

SEMI - CONDUCTEURS

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

Au cours de cette leçon nous allons étudier trois nouveaux types de SEMI-CONDUCTEURS, spécialement utilisés dans le domaine de la COMMUTATION. Il s'agit du THYRISTOR, du DIAC et du TRIAC.

Qu'est-ce-que le THYRISTOR ?

C'est un COMMUTATEUR presque parfait, à la fois REDRESSEUR UNIDIRECTIONNEL et AMPLIFICATEUR.

Quant au DIAC il s'agit d'un dispositif BIDIRECTIONNEL, devenant conducteur lorsque la tension appliquée dépasse un CERTAIN SEUIL.

Enfin le TRIAC, de la même famille que le THYRISTOR, diffère de ce dernier par le fait qu'il est BIDIRECTIONNEL.

Après avoir vu ces trois nouveaux éléments nous terminerons cette dernière leçon du cours de BASE ELECTRONIQUE, par l'examen des CIRCUITS INTEGRES.

I - LE THYRISTOR

Le THYRISTOR est une DIODE PARTICULIERE au SILICIUM, possédant un CIRCUIT DE COMMANDE.

Cet élément peut passer de l'état d'INTERDICTION à l'état de CONDUCTION mais dès que celui-ci est atteint, l'électrode de commande n'a plus la possibilité de commander le débit du courant.

La structure de ce composant est assez complexe.

En effet, un THYRISTOR comprend TROIS JONCTIONS, constituées de deux zones N et deux zones P (figure 1).

La zone P la plus basse, constitue l'ANODE de la diode, alors que la CATHODE est formée par la zone N la plus haute.

La zone P se trouvant sous la cathode, constitue la GACHETTE et comporte donc le contact nécessaire, pour la liaison au circuit extérieur.

L'ensemble de ces différentes zones, formées par les procédés décrits dans les leçons précédentes, est renforcé par deux disques de tungstène, comme on peut le voir Figure 2.

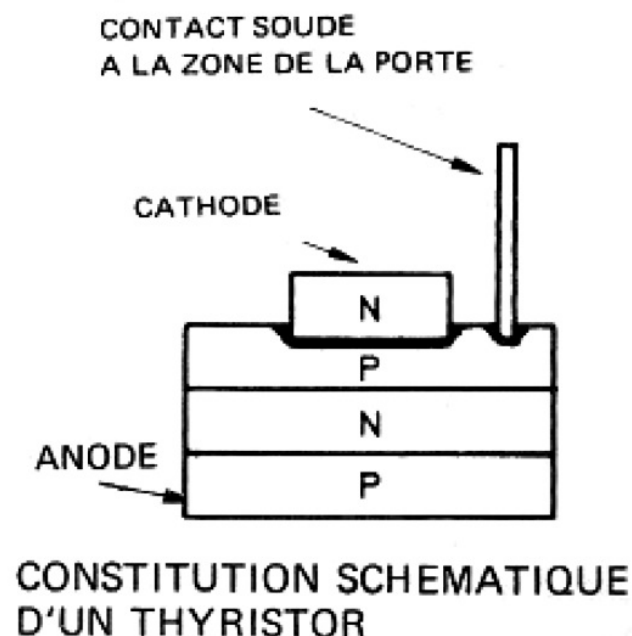
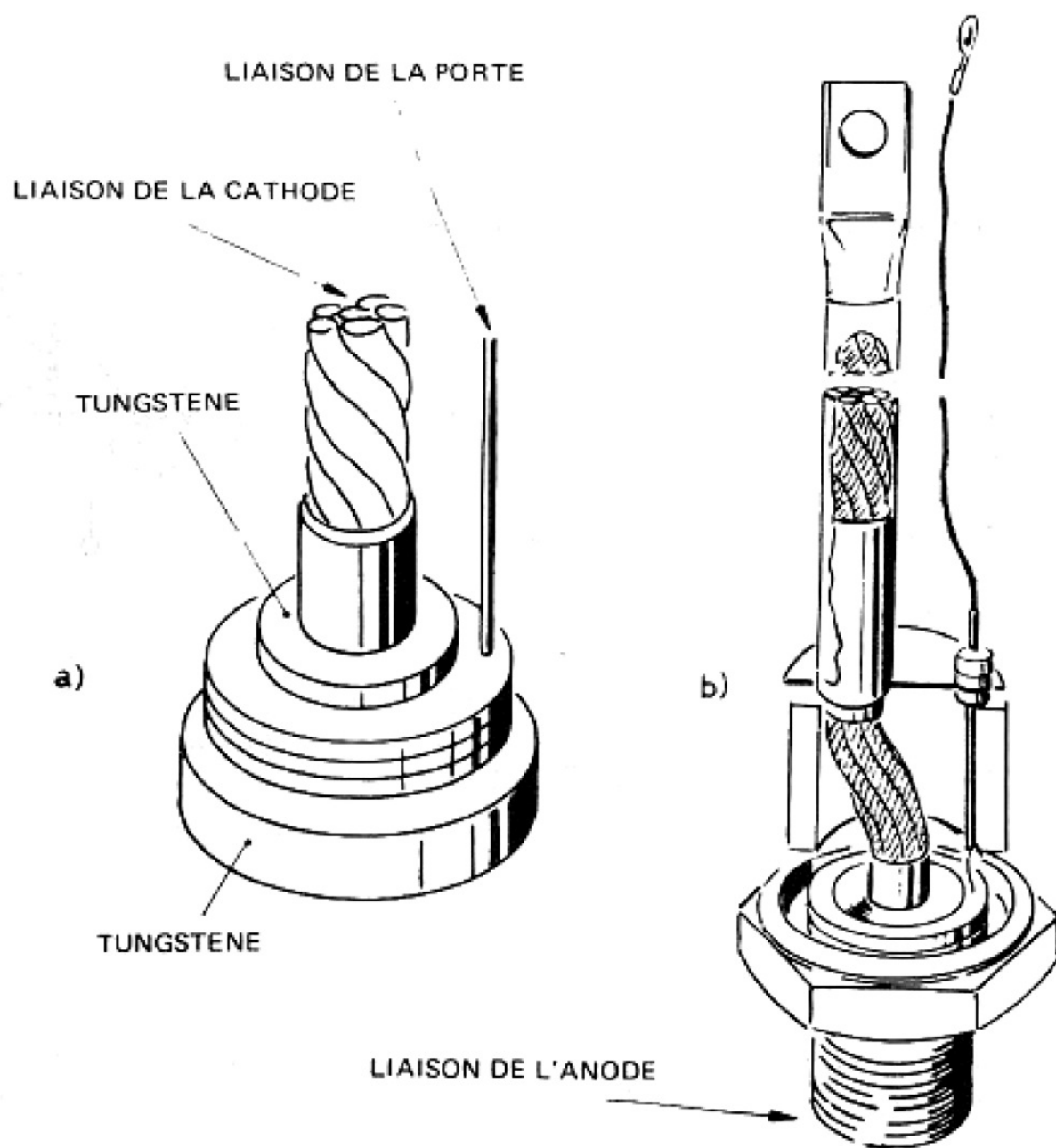


Figure 1

L'un de ces disques porte un câble tressé de connexion, correspondant à la CATHODE.

Cet ensemble est enfermé dans un étui hermétique, dont la base se termine par un filetage correspondant à l'ANODE.

Celui-ci permet en outre de fixer une plaquette métallique, servant de radiateur, afin de dissiper la chaleur pouvant endommager le composant.

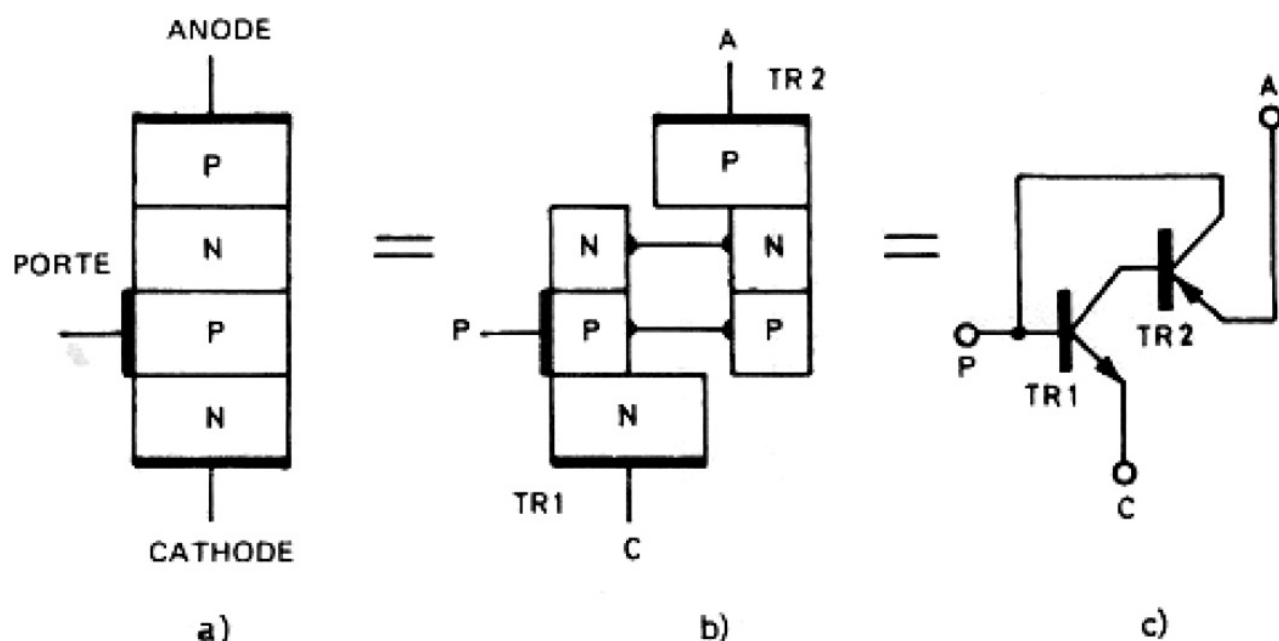


CONSTITUTION D'UN THYRISTOR

Figure 2

Voyons maintenant le fonctionnement du THYRISTOR.

Considérons à cet effet la figure 3-a, représentant le THYRISTOR de la figure 1, sous une autre forme.



DECOMPOSITION D'UN THYRISTOR

Figure 3

Supposons que l'on coupe les deux blocs centraux, de façon à pouvoir décomposer le THYRISTOR en deux parties.

Relions celles-ci entre elles, au moyen de connexion, comme sur la figure 3-b.

L'une des deux parties ainsi obtenue est formée d'un bloc P, se trouvant entre deux blocs N, constituant un transistor du type N.P.N. (TR 1 sur la figure 3-b).

L'autre partie est formée d'un bloc de silicium N, se trouvant entre deux blocs P, constituant un transistor du type P.N.P (TR2 sur la figure 3-b).

En représentant ces deux transistors et en les reliant comme sur la figure 3-b, on obtient la représentation de la figure 3-c.

Chaque transistor a sa base branchée directement au collecteur de l'autre et l'ensemble comporte trois liaisons de sortie (A, C et P), correspondant à l'ANODE, la CATHODE et la GACHETTE (on dit aussi la PORTE).

Alimentons le circuit au moyen de deux batteries, montées comme sur la figure 4-a.

Dans ces conditions, l'émetteur de TR2 (correspondant à l'ANODE du thyristor), est positif par rapport à l'émetteur de TR1 (correspondant à la CATHODE de ce thyristor).

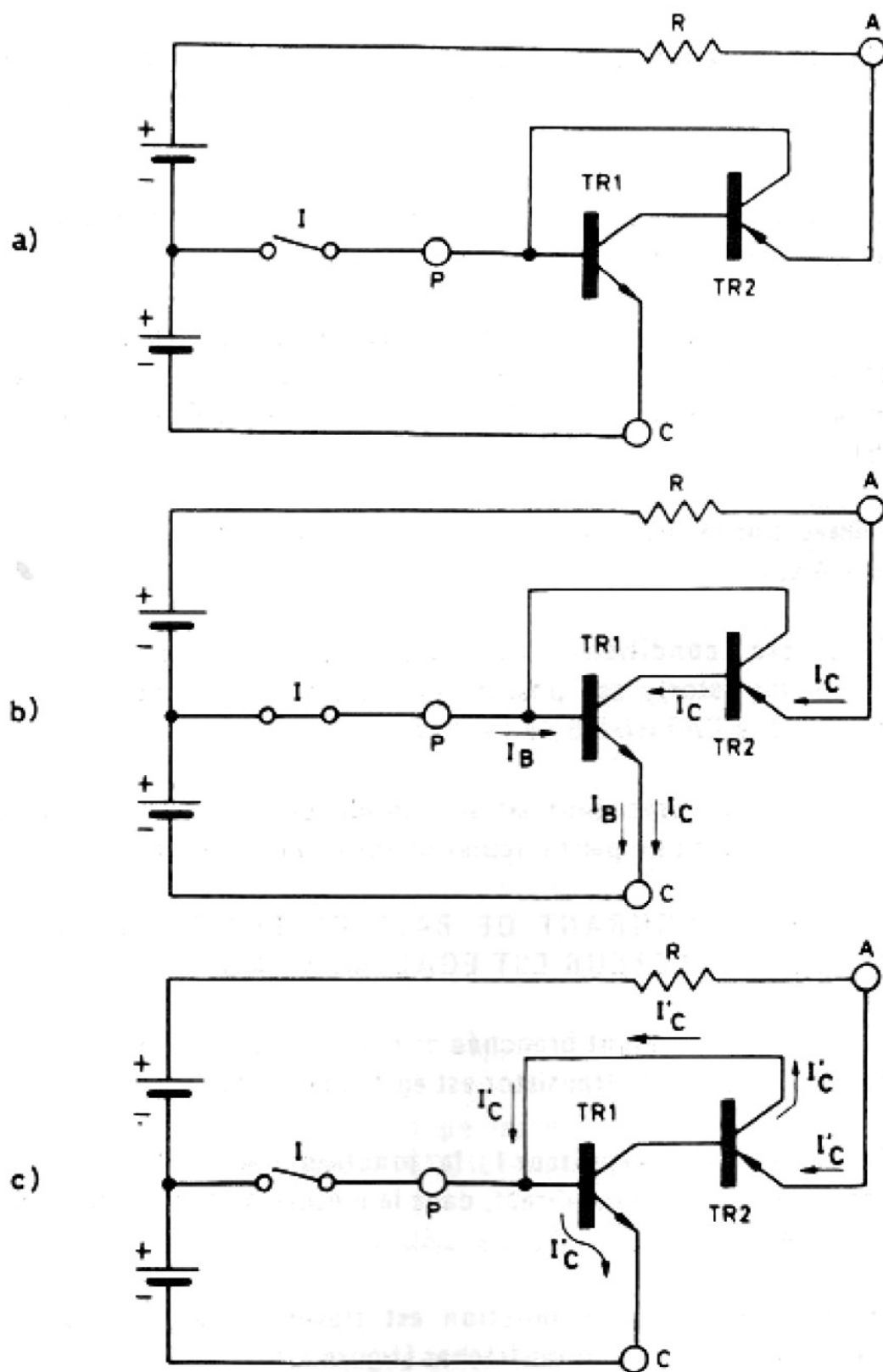
Bien que ce composant ait son anode positive par rapport à sa cathode, aucun courant ne peut circuler lorsque l'interrupteur I est ouvert.

En effet, le COURANT DE BASE DE TR1 ETANT NUL, le COURANT DE COLLECTEUR EST EGALEMENT NUL.

La base de TR1 étant branchée directement sur la base de TR2, ce qui est vrai pour le premier transistor est également valable pour le second.

En fermant l'interrupteur I, la jonction BASE-EMETTEUR de TR1 est polarisée dans le sens direct, dans la mesure où la base est positive par rapport à l'émetteur.

Par conséquent, cette jonction est traversée par un courant I_B direct, dans le sens indiqué par les flèches (figure 4-b).



PASSAGE DE L'INTERDICTION A LA CONDUCTION

Figure 4

Ce courant détermine le passage d'un courant de collecteur I_C dans TR1, et traverse également la jonction EMETTEUR-BASE de TR2.

Etant donné que le courant I_C , traverse la jonction EMETTEUR-BASE de TR2, il détermine le passage d'un nouveau courant I'_C dans ce dernier transistor.

Ce courant parcourt le circuit dans le sens indiqué par les flèches (figure 4-c) c'est-à-dire qu'il traverse la jonction BASE-EMETTEUR de TR1, dans le même sens que le courant I_B (figure 4-b).

Le courant qui traverse la jonction base-émetteur de TR1 a donc augmenté, le courant I'_C s'ajoutant à I_B .

Il en résulte que le courant I_C de TR1 augmente aussi, et, en traversant la jonction EMETTEUR-BASE de TR2, produit à son tour, un accroissement de I_C .

Le courant traversant la jonction BASE-EMETTEUR de TR1 s'élève donc, de même que le courant I_C et que le courant I'_C , et ainsi de suite.

On comprend ainsi comment, par l'action de chaque transistor l'un sur l'autre, le courant qui passe entre le point A et le point C, c'est-à-dire entre l'anode et la cathode augmente jusqu'à une valeur limite, déterminée uniquement par la résistance R, se trouvant en série dans le circuit.

Lorsque cette valeur limite est atteinte, on peut ouvrir l'interrupteur I, comme le montre la figure 4-c.

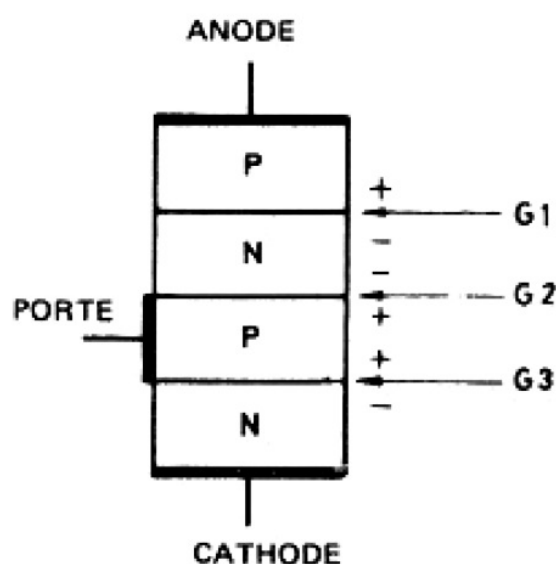
Les transistors sont en effet désormais capables de se maintenir l'un et l'autre en état de conduction.

On voit donc que le THYRISTOR PEUT PASSER DE L'ETAT D'INTERDICTION A L'ETAT DE CONDUCTION, en appliquant un court instant un courant approprié sur le circuit de GACHETTE.

Le fait que le courant continue de circuler après l'ouverture de l'interrupteur 1, signifie que la GACHETTE ne peut plus influencer sur la valeur de celui-ci.

Pour remettre le THYRISTOR à l'état d'interdiction le plus rapidement possible, il suffit d'appliquer une tension négative à l'anode.

Pour comprendre ce qui arrive dans ce cas, il faut se référer à la structure du thyristor et examiner la polarisation, lorsque celui-ci est en état de conduction (figure 5).



POLARISATION DES JONCTIONS D'UN THYRISTOR EN ETAT DE CONDUCTION

Figure 5

Dans ce cas, les trois jonctions sont polarisées dans le sens direct et à proximité de chacune d'elles, il y a un grand nombre de trous ou d'électrons libres.

En appliquant la tension négative à l'anode, on interrompt le courant traversant la diode et on constate la circulation d'un courant inverse, dû au fait que les charges libres sont éloignées des jonctions repérées par G 1 et G 3 sur la figure 5.

Après déplacement de ces charges, le courant inverse cesse et les jonctions G 1 et G 3 sont polarisées en sens inverse.

Le THYRISTOR ne se trouve pourtant pas en condition d'interdiction, car il subsiste encore un nombre considérable de trous et d'électrons libres, à proximité de G 2.

Ces dernières charges libres s'éliminent réciproquement par recombinaison dans la mesure où les jonctions G 1 et G 3 sont polarisées en sens inverse.

