



2023

13. Diodes

R2 : Guide SCRAPY

Numéro de projet: **2021-1-FR01-KA220-SCH-000031617**



Le soutien de la Commission européenne à la production de cette publication ne constitue pas une approbation du contenu, qui reflète uniquement les points de vue des auteurs, et la Commission ne peut être tenue responsable de toute utilisation qui pourrait être faite des informations contenues dans ce document.



**Co-funded by
the European Union**

ECAM EPMI

30/04/2023

Table des matières

1. Introduction	2
2 diodes idéales	2
Symbole à 3 circuits	3
4 caractéristiques réelles des diodes.....	4
4.1 Relation courant-tension	5
4.2 Tension directe	6
4.3 Tension de claquage.....	6
4.4 Fiches techniques des diodes.....	7
5 types de diodes	8
5.1 Diodes de puissance.....	9
5.2 Diodes électroluminescentes (LED !).....	10
5.3 Diodes Schottky	11
5.4 Diodes Zener	12
5.5 Photodiodes.....	13
6. Applications des diodes.....	13
6.1 Redresseurs	13
6.2 Protection contre le courant inverse	15
6.3Portes logiques	15
7. Diodes Flyback et suppression des pointes de tension	16
8Conclusion	17

1. Introduction

Une fois que vous avez abandonné les composants simples et passifs que sont les résistances, les condensateurs et les inductances, il est temps d'entrer dans le monde merveilleux des semi-conducteurs. L'un des composants semi-conducteurs les plus utilisés est la diode.

Diode

Dans cette leçon, nous aborderons :

- Qu'est-ce qu'une diode !?
- Théorie du fonctionnement des diodes
- Propriétés importantes des diodes
- Différents types de diodes
- A quoi ressemblent les diodes
- Applications typiques des diodes

Certains des concepts de cette leçon s'appuient sur des connaissances antérieures en électronique. Avant de vous lancer dans ce didacticiel, pensez à lire (au moins parcourir) ceux-ci en premier :

- Qu'est-ce qu'un circuit ?
 - Chaque projet électrique commence par un circuit. Vous ne savez pas ce qu'est un circuit ? Nous sommes là pour vous aider.
- Tension, courant, résistance et loi d'Ohm
 - Découvrez la loi d'Ohm, l'une des équations les plus fondamentales de tout le génie électrique.
- Qu'est-ce que l'électricité ?
 - Nous pouvons voir l'électricité en action sur nos ordinateurs, éclairant nos maisons, comme la foudre lors d'orages, mais qu'est-ce que c'est ? Ce n'est pas une question facile, mais ce tutoriel va vous y éclairer !
- Circuits série et parallèle
 - Une introduction aux circuits série et parallèle.

2 diodes idéales

La fonction clé d'une diode idéale est de contrôler la direction du flux de courant. Le courant traversant une diode ne peut aller que dans un seul sens, appelé sens direct. Actuellement, la tentative de circulation dans le sens inverse est bloquée. Ils sont comme le clapet anti-retour de l'électronique.

Si la tension aux bornes d'une diode est négative, aucun courant ne peut circuler* et la diode idéale ressemble à un circuit ouvert. Dans une telle situation, la diode est dite éteinte ou polarisée en inverse.

Tant que la tension aux bornes de la diode n'est pas négative, elle « s'allumera » et conduira le courant. Idéalement*, une diode agirait comme un court-circuit (0 V à ses bornes) si elle conduisait du courant. Lorsqu'une diode conduit du courant, elle est polarisée en direct (jargon électronique pour « on »).



La relation courant-tension d'une diode idéale. Toute tension négative produit un courant nul – un circuit ouvert. Tant que la tension est non négative, la diode ressemble à un court-circuit.

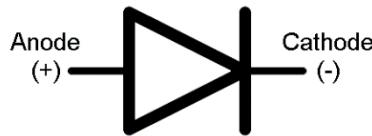
Caractéristiques idéales des diodes

Mode de fonctionnement	Activé (biaisé vers l'avant)	Désactivé (polarisation inverse)
Courant traversant	$i_e > 0$	$i_e = 0$
Tension aux bornes	$V = 0$	$V < 0$
La diode ressemble à	Court-circuit	Circuit ouvert

