Partie I : Électronique
TP

TP 6 : Redressement par montages à diodes

Objectifs du TP

- Vérifier par l'expérience une loi théorique à l'aide d'une **régression linéaire**.
- Se familiariser avec le fonctionnement des diodes.

Le redressement
L'opération de redressement consiste à transformer un signal alternatif en un signal continu.

Définitions pour un signal $v(t)$ de période T :

- On note V_{moy} la valeur moyenne du signal.
- Sa valeur efficace est $V_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2 \mathrm{d}t}$, aussi notée $V_{\text{eff}}(CC)$.
- On définit la valeur efficace alternative du signal, $V_{\text{eff}}(AC)$, comme la valeur efficace du signal auquel on a retranché sa valeur moyenne : $V_{\text{eff}}(AC) = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (v(t) - V_{\text{moy}})^2 \mathrm{d}t}$.

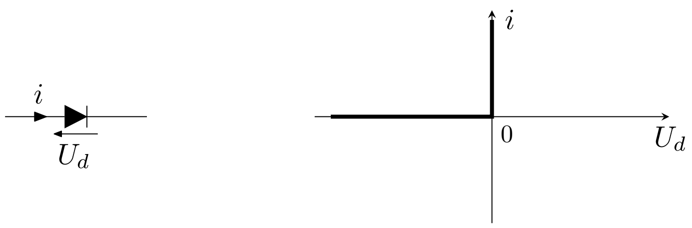
  Ainsi pour un signal purement continu, on a $v(t) = V_{\text{moy}}$ et donc $V_{\text{eff}}(AC) = 0$.
- Enfin, on définit le taux d'ondulation du signal redressé comme

$$\tau = \frac{V_{\text{eff}}(AC)}{V_{\text{moy}}}. \tag{1}$$

  Ainsi si le redressement est parfait, le signal obtenu est continu, donc $\tau = 0$.

  Le taux d'ondulation est ainsi une mesure de la qualité du redressement.

Fonctionnement des diodes
Les diodes utilisées ici sont décrites par le modèle de la diode idéale.
La caractéristique courant-tension est celle schématisée ci-dessous. La diode a donc deux modes de fonctionnement : passant ($i > 0$ et $U_d = 0$) ou bloqué ($i = 0$ et $U_d < 0$).



Dans la suite on étudiera les montages avec en entrée un signal sinusoïdal de fréquence $f = 500\,\text{Hz}$ (car à trop haute fréquence les diodes ne fonctionnent plus correctement).

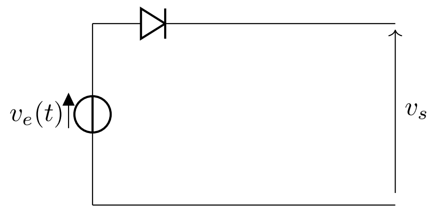
Redressement simple alternance

On considère d'abord le montage ci-dessous.

1 - Observer les tensions d'entrée et de sortie, et les reproduire sur votre compte rendu.

Identifier sur votre graphique les intervalles de temps où la diode est passante, et ceux où elle est bloquée. Expliquer brièvement pourquoi.

(**CR :** ►$_{\text{CR2}}$ décrire une observation))



2 - Le taux d'ondulation théorique de ce montage est $\tau_{\text{th}} = 1.211$.

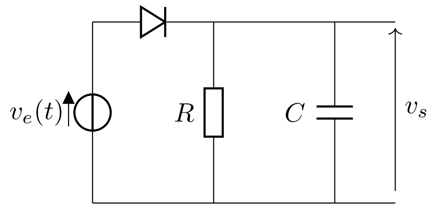
Mesurer ce taux d'ondulation par une méthode que l'on indiquera précisément dans le compte rendu.

Comparer avec le taux théorique.

