

37 composants actifs - la diode

Dogan Ibrahim (Angleterre)

Les composants électroniques actifs sont des composants capables d'introduire un gain ou de contrôler le flux de courant électrique dans les circuits électroniques, ce qui permet de réaliser diverses fonctions essentielles dans les systèmes et les appareils électroniques. Parmi les composants actifs les plus courants, on trouve, les diodes, les transistors et les circuits intégrés. Ils sont capables d'effectuer des opérations telles que la commutation, l'amplification de signaux, la régulation de la puissance, l'exécution de calculs et le stockage de données. Cet article, extrait du livre *Practical Electronics Crash Course* de Dogan Ibrahim, se concentre sur les diodes.

Note de l'éditeur. Cet article est un extrait du livre d'Elektor *Practical Electronics Crash Course* formaté et légèrement modifié pour correspondre aux normes éditoriales et à la mise en page du magazine Elektor. L'auteur et l'éditeur seront heureux de répondre aux questions - Pour les contacter, voir l'encaadré « Questions ou commentaires ? ».

Les semi-conducteurs sont fabriqués en empilant des couches de matériaux semi-conducteurs de type n et de type p l'une sur l'autre. La zone située entre deux couches différentes est appelée jonction p-n. Le matériau de type N contient des porteurs de charge négatifs (électrons), tandis que le matériau de type p contient des porteurs de charge positifs (trous). Les propriétés conductrices de ces couches peuvent être contrôlées en appliquant des tensions et des courants de polarisation.

Diodes semi-conductrices

Dans ce chapitre, nous abordons les diodes semi-conductrices fabriquées à base de silicium ou de germanium. Elles sont également appelées diodes à jonction p-n, car elles sont constituées d'une jonction p-n. Une diode est un dipôle qui ne laisse passer le courant que dans un sens. Elle présente une très faible résistance (idéalement nulle) dans le sens de conduction et une résistance élevée (idéalement infinie) dans le sens inverse. Pour qu'une diode conduise le courant, une tension positive doit être appliquée à l'anode. C'est ce qu'on appelle la polarisation directe.

Quelques exemples d'utilisation des diodes :

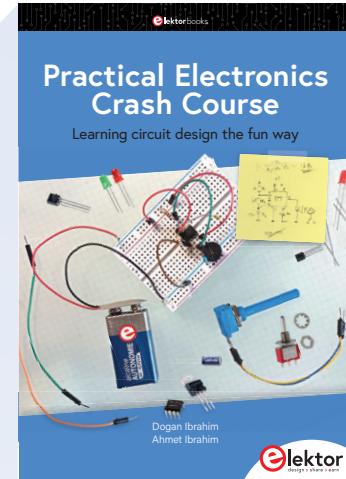
- Redresseurs pour convertir les signaux alternatifs en signaux continus
- Sources lumineuses (par exemple, diodes électroluminescentes ou LED)
- Régulateurs de tension (par exemple, diodes Zener)
- Multiplicateurs de tension
- Circuits déivateurs et circuits d'écrêtage
- Portes logiques et commutateurs
- Circuits Flyback
- Protection contre les tensions inverses
- Démodulation dans les récepteurs radio
- Etc.

Types de diodes

Il existe plusieurs types de diodes. Les plus courantes sont décrites ci-dessous.

Diode de signal

Il s'agit de petites diodes utilisées dans de nombreuses applications pour limiter le



flux de courant dans une seule direction. La **figure 1** montre une (petite) diode de signal typique et son symbole dans un circuit électrique.

La **figure 2** illustre la caractéristique I-V d'une diode de signal. La diode reste bloquée tant que sa tension de polarisation directe V_F n'atteint pas environ 0,7 V pour les diodes en silicium (0,3 V pour une diode au germanium). Il faut veiller à ne pas dépasser les limites spécifiées pour la diode, comme le courant direct maximal I_F et la tension inverse maximale V_R que la diode peut supporter avant de subir un claquage. La dissipation maximale de puissance est également une caractéristique importante à respecter. La puissance totale dissipée par une diode peut être calculée en multipliant la tension seuil (généralement 0,7 V pour les diodes au silicium) par le courant qui la traverse.

