

Initiation à la pratique de l'électronique

LA DIODE

et ses caractéristiques

DANS les deux précédents articles consacrés aux principes de base des circuits, nous avons parlé d'électricité. Aujourd'hui, nous abordons l'électronique.

En électricité, bien qu'il s'agisse d'électrons en mouvement, il n'est pas nécessaire de « rentrer » à l'intérieur des composants pour comprendre leur comportement dans un circuit.

En électronique, il y a nécessité de parler d'électrons pour comprendre les phénomènes.

Nous aborderons donc le sujet avec les semiconducteurs et la diode semiconductrice, le plus simple des composants électroniques, puisque n'ayant que deux électrodes. La caractéristique principale de la diode est de ne laisser passer le courant que dans un seul sens, aussi étudierons-nous sa caractéristique courant-tension non linéaire, que nous comparerons à celles – linéaires – des résistances usuelles.

Le mois prochain, nous continuerons cette étude de la diode en proposant de nombreux schémas à réaliser soi-même.

Plusieurs possibilités nous sont offertes. D'abord la mesure à l'ohmmètre. C'est la façon la plus rapide pour celui qui sait se servir de cet appareil. L'ohmmètre ne donne pas une grande précision mais, dans la plupart des cas qui se présentent en électronique, on n'a pas besoin de connaître la valeur d'une résistance à 1 % près.

Sinon l'appareil vraiment précis est le pont de Wheatstone qui effectue une mesure comparative avec une résistance de valeur bien précise et connue.

Une autre technique consiste à alimenter la résistance par une tension et à mesurer avec un ampèremètre le courant I la traversant. Un voltmètre est branché à ses bornes pour savoir quelle est la tension V .

Ensuite, la valeur de la résistance est calculée par la loi d'Ohm (fig. 1).

Une remarque importante est à faire, elle concerne la résistance interne des appareils de mesure. On évitera d'utiliser de vieux appareils, inadaptés, qui étaient destinés par exemple au contrôle de la tension des accumulateurs... Ces appareils consomment de l'énergie, ce qui fausse les mesures. D'autre part, les multimètres modernes sont d'un prix abordable.

Il faut en effet remarquer, en regardant le schéma, que si le voltmètre possède une résistance interne pas assez élevée par rapport à la résistance R à mesurer, il consommera un courant non négligeable, et la mesure du courant par l'ampèremètre sera faussée.

Il va de soi que si l'on ne possède pas de voltmètre, ni d'ampèremètre, un multimètre fera l'affaire en le branchant d'abord à la place de

Comment mesurer une résistance

Dans le numéro 1684 du Haut-Parleur, nous vous avons donné le code des

couleurs pour reconnaître la valeur des résistances. Si jamais les anneaux de couleur sont effacés, comment savoir quelle est la valeur de la résistance ?

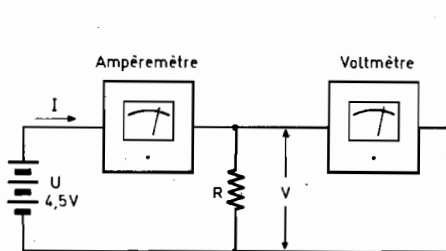


Fig. 1. – Mesure de la résistance R à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre. La résistance interne du voltmètre doit être très élevée par rapport à la valeur de R .

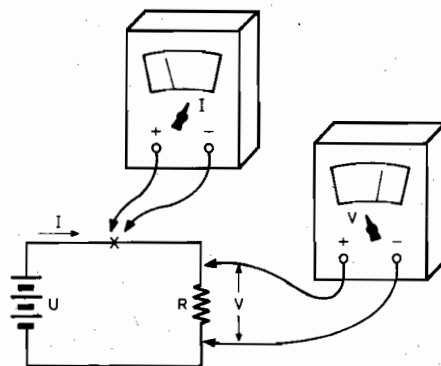


Fig. 2. – Un multimètre mesure successivement le courant I et la tension V .

