

Initiation à la pratique de l'électronique

THYRISTORS, DIACS ET TRIACS

Un thyristor est un composant semi-conducteur que l'on utilise le plus souvent en commutation. Il est utilisé comme relais pour la commande de puissances importantes. Comme nous le verrons dans le présent article, ces relais ont l'avantage de pouvoir doser la puissance fournie en courant alternatif par l'emploi d'un circuit déphaseur.

Les diacs et les triacs sont aussi des compo-

sants semi-conducteurs, mais ils sont destinés particulièrement au courant alternatif. Ils sont très largement employés dans l'électroménager pour le réglage de la vitesse d'un moteur ou le dosage de la luminosité d'une lampe à incandescence.

Si ces circuits doivent être connectés sur le secteur, l'amateur souhaitant les manipuler devra agir avec une extrême prudence.

DIODE SHOCKLEY

Avant de décrire le thyristor, et dans le but de mieux comprendre le fonctionnement de ce composant, disons quelques mots de la diode Shockley, appelée également « diode PNPN » ou « diode à 4 couches ».

En décomposant cette diode

en deux blocs séparés, comme sur la figure 1, nous constatons qu'elle est, en fait, équivalente à un ensemble de deux transistors, l'un PNP, l'autre NPN. Electriciquement, ces transistors sont connectés de telle manière qu'ils forment une boucle de réaction positive : le collecteur de l'un est relié à la base de l'autre.

En appliquant aux bornes de la diode une tension continue

de faible valeur, tout se passe comme si la diode était bloquée. Mais, au-delà d'un certain seuil, il y a déclenchement et sa résistance interne chute de façon soudaine. En effet, la tension aux bornes augmentant progressivement, le courant collecteur de T_1 , traversant l'espace base-émetteur de T_2 , est amplifié par celui-ci, pour être envoyé vers la base de T_1 qui va l'amplifier à son

tour. Il y a ainsi effet cumulatif, et l'ensemble, parcouru subitement par un courant très élevé, présente alors une résistance faible. La diode ne peut être désamorcée qu'en coupant son alimentation. La représentation symbolique de la diode Shockley est donnée sur la figure 1(d).

En ce qui concerne les applications de cette diode, la première qui vient à l'esprit est la détection de surtensions (fig. 2). La diode est connectée avec une ampoule témoin, et l'ensemble est placé en parallèle sur la circuit à protéger. L'ampoule L s'allume dès que la surtension dépasse le seuil de déclenchement de la diode D.

Un générateur de dents de scie (fig. 3) est également une autre application très simple de ce type de diode. Dans ce schéma très 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 Shoc-

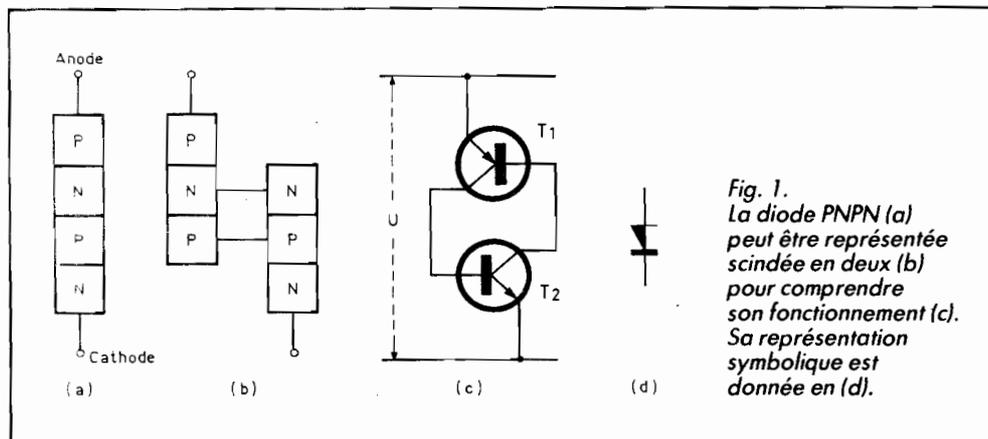


Fig. 1.
La diode PNPN (a) peut être représentée scindée en deux (b) pour comprendre son fonctionnement (c). Sa représentation symbolique est donnée en (d).

