'une partie de l'alternance positive du cycle alternatif. En l'absence d'un courant de gâchette suffisant et durant toute l'alternance négative, le SCR est bloqué.

Le décalage  $\alpha$  qu'on retrouve avant que la tension apparaisse aux bornes de la résistance de charge  $R_L$  est appelé angle de retard ou angle d'amorçage. Le décalage  $\Theta_c$  représente l'angle de conduction du SCR. On a :

$$\Theta_c = 180^\circ - \alpha \quad (1.9)$$

### 1.3 Méthodes de désamorçage (blocage du SCR)

Il existe deux méthodes générales pour désamorcer un SCR: La commutation par interruption de courant et la commutation forcée. Ces deux méthodes visent le même objectif: diminuer le courant d'anode à une valeur inférieure au courant de maintien  $I_H$ .

La technique de commutation par interruption de courant est illustrée à la Figure 1-9. Dans les deux montages, si on maintient SW1 fermé pendant un temps supérieur au

Ton du SCR, ce dernier amorce et la DEL s'allume. Pour bloquer le SCR, il suffit d'actionner SW2 pendant un temps supérieur à  $T_{off}$ .

La charge est désalimentée au moment où on presse SW2 du circuit a) et au moment où on relâche SW2 dans le circuit b).

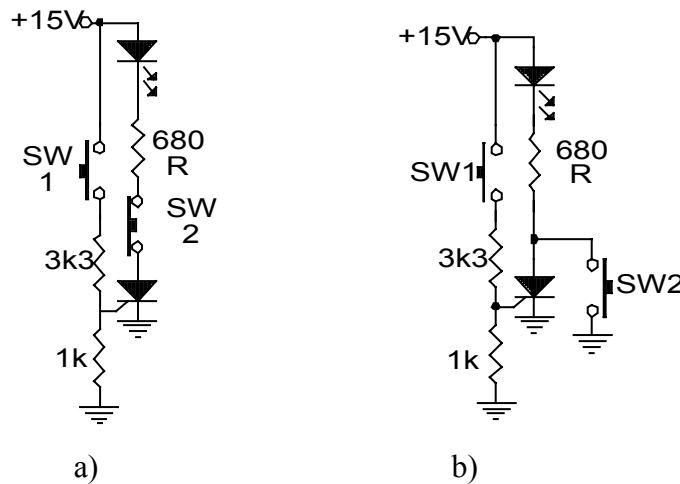


Figure 1-9 Désamorçage par interruption de courant

Notons finalement que ces deux circuits sont sujets à des  $dv/dt$  importants lorsqu'on relâche SW2.

Il existe plusieurs techniques de commutation forcée. Toutefois, nous limiterons notre étude à la «commutation forcée par condensateur» et à la «commutation forcée par source alternative».

La Figure 1-10 montre le circuit de base pour désamorcer un SCR par condensateur.

Au départ, le SCR est bloqué et le condensateur C est déchargé.

Lorsqu'un courant de gâchette vient amorcer le SCR à  $t_1$ , la tension d'anode tombe de  $U_{cc}$  à  $U_t$  et la condensateur se charge à travers R.

Après  $5\tau$ , la tension aux bornes de ce dernier vaut  $U_{cc}-U_t$ . À  $t_2$ , on appuie sur SW pour désamorcer le SCR.

La forme d'onde  $U_{sw}$  passe donc de  $U_{cc}$  à 0. Le condensateur C force la tension d'anode à diminuer aussi d'une valeur égale à  $U_{cc}$  jusqu'à  $-(U_{cc}-U_t)$ .

À partir de cet instant, C se charge en inverse à travers  $R_L$  jusqu'à  $U_{cc}$ .

Finalement, lorsqu'on relâche SW à  $t_3$ , la tension d'anode devient supérieure à l'alimentation, car C se décharge à travers  $R_L+R$ , tel que démontré à la Figure 1-1.



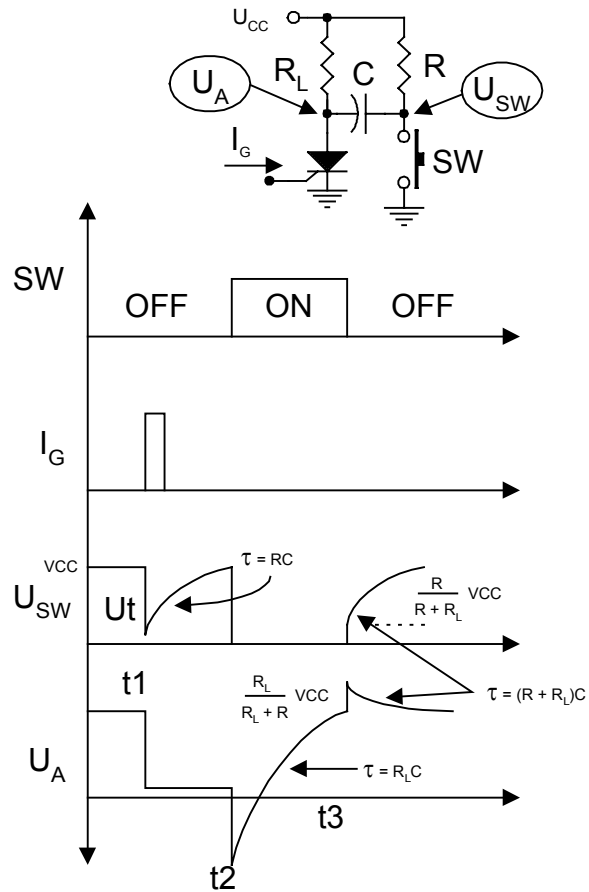


Figure 1-10 désamorçage par commutation forcée par condensateur

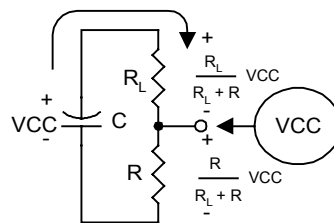


Figure 1-11 Décharge de C à t3

Pour assurer le désamorçage du SCR, il faut que C maintienne le potentiel d'anode négatif pendant un temps  $T_c$  au moins égal au  $T_{off}$  spécifié par le fabricant. Or, le temps requis à un condensateur pour atteindre une valeur  $U_c$  lorsqu'il se charge de  $E_i$  (tension initiale) jusqu'à  $E_f$  (tension finale) se calcule comme suit:

$$t = \tau \ln \left( \frac{E_f - E_i}{E_f - U_c} \right) \quad (1.10)$$

En appliquant cette expression à notre circuit, la condition de commutation garantie du SCR s'écrit de la façon suivante:

$$T_c = R_L C \ln \left( \frac{U_{cc} - [-(U_{cc} - U_t)]}{U_{cc} - 0} \right) \geq T_{off}$$
$$R_L C \ln \left( \frac{2U_{cc} - U_t}{U_{cc}} \right) \geq T_{off}$$

$$C \geq \frac{T_{off}}{R_L \ln \left( \frac{2U_{cc} - U_t}{U_{cc}} \right)} \quad (1.11)$$

Dans la plupart des cas,  $U_t$  est négligeable et l'équation (1.11) se réduit à:

$$C \geq \frac{T_{off}}{R_L \ln 2} \quad (1.12)$$

Comme le montre la Figure 1-12, l'interrupteur SW peut se remplacer par des interrupteurs électroniques tels le transistor et le SCR. Les formes d'onde du circuit a) sont identiques à celles du circuit de base de la figure précédente. Pour le circuit b), le lecteur pourra vérifier de lui-même les formes d'onde qui accompagnent le schéma.

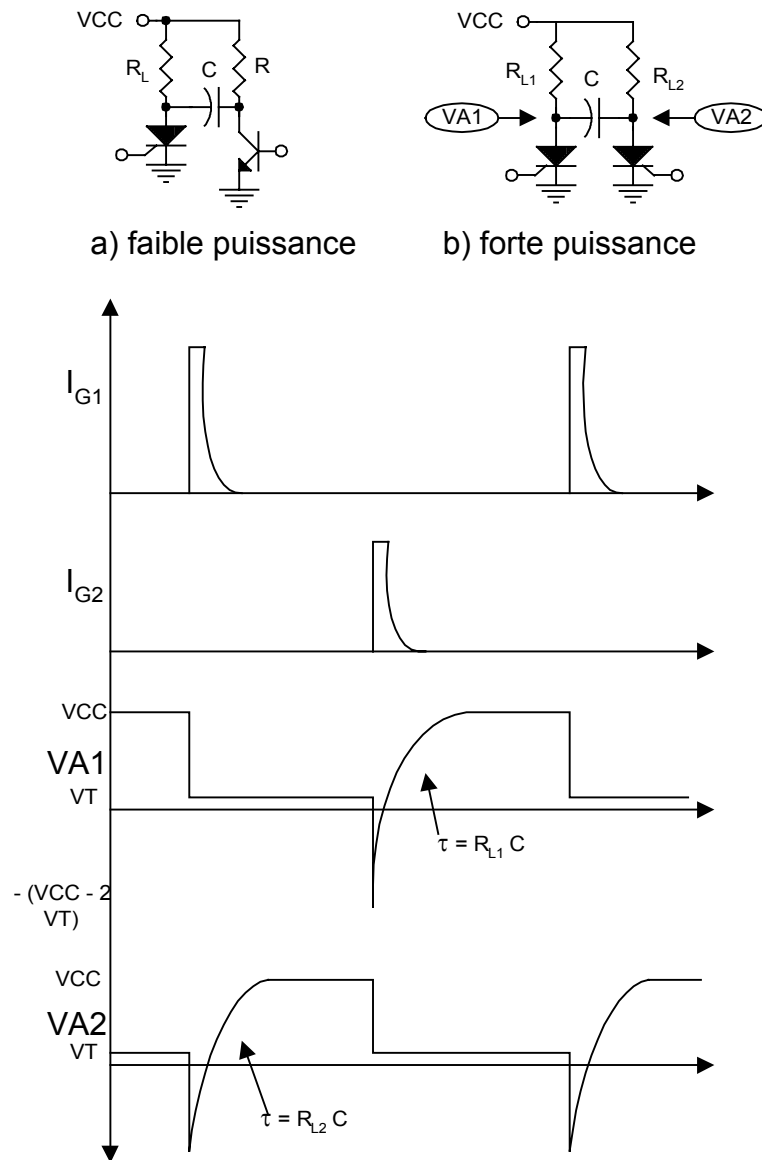


Figure 1-12 Circuits pratiques pour la commutation forcée par condensateur

La technique de commutation forcée par source alternative ne nécessite pas de circuit de désamorçage. Comme l'indiquent les formes d'onde du circuit de la Figure 1-13, à chaque alternance négative, le SCR bloque obligatoirement. Si on veut amorcer ce dernier, on doit utiliser l'une ou l'autre des techniques d'amorçage vues jusqu'à présent durant l'alternance positive.

