

Chapitre 1 : La diode à jonction

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.

Dans ce chapitre nous allons donner le principe de fonctionnement de la diode, sa courbe caractéristique, ainsi ses domaines d'applications.

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.

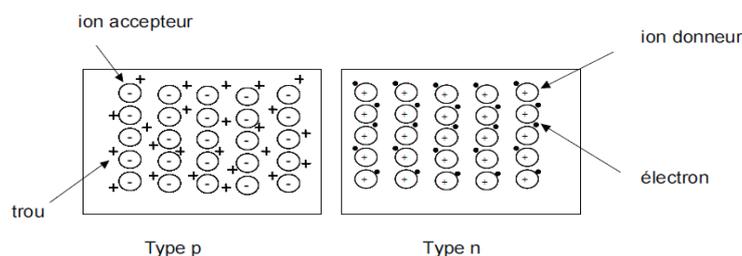


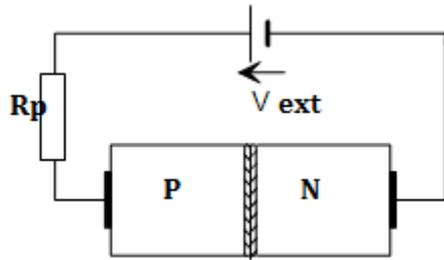
Figure 1 : Présentation schématique de la région P et de la région N

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 ;



$$I = I_S(e^{V_D/U_T} - 1)$$

I_S : courant de saturation inverse.

K : constante de Boltzman.

T : température, à la température ambiante (300K) $U_T = KT/q = 26\text{mv}$.

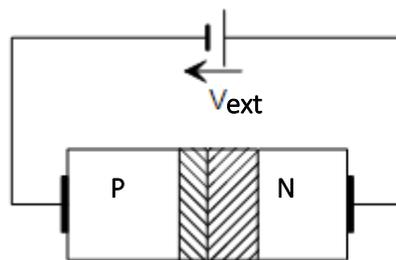
Deux cas peuvent se présenter :

- 1) $V_{ext} > V_i$: le champ électrique E_{ex} créée 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.
- 2) $V_{ex} < V_i$: 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.



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).

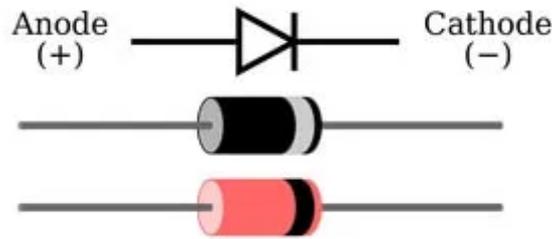


Figure 2 : Symbole & composant physique

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.

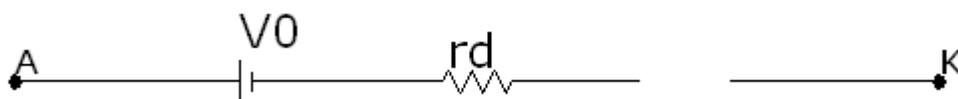
$V_{AK} > 0 \Rightarrow$ La diode est passante \Rightarrow l'interrupteur est fermé.

$V_{AK} < 0 \Rightarrow$ 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.

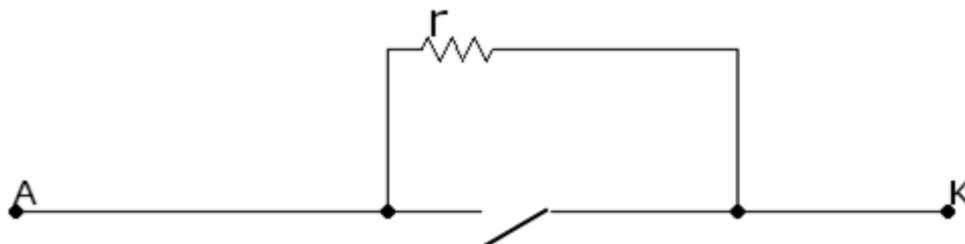
Lorsque la diode est sous polarisation directe, elle agit comme un interrupteur fermé en série avec la barrière de potentiel et la résistance dynamique r_d .



