

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE LOUVAIN

LEPL1501 - PROJET P2

RAPPORT DE LABORATOIRE L3

Montages de l'amplificateur opérationnel (ampli-op)

Membres

Jonas CHANSON
Tim DEFRANNE
Natan GHYOOT
Reza JAVADIAN
Quentin PRIEELS

Groupe

71

28 mars 2021

Table des matières

1	Objectif et rappels théoriques	2
1.1	Objectif	2
1.2	Rappels théoriques	2
2	Méthodes de mesure	4
2.1	Le comparateur de tensions	4
2.2	L'amplificateur de signal	6
2.3	Le montage suiveur	7
2.4	Breadboard	8
3	Compte rendu des mesures (brutes)	9
3.1	Le comparateur de tensions	9
3.2	L'amplificateur de signal	10
3.3	Le montage suiveur	11
4	Interprétation des résultats, discussion et conclusion	12
4.1	Le comparateur de tensions	12
4.2	L'amplificateur de signal	12
4.3	Le montage suiveur	13

1 Objectif et rappels théoriques

1.1 Objectif

L'objectif de ce laboratoire est de comprendre et d'analyser le fonctionnement de l'ampli-op¹. Ce dernier peut être utilisé dans différentes applications qui seront recréées en fonction des expériences réalisées. Les circuits réalisés sont les suivants :

1. Le comparateur de tensions
2. L'amplificateur de signal
3. Le montage suiveur

1.2 Rappels théoriques

Dans le cadre de ce laboratoire, le modèle d'ampli-op utilisé est le *Microship MCP6292*. Il est composé de 2 amplificateurs distincts et possède 8 broches : 3 par amplis ainsi que 2 lui servant d'alimentation. La broche numéro 4, nommée V_{ss} doit être raccordée à la masse, tandis que la broche numéro 8, nommée V_{dd} , doit être reliée à l'alimentation continue. La tension d'alimentation ne peut pas excéder $6V$, auquel cas, il est fort probable que l'ampli-op grille. Par sécurité, nous l'alimenterons avec une tension de $5V$.

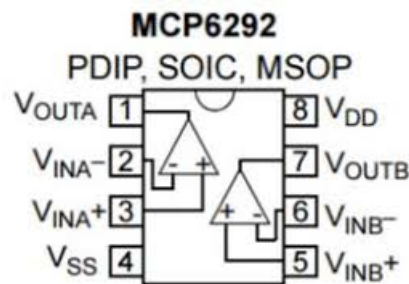


FIGURE 1 – Schéma de l'ampli-op utilisé dans le cadre de ce laboratoire.

1. Acronyme signifiant "amplificateur opérationnel" qui sera utilisé dans ce rapport pour désigner les amplificateurs avec lesquelles nous travaillons.

Les amplis-op utilisés sont supposés idéaux². Dans notre cas, ils possèdent les caractéristiques suivantes :

1. La tension de sortie est donnée par :

$$V_{out} = G(V_{in+} - V_{in-}) \quad (1)$$

où G est le gain de l'ampli-op. Puisque celui-ci est très grand (de l'ordre du million), il sera supposé infini. On notera aussi V_ϵ comme étant la différence entre les deux tensions d'entrée :

$$V_\epsilon = V_{in+} - V_{in-} \quad (2)$$

2. Aucun courant ne rentre dans l'ampli-op. En effet, la résistance des 2 entrées est aussi supposée infinie.
3. La tension de sortie V_{out} se comporte comme une source de tension idéale (résistance de Thévenin nulle). La sortie délivre ainsi autant de courant que nécessaire pour n'importe quelle tension de sortie.
4. L'amplificateur est soumis à un comportement de saturation. Cela signifie que la tension de sortie de l'ampli-op est bornée par V_{ss} vers le bas et par V_{dd} vers le haut. Ces deux tensions sont les tensions d'alimentation (DC) qui est fournie à l'ampli-op.

