
Diodes

DORLAND Paul - THEODON Leo - BRAHIME Aldric,
Rapport de TP n°2

Vendredi 7 décembre 2018

Le but de ce TP est d'étudier les diodes standards et les diodes Zener en effectuant différentes mesures, explorant leurs caractéristiques, et réalisant divers circuits permettant notamment le redressement ou la stabilisation d'un signal.

1 Rappels

1.1 Définition

Une diode est un composant semi-conducteur qui permet de ne laisser passer le courant que dans un seul sens. En effet, lorsque la diode est soumise à une tension $V > 0,7V$ nommée tension de seuil, on dit que la diode est polarisée en sens direct, ou encore qu'elle est passante. En revanche, si la tension aux bornes de la diode est inférieure à la tension de seuil, c'est à dire si $V < 0,7V$, on dit qu'elle est bloquée, c'est-à-dire qu'aucun courant ne peut la traverser.

1.2 Modèle théorique

En sens direct, on a $I \approx I_S e^{\frac{eV}{kT}} = I_S e^{\frac{V}{V_0}}$ avec $V_0 = \frac{kT}{e} \approx 25mV$ dans les conditions normales de pression et de température, où $k = 1,38 \cdot 10^{-23} J.K^{-1}$ est la constante de Boltzmann.



Figure 1 – Symboles d'une diode standard (1a) et Zener (1b). Le triangle indique le sens direct de polarisation.

On indique sur la figure 1 les symboles qui seront utilisés par la suite pour représenter les diodes dans les schémas de circuits.

On peut voir sur la figure 2 le modèle équivalent de Thévenin d'une diode polarisée en sens direct. Si la diode est polarisée en sens indirect, la diode se comporte comme une résistance très élevée (idéalement infinie) tant que la tension est supérieure à la tension de claquage.



Figure 2 – Modèle équivalent de Thévenin d'une diode standard (2a) modélisée en (2b) par une résistance R_{th} et un générateur de tension V_d égale à la tension de seuil (soit $0,7V$) lorsque la diode est passante.

2 Caractéristique d'une diode

Nous allons à présent réaliser le montage de la figure 3 afin de mesurer la caractéristique courant-tension d'une diode 1N4148 pour des courants allant d'environ $10\mu A$ jusqu'à $100mA$.

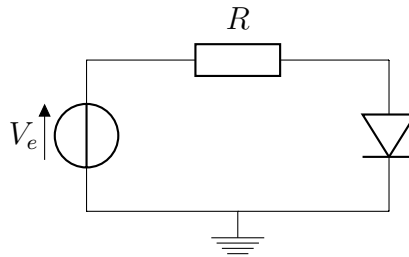


Figure 3 – Montage permettant de mesurer la caractéristique d'une diode.

Nous plaçons dans le montage une résistance R de 100Ω afin d'éviter d'endommager la diode. La résistance permet d'absorber une partie de la puissance du générateur utilisé.

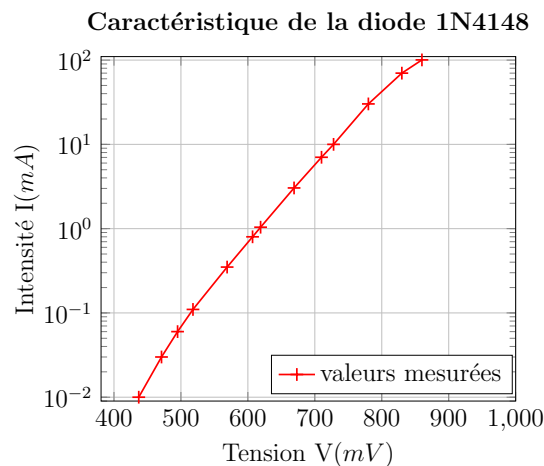


Figure 4 – Intensité (log) aux bornes de la diode en fonction de la tension.

Après avoir réalisé trois mesures par décade pour des valeurs de V_e allant de $10\mu A$ jusqu'à $100mA$, on peut tracer la caractéristique (cf figure 4). Sur cette dernière, on peut constater que la progression semble linéaire pour une échelle semi-logarithmique.

Cela implique que l'intensité augmente de manière exponentielle en fonction de la tension. cela est en accord avec le modèle théorique proposé en préambule :

$$I \approx I_S e^{V/V_0} \quad (1)$$

Lorsque l'on applique une tension continue à un circuit contenant une diode, ce dernier fonctionne en un point de la caractéristique qui ne change pas en fonction du temps. La résistance statique (car invariante en fonction du temps) de la diode en ce point de fonctionnement est alors donné par le rapport de la tension à ses bornes par le courant la traversant. On calcule ici la valeur de la résistance statique à 10mA.

$$R_s = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0,728}{10 \cdot 10^{-3}} = 72,8 \Omega \quad (2)$$

D'après l'équation (2), la valeur de cette résistance à 10mA est $R_s = 72,8 \Omega$.

