

INITIATION

A LA PRATIQUE DE L'ÉLECTRONIQUE

II - LES DIODES SEMICONDUCTRICES

LES diodes semi-conductrices, très employées en électronique, ne se rencontrent pas seulement dans les redresseurs de tension. D'autres applications, comme la limitation ou la stabilisation de tensions les rendent bien utiles, à condition de savoir les utiliser.

Les diodes sont des dipôles passifs non linéaires, tandis que les résistances sont des dipôles passifs linéaires. Après une étude comparative, nous montrerons comment utiliser ces composants, en insistant particulièrement sur les diodes zener.

Avant d'aborder les diodes semi-conductrices, il faut savoir d'abord la signification du terme « semi-conducteur ».

À première vue, un semi-conducteur est un corps qui n'est ni un bon conducteur de l'électricité, ni un bon isolant. Mais, comme nous allons le voir, un semi-conducteur possède des propriétés très différentes des conducteurs et des isolants usuels.

Tout le monde sait ce qu'est un conducteur : les fils dits « conducteurs » sont utilisés pour transporter l'électricité. Ils sont fabriqués avec du cuivre, car ce dernier est un excellent conducteur. Autrement dit, le cuivre laisse passer facilement les électrons porteurs de charge électrique. Plus l'intensité à faire passer dans ce fil est élevée, plus grosse

doit être la section de ce conducteur d'électricité. Par exemple, dans une habitation, on n'utilise pas la même section de fil pour l'éclairage que pour les appareils électroménagers. Si pour le premier cas une section de 1,5 mm² laissant passer 10 A est suffisante, pour les appareils demandant un ampérage double, la section du fil sera deux fois plus grande. Et si jamais on surcharge le circuit, le fil chauffe. Un conducteur quel qu'il soit, présente toujours une certaine résistance si petite soit elle.

La notion d'isolant est également bien connue. Le courant ne traversera pas un isolant, et on considère que le plastique et le caoutchouc sont de bons

isolants. Mais un isolant n'est jamais parfait, et la résistance d'un isolant est tout à fait mesurable.

Les résistances

Quant aux corps qui ne sont ni franchement conducteurs ni franchement isolants, il existe ceux qui sont « résistants » et d'autres qui sont « semi-conducteurs ».

Dans les circuits électroniques, les résistances sont très utilisées. Elles peuvent avoir des valeurs très différentes, de quelques ohms à quelques mégohms. Au point de vue de leur technologie, les résistances de faible valeur (quelques

ohms) sont généralement constituées d'un fil métallique bobiné sur un support isolant. Le métal n'est pas du cuivre, mais souvent un alliage de nickel et de chrome. Lorsque les résistances ont des valeurs plus élevées (quelques dizaines ou quelques centaines d'ohms et plus), elles peuvent être constituées par une mince pellicule métallique déposée sur un support isolant, ce sont les **résistances à couche**. Plus généralement ce sont des résistances agglomérées. Celles-ci se fabriquent en comprimant un mélange de carbone, de résine et de talc.

La figure 1 représente une résistance telle qu'elle se présente habituellement dans les circuits électroniques. Les quatre anneaux (de couleur) permettent de déterminer la valeur ohmique de la résistance en utilisant un certain code.

Il faut « lire » les couleurs en partant de l'anneau le plus proche du bord. Si nous avons une résistance ayant des anneaux brun, noir, orange et argent, cela signifie que la résistance est de 10 000 Ω (10 kΩ) et que sa tolérance est de ± 10 %, soit une valeur ohmique garantie entre 9 000 et 11 000 Ω.

