

FORMULAIRE D'ELECTRONIQUE

CIRCUITS A DIODES ZENER

Caractéristiques des diodes Zener

Les caractéristiques principales d'une diode Zener sont les suivantes :

- la tension d'utilisation V_Z ,
- le courant Zener max I_{Zmax} ,
- la puissance dissipée max P_{max} ,
- la résistance dynamique r_z ,
- le coefficient de température S_Z .

Effet de la température

Le coefficient de température S_Z d'une diode Zener (exprimé en $mV/^\circ C$) indique quelle est la variation de la tension Zener V_Z pour une variation donnée de température ambiante.

Ce coefficient est généralement négatif pour les tensions Zener inférieures à 6 V (V_Z diminue lorsque la température augmente).

Ce coefficient est positif pour les valeurs de V_Z supérieures à 6 V (V_Z augmente avec la température).

La variation de tension aux bornes d'une diode Zener en fonction de la température est donnée par la formule :

$$\Delta V_Z = S_Z \times \Delta_{temp}$$

avec :

ΔV_Z = variation de tension aux bornes de la diode Zener (en millivolts),

S_Z = coefficient de température (en $mV/^\circ C$),

Δ_{temp} = variation de la température ambiante (en $^\circ C$).

Exemples :

1. Pour stabiliser une tension de 9 V, on utilise une diode du type BZY88/9V1 dont le S_Z est égal à + 6 $mV/^\circ C$ (pour $I_Z = 1$ mA).

Quelle est la variation de V_Z si la température environnante passe de + 25 $^\circ C$ à + 80 $^\circ C$?

La variation de température étant de + 55 $^\circ C$, la variation de V_Z est égale à :

$$(+ 6) \times (+ 55) = + 330 \text{ mV.}$$

2. Une tension très proche de la précédente (9V1) peut être obtenue avec deux diodes Zener ayant des coefficients de température se compensant :

– Zener 3,3 V $S_Z = - 1,9$ $mV/^\circ C$

– Zener 6,2 V $S_Z = + 1,6$ $mV/^\circ C$

Branchées en série, les caractéristiques de l'ensemble sont :

$$- V_Z = 3,3 + 6,2 = 9,5 \text{ V}$$

$$- S_Z = (- 1,9) + (+ 1,6) = - 0,3 \text{ mV/}^\circ C$$

Si la température ambiante varie de + 55 $^\circ C$, la variation de V_Z n'est plus que de :

$$(- 0,3) \times (+ 55) = + 16,5 \text{ mV.}$$

Diode Zener en régulation

Le schéma de base d'une régulation est donnée figure 1. La tension U est la tension à réguler, elle est continue ou redressée. La tension V_Z est la tension d'utilisation.

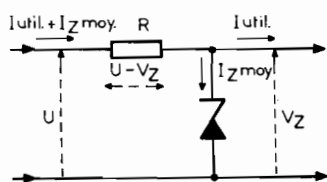


FIGURE 1

La courbe caractéristique d'une diode Zener est donnée figure 2.

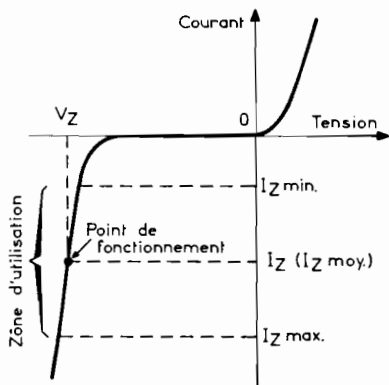


FIGURE 2

La puissance dissipée dans une diode Zener est :

$$P = V_Z \times I_Z$$

P = puissance dissipée (en watts),

V_Z = tension Zener (en volts),

I_Z = courant Zener (en ampères).

La puissance dissipée max d'une diode Zener est fournie par le fabricant ; de cette valeur on déduit le courant Zener à ne pas dépasser :

$$I_{Zmax} = \frac{P_{max}}{V_Z}$$

I_{Zmax} = courant Zener max (en ampères),

P_{max} = puissance max de la diode Zener (en watts),

V_Z = tension Zener (en volts).