À titre d'exemple, la 1N4148 est une diode de signal largement utilisée dans de nombreuses applications. Les caractéristiques de cette diode sont :

- Tension inverse maximale $V_{RM} = 100$ V
- Courant direct moyen $I_F = 200$ mA
- Courant direct maximal $I_{FM} = 300$ mA
- Chute de tension maximale dans le sens direct $V_{FM} = 1.0$ V à 10 mA
- Valeur maximale de surcharge accidentelle non répétitive $I_{FSM} = 1.0$ A
- Puissance totale dissipée $P_D = 500$ mW
- Temps de récupération inverse $t_R < 4$ ns

Diode Schottky

Les diodes Schottky sont similaires aux diodes de signal. La chute de tension directe de la diode Schottky est de 0,2 V à 0,3 V. Elles sont utilisées dans les circuits à commutation rapide. La **figure 3** illustre le symbole du circuit de la diode Schottky. Un désavantage notable des diodes Schottky est leur faible tension de claquage inverse

Diode de redressement

Les diodes de redressement sont similaires

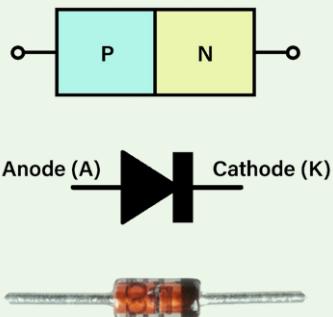


Figure 1. Jonction PN d'une diode à petits signaux.

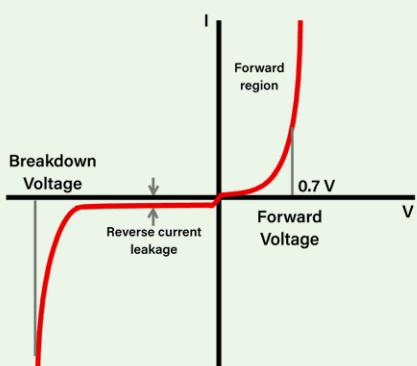


Figure 2. Caractéristique courant-tension (I - V) d'une diode de signal.



Figure 3. Symbole de la diode Schottky

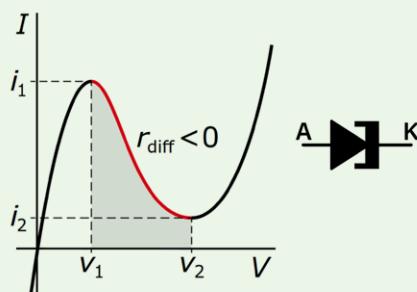


Figure 4. Diode à effet tunnel.

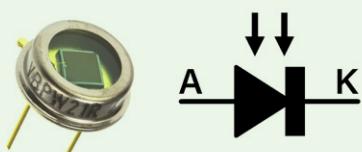


Figure 5. Photodiode.

aux diodes de signal, mais leur zone de jonction p-n est très large. Ces diodes sont utilisées dans les circuits de redressement de courant alternatif en courant continu. Les diodes de redressement ont les mêmes symboles que les diodes de signal.

Diode à effet tunnel

Une diode tunnel, ou diode Esaki, présente une région de résistance négative ($r_{\text{diff}} < 0$), ce qui signifie que le courant diminue lorsque la tension augmente. Lorsque la tension est appliquée pour la première fois à la diode, le courant commence à la traverser. Le courant augmente avec la tension. Lorsque la tension atteint un certain seuil, le courant commence à diminuer. En augmentant encore la tension, le courant augmente à nouveau. Les diodes tunnel sont utilisées dans les circuits de commutation, les oscillateurs et comme dispositifs de mémoire logique. La **figure 4** montre le symbole du circuit d'une diode tunnel et sa caractéristique I-V.