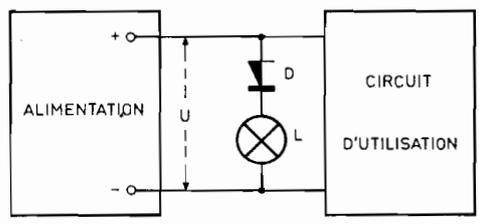


Fig. 2. - Détecteur de surtension utilisant une diode PNP.

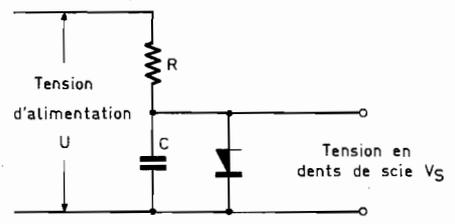


Fig. 3. - Générateur de dents de scie utilisant une diode PNP.

kley, celle-ci décharge C jusqu'à une valeur pour laquelle la diode présente une résistance élevée. Le condensateur recommence alors à se charger jusqu'à ce que la tension de déclenchement de D soit atteinte de nouveau.

Pour terminer cette introduction, nous donnons sur la figure 4 la courbe caractéristique d'une diode Shockley (diode 1N5158 en boîtier D07). En partant de zéro volt et en augmentant la tension positive sur l'anode, le courant dans la diode a une valeur négligeable. Lorsque le seuil de déclenchement est atteint (tension V_S entre 8 et 10 V), un courant d'une certaine valeur traverse la diode (courant de maintien I_H de l'ordre de 20 mA). La tension aux bornes de la diode est retombée subitement à une valeur faible (environ 1,5 V). En augmentant à nouveau la tension V , la diode se comporte comme un modèle classique. Du côté des tensions négatives, rien de spécial à signaler. La tension inverse V_{RRM} à ne pas dépasser est de 10 V environ.

électrode (G) appelée « gâchette » étant d'abord « en l'air », l'ensemble est alimenté par une tension dont la valeur n'est pas suffisante pour le déclencher. Si une impulsion légèrement positive par rapport à la cathode est appliquée sur la gâchette, nous obtenons le même phénomène que tout à l'heure : l'impulsion se retrouve amplifiée par T_2 , puis par T_1 ... il y a également effet cumulatif, et, une fois le thyristor déclenché, le courant ne disparaît qu'en coupant l'alimentation.

Le schéma représentatif du thyristor est donné sur la figure 4(C). Le thyristor a longtemps été désigné par les initiales « SCR » de « Silicon Controlled Rectifier », soit, en français, « Redresseur Silicium Commandé ».

En résumé, il s'agit d'un redresseur au silicium pourvu d'une troisième électrode, la gâchette.

Si cette 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 positive (de quelques volts), de telle manière qu'un courant de gâchette circule entre gâchette et anode, le thyristor se comporte comme un redresseur ordinaire, son courant est limité par l'impédance extérieure. Bien que la gâchette soit utili-

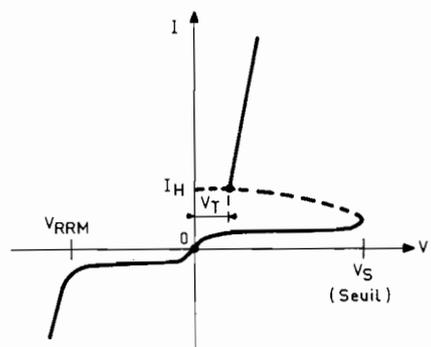


Fig. 4. - Courbe caractéristique d'une diode PNP.

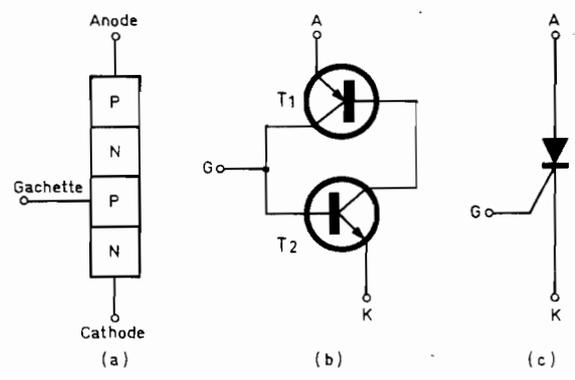


Fig. 5. - Par l'adjonction d'une gâchette à une diode PNP (a), l'effet cumulatif est déclenché par application d'une impulsion sur G (b). La représentation symbolique est donnée en (c).

