

TP électronique II: diodes

S. Orsi, A. Miucci
6 octobre 2014

Les diodes sont des composants passifs non-linéaires, i.e. le courant n'est pas proportionnel à la tension appliquée. Une diode idéale se comporte comme un interrupteur commandé par une tension, produisant un circuit ouvert dans une direction, et un court-circuit dans l'autre. Une diode consiste en une jonction p-n, dans laquelle le courant circule du matériel p vers le n.

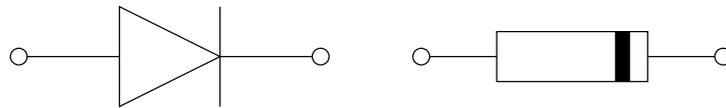


Figure 1: La direction de la diode est indiquée par une bande dessinée sur une des extrémités du composant électronique.

1 Caractéristique des diodes

1. Prenez une diode en Si, et mesurez la résistance à l'aide du multimètre, dans la direction normale et dans la direction inverse.
2. Montez une résistance $R = 1\text{k}\Omega$ et une diode au silicium en série avec une source de tension continue V_{cc} . Notez les spécifications fournies par le fabricant quant au courant, tension et puissance maximaux que peut soutenir la diode.
3. Faites un graphique (V, I) du courant en fonction de la tension sur la diode V_D en variant V_{cc} . Commencez avec $V_{cc} = 0$, et prenez au moins 10 points lorsque V_D se situe entre 0.25 et 0.7 V, et prenez soin de ne pas excéder le courant maximal que peut accepter la diode.
 - (a) Exprimez la tension dans R et le courant I circulant dans le circuit en terme de V_{cc} et V_D en utilisant les lois de Kirchoff.
 - (b) Déterminez la tension thermique, donnée par $V_T = \frac{k_B T}{q}$, où k_B est la constante de Boltzmann et T est la température dans le laboratoire.
 - (c) Décrivez la forme de la courbe (V, I) et comparez avec le modèle de la diode théorique approximatif, donné par l'équation de Shockley:

$$I = I_s \cdot (e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1)$$
$$\frac{dI}{dV_D} = \frac{I_s}{\eta \cdot V_T} \cdot e^{\frac{V_D}{\eta V_T}}$$

où η est la constante de la diode (“ideality factor” en anglais) et I_s le courant d’échelle (“reverse bias saturation current”).

(d) Comment la courbe (V, I) se compare-t-elle avec celle d’une résistance seule ?

1.1 Droite de charge

La droite de charge (“load line”, voir fig. 2) donne le point de fonctionnement d’un composant placé dans un circuit donné. Son utilité deviendra plus évidente avec les transistors, en attendant, les diodes permettent de bien illustrer le concept.

1. Avec le circuit utilisé précédemment, produisez la droite de charge du circuit (fig.2 à gauche) avec V_{cc} en utilisant les lois de Kirchoff et en prenant les conditions aux frontières:
 - (a) Ecrivez les lois des noeud et de maille de ce circuit.
 - (b) Considérez le cas limite où la diode crée un circuit ouvert ($I_D = 0$) et le cas où la diode crée un court-circuit ($V_D = 0$).

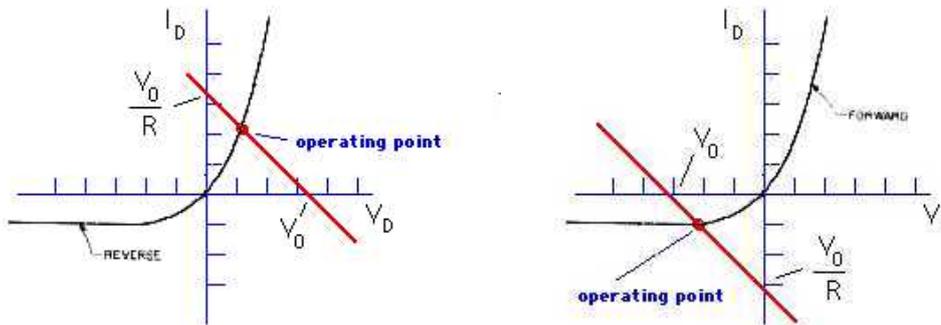


Figure 2: Droites de charge et points de fonctionnement pour une diode en polarisation directe (à gauche) et inverse (à droite).

2. Superposez sur la droite de charge la courbe (V,I) mesurée précédemment, et trouvez le point de fonctionnement (“quiescent point” ou “Q-point”) de la diode, qui correspond au point où la courbe (V,I) croise la droite de charge du circuit.
3. Mesurez I pour $V_{cc} = 2V$ et $4V$, et comparez votre résultat au point de fonctionnement trouvé ci-haut, en tenant compte des tolérances sur les divers composants.
4. Produisez une autre droite de charge en changeant les valeurs de R et V_{cc} , en prenant soin de ne pas excéder le courant maximal que peut accepter la diode. Prenez des valeurs différentes de vos voisins. Prédisez le courant traversant la diode.
5. Montez ce nouveau circuit et comparez le courant mesuré avec celui prédit grâce à la courbe de charge, en tenant compte des tolérances sur les divers composants.

