

### ■ Diode Zener

En polarisation inverse, au-delà d'une certaine tension, un courant inverse important peut se manifester c'est l'effet Zener.

On conçoit des diodes Zener spéciales pour obtenir, contrôler et garantir les paramètres souhaités :

- la tension de claquage appelée souvent tension Zener  $V_z$  ;
- la résistance dynamique de claquage  $r_z$  appelée aussi *résistance Zéner* ;
- le courant minimal de la zone de claquage  $I_{z\min}$  ;
- le courant maximal de claquage  $I_{z\max}$ .

## EXERCICES

### Exercice 1.1 Application du modèle linéarisé d'une diode

On fait une approximation de la caractéristique d'une diode par la courbe donnée à la figure 1.20 (a). Cette diode est utilisée dans le circuit de la figure 1.20 (b).

1. Tracer la droite de charge du circuit et déterminer le point de fonctionnement de la diode. On donne  $R = 50 \, \Omega$  et  $E = 12 \, \text{V}$ .
2. Comment varie la droite de charge si la tension  $E$  varie d'une quantité égale à  $\pm 2 \, \text{V}$  ? En déduire la résistance dynamique au point de repos choisi.
3. On laisse la tension continue  $E = 12 \, \text{V}$  à laquelle on superpose une tension alternative basse fréquence  $v_{BF}$  d'amplitude égale à  $100 \, \text{mV}$  ? Calculer la tension alternative de sortie  $V_S$ .

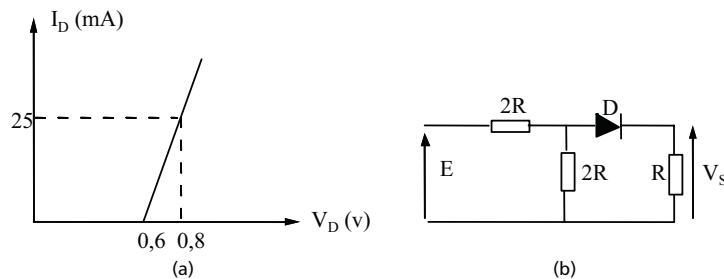


Figure 1.20 Caractéristique de la diode (a) et circuit utilisé (b)

### ► Solution

#### 1. Droite de charge et point de fonctionnement

Pour tracer la droite de charge, on commence par transformer la partie du circuit composée par la tension d'entrée  $E$ , et les résistances  $2R$  et  $2R$  en un générateur de Thévenin équivalent. On trouve :

$$E_{TH} = \frac{2R}{2R + 2R} \times E = \frac{E}{2} \quad \text{et} \quad R_{TH} = \frac{2R \times 2R}{2R + 2R} = R$$

La diode se trouve donc en série avec une résistance totale égale à  $2R$  et alimentée par une tension de Thévenin égale à  $E/2$ . L'équation électrique devient :

$$E_{TH} = V_D + R_{TH} I \quad \text{soit :} \quad \frac{E}{2} = V_D + 2R \times I$$

Il s'agit d'une droite qui passe par les points :

$$\left( \frac{E}{2}, 0 \right) \quad \text{et} \quad \left( 0, \frac{E}{4R} \right)$$

**Application numérique.**  $\frac{E}{2} = 6 \, \text{V}$  ;  $\frac{E}{4R} = 30 \, \text{mA}$

On peut déterminer graphiquement les coordonnées du point de fonctionnement, mais on préfère utiliser la solution mathématique qui consiste à trouver l'intersection de deux droites.

La première droite est la droite de charge donnée par :

$$I = -\frac{V_D}{100} + \frac{6}{100}$$

La deuxième droite est la droite donnée par la caractéristique de la diode :

$$I = aV_D + b$$

Par identification, on détermine pour les deux points :

$$25 \, \text{mA} = a \times 0,7 + b \quad \text{et} \quad 0 \, \text{mA} = a \times 0,6 + b$$

Soit :  $25 \, \text{mA} = a \times 0,1$  ou bien :  $a = 250 \times 10^{-3} \, \Omega^{-1}$

et  $b = -250 \, \text{mA} \times 0,6 = -150 \, \text{mA}$

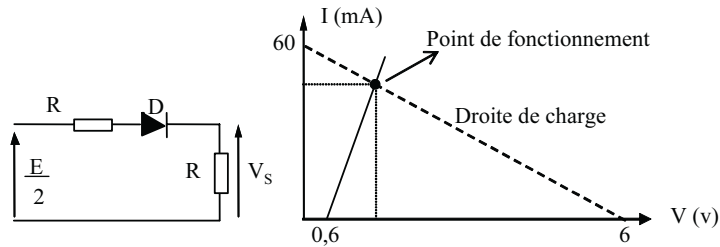


Figure 1.21 Générateur de Thévenin équivalent 1a et droite de charge 1b.