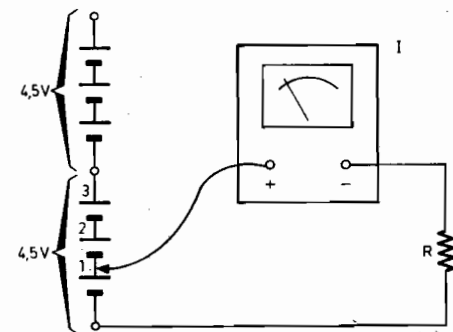


Fig. 3. – Mesure de la caractéristique I/V de la résistance R .

l'ampèremètre, puis à la place du voltmètre (fig. 2).

Comme application, mesurons la valeur d'une résistance de 1 200 Ω (1/4 de watt). Cette mesure s'effectue donc en deux fois. D'abord le multimètre est branché en mesureur d'intensité (sensibilité : 10 mA continu). On a ainsi la certitude de ne mesurer que le courant traversant R. Puis le multimètre est commuté sur la position : 10 V continu, et branché aux bornes de R.

La valeur de la résistance est égale au quotient V/I. Il est évident que la valeur calculée est légèrement différente de 1 200 Ω parce qu'une résistance possède toujours une tolérance de 5, 10 ou 20 % et qu'il serait bien rare de tomber exactement sur la valeur nominale de 1 200 Ω. D'autre part, les erreurs de mesure, si petites qu'elles soient, diminuent la précision.

Une autre manipulation intéressante est la suivante. Elle nécessite deux piles de 4,5 V connectées en série, et un multimètre commuté sur la position « mA continu » (fig. 3). Il s'agit encore de la

mesure de la résistance R. On commence par mesurer le courant, le fil de branchement étant connecté en 1, puis en 2, ... de telle sorte que, si la pile est neuve, la tension est successivement : 1,5 V, 3 V, 4,5 V, 6 V...

Pour chacune de ces tensions, on obtient un courant qui est :

$$\frac{1,5 \text{ V}}{1,2 \text{ k}\Omega} = 1,25 \text{ mA}$$

pour le branchement en 1, puis 2,5 mA pour le branchement en 2, ... Nous pouvons porter ces valeurs sur une feuille de papier quadrillé.

Nous obtenons ainsi plusieurs points (1, 2, 3, ...) représentatifs de la résistance donnée. En joignant ensemble ces points, on obtient une droite. On dit que la courbe caractéristique est « linéaire » (fig. 4).

On aurait pu également, pour avoir davantage de points, utiliser un potentiomètre (fig. 5). En mettant plusieurs piles en série, on pourrait aussi prolonger la courbe. Mais il existe une limite à ne pas dépasser, car, lorsque nous avons choisi la résistance, nous avons pré-

cisé « 1/4 de watt » ; ceci veut dire que la résistance ne doit pas dissiper plus que 0,25 W, sinon il y a un fort risque de détérioration. Pour connaître les limites de courant et de tension à ne pas dépasser, pour une valeur donnée de résistance, il suffit d'appliquer une des formules de la puissance données le mois dernier.

Nous utiliserons : $P = UI$. Nous connaissons la puissance à ne pas dépasser ($P_{\text{max}} = 0,25 \text{ W}$) et, pour chaque valeur de U (1,5 V, 3 V, 4,5 V, ...), nous avons la valeur du courant limite I_{max} . La formule $P = UI$ se met donc sous la forme :

$$I_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{U}$$

Pour U = 1,5 V,

$$P_{\text{max}} = 0,25 \text{ W}$$

$$P_{\text{max}} = \frac{0,25 \text{ W}}{1,5 \text{ V}}$$

$$= 0,166 \text{ A ou } 166 \text{ mA,}$$

Pour U = 3 V,

$$I_{\text{max}} \text{ est égal à } 83 \text{ mA,}$$

Pour U = 9 V,

$$I_{\text{max}} = 27,7 \text{ mA.}$$

Nous voyons que les valeurs de courant de la mesure

de tout à l'heure sont vraiment très au-dessous de ces valeurs limites.