Quand cette recombinaison est terminée, on peut appliquer une tension positive à l'anode, sans remettre le THYRISTOR en état de conduction.

A ce moment, la GACHETTE A DONC REPRIS LA POSSIBILITE DE CONTROLER LE THYRISTOR.

Le temps qui s'écoule entre l'instant où cesse le passage du courant et l'instant où on peut réappliquer une tension positive sur l'anode, sans que le THYRISTOR revienne à la conduction, est dit TEMPS DE RETOUR A L'ETAT D'INTERDICTION ; il est normalement compris entre 10μ secondes et 15μ secondes.

Il faut préciser que sur la figure 4-a, pour simplifier l'explication, on a supposé que lorsque le THYRISTOR se trouve à l'interdiction, il n'est pas traversé par un courant, mais cela n'est pas rigoureusement exact.

En réalité, chacun des deux transistors composant le THYRISTOR est traversé par un COURANT RESIDUEL, comme on l'a vu dans les leçons précédentes concernant les transistors.

Ce courant circule, même lorsque le circuit de base est ouvert.

Ainsi, le courant RESIDUEL des deux transistors représentant le thyristor, circule dans le sens indiqué figure 4 pour les courants de collecteur, mais étant donné sa petite intensité, il n'est pas suffisant pour porter la diode, en condition normale de fonctionnement, à l'état de conduction.

Cependant la présence de ce courant résiduel, fait que la diode peut passer de l'INTERDICTION à la CONDUCTION, même si le courant de GACHETTE est nul.

On peut vérifier ce fait en appliquant à l'anode du thyristor, une tension continue de valeur appropriée.

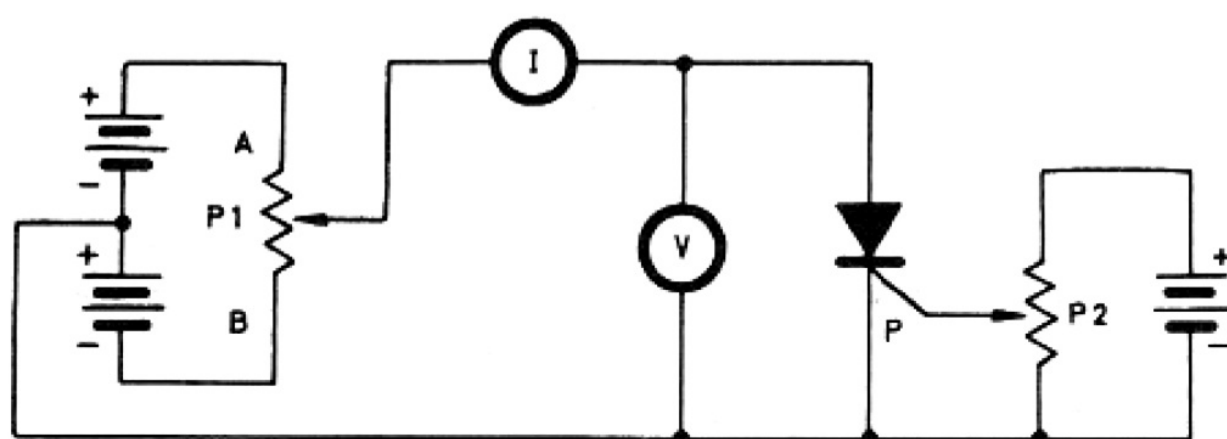
Cette tension donne aux porteurs constituant le courant résiduel, une énergie suffisante pour libérer d'autres porteurs en plus grand nombre, ceux-ci, à leur tour libérant d'autres charges et ainsi de suite.

Il se produit alors l'EFFET d'AVALANCHE. Par conséquent, le courant augmente très rapidement et le thyristor passe ainsi de l'état d'interdiction à celui de conduction.

Il est bon d'insister sur ce phénomène, ayant une certaine influence, lors du relevé des caractéristiques.

Pour déterminer celles-ci, permettant de connaître comment varie le COURANT ANODIQUE I_a en fonction de la TENSION ANODIQUE V_a , pour différentes valeurs du COURANT DE GACHETTE I_p , on a recours au circuit représenté Figure 6.

Sur cette figure, on peut voir le symbole graphique du thyristor, semblable à celui d'une diode, avec en plus, du côté de la cathode, une électrode correspondant à la PORTE.



CIRCUIT POUR LA DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES ANODIQUES D'UN THYRISTOR

Figure 6

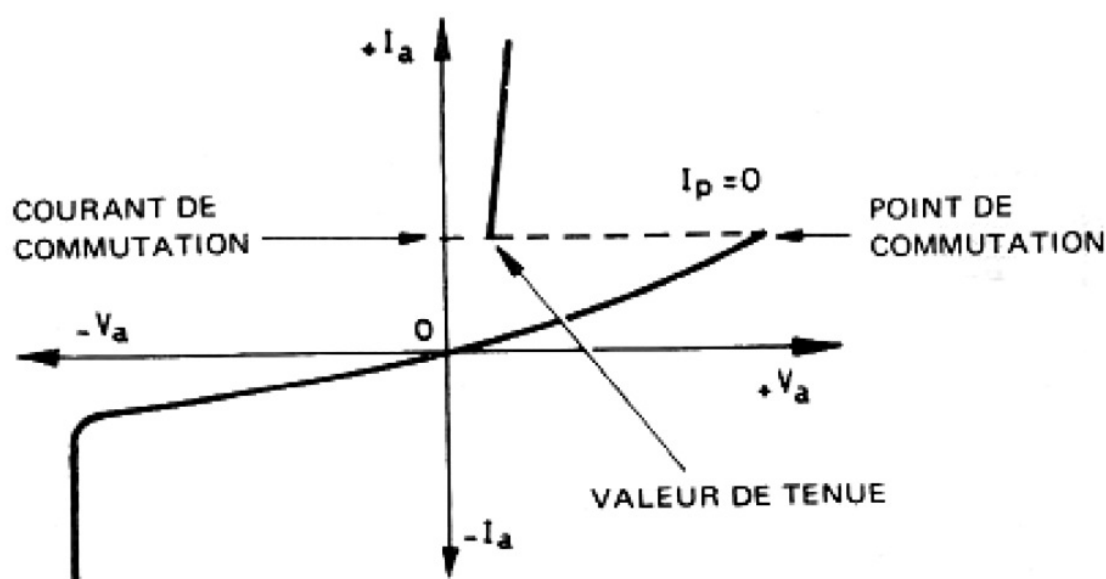
Au moyen de P1, on peut faire varier la tension anodique V_a , indiquée par l'instrument de mesure V, alors que l'appareil I indique les valeurs du courant, correspondant aux différentes tensions.

Quant à P2, il sert à régler la tension appliquée entre la porte et la cathode, c'est-à-dire, en pratique, à doser le courant du circuit de PORTE.

Lorsque ce courant a une valeur nulle, en faisant varier la tension anodique, on peut déterminer la caractéristique relative à $I_p = 0$.

L'allure de celle-ci est montrée figure 7. On voit que, lorsque la tension anodique passe d'une valeur nulle à une tension positive ($+V_a$), le courant anodique, constitué par le courant résiduel, augmente d'abord progressivement en raison de l'EFFET d'AVALANCHE.

Ce courant atteint ainsi le POINT DE COMMUTATION, correspondant à une valeur suffisante, pour porter le thyristor de l'état d'interdiction à l'état de conduction.



CARACTERISTIQUE ANODIQUE D'UN THYRISTOR
POUR $I_p = 0$

Figure 7

On parle alors de **COURANT DE COMMUTATION**.

Dès que le **THYRISTOR** est passé à l'état de conduction, il faut réduire la tension anodique pour éviter que le courant anodique prenne des valeurs excessives.

On voit en effet que la caractéristique est presque verticale.

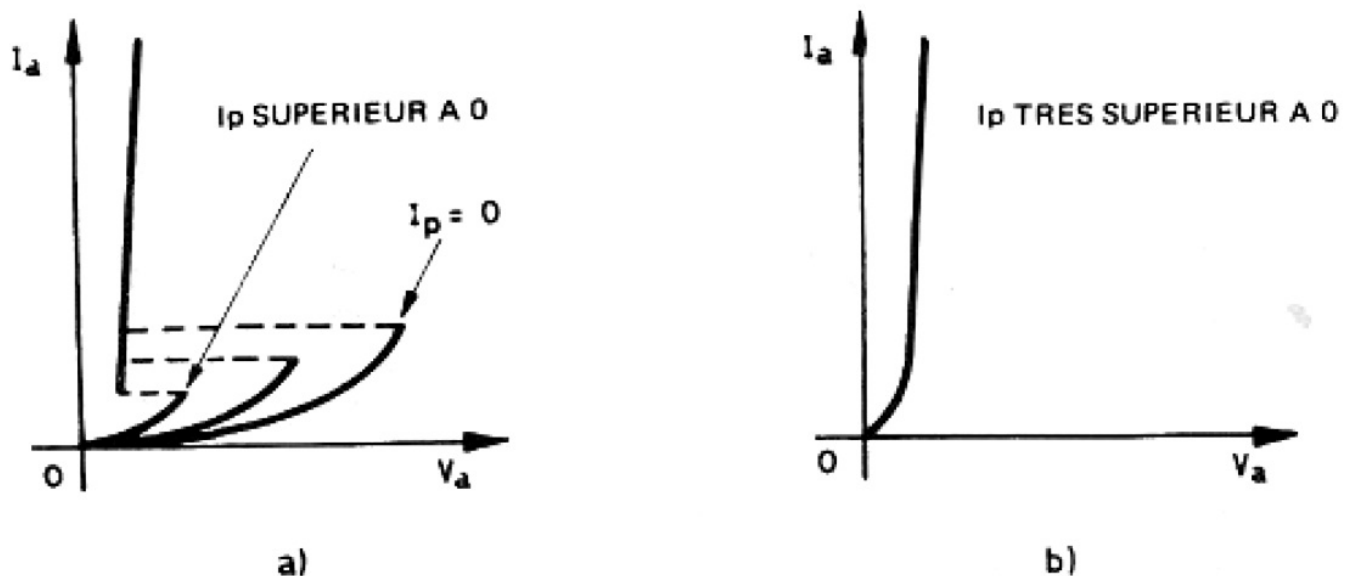
On peut en déduire qu'il suffit de basses tensions anodiques, pour obtenir des courants anodiques élevés.

Le **THYRISTOR** reste à l'état de conduction, même si la tension anodique tombe à des valeurs assez basses, pourvu que l'on ne descende pas au-dessous d'une valeur, dite **VALEUR DE TENUE**.

Au-dessous de celle-ci, le THYRISTOR revient à l'état d'interdiction.

D'autre part, lorsque la tension anodique augmente vers des valeurs NEGATIVES ($-V_a$), la caractéristique prend une allure très semblable à celle d'une diode normale, polarisée en sens inverse (figure 7).

Sur la figure 8-a, on peut voir au contraire, la modification de la caractéristique anodique, lorsque le courant de GACHETTE, prend des valeurs supérieures à zéro.



CARACTERISTIQUES ANODIQUES POUR I_p SUPERIEUR A 0

Figure 8

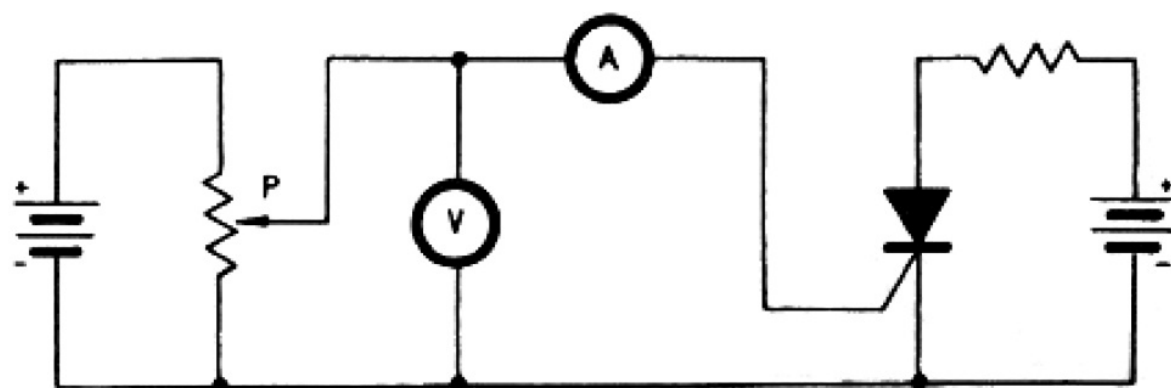
On peut noter la diminution de la tension anodique, en fonction de laquelle se situe le courant de commutation.

Si le courant de GACHETTE est très supérieur à zéro, la caractéristique prend l'allure illustrée figure 8-b.

Cette allure est très semblable à celle de la caractéristique d'une jonction P.N.

Pour l'emploi d'un THYRISTOR, il est également nécessaire de connaître la CARACTERISTIQUE DE COMMANDE, c'est-à-dire la caractéristique montrant comment varie le courant de GACHETTE I_p , lorsque la tension V_p , appliquée entre la GACHETTE et la CATHODE, est modifiée.

On peut trouver les valeurs de ces grandeurs, au moyen du circuit de la figure 9.



CIRCUIT POUR LE RELEVÉ DE LA CARACTERISTIQUE DE COMMANDE

Figure 9

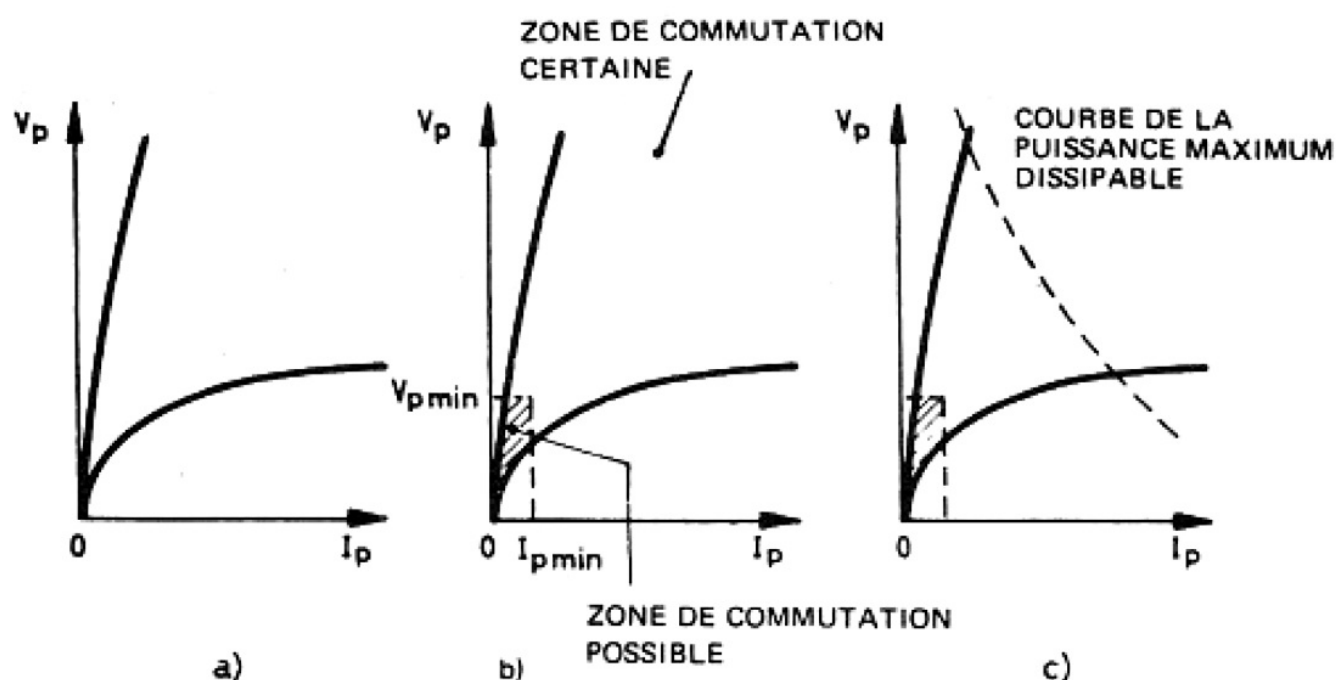
En reportant sur un diagramme les valeurs de la tension et du courant ainsi déterminées, on peut tracer la caractéristique de commande du THYRISTOR considéré.

En refaisant ce tracé avec un autre thyristor du même type, on trouverait une caractéristique qui pourrait être très différente.

Ce fait est dû aux inévitables différences de construction que l'on rencontre dans ces composants.

Pour cette raison, les caractéristiques de commande des THYRISTORS, fournies par les constructeurs, comprennent deux courbes, délimitant une zone dans laquelle peut se trouver la caractéristique, pour un type de thyristor donné.

Il faut se souvenir qu'en augmentant la tension de la GACHETTE V_p , on atteint une valeur, en correspondance de laquelle le courant de GACHETTE I_p , s'avère suffisant pour provoquer la conduction du thyristor.



CARACTERISTIQUE DE COMMANDE D'UN THYRISTOR

Figure 10

En raison des différences de construction, ces valeurs varient d'un thyristor à un autre pour un même type de composant.

La surface hachurée de la figure 10-b, indique les **POINTS POSSIBLES DE COMMUTATION**. Elle est délimitée par les valeurs V_p min. et I_p min.

Cette surface représente donc la zone, dans laquelle la commutation est possible, mais non certaine, alors que la zone supérieure indique les valeurs où la **COMMUTATION EST CERTAINE**, dans tous les cas.

Il faut encore noter que toutes les valeurs comprises dans la zone supérieure ne peuvent pas être adoptées pour la commande d'un thyristor.

En effet, pour certaines de ces valeurs la puissance dissipée dans la jonction **GACHETTE-CATHODE**, dépasserait les possibilités du thyristor.

En conséquence, la puissance maximale dissipable sans risque, est indiquée par la courbe en pointillé.

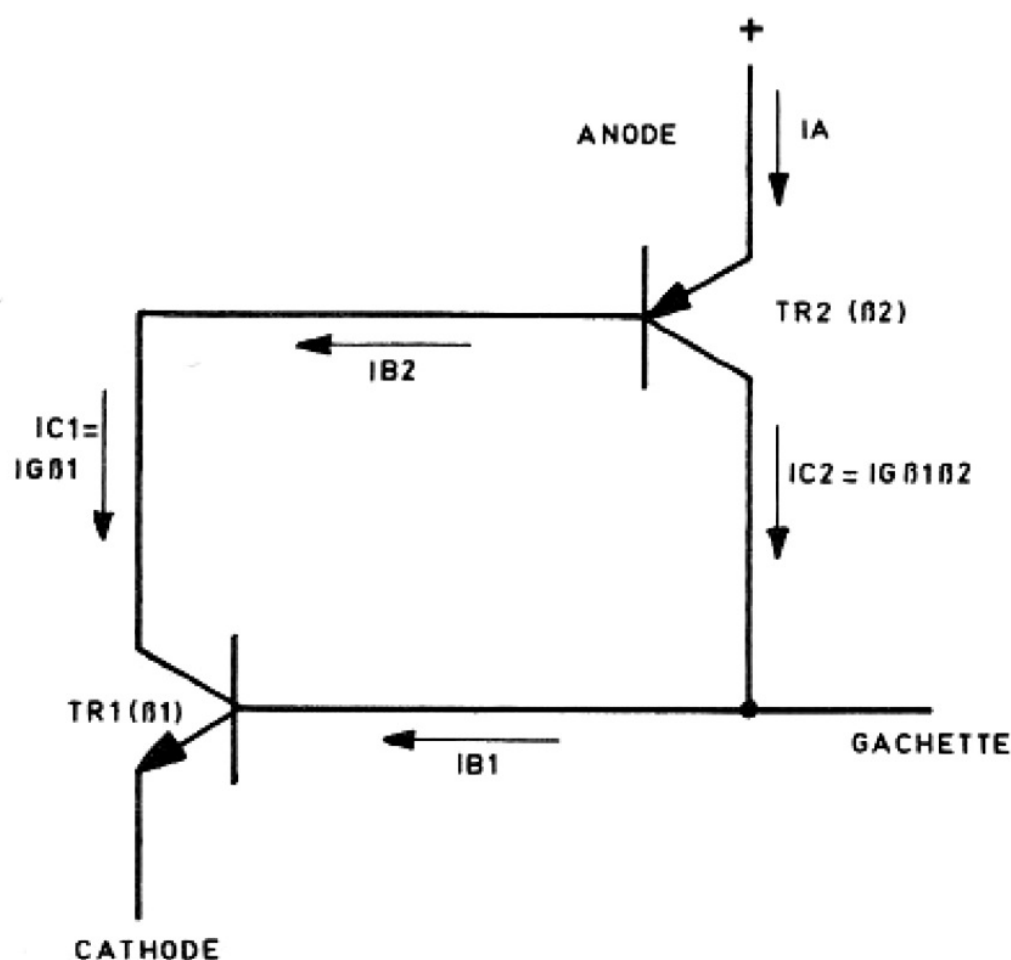
La caractéristique de commande, dans son aspect définitif, est représentée figure 10-c.

