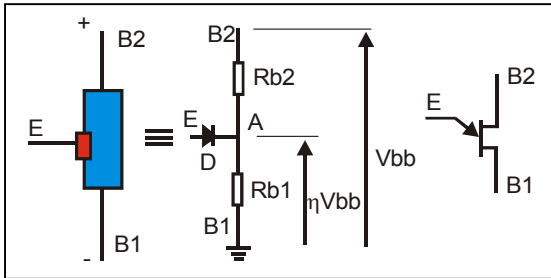


LE TRANSISTOR UNIJONCTION

Structure

C'est un composant mineur qui a cependant à quelques applications intéressantes aux fréquences basses .

Le transistor unijonction (UJT) est un barreau semi-conducteur , le plus souvent N , possédant une jonction latérale . Les deux extrémités du barreau sont appelées bases 1 et 2 , l'électrode latérale est l'émetteur . L'ensemble est assimilable à une diode D et un diviseur de tension R_{B1}, R_{B2} .



Un UJT est représenté comme le montre la figure ci contre , ce graphisme ressemble à celui du FET mais l'émetteur est une flèche inclinée indiquant le sens du courant. La presque totalité des UJT du commerce ont des barreaux N , des UJT complémentaires sont concevables mais inexistant sur le marché .

L'émetteur étant en l'air ($I_E=0$) les résistances R_{B1} et R_{B2} définissent au niveau de l'émetteur une tension de repos qui est proportionnelle à la tension

appliquée entre les deux bases.

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

Le paramètre η est le **rapport intrinsèque de l'UJT** , sa valeur est le plus souvent comprise entre 0,5 et 0,8 .

Appliquons maintenant une tension entre émetteur et base B1, :

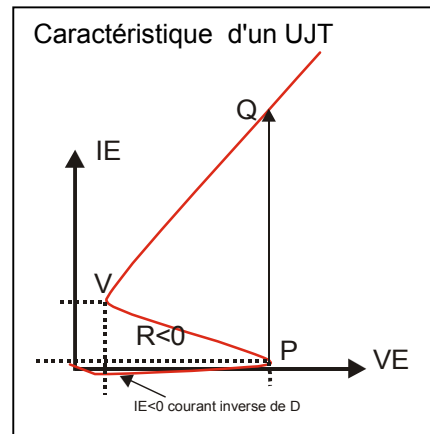
Si cette tension est inférieure à ηV_{BB} , la diode est bloquée et le courant émetteur nul.

Si V_E dépasse cette limite la diode conduit et des porteurs sont injectés dans le barreau, mais la conductibilité d'un semi-conducteur est proportionnelle à la concentration des porteurs, R_{B1} diminue entraînant une diminution du potentiel du point A (figure) d'ou une augmentation du courant injecté qui provoque à son tour une nouvelle diminution de la résistance .Il y a effet cumulatif se traduisant par l'apparition d'une résistance différentielle négative La caractéristique courant tension du dipôle E-B₁ est représentée sur la figure ci contre . Dès que la limite $V_E = \eta V_{BB}$ est atteinte, le courant émetteur augmente considérablement , le point de fonctionnement sautant de P à Q

L'UJT possède deux états :

- un état bloqué pour lequel le courant d'émetteur est très faible, c'est le courant de fuite de D
- un état conducteur correspondant à la branche QV de la caractéristique .

P est appelé pic , V vallée, la tension de vallée est de l'ordre d'un seuil de diode .



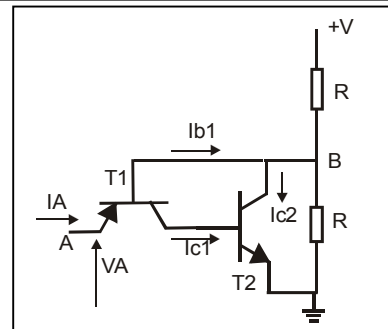
Circuit à transistor équivalent à un UJT - UJT programmable.

Considérons le montage à deux transistors complémentaire de la figure ci jointe.

Si initialement le point A est au potentiel 0 , T1 est bloqué donc aussi T2 et le potentiel du point B est $V/2$.