Un ampli-op peut être utilisé selon différents modes :

1. En mode rétroaction négative (lorsque V_{out} est relié à V_{in-}). Dans ce cas, nous obtenons un équilibre stable. En effet, lorsque la tension V_{out} augmente, cela va augmenter la tension V_{in-} et, par conséquent, diminuer V_{out} . Ainsi, une modification de la tension de sortie est compensée et le phénomène reste 'contenu'. On notera donc que $V_{in+} = V_{in-}$.
2. En mode rétroaction positive (ou sans rétroaction) (lorsque V_{out} est relié à V_{in+}). Dans ce cas-ci, l'équilibre est instable. En effet, une modification de V_{out} entraîne une modification de V_{in+} , ce qui renforce la modification de V_{out} . Ainsi, le phénomène est sans cesse amplifié (jusqu'à atteindre les limites de l'ampli-op). Ici, $V_{in+} \neq V_{in-}$, sauf aux instants de basculement. De plus, $V_{out} = V_{dd}$ ou V_{ss} .

2. Cela nous permet de faire certaines hypothèses et, par conséquent, de simplifier les calculs.

2 Méthodes de mesure

2.1 Le comparateur de tensions

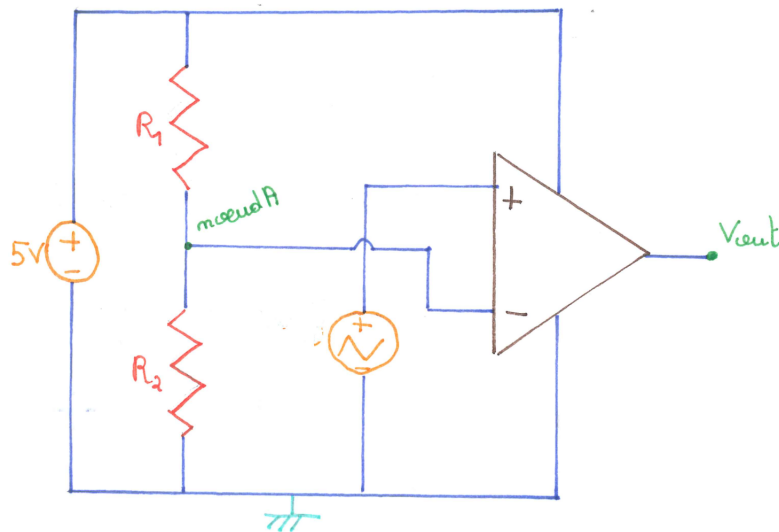


FIGURE 2 – Montage du circuit 1 : Le comparateur de tension

Dans ce circuit, se trouveront comme composants 'réglables' :

- Une source de tension continue de $5V$.
- Une source de tension à signal triangulaire d'une amplitude de $2V$ et d'une fréquence de $1kHz$.
- Un potentiomètre composé des deux résistances R_1 et R_2 .

Commençons par déterminer la tension d'entrée V_{in-} (la tension d'entrée de la borne V_{in+} étant déjà connue car égale à la tension générée par la source de tension à signal triangulaire) :

$$V_{in-} = 5 - \frac{5R_1}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

Prédictions de la tension de sortie

Puisque nous considérons l'ampli-op comme idéal, en raison des hypothèses faites dans les rappels théoriques, le gain en tension G est infini. Cela aura pour conséquence que lorsque V_e sera non-nulle et positive (bien que très petite), G étant considéré comme infini, on aura $V_{out} = V_{cc} = 5V$, ce qui représente la borne supérieure de la tension de sortie. Un raisonnement similaire peut être réalisé lorsque la tension V_e est non-nulle et négative. Dans ce cas, $V_{out} = V_{ss} = 0V$. On obtient donc les relations suivantes :

$$\begin{cases} V_{out} = V_{cc} & \text{si } V_e > 0 \\ V_{out} = V_{ss} & \text{si } V_e < 0 \end{cases} \quad (4)$$

