

CHAPITRE 3

Les diodes

Sommaire

3.1	Introduction	52
3.2	Les semi-conducteurs	52
3.2.1	Semi-conducteurs intrinsèques	53
3.2.2	Semi-conducteurs extrinsèques	53
3.3	La jonction PN	55
3.3.1	Polarisation directe de la jonction PN	56
3.3.2	Polarisation inverse de la jonction PN	57
3.4	Diode à jonction	58
3.4.1	Définition et symbole	58
3.4.2	Caractéristique d'une diode	58
3.4.3	Modèles électriques linéaires de la diode	59
3.5	Applications des diodes	67
3.5.1	Redresseur simple alternance	67
3.5.2	Redresseur double alternance	70
3.6	Diode Zener	73
3.6.1	Définition et symbole	73
3.6.2	Caractéristique d'une diode Zener	73
3.6.3	Modèle équivalent de la diode Zener	74
3.6.4	Stabilisation de tension par diode Zener	74
3.7	Conclusion	78

3.1 Introduction

Pour comprendre comment les diodes, transistors et circuits intégrés fonctionnent, il faut d'abord étudier les semi-conducteurs : matériaux qui ne sont ni conducteurs, ni isolants. Ils contiennent des électrons libres mais aussi des trous, ce qui les rend particuliers.

On débute ce chapitre par des généralités sur les semi-conducteurs. Ensuite, on présente la diode à jonction ainsi que ses caractéristiques, sa modélisation et ses applications. Enfin, on étudie la diode Zener et son utilisation dans les circuits de stabilisation de tension.

3.2 Les semi-conducteurs

Un semi-conducteur est souvent connu comme étant un matériau dont la conductivité et la résistivité dépendent de la température :

- Si la température T croît, la conductivité δ croît et la résistivité décroît.
- Si la température T décroît, la conductivité δ décroît et la résistivité croît.

Donc les semi-conducteurs sont également des isolants pour les basses températures et des conducteurs pour les hautes températures.

Les semi-conducteurs les plus utilisés sont le silicium et le germanium qui sont des éléments tétravalents qui appartiennent à la quatrième colonne de la classification périodique des éléments. Leurs atomes comportent quatre électrons (de valence) sur la couche périphérique (couche de valence). Leur structure est identique à celle du diamant (figure 3.1(a)).

Chaque atome est attaché à quatre voisins mis aux pics d'un tétraèdre par une liaison covalente. La figure 3.1(b)) représente la reproduction de la structure sur un plan.

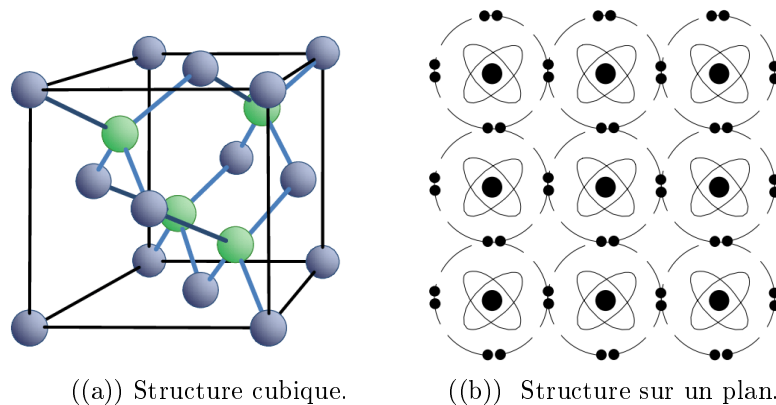


FIGURE 3.1: Structure d'un semi-conducteur.

3.2.1 Semi-conducteurs intrinsèques

Lorsque le corps est parfaitement pur, il est qualifié d'intrinsèque. Exemples : Silicium (Si), Germanium (Ge), Sélénium (Se).

A la température "0°K" toutes les liaisons covalentes sont maintenues. C'est un bon isolant : pas d'électrons libres. Lorsque la température du cristal augmente, certains électrons de valence quittent leurs places, certaines liaisons covalentes sont interrompues. On dit qu'il y a rupture de la liaison covalente et par conséquent :

- Libération de certains électrons qui vont se déplacer librement d'où la conduction du courant électrique.
- On obtient une liaison rompue (un ion Si^+) qui entraîne la naissance d'une paire de charge : électron libre (charge négative) et trou (charge positive).

3.2.2 Semi-conducteurs extrinsèques

Ce sont des semi-conducteurs intrinsèques dans lesquels on a introduit des atomes étrangers qu'on appelle "impuretés" ce qui va modifier complètement leurs caractéristiques électriques. Cette opération d'injection d'impureté s'appelle dopage d'un semi-conducteur. De cette opération résulte deux types de semi-conducteurs extrinsèques.

3.2.2.1 Semi-conducteurs extrinsèques de type N

On fait pénétrer dans le réseau cristallin du semi-conducteur des atomes étrangers pentavalents tels que : Antimoine, Phosphore, Arsenic (qui contiennent chacun cinq électrons de valence). Parmi ces cinq électrons, quatre vont être mis en commun avec les électrons des atomes voisins pour assurer les liaisons de valence. Le cinquième resté libre, peut se déplacer et participer à la conduction. On dit que les impuretés utilisés sont des donneurs (d'électrons). Dans ce cas les électrons sont des porteurs majoritaires alors que les trous sont des porteurs minoritaires, le semi-conducteur extrinsèque est dit de type N .

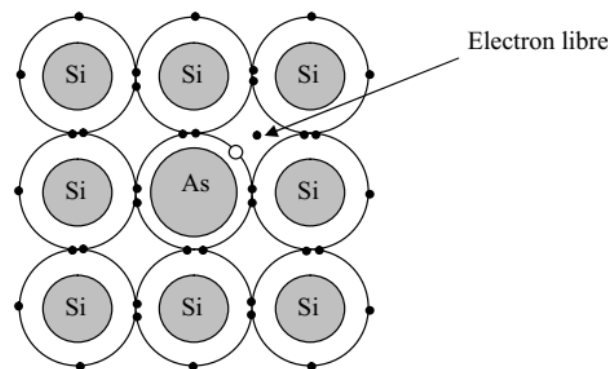


FIGURE 3.2: Dopage par atome donneur.