COMMENT FONCTIONNE LE THYRISTOR

Adjoignons maintenant une troisième électrode à la diode PNP (fig. 5). Cette nouvelle

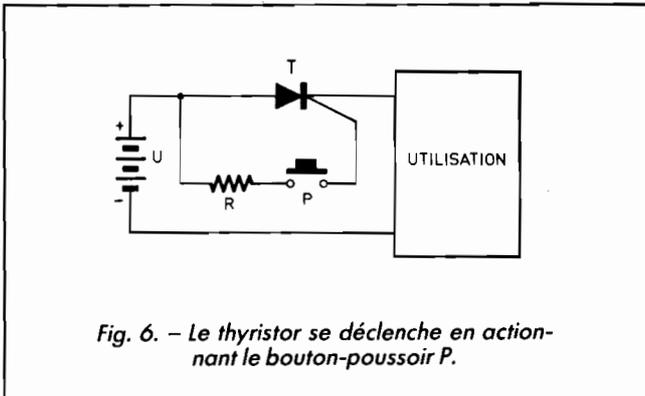


Fig. 6. - Le thyristor se déclenche en actionnant le bouton-poussoir P.

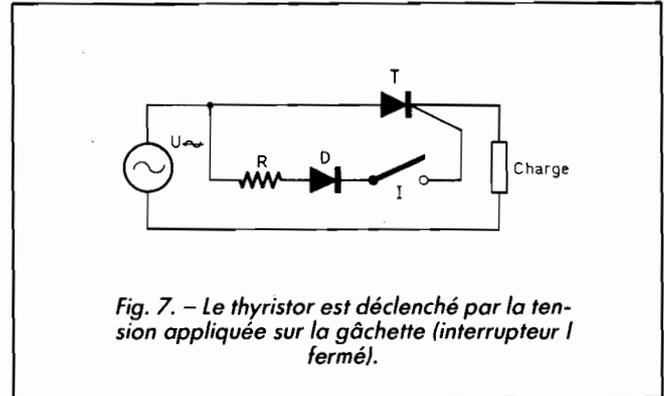


Fig. 7. - Le thyristor est déclenché par la tension appliquée sur la gâchette (interrupteur I fermé).

sée pour le déclenchement, elle reste sans effet pour revenir à l'état bloqué. Le blocage ne peut être rétabli qu'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.

APPLICATIONS DU THYRISTOR

Le thyristor a des applications aussi bien en continu qu'en alternatif. En continu, le schéma le plus simple est donné figure 6. Le

thyristor est placé en série avec le circuit d'utilisation. A la mise sous tension, le thyristor ne laisse pas passer de courant, bien qu'une tension positive soit présente 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 courant d'amorçage (envoyé dans la gâchette) peut être de 0,5 mA et le courant anode-cathode du thyristor 10 A efficaces. La résistance R du schéma limite le courant de gâchette.

Le même schéma est transposé en alternatif (fig. 7). Lorsque la gâchette n'est pas commutée, la charge n'est pas alimentée. La diode D dans le circuit de déclenchement a pour rôle de n'appliquer seulement qu'une tension positive sur la gâchette. Quant à l'extinction du thyristor, elle se fait automatiquement à chaque alternance négative, comme cela est montré sur la figure 8. La quantité de courant envoyée à la charge peut également être dosée. C'est-à-dire qu'au lieu de disposer d'alternances entières sur la charge, le thyristor ne laisse passer que des portions d'alternances. Cela est un énorme avantage du thyristor, puisqu'il n'y a pas de pertes d'énergie soit dans une résistance ballast, soit dans un potentiomètre.