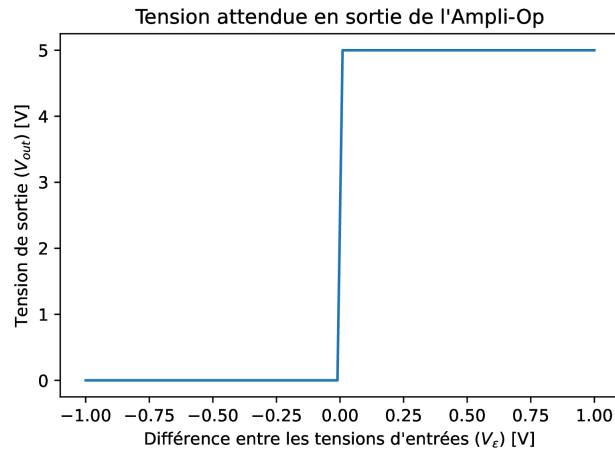


FIGURE 3 – Tension de sortie attendue

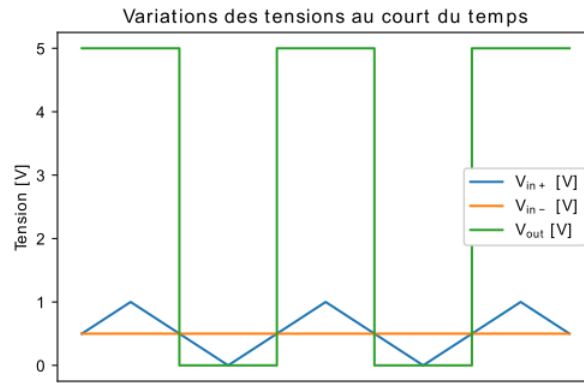


FIGURE 4 – Comportements des tensions V_{in+} , V_{in-} et V_{out}

En changeant la valeur des résistances R_1 et R_2 du potentiomètre, on change le rapport cyclique de V_{out} . En effet, on fait varier la position de V_{in-} entre 0V et 5V, ce qui va impacter la durée pendant laquelle la tension de sortie est à son maximum (ou minimum). Dans le cas où les deux entrées V_{in+} et V_{in-} seraient permutées et les conditions de l'équation ci-dessus seraient, elles aussi, permutées.

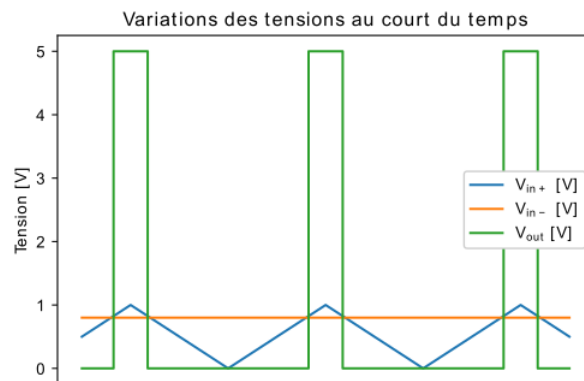


FIGURE 5 – Comportements des tensions V_{in+} , V_{in-} et V_{out} avec un rapport cyclique différent

2.2 L'amplificateur de signal

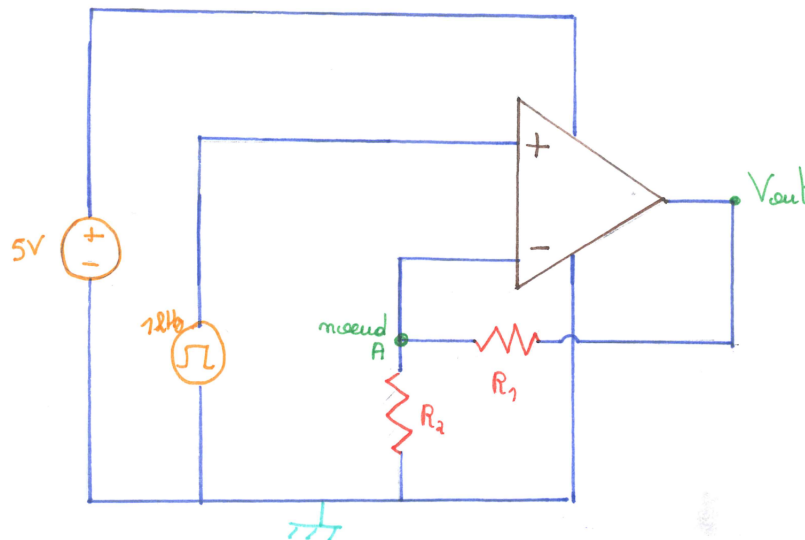


FIGURE 6 – Montage du circuit 2 : L'amplificateur de signal

Dans ce circuit, se trouveront comme composants 'réglables' :

- Une source de tension continue de $5V$.
- Une source de tension à signal triangulaire d'une amplitude de $2V$ et d'une fréquence de $1kHz$. Nous l'appellerons V_1
- Un potentiomètre composé des deux résistances R_1 et R_2 .