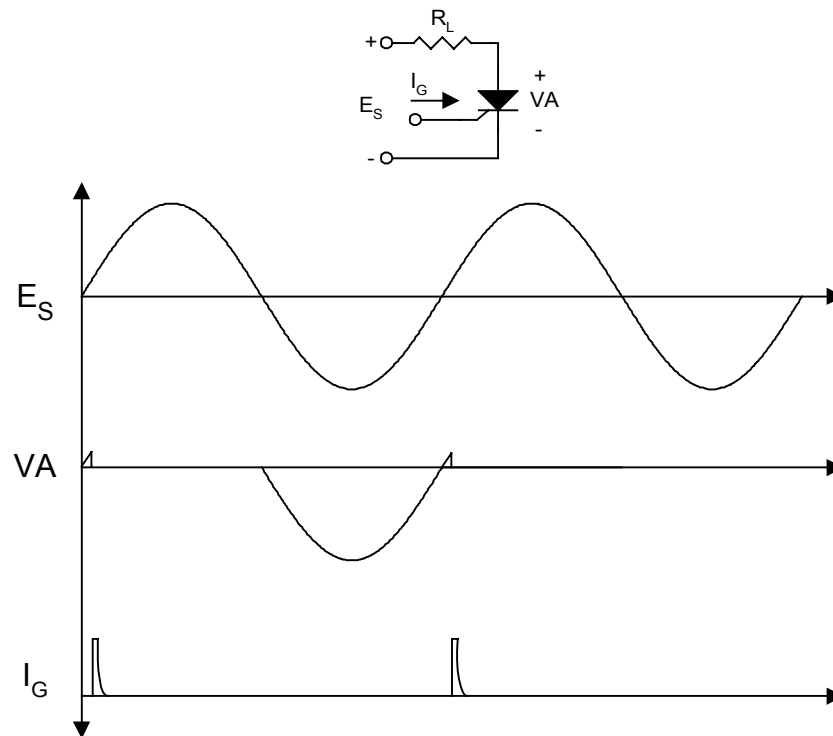


Figure 1-13 : Commutation forcée par source CA

**Exercice 1.2**

1. Complétez la phrase suivante.

La commutation naturelle est aussi appelée -----.

2. Combien de signaux de commande sont-ils requis pour réaliser la commutation naturelle et la commutation forcée d'un SCR.

**1.4 Protection des thyristors**

Les thyristors sont des composants d'une grande fiabilité possédant une durée pratiquement illimitée ; cependant, comme tous les semi-conducteurs, ils sont très sensibles aux charges. Il faut donc les protéger efficacement contre les surtensions, les surintensités et les échauffements excessifs.

**1.4.1 Protection contre les surtensions**

Pour protéger les thyristors contre les surtensions, on a habituellement recours aux moyens suivants.

**Surdimensionnement des thyristors :** on utilise des thyristors ayant une tension inverse de crête répétitive supérieure à la tension inverse de crête réellement appliquée. Le coefficient de surdimensionnement est d'environ 2.

**Dispositifs écréteurs:** constitués par un circuit RC monté en parallèle sur les thyristors, ces dispositifs protègent les thyristors contre les surtensions au moment du blocage et contre les surtensions extérieures.

La résistance R en série avec C sert à limiter le courant d'anode à l'amorçage. Ce courant est constitué du courant de RC ainsi que du courant de décharge de C qui peut être très intense sans R. Les valeurs de R se situent en général entre  $10\Omega$  et  $100\Omega$  environ.

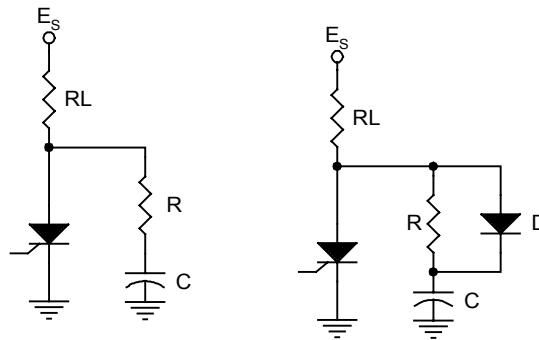


Figure 1-14 protection contre les du/dt

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  $E_s$  augmente.

#### 1.4.2 Protection contre les surintensités

Lorsque les thyristors sont à l'état passant, seul la résistance du circuit de charge limite le courant direct maximal. En l'absence de protection, une surintensité accidentelle peut provoquer l'échauffement excessif de la jonction et la destruction du thyristor.

La protection la plus simple contre les surintensités accidentelles causées par un court-circuit ou par une fausse manœuvre est l'utilisation de fusibles à action rapide (ou ultra-rapide) ou de disjoncteurs.

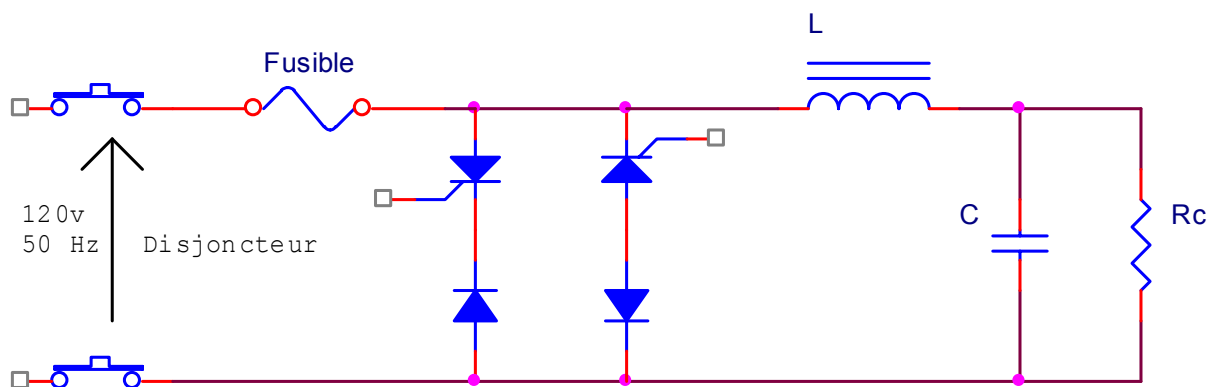


Figure 1-15 : Circuit de protection contre les surintensités accidentelles.

### 1.4.3 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.
- **Le refroidissement par des fluides intermédiaires (eau, huile, etc.)** : il est réservé aux thyristors de forte puissance. Le liquide circulant dans les radiateurs évacue la chaleur.

## 1.5 Différents types de SCR

Les types de SCR que l'on peut rencontrer sur le marché dépendent de l'application dans laquelle ils sont utilisés. On distingue :

**SCR standard** : sert principalement au redressement des tension alternatives en tensions continues pulsatives. Il est conçu pour des fréquences ne dépassant pas 1 kHz et des puissances dépassant plusieurs kilo-watts.

**SCR sensible** : appelé aussi le darlistor, tient son nom du fait qu'il s'amorce très facilement comparativement au SCR standard (le courant de gâchette est au dessous du milliampère). Il se trouve généralement dans des circuits électroniques de basse puissance.

**SCR rapide** : se différencie des autres SCR par sa fréquence d'utilisation qui peut atteindre 10 kHz. Il est caractérisé par un très faible temps de désamorçage qui ne dépasse pas 5  $\mu$ s et des tensions de blocage pouvant atteindre les 700 V. On le retrouve surtout dans les premiers convertisseurs de puissance.

**SCR asymétrique** : sa particularité vient du fait que sa tension de blocage en polarisation inverse est très faible par rapport aux autres types de SCR, ce qui se traduit par un temps de désamorçage parmi les plus faible qui puissent être. Conçu pour des applications à puissance élevée et à des fréquences qui peuvent atteindre les 50 kHz. Il remplace le SCR rapide dans la nouvelle génération de convertisseurs de puissance plus compact et plus légers.

### Exercice 1.3

1. Quelles sont les différentes façons de bloquer un SCR?
2. Quelle est la particularité d'un SCR standard?
3. Qu'est-ce qui distingue le SCR asymétrique de tous les autres types de SCR?

## 1.6 Les thyristors unidirectionnels spéciaux

### 1.6.1 Thyristor blocable par gâchette – GTO

#### Structure et symbole :

La figure 1-16 montre la structure physique et le symbole électrique d'un GTO. En gros, cette structure est la même que celle du SCR. Elle est composée de quatre couches semi-conducteurs PNPN.

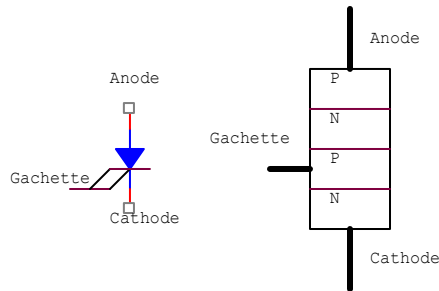


Figure 1-16 : Symbole et Structure d'un GTO

#### Fonctionnement :

Le fonctionnement du GTO est très similaire à celui du SCR, sauf en ce qui a trait à l'amorçage. Dans le cas d'un GTO, l'amorçage et le blocage se font par la gâchette. La figure 1-17 montre le circuit équivalent d'un GTO.

Une impulsion positive à la gâchette amorce le GTO. La partie SCR et le transistor Q3 conduisent alors le courant principal du GTO.

Une impulsion négative appliquée à la gâchette du GTO a donc comme effet l'extinction du transistor Q3 et, par conséquent, le blocage du GTO.