(**CR :** ►$_{\text{CR3,4,6}}$ faire une mesure))

Redressement simple alternance avec condensateur

On considère ensuite le montage ci-contre, avec $R = 100\,\mathrm{k}\Omega$ et $C = 47\,\mathrm{nF}$.



3 - Observer les tensions d'entrée et de sortie, et les reproduire sur votre compte rendu.

Identifier sur votre graphique les intervalles de temps où la diode est passante, et ceux où elle est bloquée. Expliquer brièvement pourquoi.

(**CR :** ►$_{\text{CR2}}$ décrire une observation))

4 - Le taux d'ondulation théorique de ce montage est

$$\tau_{\text{th}} \simeq \frac{1}{2\sqrt{3}RCf} \tag{2}$$

(c'est une formule approchée valable pour $RCf \gg 1$) avec f la fréquence du signal sinusoïdal d'entrée.

Mesurer ce taux d'ondulation.

Comparer avec le taux théorique.

(**CR :** ►$_{\text{CR3,4,6}}$ faire une mesure))

5 - Enfin, on souhaite vérifier à l'aide d'une régression linéaire que la formule 2 est bien valide.

Proposer un protocole permettant de le faire à l'aide du matériel à votre disposition.

Appeler le professeur pour lui expliquer votre protocole.

Réaliser ce protocole et conclure.

(**CR :** ►$_{\text{CR}}$: suivre toutes les étapes de la fiche sur la régression linéaire, en distinguant "coté théorie" avec identification de x, de y, de a_{th} et b_{th}, puis "coté expérience", etc.))

Redressement double alternance

6 - Réaliser le montage ci-dessous et reproduire vos observations.

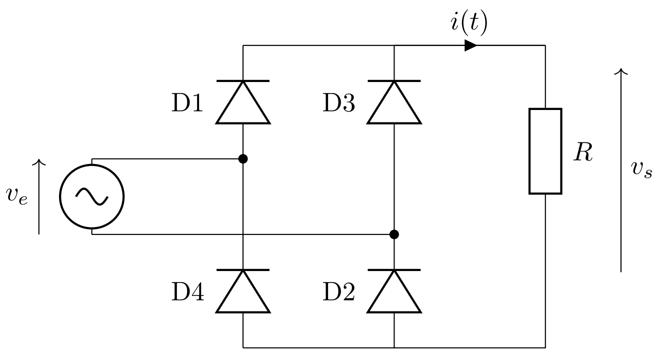
Pour l'observation de la tension aux bornes de R à l'oscilloscope on fera attention aux problèmes de masse : il faut réfléchir pour trouver une solution (penser à la possibilité d'afficher `CH1` moins `CH2` dans le menu maths).

Expliquer alors le principe de fonctionnement, notamment en indiquant sur votre relevé quelles diodes sont passantes et lesquelles sont bloquées.

(**CR :** ►$_{\text{CR2}}$ décrire une observation))

7 - Le taux d'ondulation théorique est de 0.485. Vérifier si vous obtenez ceci expérimentalement.

(**CR :** ►$_{\text{CR3,4,6}}$ faire une mesure))



Éléments de correction et remarques

Redressement simple alternance

Coté théorie : $\tau_{\text{th}} = 1.21$.

Coté expériences :
On prend un crête à crête de 20 V en entrée pour minimiser l'effet de seuil de la diode.
Tension autour de 150 Hz ou 500 Hz (à hautes fréquences les diodes ne se comportent pas correctement, faire un essai à 5 kHz par exemple).
On mesure $V_{\text{eff}}(AC)$ et V_{moy} à l'aide du voltmètre, en le mettant soit en position AC soit en position DC (on peut aussi mesurer à l'oscilloscope, mais c'est moins précis, on maitrise moins les incertitudes, et de plus la valeur efficace donnée par nos modèles est $V_{\text{eff}}(CC)$).
On en déduit

$$\tau_{\text{exp}} = \frac{V_{\text{eff}}(AC)}{V_{\text{moy}}} = \frac{3.55\,\text{V}}{2.925\,\text{V}} = 1.211. \tag{3}$$

Incertitudes avec le voltmètre, formule de propagation des erreurs.
Fonctionne très bien.

