

## Chapitre 3

### Utilisation des diodes dans les circuits Applications des diodes

#### 1. Introduction

Pour un bon fonctionnement de tout composant actif, en particulier la diode à jonction, il ne faut pas dépasser la température que peut supporter la jonction ( de l'ordre de 150°C à 225°C pour le silicium et de 60°C à 100°C pour le germanium). D'autre part, on ne doit pas dépasser une valeur limite de la puissance dissipée au sein de la diode qui est en générale indiquée par le constructeur pour chaque type de diode.

De ce fait, le constructeur indique:

- le courant maximum  $I_{max}$  direct à ne pas dépasser;
- la température maximale de la jonction.

Nous citons ici quelques domaines d'utilisation de la diode:

- redressement, filtrage de courants (ou tensions) alternatifs;
- les multiplicateurs de tension;
- les détecteurs de crêtes;
- les circuits logiques (opérations de Boole);
- stabilisation des tensions par diodes Zener.

#### 2. Redressement monoalternance-Filtrage

##### 2.1. Redressement monoalternance

L'une des applications principales des diodes est **le redressement**. Cette fonction permet d'obtenir une tension de signe constant à partir d'une tension alternative dont le signe varie périodiquement avec le temps.

Le redressement est obtenu à l'aide d'un circuit simple comprenant une diode et une résistance pure (figure1).

On suppose que la **diode est idéale** :  $V_d \approx 0$ ,  $r_d \approx 0$  et  $R_i \approx \infty$ .

On sait que :

- Si  $V_{AK} < 0$ ,  $i_{AK} = 0$  la diode est bloquée.
- Si  $V_{AK} = 0$ ,  $i_{AK} > 0$  la diode est passante.

Pour tout état de polarisation de la diode, nous avons:  $V_e = V_R + V_{AK}$

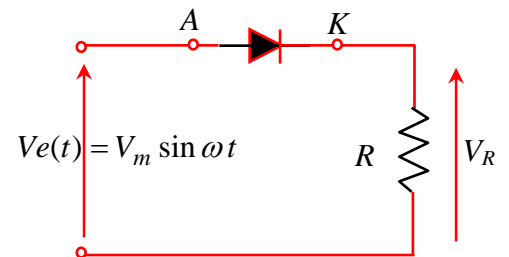


Figure 1

- **En polarisation inverse** (alternance négative de  $V_e$ ):  $V_{AK} < 0$ ,  $i_{AK} = 0$

la diode est bloquée et on a :  $V_{AK} = V_e$  et  $V_R = 0$ .

- **En polarisation directe** (alternance positive de  $V_e$ ): la diode est passante et le courant circule dans le sens positif. On a  $V_{AK} = 0$  et  $V_R = V_e$  c-à-d  $V_R > 0$ .

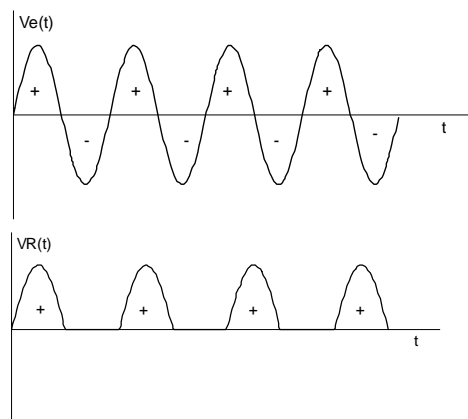
Représentation graphique:

- Pour  $0 < t < T/2$ ,  $V_e > 0$  (Alternance positive) :

$$\begin{cases} V_{AK} = 0, \\ V_R = Ri = V_e \text{ (avec } i = \frac{V_e}{R} \text{)} \end{cases}$$

- Pour  $T/2 < t < T$ ,  $V_e < 0$  (Alternance négative) :

$$\begin{cases} V_{AK} = V_e, \\ V_R = Ri = 0 \text{ (car } i = 0 \text{)} \end{cases}$$



On obtient à la sortie un signal  $V_R(t)$  périodique (période  $T$ ) de signe constant mais qui n'est pas alternatif. Sa valeur moyenne  $U_0$  est non nulle:  $U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T V_R(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin \omega t dt = \frac{V_m}{\pi}$

Exercice: Etudier le même circuit en utilisant la diode dans l'approximation suivante:  $V_d \approx 0$ ,  $r_d \neq 0$  et  $R_i \approx \infty$

### 2.2. Filtrage

Le **filtrage** consiste à réaliser une tension sensiblement continue à partir d'une tension variable mais de polarité constante obtenue par redressement.