Symbole à 3 circuits

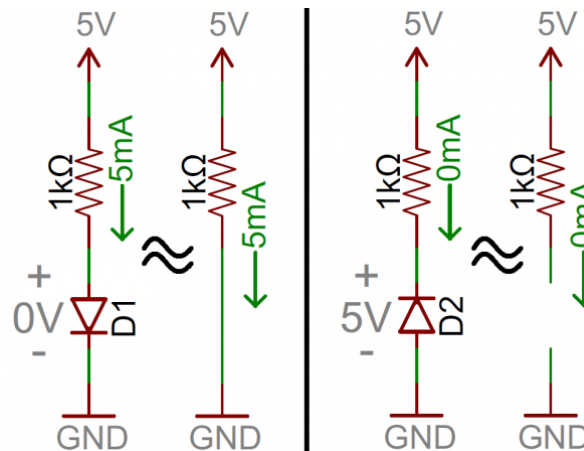
Chaque diode a deux bornes – des connexions à chaque extrémité du composant – et ces bornes sont polarisées, ce qui signifie que les deux bornes sont nettement différentes. Il est important de ne pas mélanger les connexions sur une diode. L'extrémité positive d'une diode s'appelle l'anode et l'extrémité négative s'appelle la cathode. Le courant peut circuler de l'extrémité de l'anode à la cathode, mais pas dans l'autre sens. Si vous oubliez dans quel sens le courant circule à travers une diode, essayez de vous souvenir du mnémonique ACID : "courant d'anode dans la diode" (l'anode-cathode est également une diode).

Le symbole du circuit d'une diode standard est un triangle adossé à une ligne. Comme nous le verrons plus loin dans ce didacticiel, il existe une grande variété de types de diodes, mais leur symbole de circuit ressemble généralement à ceci :



Le symbole des diodes

La borne entrant dans le bord plat du triangle représente l'anode. Le courant circule dans la direction indiquée par le triangle/la flèche, mais il ne peut pas aller dans l'autre sens.



Un exemple simple de circuit de diodes

Ci-dessus, quelques exemples simples de circuits de diodes. À gauche, la diode D1 est polarisée en direct et permet au courant de circuler dans le circuit. Cela ressemble à un court-circuit. À droite, la diode D2 est polarisée en inverse. Le courant ne peut pas circuler dans le circuit et cela ressemble à un circuit ouvert.

*Mise en garde! Astérisque! Ce n'est pas tout à fait vrai... Malheureusement, il n'existe pas de diode idéale. Mais ne vous inquiétez pas ! Les diodes existent, elles ont juste quelques caractéristiques qui les font fonctionner un peu moins que notre modèle idéal...

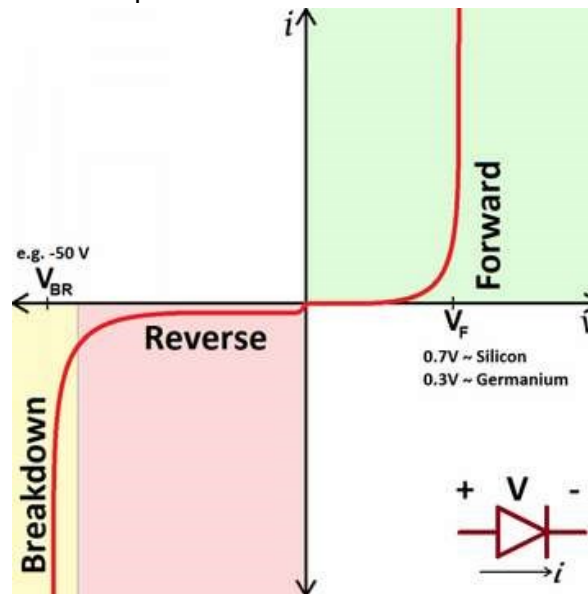
4 caractéristiques réelles des diodes

Idéalement, les diodes bloqueront tout courant circulant dans le sens inverse, ou agiront simplement comme un court-circuit si le courant circule dans le sens inverse. Malheureusement, le comportement réel des diodes n'est pas tout à fait idéal. Les diodes

consomment une certaine quantité d'énergie lors de la conduite du courant direct et ne bloquent pas tout courant inverse. Les diodes du monde réel sont un peu plus compliquées et elles possèdent toutes des caractéristiques uniques qui définissent leur fonctionnement.

4.1 Relation courant-tension

La caractéristique la plus importante de la diode est sa relation courant-tension (i_v). Cela définit le courant qui traverse un composant, compte tenu de la tension mesurée à ses bornes. Les résistances, par exemple, ont une relation i_v simple et linéaire... la loi d'Ohm. La courbe i_v d'une diode est cependant entièrement non linéaire. Cela ressemble à ceci :



La relation courant-tension d'une diode. Pour exagérer quelques points importants de l'intrigue, les échelles des moitiés positive et négative ne sont pas égales.

