

Chapitre 4 : Les diodes

1. Introduction

La diode est le composant à semi-conducteur le plus simple, est un élément qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens. Le courant circule de l'anode à la cathode, par conséquent la diode est un composant orienté.

2. Principe de la diode à jonction PN

Une jonction PN est constituée par la juxtaposition de deux régions de types différents d'un même monocristal de semi-conducteur.

Lorsque l'on assemble les deux régions, la différence de concentration entre les porteurs des régions P et N va provoquer la circulation d'un courant de diffusion tendant à égaliser la concentration en porteurs d'une région à l'autre.

- Dans la zone P les porteurs majoritaires sont les trous, et les atomes accepteurs constituent un réseau d'ions négatifs
- Dans la région N les porteurs majoritaires sont les électrons, et les atomes donneurs constituent un réseau d'ions positifs

Une représentation schématique de chaque région est affichée en Fig. 1. Les impuretés fixes ionisées, les porteurs majoritaires et les porteurs minoritaires sont représentés dans chaque région.

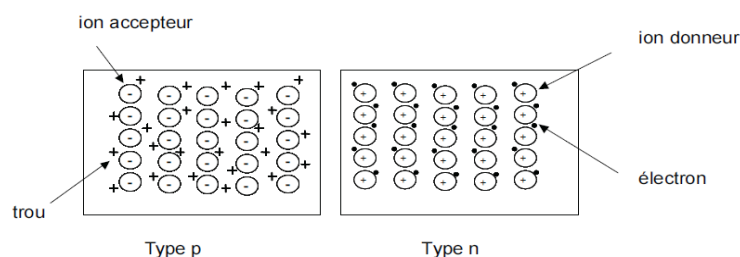


Figure 4. 1 : Présentation schématique de la région P et de la région N

3. Polarisation de la jonction PN

La polarisation est obtenue par l'application, entre sa région P et sa région N, d'une tension externe, V_{ext} . Il peut avoir deux façons de branchement de la source externe, son plus au côté P ou son plus au côté N.

3.1. Polarisation directe d'une jonction

La borne négative de V_{ext} est reliée à la région N de la jonction PN et que la borne positive se trouve branchée à la région P. Une représentation de la polarisation directe pour une jonction PN est illustrée à la figure ci-dessous ; deux cas peuvent se présenter :

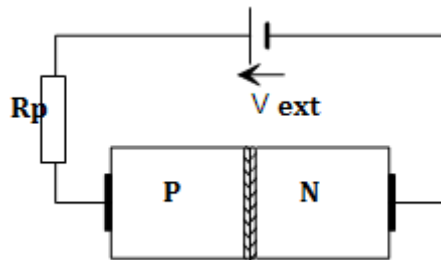


Figure 4. 2

$$I = I_s(e^{V_D/u_T} - 1)$$

I_s : courant de saturation inverse.

K : constante de Boltzman.

T : température, à la température ambiante

$KT=26\text{mv}$.

$V_{ext} > V_i$: le champ électrique E_{ex} crée par V_{ext} s'oppose à l'effet du champ interne E_i créée par V_i . Par conséquent, l'effet de diffusion va être renforcé.

$V_{ext} < V_i$: l'énergie externe fournie ne peut convaincre la barrière de potentiel, il ne peut s'établir une véritable conduction.

Une ddp extérieure appliquée dans le sens direct abaisse la barrière de potentiel, diminue la largeur de la zone de déplétion et favorise le passage des porteurs majoritaires ; un courant I_d passe à travers la jonction qui est dite passante.

3.2. Polarisation inverse d'une jonction

La figure ci-dessous illustre une source de tension branchée de manière à fournir une polarisation inverse au borne d'une jonction PN. Notez que la borne positive de V_{ext} est connectée à la région N de la jonction et la borne négative à la région p.

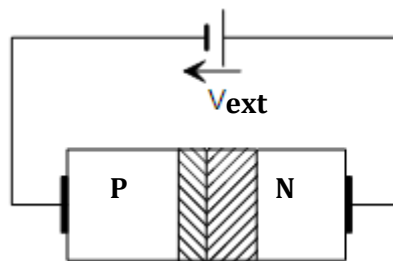


Figure 4. 3

Dans ce cas si on néglige l'exponentiel devant le 1, on obtient le courant inverse traversant la jonction, appelé courant de saturation. Il est très faible est sensiblement constant. C'est pour cette raison qu'on dit que la diode ne conduit pas.

4. Symbole

Le symbole schématique de la diode d'usage général est illustré à la figure 4. La région N est la cathode (K) et la région P se nomme l'anode (A).

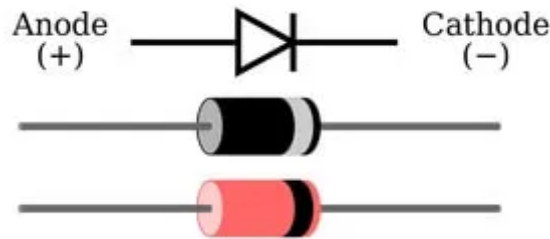


Figure 4. 4 : Symbole & composant physique

Remarque : La bague indique la cathode. **Les diodes ne doivent pas être montées à l'envers !**

5. Schéma équivalent d'une diode

5.1. La diode idéale

Dans ce cas la diode est un interrupteur commandé par la tension Anode-Cathode.

