

Travaux pratiques d'électronique:

Les amplificateurs opérationnels

S. Orsi, E. Corrin, A. R-Véronneau
Lundi 26 octobre 2009

Dans ce labo, vous apprendrez les caractéristiques des amplificateurs opérationnels et leur utilisation dans des configurations simples. Tous les montages seront faits à l'aide d'un "classique", l'OpAmp LM741. Dans le schéma ci-dessous, les connexions de la puce sont montrées.

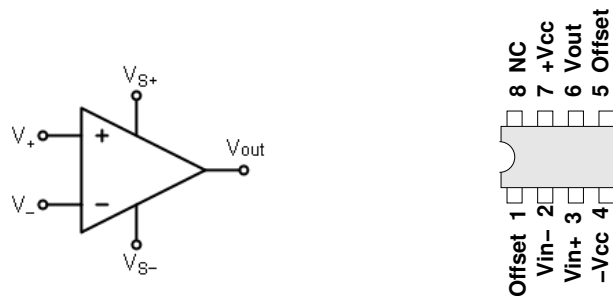


Figure 1: Le symbole de l'amplificateur opérationnel (gauche) et ses connexions (droite).
 $V_S = V_{cc}$

1 L'OpAmp comme amplificateur

1.1 Amplificateur non-inverseur

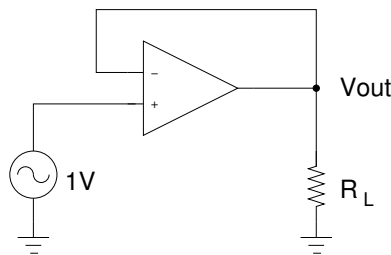


Figure 2: Un amplificateur suiveur

1. Familiarisez-vous avec le OpAmp 741 en lisant ses spécifications. N'oubliez pas de brancher les tensions $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$ ($V_{cc}=15$ V) pour tous les montages présentés dans ce labo (sauf indications contraires).
2. Montez le circuit de la figure 2 en choisissant $R_L = 1$ k Ω . Mesurez le gain en fonction de la fréquence (de 100 Hz à 5 MHz). A quelle fréquence le gain commence-t-il à diminuer (fréquence de coupure)?

3. Observez le signal de sortie pour différentes valeurs de $R_L=1k, 100, 22, 10 \Omega$. Décrivez le changement observé à la sortie, s'il y a lieu. Expliquez vos observations.
4. Mesurez les impédances d'entrée et de sortie en changeant le signal d'entrée pour un courant continu de 6 V (ces mesures sont approximatives, mais elles vous donnent le bon ordre de grandeur).
 - (a) Mettez $R_L = 85 \Omega$ et déterminez Z_{out} en mesurant la tension aux bornes de R_L (indice: il s'agit d'un diviseur de tension simple).
 - (b) Déterminez Z_{in} en ajoutant une résistance de $1 M\Omega$ entre la borne v_+ et V_{in} et en mettant v_- à la masse (indice: il s'agit d'un diviseur de tension simple).

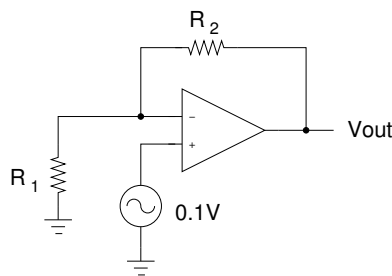


Figure 3: Un amplificateur non-inverseur

5. Déterminez l'expression pour le gain de l'amplificateur non-inverseur figure 3 (indice: considérez les voltages aux entrées égaux et exprimez v_- comme un diviseur de tension).
6. Modifiez votre montage pour celui de la figure 3 de façon à obtenir un gain de 20. Mesurez à nouveau la fréquence de coupure. Est-ce que cette fréquence correspond à celle que vous aviez obtenue pour le montage suiveur (gain=1)? Que pouvez-vous extrapoler sur la relation entre le gain et la bande passante d'opération de l'OpAmp? Prenez quelques mesures pour différents gains.

1.2 Amplificateur inverseur

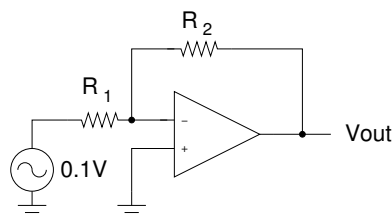


Figure 4: Un amplificateur inverseur

1. Obtenez une expression pour le gain du circuit inverseur figure 4 en utilisant la même technique que pour le non-inverseur (indice: considérez aussi que les entrées d'un OpAmp ne tire aucun courant).
2. Réalisez le montage de la figure 4 en choisissant R_1 et R_2 de façon à obtenir un gain de 100. Quelle est la fréquence de coupure?
3. Expliquez pourquoi ce montage s'appelle "amplificateur inverseur" et pourquoi aussi on appelle la borne d'entrée v_+ non-inverseuse et v_- inverseuse.

2 L'OpAmp comme application mathématique

L'amplificateur opérationnel tire son nom de sa capacité à accomplir des opérations mathématiques de base (comme une calculatrice) et il sert ainsi de base à la construction d'un ordinateur. Les circuits suivants illustrent ceci.

2.1 Sommateur

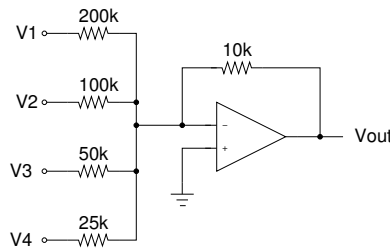


Figure 5: Un sommateur

1. Réalisez le montage de la figure 5.
2. Appliquez une tension continue de 0 V ou 5 V à chacune des entrées. Obtenez une expression pour la valeur de sortie en fonction du voltage appliqué à l'entrée et des résistances utilisées.
3. Vérifiez votre expression en essayant les 16 combinaisons possibles à l'entrée.
4. Changez toutes les résistances pour 10 k Ω et appliquez 5 V sur chaque entrée. Obtenez-vous le résultat attendu?
5. Eliminez 2 bornes d'entrée en gardant la configuration précédente. Obtenez-vous le résultat attendu? Expliquez ces deux dernières mesures.