3.2.2.2 Semi-conducteurs extrinsèques de type P

Dans ce cas, les atomes d'impureté sont des accepteurs (Bore, Aluminium, Gallium, Indium). Ils ont seulement trois électrons sur la couche de valence. Pour assurer les liaisons entre atomes voisins, quatre électrons sont nécessaires alors que l'atome du dopage ne porte que trois, il y a donc un trou disponible susceptible de recevoir un électron. Un électron d'un atome voisin peut occuper ce trou. L'atome du dopage devient un ion négatif fixe. L'atome voisin aura un trou et une charge positive excédentaires. Les trous sont

donc beaucoup plus nombreux que les électrons, Ils constituent les porteurs majoritaires et le semi-conducteur est de type P .

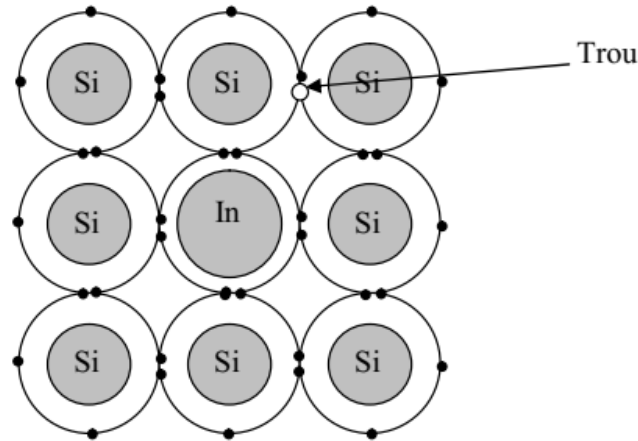


FIGURE 3.3: Dopage par atome accepteur.

3.3 La jonction PN

Une jonction est définie comme étant l'assemblage de deux parties de semi-conducteurs N et P ayant une frontière commune appelé plan de jonction. En réalité, on ne colle pas deux semi-conducteurs N et P , mais on diffuse dans une plaque de silicium dopée N une zone dopée P . Les électrons majoritaires au côté N vont diffuser vers le côté P et les trous majoritaires au côté P vont diffuser vers le côté N . Les électrons passés au côté P vont se recombinaison avec les trous abondants de ce côté, et les trous passés au côté N vont se recombinaison avec les électrons abondants de ce côté. Il se crée alors une région sans porteurs où il n'y a plus que des ions positifs du côté N et des ions négatifs du côté P . Cette région dite, zone de charge, d'espace ou zone dépeuplée n'est plus neutre électriquement. Il se crée alors un champ électrique interne. Ce champ repousse les porteurs majoritaires de chaque partie et arrête la diffusion (figure 3.4).

Entre les deux parties P et N apparaît alors une différence de potentiel (d.d.p) appelée aussi barrière de potentiel de l'ordre de $0,7V$ pour le Silicium et $0,3V$ pour le Germanium.

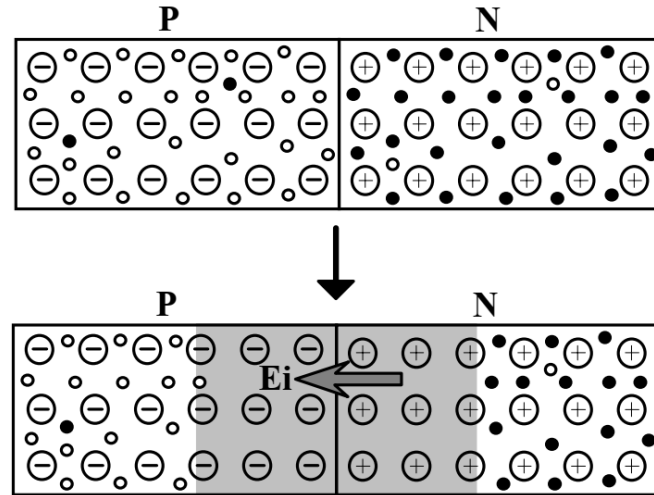
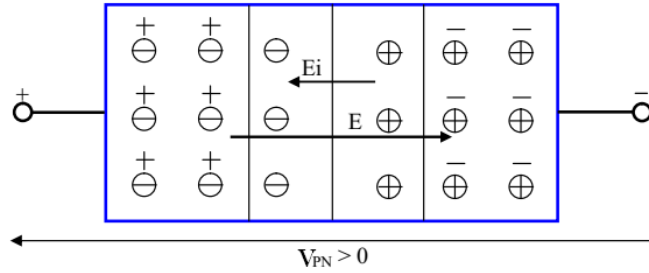


FIGURE 3.4: Jonction PN.

3.3.1 Polarisation directe de la jonction PN

Lorsqu'une tension positive est appliquée entre la partie P et la partie N ($V_{PN} > 0$), la jonction PN est polarisée en direct (figure 3.5). Le champ externe E_{ext} créé par ce générateur au sein de la jonction s'oppose au champ interne E_i . Tant que la tension V_{PN} du générateur reste inférieure à un certain seuil, E_{ext} reste inférieur à E_i , et les porteurs ne peuvent toujours pas traverser la jonction donc, il n'y a pas de courant.

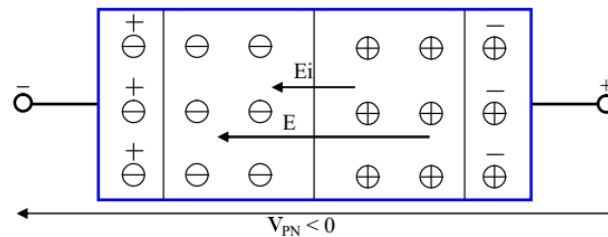
Si la tension du générateur devient supérieure au seuil, E_{ext} devient supérieur à E_i , le champ résultant dans la jonction est maintenant orienté de P vers N et va donc favoriser la diffusion des électrons de N vers P et des trous de P vers N . Il se crée alors un courant électrique important de P vers N au sein de la jonction (de N vers P dans le circuit extérieur).

FIGURE 3.5: Polarisation directe de la jonction PN .

3.3.2 Polarisation inverse de la jonction PN

Lorsqu'une tension négative est appliquée entre la partie P et la partie N ($V_{PN} \leq 0$), la jonction PN est polarisée en inverse (figure 3.6). L'action du champ E_{ext} créé par le générateur externe s'ajoute à celle de champ interne E_i , les porteurs majoritaires, sont repoussés encore un peu plus loin de la jonction ce qui augmente la largeur de la zone dépeuplée.