En fonction de la tension appliquée à ses bornes, une diode fonctionnera dans l'une des trois régions suivantes :

1. Polarisation directe : lorsque la tension aux bornes de la diode est positive, la diode est "allumée" et le courant peut passer. La tension doit être supérieure à la tension directe (V_F) pour que le courant soit significatif.
2. Polarisation inverse : Il s'agit du mode "off" de la diode, où la tension est inférieure à V_F mais supérieure à $-V_{BR}$. Dans ce mode, le flux de courant est (en grande partie) bloqué et la diode est éteinte. Une très petite quantité de courant (de l'ordre de nA) – appelé courant de saturation inverse – peut circuler en sens inverse à travers la diode.
3. Panne : lorsque la tension appliquée aux bornes de la diode est très élevée et négative, de nombreux courants pourront circuler dans le sens inverse, de la cathode à l'anode.

4.2 Tension directe

Pour « s'allumer » et conduire le courant dans le sens direct, une diode nécessite l'application d'une certaine quantité de tension positive à ses bornes. La tension typique requise pour allumer la diode est appelée tension directe (VF). On peut également l'appeler tension de coupure ou tension de marche.

Comme nous le savons grâce à la courbe i_v , le courant traversant et la tension aux bornes d'une diode sont interdépendants. Plus de courant signifie plus de tension et moins de tension signifie moins de courant. Une fois que la tension atteint environ la tension nominale directe, de fortes augmentations de courant ne devraient toujours signifier qu'une très faible augmentation de tension. Si une diode est entièrement conductrice, on peut généralement supposer que la tension qui la traverse correspond à la tension nominale directe.



Un multimètre avec réglage de diode peut être utilisé pour mesurer (le minimum) la chute de tension directe d'une diode.

Le VF d'une diode spécifique dépend du matériau semi-conducteur à partir duquel elle est fabriquée. En règle générale, une diode au silicium aura une VF d'environ 0,6 à 1 V. Une diode à base de germanium pourrait être inférieure, autour de 0,3 V. Le type de diode a également une certaine importance dans la définition de la chute de tension directe ; les diodes électroluminescentes peuvent avoir un VF beaucoup plus grand, tandis que les diodes Schottky sont spécifiquement conçues pour avoir une tension directe beaucoup plus faible que d'habitude.

4.3 Tension de claquage

Si une tension négative suffisamment importante est appliquée à la diode, elle cédera et permettra au courant de circuler dans le sens inverse. Cette grande tension négative est appelée tension de claquage. Certaines diodes sont conçues pour fonctionner dans la zone de claquage, mais pour la plupart des diodes normales, il n'est pas très sain d'être soumises à de fortes tensions négatives.

Pour les diodes normales, cette tension de claquage est d'environ -50 V à -100 V, voire plus négative.

4.4 Fiches techniques des diodes

Toutes les caractéristiques ci-dessus doivent être détaillées dans la fiche technique de chaque diode. Par exemple, cette fiche technique pour une diode 1N4148 répertorie la tension directe maximale (1 V) et la tension de claquage (100 V) (parmi de nombreuses autres informations) :

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	V_F			1000	mV
Reverse current	$V_R = 20\text{ V}$	I_R			25	nA
	$V_R = 20\text{ V}, T_J = 150^{\circ}\text{C}$	I_R			50	μA
	$V_R = 75\text{ V}$	I_R			5	μA
Breakdown voltage	$I_R = 100\text{ }\mu\text{A}, t_p/T = 0.01, t_p = 0.3\text{ ms}$	$V_{(BR)}$	100			V
Diode capacitance	$V_R = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}, V_{HF} = 50\text{ mV}$	C_D			4	pF
Rectification efficiency	$V_{HF} = 2\text{ V}, f = 100\text{ MHz}$	η_r	45			%
Reverse recovery time	$I_F = I_R = 10\text{ mA}, I_R = 1\text{ mA}$	t_{rr}			8	ns
	$I_F = 10\text{ mA}, V_R = 6\text{ V}, I_R = 0.1 \times I_R, R_L = 100\text{ }\Omega$	t_{rr}			4	ns
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT		
Repetitive peak reverse voltage		V_{RRM}	100	V		
Reverse voltage		V_R	75	V		
Peak forward surge current	$t_p = 1\text{ }\mu\text{s}$	I_{FSM}	2	A		
Repetitive peak forward current		I_{FRM}	500	mA		
Forward continuous current		I_F	300	mA		
Average forward current	$V_R = 0$	$I_{F(AV)}$	150	mA		
Power dissipation	$l = 4\text{ mm}, T_L = 45^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	440	mW		
	$l = 4\text{ mm}, T_L \leq 25^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	500	mW		

Une fiche technique des diodes

Une fiche technique peut même vous présenter un graphique courant-tension d'apparence très familière, pour détailler davantage le comportement de la diode. Ce graphique de la fiche technique de la diode agrandit la partie courbe vers l'avant de la courbe iv. Remarquez que plus de courant nécessite plus de tension :

