

Chapitre III : Les diodes

Résumé du cours

1. Introduction :

On appelle diode à jonction un dipôle formé à partir d'un semi-conducteur dopé N et d'un autre dopé P. la jonction est la surface de contact située entre deux parties du cristal dopées différemment voir la figure (1).

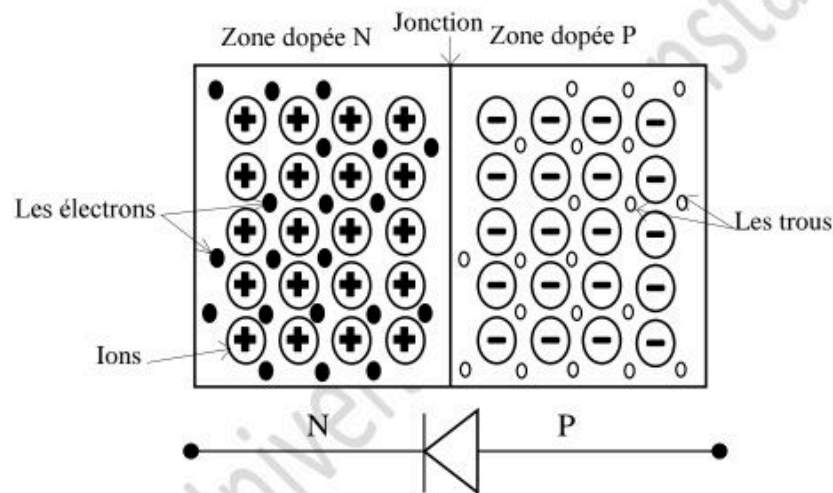


Figure 1

Un phénomène de migration de porteurs majoritaires de part et d'autre de la jonction est induit dès la mise en contact des semi-conducteurs dopés différemment jusqu'à l'équilibre créant un champ électrique interne \vec{E}_i , c'est-à-dire une différence de potentiel de part et d'autre de la zone de déplétion (zone située autour de la jonction) comme dans la figure 2.

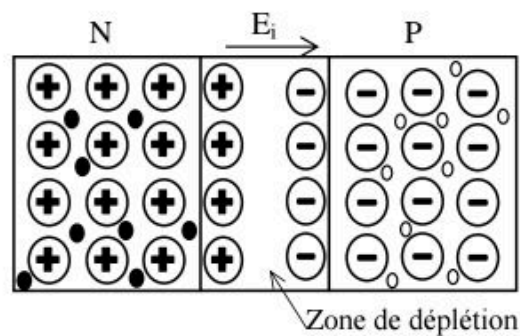


Figure 2

2. Polarisation de la jonction PN :

On dit qu'une jonction est polarisée positivement ou en direct quand le côté P est relié à la borne (+) de la source de tension et le côté N à la borne (-). Dans le cas contraire, on dit que la diode est polarisée en inverse (voir la figure 3).

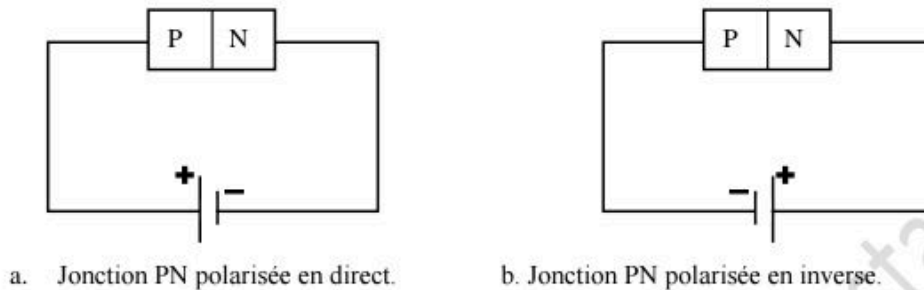


Figure 3

3. Schémas équivalents d'une diode dans un circuit

3. a- Diode idéale :

La diode est considérée comme un interrupteur fermé lorsque elle est polarisée en direct et ouvert lorsque elle est polarisé en inverse (voir figure 4)



Figure 4.a. Schéma de la diode idéale

Sa caractéristique $I = f(V)$ est représentée par la figure suivante :

3. b - Diode parfaite :