Parmi les filtres les plus simples, nous citerons : résistance-self, résistance-capacité.

Nous utiliserons dans la suite le filtre constitué d'un condensateur C placé entre les bornes de sortie du redresseur (c-à-d en parallèle avec la résistance R).

La tension aux bornes de l'ensemble R, C a la forme donnée sur la figure 3

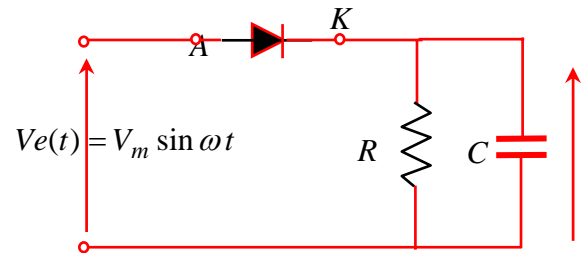


Figure 2

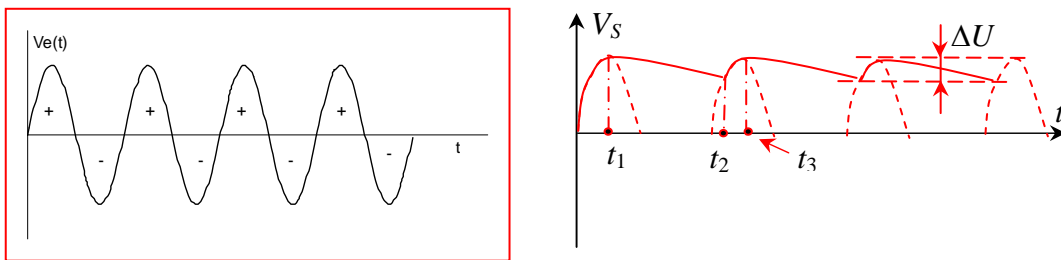


Figure 3

La diode joue le rôle d'un interrupteur qui est:

- a) **fermé** quand  $V_e \geq V_s$  ( $0 < t < t_1, t_2 < t < t_3 \dots$ ).

On a  $V_s = V_e$  dans ces intervalles.

- b) **ouvert** quand  $V_e < V_s$  ( $t_1 < t < t_2 \dots$ ).

Pour ces intervalles, le condensateur se décharge dans la résistance R suivant la loi exponentielle

$$V_s(t) = V_m \exp\left(-\frac{t-t_1}{RC}\right)$$

L'efficacité du filtrage est mesurée à l'aide du taux d'ondulation défini comme le rapport  $\Delta U$  à la valeur moyenne de la tension redressée  $U_0$ :  $\beta = \frac{\Delta U}{U_0}$ .

Pour que le filtrage soit efficace, il faut que le taux d'ondulation soit le plus faible possible. Il faut donc diminuer  $\Delta U$ . Pour cela, la constante du temps du filtre RC doit vérifier la condition:  $\tau = RC \gg T$ .

### 3. Redressement double alternance

Il est obtenu avec des circuits comprenant au moins deux diodes. Le même raisonnement que ci-dessus doit être appliqué à chacune des diodes.

On se place dans le cas où les diodes sont idéales.

#### 3.1. Redresseur à deux diodes

On utilise un transformateur ayant un enroulement avec prise médiane symétrique.(figure 4)

Le transformateur est construit de façon à fournir deux tensions (en secondaire)  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$  identiques et en phase :  $V_{e1}(t) = V_{e2}(t) = V_{e_{max}} \sin \omega t$

- Pendant l'**alternance positive** des deux tensions  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$ , la diode  $D_1$  est polarisée en direct et  $D_2$  en inverse. Le courant parcourt la diode  $D_1$ , la résistance et