Si le potentiel de A monte, T1 reste bloqué tant que V_A est inférieur à $V/2 + 0,6V$ environ . Dès que V_A dépasse cette limite, T1 se débloque , son courant collecteur rend T2 conducteur et le potentiel de B diminue ce qui accroît le courant émetteur de T1 d'ou effet cumulatif se traduisant par une résistance négative.

Dans la zone de tension ou les deux transistors



fonctionnent en régime linéaire :

$$V_B = \frac{V}{2} - \frac{R}{2}(I_{C2} + I_{B1}) \cong \frac{V}{2} - \frac{R}{2}I_{C2}$$

mais $I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = \beta_2 I_{C1} \cong \beta_2 I_A$

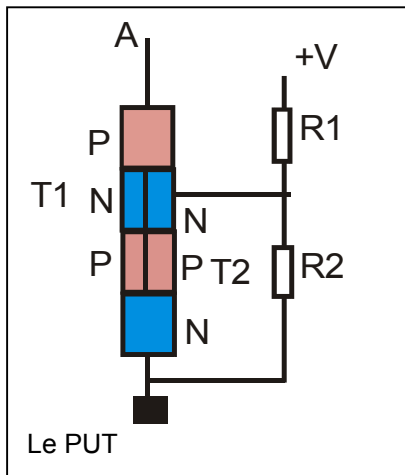
donc : $V_A = V_B - V_{BE} = \frac{V}{2} - V_{BE} - \frac{R}{2}\beta_2 I_A$

La caractéristique à une pente négative $-\frac{R}{2}\beta_2$

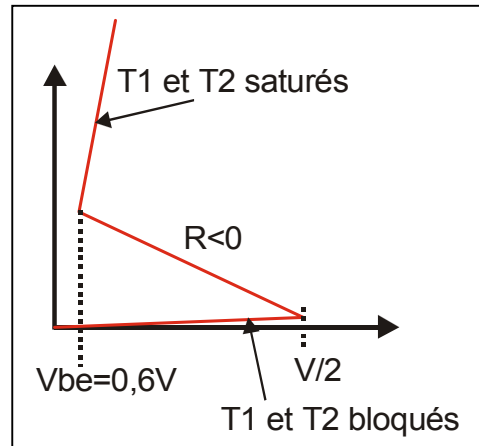
Pour un courant d'entrée suffisant les deux transistors sont saturés . D'où la forme de courbe ci contre très semblable à celle d'un UJT , avec dans ce cas un rapport intrinsèque de 0,5 ,

Ce rapport intrinsèque peut être choisi à volonté en modifiant le rapport des deux résistances .

Cette structure peut être construite dans un bloc unique de semi-conducteur, en confondant base de T1 et collecteur de T2 ainsi que collecteur de T1 et base de T2 on obtient en effet la structure à 4 couches ci dessous . C'est un UJT programmable, dont on fait varier le rapport en modifiant un pont de résistances extérieures .



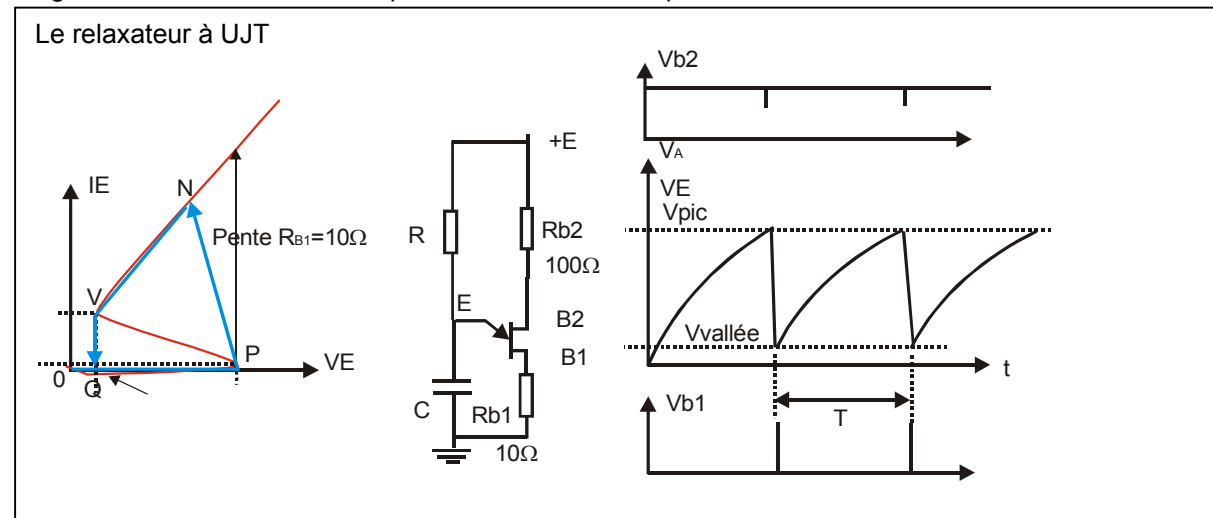
De tels composants ont été commercialisés par RCA (PUT = Programmable Unijunction Transistor)