Aucun courant important ne circule dans la jonction, on dit qu'elle est bloquée. Le seul courant qui arrive à passer est celui créé par les porteurs minoritaires dont la diffusion est encouragée par le champ. Ce courant reste cependant très faible, si bien qu'on peut considérer qu'une jonction PN polarisée en inverse correspond à une résistance très élevée ou même à un circuit ouvert.

FIGURE 3.6: Polarisation inverse de la jonction PN .

3.4 Diode à jonction

3.4.1 Définition et symbole

La diode est un composant électronique obtenu en recouvrant une jonction PN par une couche protectrice en plastique afin d'en faciliter la manipulation. Elle est constituée de deux électrodes : l'Anode (A) et la Cathode (K).

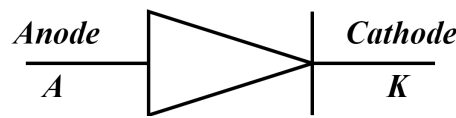


FIGURE 3.7: Représentation symbolique de la diode.

3.4.2 Caractéristique d'une diode

La caractéristique courant-tension ($I-V$) de la diode est donnée par la relation exponentielle suivante :

$$I_D = I_s(e^{\frac{V}{nV_T}} - 1) \quad (3.1)$$

Avec

I_D : Courant de la diode.

I_s : Courant de saturation de la diode.

n : Coefficient d'idéalité de la diode ($1 \leq n \leq 2$).

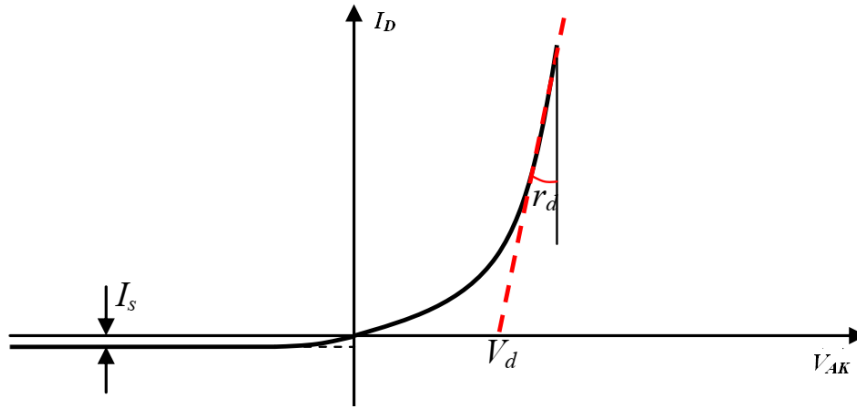
V_T : Tension thermique, $V_T = \frac{KT}{q}$.

K : Constante de Boltzmann, $K = 1.38 \times 10^{-23} J.K^{-1}$.

T : Température.

q : Charge de l'électron, $q = 1.60219 \times 10^{-19} C$

- En polarisation inverse ($V_{AK} \leq 0$), le courant qui parcourt la diode de la cathode vers l'anode est négligeable ($I_D \simeq 0$).
- En polarisation directe ($V_{AK} > V_d$), le courant croît rapidement avec la tension comme montré dans la figure 3.8.

FIGURE 3.8: Caractéristique $I - V$ d'une diode.

V_d : Tension de seuil de la diode.

r_d : Résistance dynamique de la diode. Elle est donnée par :

$$r_d = \frac{V_D}{I_D} \quad (3.2)$$

L'analyse d'un circuit électrique comportant des diodes est difficile, parce que le système d'équations décrivant le circuit est non linéaire.

3.4.3 Modèles électriques linéaires de la diode

Pour faciliter l'analyse d'un circuit contenant une diode (circuit non linéaire) on remplace celle-ci par des modèles linéaires.

3.4.3.1 Modèle idéal (première approximation)

Dans ce cas, on néglige la tension de seuil et la résistance interne de la diode. Il s'agit d'un interrupteur fermé en polarisation directe ($V_{AK} > 0$) et ouvert en polarisation inverse ($V_{AK} \leq 0$). La figure 3.9 montre ce modèle idéal.

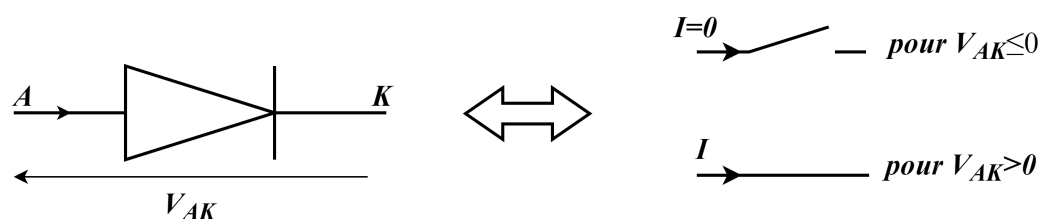


FIGURE 3.9: Modèle d'une diode idéale (première approximation).

Exemple

Soit le montage de la figure 3.10.

-Déterminer le courant I en utilisant le modèle idéal de la diode.

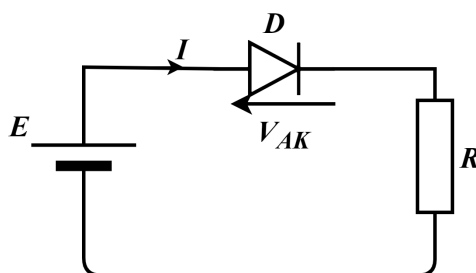
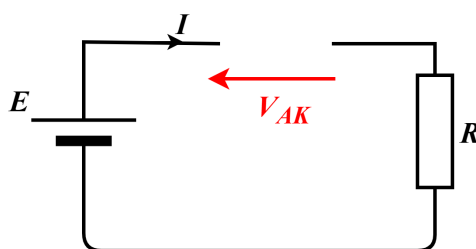


FIGURE 3.10: Exemple d'application d'une diode idéale.

solution

On débranche la diode et on détermine la tension V_{AK} . La figure 3.11 représente le schéma équivalent lorsque la diode est débranchée.

FIGURE 3.11: Schéma pour déterminer V_{AK} .