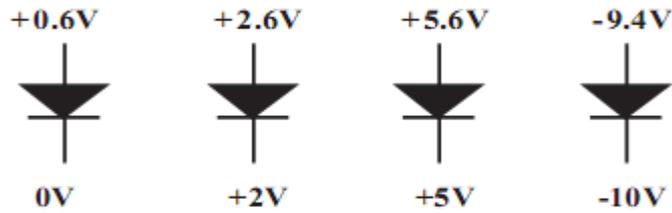
V_0 : tension de seuil (barrière de potentiel) à partir de laquelle la diode commence à conduire.

r_d : résistance dynamique de la diode

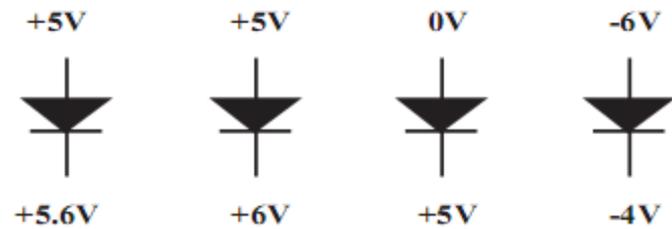
Lorsque la diode est sous polarisation inverse, elle agit comme un interrupteur ouvert en parallèle avec la forte résistance inverse interne r .



1. Exemple de polarisation directe :



2. Exemple de polarisation en inverse :



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

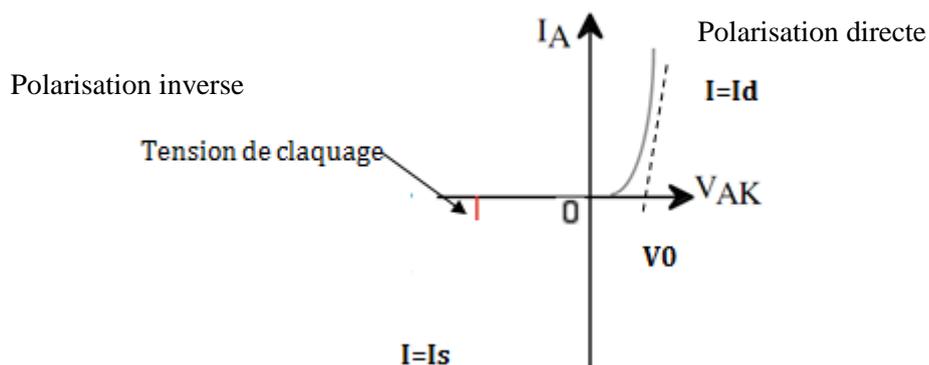
La caractéristique d'une diode est la courbe représentant la variation du courant I traversant la diode en fonction de la tension V qui lui est appliquée.

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_B : constante de Boltzman.

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



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 :

$$\begin{cases} I = I_S \left(e^{V_D/U_T} - 1 \right) & \text{équation courant - tension de la diode} \\ V_D = E - R_1 I_D & \text{équation de la droite de charge du circuit } V_D(I_D) \end{cases}$$

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 $V_D(I_D)$ de la diode.

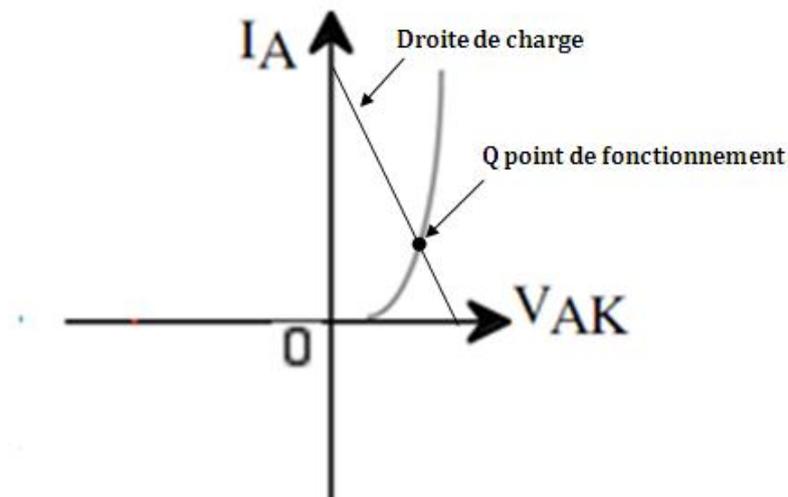


Figure 3

Exemple :