Redressement simple alternance avec condensateur

Vérification sur une mesure
Coté théorie : $\tau_{\text{th}} = \dfrac{1}{2\sqrt{3}RCf} = 0.122$, sur lequel il faut calculer une incertitude (provenant de C et de R, on néglige celle sur f).

Coté expériences, comme précédemment :

$$\tau_{\text{exp}} = \frac{V_{\text{eff}}(AC)}{V_{\text{moy}}} = \frac{0.07}{7.7} = 0.12. \tag{4}$$

Puis traitement des incertitudes comme précédemment.
On a accord entre théorie et expérience.

On peut noter qu'avec les valeurs suggérées, on a $RCf = 2.3$, ce qui n'est pas vraiment très grand devant 1 et peut expliquer un éventuel désaccord (on rappelle que la formule théorique est valide si $RCf \gg 1$).

Vérification de la loi à l'aide d'une régression linéaire
Précautions pour que cela fonctionne :

- On doit avoir $R \ll R_{\text{oscillo}}$, avec $R_{\text{oscillo}} \sim 1\,\text{M}\Omega$ la résistance d'entrée de l'oscilloscope.
- On doit avoir f pas trop supérieure à 500 Hz pour que les diodes fonctionnent correctement.
- On doit avoir $RCf \gg 1$, ce qui est en conflit avec les deux points précédents.

Compte tenu de tout cela et après quelques essais, il se trouve qu'il est mieux de procéder ainsi :
Prendre $R = 50\,\text{k}\Omega$ fixé (petit devant la résistance d'entrée de l'oscilloscope), et faire varier C grace à une boite à décade.

Coté théorie :
Il faut donc écrire la loi sous la forme

$$1/\tau = 2\sqrt{3}R \times C \tag{5}$$

On a

$$y = \frac{1}{\tau}, \quad x = C, \quad \boxed{a_{\text{th}} = 2\sqrt{3}Rf = (87 \pm 1) \times 10^6\,\text{F}^{-1}}, \quad b_{\text{th}} = 0. \tag{6}$$

(Avec 1% d'incertitude élargie sur R pour obtenir l'incertitude sur a_{th}).

Coté expériences :
Sous Régressi, en cochant "prendre en compte les incertitudes" (mises à 1% pour tout le monde d'incertitude type) :

- Si l'on fait varier C de 50 à 100 nF :
  $a_{\text{exp}} = (87 \pm 7) \times 10^6\,\text{F}^{-1}$ et $b_{\text{exp}} = 5 \pm 5$, puis en imposant $\boxed{b = 0}$ (possible car 0 est dans l'intervalle précédent pour b_{exp}) on a $\boxed{a_{\text{exp}} = (94 \pm 2) \times 10^6\,\text{F}^{-1}}$.

  Donc correct pour b (tout juste), mais pas pour a.

  Mais RCf varie de 1.25 à 2.5, ce qui n'est pas très grand.

- Si l'on fait varier C de 200 à 1100 nF (RCf varie alors de 5 à 27.5) :

  $a_{\text{exp}} = (85 \pm 2) \times 10^6\,\text{F}^{-1}$ et $b_{\text{exp}} = 5 \pm 7$, puis en imposant $\boxed{b = 0}$ on a $\boxed{a_{\text{exp}} = (86.3 \pm 0.8) \times 10^6\,\text{F}^{-1}}$.