Les relations entre les tensions et courants sont :

$$U \approx 2,5 V_Z$$

$$I_{Zmin} = \frac{I_{Zmax}}{10}$$

$$I_{Zmoy} = \frac{I_{Zmax} + I_{Zmin}}{2}$$

avec :

U = tension (continue ou redressée à partir de laquelle se fait la régulation (en volts),

I_{Zmin} = courant Zener au-dessous duquel la régulation risque d'être moins efficace,

I_{Zmoy} = courant Zener de repos.

Exemple : On utilise une diode Zener dont les caractéristiques principales sont : 12 V/500 mW. Quelles sont les différentes valeurs de I_Z et de U ?

$$U = 12 \times 2,5 = 30 \text{ V}$$

$$I_{Zmax} = \frac{0,5}{12} \approx 0,042 \text{ A, soit } 42 \text{ mA}$$

$$I_{Zmin} = \frac{42}{10} = 4,2 \text{ mA}$$

$$I_{Zmoy} = \frac{42 + 4,2}{2} = 23 \text{ mA}$$

On en déduit qu'au repos le courant Zener est de 23 mA. Les variations de courant dans la diode pourront varier de 4,2 à 23 mA, soit de ± 19 mA par rapport au courant moyen, la tension aux bornes de la diode restant sensiblement égale à 12 V (la pente de la zone d'utilisation d'une diode Zener est beaucoup plus abrupte que celle représentée sur la fig. 2).

Calcul de la résistance de régulation R :

$$R = \frac{U - V_Z}{I_{util} + I_{Zmoy}}$$

avec :

R = résistance de régulation (en ohms),

I_{util} = courant d'utilisation alimentant le circuit dont la tension est régulée (en ampères),

I_{Zmoy} = courant de repos dans la diode (en ampères),

U = tension d'entrée du régulateur (en volts),

V_Z = tension régulée (en volts).

Exemple : Si dans l'exemple précédent I_{util} est de 160 mA, et la tension $U = 30$ V, la résistance R aura pour valeur :

$$R = \frac{30 - 12}{0,16 + 0,023} \approx 100 \Omega$$

Régulation d'une forte variation de courant

La diode Zener commande un transistor de puissance placé en parallèle sur le circuit à réguler (fig. 4).

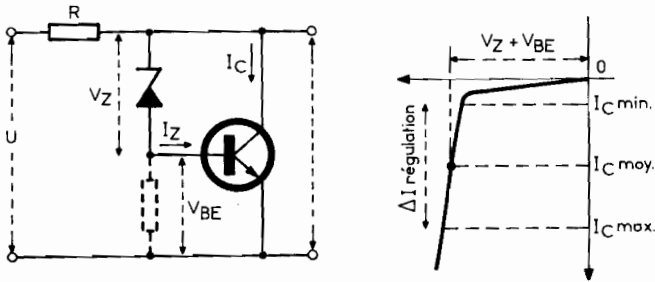


FIGURE 4

L'ensemble est équivalent à une diode Zener dont les caractéristiques seraient :

$$V_{référence} = V_Z + V_{BE}$$

$$\Delta I_{régulation} = \Delta I_Z \times \beta$$

$$P_{max} = P_{Cmax}$$

avec :

V_{BE} = tension émetteur base (0,6 V pour un transistor au silicium),

V_Z = tension Zener de la diode (en volts),

$V_{référence}$ = tension régulée par l'ensemble (en volts),

β = gain de courant du transistor,

ΔI_Z = variation du courant Zener (en ampères),

$\Delta I_{régulation}$ = variation de courant régulé par le transistor (en ampères),

P_{Cmax} = puissance collecteur maximale du transistor (en watts),

P_{max} = puissance maximale supportée par le régulateur.