$V_{AK} > 0 \Rightarrow$ La diode est passante $\Rightarrow$ l'interrupteur est fermé.

$V_{AK} < 0 \Rightarrow$ La diode est bloquée $\Rightarrow$ l'interrupteur est ouvert.

5.2. La diode réelle

Le modèle de la diode réelle tient compte de la barrière de potentiel, de la faible résistance dynamique et de la forte résistance inverse.

Lorsque la diode est sous polarisation directe, elle agit comme un interrupteur fermé en série avec la barrière de potentiel et la résistance dynamique r_d .

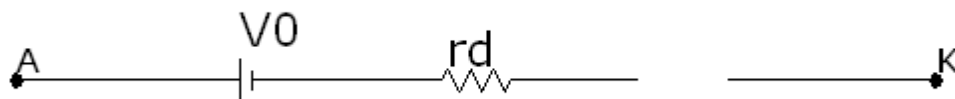


Figure 4. 5

V_0 : tension de seuil (barrière de potentiel) à partir de laquelle la diode commence à conduire.
 r_d : résistance dynamique de la diode

Lorsque la diode est sous polarisation inverse, elle agit comme un interrupteur ouvert en parallèle avec la forte résistance inverse interne r .

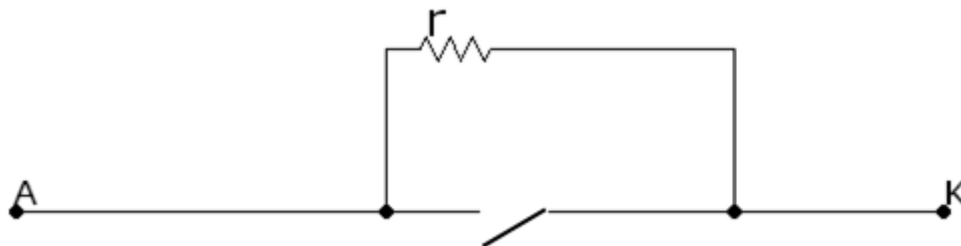
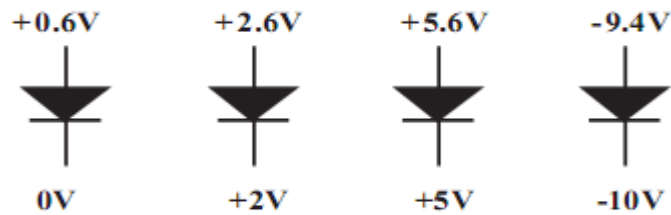
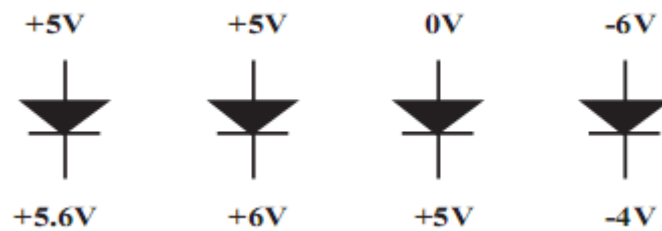


Figure 4. 6

1. Exemple de polarisation directe :



2. Exemple de polarisation en inverse :



6. Courbe caractéristique réelle $I_D(V_D)$ d'une diode

La caractéristique d'une diode est la courbe représentant la variation du courant I traversant la diode en fonction de la tension V qui lui est appliquée.

La caractéristique dans le sens direct relative à la diode est définie à l'aide de l'équation suivante : $I = I_s(e^{V_D/U_T} - 1)$

I_s : courant de saturation inverse.

k : constante de Boltzman.

T : température, à la température ambiante $KT=26\text{mv}$.

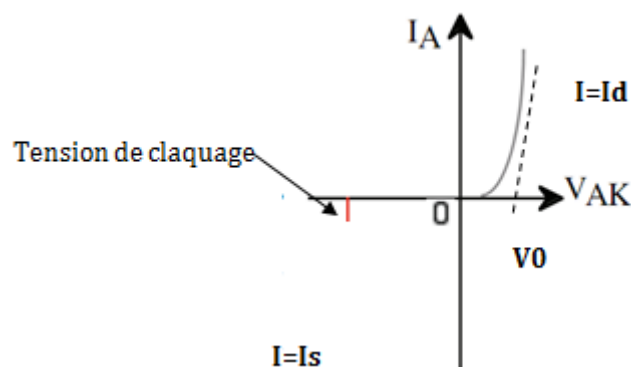


Figure 4. 7

6.1. Influence de la température

L'effet de la température sur la caractéristique directe de la diode est déterminé par la relation suivante :

$$I_D = I_s \left(\exp \frac{q V_j}{k_B T} - 1 \right)$$

La caractéristique d'une diode pour différentes valeurs de température est donnée par la figure ci-dessous :

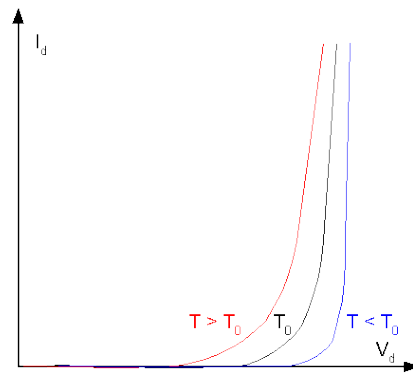


Figure 4. 8 : Effet de la température

6.2. Puissance dissipée maximale

La **puissance** dissipée dans une diode est égale au produit de courant dans la diode par la tension à ses bornes :

$$PD = I \cdot V_AK$$

L'échauffement correspondant produit par l'effet Joule ne doit pas amener la température de la jonction au-dessus d'une valeur limite, fonction de la nature du matériau, afin que le courant inverse ne dépasse pas des valeurs inacceptables. Pour le silicium cette température est de l'ordre de 185°C .