3 Redressement d'un courant alternatif

3.1 Redressement simple alternance

3.1.1 Étude préliminaire et montage

Nous allons maintenant nous intéresser au redressement en simple alternance d'un signal. Pour ce faire, nous allons réaliser le schéma de la figure 5. La tension V_e est délivrée par un générateur basse fréquence (GBF) réglé à une fréquence de 1000Hz et une amplitude de 4V. La résistance utilisée ici sera de 1k Ω .

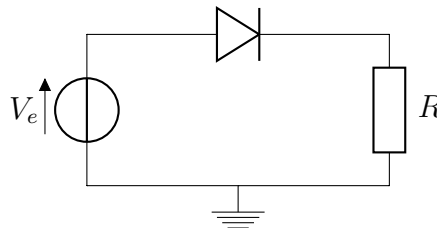


Figure 5 – Montage de redressement en simple alternance.

On observe sur l'oscilloscope les courbes obtenues en affichant la tension v_e délivrée par le GBF ainsi que la tension aux bornes de la résistance R reproduites sur la figure 6.

On peut observer que la tension aux bornes de R est nulle tant que la tension v_e est négative ou inférieure à la tension de seuil de la diode $V_p = 0,7V$. En effet, dans ce cas, l'intensité passant par la diode I_D , soit l'intensité parcourant le circuit, est nulle. Ainsi, d'après la loi d'Ohm, la tension aux bornes de R est forcément nulle. En revanche, lorsque la tension v_e est supérieure à la tension de seuil, la diode est passante et un courant parcourt le circuit. La diode est alors équivalente à son modèle de Thévenin, ie un générateur de tension continu et une résistance. La tension aux bornes de R est alors $u_R = v_e - 0,7V$. C'est bien ce que l'on observe sur la figure 6.

Tensions observées sur l'oscilloscope

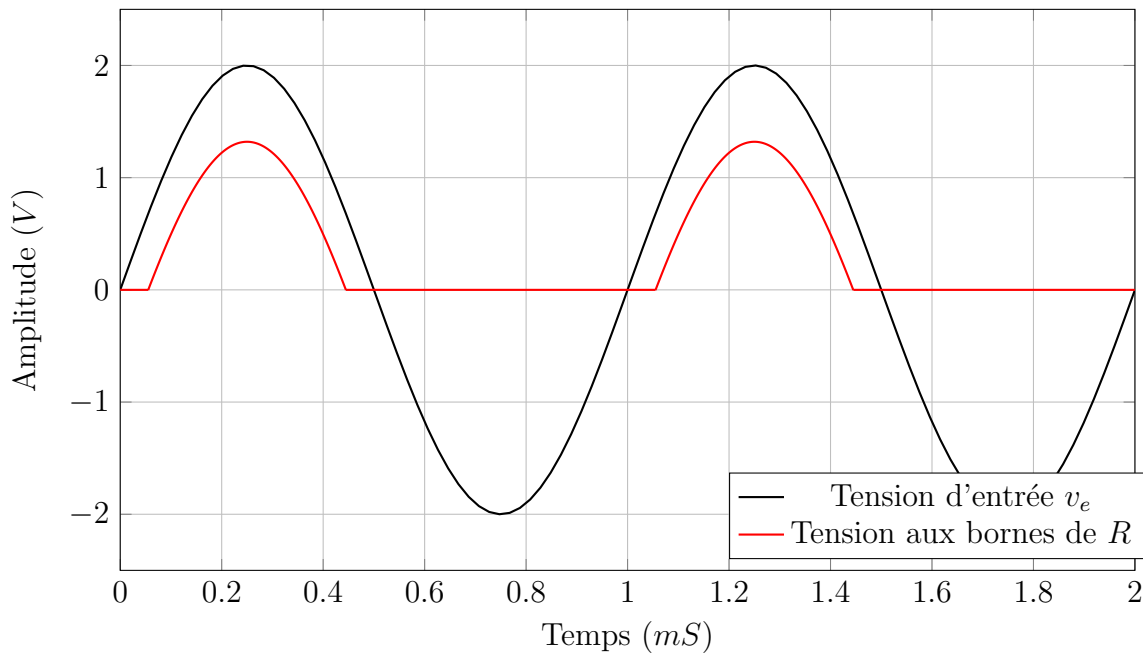


Figure 6 – Comparaison de la tension d'entrée avec la tension aux bornes de la résistance après redressement du signal.

3.1.2 Valeur moyenne de u_R

Si l'on considère la diode idéale, sans tension de seuil, on peut effectuer le calcul suivant pour obtenir la valeur moyenne de u_R sur une période :

$$\langle u_R \rangle = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} 2 \sin(2\pi \times 1000 \times t) dt \approx 0,64V, \quad (3)$$

avec $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 1\text{ms}$. Néanmoins, la diode n'est pas idéale. On peut alors modifier la formule précédente afin de prendre en compte la tension de seuil en notant à quel moment cette dernière est atteinte par le GBF, à savoir pour $t_1 = 58\mu\text{s}$ et $t_2 = 442\mu\text{s}$. On a cette fois :

$$\langle u_R \rangle = \frac{1}{T} \int_{58\mu\text{s}}^{442\mu\text{s}} [2 \sin(2\pi \times 1000 \times t) - 0,7] dt \approx 0,55V, \quad (4)$$

La valeur moyenne obtenue par l'équation (4) est de fait inférieure à celle obtenue par l'équation (3) puisque l'on prend en compte la tension de seuil, la diode n'étant pas idéale. Elle est plus proche de la valeur donnée par l'oscilloscope qui est de 0,53V.