On peut appliquer la loi des mailles :

$$E - V_{AK} - RI = 0$$

Le courant $I = 0$ donc :

$$V_{AK} = E$$

On distingue deux cas :

- $E \leq 0 \Rightarrow V_{AK} \leq 0 \Rightarrow$ La diode est bloquée. On remplace la diode par un interrupteur ouvert, donc le courant est nul.
- $E > 0 \Rightarrow V_{AK} > 0 \Rightarrow$ La diode est passante. On remplace la diode par un interrupteur fermé comme illustrer dans la figure 3.12.

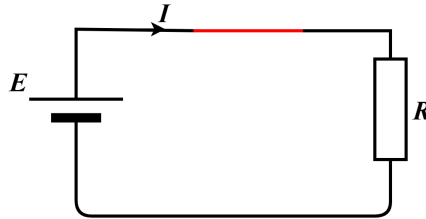


FIGURE 3.12: Schéma pour déterminer le courant I .

Donc le courant I est donné par :

$$I = \frac{E}{R}$$

3.4.3.2 Modèle diode parfaite (deuxième approximation)

On peut continuer à négliger la résistance interne, mais tenir compte du seuil de la diode. Dans ce modèle, on remplace la diode par une source de tension V_d lorsque $V_{AK} > V_d$ ($V_d = 0,7V$ pour le Silicium et $0,3V$ pour le Germanium) , et par un interrupteur ouvert pour $V_{AK} \leq V_d$. Ce modèle est représenté par la figure 3.13.

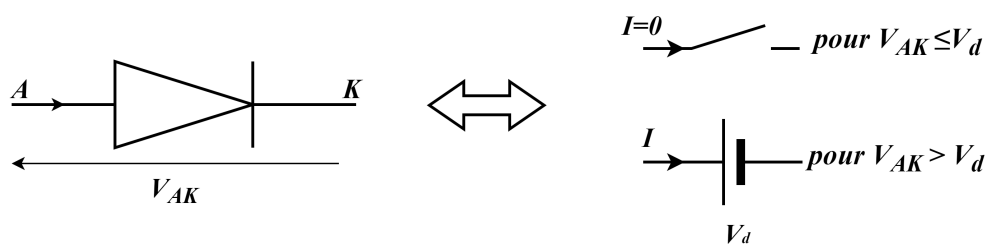


FIGURE 3.13: Modèle d'une diode parfaite (deuxième approximation).

Exemple

Soit le montage de la figure 3.14.

- Déterminer le courant I en utilisant la deuxième approximation de la diode.

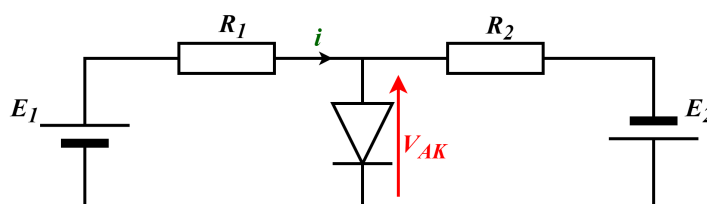


FIGURE 3.14: Exemple d'application d'une diode parfaite.

solution

On débranche la diode et on détermine la tension anode-cathode V_{AK} . la figure 3.15 représente le schéma équivalent lorsque la diode est débranchée.

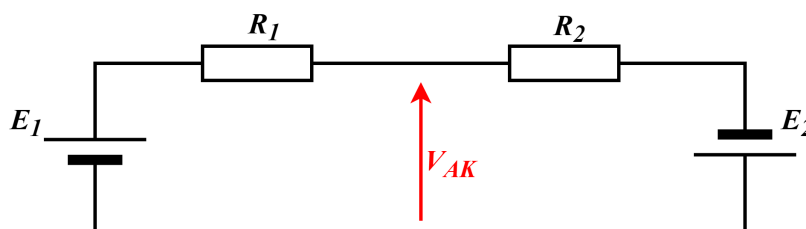


FIGURE 3.15: Circuit équivalent lorsque la diode est débranchée.

En utilisant le théorème de Millmann, on obtient :

$$V_{AK} = \frac{\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

$$V_{AK} = \frac{R_2 E_1 - R_1 E_2}{R_1 + R_2}$$

On distingue deux cas :

— Premier cas : $V_{AK} \leq V_d$

$$V_{AK} \leq V_d \Rightarrow \frac{R_2 E_1 - R_1 E_2}{R_1 + R_2} \leq V_d$$

\Rightarrow La diode est bloquée. On la remplace par un interrupteur ouvert (figure 3.16).

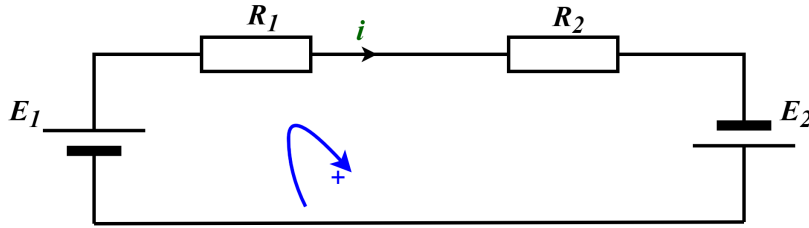


FIGURE 3.16: Circuit équivalent diode bloquée.

On applique la loi des mailles :

$$E_1 - i(R_1 + R_2) - E_2 = 0$$

$$i = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$$

— Deuxième cas : $V_{AK} > V_d$

$$V_{AK} > V_d \Rightarrow \frac{R_2 E_1 - R_1 E_2}{R_1 + R_2} > V_d$$

\Rightarrow La diode est passante. On la remplace par une source de tension V_d (figure 3.17).

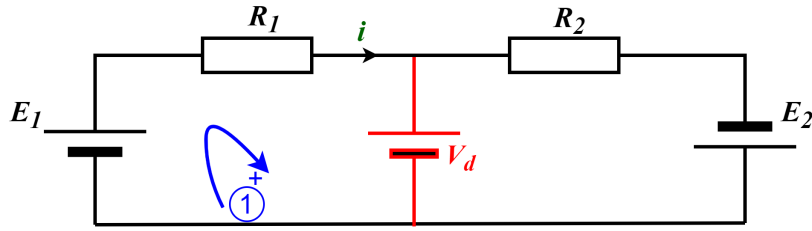


FIGURE 3.17: Circuit équivalent diode passante.