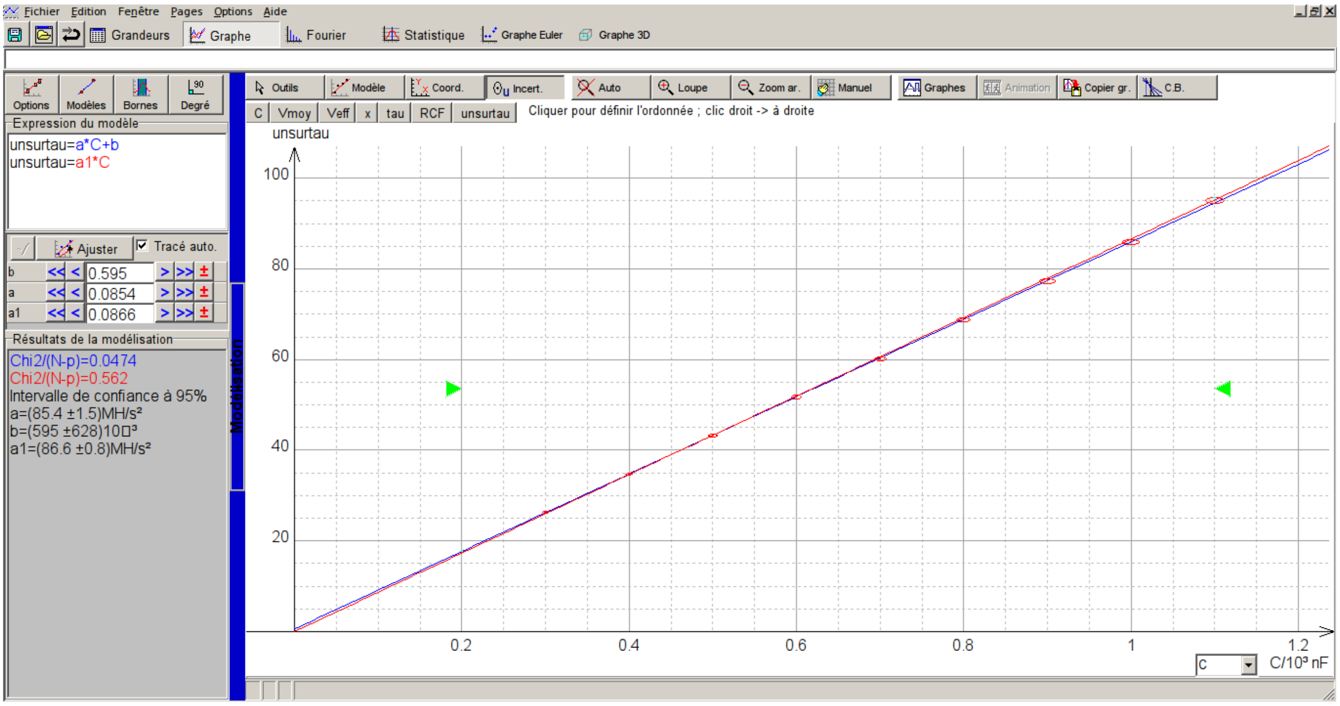
  Donc correct. De plus c'est visuellement parfait.

  Remarque : en divisant par deux l'incertitude sur les tensions (donc 0.5%, d'incertitude type), b_{exp} est compatible avec la valeur nulle. Puis en imposant $b = 0$, on a $a_{\text{exp}} = (86.6 \pm 0.8) \times 10^6\,\text{F}^{-1}$. Donc correct.

  En divisant en plus aussi l'incertitude sur C par deux (donc 0.5%, inc. type), b_{ext} n'est plus compatible avec 0.

On voit d'ailleurs que l'ensemble des points (C de 50 à 1100 nF) n'est pas tout à fait aligné, signe que le modèle ne s'applique pas pour les C trop petits.

Enfin, ci-dessous, capture d'écran du logiciel Regressi pour le fit avec C de 200 à 1100 nF, et 0.5% d'incertitude type sur les tensions, 1% sur la capacité.