Photodiode

Une photodiode est une diode semi-conductrice sensible à la lumière qui convertit la lumière en électricité. Les photodiodes sont utilisées dans de nombreuses applications telles que la génération de petites quantités d'électricité (cellule solaire), dans les détecteurs de fumée et d'incendie, en tant que capteurs de lumière dans les caméras, dans les instruments médicaux pour analyser les échantillons, etc. La **figure 5** montre une photodiode et son symbole de circuit.

Diode varactor

Il s'agit d'une diode dont la capacité interne varie en fonction de la tension inverse appliquée. Elle est utilisée dans les circuits qui nécessitent une capacité variable. Par exemple, elle est utilisée dans les circuits d'accord de récepteurs radio pour varier la capacité du circuit d'accord en changeant la tension. La diode varactor dépend de la tension et est utilisée en polarisation inverse. Le symbole d'une diode varactor est similaire

à celui d'une diode de signal, mais se distingue par l'ajout d'une représentation de plaques parallèles à sa borne d'anode.

Diode Zener

Les diodes Zener laissent passer le courant dans les deux sens sous certaines conditions. En polarisation directe, elles fonctionnent de manière similaire aux diodes de signal ordinaires. En polarisation inverse, elles bloquent le courant à l'exception d'un très faible courant de fuite. Toutefois, lorsque la tension inverse aux bornes de la diode Zener est plus élevée que la tension Zener, la diode laisse passer le courant inverse. À partir de ce seuil, la tension aux bornes de la diode reste constante, indépendamment du courant qui la traverse. Les diodes Zener sont utilisées dans la régulation de tension, les références de tension, la suppression des surtensions, les circuits de commutation et dans les circuits d'écrêtage. La **figure 6** montre le symbole de la diode Zener et sa caractéristique I-V.

Les diodes Zener sont disponibles avec différentes tensions standard allant de 2,4 V à des centaines de volts.

Diode électroluminescente (LED)

Une diode électroluminescente est une diode semi-conductrice qui émet de la lumière lorsqu'elle est traversée par un courant. Les LED sont utilisées dans de nombreux circuits électroniques. Les applications les plus courantes sont :

- Lampes de poche et éclairage
- Ordinateurs et horloges
- Signaux de circulation (enseignes)
- Voyants lumineux
- Téléviseurs
- Phares automobiles
- Éclairage public
- Etc.

Les LED ont de nombreuses propriétés intéressantes, en voici quelques-unes :

- Rapide
- Différentes couleurs
- Produisent peu de chaleur

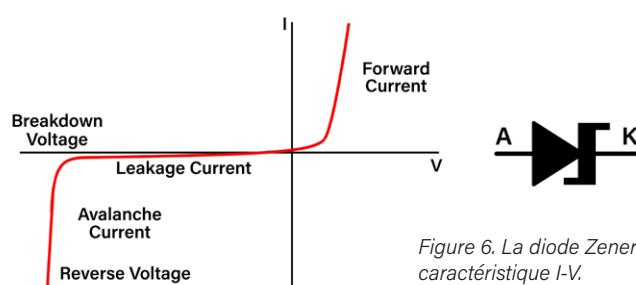


Figure 6. La diode Zener et sa caractéristique I-V.

- Faible
- Luminosité facilement contrôlable
- Faible coût
- Pas de période d'échauffement
- Peuvent être facilement regroupés

Les LED sont disponibles en plusieurs couleurs. La luminosité d'une LED est contrôlée par le courant qui la traverse. La tension directe V_F d'une LED dépend de la couleur de la lumière qu'elle émet. Comme le montre la **figure 7**, la chute de tension V_F est comprise entre 1,8 V et 3,5 V.