Une autre caractéristique très importante pour une résistance est sa dissipation maximale. Une résistance peut dissiper une certaine puissance sans être détériorée. Si celle-ci dépasse une certaine valeur,

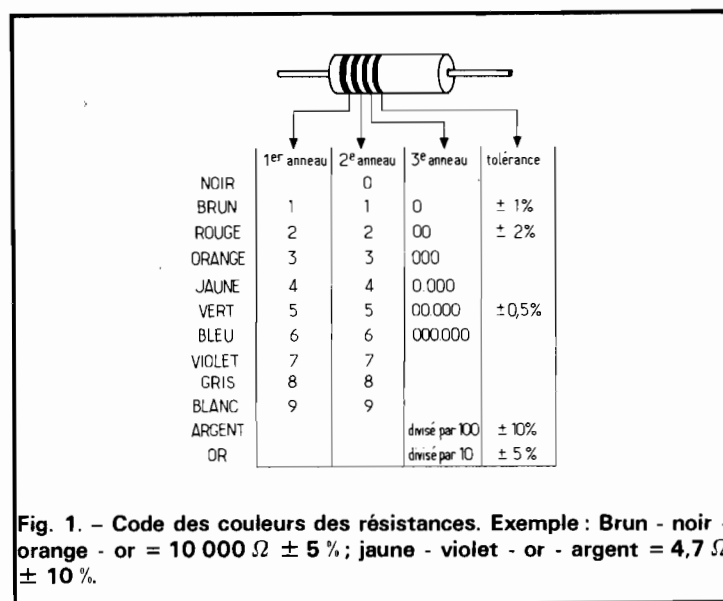


Fig. 1. - Code des couleurs des résistances. Exemple : Brun - noir - orange - or = 10 000 Ω ± 5 % ; jaune - violet - or - argent = 4,7 Ω ± 10 %.

appelée « puissance nominale », la résistance chauffe et se détériore. On peut dire aussi, car cela revient au même, que le courant qui traverse une résistance ne doit pas excéder une certaine valeur, ou encore, que la tension appliquée aux bornes d'une résistance ne doit pas être trop élevée.

Plus la résistance sera volumineuse, plus la puissance qu'elle pourra dissiper sera élevée. En effet, la surface étant plus grande, l'échange thermique entre le corps de la résistance et l'air ambiant se fait d'autant plus facilement.

Il existe des résistances subminiatures de 1/8 W destinées à des appareils de très petite puissance. Les puissances nominales les plus courantes sont de 1/4 et de 1/2 W. Les résistances de 1 W, 2 W et plus se trouvent dans les circuits devant sortir une certaine puissance.

Donc, quand vous aurez à acheter, par exemple une résistance de 1 000 Ω, il ne faut pas seulement dire : « Je veux une résistance de 1 000 Ω », mais vous aurez à préciser aussi cette puissance nominale appelée couramment « wattage ».

Comment calculer cette puissance ?

Il suffit d'utiliser la formule $P = RI^2$ si on connaît le courant qui traverse la résistance, ou la formule $P = E^2/R$ si la tension est connue. P étant en watt, E en volt et R en ohm. Soit : watt = ohm x ampère x ampère ou

$$\text{watt} = \frac{\text{volt} \times \text{volt}}{\text{ohm}}$$

Si la résistance de 1 000 Ω est traversée par un courant ne dépassant pas 10 mA, $P = 1\,000 \times 0,01 \times 0,01 = 0,1 \text{ W}$.

Une résistance de 1/4 W (0,25 W) sera suffisante. Si, ne connaissant pas le courant, on sait que la tension aux bornes d'une résistance de 10 Ω est de 2 V

$$P = \frac{2 \times 2}{10} = 0,4 \text{ W}$$

une résistance de 1/2 W (0,5 W) pourra suffir.

Semi-conducteurs

La diode semi-conductrice est un composant relativement simple, se rencontrant très souvent dans les circuits électroniques. Elle est utilisée principalement dans les circuits redresseurs, dans les démodulateurs ou bien comme limiteur.

La diode se compose de deux blocs juxtaposés de matériau semi-conducteur. Ce matériau peut être du germanium ou du silicium.