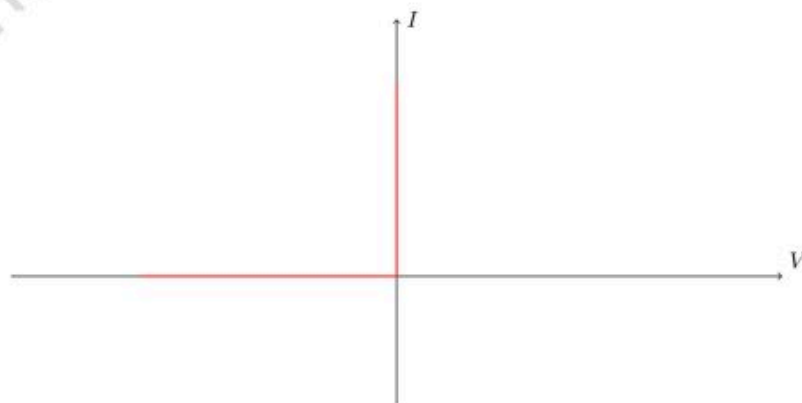


Figure 4.b. Caractéristique asymptotique de la diode idéale.

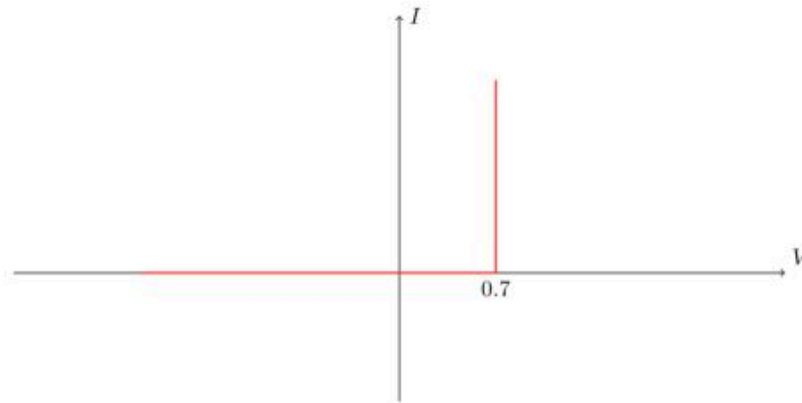


Figure 5.a Caractéristique asymptotique de la diode

Pour ce type de diode, on prend en considération la tension de seuil V_0 (diode au silicium $V_0 = 0,6$ à $0,7 V$), sa caractéristique $I = f(V)$ asymptotique est représentée par la figure (5 a).

La figure 5.b représente le schéma équivalent de la diode parfaite polarisée en directe:



Figure 5.b Schéma équivalent de la diode parfaite A

3.c - Diode réelle :

Dans l'approximation de la diode réelle, on prend en considération la résistance dynamique de la diode r_d (qui représente l'inverse de la pente de la caractéristique, elle est égale à $\frac{\Delta I_d}{\Delta V_d}$) et la barrière de potentiel V_0 (tension de seuil), on prend par exemple une diode au silicium. La figure 6 représente le schéma équivalent de la diode réelle et sa caractéristique $I_d = f(V_d)$.

avec $I_d = I_s \left(\exp\left(\frac{V_d}{\eta U_T}\right) - 1 \right)$

$\eta = 2$ pour une diode de Silicium $U_T = \frac{kT}{q}$, $k = 1.3810^{-23} J/K$

$$r_d = \frac{dI_d}{dV_d} = I_s \frac{\exp\left(\frac{V_d}{\eta U_T}\right)}{\eta U_T}.$$