Pour votre information, nous avons tracé la courbe caractéristique pour trois valeurs de résistance (470 Ω, 1,2 kΩ et 3,3 kΩ) avec des valeurs plus élevées de tension afin de faire apparaître les valeurs de courant et de tension à ne pas dépasser, ceci pour une puissance max. de 0,25 W.

La courbe de dissipation maximale « 0,25 W » a été dessinée en reliant les différents points à I_{max} dont nous avons parlé précédemment.

Que signifie encore cette courbe en ce qui concerne la résistance de 1 200 Ω ? Si la dissipation maximale de cette dernière est de 0,25 W, la tension à ses bornes ne doit pas excéder 17,3 V et le courant la traversant doit être inférieur à 14,4 mA.

La dissipation d'une résistance est fonction de ses dimensions géométriques. Plus celles-ci sont petites, plus sa surface est faible, et moins vite se fait le transfert de chaleur vers l'air ambiant.

Que se passe-t-il lorsqu'on inverse la pile du schéma de

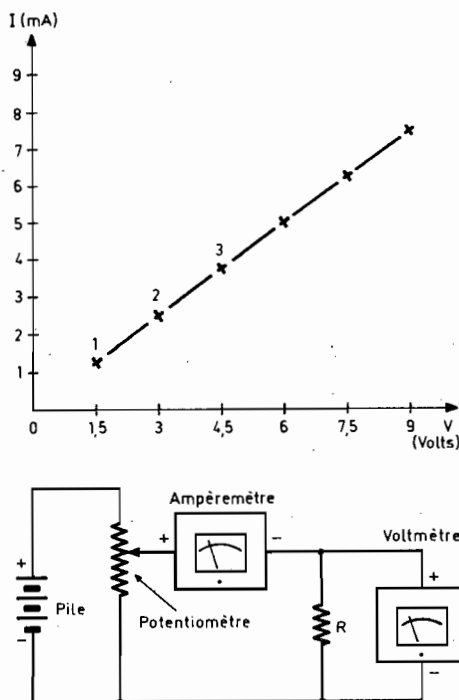


Fig. 4. - Courbe caractéristique linéaire d'une résistance.

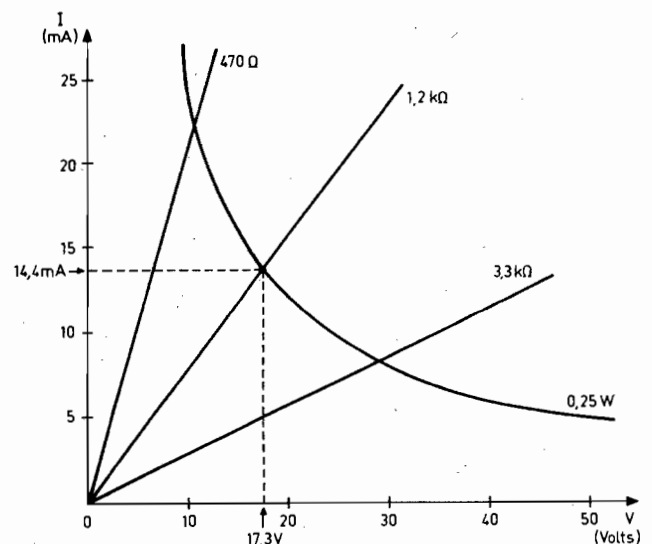


Fig. 5. - Autre circuit pour mesurer la caractéristique courant/tension d'une résistance.

Fig. 6. - Relevé de la caractéristique I/V des trois résistances. L'hyperbole « 0,25 W » indique les valeurs à ne pas dépasser.

la figure 5 ? Le courant s'inverse dans la résistance et, de même, il y a inversion de la tension aux bornes de celle-ci. La courbe représentative est donnée sur la figure 7.

Pour terminer, signalons un point important. Plus la résistance est élevée, plus sa caractéristique I/U se rapproche de l'horizontale (voir figure 6).