6. Mesurez la courbe (V,I) d'une diode au germanium et d'une LED, et comparez les avec la droite de charge trouvée précédemment. Comparez vos observations sur les différents types de diode.

1.2 Diodes particulières

1. Les diodes Zener sont conçues pour fonctionner en polarisation inverse, régime dans lequel un tout petit changement de tension peut causer un très grand changement de courant.
 - (a) Montez une diode Zener en série avec une source de tension continue et une résistance, mais montez-la en sens inverse. Mesurez la courbe (V,I).
 - (b) Produisez la droite de charge pour un V_{cc} tel que la diode soit en polarisation inverse et qu'un courant circule. Superposez la courbe (V,I) à la droite de charge, et déterminez le point de fonctionnement. Comparez celui-ci au I mesuré. A quoi correspond la pente de la courbe (V,I) dans cette région ?
2. Les diodes électroluminescentes (LED) sont actives lorsqu'elles sont placées dans le sens du courant (polarisation directe), qui contrôle l'intensité de la lumière émise. Ces diodes doivent être protégées d'un excès de courant en plaçant une résistance en série.

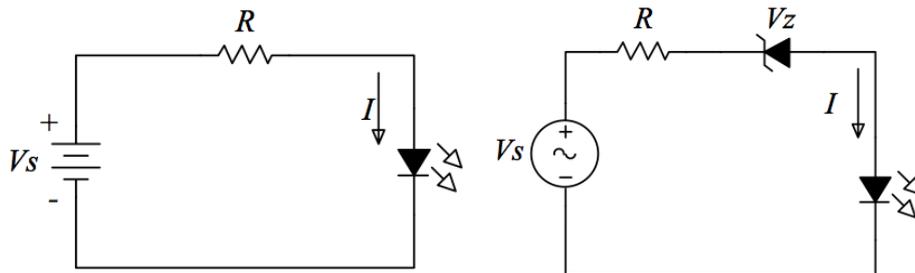


Figure 3: Circuit avec LED (gauche), circuit avec LED et diode Zener en série (gauche).

- (a) Choisissez une LED et prenez note du courant maximal I_m qu'elle peut soutenir. Grâce aux lois de Kirchoff, déterminez la valeur de R nécessaire pour limiter le courant afin de ne pas endommager la LED pour $V_s = 5V$ (voir figure 3).
- (b) Ajoutez cette LED et la résistance R en série avec la diode Zener en polarisation inverse (figure 3). Mesurez la courbe (V,I) en variant V_{cc} , en commençant avec $V_{cc} = 0$. Expliquez la valeur de la tension à laquelle la LED s'allume. Comparez ce résultat avec la courbe (V,I) mesurée précédemment.

2 Applications

2.1 Redressement demi-onde

L'application principale des diodes consiste à transformer un signal alternatif, dans lequel le sens de circulation des électrons s'inverse à chaque demi-période, en un signal dans lequel les électrons circulent en sens unique.

1. Montez le circuit de la figure 4 de gauche ($R = 1\text{k}\Omega$), produisez un signal d'entrée sinusoïdal avec le générateur d'onde, et observez le signal de sortie.
2. Modifiez le circuit en ajoutant un condensateur de $5\ \mu\text{F}$ (figure 4 de droite). Observez le signal de sortie en choisissant la fréquence du signal d'entrée de façon à pouvoir observer l'ondoiement (comme montré à la figure 4 de droite), et expliquez pourquoi $V_{out}^{max} < V_{in}$. [Indice: essayez avec une onde carrée!]
3. Déterminez T la période du signal d'entrée, T_2 la période du signal de sortie, t_1 le temps de montée de la crête du signal de sortie, et t_2 le temps de descente de la crête du signal de sortie. Expliquez les relations entre T , T_2 , t_1 et t_2 .
4. Notez la fréquence et l'amplitude de l'ondoiement (ripple), et montrez que:

$$V_R = V_{out}^{max} - V_{out}^{min} = V_{out}^{max} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_2}{RC}}\right)$$

5. Répétez la mesure avec des résistances de $300\ \Omega$ et $10\ \text{k}\Omega$, et montrez que:

$$V_R \sim \frac{V_s - 0.7}{f \cdot RC}$$

6. Choisissez de nouvelles valeurs de f, R, C de façon à amplifier l'ondoiement, et de façon à l'éliminer le mieux possible. Montrez qu'il est préférable de choisir $RC > t_2$ (où $t_2 \sim T$) dans le dernier cas.