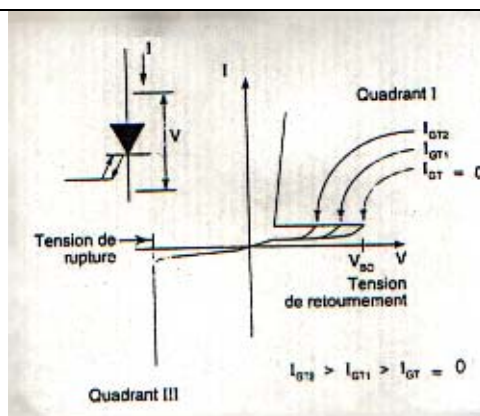


Figure 1-18 : Caractéristique « courant-tension » d'un GTO

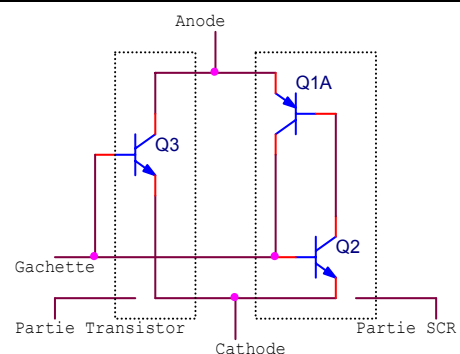


Figure 1-17 : Circuit équivalent d'un GTO

### 1.6.2 Photothyristor -LASCR

Le photothyristor est dérivé directement du SCR. Il est souvent désigné par son abréviation LASCR qui signifie en anglais Light Activated SCR. C'est ni plus ni moins un SCR qui peut être amorcé par lumière.

#### Symbole et circuit équivalent :

La figure 1-19 montre le symbole et le circuit équivalent d'un LASCR. C'est un composant à trois électrodes. Il peut être amorcé soit par la lumière, soit par une impulsion électrique à la gâchette.

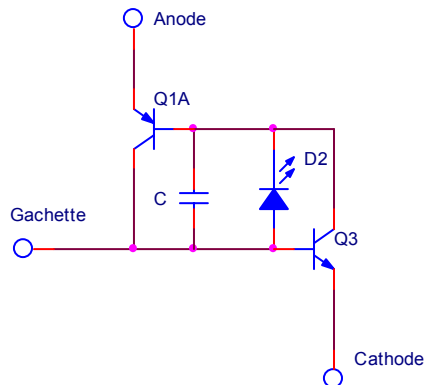


Figure 1-19 : Symbole et circuit équivalent d'un LASCR

#### Fonctionnement :

La lumière qui atteint la photodiode crée un courant entre les deux électrodes de base des transistors. Si l'énergie lumineuse est suffisante, la photodiode génère le courant de gâchette nécessaire pour amorcer le LASCR.

Dans les applications courantes, le LASCR est souvent utilisé pour la fabrication des optocoupleurs, comme le montre la figure 1-20.

Un signal de commande est appliqué aux bornes de la DEL qui constitue un dispositif d'entrée. Ce signal électrique est transformé en signal lumineux que le LASCR transforme à son tour sous forme d'un signal électrique. L'optocoupleur réalise ainsi une isolation électrique entre le signal d'entrée et le signal de sortie. L'un des premiers avantages des optocoupleurs réside dans la simplicité d'interface, qu'ils permettent de mettre en place, entre deux circuits alimentés par des sources distincts.

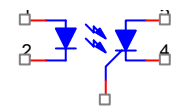


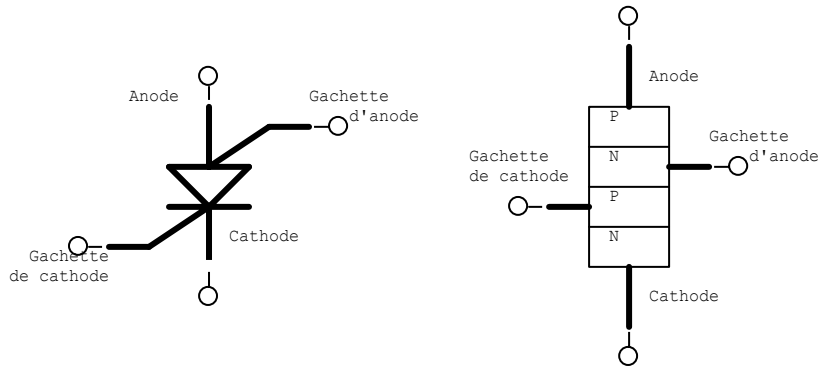
figure 1-20 :  
Diagramme d'un  
optocoupleur à sortie  
LASCR

### 1.6.3 Thyristor à double gâchette SCS



**Structure et Symbole :**

Il est constitué de quatre couches semi-conductrices PNPN. Par contre, les deux gâchettes le différencient des autres thyristors unidirectionnels. Il possède quatre électrodes qui sont : l'anode, la cathode, la gâchette d'anode Ga et la gâchette de cathode Gk.



**Figure 1-21 : Structure et Symbole d'un SCS**

**Fonctionnement :**

Le fonctionnement d'un SCS est similaire à celui de deux transistors connectés en mode de régénération.

<p>Pour amorcer un SCS, il faut :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soit une impulsion positive à la gâchette de la cathode (gâchette standard) ;</li> <li>• Soit une impulsion négative à la gâchette de l'anode (gâchette complémentaire).</li> </ul> <p>Pour bloquer un SCS, il faut :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soit une impulsion positive à la gâchette d'anode ;</li> <li>• Soit la commutation du courant de maintien.</li> </ul>	<p><b>Figure 1-22 : Circuit équivalent d'un SCS</b></p>
---	---

## II. ELEMENTS DE DECLENCHEMENT

### 2.1 Introduction

Les techniques d'amorçages résistif et par circuit RC sont rarement utilisées à cause du fait que le signal de gâchette doit être présent pendant une grande partie du temps durant lequel le SCR est amorcé. Cela implique une surchauffe de la gâchette du SCR, ce qui risquerait de l'endommager.

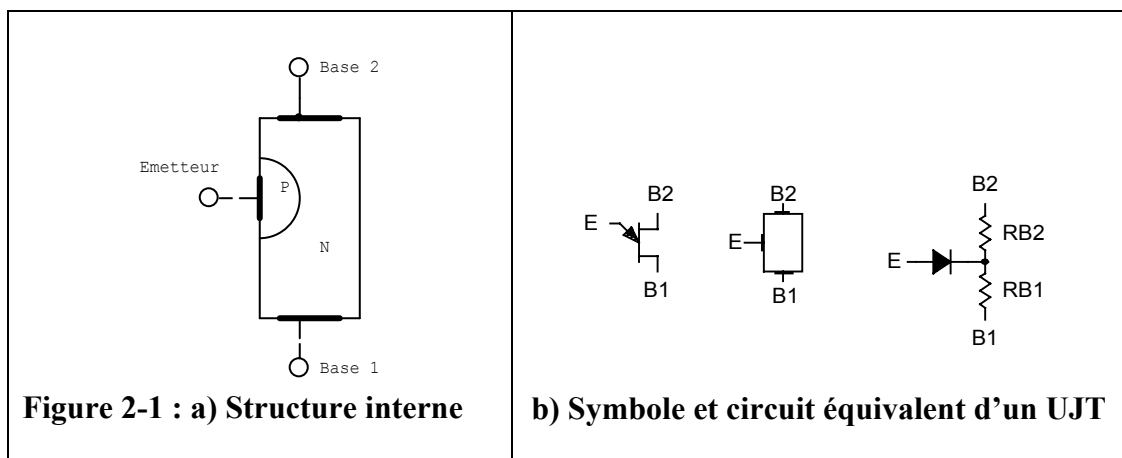
Les thyristors de déclenchement sont spécialement conçus pour réaliser des circuits d'amorçages plus performants afin de faciliter l'utilisation des thyristors de puissance comme le SCR et le TRIAC. Ces thyristors peuvent être classés comme unidirectionnels et bidirectionnels.

### 2.2 Les thyristors de déclenchement unidirectionnels

#### 2.2.1 Transistor Unijonction – UJT

##### Structure et circuit équivalent:

Le transistor unijonction est formé de deux couches semi-conductrices PN et comporte trois électrodes : un émetteur et deux bases. La figure 2-1 a) et b) représente la structure interne ainsi que le symbole et le circuit équivalent de l'UJT.



##### Principe de fonctionnement :

Un UJT est essentiellement composé d'une diode et d'une résistance variable RB1 et d'une résistance fixe RB2.

Les fabricants spécifient généralement pour chaque type des UJT les paramètres suivants :

**VA** : tension aux bornes de RB1.

$\eta$  : le rapport intrinsèque ;

$$\eta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.1)$$

Les valeurs typiques de  $\eta$ , pour chaque UJT, sont données par le fabricant. Elles peuvent généralement varier entre 0.5 et 0.8.

Avec la valeur du rapport intrinsèque du UJT, on calcule la valeur de la tension  $V_A$  à l'aide de la formule :

$$V_A = \eta V_{BB} \quad (2.2)$$

Dans laquelle  $V_{BB}$  représente la tension entre les bases B1 et B2 du UJT.

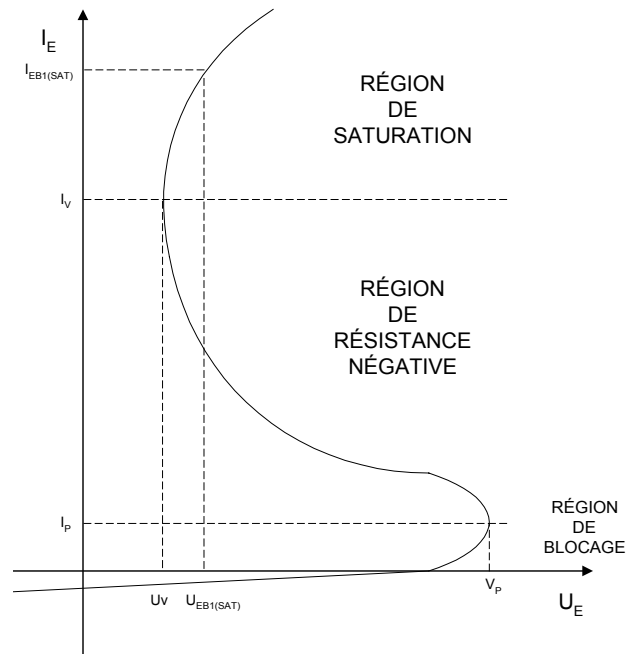


Figure 2.2 : Courbe  $I_E-U_E$  d'un TUJ

$U_V$  : tension de vallée

$U_P$  : tension de PIC (tension de pincement)

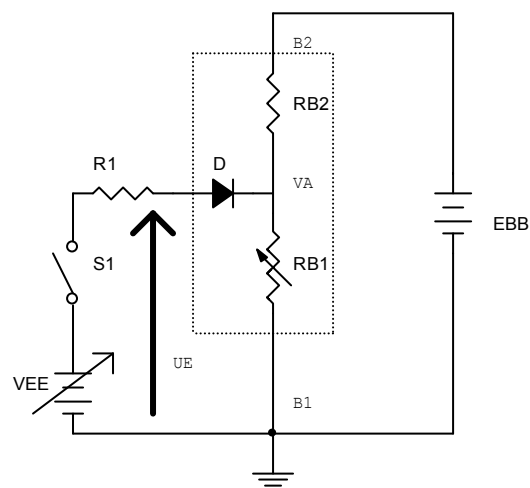


Figure 2-3 : Circuit d'amorçage d'un UJT

Si l'interrupteur S1 est ouvert, le courant dans l'émetteur est nul. La résistance entre la base 1 et la base 2 est alors égale la somme des résistances internes  $R_{B1}$  et  $R_{B2}$  du UJT. Elle peut varier entre  $3\text{ k}\Omega$  et  $10\text{ k}\Omega$ .

