

# LE THYRISTOR ET LE TRIAC

**C**ES dispositifs semi-conducteurs sont utilisés en interrupteur commandé.

Le thyristor, dont l'origine du nom est le mot grec « thyr » signifiant « porte », est en réalité une porte qui s'ouvre au courant en actionnant une « gâchette ». Le thyristor a remplacé le thyatron, triode à gaz très utilisée en électronique industrielle avant l'avènement du thyristor, et qui avait supplanté en son temps les relais mécaniques.

Les diacs et les triacs, dont le nom vient de l'anglais (« Diode for Alternating Current » et « TRIode for Alternating Current »), ont été spécialement conçus pour le courant alternatif. En leur ajoutant un circuit déphaseur, ils peuvent commander les alternances positives et négatives, ce qui leur donne l'avantage de posséder un bon rendement dans leur emploi. Leurs applications sont très diverses : réglage de la luminosité d'une lampe à incandescence pour la prise de vue en photographie, réglage de la vitesse d'un moteur de perceuse électrique, de la puissance d'un radiateur électrique, etc.

L'utilisateur devra observer une grande prudence pour la manipulation de ces composants fonctionnant sur le secteur.

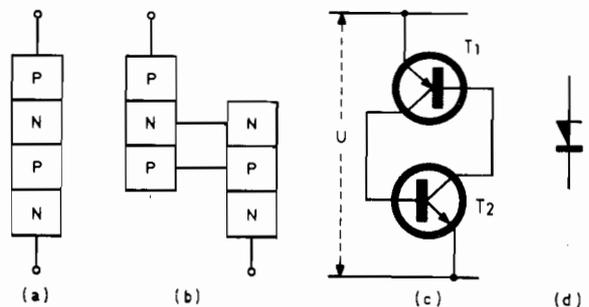


Fig. 1. — La diode PNP (a) peut être représentée scindée en deux (b), pour comprendre son fonctionnement (c). Sa représentation symbolique est donnée en (d).

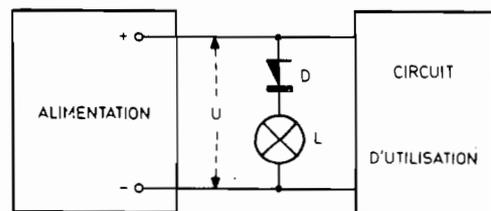


Fig. 2. — Détecteur de surtension utilisant une diode PNP.

## La diode PNP

Ce composant, appelé également « diode à 4 couches » ou « diode Shockley », possède une particularité intéressante. En lui appliquant une tension faible, cette diode réagit comme une diode bloquée. Mais, à partir d'une certaine tension, il y a déclenchement, et son impédance chute d'une façon soudaine.

Cette diode est équivalente à un ensemble de deux transistors connectés à réaction positive, comme nous le montrons sur la figure 1. En scindant cette diode en deux blocs (b), le tout est équivalent au branchement de deux transistors PNP et NPN (c). Le déclenchement s'explique aisément. A partir d'une certaine tension  $U$ , le courant collecteur de  $T_1$ , appliqué à la base de  $T_2$  est

amplifié par celui-ci pour être transmis sur la base de  $T_1$ , qui va l'amplifier à son tour... Il y a effet cumulatif, et l'ensemble, parcouru par un courant élevé, présente une impédance très faible. La diode sera désamorcée en coupant son alimentation. La représentation symbolique de la diode Shockley est donnée sur la figure 1 (d).

La plus simple application de cette diode, qui

vient à l'esprit, est le détecteur de surtension (fig. 2). La diode est connectée en série avec une ampoule témoin qui s'allumera dès que la surtension dépassera le seuil de déclenchement de  $D$ .

Une autre application très simple est le générateur de dents de scie (fig. 3). Dans ce schéma classique, le condensateur  $C$  se charge à travers la résistance  $R$ . Lorsque la

tension aux bornes de C dépasse le seuil de déclenchement de la diode Shockley, celle-ci décharge C jusqu'à une valeur pour laquelle la diode présente une impédance élevée. Le condensateur recommence alors à se charger jusqu'à la tension de déclenchement de D.

La diode PNP est également employée dans les schémas de thyristors.