Les LED sont disponibles en différentes tailles. Bien que la forme cylindrique soit la plus courante, il existe également des LED rectangulaires et d'autres configurations, telles que les rubans (voir **figure 8**). Les LED ordinaires à trous traversants ont un diamètre de 3 mm et 5 mm. Indépendamment de leur taille, les LED nécessite généralement environ 16 à 20 mA pour une pleine luminosité (1 mA est souvent suffisant). Les LED destinées aux applications d'éclairage supportent des courants beaucoup plus élevés. Les LED à haut rendement n'ont besoin que de quelques milliampères de courant.

LED RGB

Une LED RGB (**figure 9**) est composée de trois LED, rouge, verte et bleue. On peut produire presque n'importe quelle couleur en combinant ces trois couleurs (**figure 10**). Les LED RGB sont disponibles en deux versions (**figure 11**) : à cathode commune (CC) et à anode commune (CA). La borne commune plus longue que les trois autres pour faciliter son identification. Si le type de LED n'est pas connu, il est possible de l'identifier facilement à l'aide d'un multimètre, comme suit :

- Mettez votre multimètre sur la fonction diode.
- Connectez le fil rouge du multimètre à la patte la plus longue (borne commune) de la LED RGB
- Connectez le fil noir du multimètre à l'une des autres pattes de la LED
- Si la LED s'allume, il s'agit d'une LED à anode commune (CA). Si elle ne s'allume pas, il s'agit d'une LED à cathode commune (CC) (ou elle peut être défectueuse).

LED bicolore

Les LED bicolores (voir **figure 12**) sont des composants à trois bornes, comprenant généralement une cathode commune (CC) et deux anodes, chacune dédiée à une couleur

différente. Il existe également des modèles à anode commune (CA). La patte commune, servant d'identification, est habituellement la borne centrale.

En plus des LED déjà mentionnées, il existe également des LED infrarouges et ultraviolettes, des LED haute tension (plusieurs LED en série dans un appareil), des LED numériques, des LED à couleur changeante et des LED clignotantes, etc. Notez qu'une LED rouge émet toujours une lumière rouge, mais qu'une LED transparente peut émettre n'importe quelle couleur, souvent le rouge, le bleu ou le blanc. Pour identifier la couleur émise par une LED, il est recommandé d'utiliser une diode ou un testeur de LED.

Circuit à LED

La **figure 13** montre un circuit simple d'une LED. Ce montage comprend une pile de 9 V et une LED rouge, ainsi qu'une résistance de limitation de courant. Dans ce circuit, un courant de 15 mA traversera la LED, qui devrait être assez lumineuse.

Si la tension directe V_F de la LED rouge (c'est-à-dire la tension aux bornes de la LED) est de 1,8 V, la tension aux bornes de la résistance sera de $9 - 1,8 = 7,2$ V. En utilisant la loi d'Ohm, la valeur de la résistance se calcule maintenant comme suit :

$$R = V/I = 7,2/0,015 = 480 \Omega$$

La valeur standard de la série E12 la plus proche est 470 Ω . L'utilisation de cette résistance donne un courant de $7,2/470 = 0,0153$ A = 15,3 mA, ce qui est assez proche (erreur de 2%).

Comme un courant de 15 mA produit une lumière rouge assez brillante, vous pourriez souhaiter réduire le courant de la LED à environ 3 mA. Pour ce faire, nous devons recalculer la valeur de R : $R = 7,2/0,003 = 2\,400 \Omega$ soit 2,4 k Ω . Vous pouvez utiliser une résistance de la série E12 la plus proche de 2,2 k Ω pour une luminosité légèrement élevée, ou 2,7 k Ω pour réduire légèrement la luminosité.

Notez que la luminosité de la lumière perçue par l'œil humain n'est pas linéaire, mais plutôt logarithmique. En général, pour percevoir une augmentation significative de la luminosité d'une LED, il est nécessaire de doubler le courant qui la traverse.

