

Laboratoire 5

Oscillateur à filtre accordé et DAC

*Michelle Janusz, Camille Morin, Gabriel Gagné et Benoit Gosselin
Université Laval - Hiver 2023*

1. Objectifs

- 😊 Étudier les caractéristiques d'un oscillateur à filtre accordé
- 😊 Concevoir un oscillateur à filtre accordé
- 😊 Expérimenter et mesurer les caractéristiques d'un oscillateur
- 😊 Appliquer l'oscillateur à une mesure de capacité inconnue
- 😊 Apprendre sur les DAC

2. Description

Ce Laboratoire consiste à étudier les oscillateurs sinusoïdaux et à concevoir et réaliser un oscillateur sinusoïdal à filtre actif accordé. La Figure 1 montre le schéma d'un oscillateur sinusoïdal à filtre actif accordé. Ce circuit comporte un filtre actif passe-bande d'ordre 2 semblable au simulateur d'inductance et un écrêteur de tension. La sortie du filtre (V_{\sin}) est une onde sinusoïdale de fréquence ω_0 . La sortie de l'écrêteur (V_{sqr}) donne une onde carrée dont la fréquence fondamentale est égale à ω_0 . Étudiez les notes de cours et le volume de référence (Sedra and Smith) afin de bien comprendre le fonctionnement de ce circuit avant de le réaliser au laboratoire.

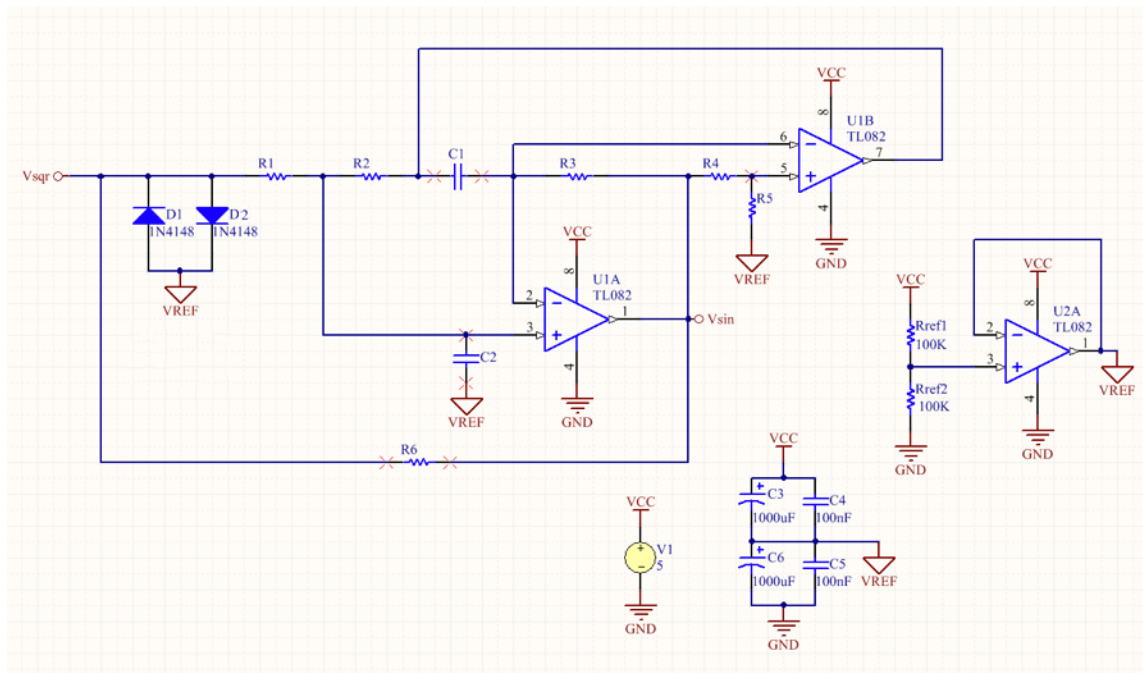


Figure 1: Un oscillateur sinusoïdal à filtre actif accordé.

3. Partie 1 – Préparation

Répondez aux questions suivantes avant de vous présenter au laboratoire. N'oubliez pas de remettre votre préparation sur MonPortail avant le début de la séance en version électronique sous ce format : «PreLab5_Prenom_Nom.pdf» (ex : Prelab5_Tony_Stark.pdf). Pour toutes les simulations, utilisez VCC = 5V. Afin de simuler le comportement réel des sources alternatives en laboratoire, rajoutez une résistance de 50 ohms en série avec les sources idéales.