### Qu'est-ce que le thyristor ?

Reprenons le schéma équivalent de la diode Shockley constitué par deux transistors PNP et

NPN et adjoignons une troisième électrode : la gâchette (fig. 4). Cette gâchette étant d'abord « en l'air », ce nouveau composant est alimenté par une tension dont la valeur n'est pas suffisante pour le déclencher. Si une impulsion légèrement positive est appliquée à la gâchette, nous obtenons le même phénomène que tout à l'heure, l'impulsion se retrouve amplifiée par  $T_2$ , puis par  $T_1$ , etc.

Une fois le thyristor déclenché, le courant disparaît en coupant l'alimentation.

Le schéma représentatif du thyristor est donné sur la figure 4 (c).

Le thyristor est souvent désigné par les lettres SCR (Silicon Controlled Rectifier, soit en français « Redresseur Silicium Commandé »).

En résumé, le thyristor est un redresseur au silicium pourvu d'une troisième électrode, la gâchette. Si la gâchette reste au même potentiel que la cathode, le thyristor se comporte comme un circuit ouvert, même si la polarité est positive sur l'anode. Mais si la gâchette est un peu plus positive (de quelques volts) de telle manière qu'un courant de gâchette circule entre gâchette et cathode, le thyristor se comporte comme un redresseur ordinaire, son cou-

rant est limité par l'impédance extérieure.

Bien que la gâchette soit utilisée pour le déclenchement, elle est sans effet pour le blocage. Celui-ci peut être rétabli en coupant l'alimentation, ou encore en court-circuitant très brièvement le thyristor, ce qui crée une dérivation de courant (le courant dans le thyristor chute au-dessous d'une certaine valeur de courant, appelé « courant de maintien » et le thyristor se désamorce). Dans les circuits alimentés en alternatif, le thyristor se bloque automatiquement à chaque alternance négative.

### Utilisation du thyristor

Le thyristor peut être utilisé aussi bien en continu qu'en alternatif.

En continu, le schéma le plus simple est donné figure 5. Le thyristor est placé en série avec le circuit d'utilisation. A la mise sous tension, le thyristor ne laisse pas passer le courant, bien qu'une tension positive soit appliquée sur son anode. Une brève impulsion sur le bouton-poussoir P applique une tension positive sur la gâchette, le thyristor se déclenche, le circuit est alimenté et il le reste jusqu'à ce que l'alimentation soit coupée (le thyristor fonctionne en relais).

Le même schéma est transposé en alternatif (fig. 6). Sans la gâchette et son circuit, le montage ressemble à un redresseur à une alternance. A l'état initial, le courant ne passe pas, une légère tension positive appliquée à la gâchette par l'interrupteur I laisse passer le courant. La diode D a pour rôle d'appliquer seulement une tension

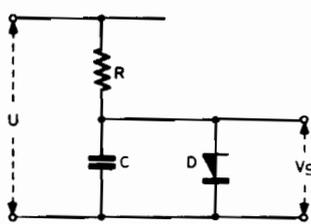


Fig. 3. - Générateur de dent de scie utilisant une diode PNPN.

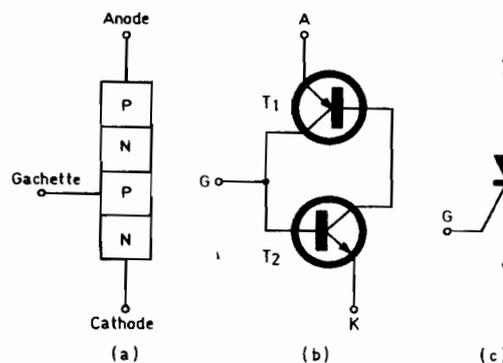


Fig. 4. - Par l'adjonction d'une gâchette à une diode PNPN (a), l'effet cumulatif est déclenché en appliquant une impulsion sur G (b). La représentation symbolique est donnée en (c).

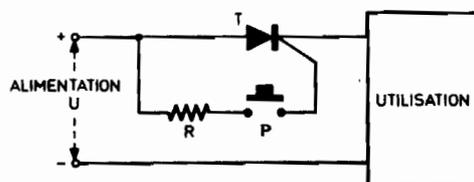


Fig. 5. - Le thyristor se déclenche en actionnant le bouton poussoir P.