Diode semiconductrice

Une des prochaines manipulations consistera à remplacer la résistance (composant à caractéristique linéaire) par une diode semiconductrice (dont la caractéristique est non linéaire).

Mais tout d'abord, qu'est-ce qu'une diode et que signifie « semiconductrice » ? Jusqu'ici nous avons parlé de résistances connectées entre elles par des fils métalliques conducteurs entourés d'un isolant. Un semiconducteur est un corps métallique (ou métalloïde) qui n'est ni franchement conducteur ni vraiment isolant. Les semiconducteurs les plus courants sont le germanium, le silicium et le sélénium.

Lorsqu'il est pur, un semiconducteur peut être considéré comme isolant. Mais si on lui injecte des impuretés en quantité infime, autrement dit quelques atomes d'un corps étranger (1 atome d'impureté pour environ 100 millions d'atomes semiconducteurs), sa résistivité diminue, et le bloc de semiconducteurs laisse passer un faible courant.

Revenons sur ces impuretés qui peuvent être de l'antimoine, de l'arsenic, de l'indium ou du gallium. Si l'atome de ce corps étranger possède plus d'électrons que le semiconducteur considéré (c'est le cas de l'antimoine et de l'arsenic), il y a dans ce bloc des électrons excédentaires (particules négatives) qui serviront à la conduction du courant. Ce bloc devient alors de type N.

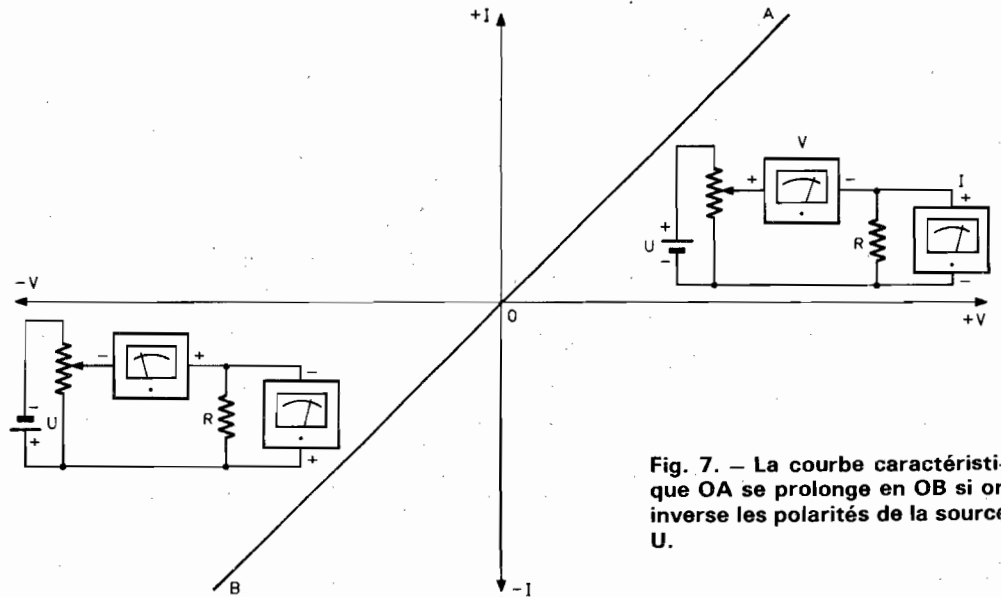


Fig. 7. — La courbe caractéristique OA se prolonge en OB si on inverse les polarités de la source U.

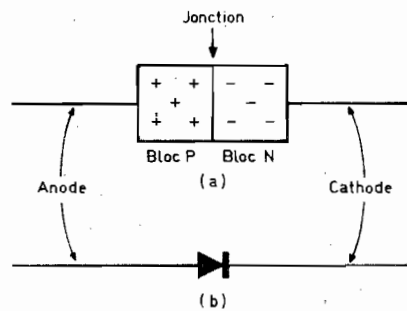


Fig. 8. — Une diode semiconductrice de type jonction se compose de deux blocs semiconducteurs dopés différemment (a). Sa représentation symbolique est donnée en (b).