3.1 Calculez d'abord les valeurs de R_1 à R_6 , C_1 et C_2 nécessaires pour que le circuit de la Figure 1 produise une onde sinusoïdale de 3 kHz à V_{\sin} . Référez-vous aux notes de cours et au volume de référence au besoin pour avoir accès à toutes les équations de design. Choisissez des résistances de telle sorte que $R = R_2 = R_3 = R_4 = R_5$.

3.2 Remplissez le Tableau 1 avec les valeurs des paramètres que vous avez choisis et calculés. La fonction de transfert obtenue doit être la suivante :

$$T(s) = \frac{(\omega_0 / Q)s}{s^2 + s(\omega_0 / Q) + \omega_0^2}$$

Notez que le filtre passe-bande possède la bande passante suivante:

$$BW = \omega_2 - \omega_1 = \omega_0 / Q$$

Considérez également les relations suivantes :

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$\omega_0 / Q = \frac{1}{R_1 C}$$

Tableau 1. Valeurs simulées.

Paramètre	Valeur
R_1	
R_2	
R_3	
R_4	
R_5	
R_6	
C_1	10 nF
C_2	10 nF
BW	
Q	30
f_0	3 kHz
Gain à f_0	

- 3.3 Utilisez les valeurs calculées en 3.1 et 3.2 pour simuler le circuit de cet oscillateur sinusoïdal dans Altium Designer et assurez-vous d'obtenir une fréquence ω_0 de 3 kHz.
- Effectuez une simulation temporelle et montrez les sorties V_{sqr} et V_{sin} pour une dizaine de périodes d'oscillation.
 - Effectuez une simulation fréquentielle du filtre actif accordé de second ordre. Pour ce faire, ouvrez d'abord le circuit entre l'écrêteur et R_1 afin de déconnecter la boucle de rétroaction. Ensuite, connectez une source d'excitation AC au terminal de R_1 laissé flottant suite à l'étape précédente et calculez la réponse en fréquence du filtre. Prenez la sortie du filtre à V_{sin} .
- 3.4 Compléter le code Arduino fourni de manière à être capable de déterminer la fréquence du signal. À partir de cette valeur il sera possible de déterminer la valeur d'un condensateur inconnu.

4. Partie 1 – Expérimentation

- 4.1 Remplissez le Tableau 2 avec les valeurs que vous avez choisies et mesurées lors de l'expérimentation. **Présentez le tableau 2 dans votre rapport.**

Tableau 2. Valeurs choisies et mesurées.

Paramètre	Valeur
R_1	
R_2	
R_3	
R_4	
R_5	
R_6	
C_1	
C_2	
f_0	

- 4.2 Montez le circuit de la Figure 1 sur votre breadboard au laboratoire. Utilisez les valeurs trouvées dans la préparation ainsi que 0-5 V pour l'alimentation du circuit.
- 4.3 **Mesurez la fréquence et l'amplitude** de l'onde sinusoïdale produite par le circuit et **comparez-les avec les valeurs simulées.**
- 4.4 Observez le spectre de l'onde sinusoïdale produite par le circuit à l'aide de la fonction mathématique FFT de l'oscilloscope. Apportez les réglages nécessaires afin d'améliorer la qualité du signal sinusoïdal produit. **Rapportez la capture d'oscilloscope dans votre rapport. Commentez le graphique.**
- 4.5 Avec V_i la tension RMS de la i ème harmonique, **calculez le taux de distorsion harmonique** de votre onde sinusoïdale. Considérez un nombre suffisant d'harmoniques. **Montrez le calcul effectué dans votre rapport. Prenez vos valeurs directement au laboratoire pour avoir une meilleure précision.**

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1}$$

- 4.6 Vérifier la présence de bruit de phase dans votre oscillateur. Pour cela, ajoutez de la persistance (display menu) à votre forme d'onde sur l'oscilloscope. **Rapportez la capture d'oscilloscope dans votre rapport. Commentez ce qui est observé.**
- 4.7 À l'aide d'un Arduino et de votre circuit, vous devez maintenant mesurer et estimer la capacité d'un condensateur inconnu (voir avec les assistants). Pour ce faire, utilisez le code fourni et connectez la sortie de votre circuit à l'entrée analogique A0 de votre Arduino. Ouvrez ensuite une console série sur Arduino configurée à 115200 bps. Vous pouvez maintenant connecter le condensateur inconnu à la place du condensateur C₂. À l'aide de la console série, vous devriez voir la valeur du condensateur s'afficher. **Faites valider cette valeur par un assistant.** Étudiez le code fourni par les assistants et utilisez-le dans votre Arduino pour mesurer et afficher la valeur du condensateur.