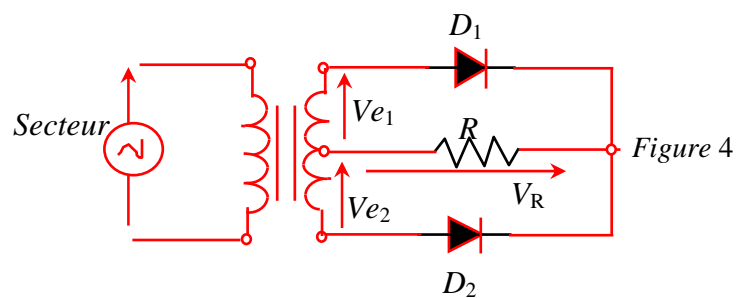


Figure 4

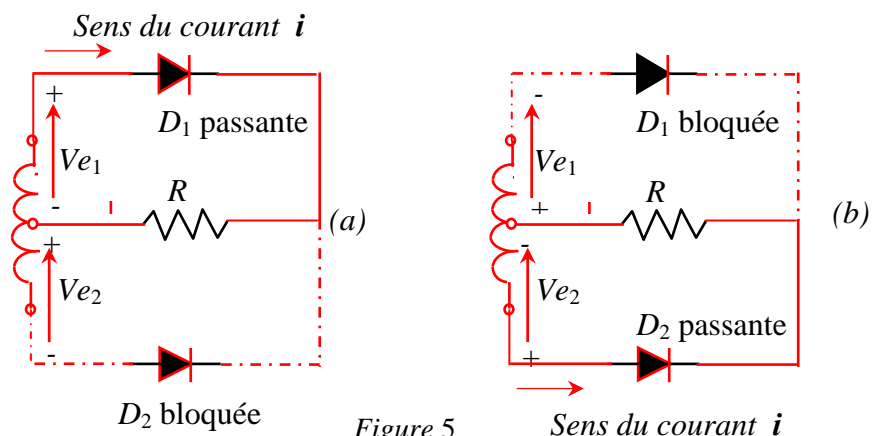
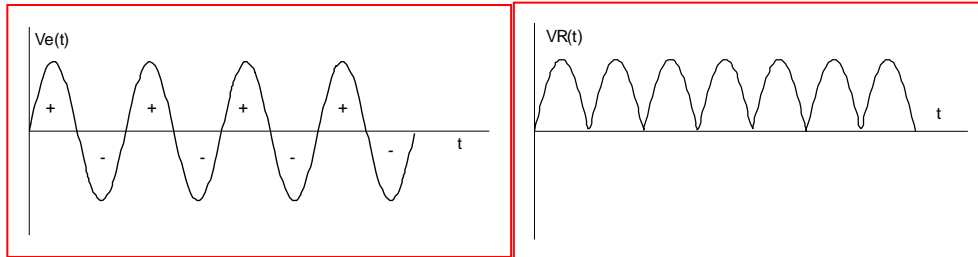


Figure 5

puis le demi enroulement du haut du transformateur. (figure 5-a)

• Durant l'**alternance négative**, la diode  $D_2$  est polarisée en direct et  $D_1$  en inverse. Le courant parcourt la diode  $D_2$ , la résistance et puis le demi enroulement du bas du transformateur. (figure 5-b)

On remarquera que la tension  $V_R$  garde la même polarité (pendant les deux alternances) car le courant parcourt la résistance  $R$  dans même sens quelque soit la diode en conduction.



Exercice: Donner la période de  $V_R$  et calculer sa valeur moyenne, sa valeur efficace et le facteur de forme.

### 3.2. Redresseur en pont à quatre diodes ( pont de GRAETZ)

La figure 6 représente le redresseur en pont le plus simple. On utilise un transformateur à une seule tension (i.e. un seul enroulement) au secondaire.

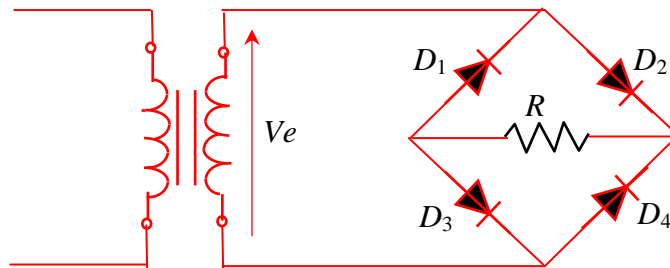


Figure 6

Pendant l'**alternance positive**, les diodes  $D_2$  et  $D_3$  conduisent ( $D_1$  et  $D_4$  sont bloquées). Le courant parcourt la diode  $D_2$ , la résistance  $R$ , la diode  $D_3$  et revient à l'enroulement du transformateur (figure 7-a).

Pendant l'**alternance négative**, les diodes  $D_1$  et  $D_4$  conduisent ( $D_2$  et  $D_3$  sont bloquées). Le courant parcourt  $D_4$ ,  $R$ ,  $D_1$  et revient à l'enroulement (figure 7-b).

Durant les deux alternances, la tension  $V_R$  a gardé la même polarité.