Avec la connaissance de l'ordre de grandeur de la tension  $V_A$ , il sera facile de comprendre le fonctionnement du UJT. En effet, à la fermeture de S1, si la tension  $U_E$  est inférieure à  $V_A$ , la diode D se trouve polarisée en inverse. Par conséquent, il n'y a pas de courant qui circule entre l'émetteur et la base B1 du UJT.

En augmentant progressivement la tension  $U_E$  par la source VEE, la diode D devient conductrice dès que la tension  $U_E$  est supérieure à  $V_A$  de  $0.7\text{ V}$ . A ce moment, le UJT devient conducteur et agit comme une résistance négative. Le courant  $I_E$  qui circule à travers la diode augmente alors rapidement. Au même moment, la tension  $V_{EB1}$  tombe à une tension de vallée  $U_v$  minimale. Le courant  $I_E$  émetteur ne sera limité que par la résistance R1 et la tension VEE.

La figure 2-2 montre caractéristique courant-tension d'un UJT. Dans cette caractéristique on distingue trois régions d'opération : la région de blocage, la région de résistance négative et la région de saturation. C'est la région de résistance négative qui procure au UJT son utilité pour servir à réaliser des circuits de déclenchement des thyristors ou simplement d'oscillateurs à relaxation.

La tension de pointe  $V_p$  (point crête) est donnée par la relation :

$$V_p = \eta E_{BB} + V_D \quad (2.3)$$

**Oscillateur relaxateur et transistor unijonction :**

Cet oscillateur relaxateur est fréquemment utilisé pour le déclenchement de thyristors, car il est simple et peu coûteux et qu'il ne comprend que quatre composants.

Lorsque la tension  $E_{BB}$  est appliquée au circuit, le condensateur C1 se charge à travers la résistance R1 selon la relation exponentielle :

$$V_c = E_{BB}(1 - \exp(-t/RC)) \quad (2.4)$$

Dès que la tension aux bornes de C1 atteint la valeur de  $PIC$ , le UJT laisse passer le courant et le condensateur se décharge à travers la résistance  $R_{B2}$ , produisant ainsi une impulsion positive à la borne B1.

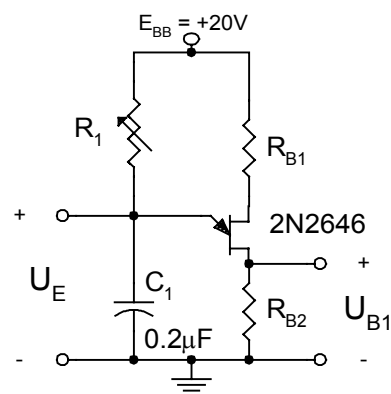


Figure 2-4 : Oscillateur relaxateur à UJT

Une impulsion négative de plus faible amplitude est produite simultanément à la borne B2. Lorsque  $V_c$  atteint la valeur de la tension de vallée (environ 2 V), le UJT se bloque et le cycle recommence.

L'amplitude des impulsions dépend du diviseur de tension formé par la résistance interbase  $r_{bb}$  et les résistances  $R_{B1}$  et  $R_{B2}$ .

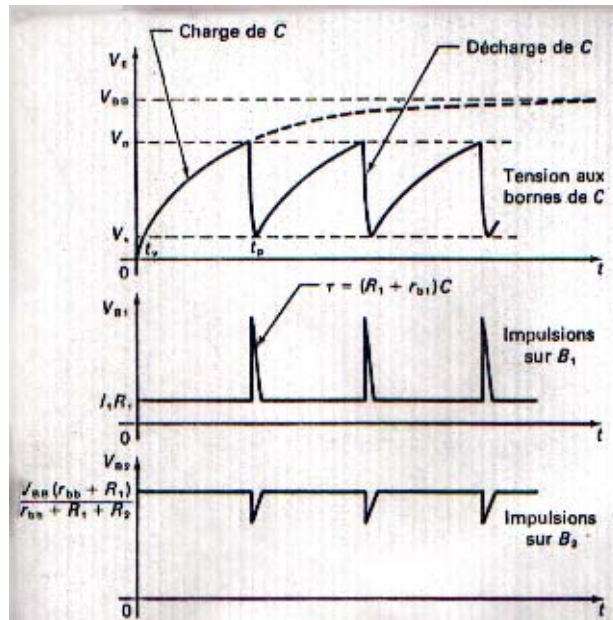


Figure 2-5 : Oscillogrammes relatifs à l'oscillateur relaxateur à UJT.

La période des impulsions dépend des valeurs de  $R$ ,  $C$  et  $\eta$ . La valeur de la période des oscillations est donnée par :

$$T \cong RC \ln \left( \frac{1}{1 - \eta} \right) \quad (2.5)$$

Pour que l'oscillateur relaxateur puisse osciller la résistance  $R$  doit être telle que :

$$R(\text{min.}) = \frac{E_{BB} - U_V}{I_V} < R < R(\text{max.}) = \frac{E_{BB} - U_P}{I_P} \quad (2.6)$$

### Exercice 2.1

Un oscillateur relaxateur est constitué d'un UJT 2N2646 et d'un condensateur de 0.2  $\mu\text{F}$ . on donne :

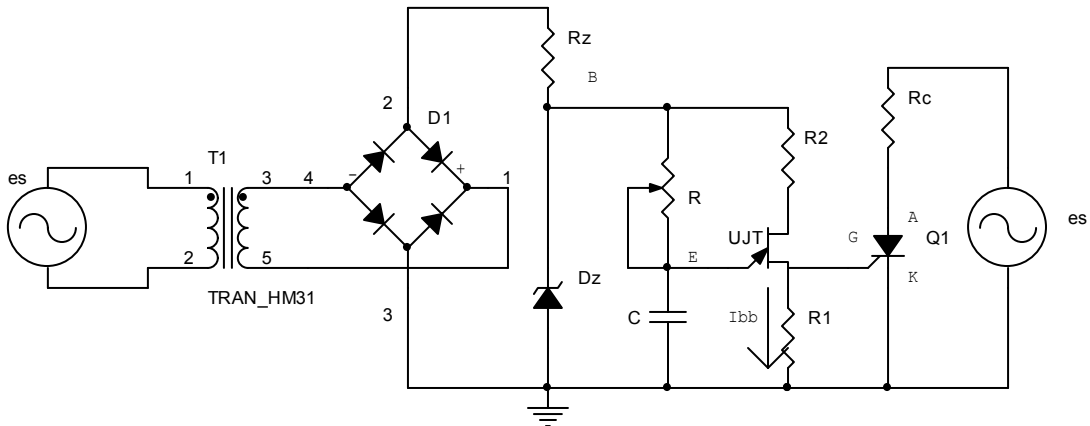
$$\begin{aligned} \eta_{\text{typ.}} &= 0.69 \\ I_P(\text{max.}) &= 5 \mu\text{A} \\ I_V(\text{min.}) &= 4 \text{mA} \\ U_D &\approx 0.5\text{V} \\ U_V &\approx 1.5\text{V} \end{aligned}$$

Calculez, lorsque  $E_{BB}$  est égale à 20 V :

1. la valeur de la résistance R requise pour obtenir une fréquence d'oscillation de 500 Hz ;
2. les valeurs limites théoriques de R et f.

**Amorçage du thyristor par un transistor unijonction :**

Un circuit d'amorçage du thyristor par un transistor UJT est représenté à la figure 2-6. Dans ce circuit de base, l'impulsion positive produite par l'oscillateur relaxateur est appliquée directement à gâchette du thyristor.



**Figure 2-6 : a) Amorçage d'un thyristor par un UJT**

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°. Le temps de retard à l'amorçage est déterminé par la relation :

$$tr \cong RC \ln \left( \frac{1}{1 - \eta} \right) \quad (2.7)$$

de sorte que l'angle d'amorçage est :

$$\alpha \cong \frac{2\pi tr}{T} \cong 2\pi f tr \quad (2.8)$$

La résistance R1 doit être suffisamment faible pour que le thyristor ne soit pas déclenché accidentellement par le courant Ibb circulant à travers R1. La valeur maximale de R1 est donc limitée à :

$$R_{1,max} \leq \frac{V_{GT,min}}{I_{bb}} \quad (2.9)$$

Où :

$$I_{bb} \cong \frac{V_{BB}}{R_1 + R_2 + r_{BB}} \quad (2.10)$$

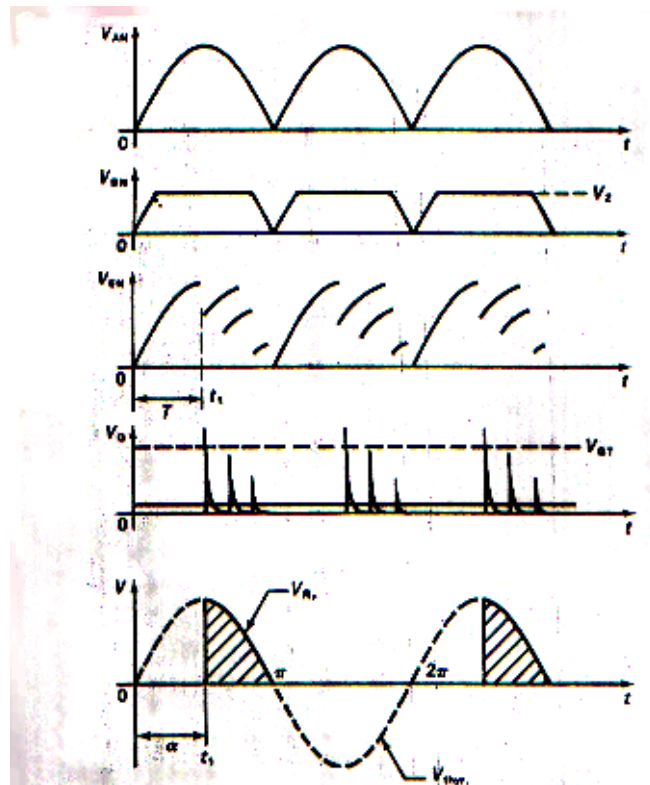


Figure 2-6 : b) formes d'onde du circuit d'amorçage.