Circuit fondamental: Le relaxateur à UJT

C'est ce circuit qui est utilisé la plupart du temps. A la mise sous tension du montage le condensateur C se charge via R , la tension d'émetteur de l'UJT croit mais le courant d'émetteur reste quasiment nul tant que la tension de pic (ηE) n'est pas atteinte .Le point de fonctionnement se déplace de l'origine à P sur la caractéristique . Au delà de P le point de fonctionnement saute en N , et C se

l'origine à P sur la caractéristique . Au delà de P le point de fonctionnement saute en N , et C se



décharge sous fort courant , le point de fonctionnement décrit NV . Cette décharge est très rapide car en conduction la résistance d'entrée de l'UJT est très faible et la résistance R_{B1} est petite . L'UJT de bloque alors (saut de V à Q) , et le condensateur se recharge de nouveau.

Ce dispositif est un oscillateur de relaxation dont la période est donnée par (en négligeant le temps de décharge de C) :

$$V_E - V_V = (E - V_V)(1 - \exp\frac{-T}{RC}) = V_P - V_V$$

soit avec $V_V = \eta E$

$$T = RC \operatorname{Ln} \frac{1}{1 - \eta}$$

Ce montage fournit également de brèves impulsions positives aux bornes de R_{B1} ainsi que de faibles créneaux négatifs sur la base B_2 , car lorsque l'UJT conduit, son courant de base 2 augmente un peu.

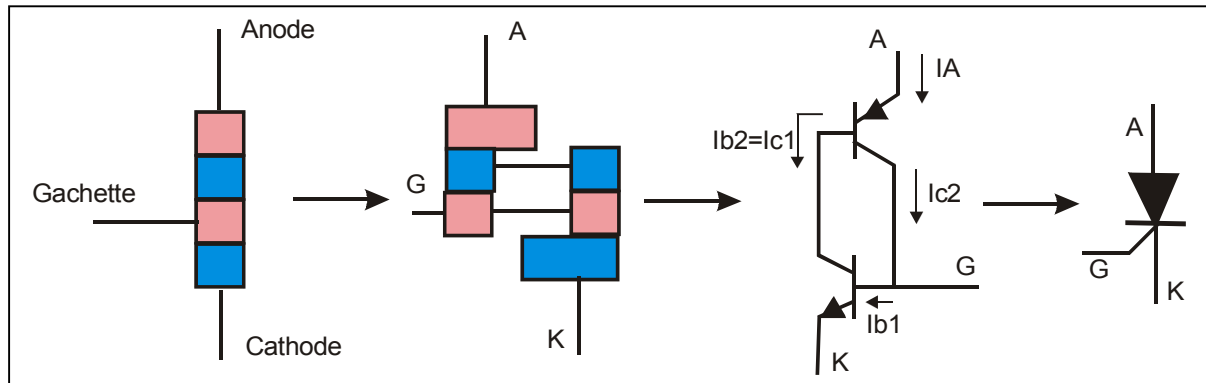
Certains auteurs ont essayé de réaliser des oscillateurs en exploitant la partie à résistance négative de la caractéristique, mais les montages sont délicats à faire fonctionner et de toute façon limités aux fréquences basses, un UJT ne fonctionnant guère au delà de 100kHz.