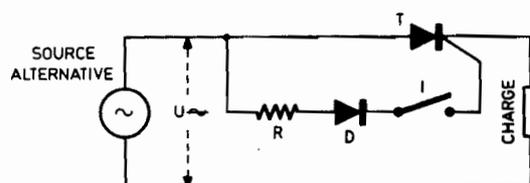


Fig. 6. - Le thyristor est déclenché par la tension appliquée sur la gâchette (interrupteur I fermé).

positive sur la gâchette. Quant à l'extinction du thyristor, elle se fait automatiquement à chaque alternance négative comme cela est expliqué sur la figure 7.

Un grand avantage du thyristor est qu'il permet de doser la quantité de courant envoyé à la charge, et cela sans perte d'énergie dans une résistance ballast ou dans un potentiomètre. Le schéma comporte alors un circuit déphaseur (fig. 8). La tension de gâ-

chette est alors déphasée par rapport à celle appliquée sur l'anode du thyristor, et une partie seulement de l'alternance positive est transmise à la charge, ici une ampoule de 100 W (fig. 9). En faisant varier le déphasage, le courant pour l'utilisation passe de zéro (déphasage de 180°) au maximum (déphasage nul). On réalise ainsi un gradateur de lumière ou un réglage de vitesse pour perceuse électrique.

### Déclenchement du thyristor

La tension ou le courant appliqué à la gâchette pour l'amorçage du thyristor sont donnés par le constructeur. Les valeurs sont de l'ordre de 10 V et 5 mA respectivement. Il est également conseillé que l'impédance de la source de déclenchement ne soit pas trop élevée, elle est généralement inférieure à 300 Ω.

Il existe plusieurs modes

de déclenchement. Nous avons vu celui utilisant un bouton-poussoir relié à travers une résistance au pôle positif de l'alimentation. D'autres possibilités sont indiquées figure 10. En (a) le déclenchement s'effectue par une impulsion. On note que, sur ce schéma, la charge et le thyristor ont été intervertis par rapport à la représentation de la figure 5. Sur la figure 10(b), la charge d'un condensateur est utilisée. On em-

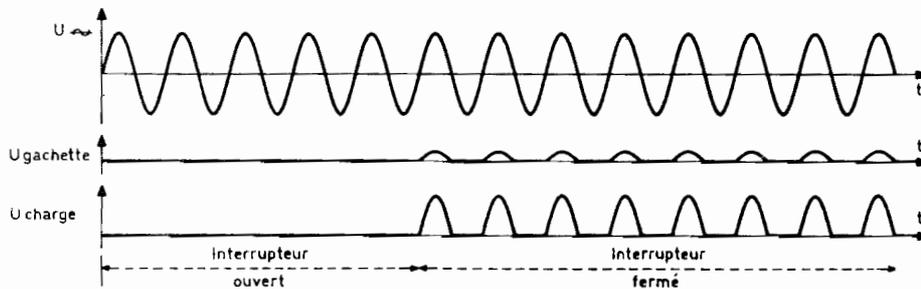


Fig. 7. — Représentation des signaux appliqués au schéma de la figure 6.

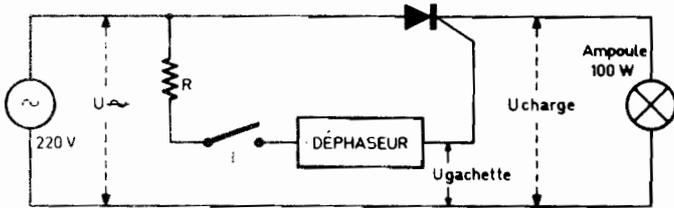


Fig. 8. — Par l'utilisation d'un déphaseur, on commande le courant envoyé à l'ampoule de 100 W.

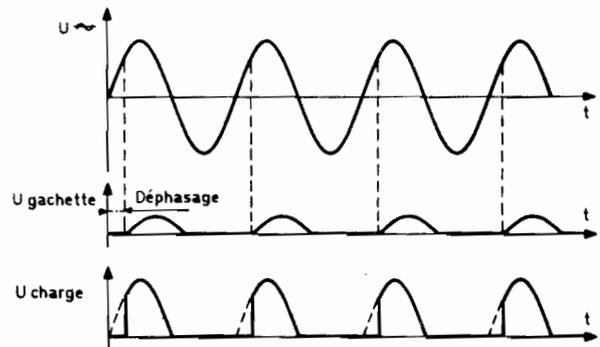


Fig. 9. — Explication simplifiée de la commande par déphasage.