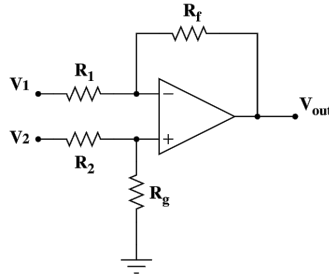


Figure 6: Amplificateur différentiel

2.2 Amplificateur différentiel

1. Réalisez le montage de la figure 6 avec les valeurs suivantes: $R_f = 10 \text{ k}\Omega$, $R_g = 5 \text{ k}\Omega$ et $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$.
2. Appliquez $V_1 = V_2 = 5 \text{ V}$ et vérifiez le voltage de sortie mesuré avec la valeur théorique donnée par:

$$V_{out} = V_2 \left(\frac{R_f + R_1}{R_g + R_2} \cdot \frac{R_g}{R_1} \right) - V_1 \cdot \frac{R_f}{R_1} \quad (1)$$

3. Changez R_g pour $10 \text{ k}\Omega$ et notez vos résultats.
4. Quelle configuration faut-il pour obtenir une soustraction? Vérifiez votre hypothèse avec votre montage.

2.3 Intégrateur

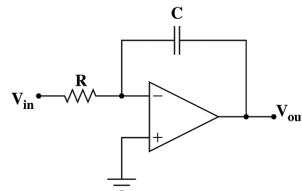


Figure 7: Circuit intégrateur

1. Réalisez le montage de la figure 7 avec les valeurs suivantes: $C = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$ et $R = 10 \text{ k}\Omega$.
2. Appliquez des ondes de différentes formes (sinusoïdale, carrée, triangulaire) et notez le signal de sortie.
3. Montrez que le circuit agit comme un intégrateur:

$$V_{out} = \frac{-1}{RC} \int V_{in} dt \quad (2)$$

4. Ajoutez une résistance de $100 \text{ M}\Omega$ en parallèle avec le condensateur et notez vos observations. Expliquez pourquoi on place une résistance à cet endroit.

2.4 Dérivateur

1. Réalisez le montage de la figure 8 avec les valeurs suivantes: $C = 0.1 \mu\text{F}$ et $R = 10 \text{ k}\Omega$.

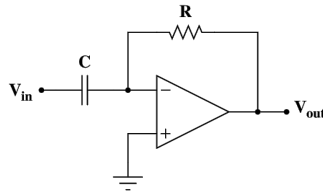


Figure 8: Circuit dérivateur

2. Appliquez des ondes de différentes formes (sinusoïdale et triangulaire) et notez le signal de sortie.
3. Montrez que le circuit agit comme un dérivateur:

$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt} \quad (3)$$

4. Ajoutez un condensateur de 100 pF en parallèle avec la résistance et appliquez une onde carrée. Observez le signal de sortie. Expliquez pourquoi on doit ajouter un condensateur pour la dérivée d'une onde carée.

2.5 Amplificateur logarithmique

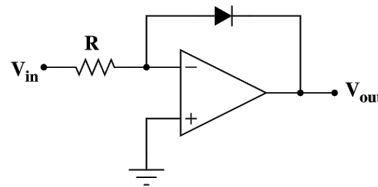


Figure 9: Amplificateur logarithmique

1. Réalisez le montage de la figure 9 avec $R=100 \text{ k}\Omega$.
2. En utilisant les principes de l'OpAmp et votre connaissance des diodes, montrez que:

$$V_{out} = -V_T \ln \left(\frac{V_{in}}{R \cdot I_S} \right) \quad (4)$$

3. Appliquez une tension continue de 5 V à l'entrée et vérifiez expérimentalement la prédiction théorique ci-dessus.
4. Comment pourriez-vous transformer ce circuit en amplificateur exponentiel? Expliquez.

3 Comparateurs

1. Réalisez le montage de la figure 10 et appliquez un signal sinusoïdal de 5 V à l'entrée.
2. Observez les signaux à l'entrée et à la sortie sur l'oscilloscope. Comment pouvez-vous modifier le niveau de comparaison à 0.5 V plutôt qu'à 0 V?

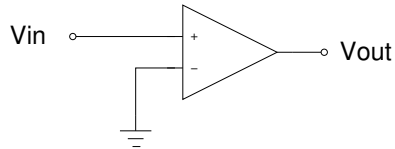


Figure 10: Circuit comparateur

3. Modifiez le comparateur précédent pour obtenir celui de la figure 11 avec $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 2.2 \text{ k}\Omega$. Dans ce cas, changez la polarisation l'OpAmp (V_{cc}) à $\pm 5 \text{ V}$.
4. Appliquez une onde sinusoïdale de 3 V d'amplitude à l'entrée et observez le signal de sortie sur l'oscilloscope. Comment ce comparateur se distingue-t-il du précédent?
5. Calculez les deux seuils (supérieur et inférieur) de comparaison.

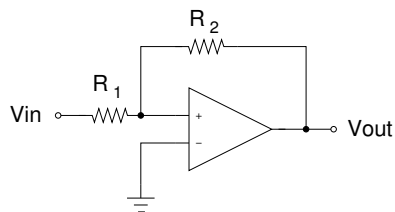


Figure 11: Comparateur à deux seuils ou Trigger de Schmitt