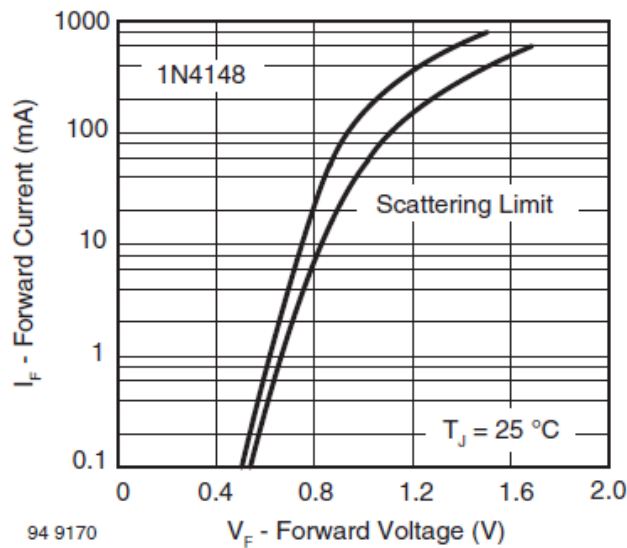


Fig. 2 - Forward Current vs. Forward Voltage

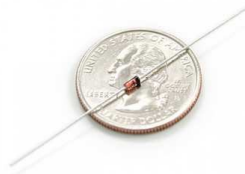
Graphique courant-tension

Ce tableau met en évidence une autre caractéristique importante de la diode : le courant direct maximum. Comme n'importe quel composant, les diodes ne peuvent dissiper qu'une quantité limitée d'énergie avant d'exploser. Toutes les diodes doivent indiquer le courant maximum, la tension inverse et la dissipation de puissance. Si une diode est soumise à plus de tension ou de courant qu'elle ne peut en supporter, attendez-vous à ce qu'elle chauffe (ou pire ; fonde, fume,...). Certaines diodes sont bien adaptées aux courants élevés - 1 A ou plus - d'autres, comme la diode à petit signal 1N4148 présentée ci-dessus, ne conviennent qu'à environ 200 mA. Ce 1N4148 n'est qu'un petit échantillon de tous les différents types de diodes disponibles. Nous explorerons ensuite l'incroyable variété de diodes disponibles et l'utilité de chaque type.

5 types de diodes

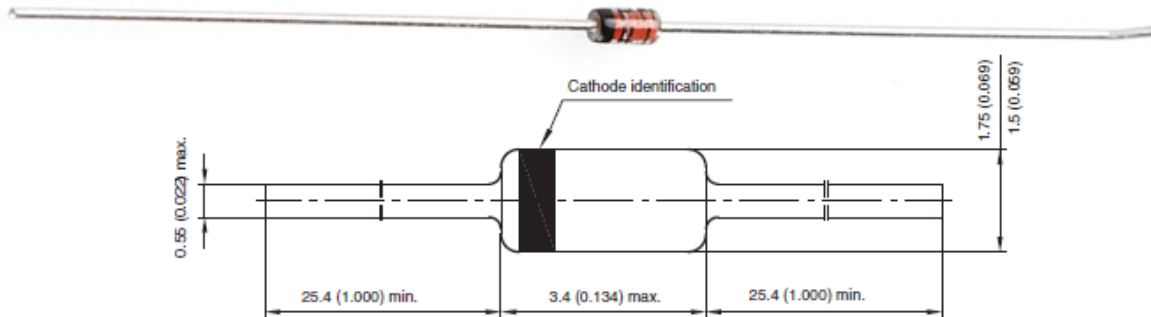
Diodes normales-Diodes de signal

Les diodes de signal standard font partie des membres les plus basiques, moyens et sans fioritures de la famille des diodes. Ils ont généralement une chute de tension directe moyenne à élevée et un faible courant nominal maximum. Un exemple courant de diode de signal est la 1N4148.



Diodes de signalisation standard

À usage très général, il présente une chute de tension directe typique de 0,72 V et un courant nominal direct maximum de 300 mA.



Une diode à petit signal, la 1N4148. Notez le cercle noir autour de la diode, qui indique laquelle des bornes est la cathode.

5.1 Diodes de puissance

Un redresseur ou une diode de puissance est une diode standard avec un courant nominal maximum beaucoup plus élevé. Ce courant nominal plus élevé se fait généralement au prix d'une tension directe plus élevée. Le 1N4001 est un exemple de diode de puissance.

Le 1N4001 a une intensité nominale de 1 A et une tension directe de 1,1 V.