Régulateur à diode Zener

Dans ce projet, nous utilisons une batterie de 9 V comme source de tension. Une diode

LED colour	Forward voltage
Red	1.8 V
Yellow	2.1 V
Green	2.2 V
Blue	3.2 V
White	3.2 V

Figure 7. Tensions directes des LED.



Figure 8. Différents types de LED



Figure 9. Une LED RGB est transparente.

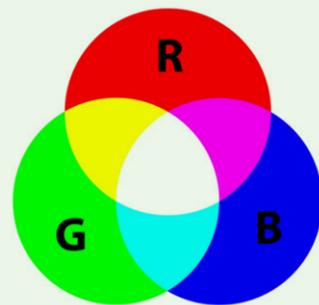


Figure 10. Production de différentes couleurs à partir du rouge, du vert et du bleu.

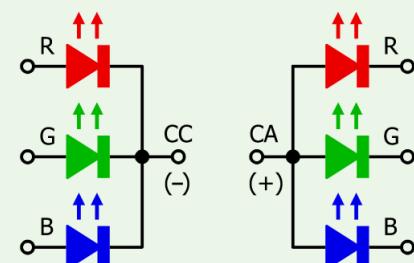


Figure 11. Les LED RGB peuvent avoir une cathode commune (CC, à gauche) ou une anode commune (CA, à droite).

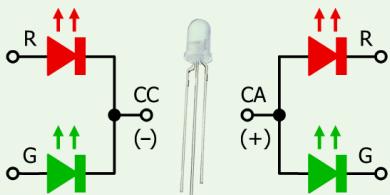


Figure 12. LED bicolore.

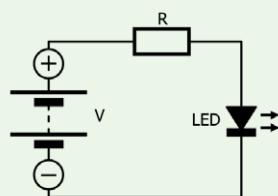


Figure 13. Montage simple d'une LED.

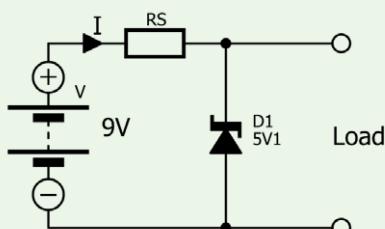


Figure 14. Régulateur de tension à diode Zener

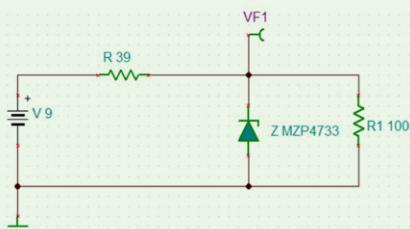


Figure 15. Le circuit à diode Zener dessiné dans le simulateur Tina.

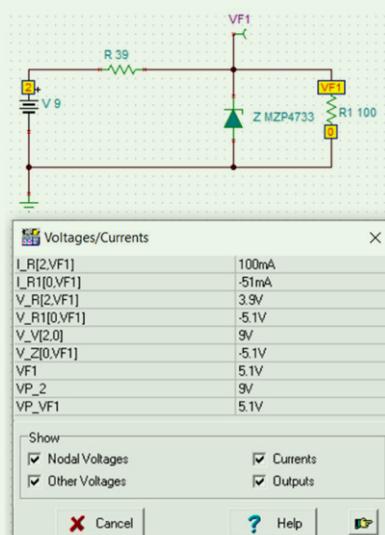


Figure 16. Résultats de la simulation du circuit.

Zener de 5,1 V, 1 W ($V_Z = 5,1$ V) est utilisée pour réguler la tension à 5,1 V pour la charge. On suppose que le courant de charge peut varier entre 0 A (à vide) et la valeur maximale supportée par la diode Zener choisie qui se caractérise par une puissance nominale.