5. Partie 2 – Préparation

Répondez aux questions suivantes avant de vous présenter au laboratoire. N'oubliez pas de remettre votre préparation aux assistants avant le début de la séance en version électronique sous ce format : «PreLab5_Prenom_Nom.pdf» (ex : Prelab5_Tony_Stark.pdf). Pour toutes les simulations, utilisez VCC = 5V. Afin de simuler le comportement réel des sources alternatives en laboratoire, rajoutez une résistance de 50 ohms en série avec les sources idéales.

- 5.1 Concevoir un filtre passe-bas actif d'ordre 3 de votre choix avec une fréquence de coupure de 40 Hz. Donnez toutes les traces de votre démarche. **Donnez le schéma de votre solution et une analyse AC qui montre le bon fonctionnement de votre solution.**
- 5.2 Dans Matlab, générez une période d'une sinusoïde discrète d'une amplitude de 0 à 254 avec 6 points. (Voir les 'x' bleus sur la figure 2) **Donnez une capture d'écran de votre code et du contenu du vecteur contenant les 6 points de votre signal.** (N'utilisez pas d'annexes pour vos codes)

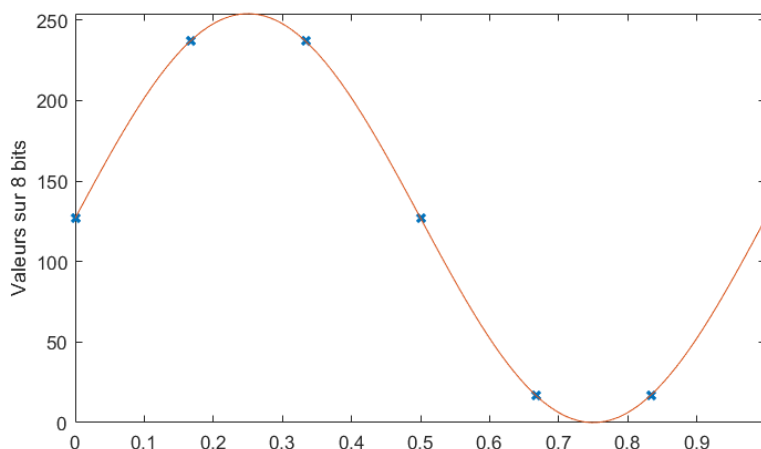


Figure 2: Une période d'une sinusoïde numérique

6. Partie 2 – Expérimentation

Dans cette partie, vous allez concevoir un générateur de signaux de plus grande qualité que celui du premier laboratoire, notamment avec l'aide d'un DAC conçu avec votre Arduino. La distorsion harmonique sera beaucoup plus faible et vous pourrez facilement changer la fréquence et l'amplitude. Le signal sera d'abord généré par Matlab et puis envoyé à l'Arduino pour qu'il reconstruise le signal dans le domaine analogique. La figure 3 illustre les formes d'onde des signaux recherchés. On peut remarquer que l'amplitude instantanée de la sinusoïde recherchée est encodée dans le PWM, qui est supposé être à une fréquence significativement supérieure à celle de la sinusoïde.