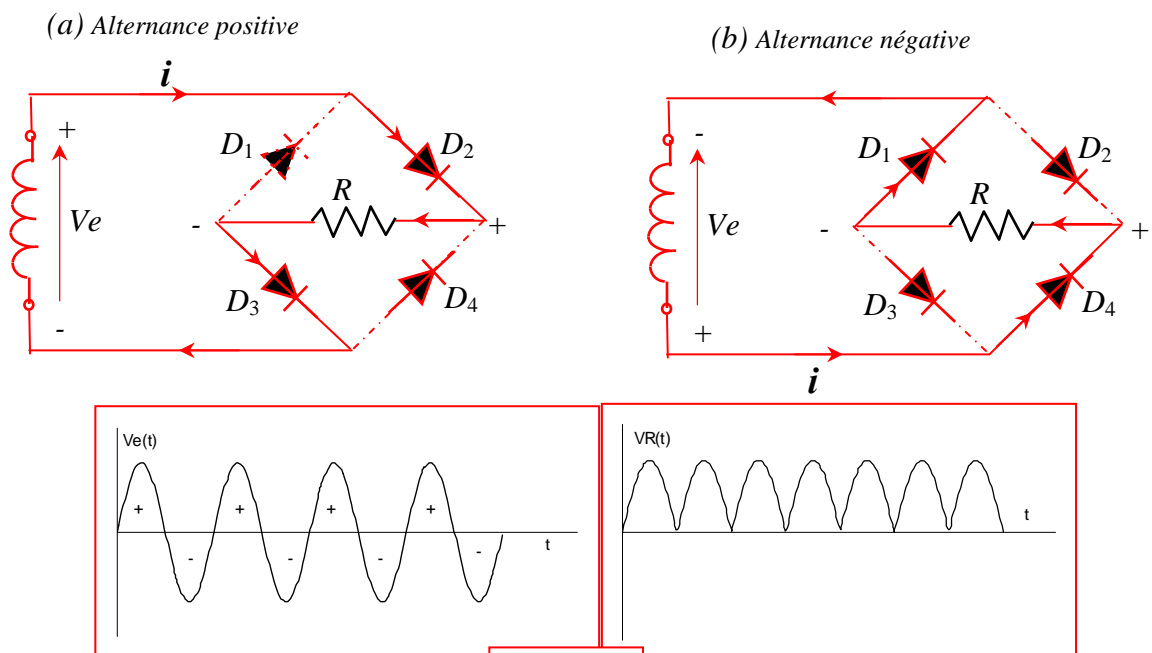


Figure 7

#### 4. Stabilisateur utilisant la diode Zener

Le but de la **stabilisation** (appelée aussi **régulation en tension**) est de maintenir la tension entre deux points d'un circuit à une valeur constante  $V$ .

Il suffit de placer entre ces points une diode Zener de tension Zener  $V_Z = V$  (polarisée en inverse).

Pour comprendre la stabilisation par diode Zener, étudions le circuit suivant:

La résistance  $R$  sert à limiter le courant dans le circuit afin de ne pas endommager la diode Zener ( $i < i_{max}$  courant maximum supporter par la diode).

La diode Zener est polarisée en inverse. Sa caractéristique est donnée par la figure 8.

La diode après claquage est équivalente à un récepteur de f.c.e.m.  $V_Z$  et de résistance interne  $r_Z$  (inverse de la pente de la droite en pointillé) -figure 9-

• Dans un premier temps, on se propose de déterminer le courant  $i$  circulant dans le circuit ainsi que la d.d.p.  $V$ . Le point  $M(V, i)$  correspondant à ces deux valeurs et se trouvant sur la caractéristique est appelé **point de fonctionnement**.

Pour cela, il suffit de résoudre le système suivant:

$$\begin{cases} i = f(V) \text{ (caractéristique de } D_Z) \\ V = E - Ri \text{ appelée droite de charge} \end{cases}$$

Le point de fonctionnement est déterminé graphiquement par l'intersection de la droite de charge avec la caractéristique de la diode.

•• Sinon, on peut utiliser le schéma équivalent de la diode Zener en polarisation inverse et faire un calcul direct (figure 10)

**N.B.:** Sur ce circuit, pour s'abstraire du signe moins "-", nous avons considéré les tensions  $V$  et  $V_Z$  ainsi que le courant  $i$  comme positifs (ceci revient à inverser les axes de la caractéristique)

##### Analyse du circuit:

• Si  $V < V_Z$  (ou  $E < V_Z$ ), la diode est bloquée. Le circuit ne présente aucun intérêt.