Puisque ;  $r_{BB} \gg R_1 + R_2$ , on obtient :

$$R_{1,max} \leq \frac{V_{GT,min} r_{BB}}{V_{bb}} \quad (2.11)$$

### Exercice 2.2

Le circuit d'amorçage de la figure 2-6 comprend les éléments suivants :

- condensateur C de 0.1  $\mu$ F ;
- diode zener 1N5253B ;  $V_z=25$  V ;
- UJT 2N2646:  $\eta = 0.69$ ;  $r_{bb} = 6.7$  k $\Omega$ ;  $f = 50$  Hz.

Calculez:

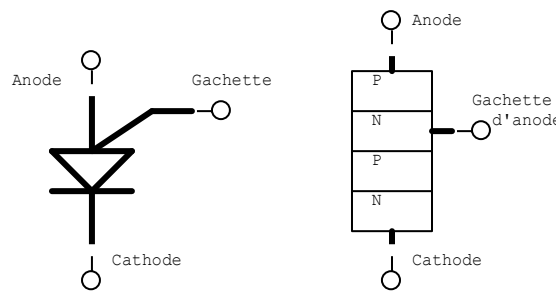
1. le temps de retard à l'amorçage et l'angle d'amorçage du thyristor lorsque le potentiomètre R est ajusté à 10 k $\Omega$ ;
2. la valeur maximale de R1, sachant que la tension d'amorçage  $V_{GT} = 0.7$  V (il faut prévoir une marge de sécurité de 0.4 V pour la tension d'amorçage).

**Application du transistor unijonction :**

Les transistors unijonction sont principalement utilisés dans les circuits d'amorçage des thyristors, les oscillateurs relaxateurs, les circuits temporisateurs et les circuits détecteurs de tension.

**2.2.2 Transistor Unijonction Programmable – PUT****Structure et Symbole:**

Le transistor unijonction programmable est constitué par un dispositif semi-conducteur PNP à trois jonctions et à trois électrodes de sortie (anode cathode et gâchette d'anode).



**Figure 2-7 : Symbole et structure d'un PUT**

**Principe de fonctionnement :**

Le montage du PUT peut être représenté par un circuit équivalent tel que celui illustré à la figure 2-8.b, dans lequel :

$$R_G \equiv \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.12)$$

Ce dispositif présente une caractéristique tension-courant semblable à celle de UJT (figure 2-8 ©)

La gâchette d'anode est polarisée à la tension  $V_G$  par l'intermédiaire du pont de résistance constitué par  $R_1$  et  $R_2$ . Lorsque la tension  $V_A$  est inférieure à la tension  $V_G$ , la diode anode-gâchette d'anode est polarisée en inverse et le PUT n'est traversé que par un très faible courant de fuite.



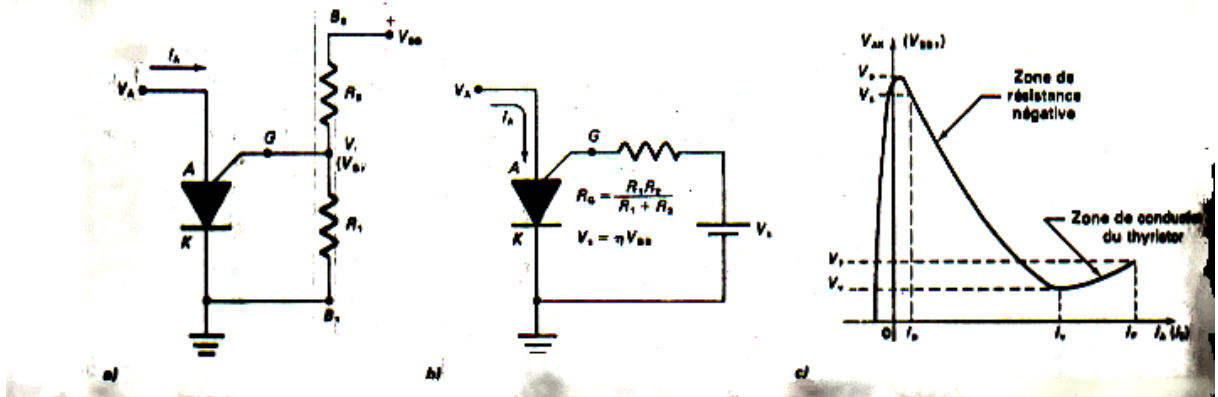


Figure 2-8 :a) Montage à PUT ; b) circuit équivalent de Thévenin ; c) caractéristique tension-courant.

Lorsque la tension d'anode \$V\_A\$ devient supérieure à la tension de gâchette \$V\_G\$, d'une valeur égale à environ 0.5 V, un courant circule dans l'anode et la gâchette et déclenche brusquement le thyristor cela a pour effet de réduire la résistance entre la gâchette et la cathode à une très faible valeur (de l'ordre de 10 \$\Omega\$). Il se produit un effet de résistance négative c'est-à-dire que le courant d'anode \$I\_A\$ augmente alors que la tension d'anode \$V\_A\$ diminue jusqu'à une valeur minimale appelée tension de vallée. Le courant d'anode nécessaire au déclenchement est le courant de pic \$I\_p\$ ; ce courant est d'autant plus faible que la résistance \$R\_G\$ est grande.

A l'état passant, la source de tension \$V\_s\$ fournit, à travers \$R\_g\$, un courant égal à :

$$I_{GA} = \frac{V_s - V_{GA}}{R_G} \quad (2.13)$$

Ce courant qui circuler en sens inverse du courant de déclenchement, est un courant de blocage du thyristor.

En résumé, le PUT laisse passer le courant, lorsque :

$$V_A = V_G + V_D$$

La tension de pic du PUT est donnée par :

$$V_p = \eta V_{BB} + V_D = \eta V_{BB} + V_{AG}$$

Le rapport intrinsèque du PUT est :

$$\eta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_p + V_D}{V_{BB}} \quad (2.14)$$

Ainsi en réglant les valeurs des résistances externes R1 et R2, on peut contrôler les valeurs de  $\eta$ , Ip et Iv.

**Oscillateur relaxateur PUT :**

Dans l'oscillateur relaxateur à PUT de la figure 2-8.a, la tension de cachette est fixée par l'intermédiaire du diviseur de tension constitué par R1 et R2. Cette tension de cachette détermine la tension de pic. Lorsque la tension aux bornes du condensateur C atteint la valeur e pic, le PUT laisse passer le courant, le condensateur se décharge brusquement et une impulsion apparaît aux bornes de Rk. Lorsque la tension Vc atteint la valeur de vallée, le PUT se bloque et le cycle recommence (figure 2-8.b)

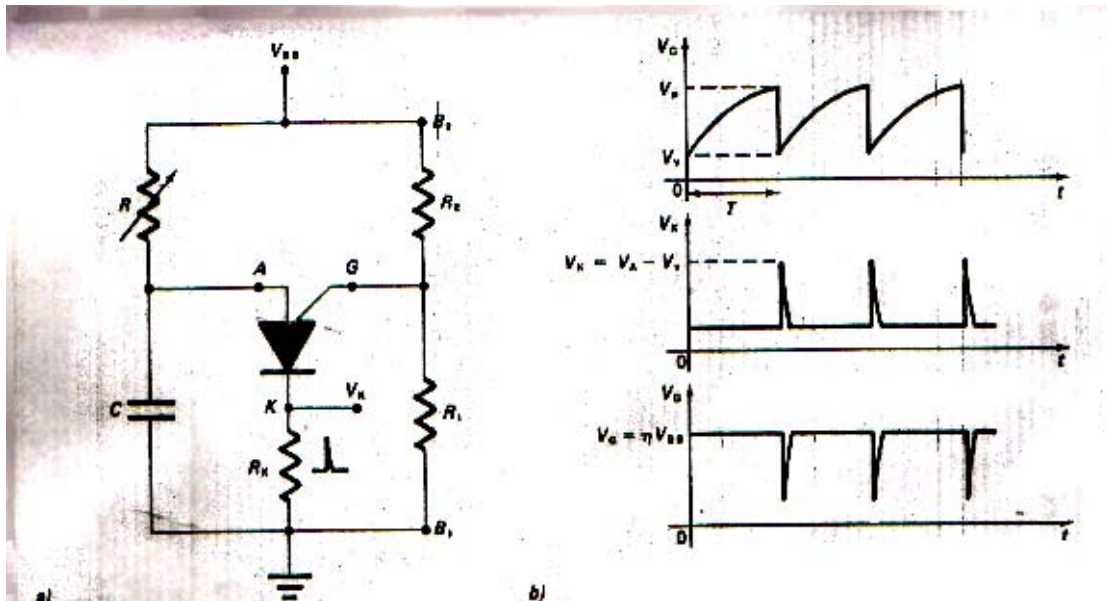


Figure 2-8 : a) oscillateur relaxateur à PUT ; b) formes d'onde de circuit.

La période de l'oscillation dépend des valeurs de R, C, R1 et R2 ; elle est déterminée par la relation :

$$T = RC \ln \left( \frac{V_{BB} - V_V}{V_{BB} - V_P} \right) \quad (2.15)$$

$$T = RC \ln \left( \frac{V_{BB}}{1 - \eta} \right)$$

Puisque :

$$\eta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Nous obtenons :

$$T = RC \ln \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (2.16)$$

La valeur de R doit être comprise entre les limites suivantes :

$$R(\text{min.}) = \frac{E_{BB} - U_V}{I_p} < R < R(\text{max.}) = \frac{E_{BB} - U_P}{I_v} \quad (2.17)$$

**Application du transistor PUT :**

Les principales applications des PUT sont :

- Les circuits d'amorçages de thyristors (figure 2-9) et de triac ;
- Les circuits temporisateurs à délai, de quelques secondes jusqu'à une heure ;
- Les oscillateurs relaxateurs.