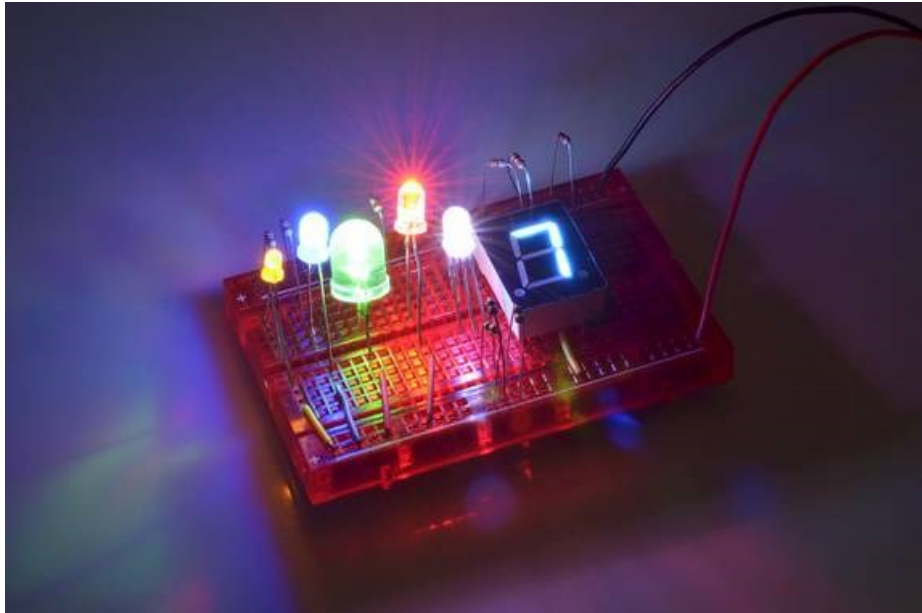
Une diode PTH 1N4001.



Une diode PTH 1N4001. Cette fois, une bande grise indique quelle broche est la cathode.

5.2 Diodes électroluminescentes (LED !)

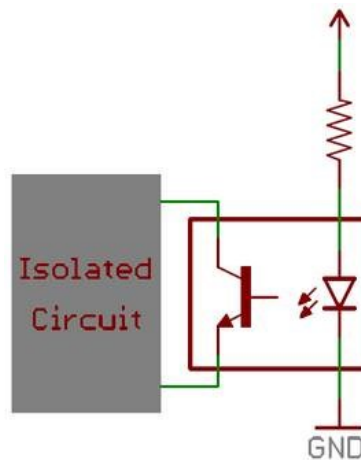
Le membre le plus flashy de la famille des diodes doit être la diode électroluminescente (DEL). Ces diodes s'allument littéralement lorsqu'une tension positive est appliquée.



Une poignée de LED traversantes. De gauche à droite : un jaune 3 mm, un bleu 5 mm, un vert 10 mm, un rouge super brillant 5 mm, un RVB 5 mm et une LED bleue à 7 segments.

Comme les diodes normales, les LED ne permettent au courant que dans une seule direction. Ils ont également une tension nominale directe, qui est la tension nécessaire pour qu'ils s'allument. La valeur V_F d'une LED est généralement supérieure à celle d'une diode normale (1,2 ~ 3 V) et dépend de la couleur émise par la LED. Par exemple, la tension directe nominale d'une LED bleue super brillante est d'environ 3,3 V, tandis que celle d'une LED rouge super brillante de taille égale n'est que de 2,2 V.

Vous trouverez le plus souvent des LED dans les applications d'éclairage. Ils sont clignotants et amusants ! Mais plus encore, leur haute efficacité a conduit à une utilisation généralisée dans les lampadaires, les écrans, le rétroéclairage et bien plus encore. D'autres LED émettent une lumière qui n'est pas visible à l'œil humain, comme les LED infrarouges, qui constituent l'épine dorsale de la plupart des télécommandes. Une autre utilisation courante des LED consiste à isoler optiquement un système haute tension dangereux d'un circuit basse tension. Les opto-isolateurs associent une LED infrarouge à un photocapteur, qui permet au courant de circuler lorsqu'il détecte la lumière de la LED. Vous trouverez ci-dessous un exemple de circuit d'un optoisolateur. Notez comment le symbole schématique de la diode diffère de la diode normale. Les symboles LED ajoutent quelques flèches sortant du symbole.



Un optoisolateur

5.3 Diodes Schottky

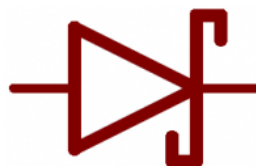
Une autre diode très courante est la diode Schottky.