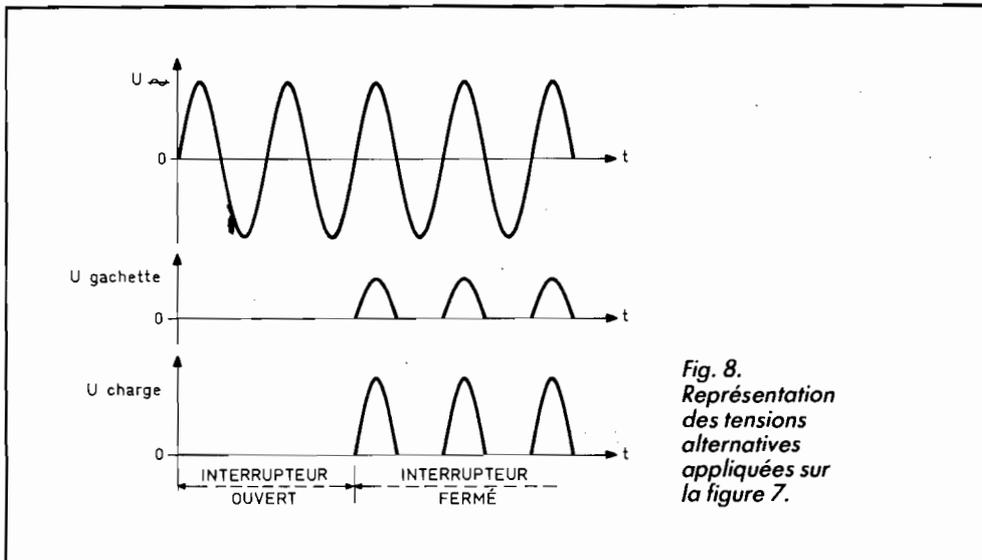


Fig. 8. Représentation des tensions alternatives appliquées sur la figure 7.

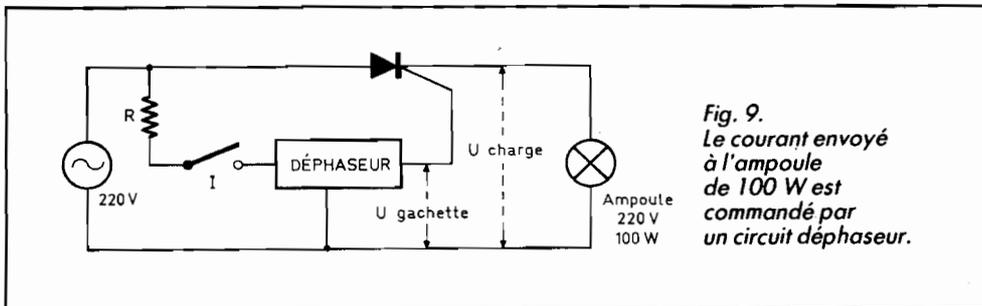


Fig. 9. Le courant envoyé à l'ampoule de 100 W est commandé par un circuit déphaseur.

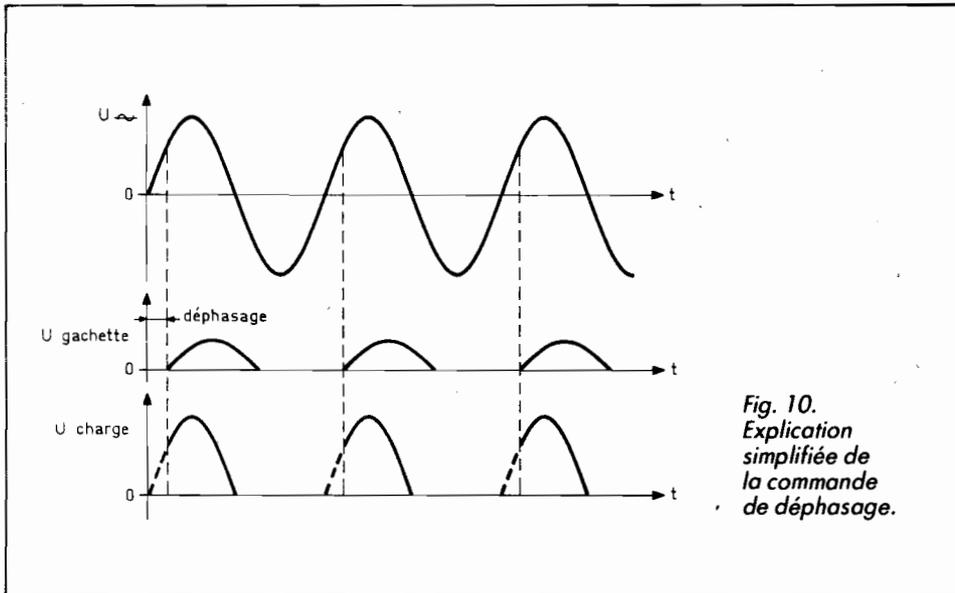


Fig. 10. Explication simplifiée de la commande de déphasage.

