

# LES DIODES ZENER

## 1. – PROPRIETES DE LA DIODE ZENER.

On a vu le comportement en direct et en inverse d'une jonction, le coude de zener et le claquage par avalanche.

Les diodes zener sont fabriquées de façon à mettre en évidence cet effet et à permettre leur utilisation dans des circuits de régulation.

Ces diodes ont une caractéristique directe comparable à celle de n'importe quel autre type et elles peuvent être utilisées pour la détection, par exemple. On cherche à leur donner une caractéristique inverse qui marque un coude très prononcé pour une tension déterminée (fig. 1). L'idéal serait que cette courbe fasse un angle droit avec la tension de zener, c'est-à-dire que la résistance inverse soit très grande jusqu'à cette tension et pratiquement nulle ensuite. Il n'en est pas ainsi en pratique, cependant on obtient des résistances suffisamment faibles, ainsi qu'il est indiqué sur la figure 1.

Les tensions de zener sont échelonnées entre 2 et 200 V, selon les modèles. Bien entendu, le dopage du monocristal et les phénomènes mis en jeu sont très différents, pour pouvoir obtenir une gamme aussi étendue. Toutefois, ces diodes portent toutes le nom de diodes zener.

On classe, ainsi, ces diodes en trois catégories :

Les diodes à basse tension au-dessous de 5 V, dont le claquage est dû à l'effet de champ. Dans ce cas, le coude de la caractéristique est assez peu prononcé, le courant augmentant d'une façon exponentielle avec; la tension inverse, jusqu'à la zone de régulation. La résistance inverse des diodes de cette catégorie est plus élevée que celle des diodes de la catégorie suivante.

Les diodes à tensions supérieures à 7 V ont, en réalité, un claquage par avalanche. Le courant inverse varie peu au début, puis le coude de la caractéristique est assez franc et le courant augmente très rapidement.

Les diodes dont la tension se situe entre 5 et 7 V présentent une combinaison des deux effets, suivant le point de fonctionnement et la température d'utilisation.

Toutes ces diodes sont au silicium, car le coude est plus marqué pour ce semi-conducteur que pour le germanium.

Ce claquage n'est pas destructif si la température maximale de la jonction n'est pas atteinte. Il faut prendre soin de ne pas dépasser la puissance inverse limite de la diode dans l'établissement des schémas d'utilisation.

## 2. – CARACTERISTIQUE ELECTRIQUES DES DIODES ZENER.

La caractéristique essentielle est la tension de zener, mais il existe un certain nombre de caractéristiques-limites qu'il est indispensable de connaître pour utiliser ces diodes.

### 2.1. - LE COURANT INVERSE MAXIMAL OU COURANT DE ZENER ( $I_R$ ou $I_Z$ )

Le schéma théorique de montage d'une diode zener est donné par la figure 11-2. On voit que le courant inverse n'est limité que par la résistance équivalente du circuit externe  $R_s$ .

Le fabricant donne aussi pour chaque type de diode une zone de fonctionnement autorisé (fig. 11-3) dans laquelle on peut admettre un courant inverse transitoire très court. La valeur de crête des transitoires est beaucoup plus élevée que l'intensité continue admissible en présence de  $R_s$ .