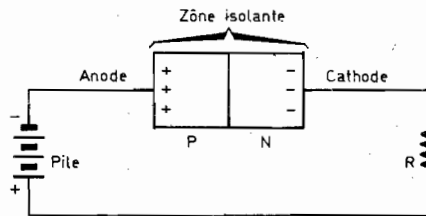


Fig. 10. — L'anode étant négative par rapport à la cathode, la diode est équivalente à un circuit ouvert.

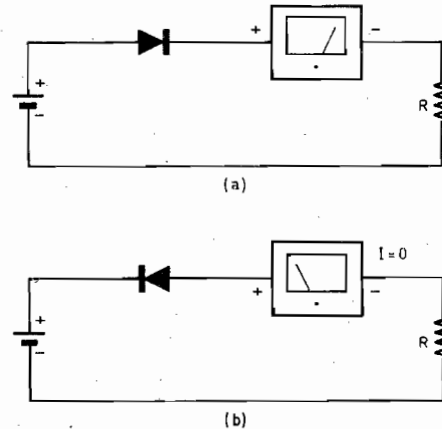


Fig. 12. — L'ampèremètre indique le passage de courant.

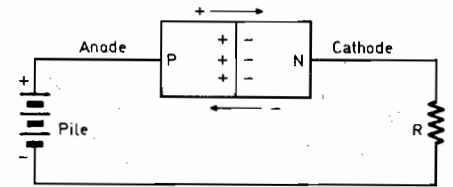


Fig. 9. — L'anode étant positive par rapport à la cathode, le courant traverse la diode.

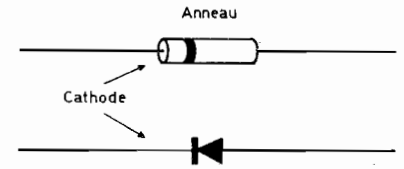


Fig. 11. — Une diode a généralement l'apparence d'une résistance. Sa cathode est repérée par un anneau.

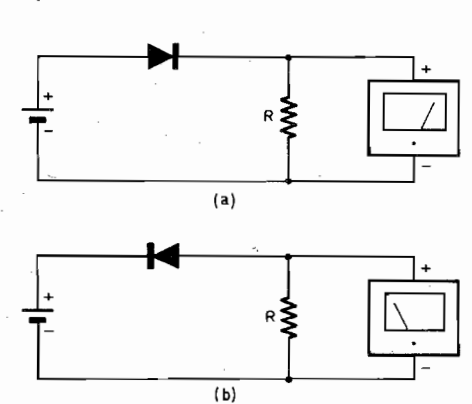


Fig. 13. — Le voltmètre aux bornes de R indique si la diode est passante ou bloquée.

Au contraire, si l'atome de ce corps étranger possède un nombre d'électrons inférieurs à celui du semiconducteur, ce dernier devient du type P (P pour « positif »).

Une diode est un composant qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens. Une diode semiconductrice est réalisée par la juxtaposition de deux blocs de semiconducteurs, l'un de type N, l'autre de type P (fig. 8). Nous avons représenté sur cette figure les deux blocs constituant la diode. L'un, de type P, est appelé « anode », l'autre est appelé « cathode ». La représentation symbolique est également donnée. L'anode en forme de pointe de flèche indique le sens de passage du courant.

La jonction, réalisée par des procédés métallurgiques, présente des propriétés intéressantes.

Insérons maintenant cette diode dans un circuit très élémentaire composé seulement d'une pile et d'une résistance (fig. 9). Un fort courant traverse la diode si le bloc P est branché du côté « plus » de la pile. Les charges positives de l'anode sont repoussées par le pôle plus de la pile, et elles se concentrent près de la jonction, tandis que les charges négatives de la cathode (bloc N) sont également repoussées vers la jonction, par le pôle moins de la pile, à travers R.