La **figure 14** montre le schéma de circuit d'un régulateur de tension à diode Zener, où la tension de sortie est accessible aux bornes de la diode Zener. La valeur de la résistance ensérie R_S est calculée comme suit :

- Le courant maximal I_Z à travers la diode Zener, permettant une réduction de 50 % de la puissance (c'est-à-dire que la diode sera utilisée à 50 % de sa puissance maximale) pour la sécurité de la diode : $P/V = 0,5/5,1 = 0,098$ A = 98 mA.
- La valeur maximale de la résistance série $R_S = (V - V_Z)/I_Z = (9 - 5,1)/0,098 = 39,8$ Ω. Nous utiliserons $R_S = 39$ Ω comme valeur standard la plus proche.

Normalement, nous réservons 10 % du courant de charge à la diode Zener. Par conséquent, le courant maximal que la charge peut tirer est d'environ 88 mA.

En absence de charge, le courant maximal à travers la diode Zener sera de $(9 - 5,1)/39 = 100$ mA. La puissance maximale dissipée dans la diode sera de $100 \times 5,1 = 510$ mW, ce qui est conforme aux spécifications de la diode Zener. La puissance maximale dissipée par la résistance R_S est de $0,098 \times (9 - 5,1) = 382$ mW. En prévoyant une marge de sécurité et en doublant cette puissance, une résistance de 1 W serait appropriée pour assurer la sécurité du montage.

Simulation

- Lancez le simulateur TINA-TI.
- Dessinez le schéma comme indiqué dans la **figure 15** en sélectionnant le MZP4733 comme modèle de diode Zener. Il s'agit d'une diode Zener de 5,1 V. Connectez une résistance de 100 Ω à la sortie comme résistance de charge.
- Cliquez sur *Analysis DC analysis Table of DC results*
- Un tableau sera affiché montrant toutes les tensions et les courants dans le circuit. Notez que la tension à travers la charge (VF1) est de 5,1 V et que le courant à travers la charge (I_R1) est de 51 mA (voir **figure 16**).

Autre exemple

Concevez un circuit de régulateur à diode Zener pour une charge à courant constant de

500 mA. Supposons que la tension de source soit de 9 V et que la tension de charge requise soit de 5,1 V.

En admettant 10% de la valeur du courant de charge comme courant Zener, la dissipation de puissance dans la diode Zener sera de $5,1 \times 0,05 = 255$ mW. En prévoyant une marge de sécurité d'environ 50%, nous utiliserons une diode de 0,5 W.

Le courant total à travers la résistance R_S de la figure 14 sera de 550 mA. La valeur requise de $R_S = (9 - 5,1)/550 = 7,1$ Ω. Nous pouvons utiliser une résistance de 6,8 Ω comme valeur standard la plus proche. Le courant total sera alors de $(9 - 5,1)/6,8 = 574$ mA. La puissance dissipée dans la résistance est de $0,574 \times (9 - 5,1) = 2,2$ W. Nous utiliserons un modèle de 5 W pour des raisons de sécurité. 

240299-04

À propos de l'auteur

Dogan Ibrahim est titulaire d'une licence en ingénierie électronique, un Master en ingénierie du contrôle automatique et un doctorat en traitement des signaux numériques. Avant de rejoindre le milieu universitaire, il a acquis une expérience significative en travaillant pour plusieurs organisations industrielles. Le professeur Ibrahim est l'auteur de plus de 70 ouvrages techniques et a publié plus de 200 articles techniques sur les microcontrôleurs, les microprocesseurs et les domaines connexes. Il est ingénieur électricien agréé et membre de l'Institution of the Engineering Technology. Passionné de radio amateurisme depuis plusieurs décennies, il détient aussi une certification Arduino.

Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (d.ibrahim@btinternet.com) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).



produits

- **Dogan Ibrahim, Practical Electronics Crash Course, Elektor 2024**
www.elektor.fr/20821

- **Elektor Electronics Crash Course Bundle (Book + Kit of Parts)**
www.elektor.fr/20824