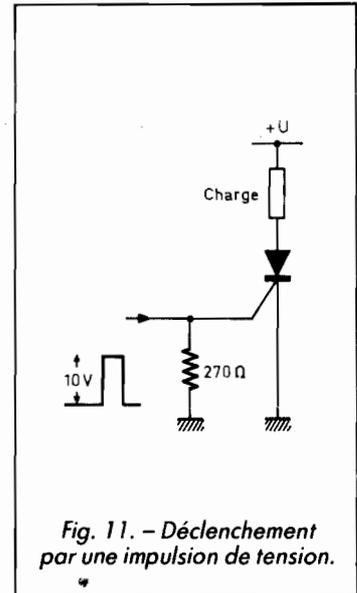


Fig. 11. - Déclenchement par une impulsion de tension.

Un circuit déphaseur doit alors être incorporé au schéma (fig. 9). La tension de gâchette 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 (fig. 10). La charge représentée sur le schéma est une ampoule de 100 W. En faisant varier le déphasage, le courant d'utilisation passe de zéro (déphasage maximal) au maximum (déphasage nul). Un gradateur de lumière ou un réglage de vitesse pour perceuse électrique est ainsi réalisé.

MODES DE DECLENCHEMENT

La tension ou le courant appliqué à la gâchette pour l'amorçage du thyristor est donné 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.

Nous avons vu l'utilisation d'un bouton-poussoir relié au pôle positif de l'alimentation à

travers une résistance. Le déclenchement peut s'effectuer par une impulsion, comme le montre la figure 11. On remarque que sur ce schéma la charge se trouve côté anode du thyristor.

D'autres possibilités de déclenchement sont montrées sur la figure 12. 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 opto-électronique (fig. 13).

En ce qui concerne le déphasage, il 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 ms. En prenant un condensateur de 0,1 μF, la résistance R de la constante de temps est calculée d'après la formule connue : $t = RC$. La valeur maximale de cette résistance doit être égale à :

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

soit 100 kΩ.

Puisqu'il est difficile d'amorcer le thyristor dès le début de

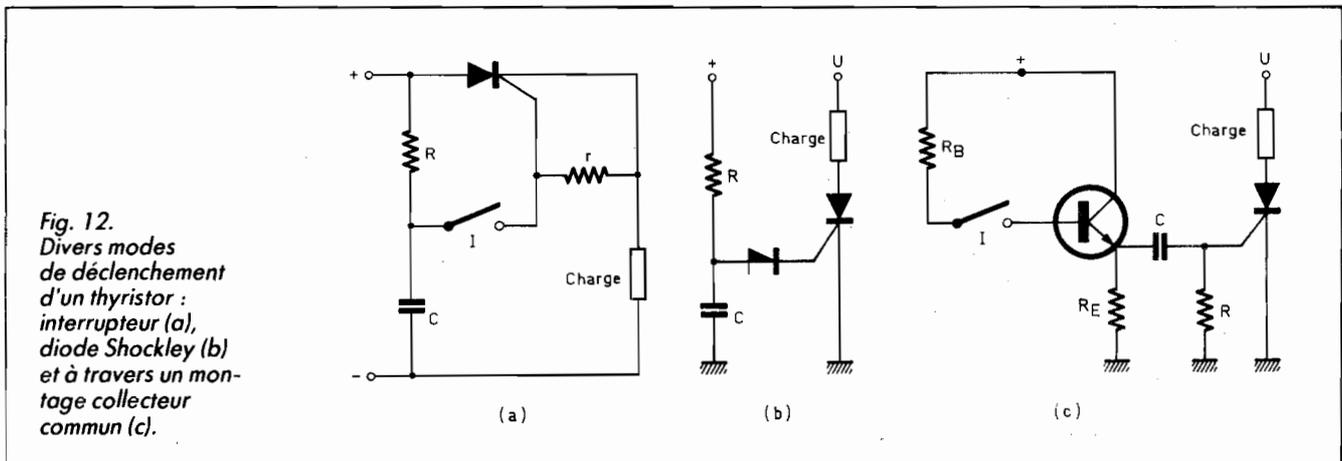


Fig. 12. Divers modes de déclenchement d'un thyristor : interrupteur (a), diode Shockley (b) et à travers un montage collecteur commun (c).