Lorsqu'il est pur, un semi-conducteur peut être considéré comme un isolant. Mais si on lui injecte quelques impuretés, autrement dit, quelques atomes d'un corps donné (1 atome d'impureté pour environ 100 millions d'atomes semi-conducteurs), le semi-conducteur sera capable de laisser passer un courant. Si l'atome de ce corps étranger possède plus d'électrons que l'atome du semi-conducteur, il y aura dans ce bloc des électrons excédentaires (particules négatives) qui serviront à la conduction du courant. C'est le cas d'un semi-conducteur de type N. Si l'atome de ce corps étranger, au contraire, a un nombre d'électrons inférieur à celui du semi-conducteur, celui-ci

deviendra du type P (P pour « positif »).

Les deux blocs constituant la diode ont été traités de telle sorte que l'un d'entre eux est du type P, il est appelé « anode ». L'autre est du type N, c'est la « cathode ».

La jonction entre ces deux blocs présente des caractéristiques intéressantes. Si nous branchons cette diode dans un circuit vraiment très élémentaire, comme celui de la figure 3, composé d'une pile et d'une résistance, un fort courant traverse la diode. Les charges positives de l'anode (bloc P) sont repoussées par le pôle + de la pile vers cette jonction, tandis que les charges négatives de la cathode (bloc N) sont également repoussées vers la jonction. Il y a concentration de charges opposées de part et d'autre de la jonction. Les charges négatives sont attirées à travers cette jonction par le pôle + de la pile. Il en est de même des charges positives qui traversent la jonction, attirées par la borne moins, créant ainsi un courant 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.

Nous concevons que si maintenant nous intervertissons les bornes de la pile

(fig. 4), les charges dans les blocs N et P vont s'éloigner, créant une zone isolante autour de la jonction. La diode devient alors équivalente à un interrupteur ouvert : pas de courant dans le circuit.

La diode agit comme un « interrupteur automatique » qui ne se ferme que lorsque son anode est en liaison avec un potentiel positif, ce qui explique pourquoi la diode est utilisée comme redresseur de tension alternative.

Si l'anode de la diode 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, côté négatif de la source relié à l'anode, la diode est polarisée en inverse, elle est « bloquée ».

Un peu de pratique

Pour mieux comprendre l'effet redresseur d'une diode, faisons l'expérience d'un relevé de ses caractéristiques.

Pour cela nous prendrons notre plaque de connexions que nous vous avons conseillée dans l'article précédent et avec laquelle vous pouvez réaliser des montages rapides sans le problème de faire des soudures.

Avant de prendre une diode, nous allons relever la caractéristique du courant en fonction de la tension d'une résistance, afin de la comparer à celle d'une diode. Le schéma à utiliser est celui de la figure 5.

Aux bornes de la source S, qui peut être une pile de 4,5 V, ou une alimentation stabilisée basse tension, nous branchons les extrémités d'un potentiomètre linéaire de valeur de 2 000 Ω environ. Avant tout branchement, nous placerons son curseur au minimum (point A). Les polarités de l'ampèremètre et du voltmètre doivent être respectées. L'ampèremètre branché sur le curseur du potentiomètre mesure le courant traversant la résistance Rx. Sa sensibilité sera sur une position proche de 15 mA. Quant au voltmètre, il

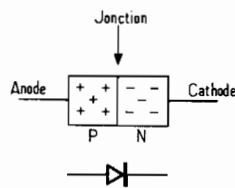


Fig. 2. - Construction et symbole d'une diode.

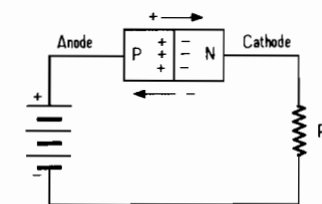


Fig. 3. - Diode polarisée dans le sens passant.

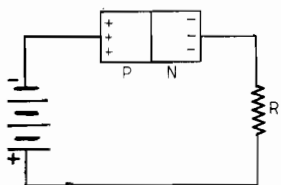


Fig. 4. - Diode polarisée en inverse.

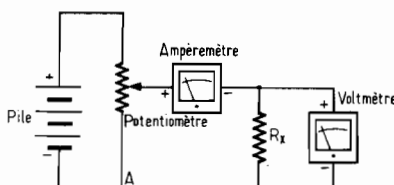


Fig. 5. - Circuit pour le relevé de la caractéristique courant-tension d'une résistance.