1 - 1 - PRINCIPE DE L'AMORCAGE PAR LA GACHETTE

L'AMORCAGE DU THYRISTOR par sa **GACHETTE** ou **PORTE**, est le système d'amorçage le plus courant.

Le **THYRISTOR** est monté sur le circuit, de façon à être polarisé dans le **SENS DIRECT** (voir figure 11).

On applique une **IMPULSION POSITIVE** sur la **GACHETTE (IG)**.



AMORCAGE D'UN THYRISTOR

Figure 11

Le transistor TR1 reçoit donc IG comme **COURANT** de **BASE**. De ce fait son courant **COLLECTEUR** passe à $IG \beta_1$, (où β_1 = **GAIN EN COURANT** DE TR1).

Ce courant est à son tour injecté dans la **BASE** de TR2, qui débite alors un courant $IG \beta_1 \beta_2$ (où β_2 = **gain en courant** de TR2).

Ce même courant $IG \beta_1 \beta_2$ de collecteur de TR2 est réinjecté sur la **BASE** de TR1.

Deux cas doivent alors être considérés.

1°) Le produit $\beta_1 \beta_2$ est plus petit que 1 : LE DISPOSITIF NE S'AMORCE PAS.

2°) Le produit $\beta_1 \beta_2$ est proche de l'unité : le processus de l'amplification se manifeste et le THYRISTOR passe à l'état CONDUCTEUR.

Ces deux conditions ($\beta_1 \beta_2 < 1$ et $\beta_1 \beta_2$ proche de 1) caractérisent l'état du THYRISTOR en fonction du courant.

Le gain β d'un transistor au silicium croît en effet généralement avec le courant (plus exactement le gain en courant croît avec le courant d'émetteur).

- Avec un courant de GACHETTE faible, le produit $\beta_1 \beta_2$ est inférieur à 1.

Le THYRISTOR reste bloqué.

- Avec un courant de GACHETTE de valeur plus élevée, c'est-à-dire avec une impulsion de commande suffisante, les COURANTS D'EMETTEURS sont assez élevés pour que $\beta_1 \beta_2$ donne une valeur tendant vers l'unité, c'est-à-dire $\beta_1 \beta_2 \rightarrow 1$.

Dès que l'amorçage est réalisé, la REACTION POSITIVE (le courant de collecteur de chaque transistor étant appliqué sur les BASES de l'autre transistor) fait conduire TR1 et TR2 à la saturation. Ces deux composants se maintiennent dans cet état, MEME SI LE SIGNAL DE COMMANDE DISPARAIT.

1 - 2 - AUTRES POSSIBILITES D'AMORCAGE

Comme nous venons de le dire la propriété essentielle d'un TRANSISTOR au SILICIUM est d'avoir un GAIN DE COURANT, croissant avec le courant d'émetteur I_E .

De ce fait, toutes les CAUSES susceptibles de provoquer une AUGMENTATION du courant I_E , permettent de déclencher l'amorçage.

On peut donc agir :

1⁰) SUR LA TENSION : Si la tension CATHODE-ANODE augmente, il arrive un moment où le COURANT DE FUITE est suffisant pour déclencher une augmentation rapide de I_E , donc provoquer l'amorçage.

2⁰) LA PENTE DE LA TENSION : La jonction PN présente une certaine CAPACITE. Ainsi, en augmentant BRUSQUEMENT la tension anode-cathode, on charge cette capacité et l'on obtient un courant de :

$$i = \frac{C \Delta V}{\Delta t} \quad \text{avec}$$

C : valeur de la capacité de la jonction
 ΔV (delta V) : brusque variation de la tension
 Δt (delta t) : durée de la variation.

Lorsque le courant i atteint une certaine valeur, l'AMORCAGE se produit.

3⁰) LA TEMPERATURE : Le courant de fuite inverse d'un TRANSISTOR au SILICIUM, double approximativement tous les 14⁰ C (lorsque la température croît).

Là encore, lorsque le courant de fuite est suffisant, le THYRISTOR s'amorce.

Nous n'avons cité ces possibilités qu'à titre d'information, car dans la grande majorité des cas, on provoque le DECLENCHEMENT DU THYRISTOR en injectant une IMPULSION de commande sur la GACHETTE, c'est-à-dire en utilisant l'EFFET TRANSISTOR.

1 - 3 - TENSION DE RETOURNEMENT

Comme nous venons de le dire dans le paragraphe précédent, il est possible d'amorcer un thyristor, en agissant sur la TENSION CATHODE-ANODE.

La valeur de tension pour laquelle le thyristor s'amorce, s'appelle TENSION DE RETOURNEMENT.

La valeur de cette tension dépend cependant du signal de commande, éventuellement appliqué sur la GACHETTE.

La figure 12 met en évidence cette relation.

Lorsque le courant de GACHETTE I_G est nul (sur la figure $I_{G1} = 0$), la TENSION anode-cathode, doit atteindre la TENSION DE RETOURNEMENT pour que le thyristor s'amorce.

Par contre avec un courant de GACHETTE croissant, la TENSION DE RETOURNEMENT tombe à des valeurs beaucoup plus faibles.

A la limite, le thyristor se comporte comme une diode (pour $I_G 5$ sur la figure).

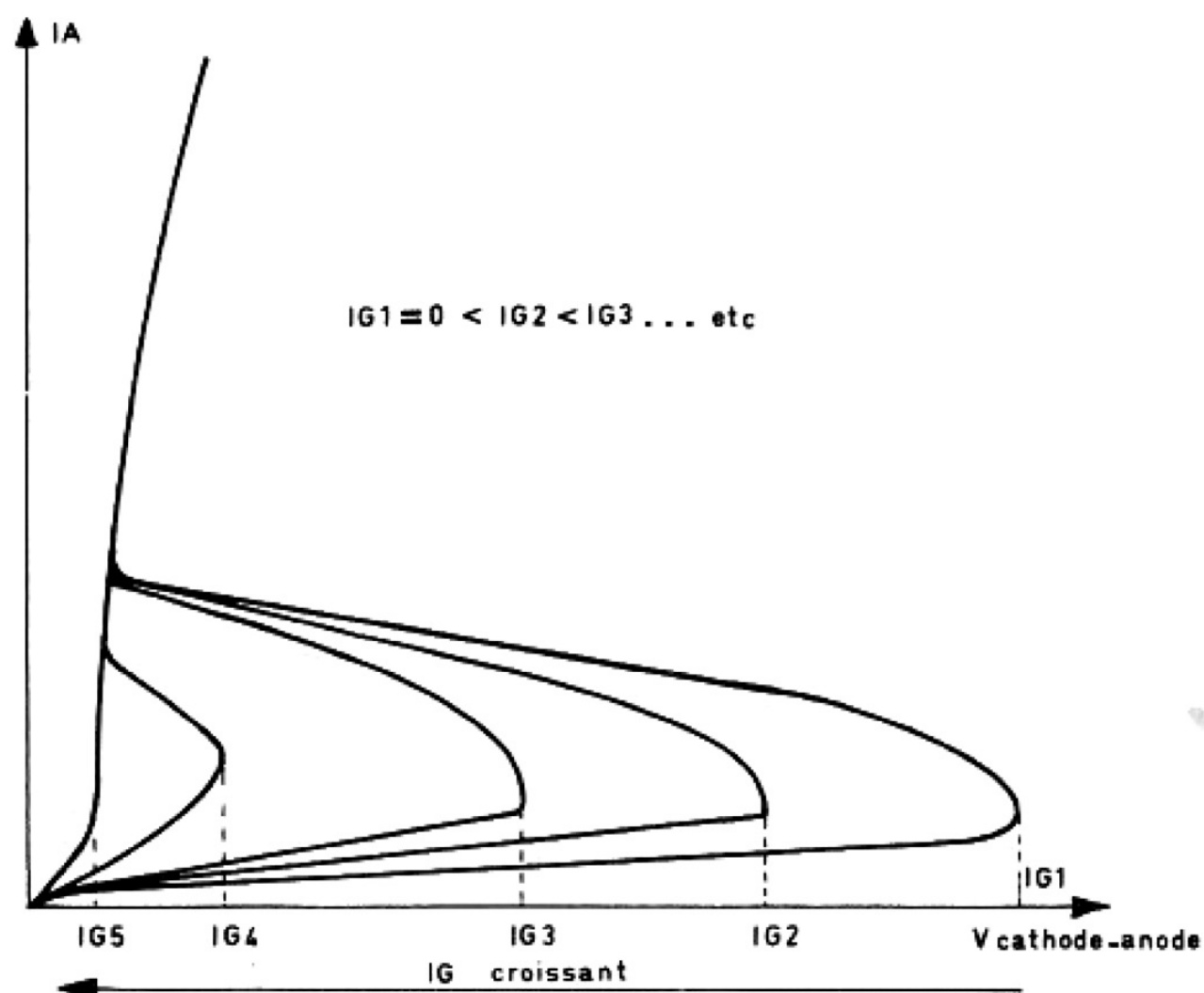
Cela signifie que si le courant de GACHETTE est assez fort, une petite tension d'anode suffit pour provoquer le DECLENCHEMENT.

Aussi, pour prévenir des AMORCAGES erratiques, on peut monter une RESISTANCE entre la GACHETTE et la CATHODE.

Très souvent d'ailleurs les fabricants INTEGRENT par DIFFUSION, cette résistance dans le thyristor (technique SHORTED EMITTER).

Elle a pour effet de nécessiter un courant de GACHETTE plus

intense, pour l'amorçage du thyristor, mais par-là même, AMELIORE sa TENUE à l'état bloqué.



TENSION DE RETOURNEMENT EN FONCTION DE I_G

Figure 12

II - EMPLOI DU THYRISTOR

Les thyristors sont de plus en plus utilisés dans les circuits de commande actuels.

Les recherches effectuées dans ce domaine ont permis la réalisation de thyristors capables de passer une intensité de l'ordre de plusieurs CENTAINES D'AMPERES, avec une tension inverse de crête de 1200 Volts.

De tels thyristors sont toutefois réservés à des fins bien spéciales. Dans le domaine courant, on trouve surtout :

- THYRISTORS à faible courant < 1 A
- THYRISTORS à courant fort 1 à 35 A
- THYRISTORS de forte puissance 35 à 150 A

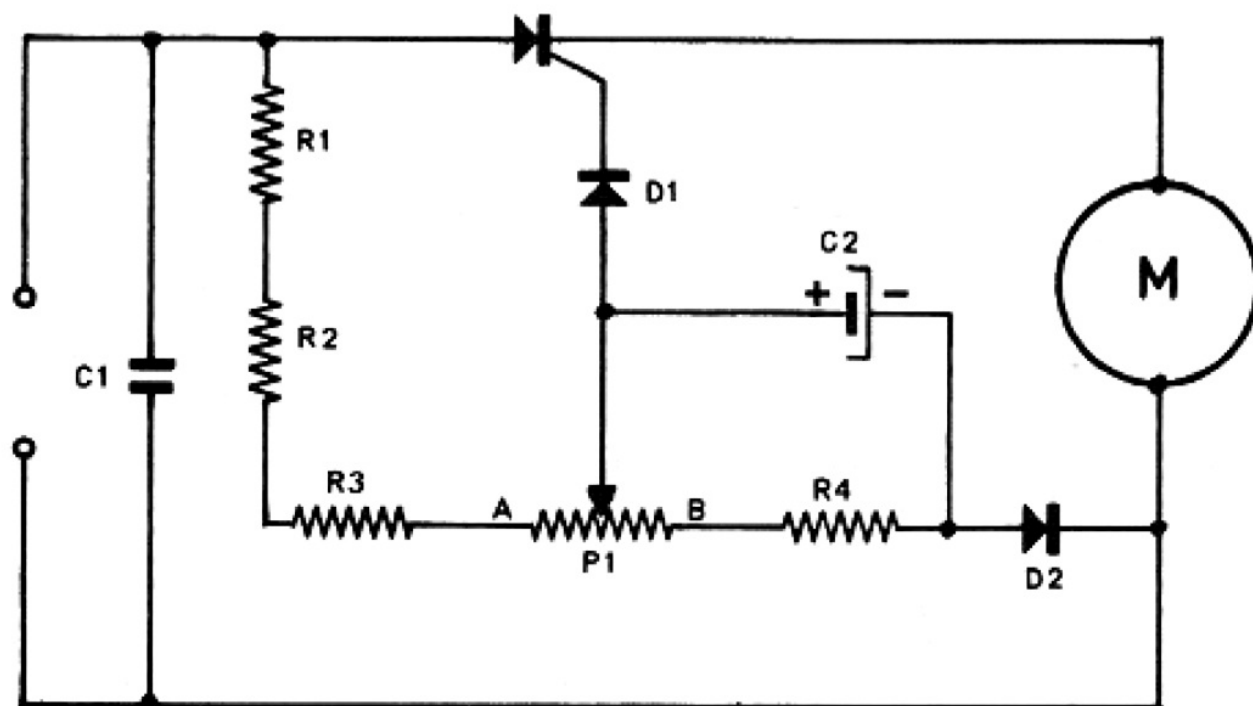
Les applications des thyristors sont très vastes et plus particulièrement en ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE.

On les trouve également dans certains appareils électro-ménagers, où ils peuvent en plus d'une fonction spécifique, remplacer un transformateur.

La figure 13 illustre une application courante : LE VARIATEUR DE VITESSE.

Prise directement sur le secteur, la tension a l'allure sinusoïdale, représentée figure 14-a.

En insérant le circuit de la figure 13, la tension au maximum n'est plus QU'UNE DEMI-SINUSOÏDE. Dans ce cas, le THYRISTOR se comporte comme une DIODE (figure 14-b).



VARIATEUR DE VITESSE

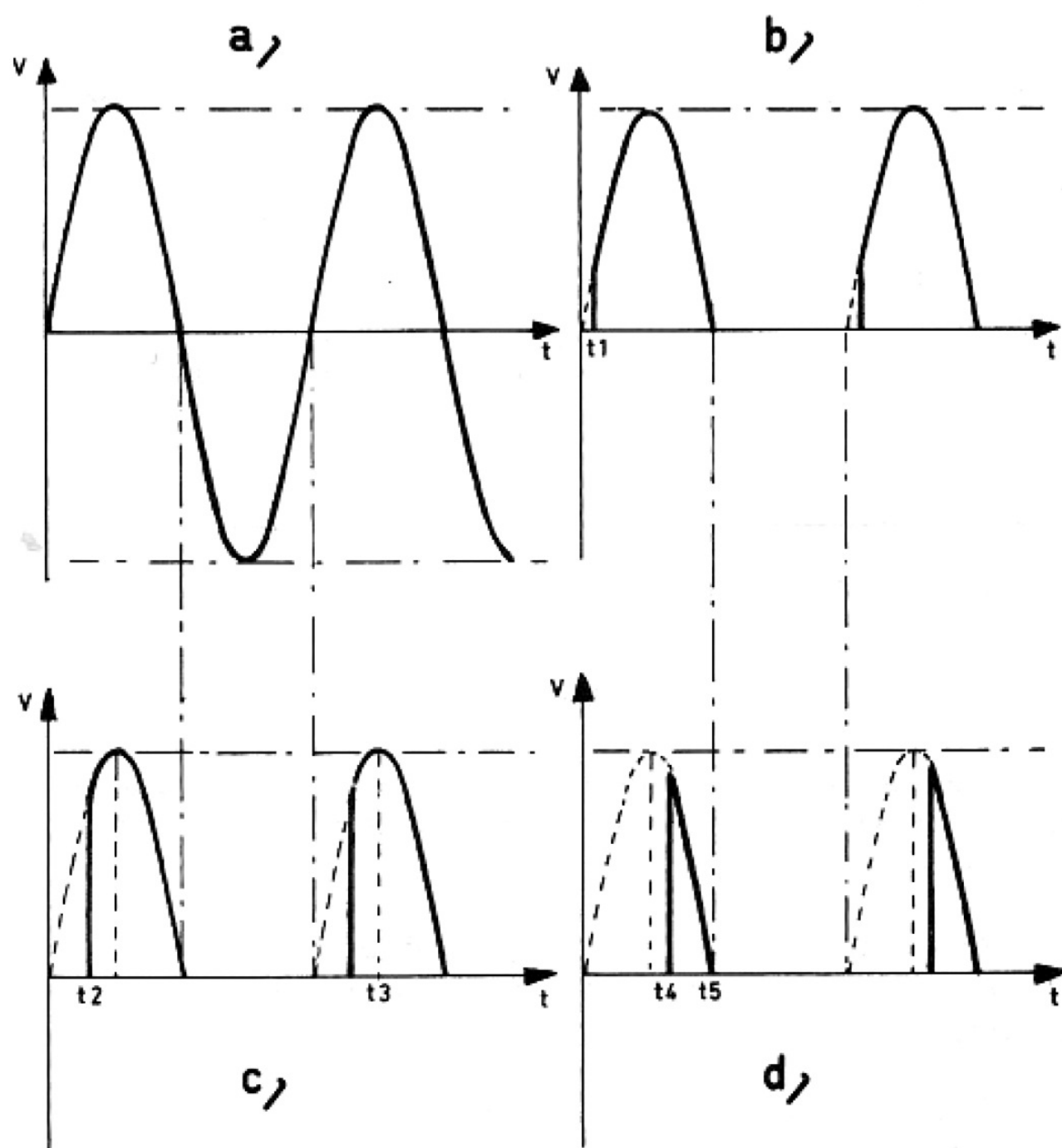
Figure 13

Ainsi, en insérant le dispositif entre la prise secteur et le moteur, la vitesse du moteur M diminue : on n'utilise en effet que les alternances positives pour l'alimenter.

Pour diminuer encore la vitesse, on agit sur le potentiomètre P1. La tension qui alimente alors le moteur prend l'allure indiquée figure 14-c. On remarque qu'il ne subsiste qu'une partie de l'alternance positive.

En continuant d'agir sur P1, on peut arriver à n'avoir plus qu'une petite partie de l'alternance positive (figure 14-d) ou même plus rien du tout, c'est-à-dire suppression complète de l'alternance positive.

Il faut remarquer un fait essentiel : la DIMINUTION DE LA VITESSE s'effectue sans REDUIRE LA TENSION APPLIQUEE AU MOTEUR (sauf à très basse vitesse) mais uniquement en AGISSANT sur le TEMPS DE CONDUCTION.



FORMES D'ONDES APPLIQUEES AU MOTEUR

Figure 14

Cela signifie que le moteur conserve pratiquement toute sa PUISSANCE, quel que soit son régime.

Revenons au schéma de la figure 13.

Dans un circuit de ce type, LA TENSION DE COMMANDE DE LA GACHETTE est obtenue par un pont diviseur R 1-R 2-R 3, branché entre l'anode du thyristor et le potentiomètre P1.

Lorsque la tension appliquée sur L'ANODE DU THYRISTOR AUGMENTE POSITIVEMENT, CELLE APPLIQUEE SUR LA GACHETTE AUGMENTE EGALEMENT, étant donné qu'elle est transmise par D1.