7. Droite de charge et point de fonctionnement

L'objectif de cet étude est de déterminer le courant et la tension de la diode $Q(I_D, V_D)$ appelée point de repos ou point de fonctionnement.

Pour cela, il existe deux méthodes pour la détermination de ces deux paramètres.

7.1. La méthode analytique

Consiste en la résolution du système d'équations suivant :

$$\begin{cases} I = I_S \left(e^{V_D / U_T} - 1 \right) & \text{équation courant – tension de la diode} \\ & \text{équation de la droite du charge du circuit } V_D(I_D) \end{cases}$$

7.2. La méthode graphique

Cette méthode consiste en la détermination du point d'intersection de la droite de charge statique avec la caractéristique tension-courant de la diode.

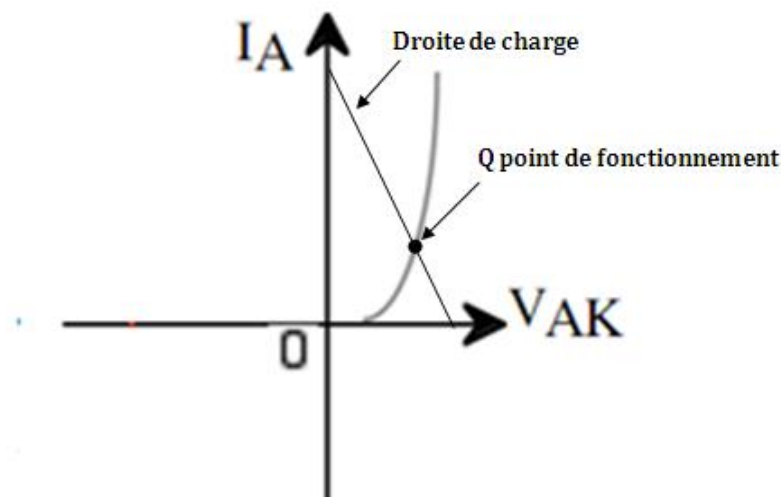


Figure 1

Exemple :

Considérons le circuit de la figure ci-dessous :

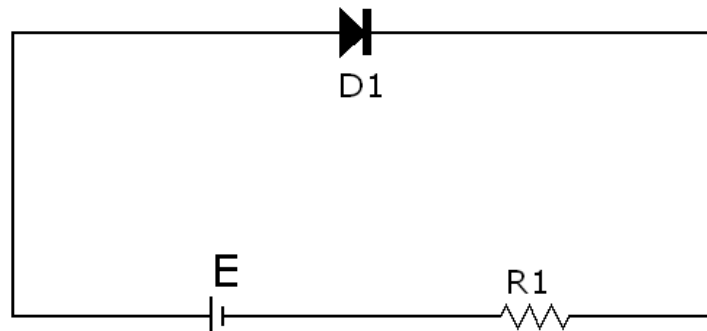


Figure 2

Trouver l'équation de la droite de charge : $V_D = E - R_1 I_D \Rightarrow I_D = \frac{E}{R_1} - \frac{V_D}{R_1}$

8. Gamme d'utilisation des diodes

8.1. Diodes de signal

Diodes "classique de l'électronicien", de petite puissance pouvant fonctionner à des fréquences relativement élevées (I_0 quelques dizaines de mA et V_R quelques dizaines de volts).

Exemple : 1N914

- Faible intensité (jusqu'à 100 mA)
- Faible tension inverse (jusqu'à 100V)
- Souvent très rapides ($t_{rr} > 10\text{ns}$) donc adaptée à la commutation
- Boîtier verre (ou CMS)
- L'anneau repère la cathode
- Marquage le plus souvent en clair



8.2. Diodes de redressement

Diodes prévues pour fonctionner à 50Hz. Leur comportement ne permet pas de les utiliser à des fréquences élevées.

Exemple 1N400x

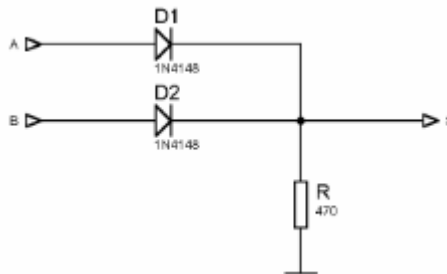
- Forte intensité (1A)
- Forte tension inverse (jusqu'à 1000V)
- Lente en commutation ($t_{rr} > 100\text{ns}$) réservée aux basses fréquences
- Boîtier plastique
- L'anneau repère la cathode
- Marquage le plus souvent en clair



8.3. Diodes rapides de commutation

Diodes prévues pour commuter très rapidement, elles sont utilisables à des fréquences élevées (pour de l'électronique de puissance).

Exemple : Fonction logique (exemple fonction OU)



8.4. Diodes haute tension

Diodes prévues pour fonctionner avec des tensions V_R très élevées.