Les éléments se calculent comme pour une simple diode Zener associée à une résistance :

$$U = V_{référence} \times 2,5$$

$$I_{Cmax} > \Delta I_{régulation}$$

$$P_{max} = V_{référence} \times I_{Cmax}$$

$$I_{Cmin} = \frac{I_{Cmax}}{10}$$

$$I_{Cmoy} = \frac{I_{Cmax} + I_{Cmin}}{2}$$

$$I_{Zmoy} = \frac{I_{Cmax}}{\beta}$$

$$R = \frac{U - V_{référence}}{I_{util} + I_{Cmoy}}$$

(Le courant I_{Zmoy} , très faible par rapport aux autres courants, n'apparaît pas dans la formule).

Exemple : Soit à réguler l'alimentation d'un circuit consommant $1 A \pm 20 mA$ sous 24 V. Nous disposons pour cela d'une diode Zener 24 V/500 mW et d'un transistor NPN de 8 W ayant un β de 40.

La tension redressée devant alimenter l'ensemble doit avoir une valeur proche de :
 $U = 24 \times 2,5 = 60 V$

Les variations de $\pm 20 mA$ doivent être compensées par un $\Delta I_{régulation}$ de 40 mA dans le circuit collecteur du transistor. Pour fonctionner avec une marge de sécurité, nous choisissons un $I_{Cmax} = 50 mA$.

La puissance que doit supporter le transistor est de :

$$P_{max} = 24 \times 0,05 = 1,2 W$$

ce qui convient parfaitement au transistor.

Les autres valeurs de courant I_C sont :

$$I_{Cmin} = \frac{50}{10} = 5 mA$$

$$I_{Cmoy} = \frac{50 + 5}{2} \approx 27 mA$$

La valeur moyenne du courant dans la diode Zener est :

$$I_{Zmoy} = \frac{27}{40} = 0,67 mA$$

Calcul de la résistance de régulation :

$$R = \frac{60 - 24}{1 + 0,0027} \approx 35 \Omega$$

Remarque : Afin de s'assurer de ne pas fonctionner avec un courant Zener trop faible, on peut connecter une résistance aux bornes de la fonction base-émetteur du transistor (résistance représentée en pointillé sur la figure). Sa valeur est :

$$R = \frac{V_{BE}}{I_{Zmin}}$$

avec :

$$I_{Zmin} = \frac{I_{Cmin}}{\beta}$$

Dans l'exemple précédent :

$$I_{Zmin} = \frac{5}{40} = 0,125 mA$$

La valeur de V_{BE} étant de 0,6 V, on obtient :

$$R = \frac{0,6}{0,125} = 4,8 k\Omega$$

Diode en limiteur

Le limiteur protège les circuits en alternatif. En utilisant deux diodes « standard », le signal de sortie ne dépasse jamais $1,2 \text{ V}$ ($2 V_D$) (fig. 5).

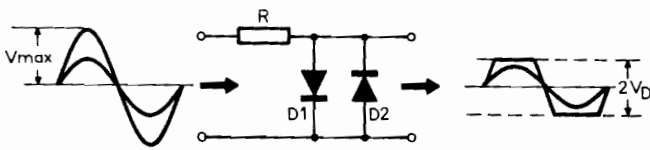


FIGURE 5

La formule donnant R est :

$$R = \frac{V_{\max} - V_D}{I_D}$$

avec :

- R = résistance série (en ohms),
- V_{\max} = tension maximale à l'entrée du limiteur (en volts),
- V_D = tension directe de la diode ($0,6 \text{ V}$ pour une diode au silicium),
- I_D = courant direct des diodes (en ampères).

Remarque : Plusieurs diodes peuvent être montées en série, la tension admissible en sortie est alors multipliée par le nombre de diodes.

Le limiteur peut être composé d'une ou de deux diodes Zener (voir fig. 6 et 7).