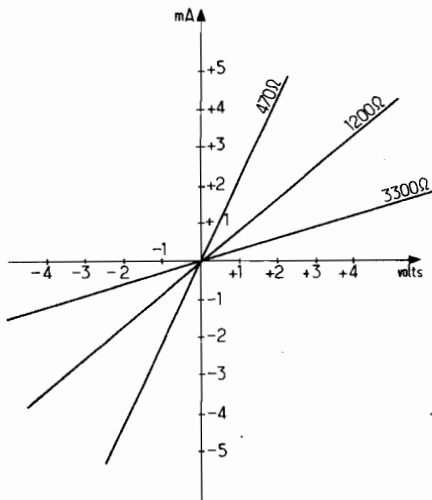


Fig. 6. - Relevé de la caractéristique d'une résistance.

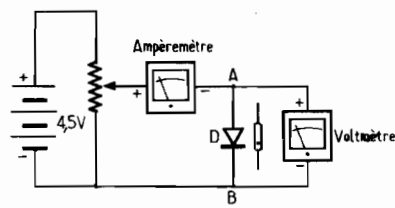


Fig. 7. - Relevé de la caractéristique d'une diode.

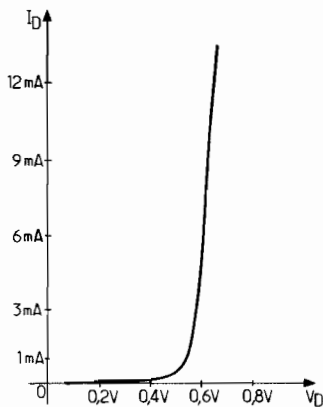


Fig. 8. - Caractéristique d'une diode.

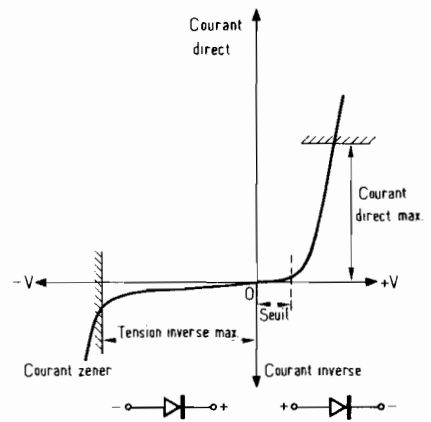


Fig. 9. - Courbe théorique d'une diode.

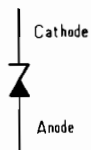


Fig. 10. - Représentation d'une diode Zener.

mesure la tension aux bornes de Rx, sa sensibilité sera à environ + 5 V.

Nous prendrons pour commencer une résistance de 1 200 Ω 1/4 W. Nous voyons tout d'abord que nous ne lisons aucun courant ni aucune tension. En tournant l'axe du potentiomètre, arrêtons-nous à + 1 V et lisons le courant indiqué par l'ampèremètre, il est proche de 0,85 mA. Nous relevons ensuite le courant pour des tensions de 2,3 et 4 V et traçons la caractéristique courant-tension de la résistance (fig. 6). Si nous remplaçons cette résistance par une autre de 3 300 Ω, nous obtenons une droite plus inclinée. Plus la résistance est élevée, plus sa caractéristique s'approche de l'horizontale. Ceci est important à se rappeler.

Refaisons la même manipulation mais en inversant la polarité de la pile, pour des tensions de - 1, - 2, - 3 et - 4 V, nous avons les mêmes valeurs de courant, mais négatives.

Maintenant nous relèverons la caractéristique courant-tension d'une diode du même modèle que celles que nous avons utilisées pour réaliser

notre alimentation (voir article précédent). Le schéma est représenté sur la figure 7. La diode est ainsi branchée dans le sens direct. Nous remettons le curseur du potentiomètre au minimum, et mettons le voltmètre sur la sensibilité 1,5 V.