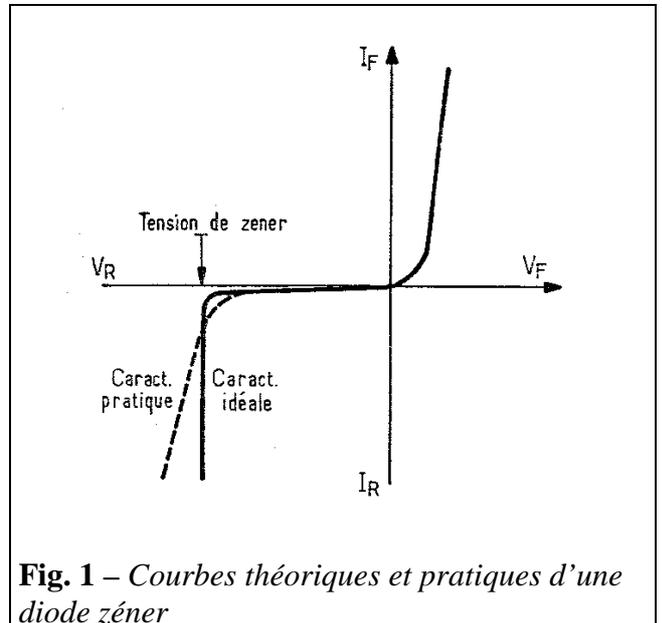


Fig. 1 – Courbes théoriques et pratiques d'une diode zener

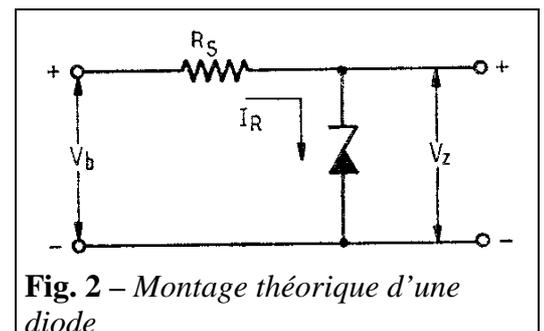


Fig. 2 – Montage théorique d'une diode

## 2.2. - LE COURANT DIRECT MAXIMAL ( $I_{FM}$ )

Il est utile de connaître le courant direct maximal ( $I_{FM}$ ) dans le cas où la diode est utilisée dans le sens passant. C'est le même paramètre que celui qui a été étudié au cours du précédent chapitre.

## 2.3. - LA TEMPERATURE MAXIMALE DE LA JONCTION ( $T_{j \max}$ )

Comme il s'agit de diodes au silicium, cette température est généralement fixée à 150°C ou à 175°C. Les diodes de puissance doivent être montées sur un radiateur pour améliorer leur refroidissement et leur permettre une puissance dissipée plus importante.

## 2.4. - LA PUISSANCE TOTALE

La puissance totale que peut dissiper la jonction ( $P_c$ ) se calcule selon la formule:  $P_c = T_{J \max} - T_{amb} / R_{th}$ .

La résistance thermique totale ( $R_{th}$ ) comprend la somme des résistances thermiques:  $K_{J-fb} + K_{fb-r} + K_{r-amb}$  exprimées en °C/W et tient compte évidemment de l'efficacité du radiateur éventuel.

## 2.5. - LA RESISTANCE OU L'IMPEDANCE DYNAMIQUE ( $r_D$ )

Ce n'est pas une caractéristique limite dont le dépassement risque de détruire la jonction. C'est une caractéristique primordiale pour la détermination de l'efficacité du circuit de régulation. La résistance ou l'impédance dynamique est l'expression de la pente de la caractéristique inverse  $\Delta V / \Delta I$ . Ce n'est pas une valeur fixe, elle dépend du point de fonctionnement, donc, du niveau du courant  $I_R$ . Elle diminue à mesure que le courant augmente jusqu'à atteindre un palier.

Pour un même niveau de courant de zener, l'impédance dynamique varie d'une diode à l'autre en fonction de la tension de zener. Elle part d'un niveau élevé à tension basse (3,3 V), diminue rapidement, passe par une valeur minimale entre 6 et 9 V et remonte ensuite rapidement. Donc, pour une tension donnée, la résistance dynamique diminue à courant croissant jusqu'à une certaine valeur. A un niveau de courant donné, il existe une tension pour laquelle la valeur de la résistance dynamique devient minimale.

Le facteur de régulation F est le quotient de la variation relative du courant par la variation relative de la tension.

$$F = \frac{V/I}{\Delta V/\Delta I} = \frac{R}{r_D}$$

$R = V / I$  est la résistance qu'il faut disposer en série avec la batterie équivalente pour représenter la caractéristique inverse de la diode;  $r_D$  est la résistance dynamique.

On peut avoir des valeurs de F atteignant 1000. On se contente d'un facteur 100 pour de larges variations.

## 2.6. - LE COEFFICIENT DE TEMPERATURE

La tension de zener est un phénomène physique stable. Cependant cette tension est donnée à un niveau de courant précis et dépend de ce niveau. Elle augmente lorsque le courant de zener augmente.

La tension de zener varie également en fonction de la température, cette variation peut être positive ou négative. La tension de zener décroît lorsque la température augmente pour les diodes de tensions inférieures à 5 V. Elle croît, au contraire, pour les diodes de tensions supérieures à 7 V. Entre 5 et 7 V, on trouve des diodes présentant un coefficient de température nul ou très faible.

Le coefficient de température ou coefficient de variation de tension de zener en fonction de la température est donné, soit en pourcentage de la tension de zener par degré celsius, soit encore en mV / °C.

Pour compenser les diodes zener à coefficient de température positif, on peut disposer en série une diode à jonction au silicium ordinaire qui possède un coefficient négatif.

## 2.7. - LE BRUIT DES DIODES ZENER

Il est provoqué par de faibles, mais brusques variations de la tension de zener. Cet effet est dû probablement à des microplasmas ou à des imperfections de la jonction.

En principe, le bruit maximal se situe au voisinage du coude de la caractéristique dans la région de zener. Il est en moyenne de 4  $\mu$ V. Il est dans tous les cas inférieur à 10  $\mu$ V.