3.1.3 Influence de la fréquence

Les composants électroniques sont sensibles aux hautes fréquences (cf TP n°1). Si les effets capacitifs de la diode sont négligeables dans les basses fréquences, cela n'est plus le cas lorsque la fréquence augmente sensiblement. Avec la figure 7, nous pouvons voir l'évolution du signal de sortie lorsque la fréquence du GBF varie.

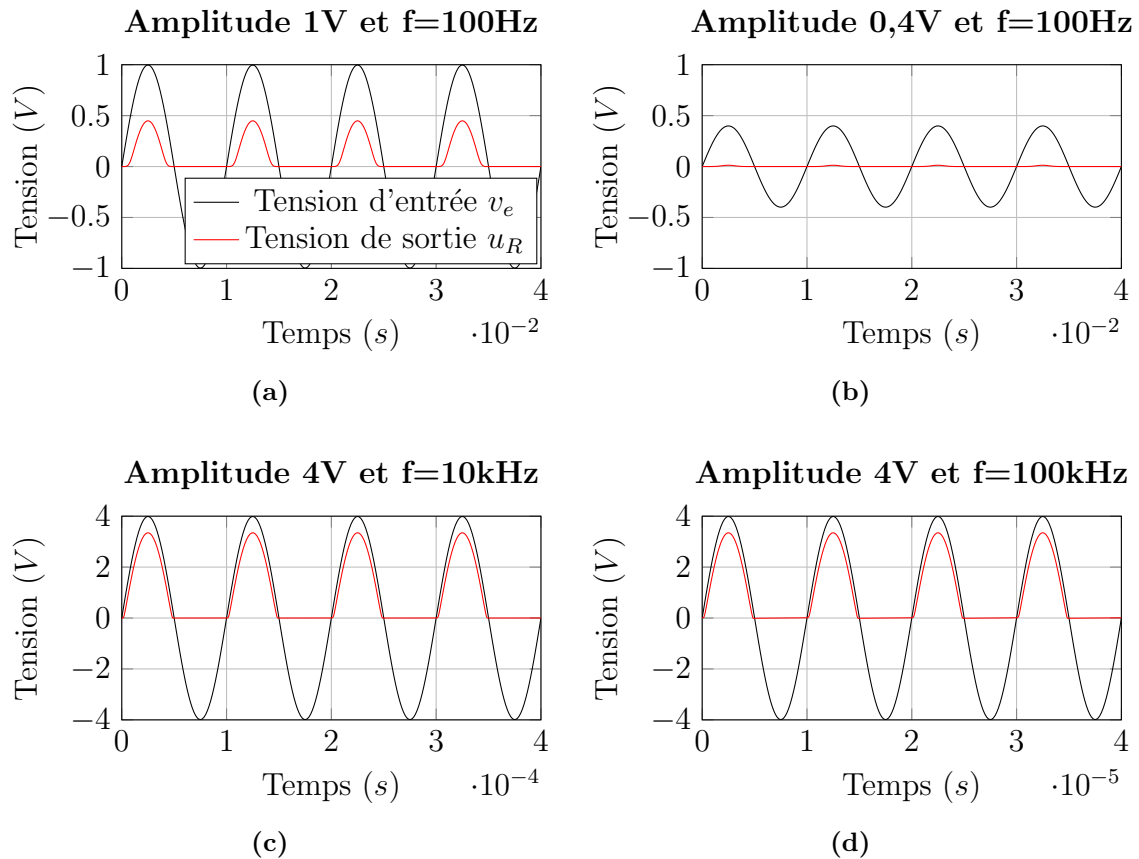


Figure 7 – Effets de l'augmentation de la fréquence sur le signal en sortie.

Sur la figure (7a), on observe une tension de sortie conforme aux résultats théoriques et à ce que l'on a observé précédemment sur la figure 6. De plus, si jamais la tension maximale est inférieure à la tension de seuil (7b), on peut voir que la tension de sortie est presque toujours nulle. On observe en effet une légère augmentation de la tension de sortie lorsque la tension d'entrée atteint son maximum. Cela est dû au fait que la diode n'est pas parfaite.

Lorsque la fréquence augmente de manière significative comme en (7c), la tension de sortie aux bornes de la résistance commence à augmenter bien avant que la tension de d'entrée n'atteigne la tension de seuil, et redevient nulle pratiquement en même temps que cette dernière. Enfin, pour une fréquence encore plus élevée, sur la figure (7d), pour une fréquence de 100kHz, on observe une légère variation de la tension de sortie alors même que la diode est bloquée.