Il y a concentration de charges opposées de part et d'autre de la jonction. Les charges négatives sont alors attirées à travers cette jonction par le pôle positif de la pile. Il en est de même des charges positives qui traversent la jonction, attirées par la borne moins de la pile. De cette façon un courant prend naissance dans le circuit. La diode est alors équivalente à un interrupteur fermé. Plus nous augmentons la tension de la source, plus le courant est élevé dans le circuit.

Nous concevons maintenant que, si nous intervertissons les bornes de la pile, les charges dans les blocs N et P

vont s'éloigner de la jonction en créant une zone isolante. La diode devient équivalente à un circuit ouvert : il n'y a pas de courant dans le circuit.

La diode se comporte comme un interrupteur automatique qui ne se forme que lorsque son anode est en liaison avec un potentiel positif. Ceci explique pourquoi la diode est utilisée comme redresseur de tension alternative.

Quand l'anode est reliée au côté plus de la pile, on dit qu'elle est polarisée en direct, ou qu'elle est dans le sens passant. Dans le cas contraire, le côté négatif de la source étant relié à l'anode, la diode est polarisée en inverse, on dit qu'elle est « bloquée ».

Cette expérience, que nous venons de décrire, est vraiment facile à réaliser. Il suffit de posséder une pile (4,5 V suffisent), la résis-

tance de 1,2 kΩ de tout à l'heure, un multimètre et une diode. Celle-ci peut être du type 1N 4148, 1N 914 ou similaire. Cette diode a la même apparence qu'une résistance : forme tubulaire (4 mm de long et 2 mm de diamètre), avec deux fils de connexion. La cathode est repérée par un anneau situé du côté de la cathode (fig. 11).

Les expériences que nous pouvons faire sont représentées sur la figure 12. En (a) la diode est passante, un courant traverse le multimètre commuté en « mA continu » (il faut veiller à la polarité de l'appareil).

En (b), la diode est inversée, le multimètre nous indique que le courant est nul.

Mesurons maintenant la tension aux bornes de la résistance (fig. 13). En (1) le courant traversant la diode crée une chute de tension que nous pouvons mesurer. En (b) le courant ne passe pas et la tension aux bornes de R est nulle.

Mais ce qu'il faut remarquer, c'est que, lorsque la diode est passante (a), la tension aux bornes de R n'est pas égale à la tension de la pile (4,5 V) mais à une valeur légèrement plus faible.

Ceci est dû à la chute de tension aux bornes de la jonction. Cette chute de tension est pratiquement constante :

0,7 V pour les diodes au silicium, 0,3 V pour les diodes au germanium.

Les diodes préconisées étant au silicium, la tension aux bornes de R est égale à : $U - 0,7$ V.

En première approximation, une diode semiconductrice est équivalente à un interrupteur dont la résistance est nulle dans le sens passant et infiniment grande quand elle est bloquée. En réalité, il faut tenir compte de la chute de tension de 0,3 ou 0,7 V lorsque la diode est polarisée en direct. Comme nous le verrons plus tard, une diode polarisée en inverse n'a pas une résistance infinie.