On applique la loi des mailles sur la maille (1), on obtient :

$$i = \frac{E_1 - V_d}{R_1}$$

3.4.3.3 Modèle diode réelle (troisième approximation)

Dans ce modèle, la résistance dynamique r_d est incluse dans le modèle équivalent. Donc on remplace la diode par une source de tension V_d en série avec sa résistance dynamique r_d lorsque $V_{AK} > V_d$, et par un interrupteur ouvert pour $V_{AK} \leq V_d$.

La figure 3.18 montre ce modèle.

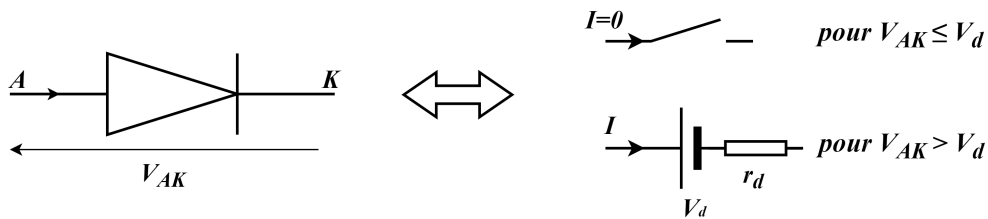


FIGURE 3.18: Modèle d'une diode réelle (troisième approximation).

Exemple

soit le montage de la figure 3.19.

- Déterminer la tension V en utilisant la troisième approximation de la diode.

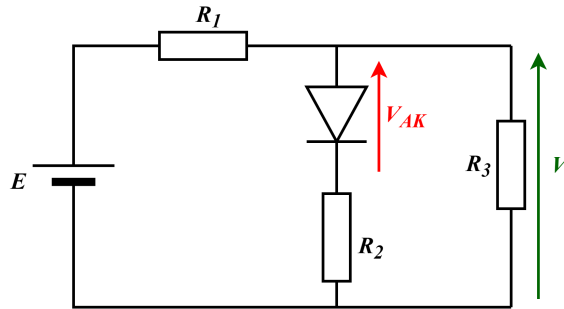
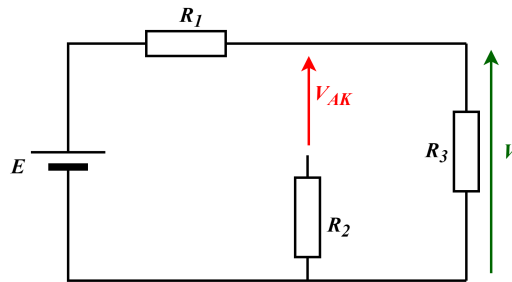


FIGURE 3.19: Exemple d'application d'une diode réelle.

solution

On débranche la diode et on détermine la tension V_{AK} (figure 3.20)

FIGURE 3.20: Circuit pour déterminer V_{AK} .

En utilisant le diviseur de tension, on obtient :

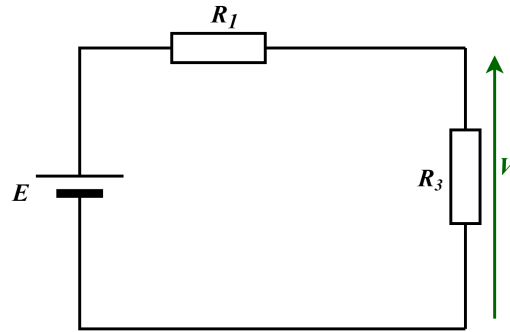
$$V_{AK} = V_{R_3} = \frac{E \cdot R_3}{R_1 + R_3}$$

On distingue deux cas :

— Premier cas : $V_{AK} \leq V_d$

$$V_{AK} \leq V_d \Rightarrow \frac{E \cdot R_3}{R_1 + R_3} \leq V_d$$

\Rightarrow La diode est bloquée. On la remplace par un interrupteur ouvert (figure 3.21).

FIGURE 3.21: Schéma équivalent pour $V_{AK} \leq V_d$.

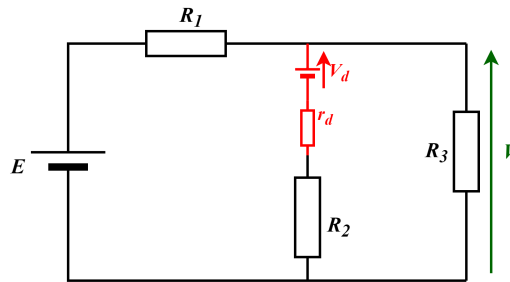
On applique le diviseur de tension :

$$V = \frac{E \cdot R_3}{R_1 + R_3}$$

— Deuxième cas : $V_{AK} > V_d$

$$V_{AK} > V_d \Rightarrow \frac{E \cdot R_3}{R_1 + R_3} > V_d$$

\Rightarrow La diode est passante. On la remplace par une source de tension V_d en série avec une résistance interne r_d (figure 3.22).

FIGURE 3.22: Schéma équivalent pour $V_{AK} > V_d$.

Pour déterminer la tension V , on applique le théorème de Millmann, on obtient :

$$V = \frac{\frac{E}{R_1} + \frac{V_d}{(r_d + R_2)}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{r_d + R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

3.5 Applications des diodes

Il existe divers types de diodes correspondant à des technologies différentes. Chaque technologie présente le meilleur compromis pour une utilisation donnée.

Nous allons présenter dans la section suivante l'application de la diode à jonction dans les montages d'alimentation comme redresseur.

Le redressement consiste à transformer une tension bidirectionnelle en une tension unidirectionnelle appelée tension redressée.

3.5.1 Redresseur simple alternance

Le circuit utilisé dans cette conversion permet de supprimer la partie négative du signal alternatif et de garder la partie positive.

La figure 3.23 montre un circuit simple qui permet de faire passer l'alternance positive et annuler l'alternance négative d'un signal sinusoïdal.

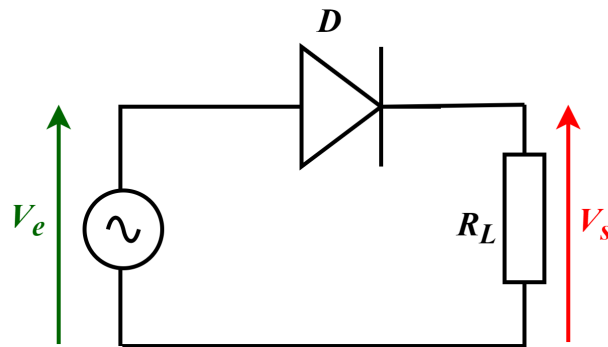


FIGURE 3.23: Redresseur simple alternance à diode.