3.1.4 Ajout d'un condensateur en parallèle

Nous allons à présent ajouter un condensateur d'une capacité de $1\mu\text{F}$ (puis ensuite de $470\mu\text{F}$) en parallèle de la résistance. La fréquence du GBF sera toujours de 1000Hz et l'amplitude du signal de 4V . Le montage est donc celui de la figure 8. On rappelle l'expression de l'intensité dans un circuit contenant un condensateur :

$$i = C \frac{du_C(t)}{dt}. \quad (5)$$

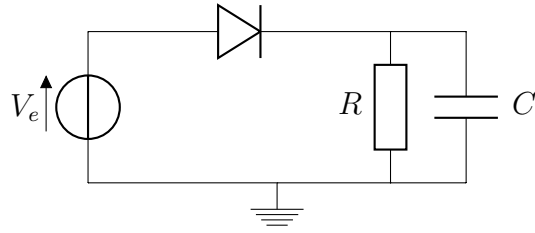


Figure 8 – Montage de redressement en simple alternance.

Sur la figure 9, on observe le signal obtenu avec un condensateur d'une capacité égale à $1\mu\text{F}$. On peut constater que lorsque la tension d'entrée est négative, la tension de sortie diminue progressivement (suivant une exponentielle décroissante) jusqu'à ce que la tension d'entrée dépasse à nouveau la tension de seuil. Cela est dû au fait que lorsque la diode se bloque, la résistance R et la capacité C fonctionnent alors en circuit fermé. L'intensité générée alors par le condensateur (cf équation (7)) traverse la résistance, ce qui explique l'apparition de cette tension. De manière générale, lorsque la diode est bloquée, on a :

$$u_R(t) + u_C(t) = 0. \quad (6)$$

Ainsi, on peut écrire que :

$$RC \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = 0. \quad (7)$$

Il vient alors que $u_C(t) = U_0 e^{-t/RC}$, ce qui explique la forme de la courbe de la figure 9.

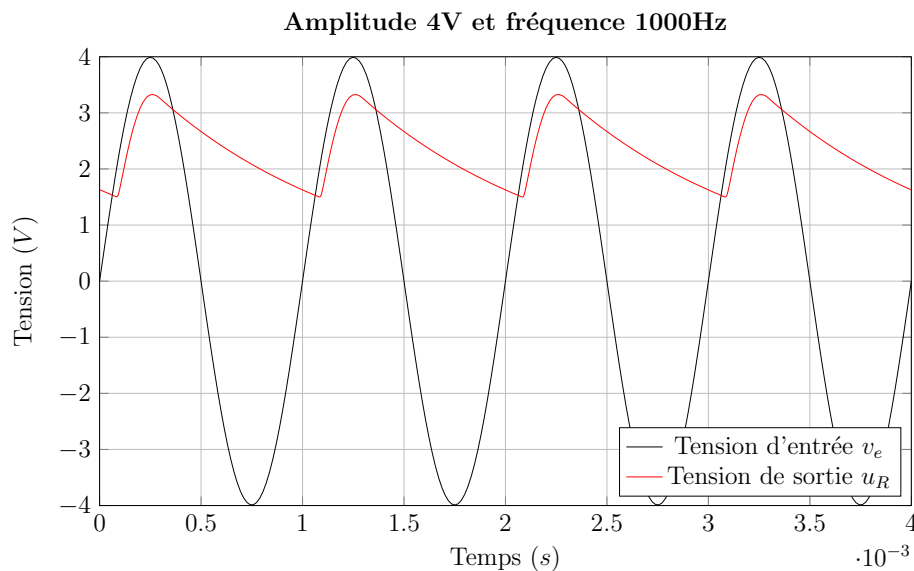


Figure 9 – Observation de la tension en sortie avec un condensateur d'une capacité de $1\mu\text{F}$ en parallèle avec la résistance.

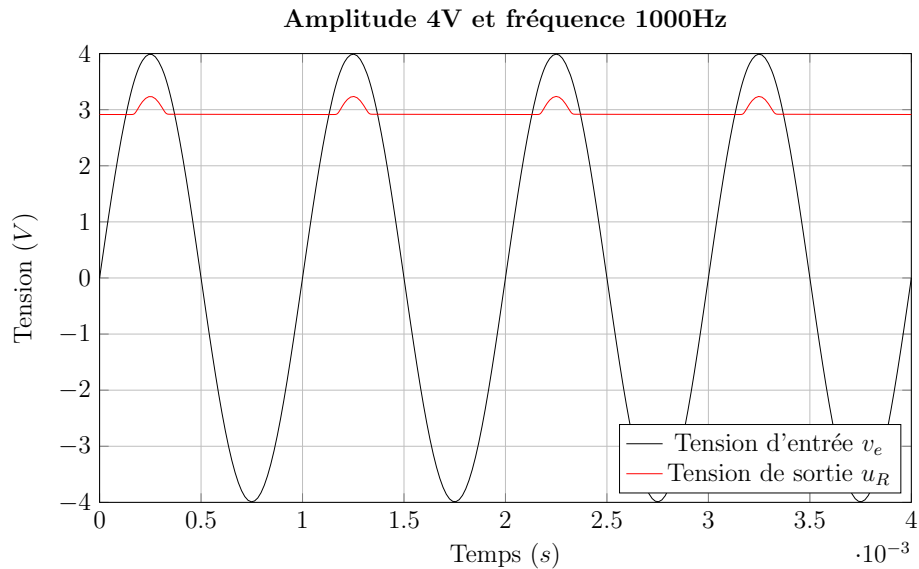


Figure 10 – Observation de la tension en sortie avec un condensateur d'une capacité de $470\mu F$ en parallèle avec la résistance.