Une diode Schottky

La composition semi-conductrice d'une diode Schottky est légèrement différente de celle d'une diode normale, ce qui entraîne une chute de tension directe beaucoup plus faible, qui se situe généralement entre 0,15 V et 0,45 V. Cependant, ils auront toujours une tension de claquage très élevée.

Les diodes Schottky sont particulièrement utiles pour limiter les pertes lorsque chaque bit de tension doit être épargné. Ils sont suffisamment uniques pour avoir leur propre symbole de circuit, avec quelques coudes à l'extrémité de la ligne cathodique.



Un symbole de diode Schottky

5.4 Diodes Zener

Les diodes Zener sont les étranges exclus de la famille des diodes. Ils sont généralement utilisés pour conduire intentionnellement des courants inverses.

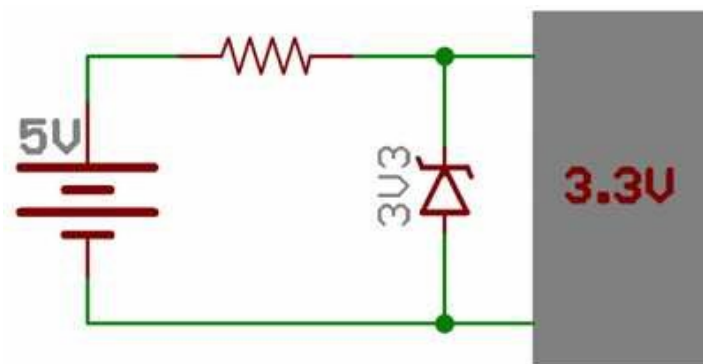


Une diode Zener

Zener est conçu pour avoir une tension de claquage très précise, appelée claquage Zener ou tension Zener. Lorsqu'un courant suffisant circule en sens inverse dans le Zener, la chute de tension à ses bornes restera stable à la tension de claquage.

Tirant parti de leur propriété de claquage, les diodes Zener sont souvent utilisées pour créer une tension de référence connue exactement à leur tension Zener. Ils peuvent être utilisés comme régulateurs de tension pour de petites charges, mais ils ne sont pas conçus pour réguler la tension des circuits qui tireront des quantités importantes de courant.

Zener est suffisamment spécial pour obtenir son symbole de circuit, avec des extrémités ondulées sur la ligne cathodique. Le symbole pourrait même définir quelle est exactement la tension Zener de la diode. Voici une diode Zener de 3,3 V agissant pour créer une référence de tension solide de 3,3 V :



Diode Zener 3,3 V agissant pour créer une référence de tension solide de 3,3 V

5.5 Photodiodes

Les photodiodes sont des diodes spécialement construites qui captent l'énergie des photons de lumière (voir Physique, quantique) pour générer du courant électrique. Fonctionnant en quelque sorte comme un anti-LED.



Une photodiode BPW34 (pas le quart, le petit truc en plus). Mettez-le au soleil et il peut générer environ quelques μW de puissance !

Les cellules solaires sont le principal bienfaiteur de la technologie des photodiodes. Mais ces diodes peuvent aussi être utilisées pour détecter la lumière, voire communiquer optiquement.

6. Applications des diodes

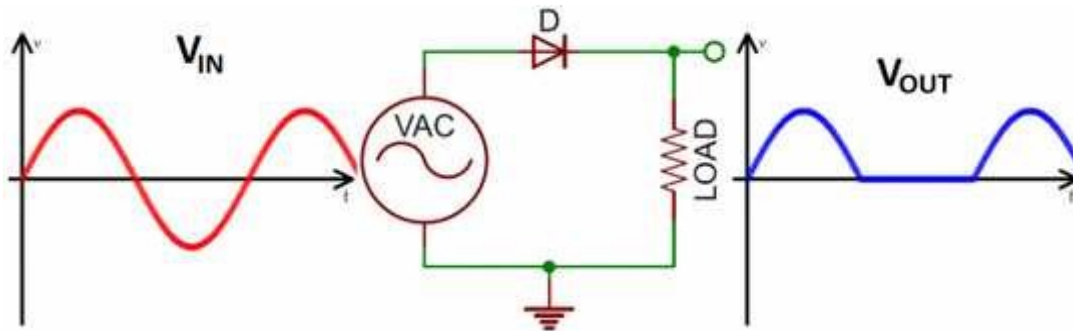
Pour un composant aussi simple, les diodes ont un large éventail d'utilisations. Vous trouverez une diode d'un certain type dans presque tous les circuits. Ils pourraient être présents dans n'importe quoi, depuis une logique numérique à petit signal jusqu'à un circuit de conversion de puissance haute tension. Explorons certaines de ces applications.