• Si  $V > V_Z$  (zone de claquage de  $D_Z$ ) on a :

$$\begin{cases} V = r_Z i + V_Z \Rightarrow i = \frac{V - V_Z}{r_Z} \\ E = Ri + V \end{cases}$$

On en déduit la valeur de la d.d.p.  $V$  en fonction de  $E$ :  $V = \frac{r_Z E + R V_Z}{r_Z + R}$ .

Si on suppose que  $E$  subit des variations lentes mais assez importantes  $\Delta E$ , qu'en est-il pour  $V$  ?

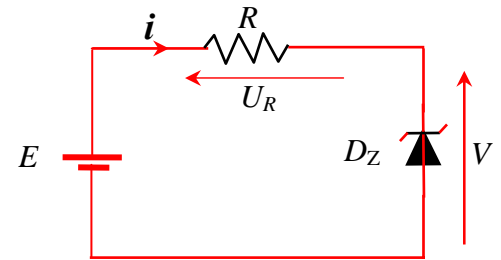


Figure 7

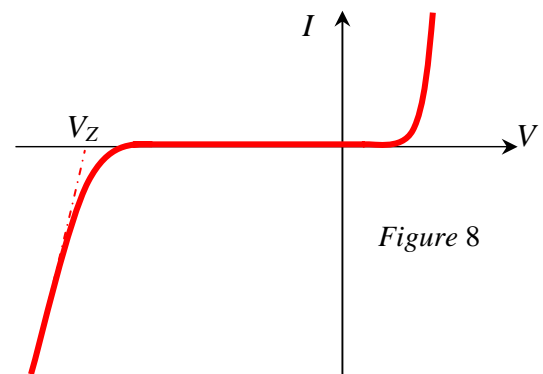


Figure 8

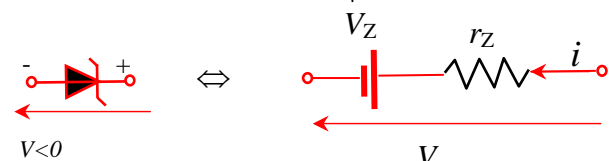


Figure 9

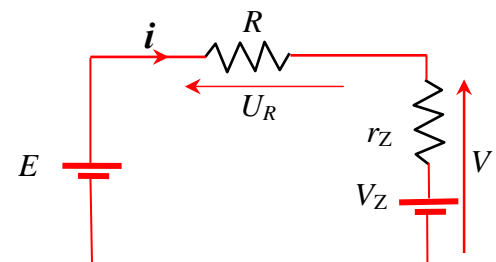


Figure 10

La variation correspondante de  $V$  est :  $\Delta V = \frac{r_Z}{R + r_Z} \Delta E$  .

On définit le **facteur de stabilisation**  $F$  par :  $F = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \frac{R + r_Z}{r_Z}$  .

Plus  $F$  est grand (  $r_Z$  faible : pente raide de la caractéristique au niveau de  $V_Z$ ) plus la **stabilisation est meilleure**.

### *Illustration numérique :*

On donne : • paramètres du circuit:  $E = 20 \text{ volt}$  ,  $R = 0,5 \text{ k}\Omega$  ;

• caractéristique de  $D_Z$ :  $V_Z = 10 \text{ volt}$  ,  $r_Z = 10 \Omega$  .

Un calcul simple donne:  $V = 10,19 \text{ volt}$  ,  $i = 19 \text{ mA}$  (courant qui circule dans le circuit).

Supposons que  $E$  subit une variation entre 15 volt et 25 volt :  $E \pm \Delta E = (20 \pm 5) \text{ volt}$  .

Ceci correspond à une variation relative de  $\frac{\Delta E}{E} = 20 \%$  assez importante !!! En conséquence,  $V$  subit aussi

une variation de  $\Delta V = \frac{r_Z}{R + r_Z} \Delta E \approx 0,098 \text{ volt}$  .

On a alors  $V \pm \Delta V = (10,19 \pm 0,098) \text{ volt}$  ce qui correspond à une variation relative  $\frac{\Delta V}{V} \approx 0,96 \%$  ( $< 1 \%$  !!!)

**En conclusion:** *Pour une variation relative de  $E$  de 20% , on a une variation relative de  $V$  inférieure à 1%.  $V$  est donc stabilisée.*