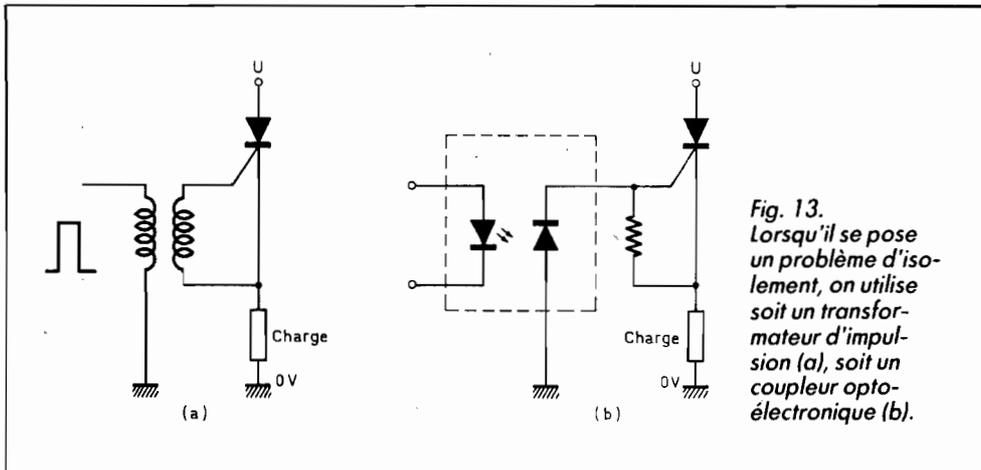


Fig. 13. Lorsqu'il se pose un problème d'isolement, on utilise soit un transformateur d'impulsion (a), soit un coupleur opto-électronique (b).

con deux thyristors, on réalise un « triac », soit un composant qui commande le passage du courant (comme un thyristor) en agissant aussi bien sur les alternances positives que sur les alternances négatives (fig. 16).

Le triac présente donc un intérêt certain par rapport au thyristor. Le schéma donné figure 7 peut donc être transcrit avec utilisation d'un triac (fig. 17). A la fermeture de l'interrupteur I les deux alternances du secteur sont transmises à la charge, le triac fonctionne alors en simple relais : le très faible courant appliqué à la gâchette commande le fort courant demandé par la charge.

Un triac, déclenché par un diac et avec déphasage RC, est représenté sur la figure 18.

CHOIX DES COMPOSANTS

Généralement, sur les schémas, les thyristors et les triacs ne sont pas désignés par leur numéro d'homologation, mais par leurs caractéristiques. Ainsi, le thyristor BRY 56 n'est pas référencé uniquement par « BRY 56 » mais plutôt par « BRY 56, 2,5 A, 70 V TO72 » ou encore par « thyristor, 2,5 A, 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.

Prenons comme exemple le choix d'un triac devant commander l'éclairage progressif d'une ampoule à incandescence (220 V, 100 W). Nous devons en premier lieu calculer la tension max. soit $220 V \times 1,414 \pm 312 V$, 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 max. traversant le triac, il ne suffit pas de le calculer

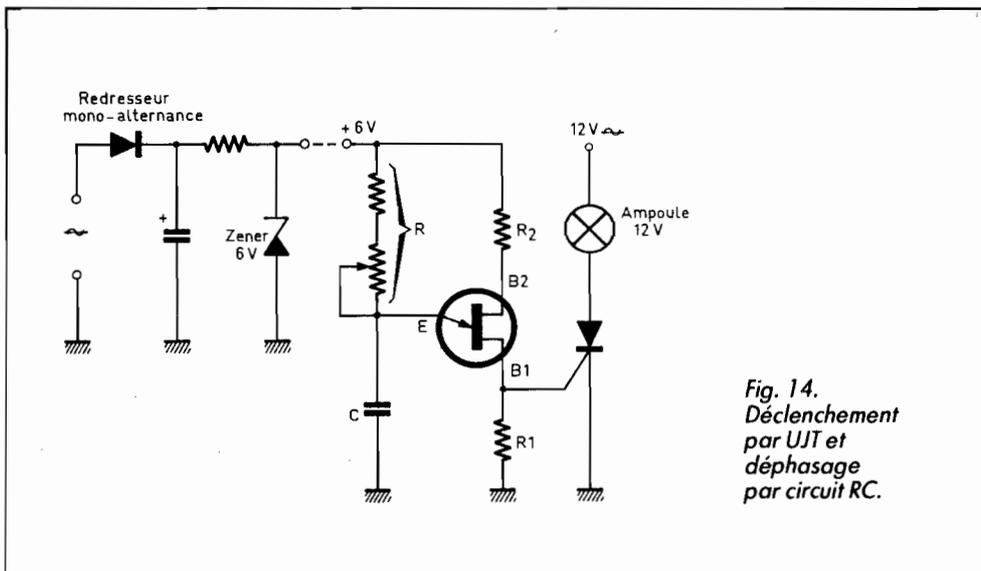


Fig. 14. Déclenchement par UJT et déphasage par circuit RC.