En tournant doucement l'axe du potentiomètre, nous remarquons que le courant reste nul. Pour 0,35 V ou 0,40 V, il y a un début de courant, mais la lecture 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 le curseur du potentiomètre au minimum pour refaire une autre mesure, 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 que l'ampèremètre n'indique pas de courant, même si nous branchons deux piles en série.

Le relevé de caractéristique de la diode est donné sur la figure 8. La courbe théorique est représentée figure 9. Sur cette dernière nous reconnaissons la progression du courant direct, avec la montée brusque de ce courant. Il existe un courant direct à ne pas dépasser.

Remarquons le « seuil » de la diode, qui est de l'ordre de 0,7 V pour les diodes au silicium, et est encore plus faible (entre 0,1 et 0,3 V pour les diodes au germanium). 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 microampère - et la tension inverse maximale, ou le courant inverse, dit « courant 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.

Diode Zener

Cet « effet Zener » est employé souvent dans les stabilisateurs de tension, dans les-

quels on se sert, non pas de n'importe quelle diode, mais de modèles au silicium, appelés « Diode Zener » ayant une tension inverse bien définie. Suivant les types, cette tension inverse peut varier de 2 à 200 V.

Pour des tensions directes et des tensions inverses faibles, les diodes zener ont un comportement identique à celui des diodes ordinaires.

Afin de les distinguer de celles-ci, on les symbolise par une représentation différente (fig. 10).

Nous reprendrons notre plaque de connexions pour mettre en évidence cette caractéristique. Nous avons utilisé pour cela une diode zener du type BZ X 857V5 de 1/2 W en la branchant d'abord en sens direct. La cathode d'une diode zener est également repérée par un anneau. En augmentant progressivement la tension, nous faisons les mêmes remarques que pour une diode ordinaire, le courant ne devient perceptible qu'à partir de 0,4 V pour augmenter très rapidement ensuite.

En intervertissant la diode zener, nous ne constatons aucun courant entre 0 et

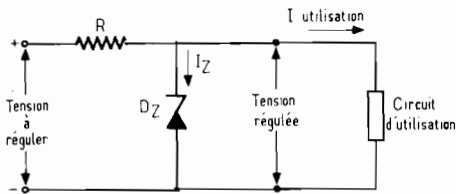


Fig. 11. - Circuit de stabilisation à diode Zener.

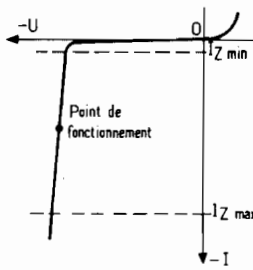


Fig. 12. - Le point de fonctionnement se trouve à égale distance des courants $I_{Z \max}$ et $I_{Z \min}$.

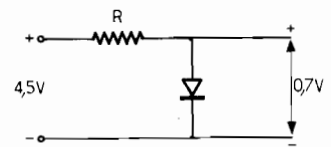


Fig. 13. - Stabilisation par diode standard.

-4,5 V. Plaçons une deuxième pile en série avec la première, et augmentons avec prudence la tension. Ce n'est seulement que pour 7 V qu'apparaît un courant d'ailleurs très faible. En continuant de tourner l'axe du potentiomètre, le courant indiqué par l'ampèremètre continue à croître, mais la tension lue sur le voltmètre se stabilise à 7,5 V.

Comment réaliser un stabilisateur de tension à diode zener

Dans la pratique de l'électronique, où les problèmes d'alimentation jouent un rôle primordial, il est souvent nécessaire de disposer d'une tension continue sans toutefois être obligé de réaliser à nouveau une alimentation complète. La diode zener, par sa simplicité, donne une solution rapide.

Nous allons voir que, connaissant la tension continue à notre disposition, la tension et l'intensité du circuit à stabiliser, il suffit de savoir choisir la diode zener adéquat et de calculer la résistance à inverser dans le circuit.

Le circuit est représenté sur la figure 11. La tension à réguler doit nécessairement être une tension continue, comme, par exemple, une tension redressée.