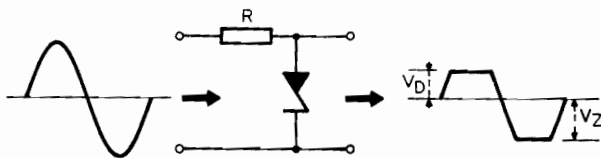


FIGURE 6

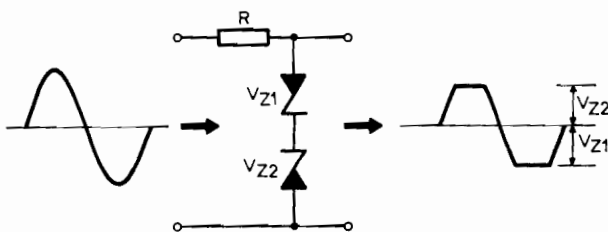


FIGURE 7

Exemple : Protection d'un appareil de mesure.

Nous souhaitons protéger un voltmètre constitué par un galvanomètre de déviation totale égale à $200 \mu\text{A}$ et de résistance interne de $60 \text{ k}\Omega$ pour la sensibilité 12 V (fig. 8a).

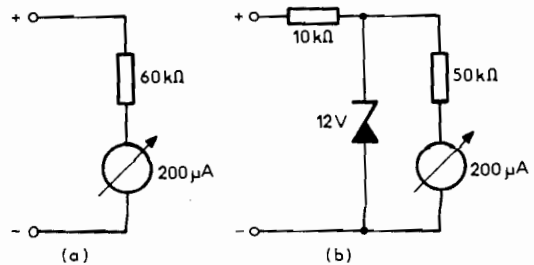


FIGURE 8

L'adjonction d'une diode Zener et l'emploi de deux résistances au lieu d'une permet de réaliser un limiteur efficace (fig. 9b).

Dans le cas d'une erreur de branchement (polarité incorrecte), la diode Zener est passante dans le sens direct, la tension aux bornes du voltmètre ne dépasse pas $0,6 \text{ V}$.

Lorsque le voltmètre est branché sur une tension comprise entre 0 et 12 V , la diode Zener présente une résistance très élevée et ne perturbe pas la mesure.

Dans l'éventualité d'un branchement sur une tension supérieure à la sensibilité du voltmètre, la diode Zener court-circuite et protège l'appareil de mesure.

Pour notre exemple, la diode a une tension de référence V_Z égale à 12 V . Si la tension appliquée au voltmètre est de 15 V , la tension appliquée à la Zener, à travers le pont diviseur, est de :

$$15 \times \frac{50 \text{ K}}{50 \text{ K} + 10 \text{ K}} = 12,5 \text{ V}$$

valeur pour laquelle la résistance de la diode est très faible, d'où protection du galvanomètre.

La résistance R doit être assez grande pour limiter le courant dans la diode.

$$R > \frac{V}{I_{Z\max}}$$

avec :

- V = valeur possible de la surtension aux bornes du circuit (en volts),
- $I_{Z\max}$ = valeur max. du courant Zener (en milliampères),
- R = résistance de protection (en $\text{k}\Omega$).

Efficacité de régulation

Pour le calcul de l'efficacité de régulation, on doit connaître une des caractéristiques de la diode Zener qui est la **résistance dynamique** r_z . C'est le rapport entre la variation de tension Zener (ΔV_Z) et la variation correspondante du courant Zener (ΔI_Z) :

$$r_z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$$

(r_z en ohms, si ΔV_Z est en volts et ΔI_Z en ampères).

La valeur de r_z est fournie dans les catalogues pour une valeur donnée I_Z .

Exemple : La résistance dynamique d'une diode Zener est garantie inférieure à 4Ω , pour un courant $I_Z = 35 \text{ mA}$. Si I_Z varie de 10 mA ($\Delta I_Z = 10 \text{ mA}$), la variation de tension résultante aux bornes de la diode Zener est inférieure à 40 mV :

$$(\Delta V_Z < r_z \times \Delta I_Z, \text{ soit } \Delta V_Z < 4 \times 10 \times 10^{-3}).$$

Le taux de régulation indique de combien varie la tension régulée pour une variation donnée de la tension U.

Le taux de régulation du circuit (résistance R et diode Zener) est donné par la formule :

$$\text{Taux de régulation (en \%)} = \frac{r_z}{R + r_z} \times 100$$

avec :

r_z = résistance dynamique de la diode (en ohms),

R = résistance de régulation (en ohms).