En observant le signal de sortie $u_R(t)$ pour une capacité de $470nF$ (cf. figure 10), on peut constater que ce dernier est pratiquement devenu continu. En effet, le temps de réponse du système (défini par $\tau = RC$) augmente lorsque C augmente. De fait, la constante τ introduit une latence plus importante, ce qui explique pourquoi la tension aux bornes de la résistance diminue plus lentement.

3.2 Redressement double alternance

3.2.1 Montage et étude théorique

On réalise à présent un montage afin d'effectuer le redressement en double alternance du signal (cf figure 11). Il s'agit de redresser le signal non seulement lorsque la tension du GBF est positive, mais également lorsqu'elle est négative.

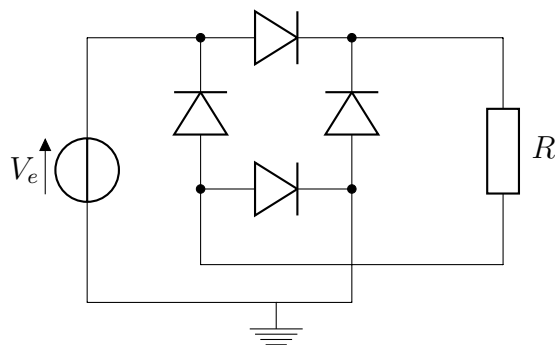


Figure 11 – Montage de redressement en double alternance.

Le GBF délivre une tension avec une amplitude de $4V$ et une fréquence de $1000Hz$. La résistance, quant à elle, vaut 100Ω .

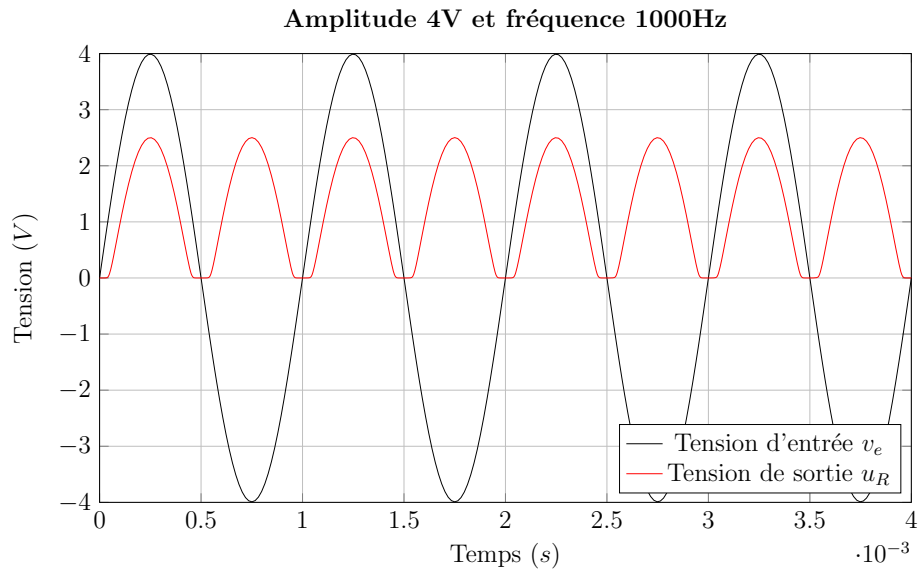


Figure 12 – *Effet d'un montage de redressement en double alternance sur un signal sinusoïdal d'amplitude 4V et de fréquence 1000Hz.*

Sur la figure 12, on peut observer les effets du montage de redressement en double alternance (figure 11) sur le signal du GBF décrit ci-dessus. On peut constater que le signal en sortie est égal au signal d'entrée lorsque ce dernier est positif, et à son opposé, lorsqu'il est négatif, aux effets de la tension de seuil près. Cela est dû au fait que selon le signe de V_e , le courant passe soit dans une branche, soit dans l'autre, comme on peut le voir sur la figure 13 sur des schémas équivalents.

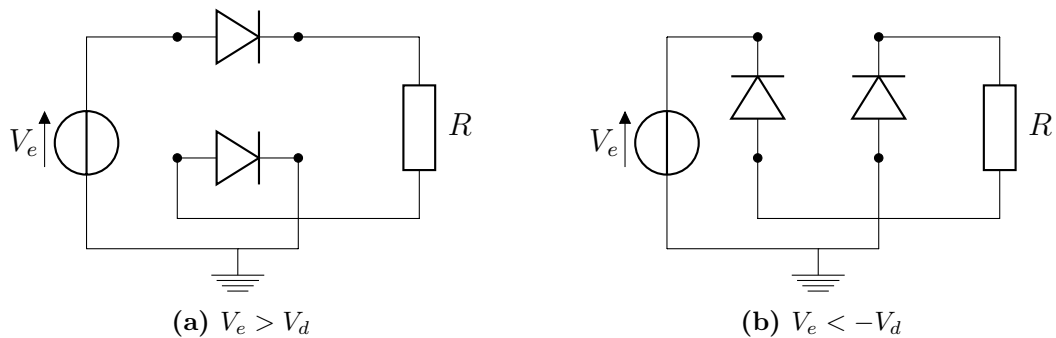


Figure 13 – *Montages de redressement en double alternance équivalents pour une tension d'entrée supérieure à la tension de seuil V_d (13a) ou inférieure à $-V_d$ (13b).*