Considérons le circuit de la figure ci-dessous :

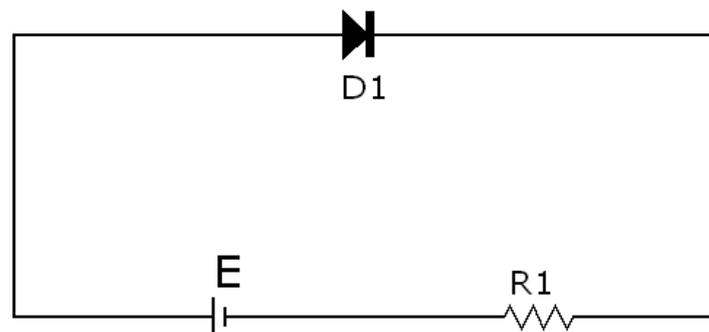
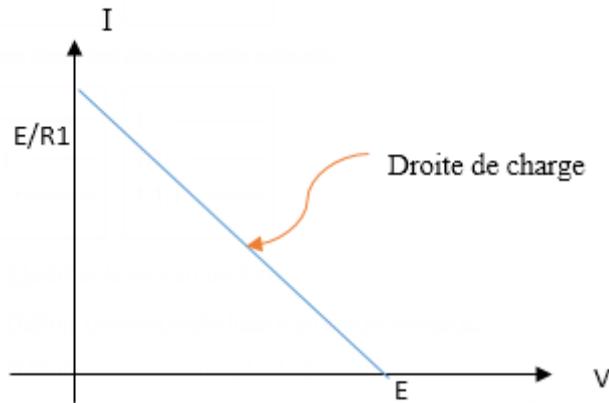


Figure 4

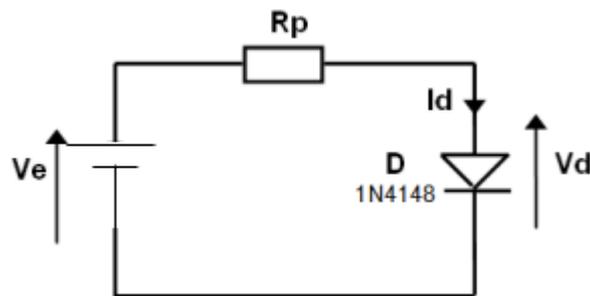
Tracer l'équation de la droite de charge

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



Exemple

Soit le circuit de la figure ci-dessous :



On donne $V_e = +5V$, $R_p = 1K\Omega$ et $V_{seuil} = 0.6V$.

1) Déterminer la valeur du courant I_d .

$I_D = ?$

$$V_D + R_p I_D - V_e = 0 \rightarrow I_D = (V_e - V_D) / R_p$$

$$AN: I_D = (5 - 0.6) / 1000 = 4.4mA$$

8. Diode dans les circuits

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

8.1. Redressement

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

8.1.1. Redressement simple alternance

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

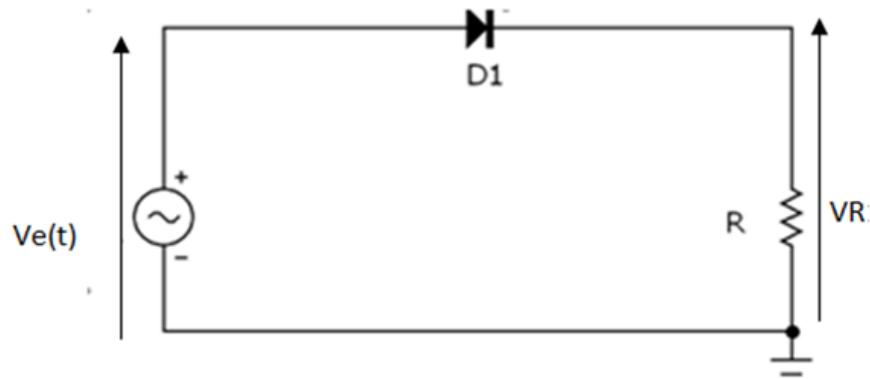


Figure 4. 1 : Redresseur simple alternance

Travail demandé : Analyser le fonctionnement et tracer VR

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 $\Rightarrow V_R = 0$.