Exemple : En utilisant la diode de l'exemple ci-dessus et une résistance R de 56Ω , le taux de régulation du circuit est de :

$$\frac{4}{56 + 4} \approx 6,7 \%$$

Au cas où la tension d'entrée U chute par exemple de 5 V , la tension régulée baisse seulement de $6,7 \%$ de cette valeur, soit :

$$\frac{5 \times 6,7}{100} = 0,33 \text{ V}$$

Remarques

1. Si le courant d'utilisation (I_{util}) ne varie pas trop, il y a intérêt à rapprocher le point de fonctionnement (I_Z) de la valeur I_{Zmin} , ce qui apporte une économie de courant et surtout une amélioration de l'efficacité de régulation, puisque la valeur de R est augmentée.
2. La résistance dynamique r_z étant différente suivant la valeur V_Z , il y a parfois intérêt à utiliser deux diodes en série au lieu d'une seule.

Diode en écréteur

Suivant le montage, on obtient un signal supérieur ou inférieur à la tension de seuil V_s .

Le montage est intéressant seulement si la tension d'entrée est élevée.

La diode peut être en parallèle sur le circuit, comme pour le limiteur (fig. 9 et 10). La formule donnant R est semblable aux autres formules données :

$$R = \frac{V - V_s}{I_D}$$

Dans le montage de la figure 9, la diode D court-circuite les tensions dont l'amplitude positive dépasse $U + V_D$ (tension de seuil). L'amplitude négative n'est pas affectée.

Dans le montage de la figure 10, les alternances négatives sont court-circuitées au-delà de la valeur de la tension U (tension de seuil).

Un montage avec diode en série est donné figure 11.

J.-B. P.

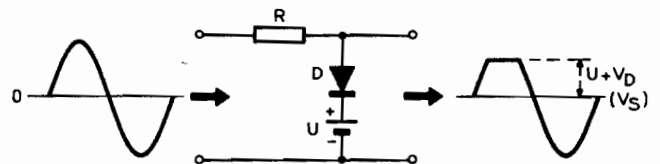


FIGURE 9

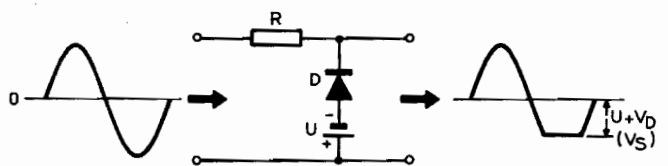


FIGURE 10

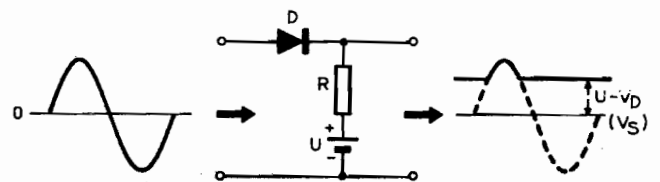


FIGURE 11

Suite page 127

FORMULE D'ELECTRONIQUE CIRCUITS A DIODES ZENER

Suite de la page 123

Régulation d'une tension très faible

On peut soit utiliser des diodes ordinaires (voir le formulaire de février 1986), soit faire un montage à deux diodes Zener (fig. 3).

La tension régulée aux bornes de R_3 , représentant le circuit alimenté, est égale à :

$$V_{\text{régulée}} = V_{Z2} - V_{Z1}$$

Poser le calcul des éléments du circuit, on utilise pour chaque diode la méthode présentée plus haut en tenant compte du courant d'utilisation I traversant R_2 et Z_1 .

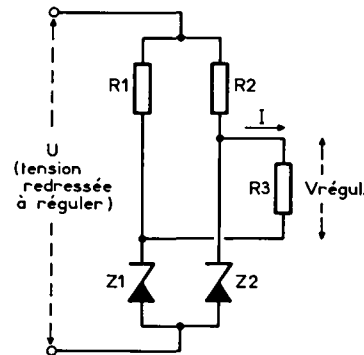


FIGURE 3