3.2.2 Valeur moyenne de u_R

Si l'on suppose que les diodes sont idéales, c'est-à-dire sans tension de seuil, on peut cette fois effectuer le calcul suivant pour obtenir la valeur moyenne de u_R sur une période :

$$\langle u_R \rangle = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} 4 \sin(2\pi \times 1000 \times t) dt \approx 2,56V, \quad (8)$$

avec $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 1\text{ms}$.

Néanmoins, comme précédemment, les diodes ne sont pas idéales. On obtient cette fois, en prenant en compte les effets de la tension de seuil, la valeur suivante :

$$\langle u_R \rangle = 2,2V. \quad (9)$$

3.2.3 Ajout d'un condensateur en parallèle

On ajoute à présent un condensateur d'une capacité de 470nF en parallèle de la résistance, comme sur le montage de la figure 14.

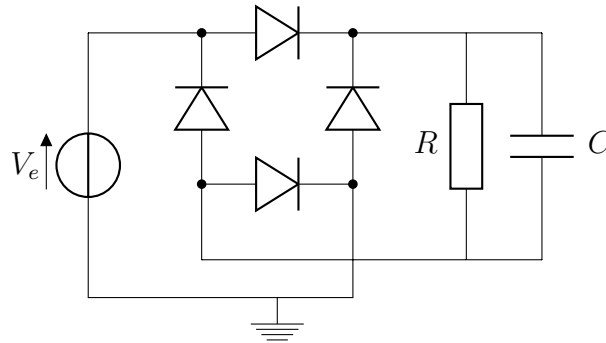


Figure 14 – Montage de redressement en double alternance avec ajout d'un condensateur.

On observe à l'oscilloscope le signal en sortie sans modifier le signal d'entrée par rapport aux réglages précédents (cf figure 15).

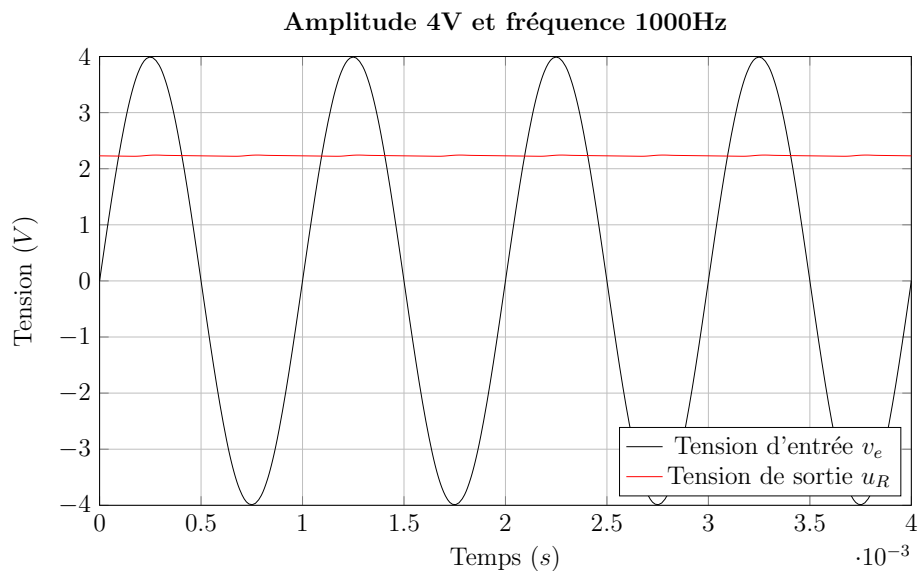


Figure 15 – Effet de l'ajout d'un condensateur d'une capacité de 470nF à un montage de redressement en double alternance pour un signal sinusoïdal d'amplitude $4V$ et de fréquence 1000Hz .

Le signal observé aux bornes de la résistance sur la figure 15 est quasiment continu. Cela est dû au fait qu'une fois encore, le condensateur introduit une certaine latence

dans le circuit. Ce montage permet ainsi de transformer un signal alternatif en signal continu et de récupérer plus d'amplitude et de puissance par rapport au redressement simple alternance où la moitié du signal est perdu.

4 Diode Zener

4.1 Caractéristique

On réalise le schéma de la figure 16 afin d'obtenir la caractéristique d'une diode Zener. On inversera bien entendu le sens de la diode au moment opportun afin d'obtenir la caractéristique complète.