LES REDRESSEURS COMMANDES THYRISTOR ET TRIAC

C'est essentiellement un composant de puissance utilisé en électrotechnique . Comme l'UJT il possède deux états, bloqué et conducteur mais peut fonctionner avec des courants et tensions très élevés. (Plusieurs milliers de volts des milliers d'ampères pour de très gros éléments) . On utilise des thyristors pour piloter des moteurs , parfois de très gros moteurs , dans les motrices du TGV par exemple .

Structure du Thyristor

Le thyristor est un composant à 4 couches que l'on peut assimiler à la combinaison de deux transistors.



Les trois bornes sont l'anode , la cathode et la gâchette .

En absence de tout courant de gâchette :

$$I_{C1} = I_{C10} + \beta_1 I_{B1}$$

$$I_{C2} = I_{C20} + \beta_2 I_{B2}$$

Les I_{C10} et I_{C20} étant les courants de fuite de collecteur des deux transistors.

Mais $I_{B2} = I_{C1}$. De ces deux équations on tire l'expression du courant total de l'accès A

$$I_A = I_{B2} + I_{C2} = I_{C20} + \frac{(1 + \beta_2)(I_{C10} + \beta_1 I_{C20})}{1 - \beta_1 \beta_2}$$

En présence d'un courant de gâchette $I_{B1} = I_{C2} + I_G$, l'équation précédente devient

$$I_A = I_{B2} + I_{C2} = I_{C20} + \frac{(1 + \beta_2)(I_{C10} + \beta_1 (I_{C20} + I_G))}{1 - \beta_1 \beta_2}$$

Si le courant de gâchette est nul , le courant collecteur de T1 est faible, or pour de très faibles courants le β d'un transistor est petit.(les porteurs injectés dans la base sont peu nombreux et sont détruits par les porteurs majoritaires de base) Dans le cas présent , les transistors ont des bases larges et le produit $\beta_1 \beta_2$ est inférieur à l'unité. Le courant total est donc faible .

Si l'on injecte un courant de gâchette , le courant base de T1 augmente donc aussi son gain, le produit $\beta_1 \beta_2$ atteint la valeur 1 et le courant I_A tend vers l'infini, plus précisément il n'est plus limité que par les composants extérieurs. Le thyristor est 'passant' .Les deux transistors sont saturés et la tension entre anode et cathode est celle d'une diode c'est à dire ,pour de forts courants ,de l'ordre du volt.

Déclenchement du thyristor .

Il faut accroître les β de façon que le produit $\beta_1 \beta_2$ atteigne 1. Ceci peut être obtenu :

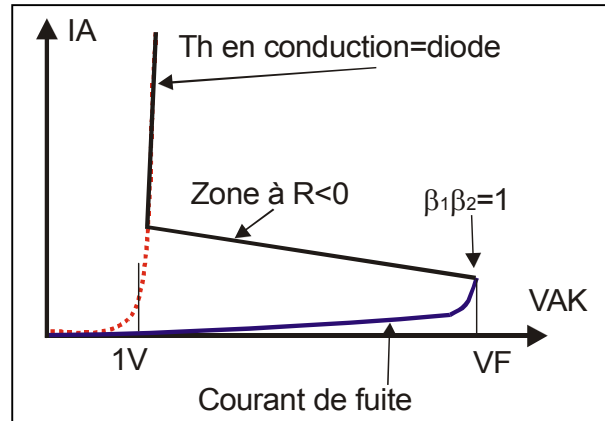
- Par augmentation de la tension d'anode , le gain d'un transistor augmente en effet avec sa tension collecteur émetteur, (effet Early) . La tension limite pour laquelle se produit la conduction est appelée **tension de retournement** V_F . Cette tension est semblable à la tension de pic d'un UJT, la caractéristique du thyristor est d'ailleurs semblable à celle de l'UJT

-Par augmentation de la température (le courant de fuite d'un transistor au silicium double tous les 10° .)

- Par un effet photo électrique sur les jonctions , c'est le cas des photo thyristors .