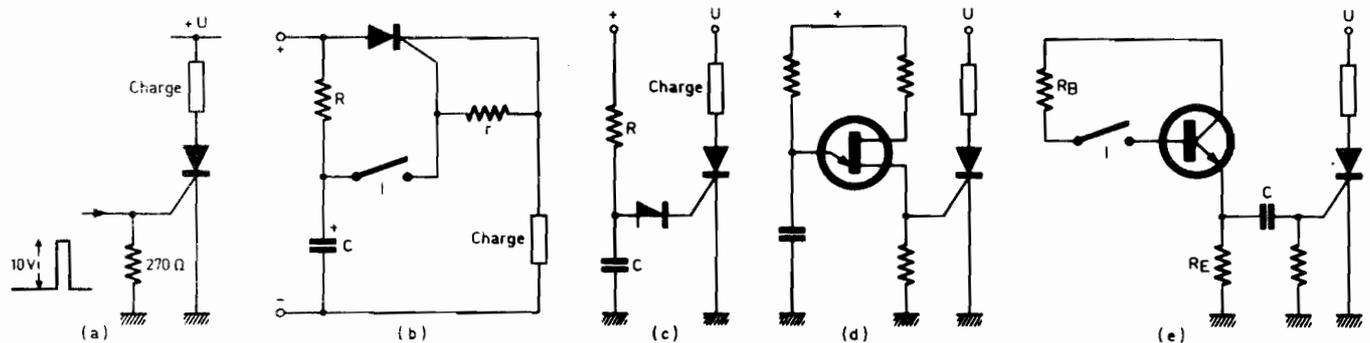


Fig. 10. — Le déclenchement du thyristor peut s'effectuer de différentes façons : (a) par une impulsion de tension — (b) par la fermeture de l'interrupteur I — (c) par une diode Shockley — (d) à travers un UJT ou un montage collecteur commun (e).

ploie souvent aussi une diode Shockley (c), un transistor unijonction (d) ou encore un montage collecteur commun (e) dont on sait que l'impédance de sortie est très faible. Lorsqu'il y a nécessité de commander des tensions ou des puissances élevées et qu'un problème d'isolement se présente, on emploie soit un transformateur d'impulsion, soit un coupleur optoélectronique (fig. 11).

### Commande de la phase

Nous avons vu qu'en déclenchant la gâchette à un certain point de la sinusoïde, nous pouvons commander le courant alimentant la charge. Le thyristor se débloque à un certain moment de l'alternance po-

sitive et reste dans cet état jusqu'à la fin de l'alternance.

Le déphasage s'obtient aisément avec un circuit RC, soit pratiquement avec un condensateur fixe et un potentiomètre monté en résistance variable.

Pour un réseau de 50 Hz, la durée d'une alternance est de 10 millisecondes. En prenant un condensateur de 0,1  $\mu$ F, la résistance du circuit RC doit avoir au maximum la valeur :

$$\frac{0,01 \text{ sec}}{0,1 \times 10^{-6} \text{ F}}$$

soit 100 k $\Omega$  (on applique pour ce calcul la formule bien connue :  $t = RC$ ).

Puisqu'il est difficile d'amorcer le thyristor dès le début de l'alternance positive et de le garder amorcé jusqu'à la fin de celle-ci, on choisit un po-

tentiomètre de 50 k $\Omega$  en série avec une résistance fixe, par exemple de 5 k $\Omega$ . Le circuit complet pourra être celui de la figure 12. Le thyristor est déclenché par un UJT. Celui-ci, et le circuit RC sont, soit alimentés par une source continue (ici de 6 V), soit aussi par le montage classique composé d'une diode Zener et d'une résistance série.

### Diac et triac

En branchant tête-bêche deux diodes Shockley en parallèle, on obtient un diac, c'est-à-dire un composant ayant une impédance élevée pour une faible tension appliquée, et une impédance négligeable à partir d'un certain seuil de tension, indépendamment de la phase de la tension (fig. 13.).

En connectant de la même façon deux thyristors, on réalise un triac, soit un composant qui commande le passage du courant en agissant sur les deux alternances (positive et négative) (fig. 14).

Le triac présente donc un intérêt certain, car il laisse passer l'intégralité ou une partie des deux alternances, la commande pouvant se faire également à l'aide d'un circuit déphaseur.

Le schéma donné figure 6, peut donc être transcrit avec l'utilisation d'un triac (fig. 15). A la fermeture de l'interrupteur, les deux alternances du secteur sont transmises à la charge, le triac fonctionne alors en simple relais (le courant peu élevé de la gâchette commande le courant fort de la charge).