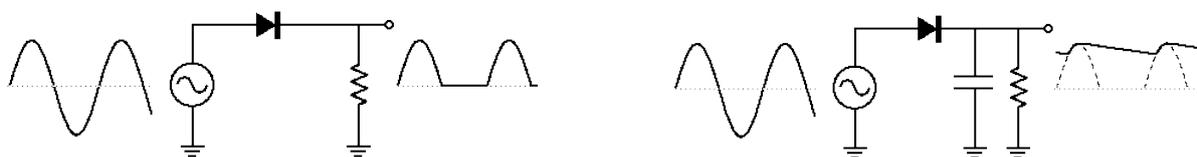


Figure 4: Circuits de redressement demi-onde.

2.2 Redressement onde pleine

1. Montez le circuit de la figure 5 en utilisant le transformateur, $R = 10\text{k}\Omega$ et $C = 1\mu\text{F}$. Produisez un signal d'entrée sinusoïdal avec $V = 10\text{ V}$ et $f = 1\text{ kHz}$ avec le générateur d'onde, et observez le signal de sortie.
2. L'expression pour la tension d'ondoiement est similaire à celle du redresseur demi-onde:

$$V_R \sim \frac{V_s - 0.7}{2f \cdot RC}$$

Expliquez d'où vient le facteur 2 au dénominateur.

3. Calculez V_R à l'aide de la formule et des valeurs données plus haut. Obtenez une deuxième valeur calculée pour une $R = 1\text{k}\Omega$.
4. Vérifiez vos valeurs théoriques à l'aide de votre montage. Expliquez vos résultats et établissez les conditions d'utilisation de l'expression théorique.

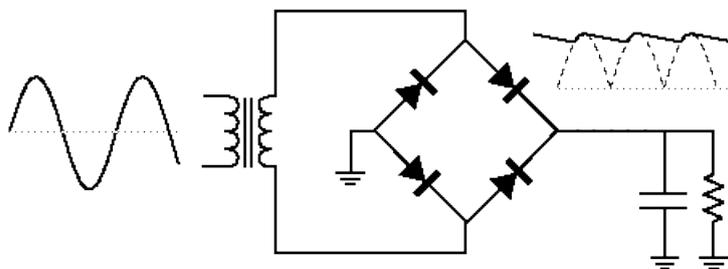


Figure 5: Circuits de redressement onde-pleine

2.3 Circuits écrêteurs

1. Montez le circuit de la figure 6 de gauche. Appliquez une onde sinusoïdale, puis observez et expliquez le signal de sortie.
2. Sur le même circuit, montez la diode à l'envers; observez et expliquez.
3. Sur le même circuit, montez une diode zener, et expliquez ce que vous observez. Refaites l'exercice en montant la diode à l'envers.
4. Montez le circuit de la figure 6 du milieu. Observez et expliquez le signal de sortie.
5. Montez le circuit de la figure 6 de droite. Observez et expliquez le signal de sortie.

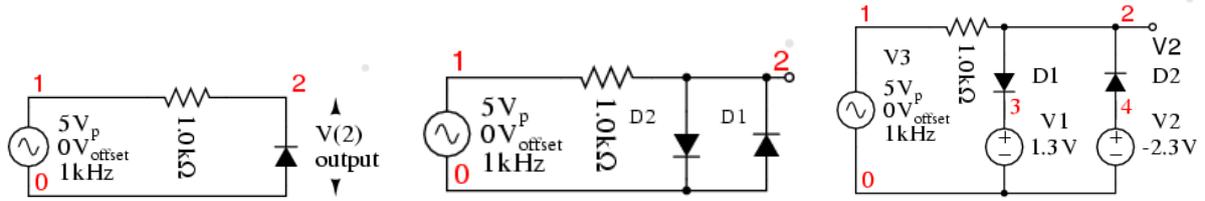


Figure 6: Circuits écrêteurs.

3 Logique digitale

3.1 Déclenchement

En physique expérimentale, en particulier à haute énergie, des quantités phénoménales de données sont enregistrées. Pour cette raison, les données ne sont enregistrées que lorsque le détecteur (ou une partie du détecteur) est active. Le déclenchement ("trigger") ne se fait que si le signal remplit des caractéristiques très précises, comme par exemple deux signaux espacés de moins de 2ms dans deux sous-détecteurs adjacents.

Concevez un circuit fournissant un signal ponctuel lorsqu'un signal apparait à l'entrée du circuit. Suggestion: utilisez un condensateur, une diode et 2 résistances. Démontrez votre compréhension en utilisant un signal carré pour simuler l'arrivée d'un signal dans votre circuit.

3.2 Portes logiques "ou" et "et"

1. Montez le circuit de la figure 7 de gauche.
2. Fournissez une tension de 5V à la borne A, puis la borne B, puis aux deux bornes, et notez vos observations.
3. Répétez l'exercice pour le deuxième circuit, et expliquez leur fonctionnement comme porte logique "ou" ou "et".



Figure 7: Portes logiques "ou" et "et".