- Par effet transistor en injectant un courant de gâchette . C'est la méthode de déclenchement la plus courante .Pour des thyristors dont le courant d'anode peut atteindre quelques ampères, le courant gâchette nécessaire au déclenchement peut être de quelques dizaines de milliampères.

- Si la tension sur l'anode , bien qu'inférieure à la tension de retournement , varie trop vite. En effet le composant possède une capacité dont le courant de charge $i = C \frac{dV}{dt}$ peut déclencher la conduction. Il existe donc un dV/dt à ne pas dépasser .



Le thyristor une fois déclenché se comporte comme une diode

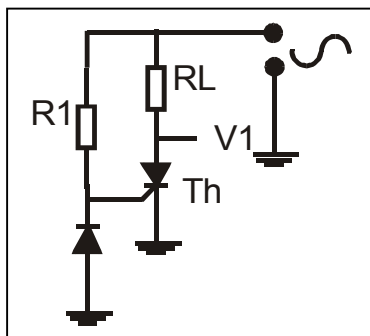
Extinction d'un thyristor

Lorsque le thyristor est conducteur ses courants internes sont grands et le produit $\beta_1\beta_2$ très supérieur à 1 , la gâchette est alors sans action. Pour revenir à l'état bloqué il faut

- Annuler le courant principal
- Ou ce qui revient au même annuler ou inverser la tension anode cathode . Cette inversion doit durer un certain temps pour que les charges d'espace internes aient le temps de s'évacuer. (quelques microsecondes)

Montages en courant alternatif .

La tension anode s'inversant à chaque alternance le thyristor s'éteint automatiquement à la fin de chaque alternance positive .

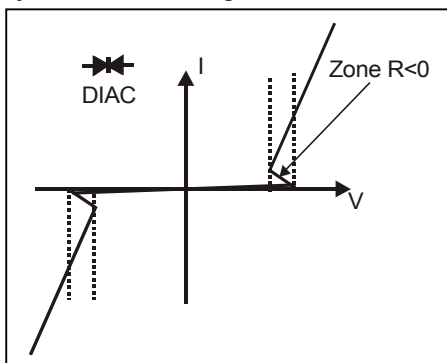
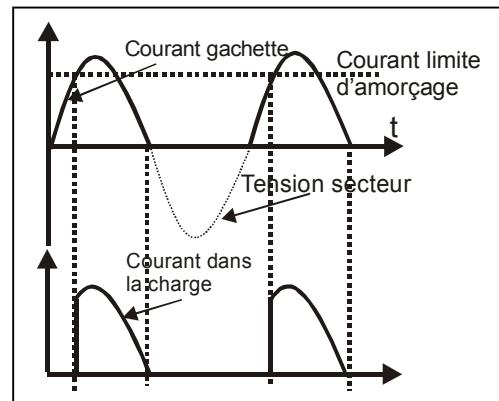


Le montage ci contre est le plus simple .Le courant ne traverse la charge que durant l'alternance positive de la tension alternative alimentant l'ensemble.

Le courant de gâchette est déterminé par la résistance R1 et la conduction se produit lorsque ce courant atteint une valeur seuil. La durée de conduction est donc d'autant plus faible que R1 est

grande mais ne peut pas être inférieure à un quart de période .

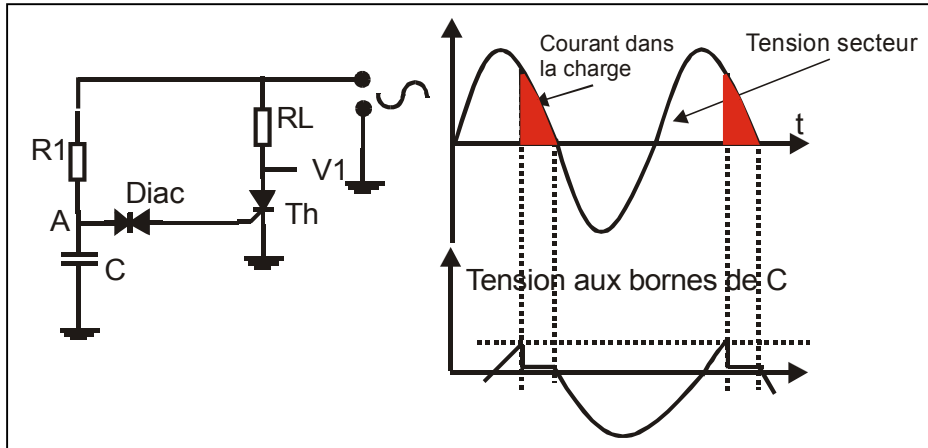
Pour augmenter la gamme de réglage il suffit d'ajouter au montage un condensateur .Ce dernier se