De cette manière, on atteint ainsi la valeur nécessaire pour déclencher la CONDUCTION du thyristor.

CETTE VALEUR EST ATTEINTE EN DES TEMPS DIFFERENTS, selon la position du curseur du potentiomètre.

Lorsque le curseur est en A, la tension de DECLENCHEMENT est atteinte peu de temps après le début de l'alternance positive (cas illustré figure 14-b).

En déplaçant le curseur de P1 vers B, on diminue la tension de commande par l'introduction d'une résistance supplémentaire ; la conduction de thyristor ne se produit alors qu'un certain temps après le début de l'alternance positive (cas illustré figure 14-c).

D'après ce qui a été dit, on pourrait penser qu'il est impossible de laisser le THYRISTOR en état de conduction après le temps t_3 (figure 14), or on voit que ceci est possible (figure 14-d).

On arrive à ce résultat, GRACE AU CONDENSATEUR C2, qui détermine un DEPHASAGE entre la TENSION DU SECTEUR présente sur l'ANODE du THYRISTOR et la TENSION DE GACHETTE.

Les deux tensions ne varient pas ensemble, la seconde étant en RETARD sur la première.

En effet, la TENSION DE GACHETTE atteint son maximum positif, alors que la TENSION D'ANODE du THYRISTOR a déjà commencé à diminuer.

LE TEMPS DE CONDUCTION entre t_4 et t_5 est évidemment très court, ce qui veut dire que la vitesse du moteur est alors très faible.

A la fin de toute alternance positive, la tension secteur s'annule, INTERROMPANT la conduction du THYRISTOR.

Pendant les alternances négatives, les diodes D1 et D2 sont polarisées en sens inverse et le système reste bloqué.

La conduction reprend à l'alternance positive suivante, dans les DIODES D'ABORD, dans le THYRISTOR ensuite, lorsque la TENSION DE DECLENCHEMENT EST ATTEINTE.

Quand la tension d'alimentation du moteur a l'allure de la figure 14-d (presque impulsionnelle), il se produit des parasites dans les radio-fréquences, pouvant perturber la réception radio.

Pour éliminer cet inconvénient, on a placé un condensateur (C1) réduisant en grande partie ces troubles.

Ce montage n'est ici donné que comme exemple d'application des thyristors, que l'on retrouve dans de très nombreux circuits en ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE.

III - LES TRIACS

Le TRIAC est un dispositif SEMI-CONDUCTEUR à TROIS ELECTRODES (ANODE 1 - ANODE 2 - GACHETTE) pouvant passer de

L'ETAT BLOQUE A L'ETAT DE CONDUCTION DANS SES DEUX SENS DE POLARISATION.

En d'autres termes, il s'agit d'un composant de la même famille que le THYRISTOR, mais qui est BIDIRECTIONNEL (le thyristor étant unidirectionnel).

Le TRIAC peut d'ailleurs être comparé à deux thyristors en parallèle, montés tête-bêche (figure 15).

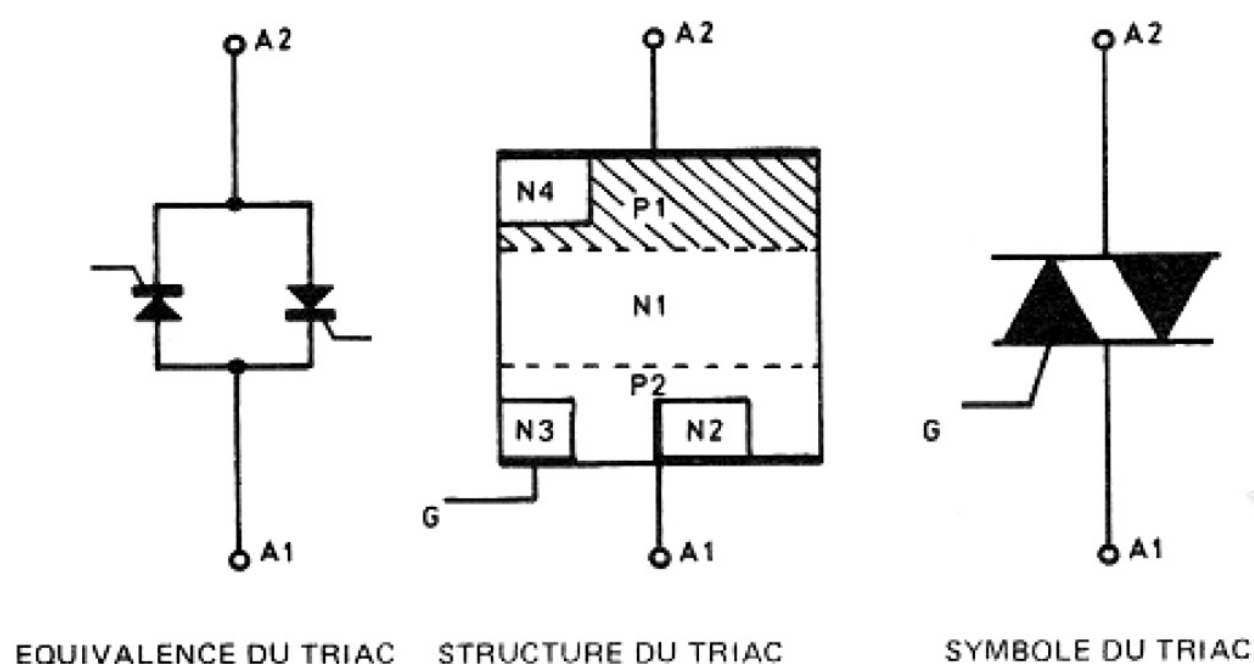


Figure 15

On peut considérer le TRIAC, comme une STRUCTURE P1 N1 P2 N2 de thyristor, dans lequel A1 est la cathode (reliée à N2), A2 l'anode (reliée à P1) G la gachette (reliée à P2), mais avec en plus :

- A1 reliée également à P2
- B2 reliée également à une couche supplémentaire N4
- G reliée également à une couche supplémentaire N3

La structure P2 N1 P1 N4, constitue ainsi un second thyristor, monté en parallèle inverse avec le thyristor P1 N1 P2 N2.

LA CARACTERISTIQUE TENSION-COURANT est symétrique (figure 16).

Ce dispositif peut passer d'un ETAT BLOQUE A UN ETAT CONDUCTEUR dans les deux sens de polarisation (quadrant 1 et 3) et repasser à L'ETAT BLOQUE par inversion de tension ou diminution du courant AU-DESSOUS DE LA VALEUR DU COURANT DE MAINTIEN I_H .

En l'absence de signal sur la GACHETTE, le dispositif peut être considéré comme deux redresseurs POLARISES EN SENS INVERSE. Aucun courant ne circule dans le TRIAC, donc dans la charge (sauf un très léger courant de fuite).

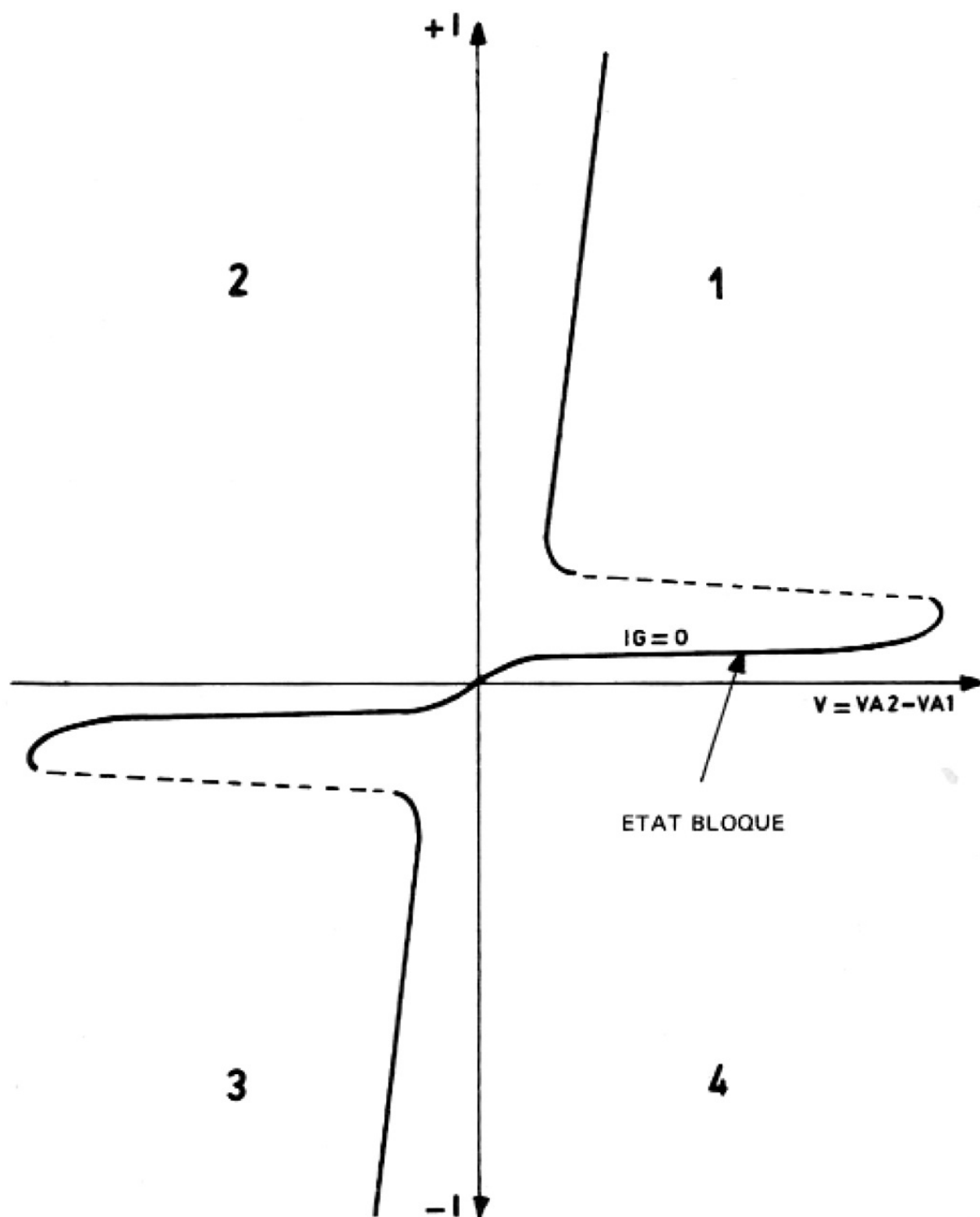
On admet donc que le TRIAC se comporte comme un INTER-
RUPTEUR OUVERT.

Cependant, selon la POLARISATION on peut avoir les états suivants :

1⁰) Si A2 est à un POTENTIEL POSITIF de 1,5 Volt par rapport à A1, une TENSION POSITIVE ou NEGATIVE de valeur convenable, appliquée sur la GACHETTE, PROVOQUE L'AMORCAGE : LE TRIAC se met à conduire.

2⁰) Si A2 est à un POTENTIEL NEGATIF de 1,5 Volt par rapport à A1, une TENSION POSITIVE OU NEGATIVE de valeur convenable, appliquée sur la GACHETTE, provoque L'AMORCAGE : LE TRIAC se met à conduire.

3⁰) Si le courant allant de A2 à A1 ou de A1 à A2 est établi, le TRIAC est VERROUILLE et la TENSION DE GACHETTE peut être supprimée, qu'elle soit POSITIVE ou NEGATIVE : LE TRIAC reste en ETAT DE CONDUCTION.



COURBE CARACTERISTIQUE DU TRIAC

Figure 16

4⁰) Lorsque le COURANT DANS LE TRIAC EST ETABLI (dans un sens ou dans l'autre), IL EST NECESSAIRE POUR LE BLOQUER, de réduire l'intensité de ce courant, à une valeur proche de zéro.

L'intensité minimum pour laquelle le TRIAC reste conducteur est appelée INTENSITE MINIMALE DE MAINTIEN (IH).

La condition ci-dessous (courant proche de zéro), existe évidemment chaque fois que la TENSION ALTERNATIVE DU RESEAU, passe par zéro, c'est-à-dire à chaque demi-alternance.

Comme nous venons de le voir, le TRIAC peut être déclenché par une impulsion POSITIVE ou NEGATIVE sur la GACHETTE, quelle que soit la polarité de A2 par rapport à A1.

Toutefois, il existe un SENS PREFERENTIEL, illustré figure 17.

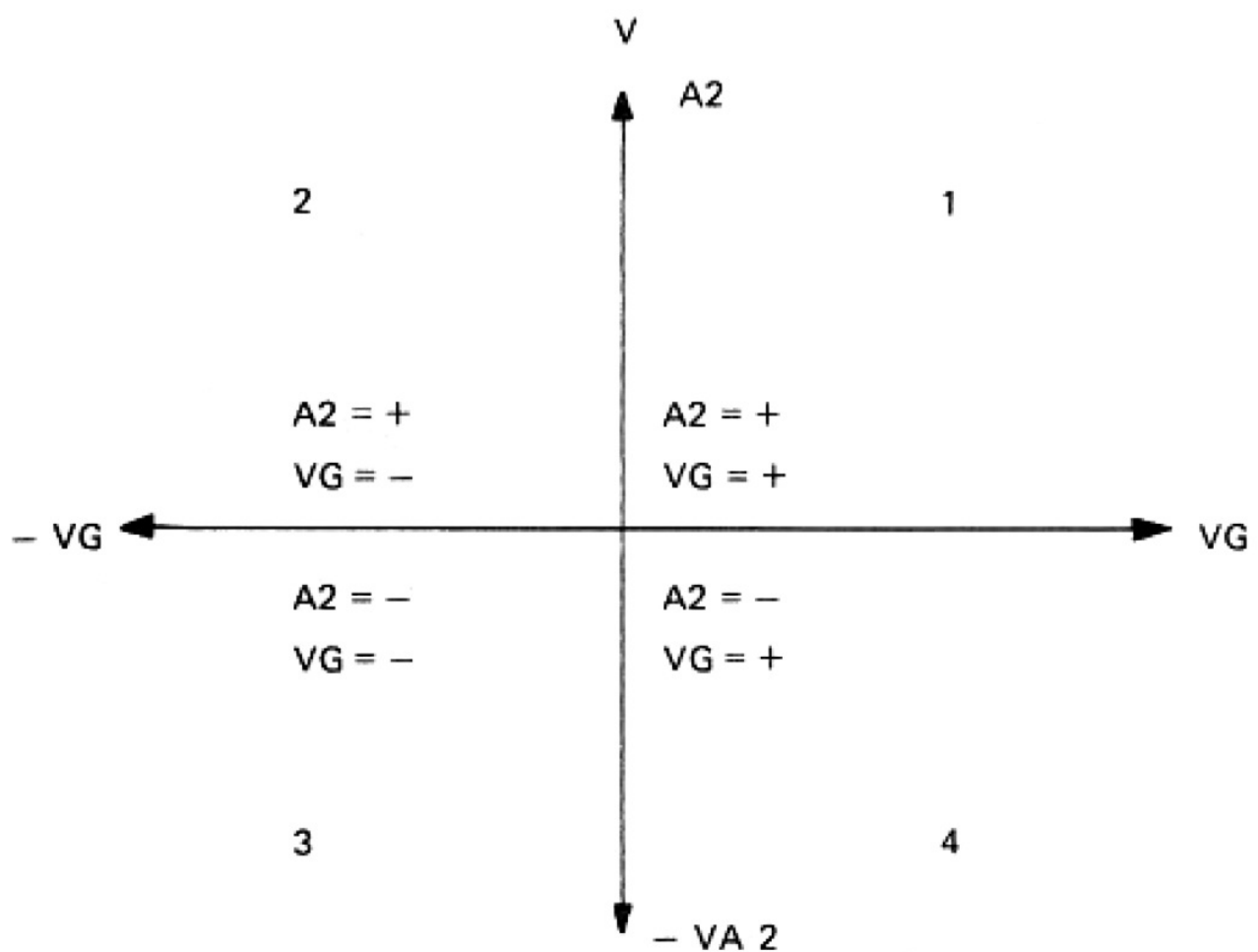
Lorsque le DECLENCHEMENT a eu lieu, la RESISTANCE INTERNE DU TRIAC est faible ; de ce fait, la chute de tension entre A2 et A1 a une valeur également faible (de l'ordre de 1,2 Volt).

Cela signifie que la puissance dissipée en pure perte dans le TRIAC est très faible par rapport à la puissance de la CHARGE.

Mentionnons encore qu'un TRIAC peut supporter sans inconvénient des surcharges brèves, assez intenses.

Ainsi, un TRIAC de 6 ampères par exemple peut supporter pendant quelques alternances, un courant de l'ordre de 100 ampères.

Cette caractéristique est très intéressante, car au démarrage d'un moteur par exemple, l'intensité instantanée demandée, est beaucoup plus importante que l'intensité de fonctionnement du moteur en régime normal.



AMORCAGE DU TRIAC

Figure 17

III - 1 - AMORCAGE DU TRIAC

En appliquant une TENSION V_1 à A_1 , V_2 à A_2 et V_G à la GACHETTE, en prenant V_1 comme référence, c'est-à-dire $V_1 = 0$, on peut définir les quatre quadrants de polarisation de la figure 17.

Comment se produit l'amorçage dans les 4 cas possibles ?

a) AMORCAGE QUADRANT 1 (+ +)

DANS CE CAS NOUS AVONS $V_2 > V_1$.

On applique une IMPULSION POSITIVE SUR LA GACHETTE entre G et A1 (+ sur G).

En appelant T le thyristor P1N1P2N2 ayant A2 comme anode et A1 comme cathode (voir figure 15) et T' le thyristor P2N1P1N4 avec A1 comme anode et A2 comme cathode, nous avons :

T EST SOUS TENSION DIRECTE ; le courant positif de GACHETTE provoque l'amorçage de T comme un transistor normal.

b) AMORCAGE QUADRANT 3 (- -)

DANS CE CAS NOUS AVONS $V_2 < V_1$

On applique UNE IMPULSION NEGATIVE SUR LA GACHETTE ENTRE G et A1 (- sur G).

Le courant de GACHETTE I_G entre par A1, traverse la diode P2N3 dans le sens direct et entraîne ainsi l'affaïssement de la barrière de potentiel P1N1.

En effet, la diode P2N3 est traversée par des TROUS de P2 vers N3 et par des électrons de N3 vers P2.

Ces électrons diffusent à travers P2 jusqu'à la jonction P2N1, qui les dirigent dans N1 (action de la jonction sur les porteurs minoritaires qui l'atteignent) ; il en résulte une diminution de la barrière de potentiel P2N1 et par suite une augmentation du courant des TROUS de P2 vers N1.

Ces trous sont absorbés par la jonction P1N1 dont le courant inverse augmente, avec pour effet d'amorcer T'.

c) AMORCAGE QUADRANT 2 (+ -)**DANS CE CAS NOUS AVONS $V_2 < V_1$**

On applique UNE IMPULSION NEGATIVE SUR LA GACHETTE entre G et A1 (- sur G).

Le courant de déclenchement circule de P2 vers N3 et amorce T', comme précédemment.

d) AMORCAGE QUADRANT 4 (- +)**DANS CE CAS NOUS AVONS $V_2 < V_1$**

On applique une IMPULSION POSITIVE sur la GACHETTE entre G et A1 (+ sur G).

Le processus de déclenchement peut se comparer à celui du premier quadrant, dont T conducteur.

En réalité le phénomène est plus complexe, car pour une étude détaillée et par ailleurs hypothétique, il conviendrait de considérer la zone de conduction N3P2N1P1, d'où il ressort que dans le quatrième quadrant, la sensibilité au déclenchement est plus réduite que dans les autres cas.

LES DEUX METHODES D'AMORCAGE les plus utilisées sont celles décrites en a) et en b), c'est-à-dire celle du premier et du 3ème quadrant.

EN EFFET LORSQUE A2 ET G ONT LA MEME POLARITE, le courant de gachette nécessaire pour provoquer l'amorçage est beaucoup plus faible que lorsque ces polarités sont opposées.