Remarque : Discussion d'autres possibilités pour la vérification de la loi

- Avec le même protocole que précédemment, on peut choisir d'écrire plutôt la loi sous la forme

$$\tau = \frac{1}{2\sqrt{3}Rf} \times \frac{1}{C}. \tag{7}$$

  On a alors cette fois :

$$y = \tau, \quad x = \frac{1}{C}, \quad \boxed{a_{\text{th}} = \frac{1}{2\sqrt{3}Rf} = 11.5 \pm 0.12\,\text{nF},} \quad b_{\text{th}} = 0. \tag{8}$$

  (Avec 1% d'incertitude sur R.)

  La comparaison avec l'expérience mène alors aux mêmes conclusions que précédemment (voir en dessous) quand la loi était écrit autrement.

  En revanche, l'avantage de considérer la loi sous la forme $1/\tau = 2\sqrt{3}R \times C$ est que si l'on prend des valeurs équi-espacées de C, alors la représentation graphique est meilleure car les points sont espacés régulièrement. La qualité de la régression est alors aussi meilleure.

  Juste pour information, les résultats coté expérience sont les suivants :

  Avec prise en compte des incertitudes (1% pour tout le monde d'incertitude *type*) :

  - Pour C de 50 à 100 nF tous les 10 nF, $a_{\text{exp}} = 9.9 \pm 0.9\,\text{nF}$ et $b_{\text{exp}} = 10 \pm 12$, puis en imposant $b = 0$ on a $a_{\text{exp}} = 10.7 \pm 0.2\,\text{nF}$.

    Donc correct pour b mais pas pour a.

    Mais RCf varie de 1.25 à 2.5, ce qui n'est pas très grand.
  - Pour C de 200 à 1100 nF tous les 100 nF, $a_{\text{exp}} = 11.4 \pm 0.3\,\text{nF}$ et $b_{\text{exp}} = 2 \pm 3$, puis en imposant $b = 0$ on a $a_{\text{exp}} = 11.6 \pm 0.1\,\text{nF}$.

    Donc correct. Par contre les points sont un peu tassés (mais ça va).

- On peut faire le choix de fixer C à $47\,\mathrm{nF}$ et de varier R de $50\,\mathrm{k\Omega}$ à $300\,\mathrm{k\Omega}$, comme suggéré dans l'énoncé.

  Coté théorie :

  On doit écrire la loi sous la forme $\tau = \dfrac{1}{2\sqrt{3}C} \times \dfrac{1}{R}$, et on a donc

$$y = \tau, \quad x = R, \quad \boxed{a_{\mathrm{th}} = \frac{1}{2\sqrt{3}Cf}}, \quad b_{\mathrm{th}} = 0. \tag{9}$$

  Coté expériences :

  ...

  Comparaison théorie/expérience :

  Ça ne marche pas bien du tout ($b_{\mathrm{exp}} \pm b_{\mathrm{exp}}$ n'inclut pas du tout la valeur 0, $a_{\mathrm{exp}} \pm a_{\mathrm{exp}}$ n'a pas de valeurs communes avec la fourchette théorique).

  Probablement car R n'est pas petit devant les $1000\,\mathrm{k\Omega}$ de l'impédance d'entrée de l'oscilloscope vers la fin des valeurs, et que vers le début des valeurs on n'a pas vraiment RCf assez grand pour que la formule s'applique.

- Conclusion : excellent avec les bonnes valeurs

  Utiliser $R = 50\,\mathrm{k}$ (petit devant impédance de l'oscilloscope), $f = 500\,\mathrm{Hz}$ (assez bas pour que la diode se comporte bien), et C entre 200 et $1100\,\mathrm{nF}$. N'oublions pas qu'il faut RCf grand. Ici il varie entre 5 et 27.5, et visuellement à l'oscilloscope la décroissance a l'air de bien s'approximer par une droite (qui est ce que l'on fait pour trouver la formule). Et tracer plutôt $1/\tau$ en fonction de C que τ en fonction de $1/C$ si on veut des points bien espacés (mais à la rigueur les deux fonctionnent).