9. Codes d'identification

Code Jedec est utilisé pour la désignation des Semi-Conducteurs (Norme EIA RS-236 B; Juin 1963) est un code couleur qui ressemble à celui des résistances. La diode possède de 2 à 4 bagues. Le nom de la diode se détermine de la façon suivante: Le préfixe est généralement 1N. Le suffixe se détermine avec la couleur des bagues:

Le premier chiffre et la première lettre indique grossièrement ce qu'il s'agit :

- 1N : Diode, diode Zener, ...
- 2N : Transistor, thyristor, ...
- 3N : FET-MOS et autre SC
- 4N : Photo coupleur et autre composants optoélectroniques
- Exemple : Lecture de la valeur d'une diode :

Si la plupart du temps la référence est gravée en clair sur le corps du composant, ou sous la forme d'un code simple, il existe comme pour les résistances un code des couleurs qui donne la référence de la diode, celle-ci commençant dans ce cas par la référence 1N... :

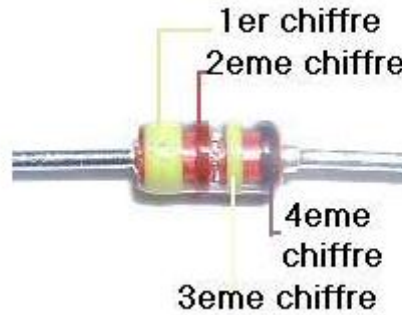


Figure 4. 9

Le premier chiffre étant l'anneau le plus large et indique la cathode, cette diode est :

Jaune Marron Jaune Gris

1N 4 1 4 8

Soit 1N4148

Remarque

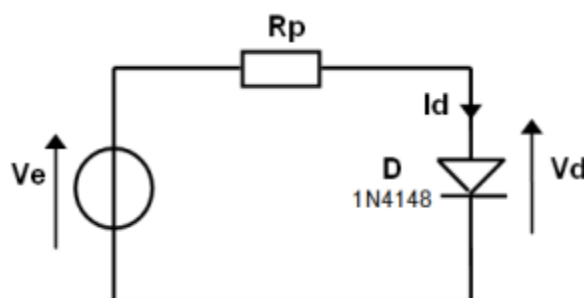
Mais assez souvent, les références sont directement écrites sur les diodes. Par exemple, s' il y a 1N4148 c'est une diode de signal, c'est a dire qu'elle sert a transmettre des informations, elle est relativement rapide, mais elle ne supporte pas trop de courant (200 mA , 75V max).Ont trouve aussi la diode 1N914 sur d' ancien schémas .

Couleur	Valeur
Noir	0
Marron	1
Rouge	2
Orange	3
Jaune	4
Vert	5
Bleu	6
Violet	7
Gris	8
Blanc	9

Figure 4. 10 : Code couleur

10.Formules de base

10.1. Calcul de la résistance de protection d'une diode



On donne $V_e = +5V$, $R_p = 1K\Omega$ et $V_{Seuil} = 0,6 V$.
Déterminer la valeur du courant I_d .

$$V_e - U_{Rp} - V_d = 0 V$$

$$U_{Rp} = V_e - V_d = 5 - 0,6 = 4,4 V$$

$$U_{Rp} = R_p \times I_d$$

$$I_d = \frac{U_{Rp}}{R} = \frac{4,4}{1000}$$

$$I_d = 4,4 \text{ mA}$$

10.2. Puissance dissipée

Une diode appartient à la gamme des 5W. Si la tension à ses bornes est égale à 1,2V pour un courant direct de 1.75A, quelle est la puissance dissipée ? la diode sera-t-elle détruite ?

Réponse

$$P_D = (1,2V)(1,75A) = 2,1W$$

C'est inférieur à la puissance maximale, la diode ne sera pas détruite.

11.Utilisations et applications

Il existe divers types de diodes correspondant à des technologies différentes. Chaque technologie présente le meilleur compromis pour une utilisation donnée. Nous allons balayer les applications des diodes en les classifiant par groupe technologique.

12.Diode dans les circuits

Dans tous les montages suivants la diode est considérée comme idéale, et $V_{en}(t) = V_m \sin(\omega t)$.

12.1. Redressement

Les circuits de redressement à diode permettent de transformer le courant alternatif en courant unidirectionnel.

12.1.1. Redressement simple alternance

On considère $V_e(t) = V_m \sin(\omega t)$, tracer la forme du signal de sortie $V_R(t)$.

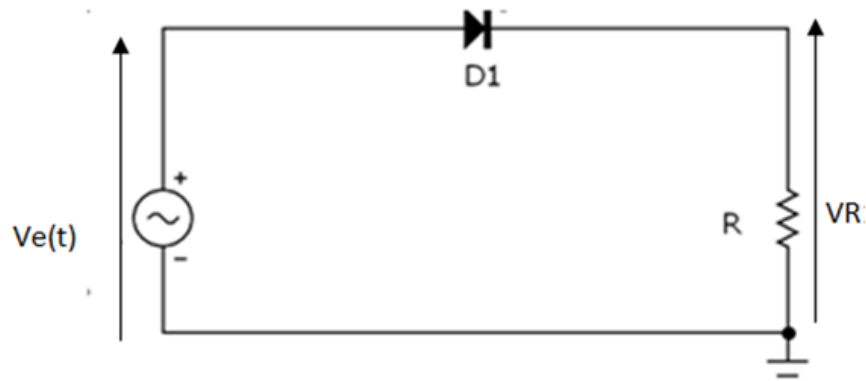


Figure 4. 11 : Redresseur simple alternance

Analyse du fonctionnement :

Pendant l'alternance positive de $V_e(t) \Rightarrow$ la diode est polarisée en directe $\Rightarrow V_R = V_e$.