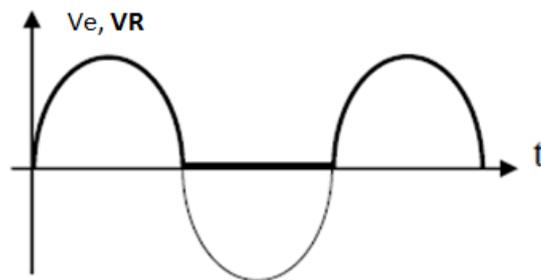


Figure 4. 2 : Allure des tensions V_e et V_R

8.1.2. Redressement double alternance avec un transformateur à point milieu

Soit le circuit ci-dessous :

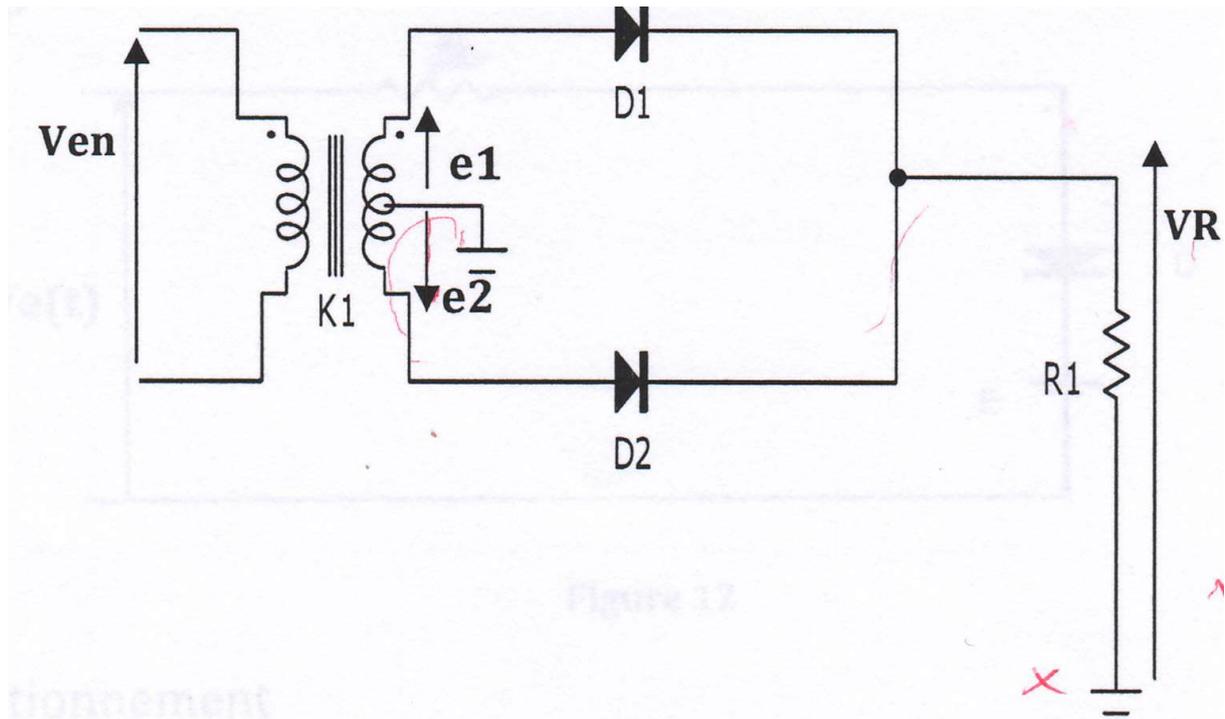


Figure 5: Redresseur double alternance

Travail demandé : Analyser le fonctionnement et tracer la forme du signal de sortie V_s .