Figure 6.a Schéma équivalent de la diode réelle polarisée en directe

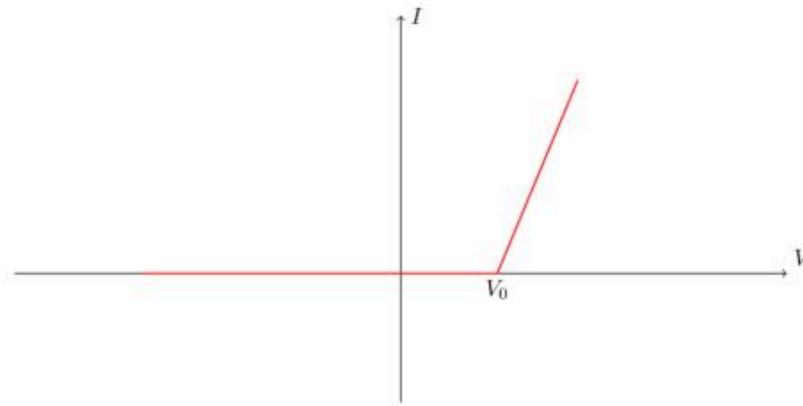
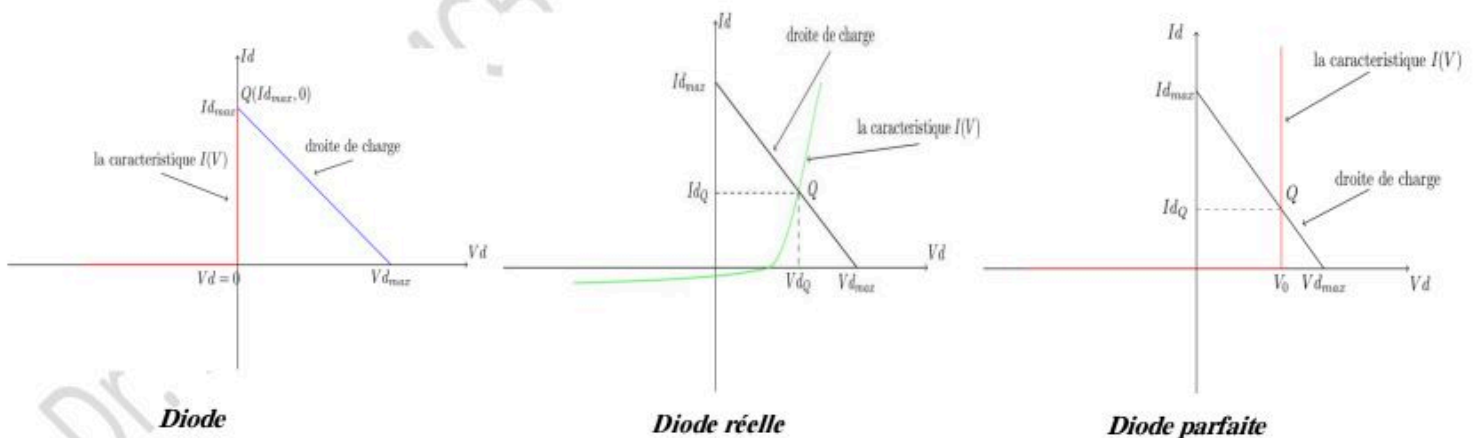


Figure 6.b. La caractéristique $I_d = f(V_d)$ asymptotique de la diode

4. Droite de charge et point de fonctionnement :

-La droite de charge est la relation entre le courant qui circule dans la diode I_d et la tension à ces bornes V_d , l'équation de la droite de charge dépend des éléments qui constitue le circuit.

Le point de fonctionnement Q : est l'intersection entre la droite de charge et la caractéristique $I(V)$ de la diode. Dans la figure ci-dessous on montre la position du point de fonctionnement Q sur la caractéristique $I(V)$ pour une diode réelle, idéale et parfaite.



- Soit le circuit montré dans la figure 7

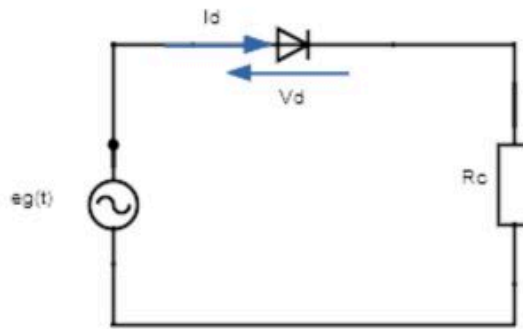


Figure 7.a – Diode dans un circuit

- La droite de charge est la relation entre I_d et V_d (voir la figure 7.b), on a : selon la loi des mailles :

$$\sum V_i = 0 \Rightarrow e_g(t) - V_d - R_c I_d = 0$$

$$I_d = \frac{e_g(t) - V_d}{R_c}$$

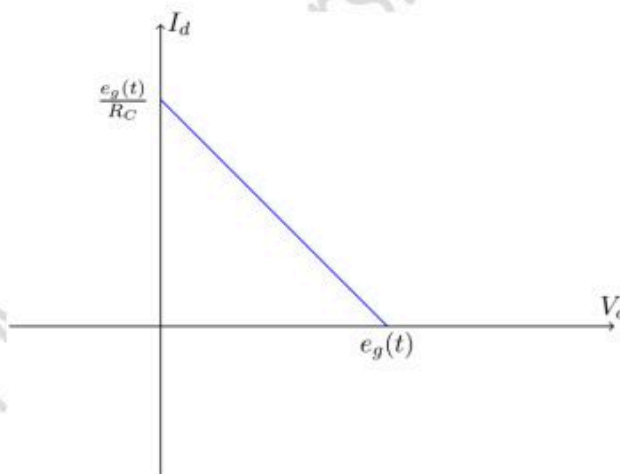


Figure (7.b) – La droite de charge.