Pendant l'alternance négative de $V_e(t) \Rightarrow$ la diode est polarisée en inverse $\Rightarrow V_R = 0$.

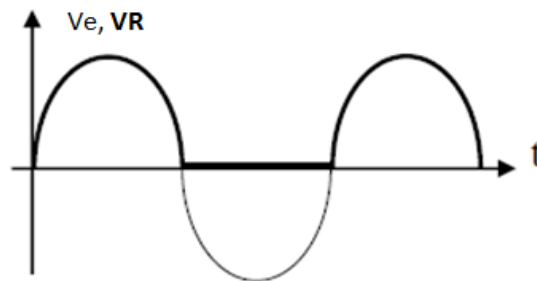


Figure 4. 12 : Allure des tensions V_e et V_R

12.2. Ecrêtage

Ces circuits Écrêteurs (on dit aussi Limiteurs) ont pour but de modifier l'amplitude d'une tension ou plus exactement d'en supprimer une partie.

Les circuits à écrêtage utilisent une ou plusieurs diodes en série ou en parallèle avec la charge (sortie).

12.2.1. Ecrêtage de la partie positive

Soit le circuit ci-dessous : $V_E(t) = V_m \sin \omega t$ avec $V_m > E$

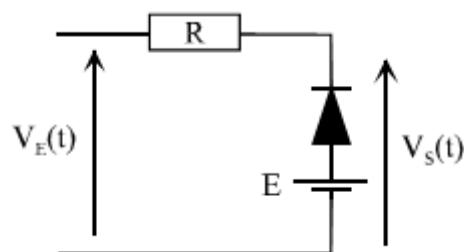


Figure 4. 13 :

Tracer la forme du signal de sortie.

Analyse du fonctionnement

1) Pendant l'alternance positive de la tension $V_e(t)$

- $V_e < E \Rightarrow$ La diode est bloquée et elle se comporte comme un circuit ouvert, aucun courant ne circule dans la résistance $R \Rightarrow V_s = V_e$.
- $V_e > E \Rightarrow$ La diode est passante et elle se comporte comme un interrupteur fermé, aucun courant ne circule dans la résistance $R \Rightarrow V_s = E$.

2) Pendant l'alternance négative de V_e , la diode est polarisée en inverse et $V_s = V_e$.

12.2.2. Double écrêtage

- ✓ On écrête la partie positive et la partie négative.
- ✓ Les deux niveaux sont réglables.
- ✓ Il est nécessaire que l'amplitude du signal à écrêter soit supérieure à E_1 et E_2 , pour que le circuit puisse remplir correctement la fonction pour laquelle il a été conçu. $V_e(t) = V_m \sin \omega t$ et $V_m > E_1$ et E_2 .

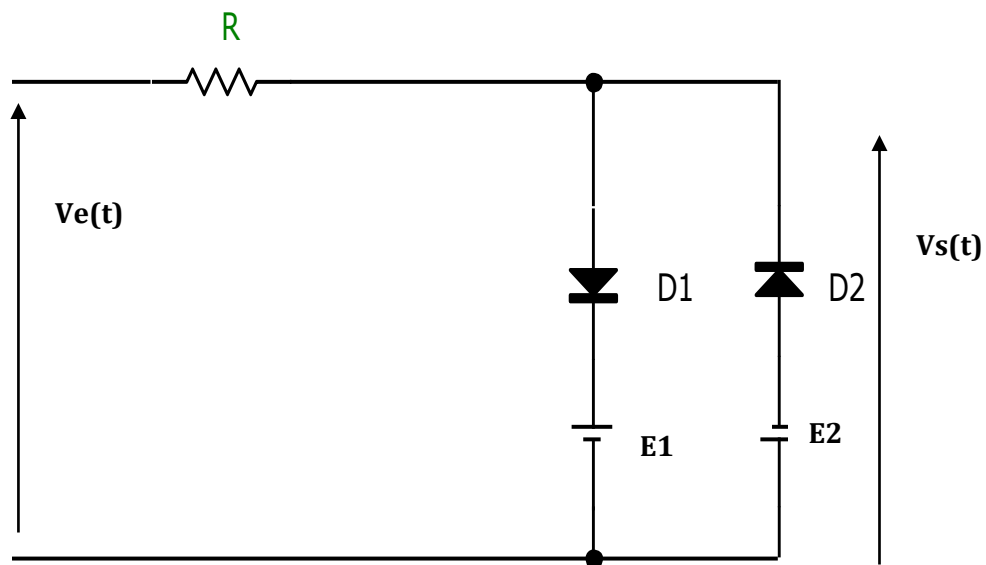


Figure 3

- Tracer la forme du signal de sortie.