Symbole	Anglais	Signification
AV	AVERAGE	MOYEN
D	Direct	Continu
F	FORWARD	Sens direct
G	GATE	GACHETTE
H	HOLD	Maintien
L	LATCHING	Verrouillage
M	MAXIMUM	MAXIMUM
N	NEGATIVE	NEGATIF
P	Peak	Crête
R (en 1ère position)	REVERSE	INVERSE
R (en 2ème position)	RECURRENT	RECURRENT
S	SURGE	Accidentel
W	WORKING	de service

Figure 18

LE SENS PREFERENCIEL d'amorçage, en se référant à la figure 17 est donc celui où nous avons :

$$A2 + V_G + \quad \text{et} \quad A2 - V_G -.$$

III - 2 - CARACTERISTIQUES DES TRIACS

Les ouvrages les plus complets traitant des thyristors et des triacs étant américains (ce qui explique l'usage de plus en plus fréquent de termes anglo-saxons dans les textes français et confirme que l'évolution technique a une influence certaine sur le langage), il est bon de donner la signification des symboles utilisés pour donner les caractéristiques de ces composants (figure 18).

Extrait d'un document SILEC (fabricant de semi-conducteurs), voici comment se présentent les caractéristiques essentielles d'un TRIAC (type TTAL 220).

VALEURS D'UTILISATION

I_{Teff}	200 A	=	Courant efficace à l'état passant.
I_{TRM}	600 A	=	Courant de pointe maximum répété à l'état passant.
I_{TSM}	1600 A à 50 Hz	=	Courant de pointe maximum accidentel.
V_{DWM}	200 V	=	Tension de crête maximum à l'état bloqué.
V_{RSM}	300 V	=	Tension inverse de pointe accidentelle.

CARACTERISTIQUES DE GACHETTE

I_{FGM}	5 A	=	Courant direct de pointe
V_{FGM}	10 V	=	Tension direct de pointe

V_{RGM}	5 V	=	Tension inverse de pointe.
P_G	10 W	=	Puissance gachette (de l'anglais POWER GATE).

Parmi les autres caractéristiques importantes qu'il faut citer, mentionnons :

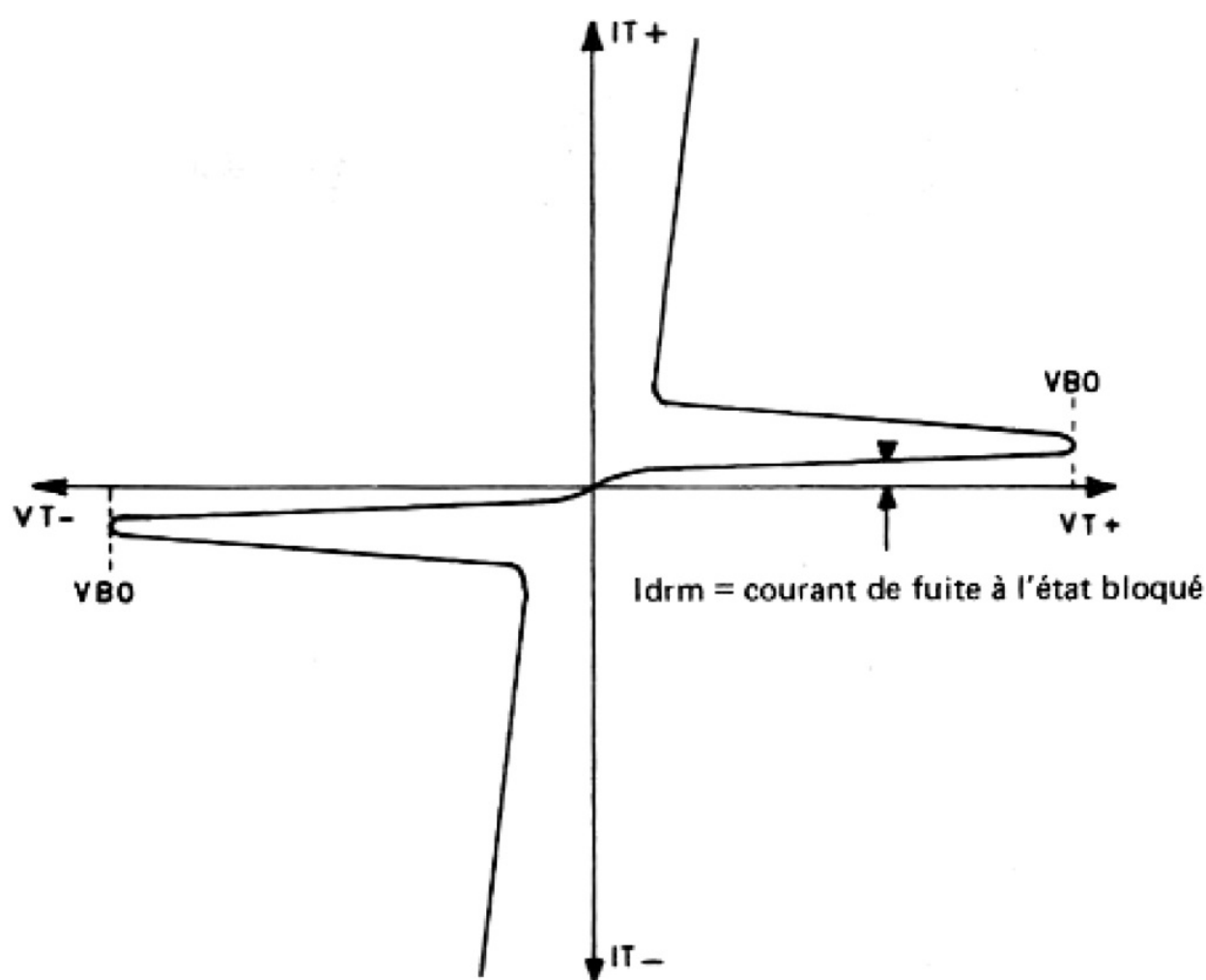
V_{BO}	=	Tension maximale que peut supporter le composant en restant maintenu à l'état bloqué. Si cette tension est dépassée le triac s'amorce.
dv/dt	=	Taux de croissance maximum de la tension d'anode pouvant être supporté par le dispositif, sans risque d'amorçage.
di/dt	=	Taux de croissance maximum du courant d'anode pouvant être supporté par le dispositif sans entraîner sa destruction.

A l'aide de ces indications, on peut ainsi compléter le schéma de la figure 16 par les indications suivantes (figure 19).

IV - LES DIACS

Le DIAC est un composant à SEMI-CONDUCTEURS, utilisé pour DECLENCHER les thyristors et les triacs.

C'est un élément SYMETRIQUE, donc un composant BIDIRECTIONNEL, devenant CONDUCTEUR lorsque la TENSION DEPASSE un certain seuil (tension de retournement).

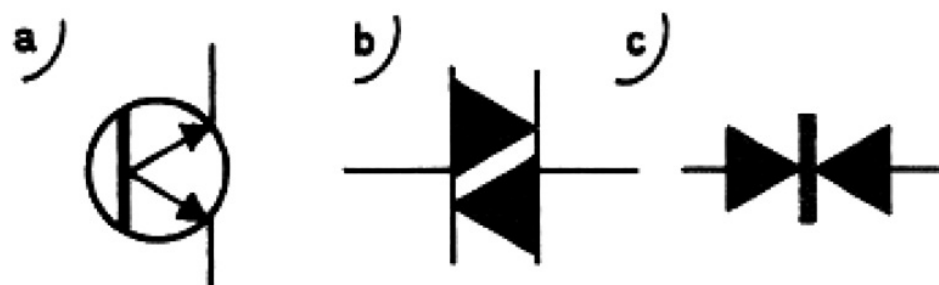


COURBE CARACTERISTIQUE DU TRIAC

Figure 19

Sa structure est très simple, puisqu'il s'agit d'une double diffusion d'impuretés de TYPE OPPOSE à celle du substrat (monocristal).

Le symbole, ou plutôt les symboles du DIAC sont représentés figure 20.



SYMBOLES DU DIAC

Figure 20

Le symbole de la figure 20-b est contestable car il est pratiquement identique à celui du triac.

Le symbole de la figure 20-c est le plus simple et permet le plus facilement de comprendre le fonctionnement de ce composant.

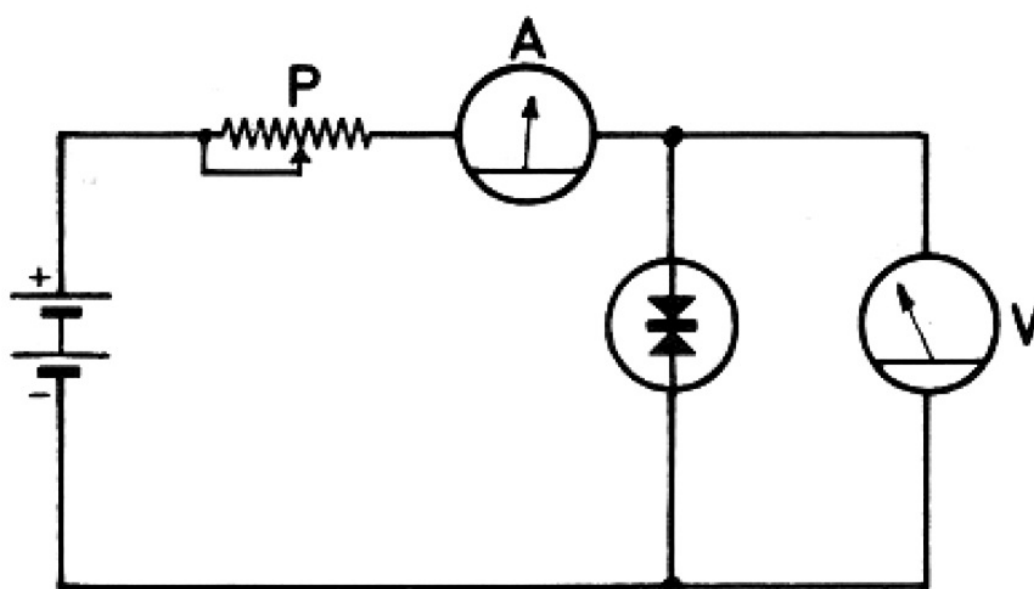
Voyons à ce sujet le comportement du DIAC.

A cet effet, reportons-nous au schéma de la figure 21.

Réglons le potentiel P à sa VALEUR MAXIMALE. La tension appliquée sur le DIAC et lue sur le voltmètre V est très faible ; le courant mesuré par l'ampèremètre A est également très faible et correspond à un très léger courant de fuite.

Manoeuvrons P pour augmenter la valeur de la tension V .

Le courant augmente mais très légèrement, comme on peut le voir figure 22 ($I_{BR} +$), puis brusquement, pour une certaine valeur de tension bien déterminée, le courant augmente de façon intense et la résistance dynamique du DIAC DEVIENT NEGATIVE.



CIRCUIT D'ETUDE DU DIAC

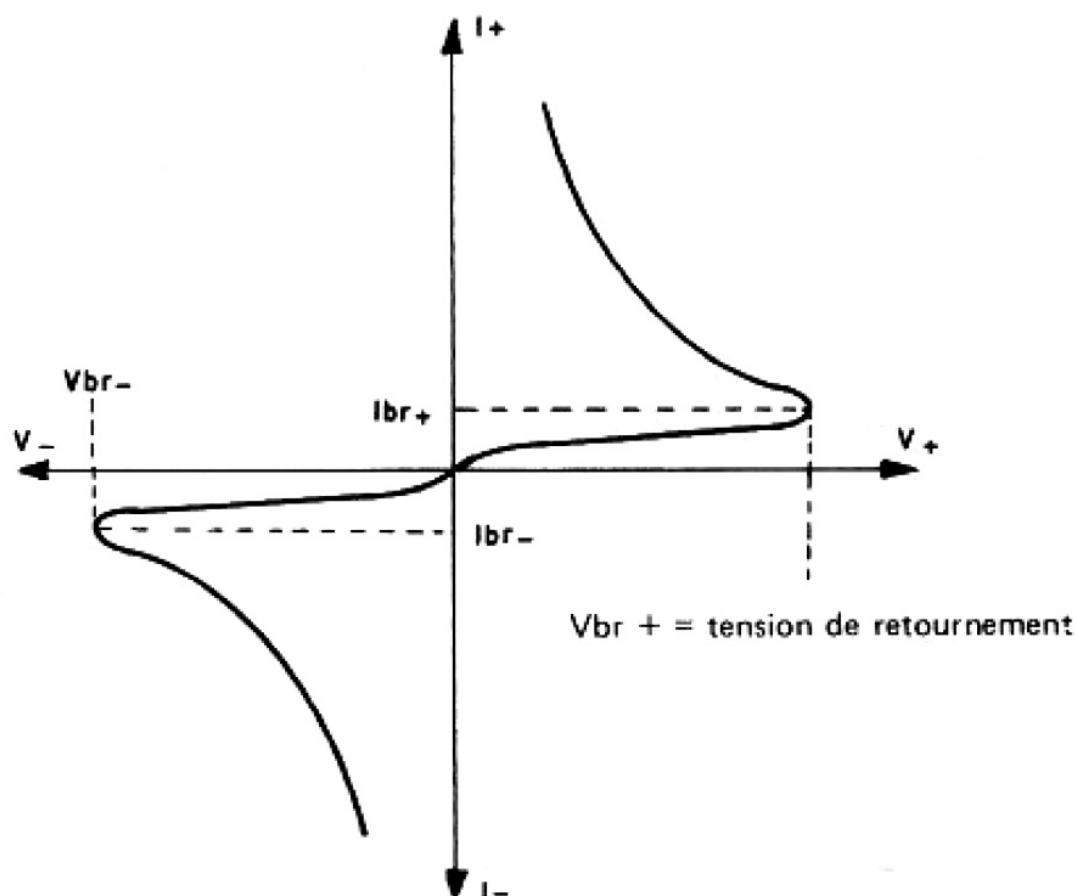
Figure 21

Cela signifie, que cette résistance tout en étant de valeur peu élevée, augmente en fonction du courant.

La figure 22 illustre ce qui vient d'être dit : (partie à droite de l'axe I).

Si maintenant, dans une seconde expérience on inverse la batterie de piles, on constate que le même phénomène se produit, mais de sens opposé.

On obtient ainsi, une courbe pratiquement symétrique, comme on peut le voir figure 22.



COURBE CARACTERISTIQUE DU DIAC

Figure 22

Compte tenu de ce qui vient d'être dit, on peut tirer les deux conclusions suivantes :

1⁰) Le DIAC n'est pas un REDRESSEUR.

2⁰) Il n'est pas possible d'avoir entre ses bornes une tension supérieure à V_{BR+} et V_{BR-} , sans risque de destruction du composant.

IV - 1 - EMPLOI DU DIAC

Le DIAC est utilisé en association avec un TRIAC, pour la commande de ce dernier.

On peut par exemple réaliser un GRADATEUR de LUMIERE. Dans ce type de montage le THYRISTOR convient mal, car étant donné qu'il ne conduit que dans un seul sens, un scintillement de l'ampoule est perceptible, surtout aux faibles intensités lumineuses.

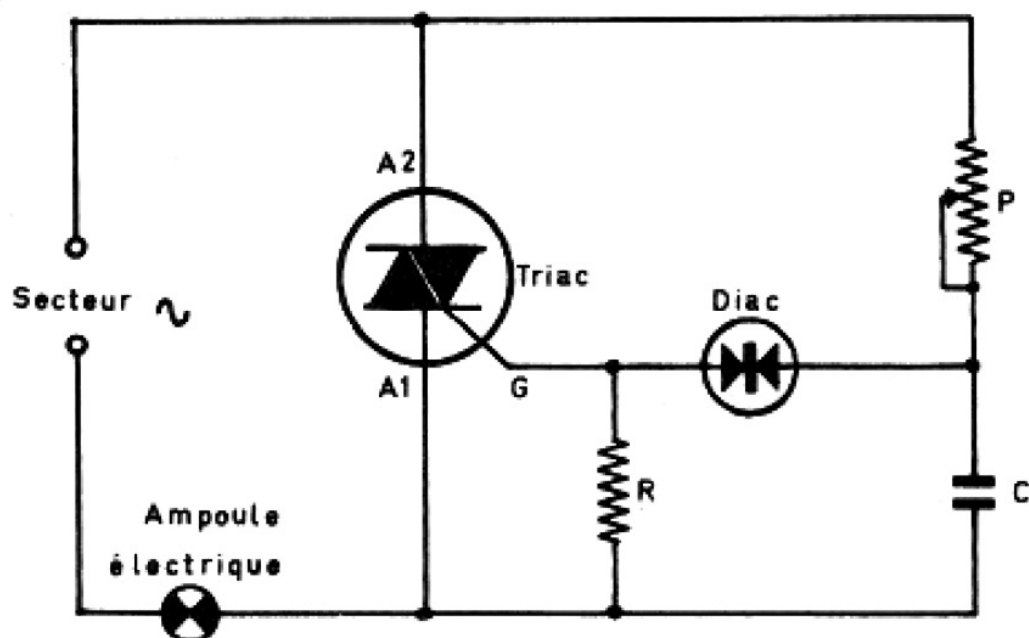
Dans ce cas en effet, le TEMPS DE CONDUCTION par rapport à l'alternance complète est très court.

Ainsi entre chaque période de conduction, le filament de l'ampoule se refroidit et il en résulte une diminution de la lumière émise.

Lorsque le thyristor conduit de nouveau, le filament émet de nouveau une lumière plus intense, à laquelle succède une diminution et ainsi de suite.

Le TRIAC étant CONDUCTEUR dans les deux sens de la tension alternative, évite ce scintillement.

Le montage type d'un GRADATEUR DE LUMIERE est donné figure 23.



GRADATEUR DE LUMIERE

Figure 23

Notez à ce sujet que ce même montage peut, sans aucune modification, servir de **VARIATEUR DE VITESSE**.

Comment fonctionne ce circuit ?

La partie droite du schéma comprend un dispositif de **DEPHASAGE**, constitué par un condensateur C et un potentiomètre P.

Une partie du courant fourni par le secteur passe à travers ces deux éléments.

Ce courant engendre aux bornes de P, une tension qui est en phase avec celui-ci.

Cette tension est donnée par la Loi d'ohm :

$$U_p = R I$$

Aux bornes du condensateur, une tension prend également naissance, mais elle est **DEPHASEE** de $\pi / 2$ (90°) par rapport au courant.

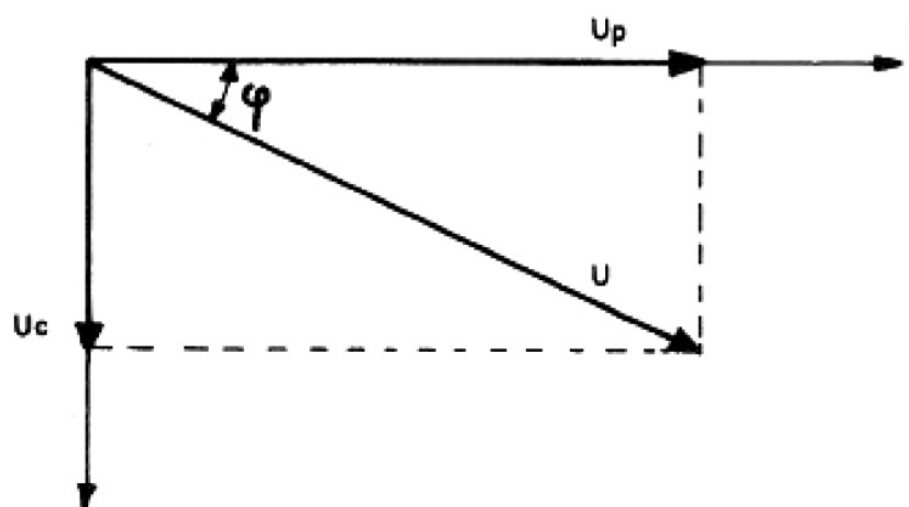
La valeur de cette tension est donnée par la formule :

$$U_c = \frac{1}{C \omega} \cdot I$$

La représentation vectorielle est celle de la figure 24

Le vecteur U, somme géométrique de U_c et de U_p est déphasé par rapport au courant I.