Analyse du fonctionnement

- ✓ Pendant l'alternance positive de la tension $V_e(t) \Rightarrow$ D1 est polarisée en directe par $e_1(t)$ et D2 en inverse par $e_2(t) \Rightarrow V_s(t)=e_1(t)$.
- ✓ Pendant l'alternance négative de la tension $V_e(t) \Rightarrow$ D1 est polarisée en inverse par $e_1(t)$ et D2 en direct par $e_2(t) \Rightarrow V_s(t)=e_2(t)$.

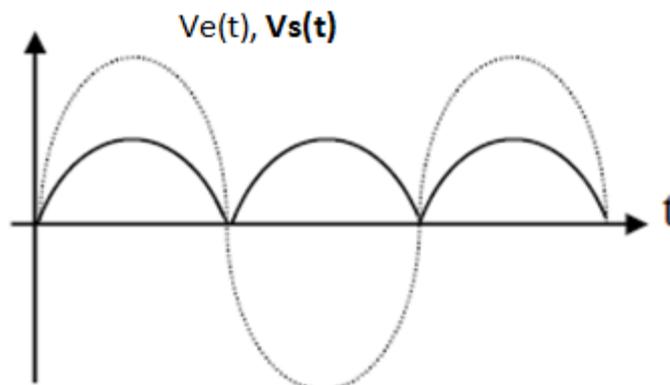


Figure 6 : Allure des tensions $V_e(t)$ et $V_s(t)$

8.2. 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).