## 2.9. - LA CAPACITE DES DIODES ZENER

Comme toutes les jonctions, les diodes zener ont une capacité propre qui dépend de la tension inverse, donc de l'épaisseur de la zone désertée.

Certains types présentent jusqu'à 800 pF pour 2 V inverses (fig. 3).

La capacité, pour un certain type de diode et pour une même tension inverse, diminue lorsque la tension zener augmente.

Outre cette capacité propre, les diodes zener ont généralement une faible capacité parasite (inférieure à 10 pF) due aux connexions.

On peut utiliser les diodes zener comme diodes à capacité variable. On choisit les diodes dont la tension de zener se situe vers 7 V, en raison de leur faible impédance dynamique relative.

## 3. - APPLICATIONS

Les applications des diodes zener sont très nombreuses; elles se rapportent aux grandes catégories suivantes:

- Effet de régulation;
- Tension constante servant de référence;
- Effet de seuil et écrêtage;
- Capacité de la jonction.

### 3.1. - EFFET DE REGULATION

Un des plus importants est la réalisation d'alimentations stabilisées. Le schéma le plus simple est donné sur la figure 4.

Lorsque la tension aux bornes d'entrée croît et dépasse la tension de zener, le courant dans la diode augmente, mais la tension de sortie reste constante et de la valeur de la tension de zener de la diode choisie. Si la résistance en série est faible, le courant dans la diode devient rapidement important et nécessite l'emploi d'une diode de puissance coûteuse montée sur un radiateur, c'est pourquoi ce schéma est peu employé. La diode zener remplace le second condensateur de filtre.

Soit (fig. 4) une diode zener de 6,2 V, alimentée par une source de 9 V et de 0,6  $\Omega$  de résistance interne, à travers une résistance série de 10  $\Omega$ . On obtient en sortie une tension de 6,2 V, entre 0 et 200 mA. Le facteur de stabilisation est de 50/1. Le ronflement et l'ondulation de la source sont atténués dans ces mêmes proportions. La diode filtre mieux la sortie qu'un condensateur de 1000  $\mu$ F.

### 3.2. - EFFET DE SEUIL, ECRETEUR

On utilise les diodes zener dans un grand nombre de montages tels que:

- Limiteurs de «volume» à la sortie des amplificateurs basse fréquence, en particulier dans les émetteurs;
- Protection des appareils de mesure à cadre;
- Appareils de mesure à échelle dilatée;
- Temporisateurs et relais à seuil de tension;
- Relais à minimum et à maximum, disjoncteurs;
- Temporisateurs de relais;
- Ecrêteurs pour protéger les éléments de montage contre les surtensions. En utilisant deux diodes montées tête-bêche, on peut réaliser un écrêteur à double alternance;
- Enfin, on peut protéger un transistor contre les surtensions transitoires au moyen d'une diode zener montée en parallèle sur le transistor.

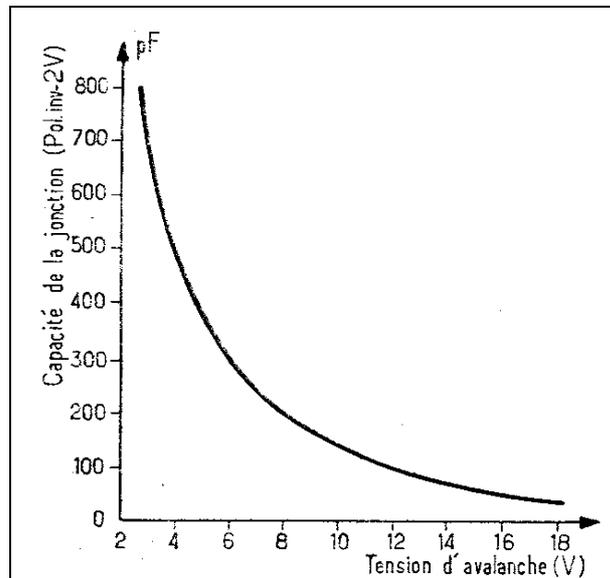


Fig. 3 – Exemple de courbe de la capacité de la jonction en fonction de la tension.

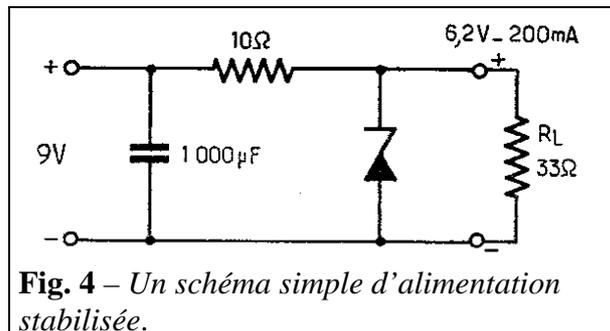


Fig. 4 – Un schéma simple d'alimentation stabilisée.