Il est évident que ce déphasage (angle φ), dépend essentiellement des deux vecteurs U_c et U_p , donc de C et de P.



DEPHASAGE DE U_C

Figure 24

Or P est un potentiomètre ; il suffit donc de manoeuvrer le curseur pour modifier le DEPHASAGE de U par rapport à I . Mais U est la tension aux bornes de l'ensemble résistance-capacité, donc la TENSION du secteur.

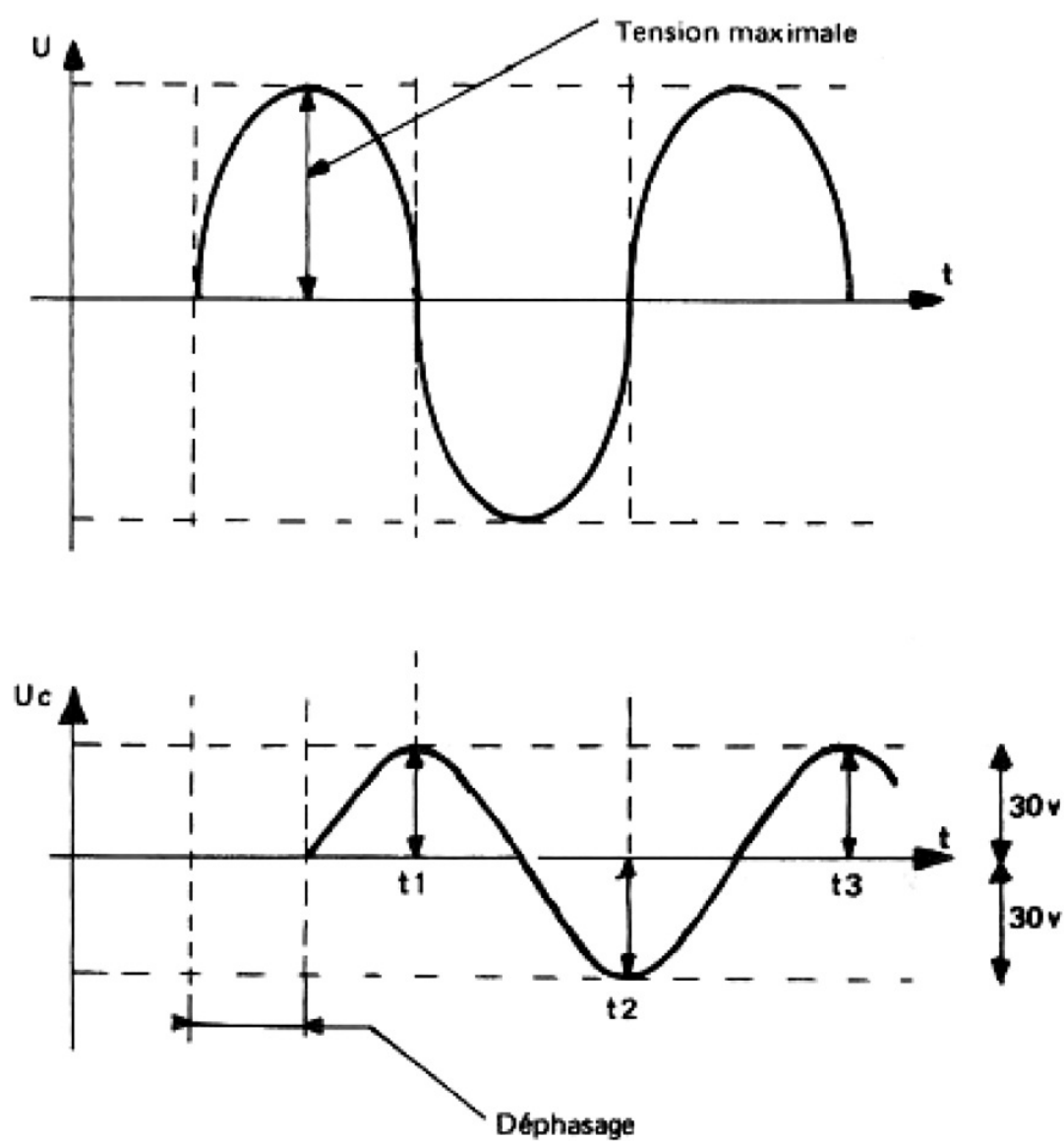
Le DEPHASAGE de U_C par rapport à U , varie donc également en fonction du réglage de P .

En conclusion :

Aux bornes de C on dispose d'une tension dont la phase varie avec la valeur de P .

La figure 25 représente la tension U (immuable) et la tension U_C , dont le déphasage dans le temps varie suivant la valeur de R .

En général, un DIAC se déclenche pour une tension voisine de 30 Volts, ce qui revient à dire que V_{BR} de la figure 22 = 30 Volts.



DEPHASAGE DE U_c PAR RAPPORT AU SECTEUR

Figure 25

Si P et C ont été choisis judicieusement, la valeur maximum de U_c peut être égale à 30 Volts.

Cela signifie que chaque fois qu'il y aura une tension de 30 Volts aux bornes de U_c , ce qui se présente aux temps t_1 , t_2 etc, il y aura déclenchement du DIAC, et par conséquent du TRIAC.

La figure 26 représente la forme de la tension délivrée par le TRIAC, c'est-à-dire le TEMPS DE CONDUCTION de cet élément, en fonction de trois réglages différents de P.

1⁰) L'ampoule électrique est alimentée presque normalement. Le temps de conduction du TRIAC est presque égal à t .
TEMPS DE CONDUCTION LONG (partie hachurée).

2⁰) L'ampoule électrique n'est alimentée que la moitié du temps durant chaque demi-alternance.
TEMPS DE CONDUCTION MOYEN

3⁰) L'ampoule électrique n'est alimentée que pendant une fraction de temps durant chaque demi-alternance.
TEMPS DE CONDUCTION COURT.

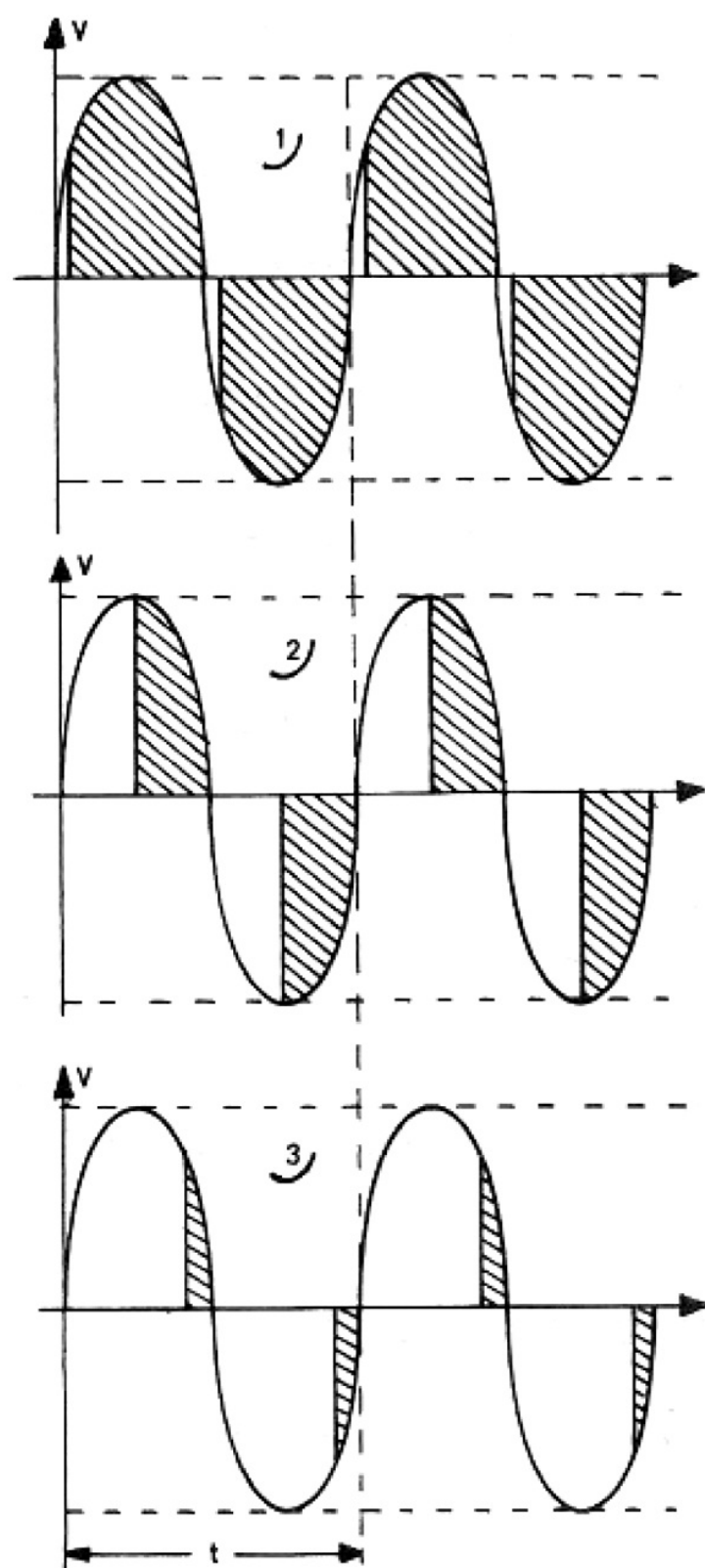
Notez bien que dans les VARIATEURS ou GRADATEURS à THYRISTORS ou à TRIACS, on agit sur le TEMPS DE CONDUCTION et non sur la valeur de la tension.

IV - 2 - AUTRES DISPOSITIFS DE DECLENCHEMENT

Le DIAC n'est pas le seul composant actuellement utilisé pour la commande des TRIACS.

Il faut en effet mentionner :

1⁰) LE COMMUTATEUR UNILATERAL (SUS)

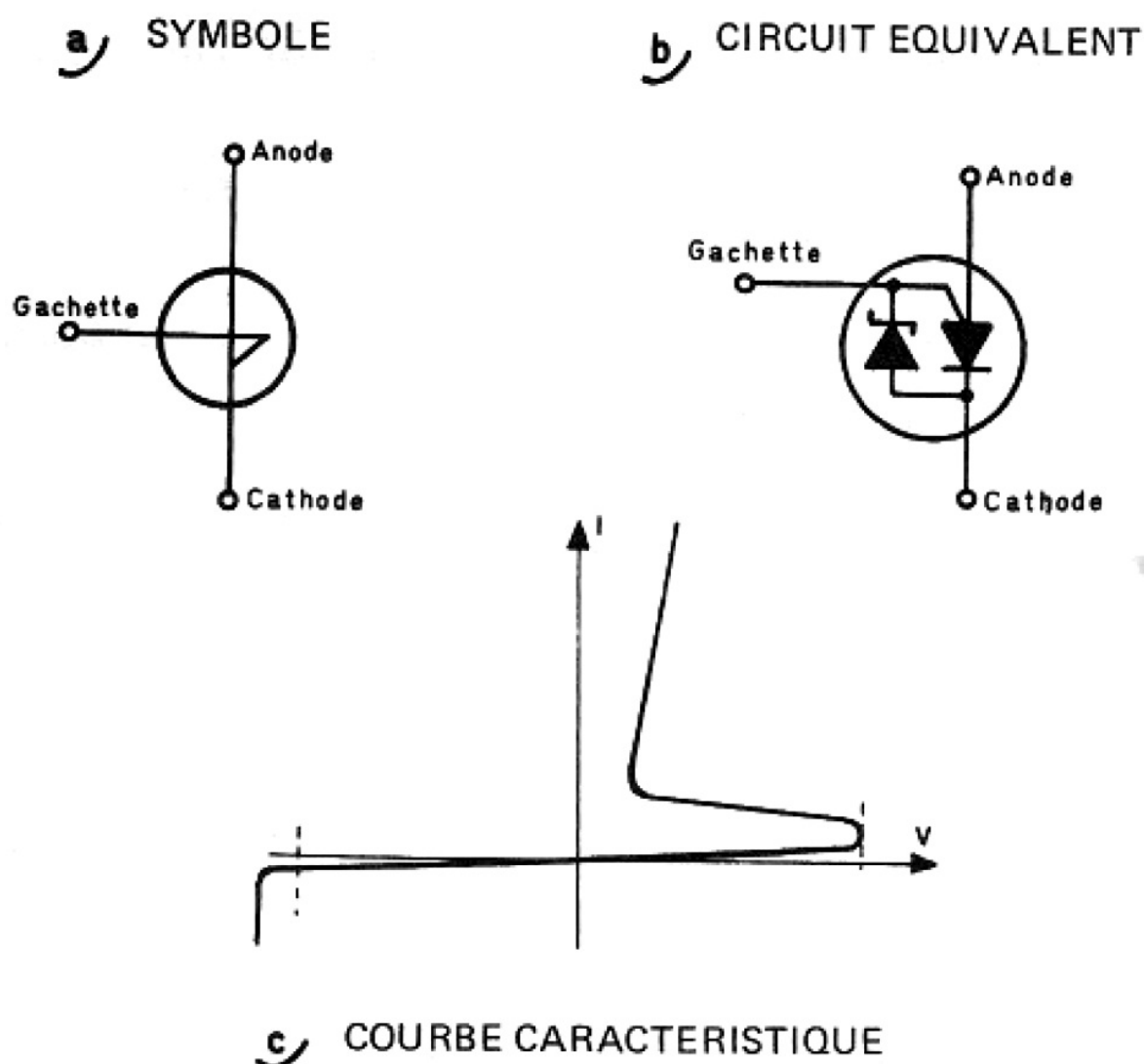


TEMPS DE CONDUCTION DU TRIAC

Figure 26

Ce composant, destiné uniquement au déclenchement des THYRISTORS est constitué par un THYRISTOR miniature et une diode ZENER.

La figure 27 représente le symbole de ce composant, son circuit équivalent et sa courbe caractéristique.



COMMUTATEUR UNILATERAL SUS

Figure 27

On voit qu'approximativement, cet ensemble fonctionne comme un DIAC qui serait UNIDIRECTIONNEL.

Ce commutateur à l'avantage de déclencher à TENSION FIXE, déterminée par la DIODE ZENER.

2⁰) LE COMMUTATEUR BILATERAL (SBS)

Ce composant, dérivé du SUS précédent, est formé par deux commutateurs BILATERAL, monté tête-bêche.

Il fonctionne ainsi dans les deux sens et de ce fait, est surtout utilisé pour la commande des TRIACS.

La figure 28 donne les renseignements essentiels sur cet élément.

3⁰) LA DIODE SHOCKLEY

La diode SHOCKLEY, aussi appelée DIODE A QUATRE COUCHES ou DIODE THYRISTOR est un composant BIPOLAIRE UNIDIRECTIONNEL.

De type PNP, cette diode est comparable à un THYRISTOR qui ne comporterait que l'ANODE et la CATHODE.

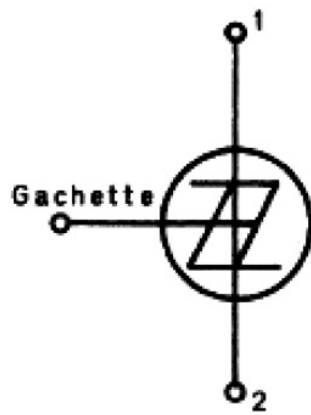
La figure 29 représente la structure, le symbole et la courbe caractéristique de ce composant.

4⁰) LE QUADRAC

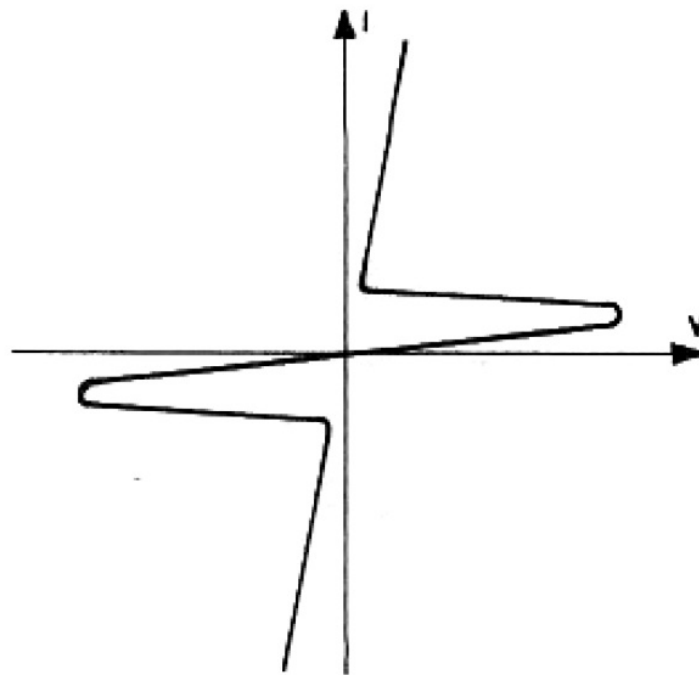
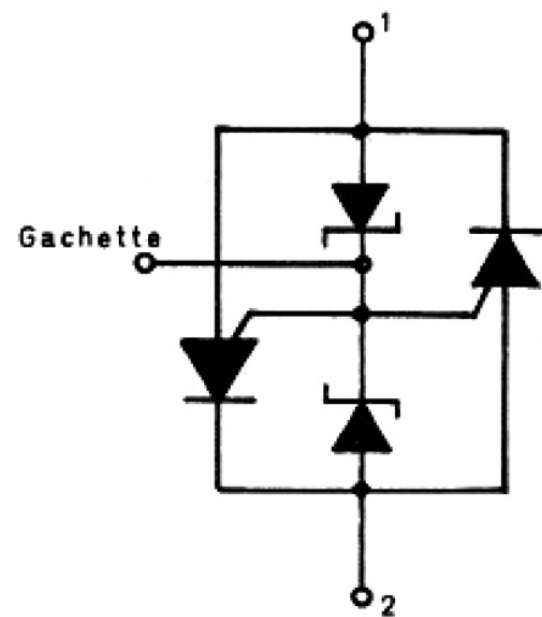
Le QUADRAC n'est pas à proprement parler un dispositif de déclenchement, car il est formé d'un TRIAC, contenant dans le même boîtier un DIAC (figure 30).