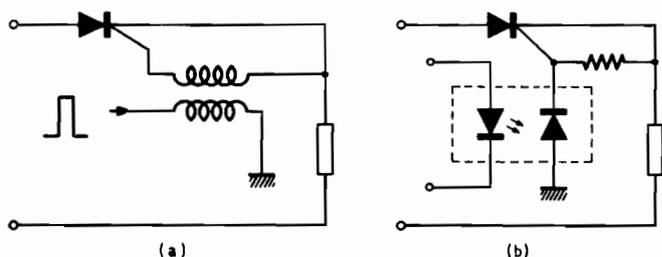


Fig. 11. — Lorsqu'il se pose un problème d'isolement, on utilise un transformateur d'impulsion (a) ou un coupleur optoélectronique (b).

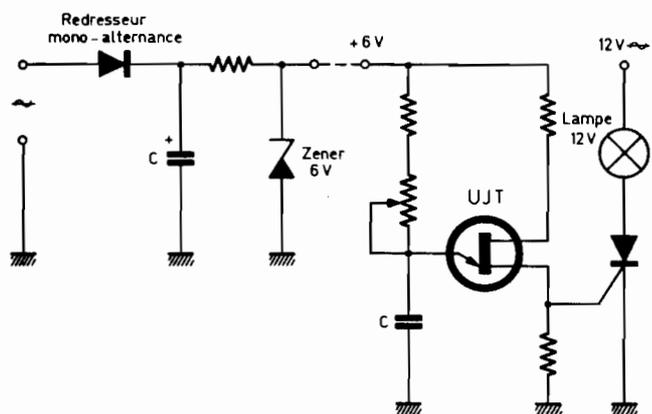


Fig. 12. — La commande peut être alimentée par une alimentation continue ou par un redresseur monoalternance (synchronisation par le secteur).

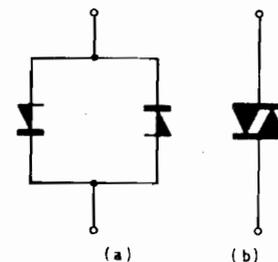


Fig. 13. — Deux diodes Shockley en parallèle (tête-bêche), constituent un diac.

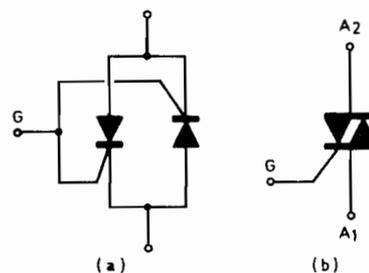


Fig. 14. — En connectant deux thyristors comme en (a), on obtient un triac (b).

Le triac commandé par un circuit RC, et déclenché par un diac est donné sur la figure 16.

### Choix des éléments du montage

Il existe de nombreux types de thyristors et de triacs. Généralement, sur les schémas ou chez le revendeur, ces composants sont désignés non pas par leur numéro d'homologation, mais par leurs caractéristiques. Ainsi un thyristor comme le BRY 56 n'est pas référencé uniquement par « BRY 56 » mais plutôt par « BRY 56-2,5A-70 V-TO 72 » ou encore par « Thyristor-2,5A-70 V ».

Il est donc indispensable de connaître d'abord le courant et la tension d'utilisation, que ce soit pour un thyristor ou pour un triac.

Si nous désirons un triac

commandant l'éclairage progressif d'une ampoule à incandescence (220 V, 100 W), nous devons en premier lieu calculer la tension max. soit :  $220 \text{ V} \times 1,414 \approx 312 \text{ V}$ , à laquelle nous ajoutons une marge de sécurité d'au moins 10 %, ce qui nous donne une tension de 350 V.

En ce qui concerne le courant, il ne suffit pas de le calculer d'après la formule  $P = EI$ , car il faut savoir qu'un filament incandescent à froid présente une résistance environ 10 fois moins grande que sa valeur à chaud. En se basant sur la formule ci-dessus, le courant pour notre exemple est :

$$I = \frac{P}{E} = \frac{100 \text{ W}}{220 \text{ V}}$$

ou 0,45 A, qui est en réalité le courant traversant l'ampoule au bout de quelques secondes. A la mise sous tension, ce courant

est multiplié par 10, soit 4,5 A.