charge à partir de la tension alternative V1 via R1 , mais la tension à ses bornes est en retard de phase par rapport V1. En dessous de la tension de seuil, le courant d'entrée de gâchette n'est cependant pas nul , la forme de la tension sur cette électrode est très différente d'un arc de sinusoïde et le déphasage difficile à calculer. Le fonctionnement est grandement amélioré en ajoutant en série avec la gâchette un DIAC . C'est un composant à 4 couches se comportant comme deux diodes tête bêche dont la caractéristique ressemble à celle d'un double UJT avec une tension de vallée importante . (figure ci contre) .

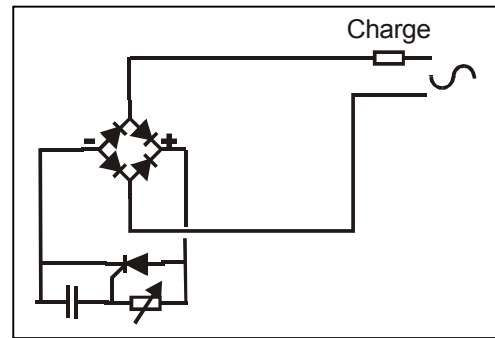
Tant que la tension au point A (figure suivante) est inférieure au seuil de conduction du diac , le courant prélevé sur le condensateur est nul et l'évolution de la tension à ses bornes parfaitement calculable . Cette tension atteinte, le diac devient

brutalement conducteur envoyant sur la gâchette un fort courant qui 'allume' le thyristor . Plus la résistance R1 est grande et plus le retard entre le début de l'alternance et la conduction du thyristor est longue. L'instant de conduction peut presque atteindre la fin de l'alternance . Il est enfin possible d'utiliser un déphaseur à 2 résistances et deux condensateurs pour accroître l'excursion de phase et améliorer le fonctionnement à courant de charge très faible . (point



d'allumage très proche de la fin de l'alternance) ;

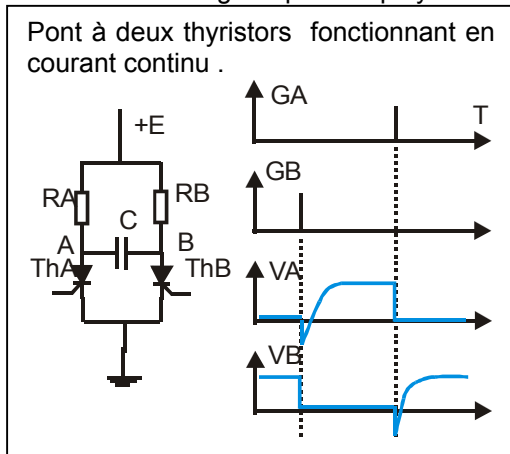
Ce montage n'alimente la charge que pendant une alternance , pour utiliser les deux il est possible de placer le thyristor dans la diagonale d'un pont de diodes, le courant qui le traverse est alors toujours de même signe, le fonctionnement est délicat car le blocage s'effectue par annulation de la tension aux bornes et non son inversion, la charge doit n'avoir alors aucune composante réactive qui introduirait un déphasage entre courant et tension , et en particulier ne pas être selfique .



Les montages en courant continu

Il est toujours facile d'allumer un thyristor , tout le problème est de l'éteindre .