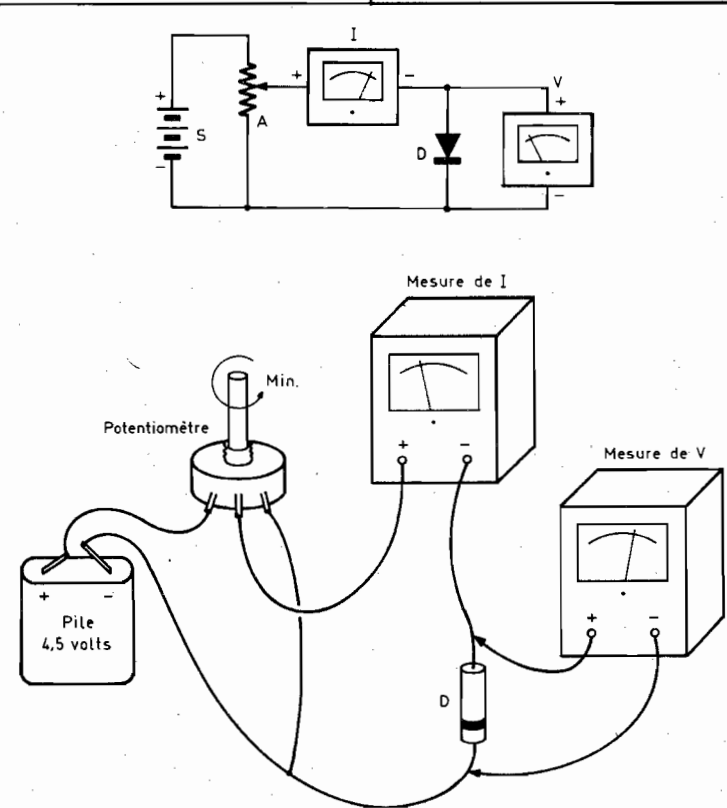


Fig. 15. — Représentation pratique du schéma de la figure 14.

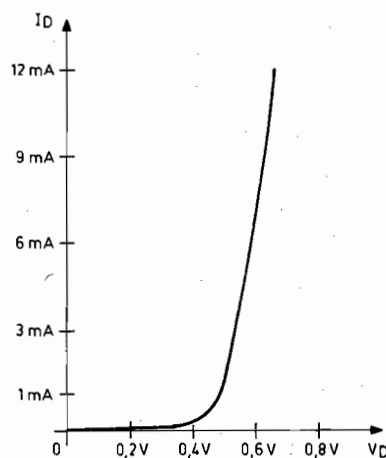


Fig. 16. — Courbe I_D/V_D d'une diode au silicium.

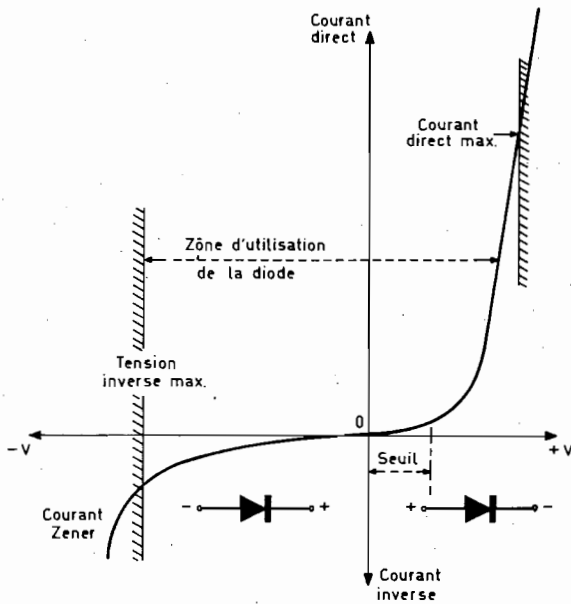


Fig. 17. — Courbe caractéristique d'une diode indiquant la zone d'utilisation et les zones interdites.

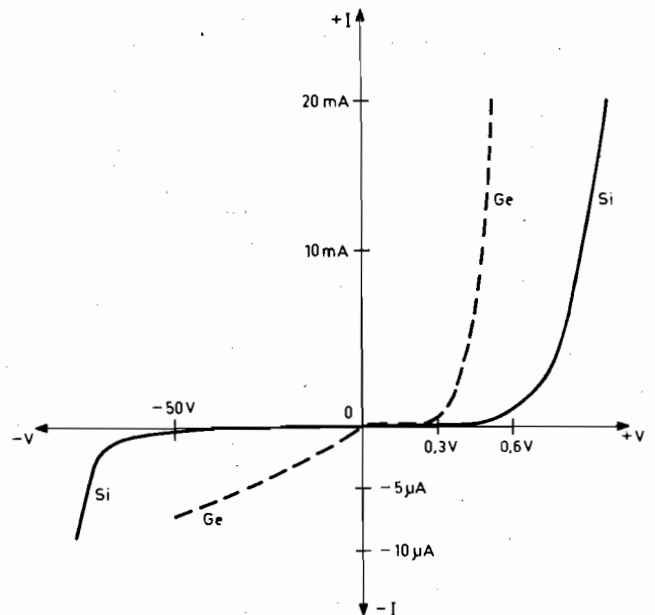


Fig. 18. — Comparaison des caractéristiques (diode au silicium et diode au germanium).