8.2.1. Ecrêtage de la partie positive

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

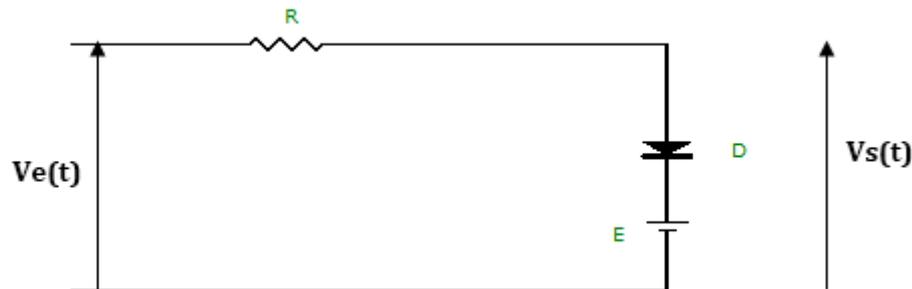


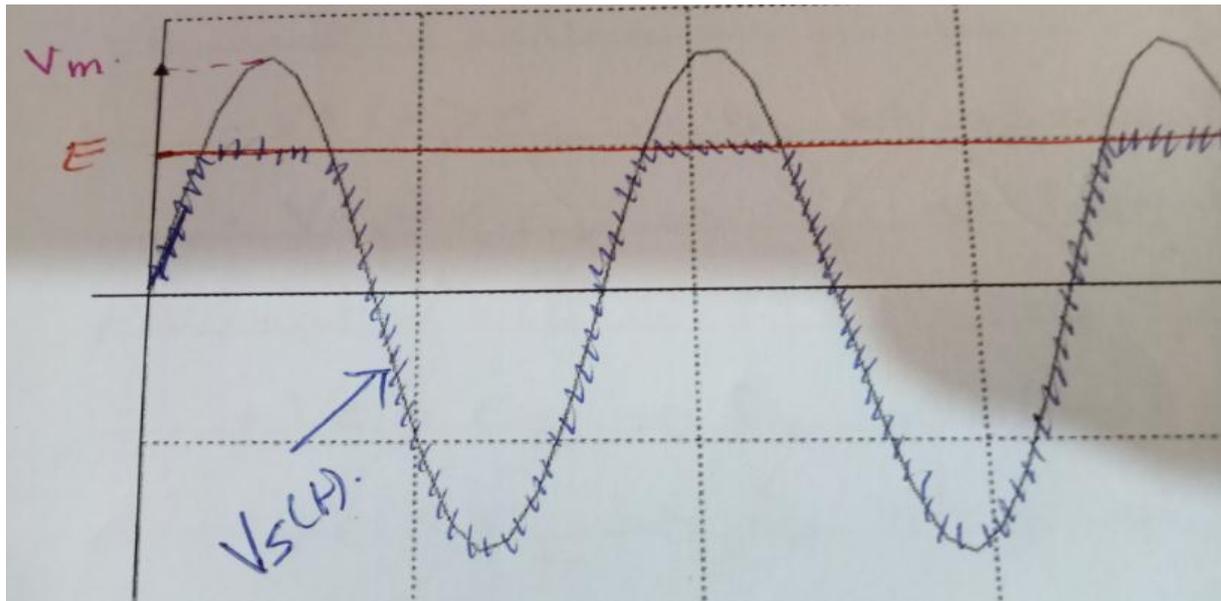
Figure 7

Travail demandé : Analyser le fonctionnement et tracer la forme du signal de sortie.

Analyse du fonctionnement

Analyse du fonctionnement

- ✓ Pendant l'alternance positive de la tension $V_e(t)$
 - $V_e < E \Rightarrow$ La diode est bloquée et elle se comporte comme un interrupteur ouvert, aucun courant ne circule dans la résistance $R \Rightarrow V_s = V_e(t)$.
 - $V_e > E \Rightarrow$ La diode est passante et elle se comporte comme un interrupteur fermé, $\Rightarrow V_s = E$.
- ✓ Pendant l'alternance négative de $V_e(t)$, la diode est polarisée en inverse et $V_s = V_e(t)$.



8.2.2. 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 $E1$ et $E2$, pour que le circuit puisse remplir correctement la fonction pour laquelle il a été conçu. $V_e(t) = V_m \sin wt$ et $V_m > E1$ et $E2$.

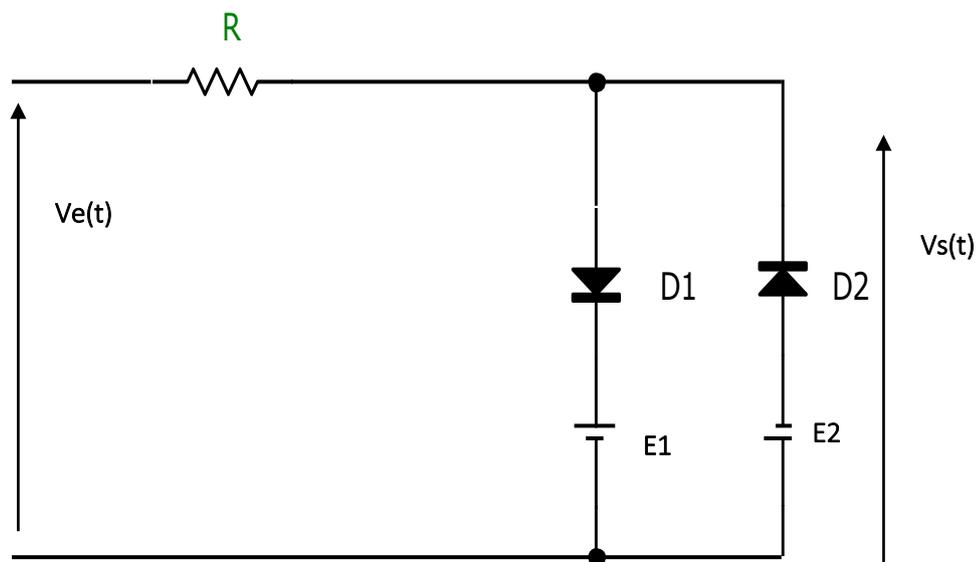


Figure 8

- Tracer la forme du signal de sortie.