La tension d'entrée est sinusoïdale ($V_e = V_M \sin \omega t$).

Pour simplifier le fonctionnement on suppose que la diode est idéale.

Pour déterminer l'état de la diode on calcule la tension V_{AK} lorsqu'elle est débranchée (figure 3.24) :

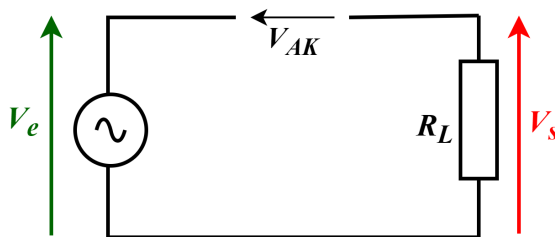


FIGURE 3.24: Schéma simplifier lorsque la diode est débranchée.

D'après la figure précédente, on a :

$$V_{AK} = V_e \quad (3.3)$$

On distingue deux cas :

- Si $V_e \leq 0 \Rightarrow V_{AK} \leq 0 \Rightarrow$ La diode est bloquée.

On remplace la diode par un interrupteur ouvert, on obtient :

$$V_s = 0$$

- Si $V_e > 0 \Rightarrow V_{AK} > 0 \Rightarrow$ La diode est passante.

On remplace la diode par un interrupteur fermé comme illustré dans la figure 3.25.

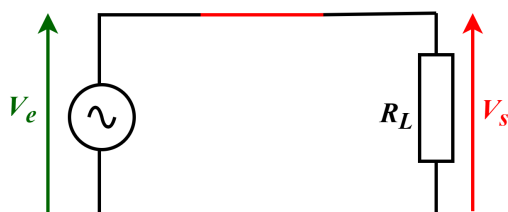


FIGURE 3.25: Schéma équivalent diode passante.

Donc la tension de sortie est donnée comme suit :

$$V_s = V_e$$

La figure suivante représente les tensions V_e et V_s en fonction du temps :

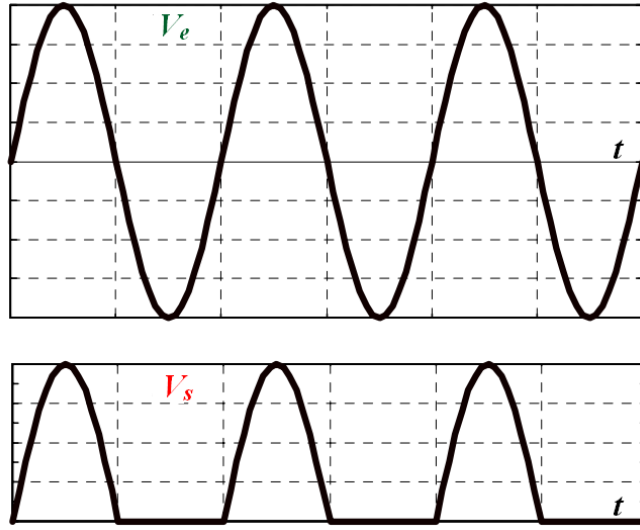


FIGURE 3.26: Signaux d'un redresseur simple alternance.

Valeur moyenne

la valeur moyenne d'une fonction périodique est donnée par :

$$\langle V_s \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V_s(t) dt \quad (3.4)$$

Dans le cas d'un redresseur simple alternance, on obtient :

$$\langle V_s \rangle = \frac{V_M}{\pi} \quad (3.5)$$

Valeur efficace

La valeur efficace d'une fonction périodique est donnée par :

$$V_{seff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_s^2(t) dt} \quad (3.6)$$

Dans le cas d'un redresseur simple alternance, on obtient :

$$V_{seff} = \frac{V_M}{2} \quad (3.7)$$

3.5.2 Redresseur double alternance

Pour que V_s s'approche un peu plus d'une tension continue, on va redresser les deux alternances.

Dans la pratique, on utilise souvent deux circuits principaux pour le redressement double alternance. Les deux circuits sont :

- Redresseur avec transformateur à point milieu.
- Redresseur avec pont à diode ou pont de Graetz.

Dans ce travail on présente un redressement double alternance à l'aide d'un pont redresseur à 4 diodes (pont de Graetz) comme illustré dans la figure 3.27).

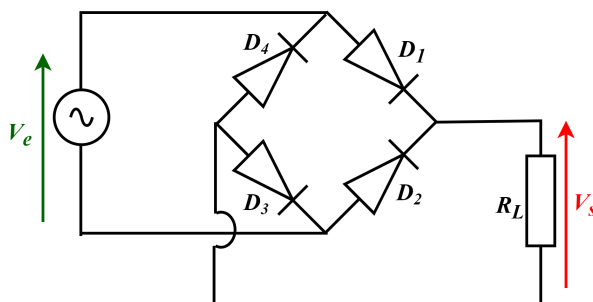


FIGURE 3.27: Redresseur double alternance.

- Pendant l'alternance positive de la tension d'entrée ($V_e(t) > 0$), les diodes D_1 et D_3 sont conductrices et les diodes D_2 et D_4 sont bloquées (figure 3.28).

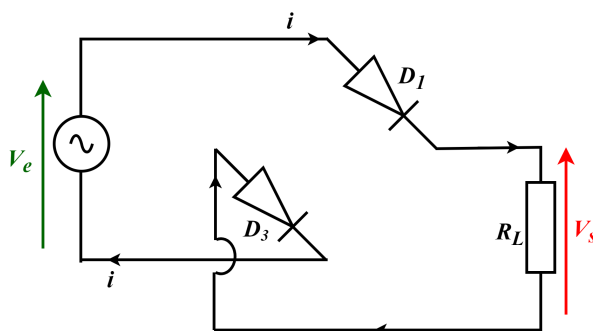


FIGURE 3.28: Circuit équivalent pendant l'alternance positive.

D'après la figure précédente et par l'application de la loi des mailles, on obtient :

$$V_s = V_e$$

- Pendant l'alternance négative de la tension d'entrée ($V_e(t) \leq 0$), les diodes D_2 et D_4 sont conductrices et les diodes D_1 et D_3 sont bloquées.

Le circuit correspondant à cet état se ramène au circuit présenté par la figure 3.29.