Prenons un exemple concret. Nous désirons stabiliser la tension redressée de 12 V d'une alimentation secteur afin d'alimenter un circuit nécessitant une tension de 7,5 V et consommant 100 mA.

En consultant le catalogue d'un fabricant, nous choisissons donc une diode zener de 7,5 V de 1/2 W. En supposant que le courant zener max ($I_{Z \max}$) est de 40 mA, et en considérant que la plage est linéaire entre $I_{Z \max}$ et $I_{Z \min}$, qui est lui-même égal au dixième de celui-là, nous prenons comme point de fonctionnement 20 mA ($I_{Z \text{moyen}}$). La somme de $I_{Z \text{moyen}}$ et du courant d'utilisation (20 + 100 mA) traverse la résistance de régulation R, dont la tension à ses bornes est 12 V - 7,5 V soit 4,5 V. En appliquant la loi d'Ohm, R sera facilement calculé. Nous choisissons la valeur normalisée la plus proche, soit $39 \Omega \pm 10 \%$, ayant une puissance dissipée de 1/2 W. Tout cela peut être résumé par la formule :

$$R = \frac{U_{\text{source}} - U_{\text{utilisation}}}{I_{\text{utilisation}} + I_{Z \text{moyen}}}$$

Pour avoir une bonne stabilisation, la tension de la source (à stabiliser) doit être 2 à 3 fois plus élevée que la tension d'utilisation.

Il est bon de rappeler que pour avoir une tension constante aux bornes de la diode zener, celle-ci doit être traversée par un courant supérieur à $I_{Z \min}$.

La diode zener ne doit pas dissiper une puissance supérieure à sa valeur nominale. Cette puissance est égale à : $U_Z \times I_{Z \max}$.

Autres applications des diodes

Si jamais nous avons besoin d'une stabilisation de 0,7 V, une diode ordinaire fera l'affaire si nous la polarisons en

direct (fig. 13). La résistance est calculée de la même façon que pour le circuit à diode zener. Le courant traversant la diode est celui qui a été mesuré pour une tension de 0,7 V.

Il existe des diodes spéciales pour ce genre de régulation, fournissant une tension précise pour un courant direct donné. La diode BZ102/OV7 donne une tension garantie entre 0,65 et 0,75 V pour un courant direct de 5 mA. Dans la même série il existe les modèles : BZ102/1V4, .../2V1, .../2V8, .../3V4.

Mais rien n'empêche de placer plusieurs diodes en série pour avoir une tension régulée un peu plus élevée.

Ce type de circuit est souvent utilisé comme limiteur dans une liaison. Seules les tensions inférieures ou égales à 0,7 V (utilisation d'une seule diode standard) sont transmises. Si vous avez à votre disposition un oscilloscope, une manipulation intéressante est de mettre en évidence cette limitation. La figure 14 montre un schéma possible avec deux diodes en parallèle, limitant une tension alternative. La résistance est là pour limiter le courant direct dans les diodes.

Si c'est une limitation sur une plus grande plage de tension que l'on désire, rien n'empêche d'utiliser deux diodes zener (fig. 15).

Vous voyez qu'il est simple de réaliser des circuits de stabilisation ou de limitation. Si vous possédez une plaque de connexions, il vous sera facile de réaliser et de modifier rapidement un montage.

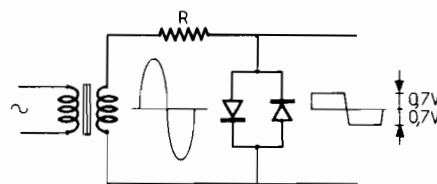


Fig. 14. - Circuit limiteur (diodes standard).

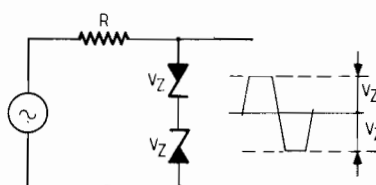


Fig. 15. - Circuit limiteur (diodes Zener).