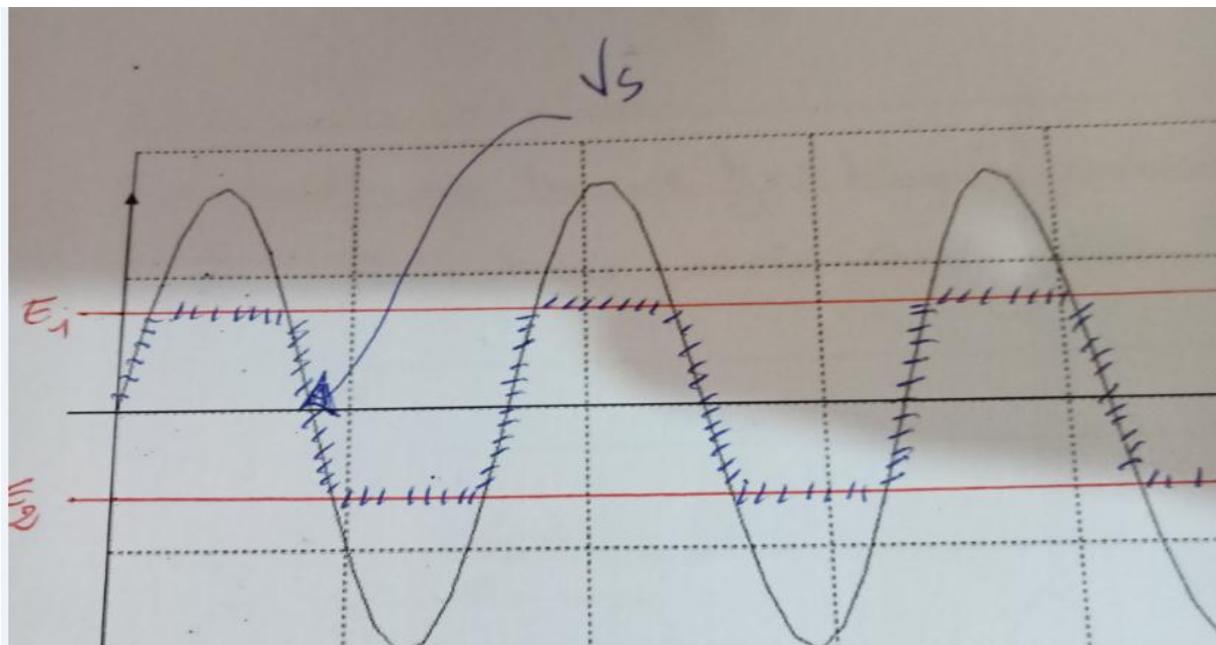
Analyse du fonctionnement :

Pendant l'alternance (+) de $V_e(t)$: D2 toujours bloquée

- 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 $V_e(t)$: D1 toujours bloquée

- 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 $\rightarrow V_S = -E_2$



8.3. 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).