Le montage de la figure 6 est équivalent (à l'exception que la source de tension est cette fois-ci alternative) au montage 'non-inverseur' vu en Q1. Néanmoins, ce changement n'en est pas vraiment un. En effet, la seule différence que cela provoquera est que la tension de sortie sera une tension alternative amplifiée.

Prédiction de la tension de sortie

Étant donné qu'il n'y a pas de chute de tension dans l'ampli-op, la tension entre les deux résistances est égale à la tension d'entrée. Partant de ce postulat, on sait déterminer le courant qui passe dans R_2 car cette dernière est reliée à la masse. Ce courant passe également dans R_1 . On peut donc déterminer la chute de tension aux bornes de R_1 en suivant la même logique.

En observant le circuit, on remarque que V_{out} est égale à V_1 + la chute de tension aux bornes de R_2 . On trouve donc :

$$V_{out} = V_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (5)$$

Cette chute de tension est le gain de tension.

Limite du gain

Le gain de tension entre A et V_{out} est en fait directement proportionnel au rapport entre R_1 et R_2 . Ce rapport peut donc valoir toutes les valeurs entre $0V$ (si R_1 est nulle 'Montage suiveur') ou tendre vers l'infini (si R_2 tend vers 0). Néanmoins, dans les faits, le gain n'est jamais infini car la somme de A et du gain ne peuvent pas dépasser $5V$ (dans le cas de notre montage). Ou encore :

$$\frac{5}{A} - 1 > \frac{R_1}{R_2}$$

2.3 Le montage suiveur

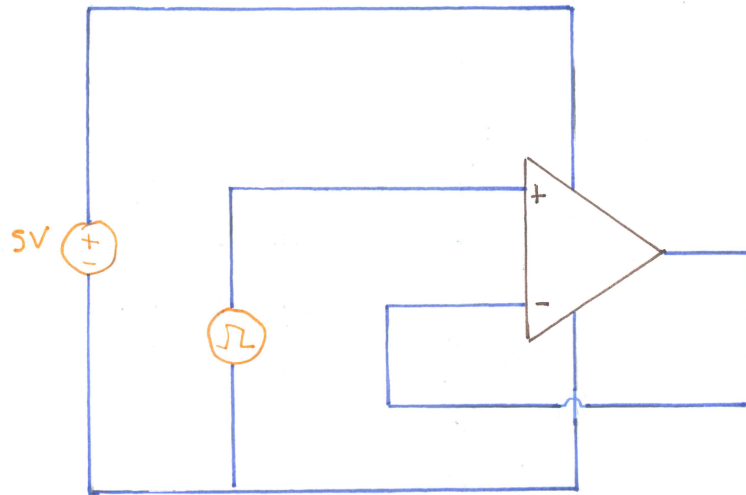


FIGURE 7 – Montage du circuit 3 : Le montage suiveur

Dans ce circuit, se trouveront comme composants 'réglables' :

- Une source de tension continue de 5V.
- Une source de tension à signal carré ou quelconque d'une amplitude de 1V.

Prédictions de la tension de sortie

Selon nous, ce montage réplique la tension d'entrée V_{in+} sur la tension de sortie V_{out} . Il agirait donc comme un copieur parfait. En effet, il s'agit d'un montage en mode rétroaction négative. Par conséquent, la tension de sortie sera stable et ne s'empressera pas d'atteindre les limites de l'ampli-op. La boucle de rétroaction négative a pour but de répliquer la tension V_{out} sur la borne V_{in-} . En effet, en partant de l'équation de base qui nous donne V_{out} , on peut trouver que $V_{out}(1 + G) = GV_{in+}$, et donc que le *coefficient d'amplitude* vaut :

$$\frac{V_{out}}{V_{in+}} = \frac{G}{1 + G} \approx 1 \quad (6)$$

On peut ainsi conclure que la tension d'entrée V_{out} sera égale à la tension de sortie V_{out}

2.4 Breadboard

Afin de faciliter la prise des mesures lors du laboratoire, nous avons décidé de créer les circuits des figures 2 et 6 sur une breadboard. Comme expliqué dans le rappel théorique, un seul boîtier contient 2 amplis-op, ce qui nous permet de créer 2 circuits différents. Seul quelques réglages au niveau des résistances seront à réaliser pour passer du circuit de la figure 6 à celui de la figure 7.