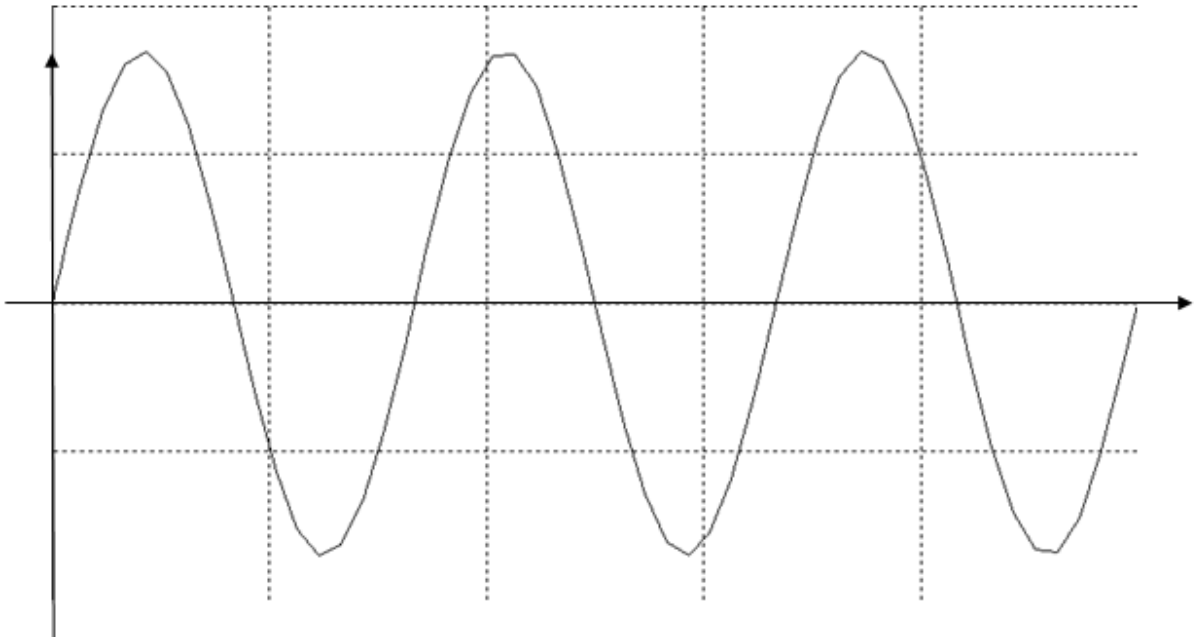
Analyse du fonctionnement :

Pendant l'alternance (+) de $V_e(t)$:

- 1) $V_e(t) > E_1 \Rightarrow$ D1 est passante $\Rightarrow V_s = E_1$
- 2) $V_e(t) < E_1 \Rightarrow$ D1 est bloquée $\Rightarrow V_s = V_e(t)$

Pendant l'alternance (-) de $V_e(t)$:

- 1) $V_e(t) > E_2 \rightarrow D1$ est bloquée $\rightarrow V_S = V_e(t)$
- 2) $V_e(t) < E_2 \rightarrow D1$ est passante $\rightarrow V_S = -E_2$



12.3. Détecteur de crête

Ce dispositif permet de mémoriser la valeur crête d'un signal. Il est très utilisé en instrumentation. C'est un circuit redresseur simple alternance avec filtrage dont la charge est quasi nulle (aux courants de fuite près) : la constante de temps de décharge du condensateur est théoriquement infinie, (très grande en pratique).

Il se charge donc à la valeur crête (moins la tension de seuil de la diode) et reste chargé à cette valeur.

La résistance R sert à limiter le courant de charge du condensateur à une valeur raisonnable pour le générateur d'attaque.

Lorsque la tension e est supérieure à la tension aux bornes du condensateur U plus la tension de coude de la diode, celle-ci conduit et charge le condensateur à travers la résistance R .

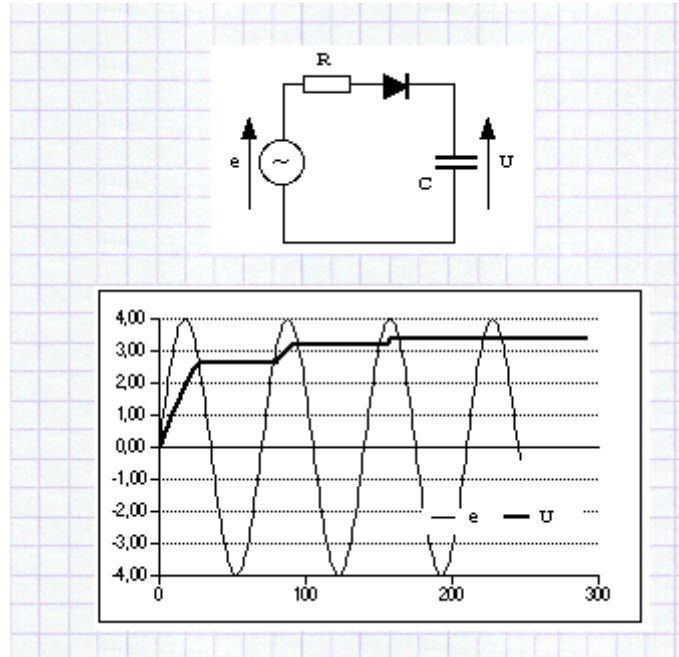
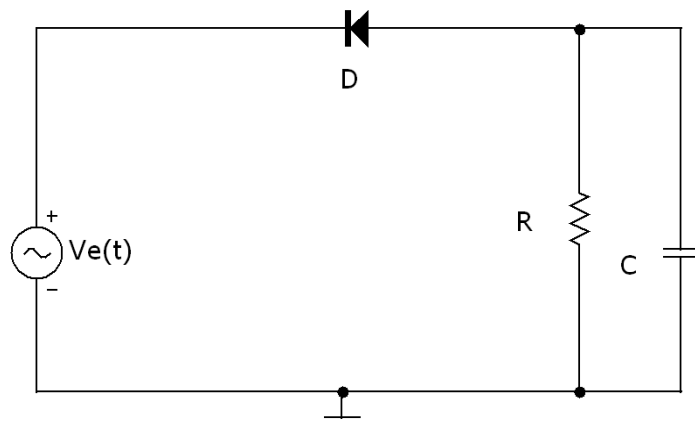