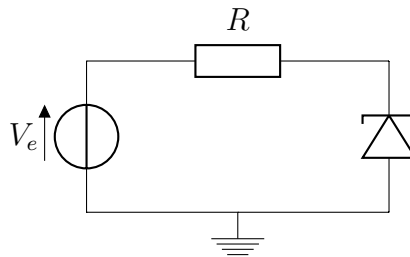


Figure 16 – Montage permettant de mesurer la caractéristique d'une diode Zener.

Après avoir effectué des mesure, nous pouvons tracer la caractéristique de la diode Zener sur la figure 17.

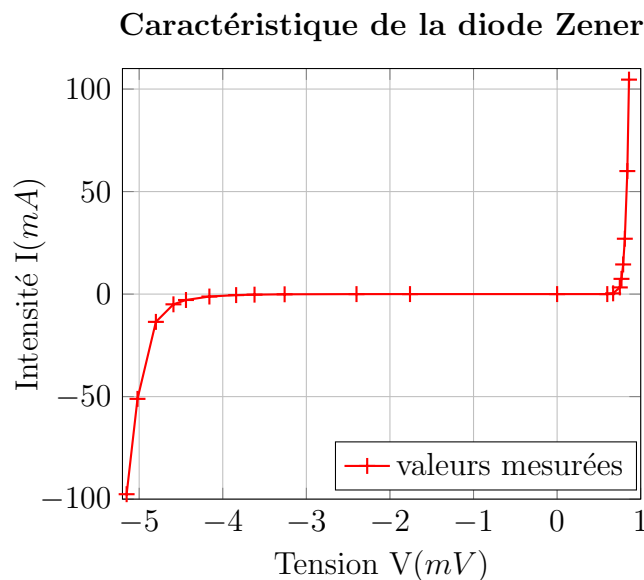


Figure 17 – Intensité aux bornes de la diode en fonction de la tension.

On peut constater que la caractéristique est en accord avec la courbe théorique. En effet, une diode Zener possède deux tensions de seuil : une positive (0,7V) et une négative. Elle peut donc être passante dans les deux sens de polarisation.

Si la puissance maximale dissipée par la diode est de 400mW, on peut calculer la résistance R qu'il convient d'utiliser. En effet, on a :

$$P_{\text{Générateur}} = U.I \text{ et } P_R = R.I^2 \quad (10)$$

Sachant que pour $U = 15\text{V}$ on a $I = 100\text{mA}$, on a alors :

$$P_{\text{Générateur}} = 15\text{V}.100.10^{-3}\text{A} = 1,5\text{W}. \quad (11)$$

Ainsi, comme $P_R = P_{\text{Générateur}} - P_{\text{Diode}} = 1,5\text{W} - 0,4\text{W} = 1,1\text{W}$, on a donc :

$$R = \frac{P_R}{I^2} = \frac{1,1\text{W}}{(0,1)^2} = 110\Omega. \quad (12)$$

Il convient donc d'utiliser une résistance de 110Ω , ce qui est proche de la valeur utilisée depuis le début (100Ω).

4.2 Stabilisation

4.2.1 Coefficient de stabilisation

On considère le schéma de la figure 18. On a ici $R_1 = R \approx 100\Omega$, $R_2 = 1\text{k}\Omega$ et on fait évoluer la tension V_e , qui est continue, entre 0V et 15V. Nous allons mesurer la tension V_s aux bornes de R_2 .

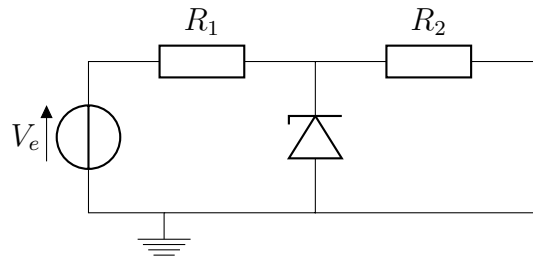


Figure 18 – Montage permettant de stabiliser un signal à l'aide d'une diode Zener.

La figure 19 représente les courbes obtenues à partir des mesures effectuées.

On peut constater sur la figure 19 que la tension u_s semble tendre asymptotiquement vers une droite dont le coefficient directeur est le coefficient de stabilisation :

$$\alpha = \frac{\Delta V_s}{\Delta V_e}. \quad (13)$$

Avec les valeurs expérimentales, on a :

$$\alpha = \frac{5,15 - 4,94}{15 - 8,56} \approx 0,033. \quad (14)$$

Le coefficient de stabilisation est donc $\alpha \approx 0,033$.