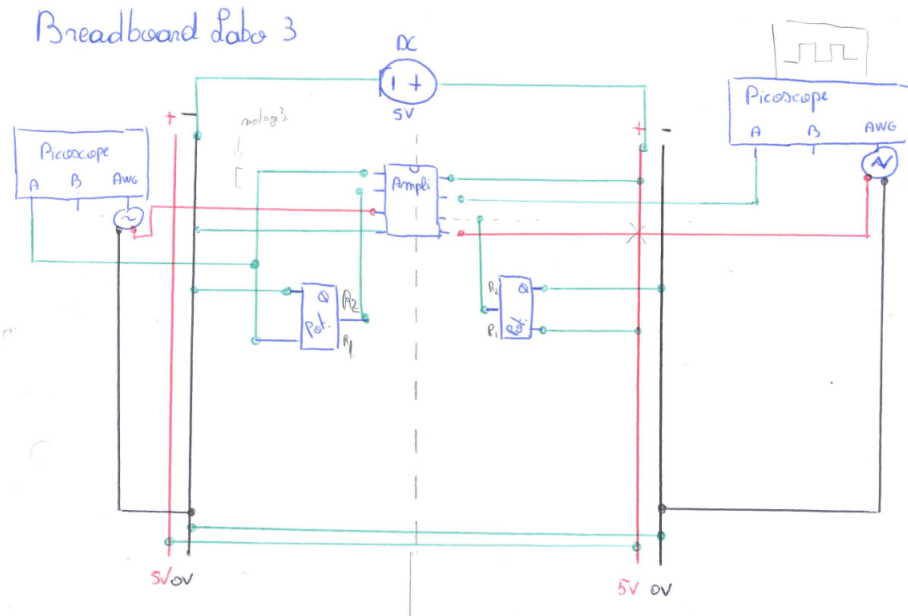


FIGURE 8 – Schéma de la breadboard imaginé pour le labo 3

3 Compte rendu des mesures (brutes)

3.1 Le comparateur de tensions

Nous avons commencé par générer un signal triangulaire d'une amplitude de $5V$ avec un réglage à $0V$ pour l'offset. Les résistances R_1 et R_2 valent respectivement $45k\Omega$ et $65k\Omega$ sur la figure de gauche, et $26.4k\Omega$ et 75.6Ω sur la figure de droite. Voici ce que nous obtenons lorsque nous mesurons la tension à la sortie de l'amplificateur de signal.

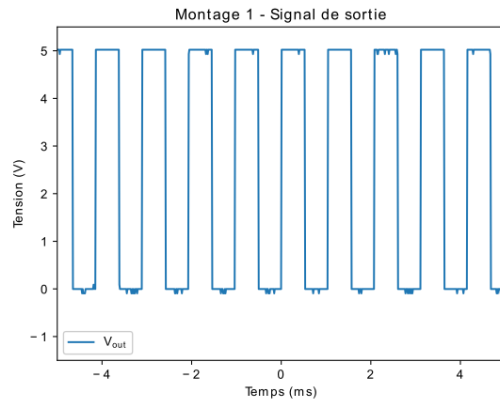


FIGURE 9 – Signal en sortie

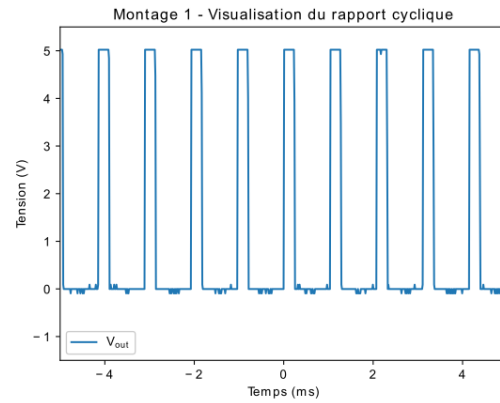


FIGURE 10 – Rapport cyclique

Par la suite, nous avons généré un signal triangulaire d'une amplitude de $2V$ et l'offset a été réglé à $1V$. Nous mesurons ensuite la tension en sortie (V_{out}) de l'ampli-op. Les deux tensions sont représentées sur le graphique ci-dessous.