Figure 4. 14 : Détecteur de crête



Tracer la forme du signal de sortie.
Analyse du fonctionnement

Au cours de l'alternance positive, la diode est passante. Le condensateur C va se charger très rapidement à travers la résistance dynamique de la diode à la valeur crête $V_M \Rightarrow V_s = V_e$.

Au cours de la présence de l'alternance négative, la diode est bloquée et le condensateur va essayer de se décharger à travers R_L . La valeur de cette résistance est choisie élevée pour éviter au condensateur de se décharger au cours de cette alternance négative.

On obtient ainsi en sortie une tension continue d'amplitude égale à la valeur crête du signal d'entrée et le cycle se répète.

12.4. Filtrage

Les montages précédents délivrent des tensions redressées mais non continues. Pour obtenir une tension (quasi) continue, il suffit de mettre un gros condensateur en parallèle avec la charge.

12.5. Afficheur 7 segments

L'afficheur est un composant composé de 7 diodes LED en forme de segment et disposées de façon à former 8 . En alimentant ces tensions avec une tension continue, on peut visualiser n'importe quel nombre de 0 à 9 et de A à F.



Figure 4. 15 : Afficheur 7 segments

13. Diodes spéciales et symboles

13.1. Diode Zener

La diode Zener est un composant à jonction PN qui diffère d'une diode de redressement puisqu'elle est conçue pour être opérée en polarisation inverse.

- ✓ Lorsqu'une diode Zener atteint le claquage inverse, sa tension demeure presque constante.
- ✓ Si une polarisation directe est appliquée à une diode Zener, elle fonctionne comme une diode de redressement.
- ✓ Symbole

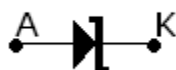


Figure 4. 16 : Symbole de la diode Zener

13.2. Diode électroluminescente

Les électrons libres traversant la jonction se recombinent avec des trous. Lors de cette recombinaison, ils perdent de l'énergie. Dans les autres diodes cette énergie est dissipée en chaleur, mais dans les diodes électroluminescentes (DEL, LED) elle est transformée en radiation lumineuse.

La DEL émet de la lumière lorsqu'elle est traversée par un courant avant suffisant.

- ✓ La tension avant aux bornes d'une DEL est considérablement plus élevée que celle d'une diode au silicium.
- ✓ La tension maximale V_{AV} typique d'une DEL se situe entre 1.2V et 3.2V, selon le composant utilisé.
- ✓ La tension de claquage inverse d'une DEL est bien inférieure à celle d'une diode de redressement au silicium (typiquement de 3V à 10V).



Figure 4. 17 : Symbole de la diode LED

Suivant les éléments de dopage (gallium, arsenic, phosphore, ...), les diodes émettent du rouge, du vert, du jaune, de l'orange, du bleu ou de l'infrarouge (invisible).

13.3. Photodiode

La photodiode est un composant à jonction PN qui fonctionne en polarisation inverse. La photodiode possède une fenêtre transparente qui permet à la lumière de toucher la jonction PN.

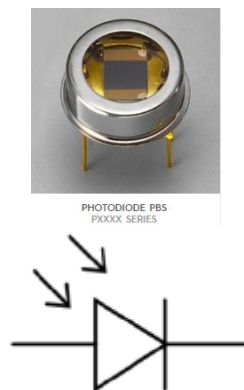


Figure 4. 18 : Symbole de la photodiode

13.4. Varicap

Une diode polarisée en inverse se comporte essentiellement comme une très grande résistance (pas de courant), mais également, en régime variable, comme un petit condensateur.

Ce qui est intéressant pour les applications, c'est que cette capacité interne de la diode varie avec la tension appliquée au composant. On peut ainsi obtenir des condensateurs variables commandés par une tension. Toutefois, les capacités restent faibles (quelques dizaines de picofarads).