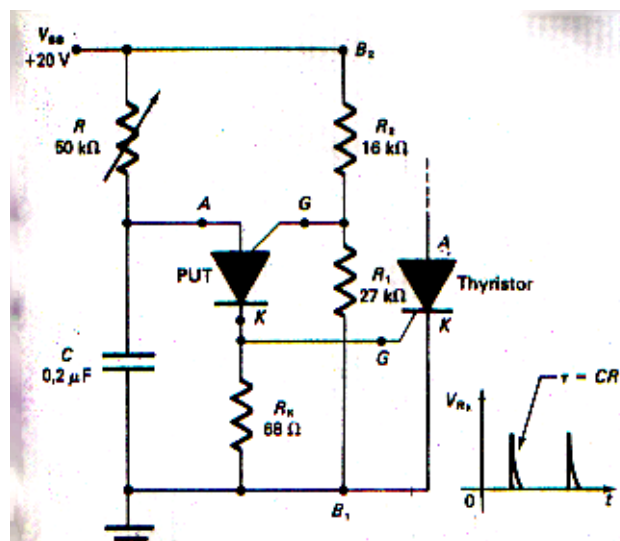


Figure 2-9 : amorçage d'un thyristor par un PUT.

**2.2.3 Diode SHOCKLEY**

**Structure et Symbole :**

La diode Shockley, appelée aussi diode à quatre couches, est un dispositif semi-conducteurs à quatre couches PNPN et à deux électrodes de sortie : anode et cathode (figure 2-10.a). Elle peut se comparer à l'association de deux transistors (figure 2-10.c).

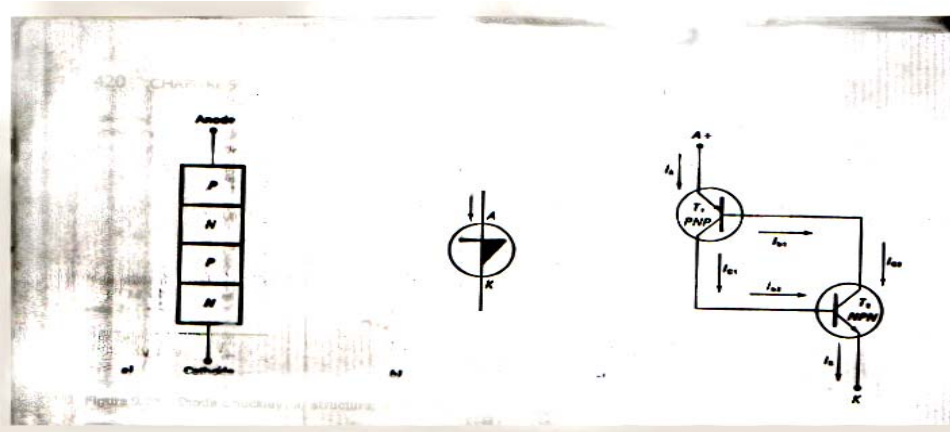
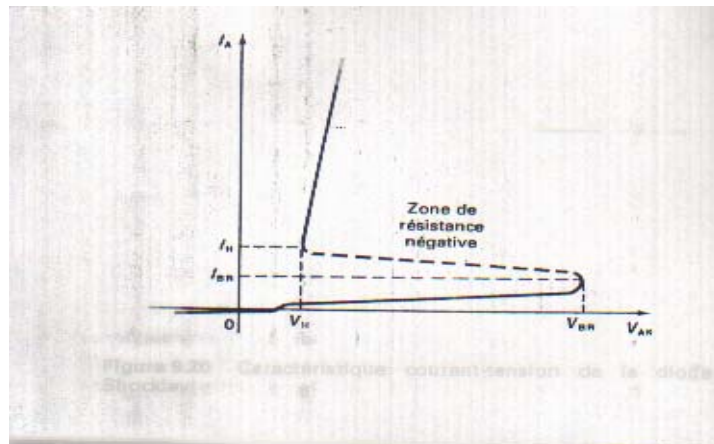


Figure 2-10 : Diode Shockley ; a) Structure ; b) Symbole ; c) Circuit équivalent.

**Principe de fonctionnement :**

La diode Shockley présente deux états stables : l'état passant l'état bloqué. La figure 2-11 représente la caractéristique courant-tension de la diode Shockley. Lorsque la tension appliquée aux bornes est inférieure à un certain seuil,  $V_s$ , appelé aussi tension de déclenchement ou tension de retournement ( $V_{BR}$ ), la diode est à l'état bloquée. Lorsque la tension anode-cathode atteint la valeur de la tension de déclenchement  $V_{BR}$ , la résistance de la diode s'effondre très rapidement et celle-ci laisse passer le courant.

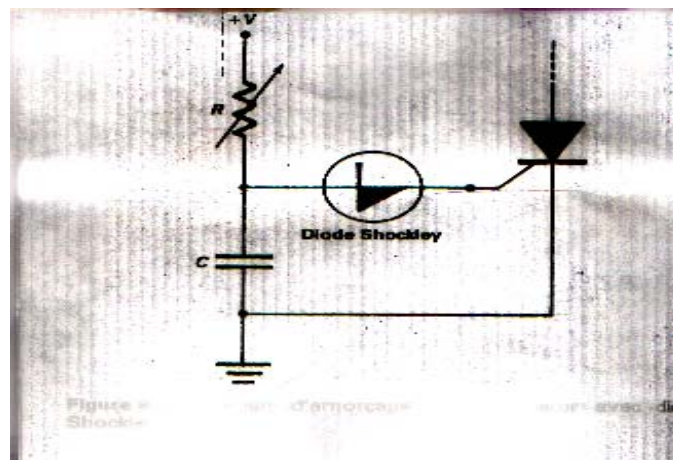


**Figure 2-11 : Caractéristique courant-tension de la diode Shockley**

Le reblocage de la diode s'effectue par la réduction soit du courant d'anode à une valeur inférieure au courant de maintien  $I_H$ , soit de la tension anode-cathode au-dessous de la valeur  $V_H$ .

**Applications :**

Les diodes Shockley sont utilisées dans les circuits d'amorçage de thyristors (figure 2-12) et de triacs, dans les générateurs d'impulsion, dans les générateurs de tension en dents de scie, etc.



**Figure 2-12 : Circuit d'amorçage d'un thyristor par diode Shockley.**

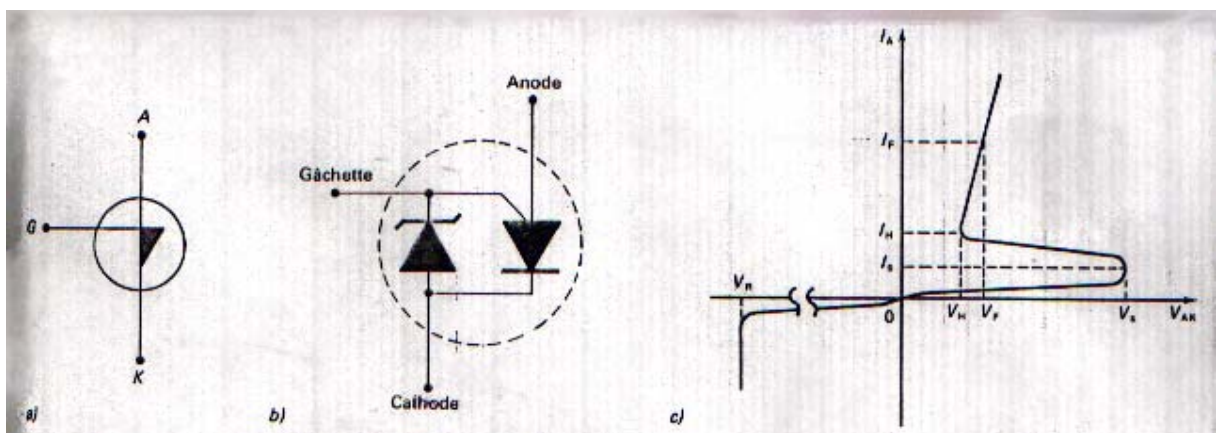
**Exercice 2.3**

1. dans quel cas un SCR conventionnel peut-il servir comme une diode Shockley ?
2. nommez deux applications de la diode Shockley.
3. combien de couches semi-conductrices constituent la structure interne d'une diode Shockley ?
4. pourquoi ajoute-t-on souvent une résistance  $R_G$  entre la gâchette et la cathode d'un SCR ?

**2.2.4 Commutateur Unilatéral – SUS**

**Structure et Symbole :**

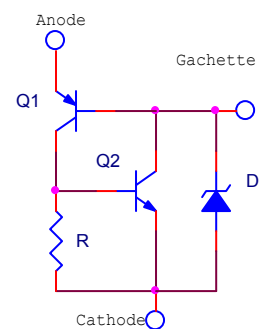
Le commutateur unilatéral SUS est un dispositif constitué par un thyristor miniature à cachette d'anode, auquel est associée une diode à avalanche à basse tension (figure 2-13). Il comporte trois électrodes qui sont l'anode, la cathode et la gâchette



**Figure 2-13 : le commutateur unilatéral SUS : a) symbole ; b) circuit équivalent ; c) caractéristique courant-tension**

**Fonctionnement :**

Le fonctionnement d'un SUS s'explique facilement à l'aide de la figure 2-14 qui représente le circuit équivalent d'un SUS. Il se déclenche lorsque une tension fixe, déterminée par sa diode à avalanche, est appliquée entre l'anode et la cathode. La cachette du SUS n'est utilisée que si l'on désire une synchronisation ou une commutation forcée. Dans ce cas, on applique à la cachette des impulsions ou une tension qui déclencheront le dispositif.



**figure 2-14 : circuit équivalent d'un SUS.**

**Applications :**

Le SUS est utilisé dans les oscillateurs relaxateurs (figure 2-15.a) pouvant fournir des impulsions de sortie capables de déclencher la plupart des thyristors (figure 2-15.b).

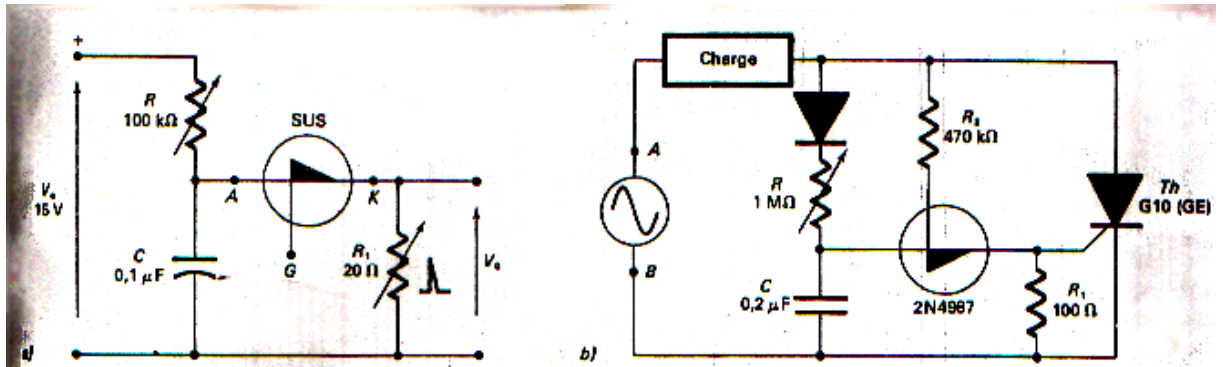


Figure 2-15 : a) Montage de principe de SUS. b) circuit d'amorçage d'un SUS.