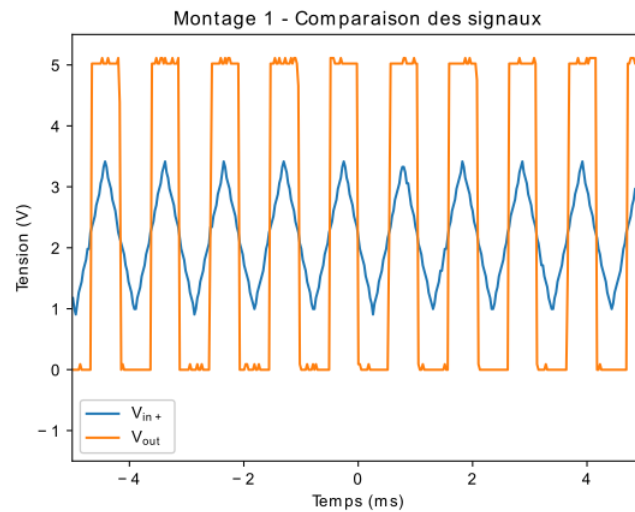


FIGURE 11 – Signaux d'entrée et de sortie de l'ampli-op

3.2 L'amplificateur de signal

Le signal suivant est un signal carré d'une amplitude de $1V$. Avec un certain réglage des résistances R_1 et R_2 , nous générons le signal suivant :

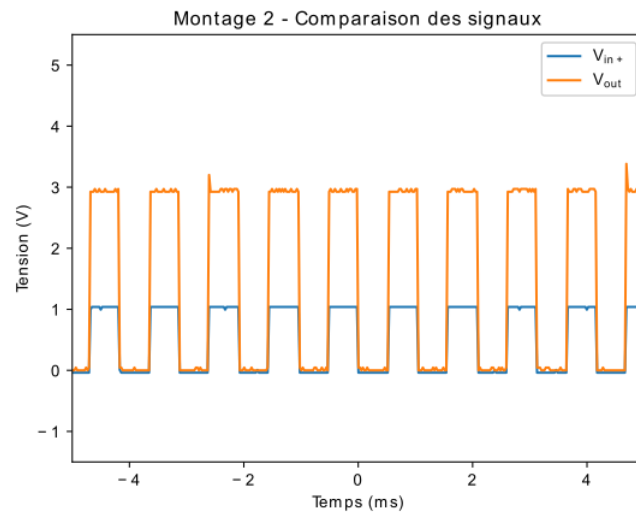


FIGURE 12 – Signaux d'entrée et de sortie de l'ampli-op

Nous avons aussi tenté de générer d'autres types de signaux afin de voir l'impact sur la tension de sortie. Ici, deux autres types de signaux ont été générés : le premier (de gauche) est triangulaire et le second (à droite) est sinusoïdal. L'offset aussi été réglé sur environ $2V$.

