

Laboratoire 2

Les amplificateurs operationnels : Montages de base

Équipier:

Nom: Loïc Olivier Matricule: 536 898 399
Nom: Xavier Isabel Matricule: 536 892 061

Semaine 1 - Simulation SPICE et questions prélaboratoire

1. Le suiveur de tension

1.1. ...

1.2. ...

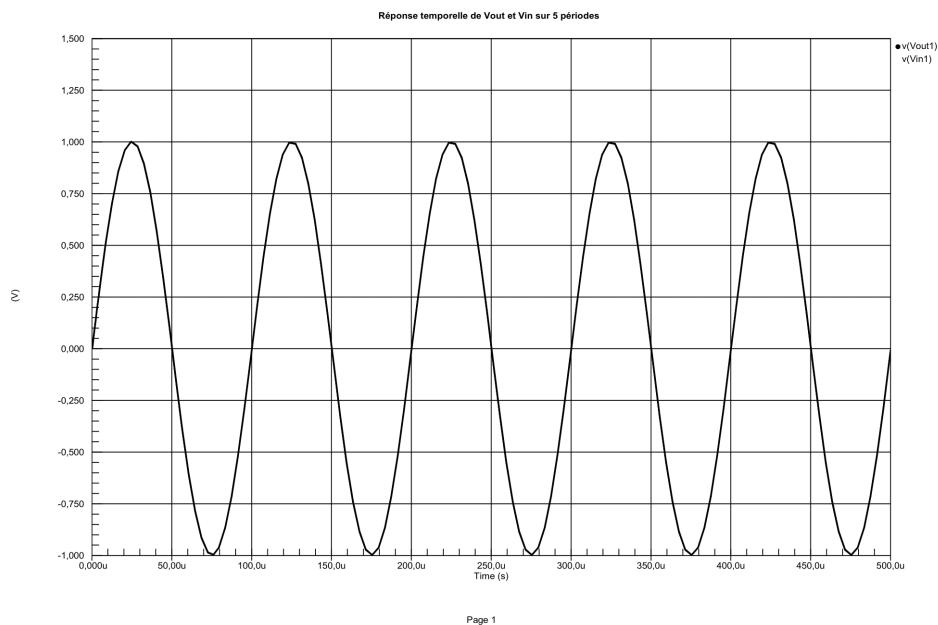


Figure 1: Réponse temporelle de V_{out} et V_{in} sur 5 périodes pour le suiveur de tension.

2. L'inverseur

2.1. ...

2.2. ...

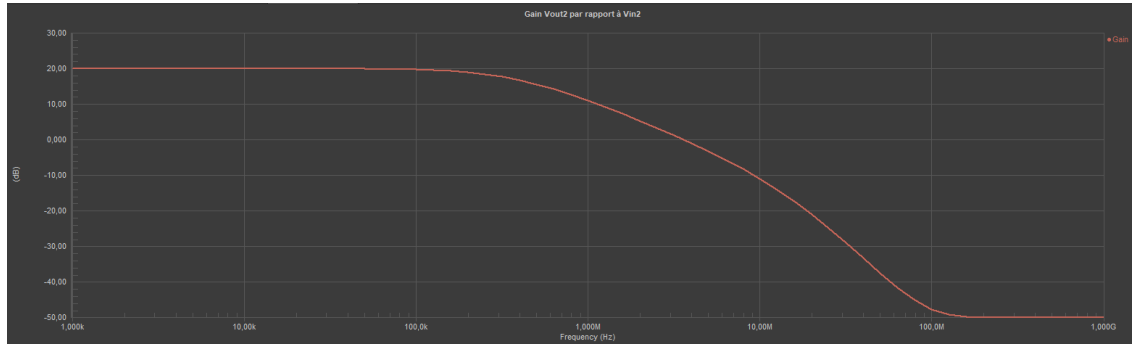


Figure 2: Courbe du gain de l'inverseur en fonction de la fréquence.

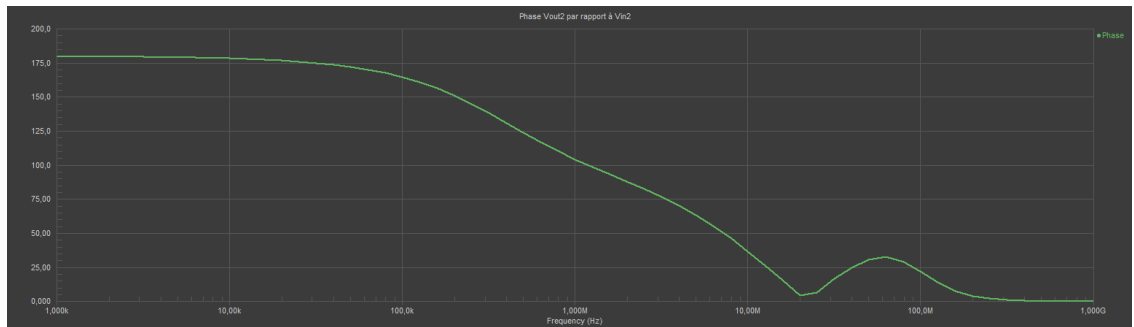


Figure 3: Courbe de la phase de l'inverseur en fonction de la fréquence.