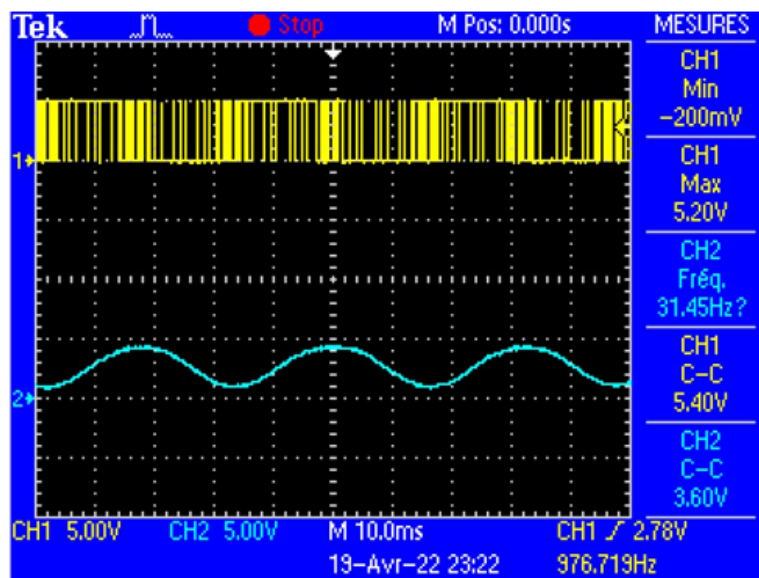


Figure 3 Signal d'entrée PWM en jaune et signal de sortie filtré en bleu

- 6.1 Dans Matlab, envoyez sur le port série un point de votre signal sinusoïdal généré dans le prélaboratoire à toutes les 4 ms. Rendues à la fin de votre vecteur, retournez au début. La valeur des échantillons (des points) doit être sur 8 bits ou un Byte. **Fournissez une capture d'écran de votre code Matlab dans votre rapport.** (N'utilisez pas d'annexes pour vos codes)
- 6.2 Écrivez un code Arduino pour lire une donnée reçue sur le port série et écrire la valeur sur la PIN 5. Utilisez la méthode du pulse width modulation (PWM) de la pin 5. (Voir la documentation¹ pour `analogWrite()` et `serial.read()`). **Fournissez une capture d'écran de votre code Arduino dans le rapport.**
- 6.3 Montez votre solution de filtre du pré-laboratoire sur votre *breadboard*. Brancher le générateur de signaux à l'entrée du circuit. **Fournissez une capture d'écran du signal d'entrée et de**

¹ <https://www.arduino.cc/reference/en/>

sortie à la fréquence de coupure de votre filtre. Indiquez cette fréquence dans votre rapport.

- 6.4 Connectez l'entrée de votre filtre à la sortie (PIN5) de votre Arduino. Transmettez les valeurs de Matlab sur l'Arduino. À l'aide de l'oscilloscope, vous devriez pouvoir mesurer un signal sinusoïdal de 40 Hz à la sortie de votre filtre. **Montrez le signal généré (avant et après le filtre) dans votre rapport.**
- 6.5 À l'oscilloscope, observez le contenu spectral à la sortie du filtre **et rapportez une capture d'écran dans votre rapport.** Calculez le taux de distorsion harmonique (THD ou Total Harmonic Distortion) pour l'onde générée. **Comparez avec vos résultats de la semaine 1. Commentez les résultats dans votre rapport.**
- 6.6 **Donnez deux raisons qui expliquent l'augmentation de la qualité du signal sinusoïdal par rapport à celui généré à la semaine 1.**
- 6.7 **Expliquez pourquoi vous obtenez une fréquence de 40 Hz en envoyant des données à toutes les 4 ms dans Matlab.**
- 6.8 Changez la vitesse (ou la période) à laquelle vous envoyez vos données afin de générer des fréquences de 1, 20, 40, 80 et 160 Hz. **Indiquez les périodes que vous avez déterminées pour générer chaque fréquence et fournissez une capture d'écran dans le rapport pour chaque signal. Commentez chaque figure et expliquez pourquoi vous arrivez à ces résultats.**
- 6.9 Générez un signal de 40 Hz avec la moitié de l'amplitude original. **Fournissez une capture de ce signal dans votre rapport et expliquez comment vous y êtes arrivé.**

7. Questions post-laboratoire

Répondez aux questions suivantes dans votre rapport:

- 1) Expliquez le fonctionnement du système avec Arduino (section 4.7). Lisez attentivement le code fourni à l'atelier pour voir comment celui-ci fonctionne et expliquez comment la capacité est estimée.
- 2) Expliquez ce qui se produit si on effectue la modification suivante : Au lieu d'utiliser une diode dans chaque branche de l'écrêteur, on en utilise 2 en série (2 pour la tension positive et 2 pour la tension négative). Utilisez Altium ou tracez à la main les formes d'onde obtenues.
- 3) Proposez une solution alternative pour trouver la fréquence du signal dans le Arduino. Il n'est pas nécessaire de fournir le code.
- 4) Proposez un ajout à ce circuit pour obtenir un signal triangulaire. Dessinez le circuit complet (oscillateur et ajout).
- 5) Discutez des limites de précision des circuits du laboratoire et de leurs fréquences d'oscillation maximum.

8. Rapport

Dans votre rapport, répondez aux questions posées de façon succincte. Il n'est pas nécessaire de rédiger une introduction et une conclusion. Les courbes et valeurs demandées (les informations **en gras** dans le protocole) devront être présentées en spécifiant les numéros de question correspondants. De plus, placez la dernière page de cet énoncé comme 1re page de votre rapport et remplissez là.

Votre rapport doit être remis en **copie électronique PDF sur MonPortail avant la date limite et nommez-la comme suit «Lab5_Prenom_Nom.pdf»**.

Laboratoire 5

Oscillateur à filtre accordé et DAC

Nom

Matricule

1. _____
2. _____

Signature de l'assistant : _____

Date : _____