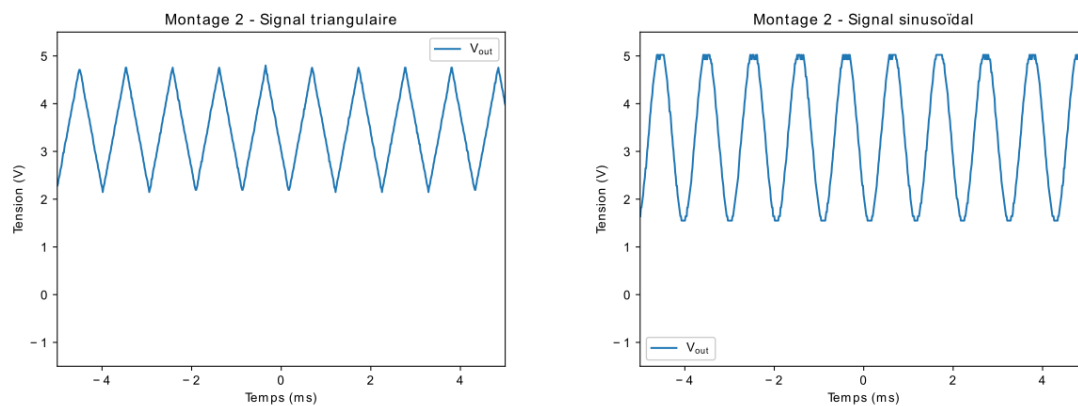


FIGURE 13 – Exemple d'autres formes de signaux générés

3.3 Le montage suiveur

Pour ce troisième montage, nous avons relié la borne V_{dd} de l'ampli-op à un générateur de courant DC de $5V$, la borne V_{in+} à une source de tension à signal carré d'amplitude $1V$ et la borne V_{in-} à la borne V_{out} . Voici ce que nous obtenons lorsque l'on mesure la tension à l'entrée positive ainsi qu'à la sortie de l'ampli-op :

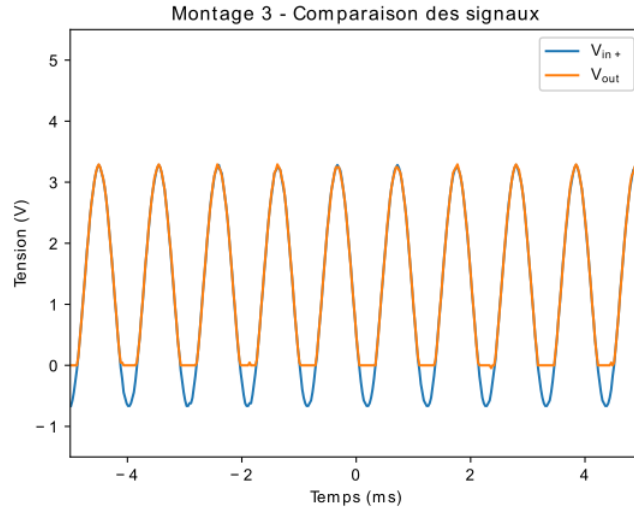


FIGURE 14 – Signaux d'entrée et de sortie de l'ampli-op

On remarque que les tensions mesurées sont identiques. La seule différence est due au fait que l'ampli-op ait une amplitude bornée entre 0 et $5V$, la tension de sortie ne peut passer dans les négatifs lorsque la tension d'entrée devient négative.

Afin de vérifier notre hypothèse, nous avons augmenté légèrement l'offset appliqué à la tension V_{in+} de façon à éviter toute tension négative (et plus grande que $5V$). Nous restons de cette manière bien dans les valeurs possibles de l'ampli-op. Nous avons ensuite mesuré la différence de tension entre l'entrée V_{in+} et la sortie V_{out} .

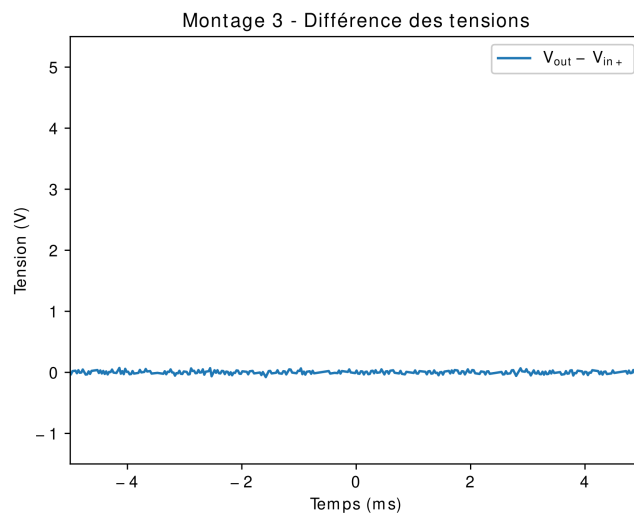


FIGURE 15 – Différence entre le signal d'entrée et de de sortie

4 Interprétation des résultats, discussion et conclusion

4.1 Le comparateur de tensions

Cohérence des résultats

Les graphes obtenus dans nos prédictions correspondent bien à la réalité. Le signal sortant de l'ampli-op est carré comme attendu. On remarque bien que celui-ci est borné par la tension qui alimente l'ampli-op : amplitude max = $5V = V_{CC}$ et amplitude min = $0V = V_{SS}$. On peut également noter que le changement de tension dans le signal de sortie correspond bien à l'intersection entre le signal continu fourni à la borne inverseuse et le signal triangulaire fourni à la borne non-inverseuse.