Dans le circuit de la figure 2-15.b, la cachette du SUS est reliée à la branche supérieure de l'alimentation, ce qui permet de le déclencher à chaque alternance négative. Le condensateur C se décharge durant l'alternance négative et se charge à partir d'un certain niveau de tension fixe, lors des alternances positives.

## 2.3 Thyristors de déclenchement bidirectionnels

### 2.3.1 Commutateur Bilatéral – SBS

#### Structure et Symbole :

Le commutateur bilatéral SBS est un dispositif bidirectionnel à trois électrodes de sortie : l'anode 1, l'anode 2 et la gâchette II est constitué de deux commutateurs unilatéraux (SUS) identiques montés en parallèle-inverse (figure 2-16.b). Sa courbe caractéristique courant-tension (figure 2-16.c) est parfaitement symétrique et ses caractéristiques, lorsque la gâchette n'est pas utilisée, sont semblables à celles du SUS, sauf que la tension inverse  $V_r$  n'existe pas.

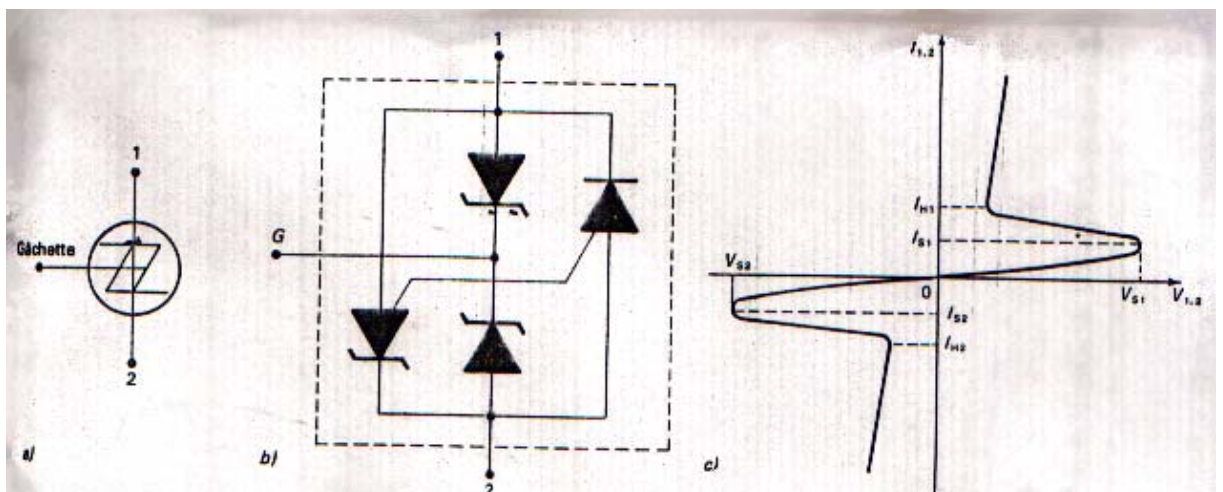


Figure 2-16 : Commutateur bilatéral SBS : a) symbole ; b) circuit équivalent ; c) caractéristique courant-tension

L'électrode de la gâchette du SBS sert à programmer le seuil de tension de retournement  $V_s$  du SBS dans les deux sens.

**Fonctionnement :**

Le fonctionnement du SBS est similaire à celui du SUS. Il est amorcé dans les deux sens par une tension de retournement adéquate. Il demeure conducteur tant que le courant du SBS ne tombe pas sous le courant de maintien  $I_H$  du SBS

**Applications :**

Le commutateur bilatéral fonctionne dans les deux sens. Il est surtout utilisé pour amorcer des triac. Mais du fait que sa tension de retournement se situe entre 6 et 10 V et qu'il peut délivrer des impulsions de courant de 1 A, il est utilisé aussi pour amorcer des thyristors fonctionnant à très basse tension.

**Exercice 2.4**

1. nommez le thyristor de déclenchement unidirectionnel qui permet de réaliser un SBS.
2. nommez les électrodes d'un SBS.
3. à quoi sert la gâchette dans un SBS ?
4. si la tension de retournement de polarisation directe  $V_{s1}$  est de +10 V, que vaudra  $V_{s2}$  en polarisation inverse pour ce même SBS ?

**2.3.2 DIAC****Structure et Symbole :**

Le DIAC est un dispositif bidirectionnel comprenant trois couches PNP et deux électrodes de sortie (figure 2-17 a) et b): anode 1 et anode 2.

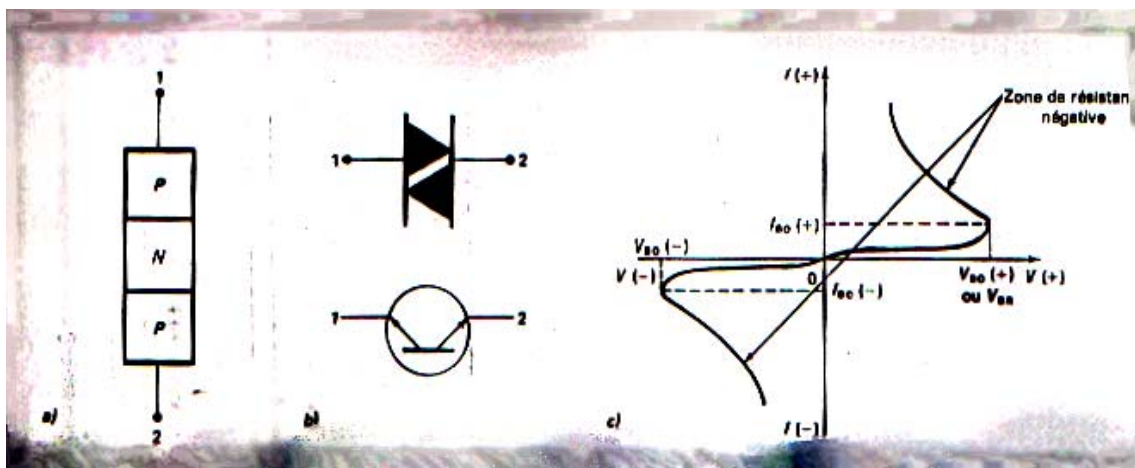


Figure 2-17 : DIAC :a) Structure; b) symbole; c) caractéristique courant-tension.

**Fonctionnement :**

Le Diac se comporte comme un commutateur dont l'état (bloqué ou saturé) dépend de la tension appliquée à ses bornes :

$$\begin{aligned} V_{12} < V_{bo} & \text{ état bloqué} \\ V_{12} > V_{bo} & \text{ état saturé} \quad (V_{bo} \text{ tension de retournement}) \end{aligned}$$

Le fonctionnement du Diac est similaire à celui de deux diodes Zeners montées tête-bêche. Quand la tension aux bornes du Diac atteint la valeur de retournement, le Diac devient conducteur ou amorcé. La tension à ses bornes est alors de 1 à 2V.

### Applications :

Le Diac est surtout utilisé dans les circuits d'amorçage de triacs. Alimenté en courant alternatif, il permet d'obtenir avec des condensateurs de faible valeur (0.1  $\mu$ F et 35 V par exemple) deux impulsions par période, l'une positive et l'autre négative, décalées de 180° l'une de l'autre. On peut ainsi amorcer un triac ou deux thyristors.

### Exercice 2.5

1. en quoi le DIAC ressemble-t-il au transistor ?
2. comment s'amorce un DIAC ?
3. le courant dans le DIAC est-il unidirectionnel ou bidirectionnel ?

## 2.4 TRIAC

Les thyristors ne fonctionnent en courant alternatif que durant une seule alternance par période. Pour pallier cet inconvénient et obtenir un contrôle de puissance en courant alternatif, on a alors utilisé un montage tête-bêche de deux thyristors. Ce dispositif, appelé TRIAC, qui peut laisser passer ou bloquer le courant dans les deux sens, est adapté à la commande de charges de puissance sur les réseaux alternatifs.

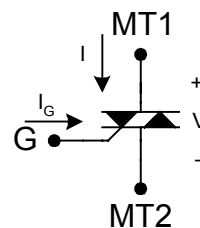


Figure 2-18 : Symbole du triac

### 2.4.1 Structure du TRIAC

Le triac est un élément semi-conducteur bidirectionnel de la famille des thyristors. Il est composé de cinq couches semi-conductrices NPNPN. Il comporte trois électrodes de sortie: la gâchette et deux bornes principales B1 et B2 (figure 2-19 a et b).

Le triac est l'équivalent de deux thyristors associés en parallèle - inverse et diffusés sur le même cristal (figure 2-19.c)



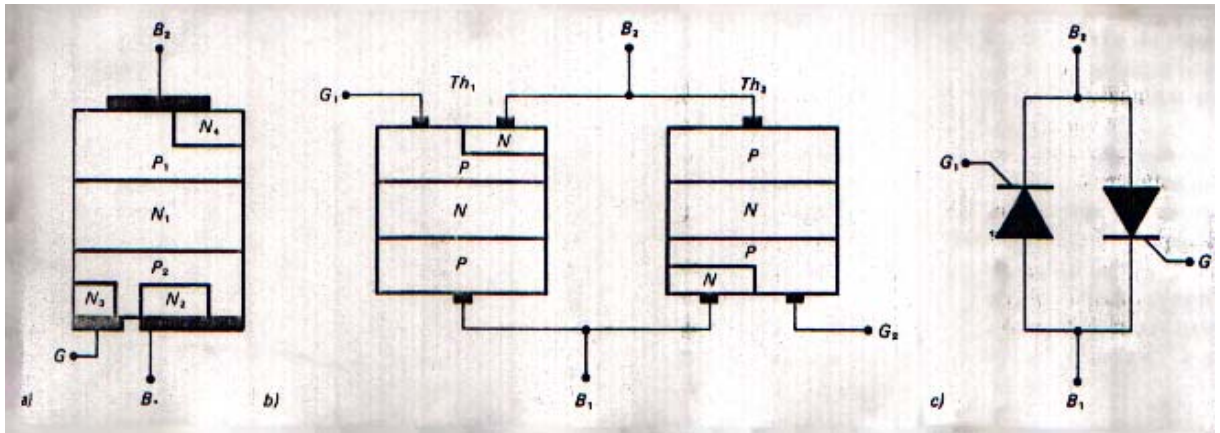


Figure 2-19 : a) structure du triac ; b) et c) équivalent à deux thyristors

### 2.4.2 Principe de fonctionnement

Le triac est à l'état bloqué dans les deux sens lorsque aucun signal n'est appliqué à la gâchette, soit lorsque  $I_G$  est égal à 0. Comme il n'existe qu'une électrode de commande, le déclenchement est effectué par des impulsions de gâchette positives et négatives à faible énergie dans le quadrant I ( $B_2$  positive par rapport à  $B_1$ ) ou le quadrant II ( $B_1$  positive par rapport à  $B_2$ ).