2.3. ...

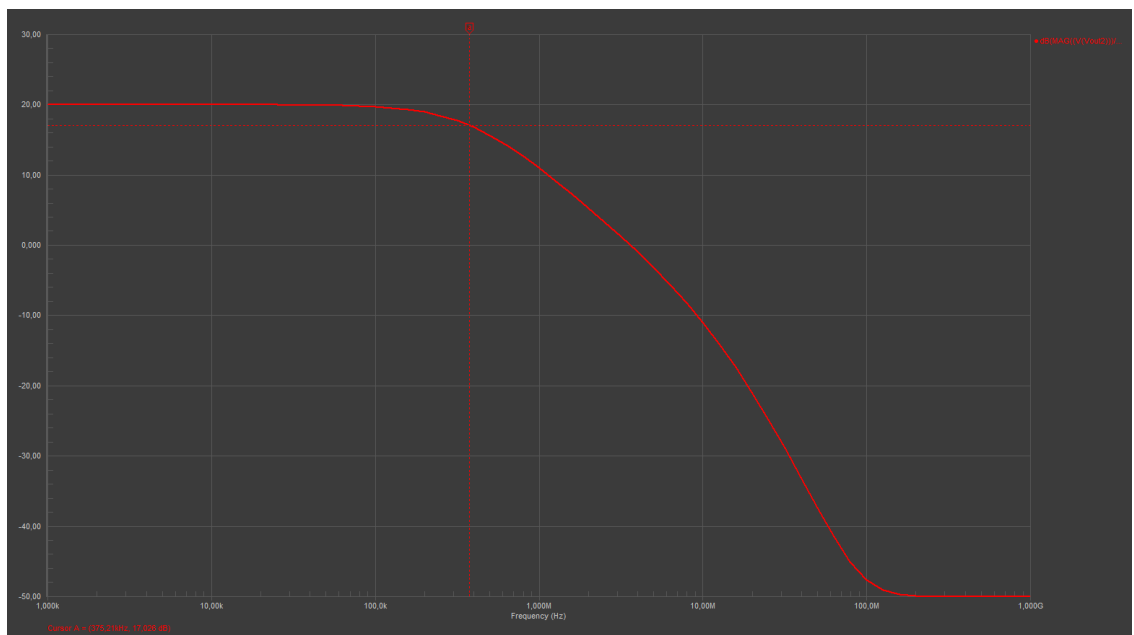


Figure 4: Fréquence de coupure de l'amplificateur opérationnel en configuration inverseur à partir d'un curseur.
La fréquence de coupure de l'inverseur est de 375,2 kHz.

2.4. ...