5- Les applications de la diode :

5.1 Redressement simple et double alternances :

C'est la transformation d'un signal alternatif en tension continue.

5.1.a Redressement simple alternance :

soit le montage suivant avec tension d'entrée $e(t)$ et un signal redressé $S(t)$.

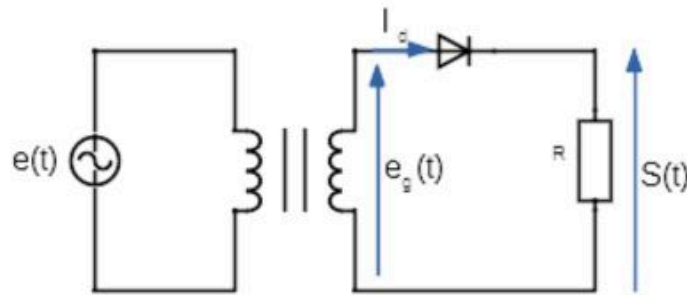


Figure 8 – Circuit du redressement simple alternance.

Puisque la diode est supposée idéale, on néglige la chute de tension à ces bornes.

* La tension secondaire du transformateur $e_g(t)$ est égale à :

$$e_g(t) = E \sin(\omega t) \quad 0 < t < T$$

$$\text{donc } S(t) = \begin{cases} E \sin(\omega t) & 0 < t < T/2 \\ 0 & T/2 < t < T \end{cases}$$

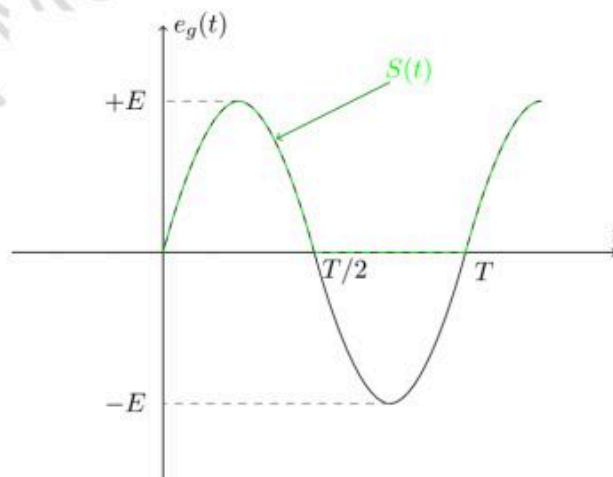
- La valeur moyenne du signal redressé $S(t)$ est égale à :

$$S_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T S(t) dt = \frac{E}{\pi}$$

- La valeur efficace du signal $S(t)$ est la suivante :

$$S_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T S^2(t) dt = \frac{E^2}{4} \Rightarrow S_{eff} = \frac{E}{2}$$

- Le tracé du signal redressé avec le signal d'entrée (du secondaire).



5.1.b Redressement double alternance (pont de Graetz)

Doit le montage montré dans la figure ci-dessous :

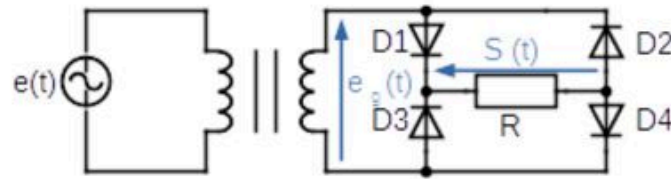


Figure 9 – Circuit du redressement double alternance.

Avec $e_g(t) = E \sin(\omega t)$ $0 < t < T$

on suppose que les diodes sont idéales donc

$$S(t) = \begin{cases} e_g(t), & 0 < t < T/2 \\ -e_g(t), & T/2 < t < T \end{cases}$$

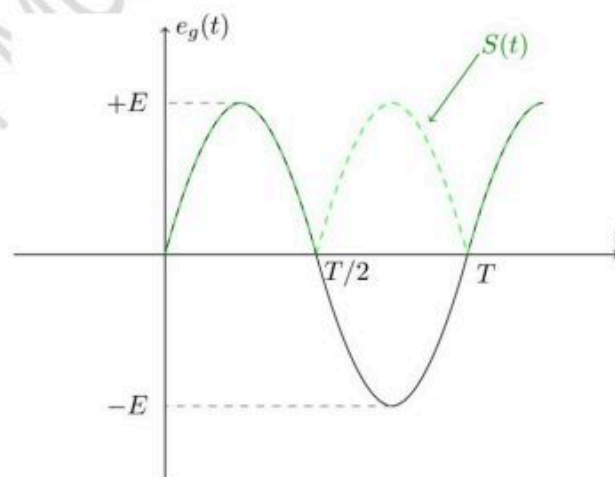
- La valeur moyenne du signal redressé

$$S_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T S(t) dt = \frac{2E}{\pi}$$

- La valeur efficace du signal $S(t)$:

$$S_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T S^2(t) dt \Rightarrow S_{eff} = \frac{E}{\sqrt{2}}$$

- Le tracé du signal redressé avec le signal d'entrée $e_g(t)$.