Notre triac devra avoir les caractéristiques suivantes : 350 V-4,5A. On choisira alors un triac comme le 4008L4 dont les valeurs nominales sont 8A-400 V avec un boîtier TO 220. La tension de 400 V est une valeur courante puisqu'elle convient pour les triacs fonctionnant sur le secteur 220 V.

Le choix de la résistance dans le circuit de gâchette dépend de la tension (220 V) et de la valeur du courant de gâchette indiquée par le constructeur du triac. Elle est de l'ordre de quelques millis (10 mA). La loi d'Ohm nous donne :

$$\frac{220 \text{ V}}{0,01 \text{ A}} = 22 \text{ k}\Omega$$

qui est justement une valeur normalisée. Sa puissance de dissipation sera de l'ordre de 0,22 W. Un bon choix sera une résistance de 1/2 W.

Si un diac est employé pour la commande, il n'est pas nécessaire de faire ce calcul (utilisation d'un diac de 32 V). Le calcul du déphaseur est le même que pour le thyristor.

### Courbe caractéristique

La figure 17 représente la courbe caractéristique d'un thyristor en l'absence de courant de commande (ou, ce qui revient au même, la courbe caractéristique d'une diode PNP). En partant de zéro, et en augmentant progressivement la tension directe positive, on arrive à une certaine valeur  $V_{BC}$ , appelée **tension de retournement**, pour laquelle le thyristor s'amorce. Lorsque le thyristor est déclenché, la tension aux bornes de celui-ci chute soudainement vers une valeur très faible proche de 0 V. La courbe pour l'état passant donne la relation entre  $V$  direct et  $I$  direct. Si ce courant chute au-dessous de la valeur  $I_H$ , **courant de maintien** (« holding current »), le thyristor se désamorce.

Pour une tension inverse appliquée au thyristor ( $V$  négative sur l'anode), le courant reste très faible dans une grande plage de tension.

Dans le cas d'amorçage par courant de gâchette (cas le plus usuel), la courbe caractéristique est donnée en pointillé.

La figure 18 montre la relation courant-tension d'un diac. Puisque cet élément est bidirectionnel, on y reconnaît, en direct et en inverse, la caractéristique du thyristor (ou de la diode Shockley). Si la tension alternative dépasse  $V_{BO}$  (valeur courante 32 V), le diac s'amorce.

J.-B. P.

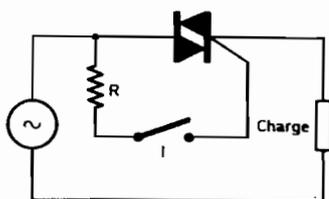


Fig. 15. - Circuit utilisant un triac.

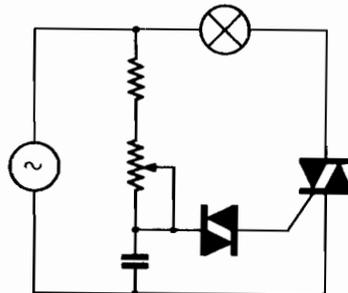


Fig. 16. - Triac commandé par diac avec circuit déphaseur.

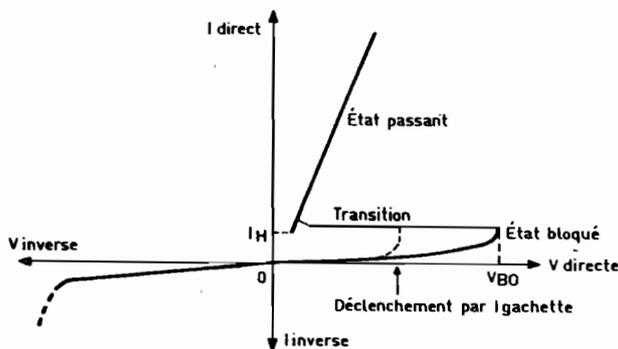


Fig. 17. - Courbe caractéristique d'un thyristor.

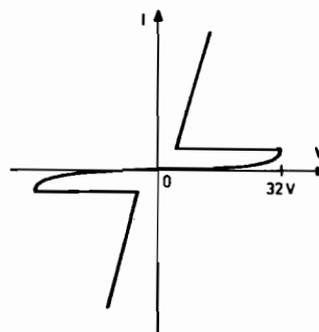


Fig. 18. - Courbe caractéristique d'un diac.