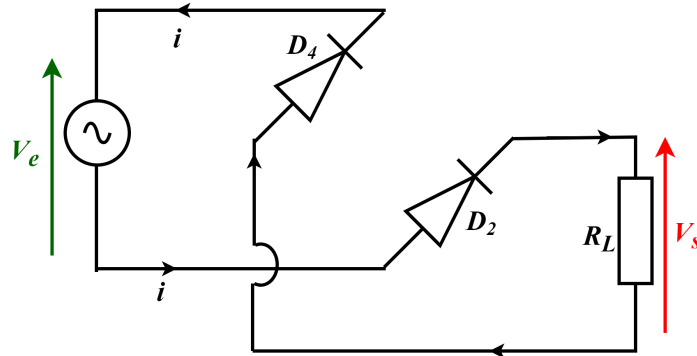


FIGURE 3.29: Circuit équivalent pendant l'alternance négative.

A partir de la figure précédente et par l'application de la loi des mailles, on obtient :

$$V_s = -V_e$$

Le résultat est que la charge est toujours alimentée dans le même sens. La composante continue de la tension V_s a doublé par rapport au redressement simple alternance.

Remarque Il est conseillé d'éviter l'utilisation de ce type de montage pour le redressement des signaux à faibles amplitudes, notamment inférieurs au double du seuil d'une diode car la charge R_L est montée en série avec deux diodes.

La figure suivante représente les tensions V_e et V_s en fonction du temps :

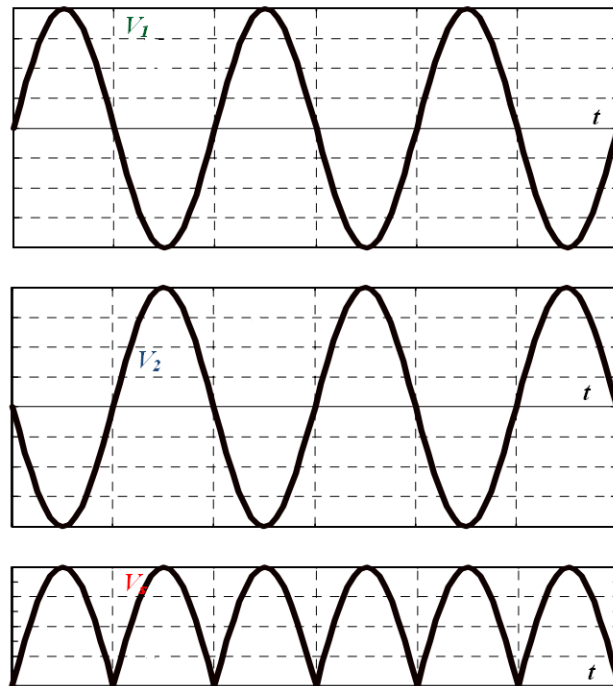


FIGURE 3.30: Signaux d'un redresseur double alternance.

Dans ce cas la valeur moyenne et la valeur efficace sont données par :

Valeur moyenne

$$\langle V_s \rangle = \frac{2V_M}{\pi} \quad (3.8)$$

Valeur efficace

$$V_{seff} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} \quad (3.9)$$

3.6 Diode Zener

3.6.1 Définition et symbole

La diode Zener est une diode fabriquée pour être utilisée en inverse dans la zone de claquage.

- En direct, la diode Zener se comporte comme une diode normale.
- En inverse, la diode Zener au claquage présente un coude de tension inverse très net, suivi d'une croissance verticale du courant. La tension est presque constante, c'est la tension Zener V_Z . Les symboles d'une diode Zener sont :



FIGURE 3.31: Représentation symbolique de la diode Zener.

3.6.2 Caractéristique d'une diode Zener

La figure 3.32 représente la caractéristique $I_Z = f(V_{AK})$ d'une diode Zener.

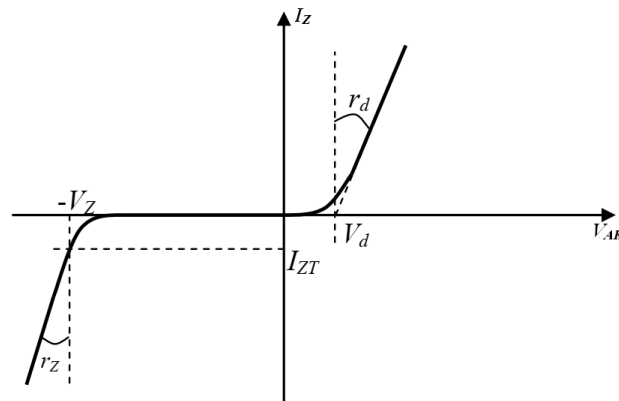


FIGURE 3.32: Caractéristique $I - V$ d'une diode Zener.

3.6.3 Modèle équivalent de la diode Zener

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

- Première approximation : Où on suppose que la caractéristique $I = f(V)$ est verticale dans la zone de claquage donc la diode Zener est dite idéale, elle est juste remplacée par un générateur de tension V_Z .
- 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 dont on doit en 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 .
- Troisième approximation : Dans ce cas la diode est bloquée et on peut la remplacer par un interrupteur ouvert lorsque $-V_Z \leq V_{AK} \leq V_d$.

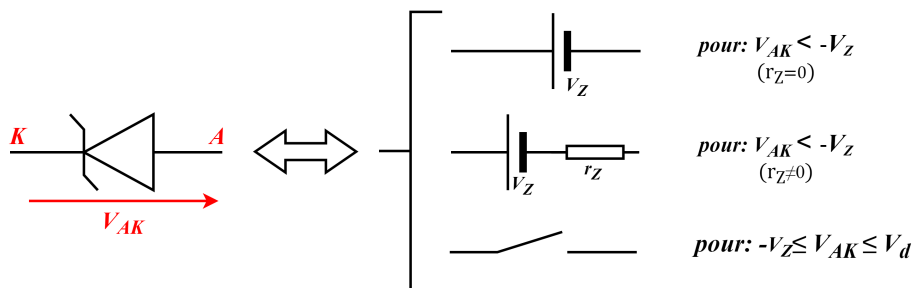


FIGURE 3.33: Modèle équivalent d'une diode Zener.

3.6.4 Stabilisation de tension par diode Zener

Parmi les techniques de régulation de la tension on trouve la diode Zener. Elle permet de maintenir une tension dans un circuit stable quelques soient les variations des autres éléments de ce circuit. La figure 3.34 représente le circuit de stabilisation de tension par diode Zener .