La deuxième droite a pour équation :

$$I = 250 \times 10^{-3} V_D - 150 \text{ mA}$$

Le point d'intersection est obtenu en égalisant les deux équations ce qui donne :

$$250 \times 10^{-3} V_D - 150 \text{ mA} = -\frac{V_D}{100} + \frac{6}{100}$$

On en déduit  $250 \times 10^{-3} V_D + \frac{V_D}{100} = \frac{6}{100} + 150 \text{ mA}$

Les coordonnées du point de fonctionnement sont donc : (0,807 V ; 61,93 mA)

## 2. Calcul de la résistance dynamique

Lorsque la tension  $E$  varie d'une quantité égale à  $\pm 2$  V, l'équation de la droite de charge reste la même, il suffit de remplacer  $E$  par sa nouvelle valeur :

$$\frac{E \pm 2}{2} = V_D + 2R \times I \quad \text{soit :} \quad 6 \pm 1 = V_D + 2R \times I$$

La pente de la droite de charge reste la même, ce qui se traduit par : la droite de charge se déplace parallèlement à elle-même.

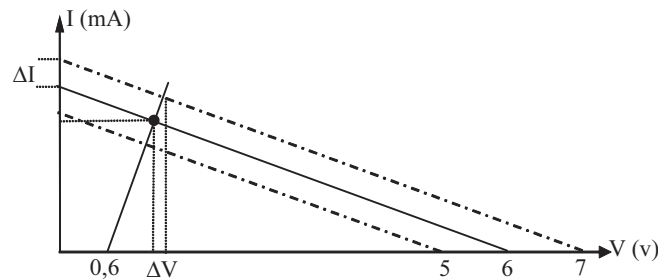


Figure 1.22 Variation de la droite de charge.

On en déduit la résistance dynamique au point de repos choisi. Il suffit de calculer le rapport de la variation de tension sur la variation du courant. Or, le point de fonctionnement se trouve sur la partie linéaire de la caractéristique courant-tension de la diode.

$$r_D = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{0,8 - 0,6}{25 \times 10^{-3} - 0} = 8 \Omega$$

## 3. Schéma équivalent en dynamique et calcul de la sortie

Lorsqu'on laisse la tension continue  $E = 12$  V à laquelle on superpose une tension alternative basse fréquence d'amplitude égale à 100 mV, il suffit de remplacer dans le schéma utilisant Thévenin, la diode par sa résistance dynamique équivalente :

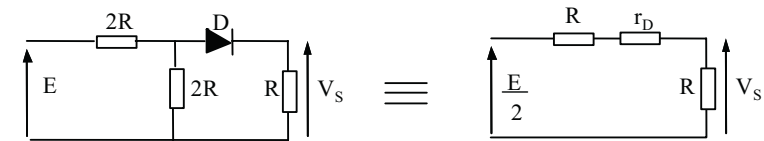


Figure 1.23 Schéma réel et schéma équivalent en dynamique.

Il suffit donc d'appliquer le diviseur de tension en dynamique pour trouver  $V_S$  :

$$V_S = \frac{R}{R + r_D + R} \times v_{BF} = \frac{50}{108} \times 100 \text{ mV} = 46,3 \text{ mV}$$

## Exercice 1.2 Redressement et filtrage

On connaît les définitions de la valeur moyenne d'une tension périodique quelconque ainsi que la définition de sa valeur efficace :

Valeur moyenne :  $\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$  et

Valeur efficace :  $U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$  ou :  $U_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt$

On peut considérer qu'une tension périodique quelconque est la somme d'une composante continue notée  $U_{\text{=}}$  et d'une composante alternative dont la valeur efficace est notée  $U_{\sim \text{eff}}$ . La valeur efficace  $U_{\text{eff}}$  du signal est donnée par :

$$U_{\text{eff}}^2 = U_{\text{=}}^2 + U_{\sim \text{eff}}^2$$

Si on redresse une tension, c'est souvent pour passer d'une tension alternative à une tension continue. Le taux d'ondulation caractérise l'efficacité de ce passage :

$$\tau = \frac{\text{valeur efficace de la composante alternative}}{\text{composante continue}} = \frac{U_{\sim \text{eff}}}{U_{\text{=}}}$$