Le montage le plus employé est le

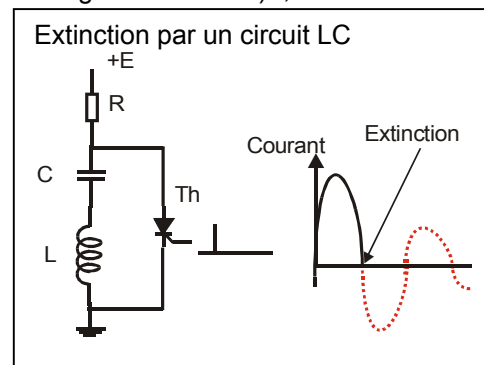


pont à deux thyristors reproduit ci contre. Des impulsions de déclenchement sont envoyées alternativement sur les deux gâchettes .

En régime normal un seul thyristor conduit à la fois . Si ThA est conducteur et ThB bloqué le potentiel du point A est voisin de zéro alors que celui de B est proche de E. Si une impulsion est alors envoyée sur la gâchette de ThB le point B chute brutalement, cette variation est transmise en A c'est à dire l'anode de Th1 par le condensateur C Si C est assez gros (pour que la tension soit négative assez longtemps pour permettre l'élimination des charges stockées) , cette chute de tension bloque Th1, le potentiel du point A

remonte ensuite vers +E , C se rechargeant via RA.

Ce montage fonctionne parfaitement à condition de choisir une valeur de C compatible avec les courants qui sont commutés, mais il se bloque si accidentellement les thyristors conduisent tous les deux. Il faut alors prévoir un dispositif extérieur de sécurité capable de bloquer l'un des deux thyristors en le court-circuitant ou en interrompant son courant anodique, un MOS de puissance peut jouer ce rôle.

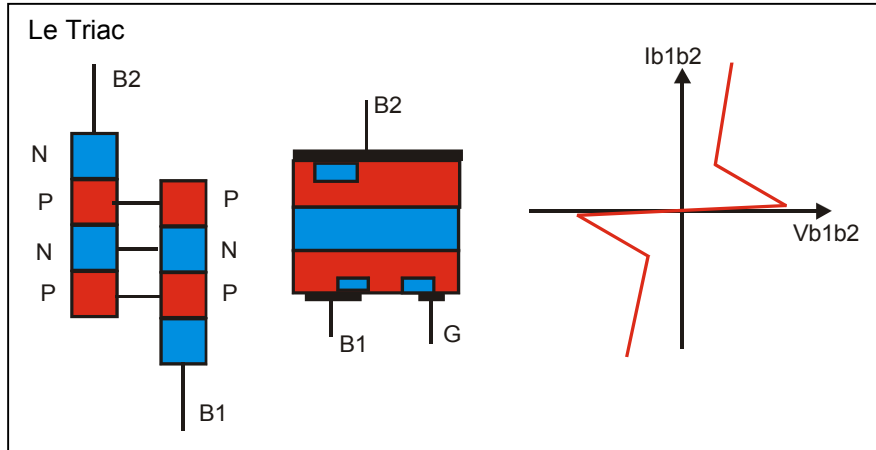


Il est possible également d'interrompre le courant d'un thyristor en faisant appel à un circuit oscillant .(Figure ci contre) . Lorsque le thyristors est allumé par une impulsion sur sa gâchette , le courant de décharge de LC est oscillant et Th se désamorçe à la fin de la première alternance .

De façon générale les montages en courant continu sont délicats à mettre au point , ils sont cependant très importants car utilisés pour la réalisation de bases de temps et d'onduleurs de puissance (Voir chapitre sur les alimentations) .

Les Triacs

Un triac est un composant à 5 couches qui se comporte comme deux thyristors tête- bêche, cependant à la différence de cette association ils sont pilotables par une seule gâchette active dans les 4 quadrants. Le triac est rendu conducteur par une impulsion de courant dont le signe peut être le même quelque soit la tension entre ses deux bornes B1 et B2 .



Le montage le plus simple est le gradateur de lumière couramment utilisé pour ajuster l'éclairage d'une ampoule , son fonctionnement est parfait si l'on utilise un diac. Il s'agit d'une commande de phase identique à celle qui a été décrite plus haut mais fonctionnant cette fois pour les deux alternances de la tension d'entrée.

Bibliographie :

Technologie des composants électroniques
Tome 2
R BESSON
Éditions RADIO