l'alternance positive et de le garder amorcé jusqu'à la fin de celle-ci, on choisit un potentiomètre de 50 k Ω en série avec une résistance fixe (par exemple de 5 k Ω).

Pour le déclenchement d'un thyristor, on emploie fréquemment un transistor unijonction (UJT). Ce transistor un peu spécial est représenté dans le schéma de la figure 14. On sait que, si aucune tension n'est appliquée sur l'émetteur E, la résistance interne de l'UJT entre B₁ et B₂ est assez élevée (de l'ordre de 5 à 10 k Ω), la tension sur l'électrode B₁ est très faible. Quant

à la résistance d'entrée de l'UJT, elle est également élevée lorsque la tension sur l'émetteur E est située au-dessous d'un certain seuil. Au moment où la tension aux bornes du condensateur C atteint la tension de déclenchement, la résistance de l'espace E-B₁ diminue considérablement et C se décharge à travers R₁. On obtient une impulsion positive sur B₁ et une impulsion négative sur B₂. La tension étant à nouveau nulle sur E, le condensateur C se recharge et le phénomène se reproduit de façon périodique, à une cadence déterminée par la

constante de temps RC. En général, les valeurs de R₁ et R₂ sont respectivement 100 Ω et 1 k Ω .

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, et cela indépendamment de la polarité de la tension appliquée (fig. 15).

En connectant de la même fa-

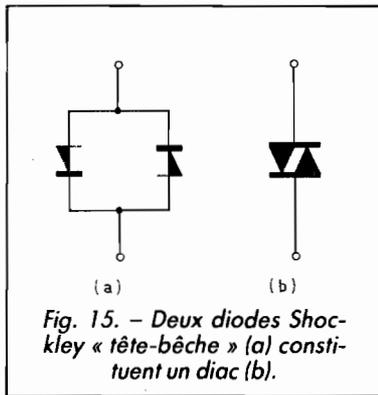


Fig. 15. - Deux diodes Shockley « tête-bêche » (a) constituent un diac (b).

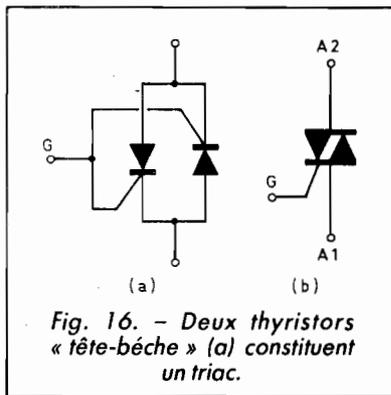


Fig. 16. - Deux thyristors « tête-bêche » (a) constituent un triac.

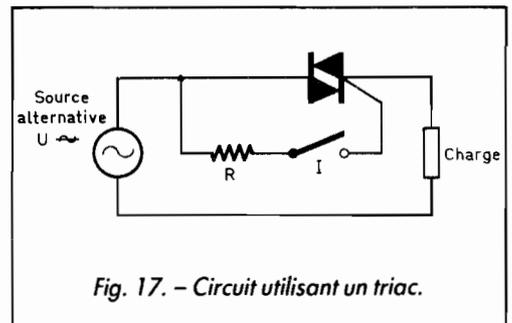


Fig. 17. - Circuit utilisant un triac.

d'après la formule $P = EI$. On se souvient en effet que la résistance à froid d'un filament d'ampoule présente une valeur environ 10 fois moins grande que celle à chaud. En se basant sur la formule ci-dessus, le courant pour notre application est :

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

ou 0,45 A, ce qui est donc en réalité le courant traversant l'ampoule au bout de quelques millisecondes. A la mise sous tension, ce courant est de 4,5 A ; c'est cette dernière valeur qui déterminera le choix du triac.