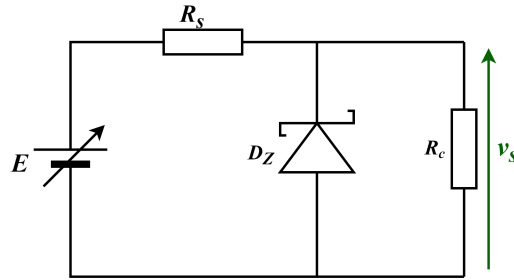


FIGURE 3.34: Stabilisation de tension par diode Zener.

Pour que la tension de sortie reste constante, il faut que la diode Zener soit polarisée en inverse dans la zone de claquage et que :

$$V_{AK} < -V_Z \quad (3.10)$$

Exemple

Dans le montage suivant la source est sinusoïdale avec un offset : $V_e = V_M \sin + V_0$. La diode Zener a une tension de claquage (tension Zener) $V_Z = 8.1V$ et a une résistance Zener $r_Z = 10\Omega$.

On donne : $V_M = 1V$, $V_0 = 30V$, $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$.

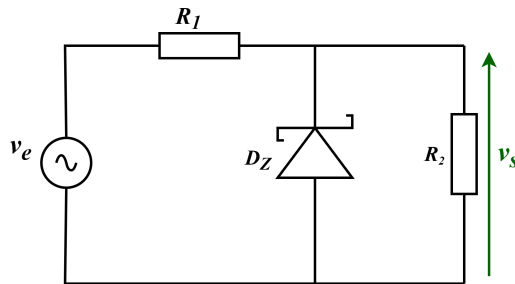


FIGURE 3.35: Exemple d'application d'un stabilisateur à diode Zener.

- Tracer dans le même graphe les tensions v_e et v_s .
- Calculer la puissance dissipée dans la résistance R_2 .

solution

De la même façon que pour la diode normale, on calcule premièrement la tension V_{AK} de la diode Zener lorsqu'elle est débranchée.

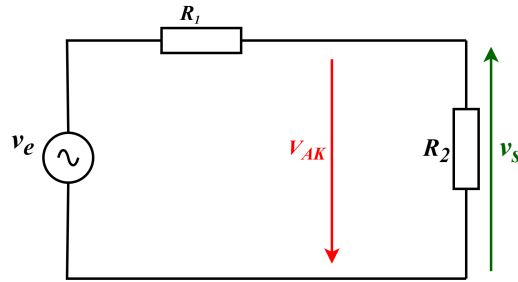


FIGURE 3.36: Circuit pour calculer V_{AK} d'une diode Zener.

$$V_{AK} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2}v_e$$

Selon les données, on a :

$$v_e = V_M \sin \omega t + V_0$$

$$v_e = V_M \sin \omega t + 30$$

On peut limité la tension V_e entre V_{emin} et V_{emax} .

$$29 \leq v_e \leq 31$$

$$v_e = -\frac{R_1 + R_2}{R_2}V_{AK}$$

$$29 \leq -\frac{R_1 + R_2}{R_2}V_{AK} \leq 31$$

$$-19.33 \geq V_{AK} \geq -20.66$$

On remarque que $V_{AK} < -V_Z$ / ($V_Z = 8.1V$), donc la diode Zener est au claquage. On la remplace par une source de tension V_Z en série avec une résistance r_Z .

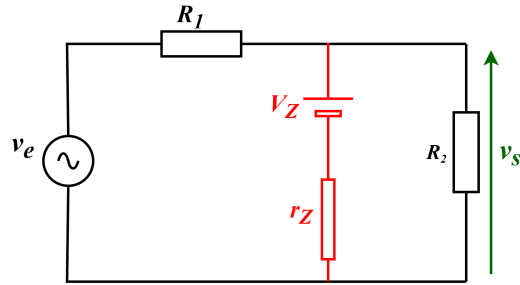


FIGURE 3.37: Circuit équivalent lorsque la diode est au claquage.

$$v_s = \frac{\frac{v_e}{R_1} + \frac{V_Z}{r_Z}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{r_Z} + \frac{1}{R_2}}$$

$$v_s = 0.0098v_e + 7.98 \simeq 7.98V$$

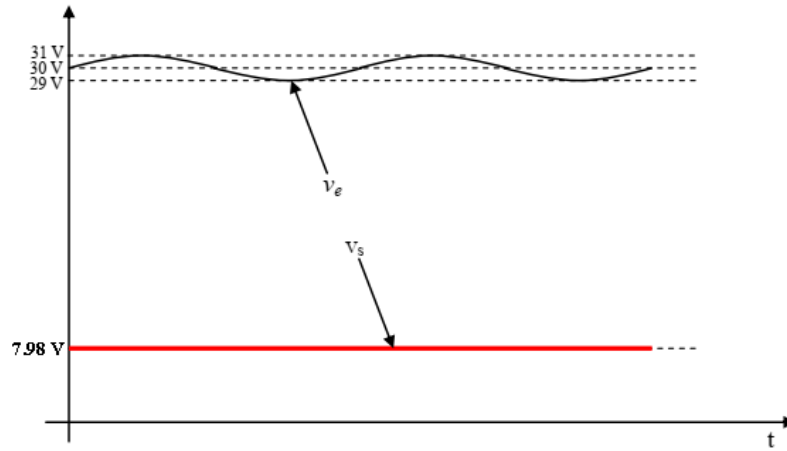


FIGURE 3.38: Tension d'entrée et tension de sortie en fonction du temps.

La puissance dissipée dans la résistance R_2 est donnée par l'expression suivante :

$$P_d = V_{R_2} \cdot I_{R_2} = \frac{(V_{R_2})^2}{R_2} = \frac{(V_s)^2}{R_2}$$

$$P_d = 31.84mW$$

3.7 Conclusion

Ce chapitre a été divisé en trois parties :

Des généralités sur les semi-conducteurs ainsi que la polarisation de la jonction PN sont traitées dans la première partie.

Dans la deuxième partie, nous avons présenté la définition de la diode, ses caractéristiques, ses différentes méthodes de modélisation et leurs applications.

La troisième partie a été réservée à la diode Zener ainsi que sa représentation symbolique, sa modélisation et son utilisation dans les circuits de stabilisation de tension.