6- Les diodes spéciales :

avec les diodes à jonction, il existe d'autres types de diodes dopés spécialement pour des applications spécifiques comme la diode Zener, diode Schottky, diode varicap ... , on s'intéresse dans cette partie à l'étude de la diode Zener et son applications.

6.1 La diode Zener :

On a vu précédemment que la diode PN simple fonctionne seulement dans la zone directe, bloquée dans la zone de fuite et endommagée dans la zone de claquage (les deux dernières zones sont pour la polarisation inverse). Contrairement à la diode Zener qui peut fonctionner dans la zone directe, la zone de fuite et la zone de claquage.

Remarque : la conduction de la diode Zener est meilleure dans la zone de claquage c'est pour cela que parfois elle est appelée diode de claquage donc elle est utilisée souvent en polarisation inverse.

6.1.a La caractéristique $I=f(V)$

Selon la figure ci-dessous la diode Zener conduit à partir de la tension de seuil dans la zone directe comme une diode ordinaire arrivant à la zone de fuite où la diode conduit avec un courant de fuite (très faible) et lorsque la tension inverse atteint la tension de claquage la diode commence à conduire avec un courant I_Z très fort pour une tension V_Z presque constante pour R_Z (résistance dynamique Zener) très faible.

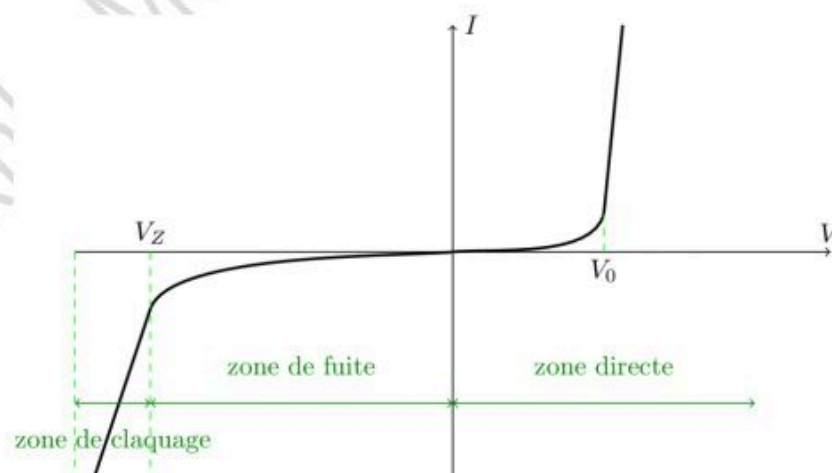
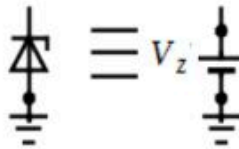


Figure 10 – la caractéristique $I=f(V)$ de la diode Zener.

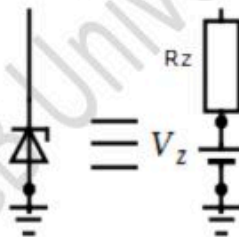
6.1.b Le schéma équivalent de la diode Zener

Le schéma équivalent de la diode Zener se fait selon deux approximations :

- La première approximation où on suppose que la caractéristique $I=f(V)$ est verticale dans la zone de claquage donc la diode est dite idéale, elle est juste remplacée par un générateur de tension V_Z .



- La deuxième approximation : Dans la région de claquage la caractéristique $I=f(V)$ n'est pas tout à fait verticale il existe une résistance Zener R_Z très petite qu'on doit tenir compte dans certaines applications c'est à dire la diode est remplacée par un générateur de tension V_Z en série avec la résistance R_Z .



6.1.c Le régulateur Zener :

La diode Zener est le composant principal du régulateur de tension dans un circuit en maintenant la tension de charge presque constante malgré les grandes variations de la tension de secteur.

Le régulateur Zener est soutenu s'il satisfait deux conditions

$$\begin{aligned} R_Z &\leq 0.01 R_S \\ R_Z &\leq 0.01 R_L \end{aligned}$$

avec R_L : charge du circuit.

R_S : la résistance série.