Relevé de la courbe caractéristique de la diode

Le schéma que nous utiliserons est représenté sur les figures 14 et 15. Aux bornes de la source S (pile de 4,5 V), nous branchons les extrémités d'un potentiomètre linéaire de 2 000 Ω par exemple.

Mais avant de brancher la pile, nous placerons au minimum le curseur du potentiomètre (point A). Evidemment, les polarités de l'ampèremètre et du voltmètre doivent être bien respectées. L'ampèremètre branché sur le curseur du potentiomètre mesure le courant traversant la diode D. Sa sensibilité doit être proche de 10 mA. En ce qui concerne le voltmètre, il mesure la tension aux bornes de D ; la gamme choisie sera assez basse, entre 1,5 V et 3 V.

Commençons maintenant le relevé de la caractéristique courant-tension de la diode, branchée d'abord dans le sens direct. En tournant doucement l'axe du potentiomètre, nous remarquons que le courant reste nul.

Pour 0,35 V ou 0,40 V, nous constatons une faible valeur de courant, mais la lecture de la déviation reste encore difficile. Nous notons le courant pour 0,5 V et remarquons qu'à partir de 0,6 V la montée est soudaine.

Nous remettons ensuite le curseur du potentiomètre au minimum pour refaire un autre relevé, cette fois-ci en changeant le sens de la diode, ou, ce qui revient au même, en inversant les polarités de la pile. Nous constatons alors que l'ampèremètre n'indique pas de courant, même si nous élevons la tension de la source, en branchant deux piles en série.

Le relevé de la caractéristique de la diode est donné sur la figure 16. La courbe théorique est représentée sur la figure 17. Sur celle-ci, nous reconnaissons la progression du courant direct avec sa montée brusque. Il existe un courant à ne pas dépasser. Remarquons le « seuil » de la diode. Pour les tensions inférieures à ce seuil, la résistance directe de la diode est relativement élevée (droite presque horizontale) tandis

que, pour des tensions plus élevées, la résistance de la diode devient de plus en plus faible.

En polarisation inverse, nous avons dilaté l'échelle du courant et réduit celle des tensions pour mieux faire remarquer le courant de fuite très faible, de l'ordre du micro-ampère, et la tension inverse maximale, où le courant inverse, dit « courant de Zener » commence à croître fortement. Remarquons aussi que pour une tension inférieure au point Zener, la résistance de la diode est excessivement élevée ; elle devient très faible au-delà.

Caractéristiques de la 1N 4148

Les caractéristiques données par le constructeur apparaissent dans l'encadré. L'attention de l'utilisateur doit être attirée sur la puissance dissipée de 500 mW. Nous en avons parlé pour les résistances. Une courbe de dissipation maximale semblable à celle de la figure 6 pourrait également être tracée pour la diode.

Diode au germanium

Si le lecteur possède une diode au germanium, il pourra tracer sa courbe caractéristique. Nous avons représenté celle-ci, en pointillé, sur la figure 18.

On remarque particulièrement le seuil de l'ordre de 0,3 V et la résistance inverse, beaucoup plus faible que celle de la diode au silicium.

J.-B. P.

1N 4148

Valeur à ne pas dépasser :
 — Courant direct : 200 mA.
 — Tension inverse : 75 V.
 — Puissance dissipée : 500 mW
 (à une température ambiante de 25 °C).

Autres caractéristiques :
 — Tension directe : entre 0,62 et 0,72 V (pour un courant direct de 5 mA).
 — Courant inverse : 25 nA (c'est-à-dire 25×10^{-9} A) (pour une tension inverse de 20 V).