6.1 Redresseurs

Un redresseur est un circuit qui convertit le courant alternatif (AC) en courant continu (DC). Cette conversion est essentielle pour toutes sortes d'appareils électroniques ménagers. Les signaux CA proviennent des prises murales de votre maison, mais le CC est ce qui alimente la plupart des ordinateurs et autres appareils microélectroniques.

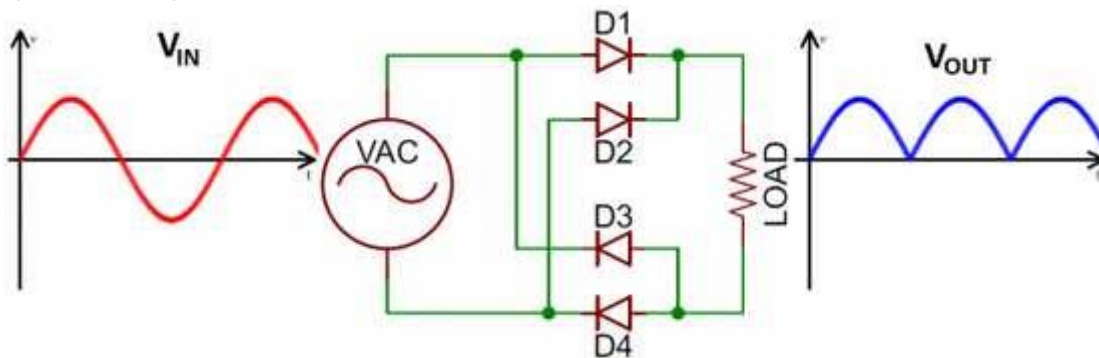
Le courant dans les circuits CA alterne – passe rapidement entre le sens positif et le sens négatif – mais le courant dans un signal CC ne circule que dans un seul sens. Ainsi, pour convertir du courant alternatif en courant continu, vous devez simplement vous assurer que le courant ne peut pas circuler dans le sens négatif. Cela ressemble à un travail pour DIODES !

Un redresseur demi-onde peut être constitué d'une seule diode. Si un signal alternatif, comme une onde sinusoïdale par exemple, est envoyé à travers une diode, toute composante négative du signal est coupée.



Formes d'onde de tension d'entrée (rouge/gauche) et de sortie (bleu/droite), après avoir traversé le circuit redresseur demi-onde (milieu).

Un pont redresseur double alternance utilise quatre diodes pour convertir ces bosses négatives du signal CA en bosses positives.



Le circuit redresseur en pont (au milieu) et la forme d'onde de sortie qu'il crée (bleu/droite).

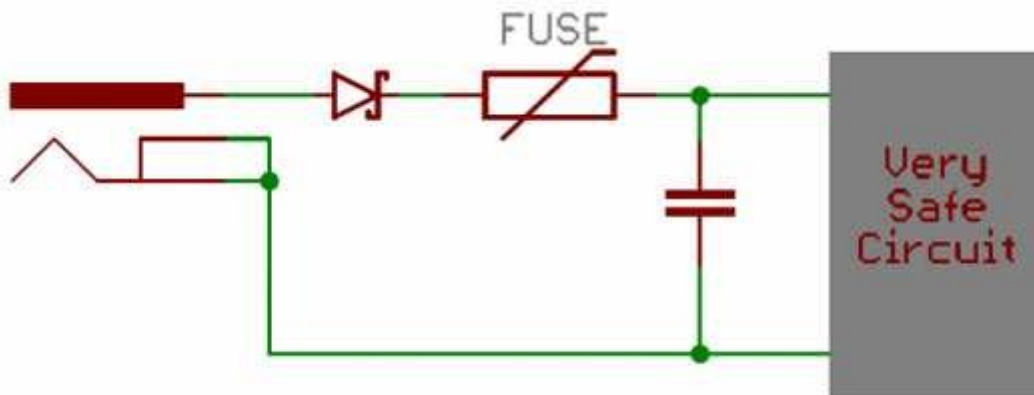
Ces circuits sont un composant essentiel des alimentations CA vers CC, qui transforment le signal 120/240 V CA de la prise murale en signaux CC 3,3 V, 5 V, 12 V, etc. Si tu déchirais un murverrue, vous y verrez probablement une poignée de diodes, le rectifiant.



Pouvez-vous repérer les quatre diodes constituant un pont redresseur dans cette verrue murale ?

6.2 Protection contre le courant inverse

Avez-vous déjà collé une batterie dans le mauvais sens ? Ou inverser les fils d'alimentation rouge et noir ? Si tel est le cas, une diode pourrait être due au fait que votre circuit soit toujours en vie. Une diode placée en série avec le côté positif de l'alimentation est appelée diode de protection inverse. Cela garantit que le courant ne peut circuler que dans le sens positif et que l'alimentation applique uniquement une tension positive à votre circuit.