Rapport cyclique

Comme nous l'avons prédit, un changement de réglage du potentiomètre va impacter le rapport cyclique du signal de sortie. Le rapport entre la valeur des deux résistances du potentiomètre semble bien correspondre au rapport cyclique sur les graphes.

Conclusion

En conclusion, nos résultats semblent satisfaire nos prédictions. On peut remarquer quelques petites imprécisions sur nos graphes, mais cela est simplement dû à du bruit électronique.

4.2 L'amplificateur de signal

Cohérence des résultats

Les résultats obtenus correspondent très bien aux prédictions réalisées en amont. Comme observé sur la FIGURE 12 la tension de sortie du circuit répond aux mêmes formes et fréquences que le signal d'entrée indépendamment de celui-ci et du réglage du potentiomètre. La seule modification notable est l'augmentation de ce signal, augmentation dont le gain semble, selon nos résultats, être égale à $\frac{V_1 R_1}{R_2}$ ou, avec les données de l'expérience, égale à $\frac{1*75}{25}$ soit 3 lors des pics. Ainsi, l'utilité du montage est clair et amplifie bien le signal de départ.

Limite du gain

Les limites du gain potentielles paraissent, elles aussi, concorder avec les hypothèses effectuées. La FIGURE 13 sinusoïdale affiche clairement ces barrières. En effet, malgré la forme sinusoïdale parfaite de la tension d'entrée, sur le graphe de la tension de sortie, cette forme n'est plus la même, elle est déformée ; et semble bloquée à $5V$. En effet, dans ce circuit-ci, le potentiomètre était réglé tel que R_1 valait environ $80k\Omega$ et R_2 , $20k\Omega$. De fait, leur rapport multiplié par V_1 valait 4 soit la valeur maximale de gain possible avec une tension continue de 5 volts alimentant l'ampli-op et une tension d'entrée dont le pic était à 1 volt. Il est donc cohérents, vis à vis de nos pronostics, de voir que le signal de sortie ne dépasse pas les 5 volts, qu'importent les conditions du circuit.

Conclusion

En conclusion, l'ensemble des données récoltées avec l'amplificateur lors du laboratoire sont en adéquation avec la travail de recherche opéré lors de la phase de préparation. Les formules et graphiques réalisés au préalable reflètent correctement la totalité des éléments obtenus lors de la phase de travail en laboratoire.

4.3 Le montage suiveur

Cohérence des résultats

Sur le graphe de la FIGURE 14, on remarque que pour une tension d'entrée comprise entre $0V$ et $5V$ (les deux bornes de l'ampli-op), la tension de sortie est parfaitement égale à la tension d'entrée. Cela concorde bien avec nos hypothèses. On remarque aussi que, lorsque la tension d'entrée se trouve en dehors de la borne de l'amplificateur, la tension de sortie vaut cette fois-ci la borne inférieure (car la tension d'entrée est plus faible que V_{SS} . On se convainc aisément que, si la tension d'entrée avait été plus grande que la borne supérieure, la tension de sortie aurait été égale à V_{CC} .

Afin de confirmer l'hypothèse selon laquelle, pour une tension d'entrée comprise entre V_{SS} et V_{CC} , la tension de sortie aurait été identique à cette tension d'entrée, nous avons mesuré la différence entre la borne d'entrée et la sortie (pour un montage répondant à cette caractéristique) (FIGURE 15). Nous observons alors bien que cette différence vaut 0 et donc, que les deux tensions sont identiques.

Utilité

Un tel montage porte bien son nom. Il réplique ainsi parfaitement la tension qui lui est appliquée en entrée. On pourrait cependant croire qu'il pourrait être remplacé par un simple fil (qui réplique lui aussi la tension), mais ce serait une erreur. En effet, aucun courant ne peut rentrer dans l'ampli-op (en vertu des hypothèses faites dans le rappel théorique). On comprend alors que ce montage ne fait que répliquer la tension mais ne modifie en aucun cas le circuit à l'endroit où cette tension est 'copiée'. L'ampli-op agit aussi comme une source de tension idéale à l'endroit où la tension V_{out} est répliquée.