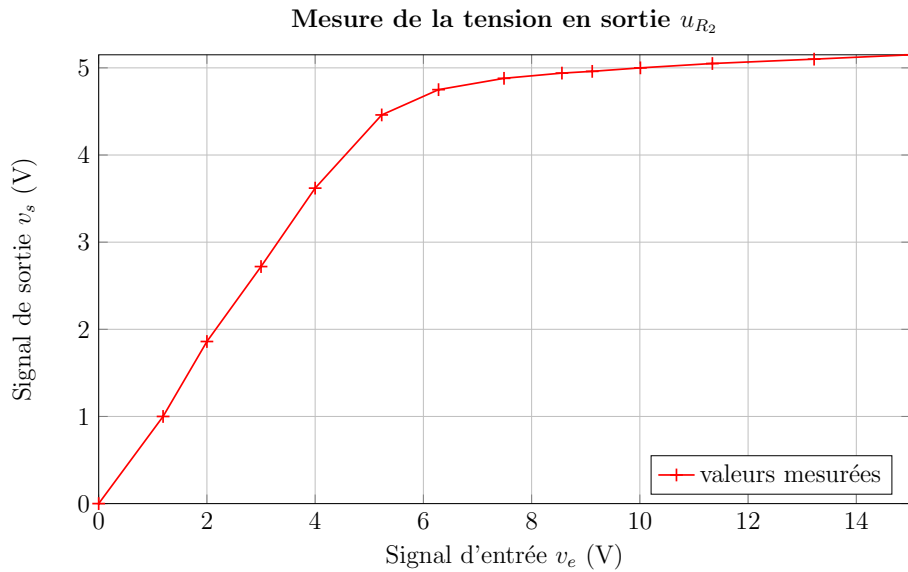


Figure 19 – Signal de sortie aux bornes de R_2 en fonction du signal d'entrée, $v_s = f(v_e)$ avec v_e variant de 0V à 15V.

4.2.2 Stabilisation d'un signal

On va à présent utiliser le GBF pour générer un signal triangulaire qui varie entre 5V et 9V à une fréquence de 1kHz. On observera à nouveau la tension de sortie aux bornes de R_2 . Cela permet de simuler une source de tension qui fluctue.

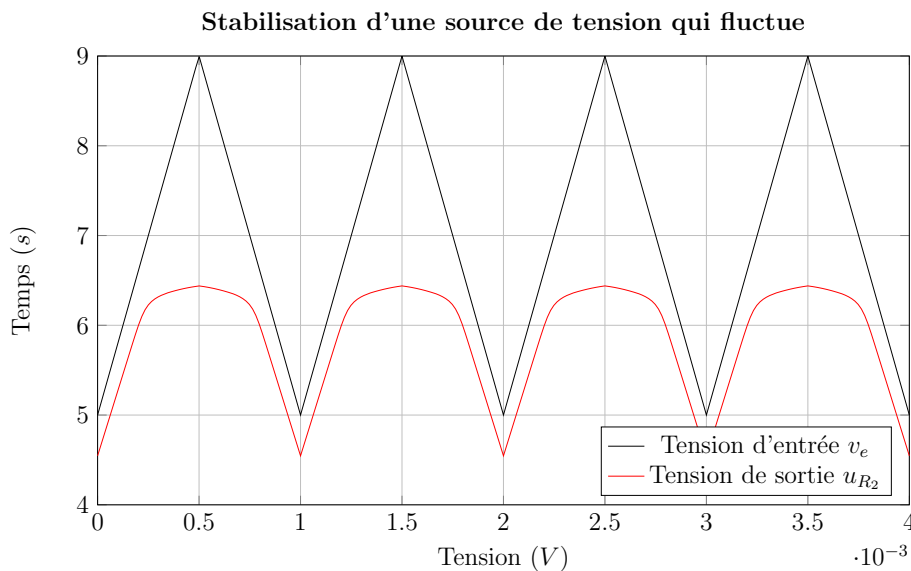


Figure 20 – Signal de sortie aux bornes de R_2 en fonction du signal d'entrée $v_s = f(v_e)$ avec v_e un signal triangulaire de fréquence 1KHz variant entre 5V et 9V.

On peut constater que le signal en sortie de la figure 20 est lissé par rapport au signal d'entrée du GBF. Ce montage peut donc permettre de lisser les pics de tension, de sorte à ce que les composants ne soient pas endommagés par d'éventuelles surtensions.

Conclusion

Tout au long de ce TP, nous avons pu étudier les caractéristiques des diodes, et voir nombre d'applications possibles. Qu'il s'agisse de redresser un signal alternatif afin de le transformer par exemple en signal continu (cf montage redressement simple ou double) ou encore de stabiliser un signal à l'aide d'une diode Zener (cf le dernier montage de ce TP) afin de protéger un circuit contre les surtensions ou pics de tension, leur champ d'application est extrêmement vaste. Les circuits redresseurs avec un condensateur en parallèle (ou circuits équivalents) sont utilisés sont par exemple utilisés dans tous les chargeurs que nous utilisons quotidiennement, qu'ils s'agisse d'un téléphone portable, d'un appareil électroménager, ou tout appareil électrique.

Il faut bien entendu toujours rester prudent par rapport au modèle utilisé. Nous avons pu constater par exemple que les diodes, comme n'importe quel composant, ont des comportements différents dans les basses fréquences et dans les très hautes fréquences, où les effets capacitifs ne peuvent plus être négligés.

La diode peut donc être utilisée pour protéger un équipement, redresser un signal, supprimer les modulations d'un signal et n'en tirer qu'une seule information (l'autre composante pouvant donc encoder une information indépendante), ce qui peut se révéler très utile en traitement du signal, tout comme pour la réception d'un signal radio. Et il ne s'agit là que de quelques exemples parmi d'autres.