Protection contre le courant inverse

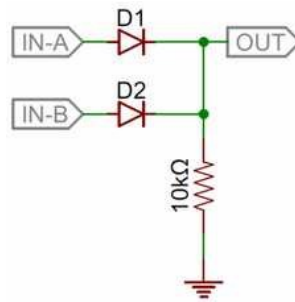
Cette application de diode est utile lorsqu'un connecteur d'alimentation n'est pas polarisé, ce qui facilite la connexion accidentelle de l'alimentation négative au positif du circuit d'entrée.

L'inconvénient d'une diode de protection inverse est qu'elle induira une certaine perte de tension en raison de la chute de tension directe. Cela fait des diodes Schottky un excellent choix pour les diodes de protection inverse.

6.3 Portes logiques

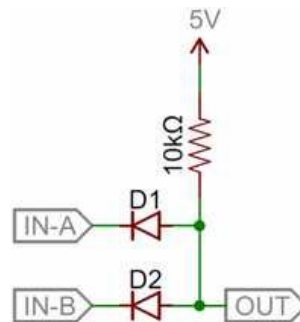
Oubliez les transistors ! Des portes logiques numériques simples, comme ET ou OU, peuvent être construites à partir de diodes.

Par exemple, une porte OU à diode à deux entrées peut être construite à partir de deux diodes avec des nœuds cathodiques partagés. La sortie du circuit logique est également située à ce nœud. Chaque fois que l'une des entrées (ou les deux) est un 1 logique (haut/5 V), la sortie devient également un 1 logique. Lorsque les deux entrées sont à 0 logique (faible/0 V), la sortie est tirée vers le bas à travers la résistance.



Diode à deux entrées OU

Une porte ET est construite de la même manière. Les anodes des deux diodes sont connectées, là où se trouve la sortie du circuit. Les deux entrées doivent être logiques 1, forçant le courant à circuler vers la broche de sortie et à la tirer également vers le haut. Si l'une des entrées est faible, le courant de l'alimentation 5 V traverse la diode.



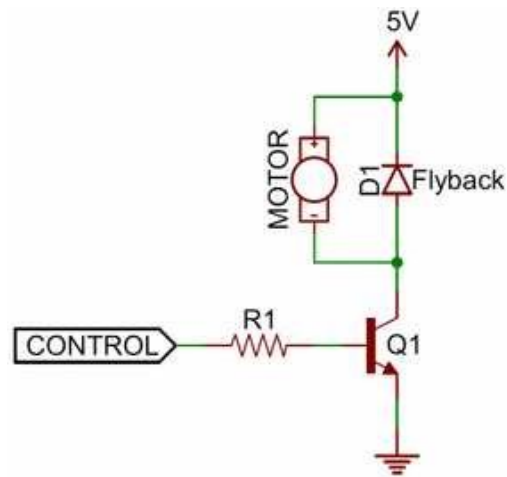
Diode avec porte ET

Pour les deux portes logiques, davantage d'entrées peuvent être ajoutées en ajoutant une seule diode.

7. Diodes Flyback et suppression des pointes de tension

Les diodes sont très souvent utilisées pour limiter les dommages potentiels dus à des pics de tension importants et inattendus. Les diodes de suppression de tension transitoire (TVS) sont des diodes spécialisées, comme les diodes plus zen - des tensions de claquage faibles (souvent autour de 20 V) - mais avec de très grandes puissances nominales (souvent de l'ordre de kilowatts). Ils sont conçus pour shunter les courants et absorber l'énergie lorsque les tensions dépassent leur tension de claquage.

Les diodes flyback effectuent un travail similaire en supprimant les pics de tension, en particulier ceux induits par un composant inductif, comme un moteur. Lorsque le courant traversant un inducteur change soudainement, une pointe de tension est créée, éventuellement une pointe négative très importante. Une diode flyback placée à travers la charge inductive donnera à ce signal de tension négative un chemin sûr pour se décharger, en boucle encore et encore à travers l'inductance et la diode jusqu'à ce qu'il finisse par s'éteindre.



Diode de retour

Ce ne sont là que quelques applications pour cet étonnant petit composant semi-conducteur.

8 Conclusion

Maintenant que vous maîtrisez les diodes, vous souhaitez explorer davantage les semi-conducteurs :

- Transistors
- LED
- Ou découvrez les circuits intégrés, comme :
 - 555 minuteriers
 - Des amplificateurs opérationnels
 - Registres à décalage

Ou découvrez quelques-uns des autres composants électroniques courants :

- Résistances
- Condensateurs
- Inducteurs
- Régulateurs de tension