On choisira donc un triac comme le 4008L4 dont les valeurs nominales sont 8 A et 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 milli-ampères (10 mA). La loi d'Ohm nous donne :

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

qui est justement une valeur normalisée. On prendra une résistance de 1/2 W.

Si c'est un diac qui est employé pour la commande, ce calcul est superflu (utilisation

d'un diac de 32 V). Le calcul du déphaseur est le même que pour le thyristor.

COURBE CARACTÉRISTIQUE

La courbe caractéristique d'un thyristor en l'absence de courant de commande est semblable à celle d'une diode Shockley. Le déclenchement de la gâchette se fait évidemment à une valeur bien inférieure à la tension positive à l'état bloqué. La relation courant-tension d'un diac est donnée figure 19. Puisque cet élément est bidirectionnel, on reconnaît, en direct et en inverse, la caractéristique du thyristor.

Pour terminer, donnons les caractéristiques d'un thyristor, le BRY55-30. Il est encapsulé dans un boîtier plastique; Ce thyristor peut commuter un courant de 0,8 A efficace, sa tension de retournement est de 30 V. Pour son déclenchement, la tension et le courant de gâchette sont respectivement 0,8 V et 0,2 mA. Le courant de maintien (Ih) est de 5 mA. Certaines caractéristiques max. sont également données par le constructeur, ce sont dV/dt et dI/dt . Pour le thyristor en question, $dV/dt = 10 \text{ V}/\mu\text{s}$, ce qui impose que la vitesse de variation de la tension appliquée ne soit pas supérieure à 10 V par micro-

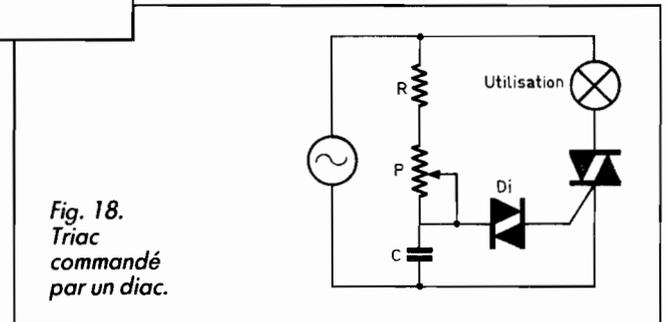


Fig. 18. Triac commandé par un diac.

seconde, ceci afin d'éviter des amorçages intempestifs dus aux capacités des jonctions. De même : $dI/dt = 100 \text{ A}/\mu\text{s}$ est la limite d'établissement du courant afin d'éviter la destruction du thyristor. Lorsque celui-ci doit fonctionner près des limites d'utilisation, on doit lui adjoindre certains éléments de protection (ré-

seaux RC, diodes de limitation de tension inverse). Ces précautions s'appliquent surtout aux montages à vocation industrielle de forte puissance. Le diac 1N5411 a pour caractéristique : 29/35 V. Celles du triac 400 8L4 sont 8 A, 400 V, son boîtier est un TO 220.

J.-B. P

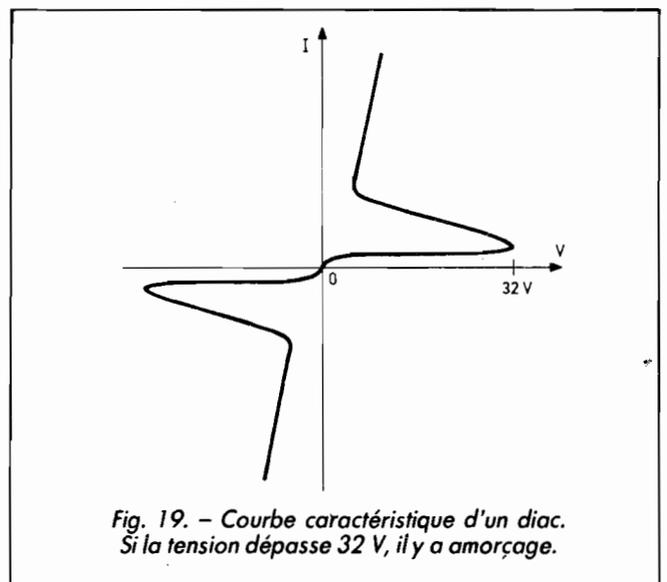


Fig. 19. - Courbe caractéristique d'un diac. Si la tension dépasse 32 V, il y a amorçage.