Il ne s'agit donc là que d'un élément composé, dont le but est de simplifier les circuits.

a) SYMBOLE



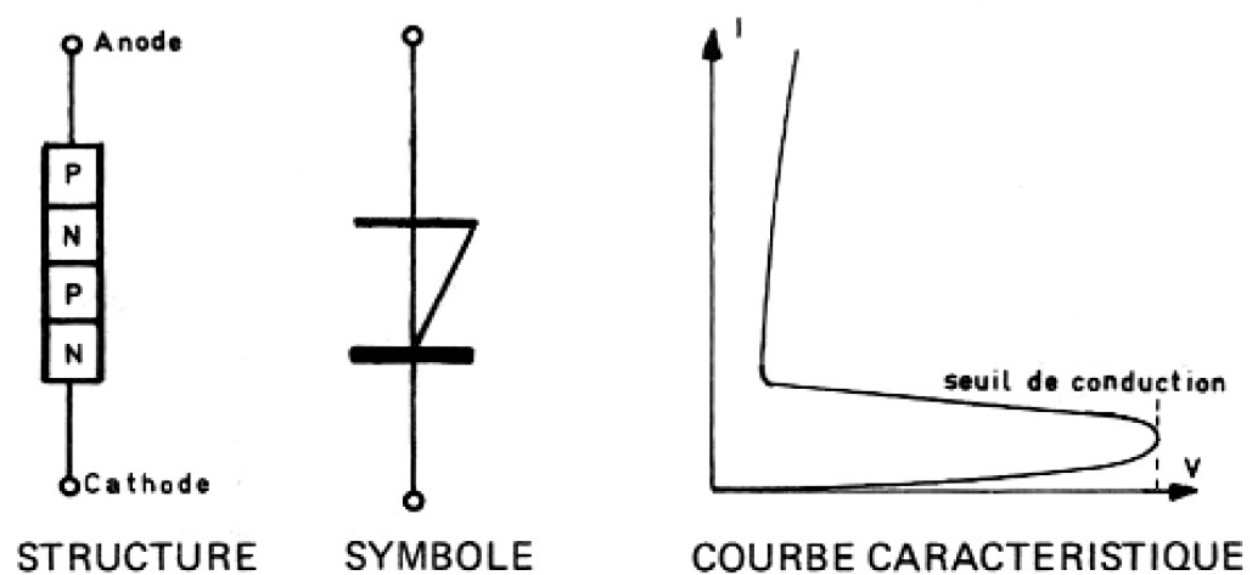
b) CIRCUIT EQUIVALENT



c) COURBE CARACTERISTIQUE

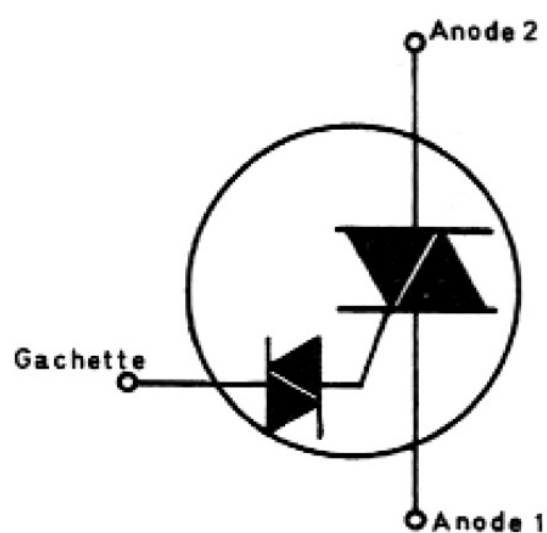
COMMUTATEUR BILATERAL SBS

Figure 28



DIODE SHOCKLEY

Figure 29



QUADRAC

Figure 30

V - LES CIRCUITS INTEGRES

Dans le domaine des semi-conducteurs, il faut inclure les circuits **INTEGRES** ou **MICROCIRCUITS**, bien qu'il ne s'agisse pas seulement de simples composants, mais de circuits complets.

Pour la réalisation de ceux-ci, on a en effet recours à des procédés semblables à ceux utilisés pour la fabrication des transistors.

Les circuits intégrés représentent en fait, une extension de la technique déjà décrite lors de l'étude sur la réalisation des transistors **PLANAR**.

A partir de celle-ci, on peut obtenir non seulement des diodes et des transistors, mais aussi des résistances et des condensateurs.

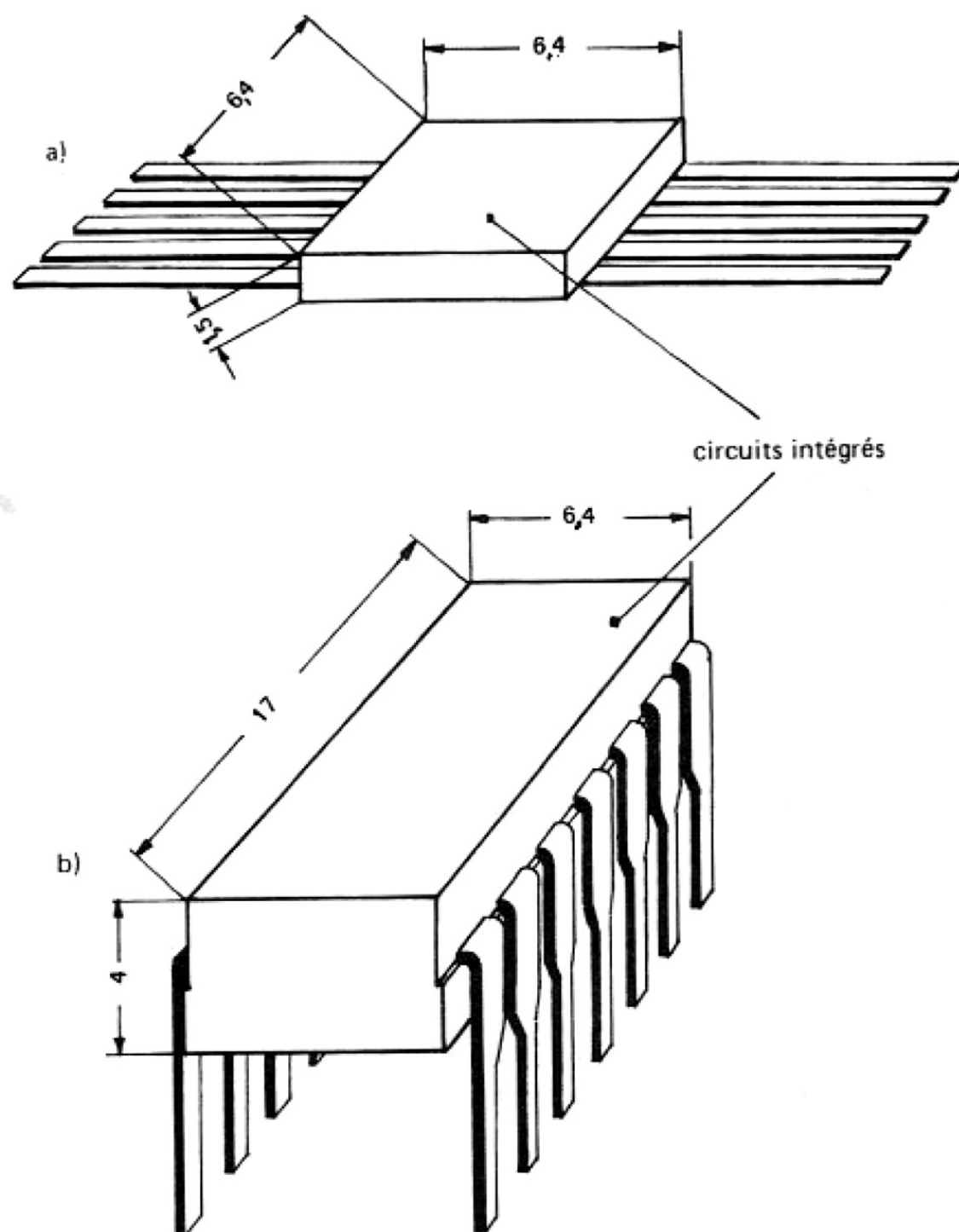
Cet ensemble est présenté sous forme d'un bloc monolithique, constituant un circuit complet.

Un tel bloc est peu volumineux, d'où le nom de **MICROCIRCUIT**, donné au circuit **INTEGRE**.

La figure 31 représente deux réalisations différentes de ce type de circuit.

On peut voir que ceux-ci sont contenus dans un petit boîtier, d'où sortent les liaisons de branchement, correspondant à l'entrée, la sortie et l'alimentation.

En se référant aux dimensions en millimètres, portées sur ces figures, on se rend compte que ces circuits, représentant un **ETAGE COMPLET** (amplificateur par exemple) sont peu encombrants.



EXEMPLES DE CIRCUITS INTEGRES

Figure 31

Par la technique des circuits intégrés, on peut réaliser tous les étages fondamentaux d'électronique, non seulement dans le domaine de l'amplification, mais aussi dans celui des circuits digitaux, comprenant les PORTES, FLIP-FLOP, INVERSEUR, etc...

Ces circuits digitaux sont subdivisés en FAMILLES LOGIQUES et chacune d'elles est repérée au moyen des initiales des mots anglais, indiquant les particularités de construction.

Parmi les plus importantes FAMILLES LOGIQUES, on peut citer les types suivants :

- R.T.L. (Resistor-Transistor-Logic) dont les composants sont des résistances et des transistors (pour COMMUTATIONS LENTES).

- D.T.L. (Diode-Transistor-Logic) dont les composants comprennent en plus des diodes (PEU SENSIBLES AUX BRUITS).

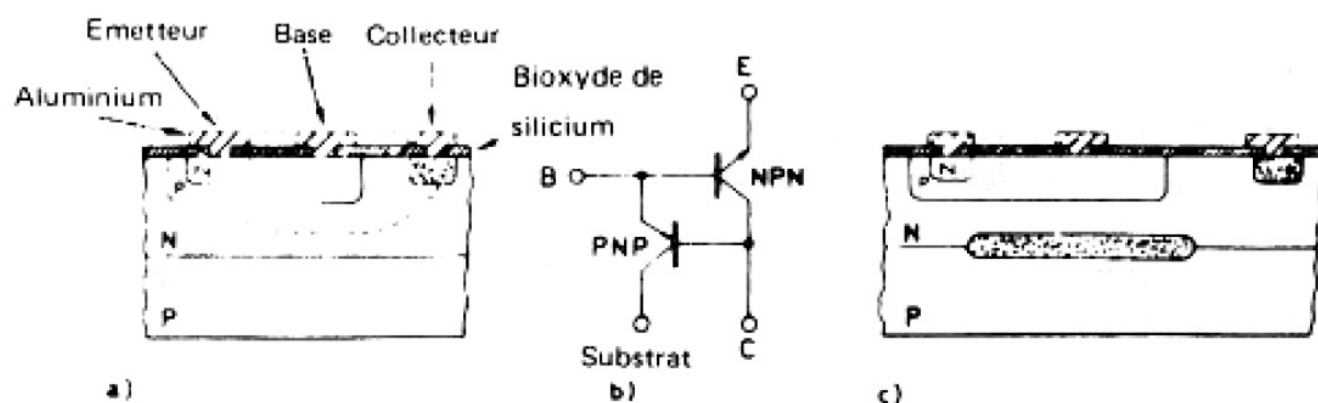
- T.T.L. (Transistor-Transistor-Logic) où l'on utilise des transistors à la place des diodes (COMMUTATIONS ASSEZ RAPIDES ET PEU SENSIBLES AUX BRUITS).

Il est intéressant de connaître les procédés de fabrication des différents composants d'un CIRCUIT INTEGRE.

Le transistor INTEGRE de la figure 32-a est du type PLANAR EPITAXIAL, mais il diffère du transistor normal de ce même type, car il comprend quatre couches au lieu de trois, et par conséquent trois jonctions au lieu de deux.

La quatrième couche est due à la nécessité de réaliser le circuit tout entier sur une barrette de silicium, commune à tous les éléments, appelée SUBSTRAT.

Cette structure à quatre couches, équivaut à l'ensemble des transistors, reliés entre eux comme sur la figure 32-b.



STRUCTURE ET CIRCUIT EQUIVALENT D'UN TRANSISTOR INTEGRE

Figure 32

Le transistor N.P.N. est celui que l'on veut utiliser alors que le transistor P.N.P. est dû à la présence du substrat, constituant son collecteur.

La couche P servant de BASE au transistor N.P.N., constitue également l'EMETTEUR du transistor P.N.P., alors que la couche N servant de COLLECTEUR au transistor N.P.N., sert également de BASE au transistor P.N.P.

Celui-ci assume un rôle différent, selon que le transistor intégré est utilisé pour un CIRCUIT LINEAIRE ou un circuit DIGITAL.

En fait, dans un circuit digital, le courant traversant le transistor N.P.N. peut avoir une intensité capable de réduire considérablement la tension de COLLECTEUR, jusqu'à rendre celle-ci inférieure à celle de base.

Dans ces conditions, sous l'effet des liaisons existant entre les deux transistors (figure 7-b), la BASE du transistor P.N.P. est également soumise à une tension inférieure à celle de l'émetteur de ce même transistor.

Ainsi, la JONCTION EMETTEUR-BASE est polarisée dans le sens direct.

Le substrat constituant le COLLECTEUR du transistor P.N.P., étant relié au point le plus négatif du circuit, celui-ci est parcouru par le courant et dérive une bonne partie du courant de BASE du transistor N.P.N, courant qui devrait normalement servir à la commande de ce transistor.

Pour remédier à cet inconvénient, on réduit le gain de courant du transistor P.N.P en procédant à une diffusion additionnelle d'OR, dont l'effet est une diminution sensible du temps de vie de CHARGES MINORITAIRES.

Ce travail n'est pas nécessaire pour les circuits linéaires, dont les conditions de fonctionnement sont telles que le transistor P.N.P n'est jamais traversé par le courant.

Il faut noter que le transistor intégré, n'est pas très adapté au fonctionnement en INTERRUPTEUR, la résistance en série avec le COLLECTEUR étant assez élevée, en raison de la distance entre le COLLECTEUR et la BASE, comme le montre la ligne en pointillé de la figure 32-a.

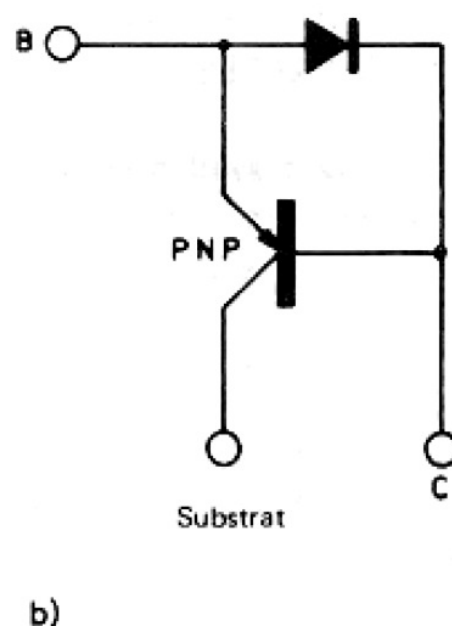
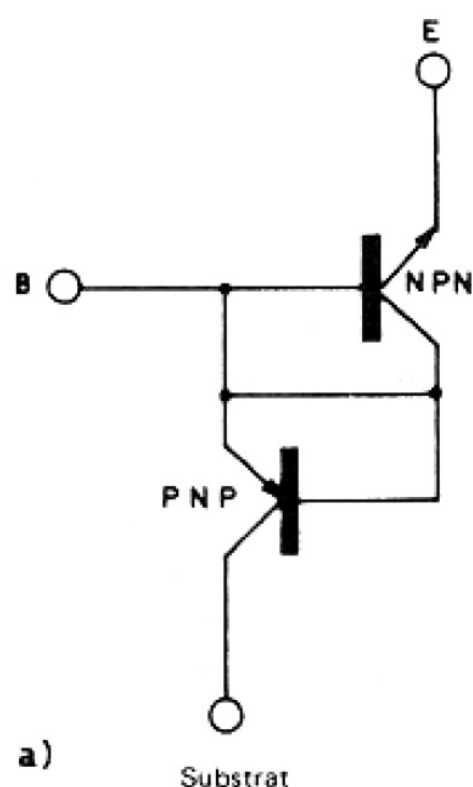
Pour pallier cet autre inconvénient, on adopte le procédé "de la couche ensevelie".

A cet effet, on diffuse de l'arsenic, ce qui permet d'obtenir une zone de moindre résistance entre le collecteur et la base (figure 32-c).

Le transistor intégré pour circuits digitaux est donc plus coûteux qu'un transistor intégré pour circuits linéaires, étant donné la diffusion additionnelle d'or et d'arsenic.

Pour la fabrication des diodes INTEGREES, on utilise la JONCTION EMETTEUR-BASE, ou la JONCTION BASE-COLLECTEUR du transistor P.N.P intégré.

Dans le premier cas le circuit équivalent de la diode est reporté figure 33-a.



CIRCUITS EQUIVALENTS DES DIODES INTEGREES

Figure 33

Pour éliminer le transistor P.N.P, il suffit d'établir un court-circuit entre EMETTEUR et BASE.

En utilisant la jonction BASE-COLLECTEUR, on obtient au contraire le schéma de la figure 33-b. Dans ce cas, pour éliminer le transistor P.N.P, il est nécessaire de recourir à la diffusion additionnelle d'OR, mais on obtient par contre une diode, pouvant supporter une tension inverse supérieure à celle relative à la diode précédente.

Ce fait est dû au dopage différent pour les zones d'EMETTEUR et de COLLECTEUR.

En ce qui concerne la réalisation des CONDENSATEURS, on utilise ces mêmes diodes en les polarisant dans le sens inverse.

Rappelons à ce sujet ce que nous avons dit à propos de la jonction P.N : de chaque côté de celle-ci, il se forme une zone privée de charges mobiles.

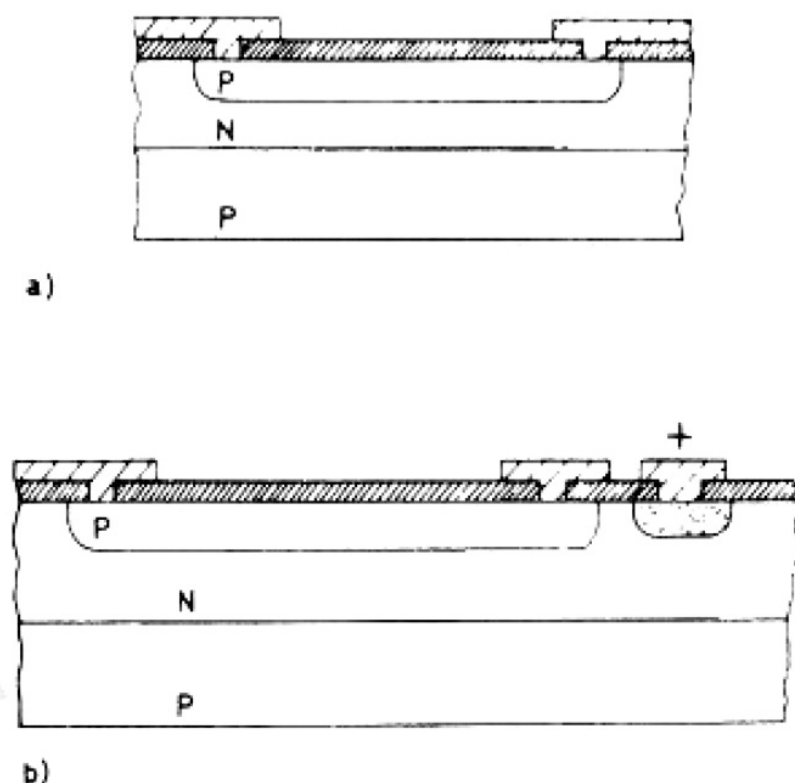
Ainsi, en polarisant la diode dans le sens inverse, cette zone est traversée uniquement par quelques porteurs minoritaires et se comporte donc approximativement comme le diélectrique d'un condensateur.

La figure 34-a montre enfin comment est réalisée une RESISTANCE.

Dans ce but, on emploie comme couche résistive la zone de base, qui est de type P.

Il est évident que de cette manière, le transistor P.N.P subsiste, au travers duquel une partie du courant peut se disperser dans le substrat.

Pour limiter ce courant, il suffit de relier la zone N au point le plus positif du circuit, comme le montre la figure 34-b.