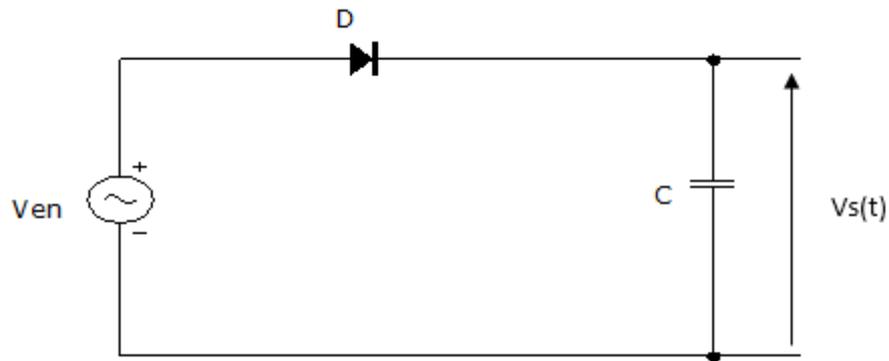
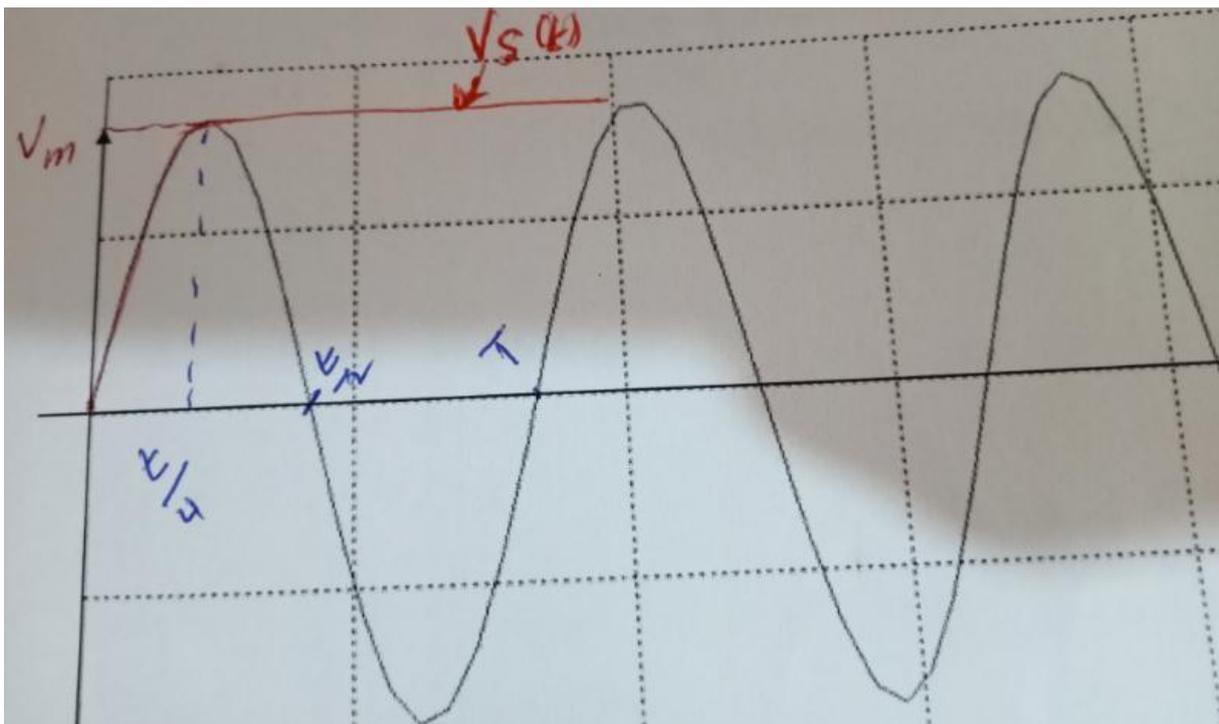


Figure 9: Détecteur de crête

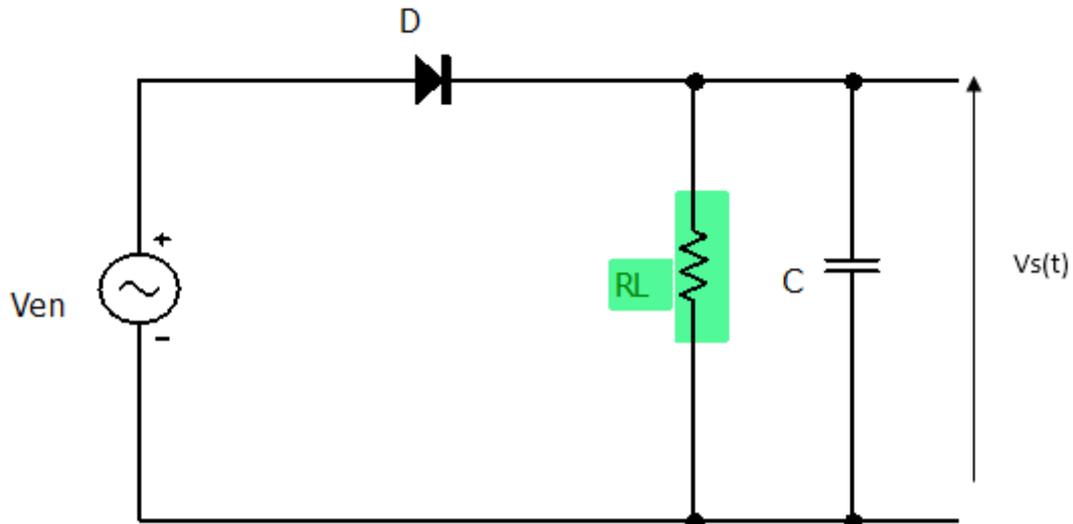
Il se charge donc à la valeur crête (moins la tension de seuil de la diode) et reste chargé à cette valeur.

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 seuil de la diode, celle-ci conduit et charge le condensateur à travers la résistance R.



7.4.2. Détecteur de crête avec charge (RL)



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