#### Modes d'amorçage du TRIAC

Le TRIAC peut être amorcé de quatre façons différentes:

- Quadrant I + :  $B_2$  positif par rapport à  $B_1$

$I_G$  positif

- Quadrant I - :  $B_2$  positif par rapport à  $B_1$

$I_G$  négatif

- Quadrant III + :  $B_2$  négatif par rapport à  $B_1$

$I_G$  positif

- Quadrant III - :  $B_2$  négatif par rapport à  $B_1$

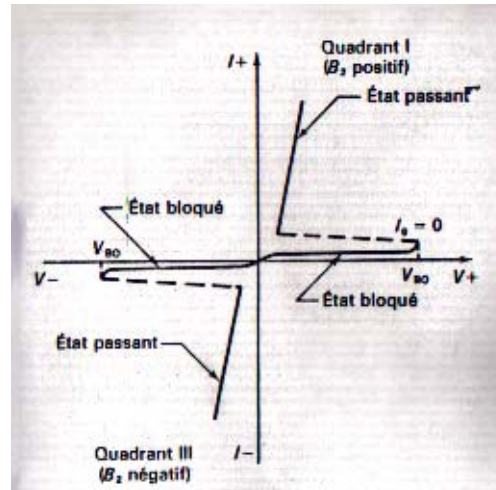
$I_G$  négatif

Mode	Quadrant	Polarité de $B_2$ par rapport à $B_1$	Polarité de $G$ par rapport à $B_1$
I+	I	Positive	Positive
I-	I	Positive	Négative
III+	III	Négative	Positive
III-	III	Négative	Négative

Tableau 2-1 : Différents modes d'amorçage du triac.

**Caractéristique courant-tension :**

La caractéristique typique courant tension du triac, représentée à la figure 2-21 est symétrique. Le premier quadrant, où B2 est positive par rapport à B1, correspond au fonctionnement du thyristor P1N1P2N2. Le troisième quadrant, où B2 est négative par rapport à B1, correspond au fonctionnement du thyristor P2N1P1N4 disposé en parallèle-inverse avec le thyristor précédent.



**Figure 2-21 : Caractéristique courant-tension d'un TRIAC.**

On définit, comme dans le cas du thyristor, une tension critique de claquage  $V_{bo}$  (tension de retournement) dans les deux sens pour un courant de gâchette  $I_g$  nul.

Cette tension doit être supérieure à la valeur maximale de la tension alternative d'alimentation appliquée, pour que le triac puisse rester à l'état bloqué dans les deux sens et qu'il puisse garder son effet de contrôle par la gâchette

Les définitions des courants de maintien ( $I_h$ ) et d'accrochage ( $I_L$ ) sont identiques à celles données pour les thyristors.

**Amorçage d'un triac par un diac :**

Le circuit de la figure 2-22.a représente le montage le plus simple et le plus connu. Il est utilisé dans les variateurs de lumière.

Au départ, la tension entre la gâchette et la borne B1 est nulle. Dès que la tension est appliquée, le condensateur C commence à se charger à travers la résistance  $R_{prot}$  et le potentiomètre  $R_v$ .

Lorsque la tension à ses bornes atteint la tension de retournement du diac, positive ou négative, le diac laisse passer brusquement le courant, ce qui provoque la décharge partielle de C dans le circuit de gâchette du triac qui est alors amorcé.

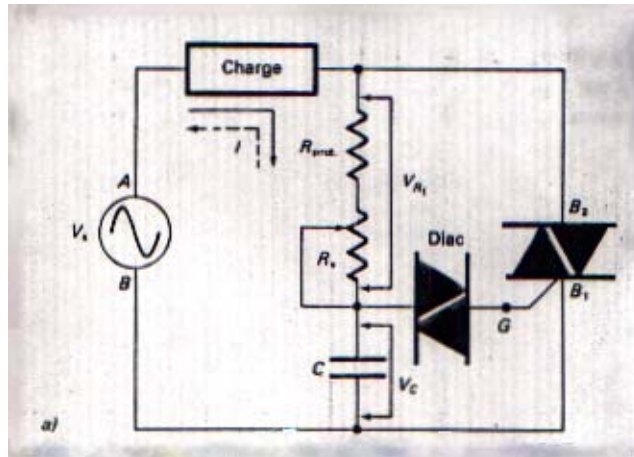


Figure 2-22 : amorçage d'un triac par diac : a) schéma de principe

L'angle d'amorçage du triac (figure 2-22.b) est :

$$\alpha = \phi_1 + \phi_2 \quad (2.18)$$

avec :

$\phi_1$  : déphasage arrière de  $V_c$  par rapport à la tension source  $V_{source}$  ;

$\phi_2$  : délai provenant du temps de charge du condensateur C.

L'angle  $\phi_1$  est donné par :

$$\phi_1 = \arctan\left(\frac{IR_t}{IX_c}\right) = \arctan\left(\frac{R_t}{X_c}\right) \quad (2.19)$$

Où :

$$R_t = R_v + R_{prot}$$

et :

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

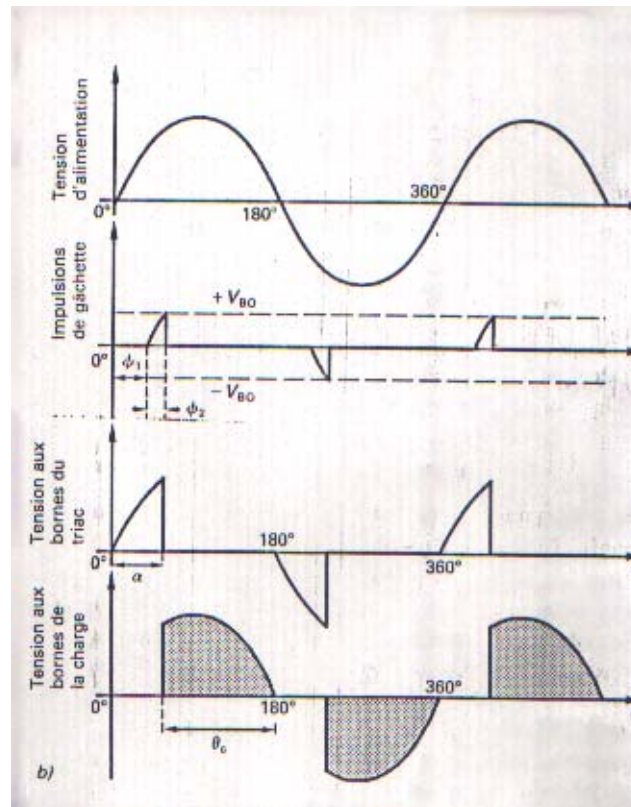


Figure 2-22 : amorçage d'un triac par diac : b) formes d'onde des tensions.

L'angle  $\phi_2$  correspond au temps de charge nécessaire pour que la tension  $V_c$  aux bornes du condensateur atteigne la valeur de tension  $V_{BO}$  du diac :

$$\phi_2 = \arcsin\left(\frac{V_c}{V_{source,max}}\right) \quad (2.20)$$

Où :

$$V_c = V_{BO}$$

$$V_{source,max} = \sqrt{2}V_{source,eff}$$

Au moment de l'amorçage du triac, par déclenchement du diac, l'amplitude du courant  $I$  qui circule dans le circuit RtC est :

$$I = \frac{V_{R_t}}{R_t} = \frac{V_c}{X_c} \quad (2.21)$$

de sorte que :

$$R \approx \frac{V_{R_t} X_c}{V_c} \quad (R_c \text{ est négligeable})$$

Pour un angle d'amorçage  $\alpha$  de  $90^\circ$ , on a :

$$V_{R_t} = \sqrt{V_{source,max}^2 - V_c^2} \quad (2.22)$$

**Exercice 2.6**

Les composants du circuit illustré à la figure 2-22.a sont :

$R_{prot} = 3,3 \text{ k}\Omega$  ;  $C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$  ; diac ST2 ( $V_{bo} = 32 \text{ V}$ ) ;  $R_c = 10 \text{ }\Omega$ .

La tension d'alimentation est de 120 V et 50Hz. Calculez :

- A) le temps de retard à l'amorçage et l'angle de conduction du triac lorsque le potentiomètre  $R_v$  est réglé à 10 k $\Omega$  ;
- B) la valeur du potentiomètre requise pour obtenir un contrôle de l'angle d'amorçage entre 0° et 90°.

## 2.5 Lampe au NEON

**Symbole :**

La lampe au néon miniature à deux électrodes de sortie peut être utilisée comme dispositif bidirectionnel.

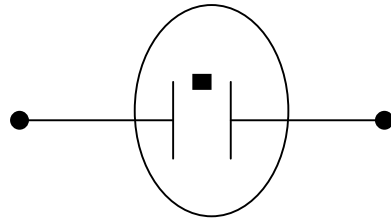


Figure 2-23 : Représentation symbolique de la lampe au NEON

**Fonctionnement :**

Lorsque la tension aux bornes de la lampe au néon atteint un certain seuil (tension de claquage), le gaz est ionisé et la lampe laisse passer le courant. La caractéristique courant-tension est semblable à celle du DIAC, mais la tension de retournement est de l'ordre de 90 V et le courant fourni est assez faible, ce qui a pour effet de limiter son emploi.

La lampe au néon est un dispositif peu coûteux peut être utilisé pour l'amorçage des triacs et des thyristors à faible courant de gâchette.