EXEMPLES DE RESISTANCES INTEGREES

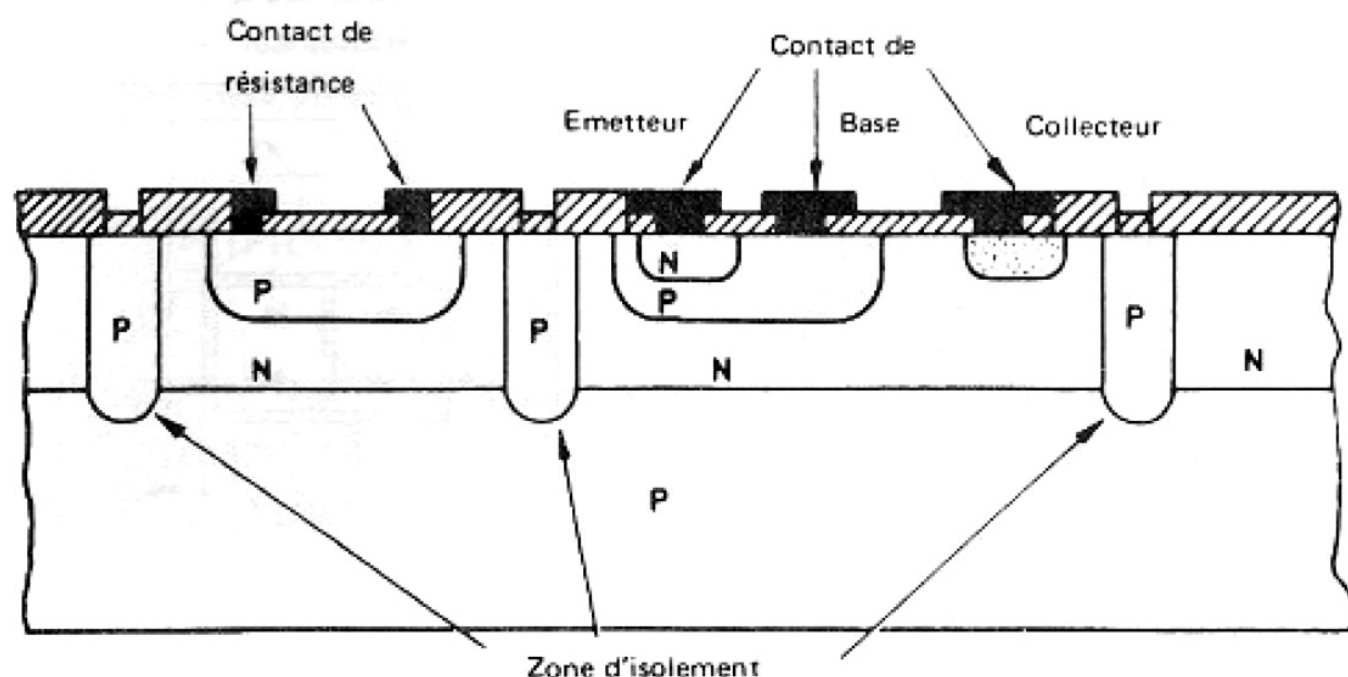
Figure 34

On obtient de cette façon, entre la zone N et le substrat P, relié au point le plus négatif du circuit, une diode polarisée dans le sens inverse, dans laquelle il ne circule qu'un courant très faible.

Tous ces composants doivent être réalisés les uns à côté des autres, sur une seule plaque ; il est donc nécessaire de les séparer au moyen de zones isolées.

Celles-ci sont obtenues en recourant à une diffusion en profondeur, de façon à former une zone P, provoquant une interruption dans la continuité de la couche N, se trouvant sur le substrat (figure 35).

Grâce à ce système, on voit par exemple qu'il est possible de séparer une résistance du type de la figure 34-a, d'un transistor du type de la figure 32-a.



ISOLEMENT RECIPROQUE DES COMPOSANTS INTEGRES

Figure 35

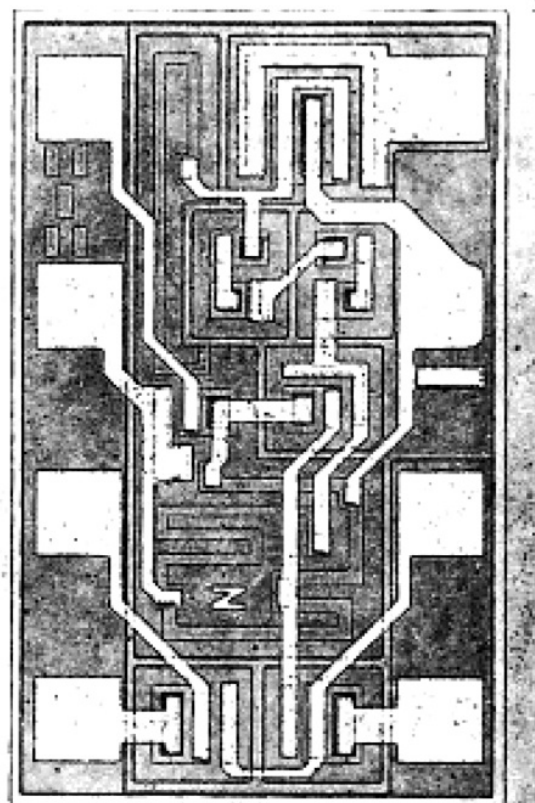
L'isolement est obtenu en reliant les zones de type P au point le plus négatif, de façon à polariser en sens inverse la jonction P.N formée par ces zones et les régions de type P.

Chaque composant est évidemment muni des contacts appropriés, pour le branchement avec les autres éléments du circuit.

Pour les rendre plus apparentes, ces liaisons sont représentées en couleur claire sur la figure 36-a.

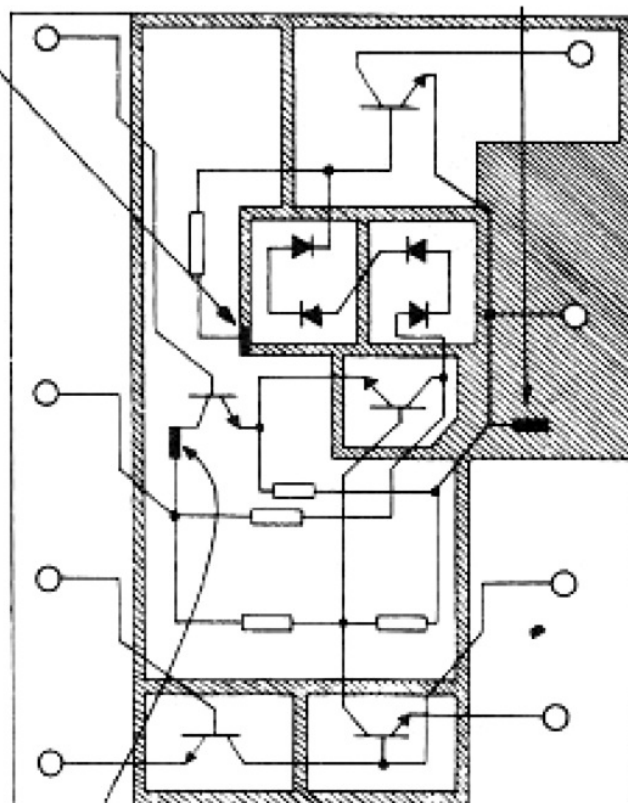
La figure 36-b, illustre le même circuit, sur lequel on a dessiné le symbole graphique des composants.

Métallisation de contact avec
la région d'isolement



a)

Métallisation de contact
avec le substrat



Métallisation de contact
avec la région N

b)

LOCALISATION DES COMPOSANTS D'UN CIRCUIT INTEGRE

Figure 36

Les parties hachurées mettent en évidence les zones d'isolement, délimitant sur le circuit les groupes de composants, appelés ILES.

Chaque ILE comprend un ou plusieurs composants.

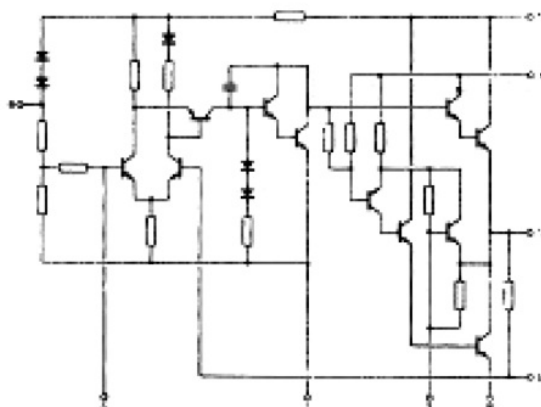
Comme on peut le constater, en se reportant à la figure 31 donnant des dimensions et à la figure 36-b, où il est possible de compter les éléments, les circuits intégrés permettent de concevoir des montages complexes, sous un volume extrêmement réduit.

V - 1 - AMPLIFICATEUR A CIRCUIT INTEGRE

Depuis quelques années, la réalisation de montage complet en CIRCUIT INTEGRE est devenue courante et de nombreux modèles sont proposés dans le commerce.

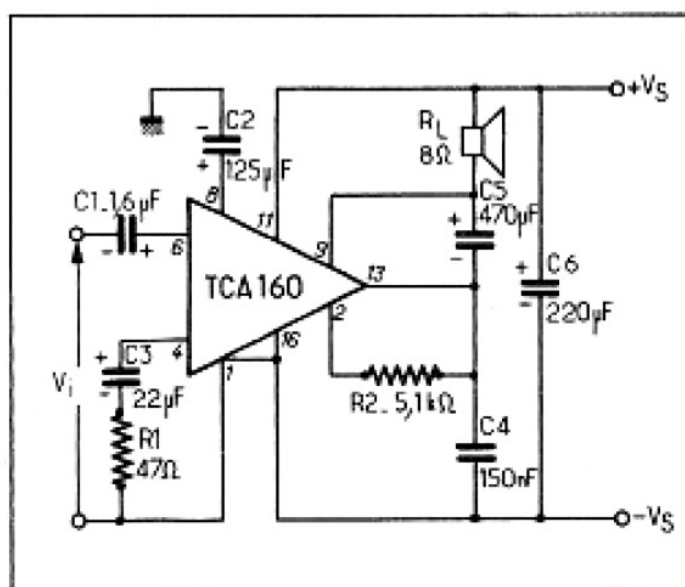
A titre d'exemple nous donnons le montage du CIRCUIT INTEGRE TCA 160, constituant un amplificateur audiofréquence de 2 Watts.

Le circuit électrique est reporté figure 37 et le schéma d'utilisation figure 38.



SCHEMA ELECTRIQUE DU CIRCUIT INTEGRE

Figure 37



CIRCUIT D'UTILISATION DU CIRCUIT INTEGRE

Figure 38

Les caractéristiques de ce circuit à la TEMPERATURE AMBIANTE DE 25° C, sont les suivantes :

TENSION ALIMENTATION	5 à 16 V
Courant de repos	5 à 15 mA
IMPEDANCE D'ENTREE	15 kΩ
IMPEDANCE DE SORTIE	4 à 8 Ω
Sensibilité (pour distorsion totale = 10%)	10 mV
Bande passante	50 Hz à 20.000 Hz
GAIN EN TENSION	50

Notez le symbole du CIRCUIT INTEGRE (un triangle avec la pointe dirigée vers la sortie), désignant ici un AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL.

L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL est caractérisé par une FORTE AMPLIFICATION et une très GRANDE STABILITE.

SANS CIRCUIT D'ENTREE ET DE REACTION, un tel montage a les caractéristiques suivantes :

GAIN	infini (théoriquement)
Z entrée	infinie
Z sortie	nulle
Temps de réponse	nul

En pratique, il n'est évidemment pas possible d'obtenir ces caractéristiques et il convient de considérer l'amplificateur opérationnel avec ses **RESEAUX D'ENTREE, DE REACTION ET DE SORTIE** (éléments extérieurs au circuit intégré de la figure 38).

Il ne s'agit là que d'un exemple parmi beaucoup d'autres, car les **CIRCUITS INTEGRES** sont fabriqués pour de nombreuses applications, en **RADIO**, en **TELEVISION** et en **ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE**.

Pour mesurer les progrès réalisés en **ELECTRONIQUE**, il suffit simplement de considérer qu'un montage identique à tubes électroniques (six tubes environ) nécessiterait un châssis volumineux et un transformateur d'alimentation lourd et encombrant, et qu'un montage identique à transistors nécessiterait dix transistors et cinq diodes, plus évidemment les autres composants (résistances et condensateurs).

Réalisé en **CIRCUIT INTEGRE**, on obtient le montage dans un petit bloc de 20 cm de long, 0,5 cm de large et 4 mm environ d'épaisseur.



NOTIONS A RETENIR

- Le THYRISTOR est une DIODE de TYPE PARTICULIER, possédant une ELECTRODE DE COMMANDE : LA GACHETTE.
- Lorsque la TENSION D'ANODE DU THYRISTOR EST POSITIVE, la GACHETTE peut provoquer l'AMORCAGE si on lui applique une IMPULSION POSITIVE.
- Lorsque le THYRISTOR EST AMORCE, la GACHETTE n'a plus aucune influence sur celui-ci.

Pour remettre le THYRISTOR à l'INTERDICTION, il faut porter l'ANODE à un POTENTIEL NEGATIF.

Lorsque le THYRISTOR est branché sur le secteur alternatif, cette condition se produit à chaque demi-alternance (demi-alternance négative).

Inversement à chaque demi-alternance positive, la GACHETTE est en mesure de provoquer l'amorçage.

- Dans un montage GRADATEUR quelconque utilisant un THYRISTOR, on ne modifie pratiquement pas la valeur de la tension appliquée à la charge : ON AGIT UNIQUEMENT SUR LE TEMPS DE CONDUCTION.
- Par le fait même que le THYRISTOR ne peut conduire que pendant l'alternance positive de la tension alternative, il ne convient pas pour tous les montages : il ne peut en effet au maximum, que conduire une demi-période par période.

Dans un montage GRADATEUR DE LUMIERE, ce mode de conduction ne convient pas, car il provoque un scintillement de l'ampoule électrique.

- Le TRIAC est un composant à SEMI-CONDUCTEUR, susceptible de conduire dans ses deux sens de POLARISATION : c'est un élément BIDIRECTIONNEL.

On peut le comparer à deux thyristors montés en ANTI-PARALLELE, c'est-à-dire en PARALLELE mais tête-bêche.

- Comme le thyristor, le TRIAC peut passer de l'état bloqué à l'état de conduction, si l'on applique une impulsion de commande sur la GACHETTE.

Cependant, son amorçage peut s'effectuer dans plusieurs conditions de POLARISATION.

En effet, on peut avoir : L'ANODE 2 POSITIVE. Une impulsion POSITIVE sur la GACHETTE provoque l'amorçage.

- L'ANODE 2 POSITIVE. Une impulsion NEGATIVE sur la GACHETTE provoque également l'AMORCAGE.
- L'ANODE 2 NEGATIVE. Une impulsion NEGATIVE sur la GACHETTE provoque l'amorçage.
- L'ANODE 2 NEGATIVE. Une impulsion POSITIVE sur la GACHETTE provoque également l'amorçage.

Toutefois il existe deux sens préférentiels d'amorçage : ANODE 2 POSITIVE — IMPULSION POSITIVE SUR LA GACHETTE
ANODE 2 NEGATIVE — IMPULSION NEGATIVE SUR LA GACHETTE

- Lorsque le courant dans le TRIAC est établi (dans un sens ou dans l'autre) la gachette n'a plus d'influence. Pour remettre le TRIAC à l'INTERDICTION, il faut réduire le courant à une valeur proche de zéro.

- Cette condition se produit évidemment à chaque demi-alternance de la tension secteur, c'est-à-dire lorsqu'après avoir atteint un MAXIMUM POSITIF, la tension alternative revient vers zéro, pour descendre vers un maximum négatif.
- L'INTENSITE MINIMALE pour laquelle le TRIAC reste conducteur est appelée : INTENSITE MINIMALE DE MAINTIEN (symbole IM).
- LA TENSION DE RETOURNEMENT (V_{BO}), désigne la tension maximum que peut supporter le TRIAC, tout en restant A L'ETAT BLOQUE. Au-delà de la valeur de cette tension, le TRIAC s'amorce tout seul (sans impulsion de commande sur la GACHETTE).
- Le DIAC est un élément BIDIRECTIONNEL, devenant CONDUCTEUR lorsque la tension qui lui est appliquée, dépasse un certain SEUIL.
- Le DIAC sert essentiellement de dispositif de commande pour l'amorçage du TRIAC.
- Parmi les dispositifs de commande pour le DECLENCHEMENT DES THYRISTORS et des TRIACS, il faut citer en plus du DIAC :
 - LE COMMUTATEUR UNILATERAL SUS
 - LE COMMUTATEUR BILATERAL SBS
 - LA DIODE SHOCKLEY
- Dans le domaine des SEMI-CONDUCTEURS, il faut inclure les CIRCUITS INTEGRES.

Il s'agit d'éléments MONOLYTIQUES, constituant sous un volume très faible, un circuit complet.

Par exemple, un CIRCUIT INTEGRE de 17 mm de long, 6,4 mm de large, 4 mm d'épaisseur, peut contenir un AMPLIFICATEUR BF complet, un OSCILLATEUR ou une alimentation continue stabilisée, etc ...

- Le symbole d'un amplificateur à circuit intégré, est un TRIANGLE, dont la pointe est dirigée vers la sortie du signal.

Plus exactement ce symbole représente un AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL.

Selon le CIRCUIT EXTERIEUR, l'amplificateur opérationnel peut fonctionner en amplificateur BF ou en OSCILLATEUR par exemple.



REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA LECON

SEMI-CONDUCTEURS 12

- 1) **UN CIRCUIT DE REACTION** est un montage, dont le rôle est de réinjecter sur l'entrée, une partie du signal de sortie. La phase du signal réinjecté doit être telle, qu'elle produise une augmentation de l'amplification.

Dans le cas d'un oscillateur, le circuit de réaction a pour rôle d'assurer l'entretien des oscillations.

- 2) Pour qu'un montage fonctionne en amplificateur, il faut respecter deux conditions :
 - a) réinjecter le signal de sortie sur l'entrée, **AVEC LA PHASE APPROPRIÉE** (condition de phase)
 - b) respecter une valeur minimum du signal réinjecté (condition d'accrochage).
- 3) L'oscillateur LC en **BASE COMMUNE** a sur le même oscillateur monté en **EMETTEUR COMMUN**, l'avantage de pouvoir fonctionner à des fréquences plus élevées.
- 4) La différence essentielle entre un oscillateur **HARTLEY** et un oscillateur **COLPITTS** réside dans la réalisation pratique de la prise intermédiaire de L. Dans le montage **HARTLEY**, il s'agit d'une prise dans l'enroulement même, dans le montage **COLPITTS** cette prise est réalisée par l'intermédiaire de deux condensateurs.

- 5) Un oscillateur RC à déphasage ne peut pas être réalisé en BASE COMMUNE, car pour l'entretien des oscillations le courant de sortie doit être supérieur au courant de commande. Or dans le montage BASE COMMUNE, le courant de sortie est toujours inférieur au courant de commande.



EXERCICE DE REVISION SUR LA LECON

SEMI-CONDUCTEURS 13

- 1) Quelle est la différence essentielle entre un THYRISTOR et un TRIAC ?
- 2) Quelle est l'action de la GACHETTE sur un THYRISTOR ?
- 3) Que signifient les termes " TENSION DE RETOURNEMENT " ?
- 4) Quel est le sens préférentiel de déclenchement d'un TRIAC (polarité de A2 et de VG) ?
- 5) Quelle est l'influence de la tension sur un DIAC ?
- 6) Qu'est-ce qu'une diode SHOCKLEY ?
- 7) Qu'est-ce qu'un QUADRAC ?
- 8) Quelle est la différence entre un COMMUTATEUR SUS et un COMMUTATEUR SBS ?



REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA
LECON SEMI-CONDUCTEURS 13

- 1) Un THYRISTOR est un composant UNIDIRECTIONNEL et un TRIAC un COMPOSANT BIDIRECTIONNEL.
- 2) La GACHETTE permet d'amorcer le THYRISTOR mais ne permet pas de le remettre en état de non-conduction.
- 3) La " tension de retournement " désigne la valeur de la tension pour laquelle, un THYRISTOR, un TRIAC, un DIAC, s'amorcent, quelle que soit par ailleurs la tension sur l'électrode de commande (si elle existe).
- 4) Pour un TRIAC le sens préférentiel d'amorçage est $A2 + VG +$ ou $A2 - VG -$.
- 5) Sur un DIAC, la tension a l'influence suivante : lorsque la tension croît, il arrive un moment où la résistance dynamique du DIAC s'inverse et tombe à une valeur faible.
- 6) Une diode SHOCKLEY est une diode particulière du type PNPN, présentant une courbe caractéristique de même allure que celle d'un thyristor.
- 7) Un QUADRAC est un DIAC et un TRIAC dans le même boîtier.
- 8) Le COMMUTATEUR SUS est un composant UNIDIRECTIONNEL et le COMMUTATEUR SBS un composant BIDIRECTIONNEL.