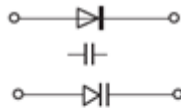


Figure 4. 19: Symbole normalisé d'une diode à capacité variable

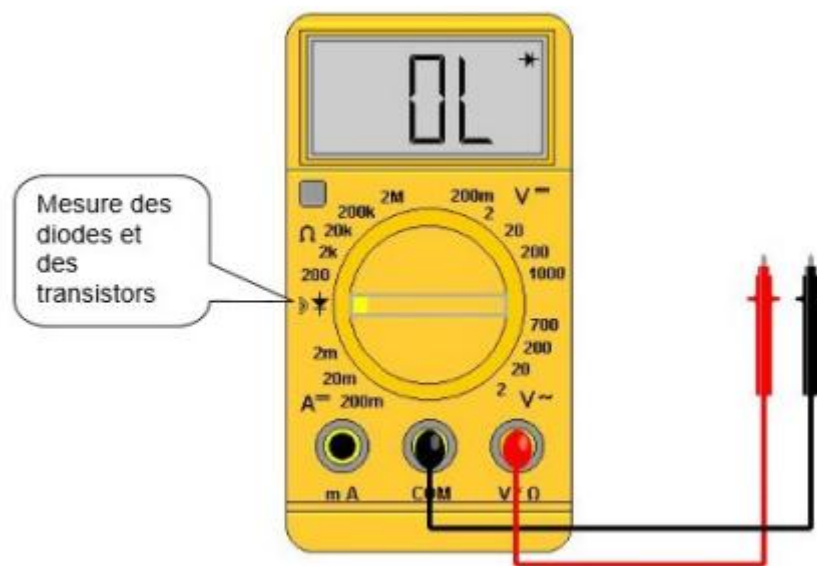
14. Test et Pannes

Repérage de la cathode, Test d'une diode standard, Test d'un pont de diodes, Pannes : Rupture du fil, Court-circuit,

14.1. Test d'une diode standard

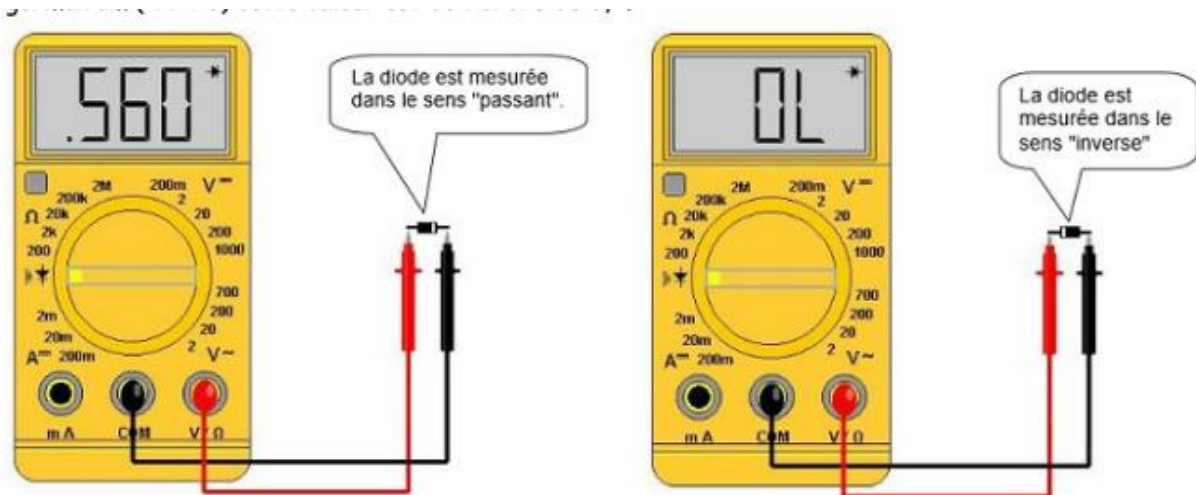
Pour tester une diode, il vous faut un "multimètre" avec une position de mesure des diodes. Une diode "laisse passer" le courant dans un seul sens.

Pour faire la mesure, utiliser la position " diode " du multimètre.



Une diode laisse passer le courant dans un seul sens : de l'anode vers la cathode. Sur le composant, la cathode est repérée par un trait de peinture :

La valeur lue varie suivant le composant et l'appareil de mesure mais est souvent aux alentours de 0,6 (0,560 dans notre cas). Cette valeur aux alentours de 0,6 est pour une diode silicium (1N4004 par exemple), pour une diode au germanium (1N270) cette valeur est de l'ordre de 0,2.



Quand le courant ne passe pas, le multimètre indique "0L" ou "--" (deux tirets) ou bien encore "1 ". Dans tous les cas cet affichage correspond au "dépassement de capacité", c'est-à-dire que la valeur à mesurer est plus grande que la valeur maximale du calibre (de la gamme de mesure) en cours d'utilisation.

14.2. Tester un pont de diode

Tester un pont de diodes (diode par diode)

Le schéma interne de ce pont de diodes :

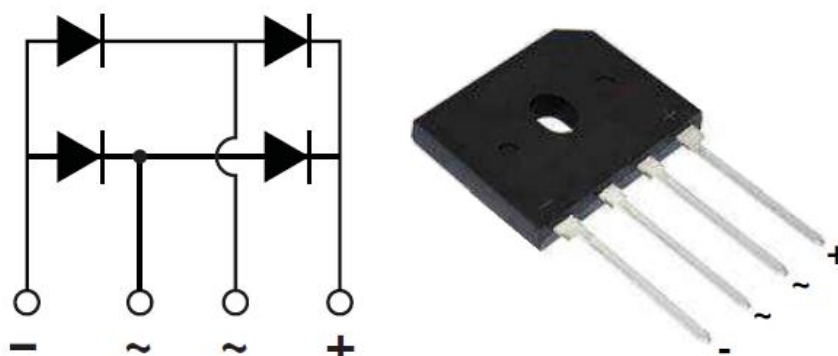


Figure 4. 20 : Schéma interne du pont de diodes à tes