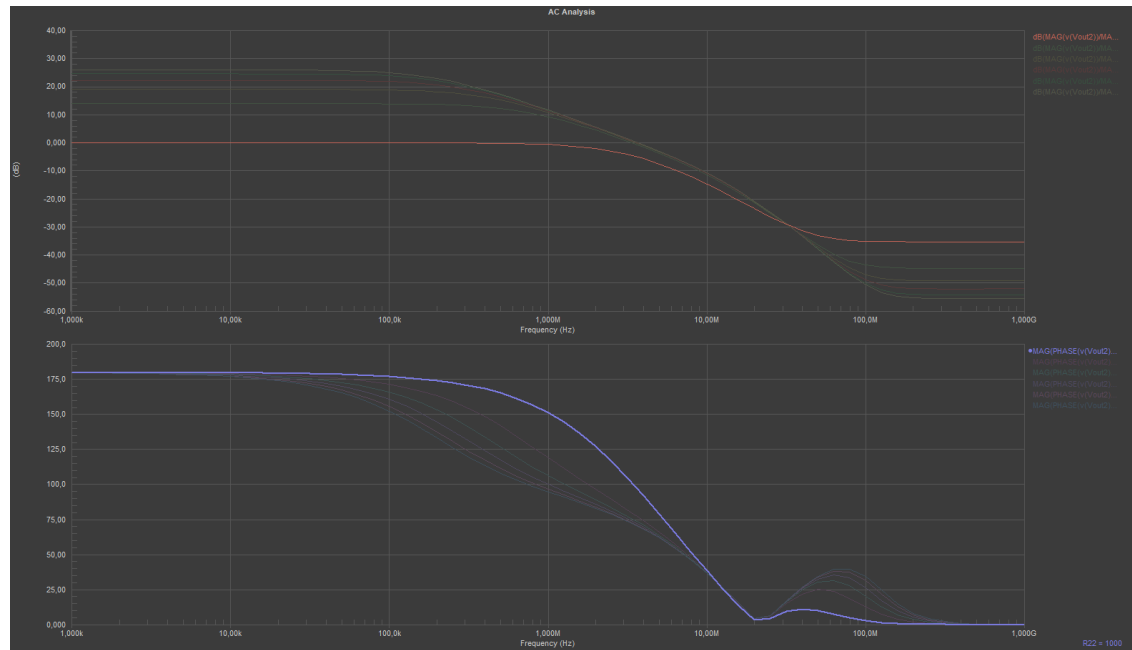


Figure 5: Digrammes de Bode pour différente valeur de R_{22} entre 1k et 20k incrémentées de 4k Ω .

Plus la valeur de R_{22} est élevée, plus la fréquence de coupure est faible. En effet, la fréquence de coupure associée à une valeur de résistance de 1k Ω est de 2,54kHz alors qu'elle vaut 193,87kHz pour une résistance de 20k Ω . Il en est de même pour la phase qui diminue plus rapidement en fonction de la fréquence pour des résistances plus élevée.

3. Le non-inverseur

3.1. ...

3.2. ...

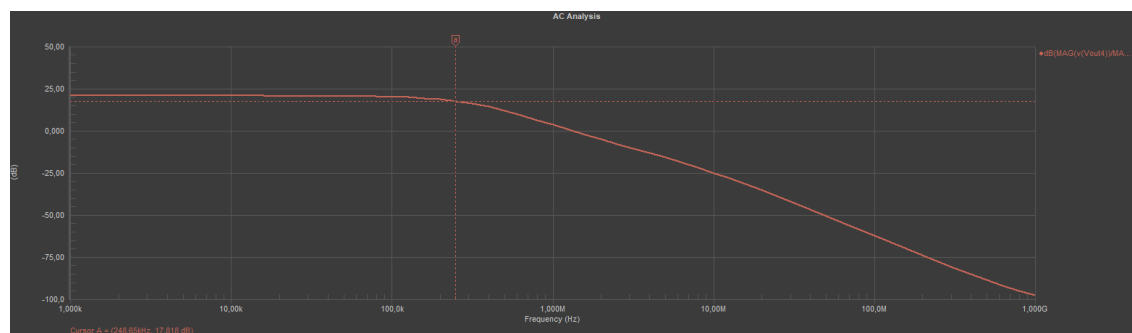


Figure 6: Courbe du gain en fonction de la fréquence pour le non-inverseur.

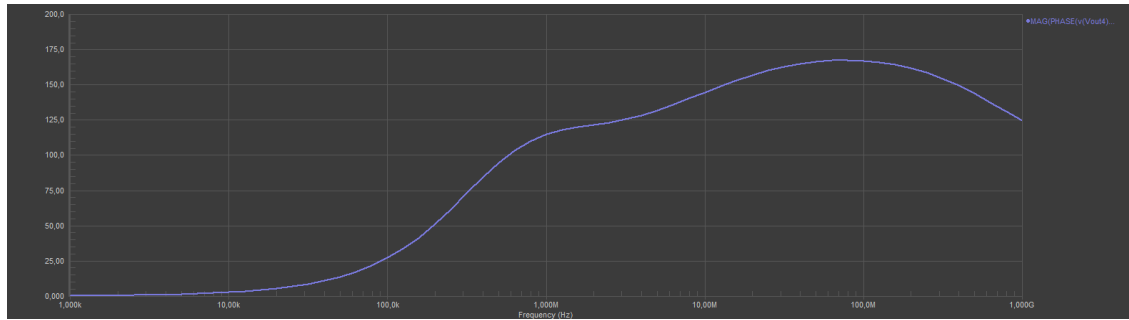


Figure 7: Courbe de la phase en fonction de la fréquence pour le non-inverseur.

- 3.3. Le curseur employé sur la figure 7 permet de déduire la fréquence de coupure de l'inverseur.
 $f_c = 248,65\text{kHz}$

Semaine 1 - Travaux à effectuer au laboratoire

1. Montage du suiveur

1.1. ...

1.2. ...

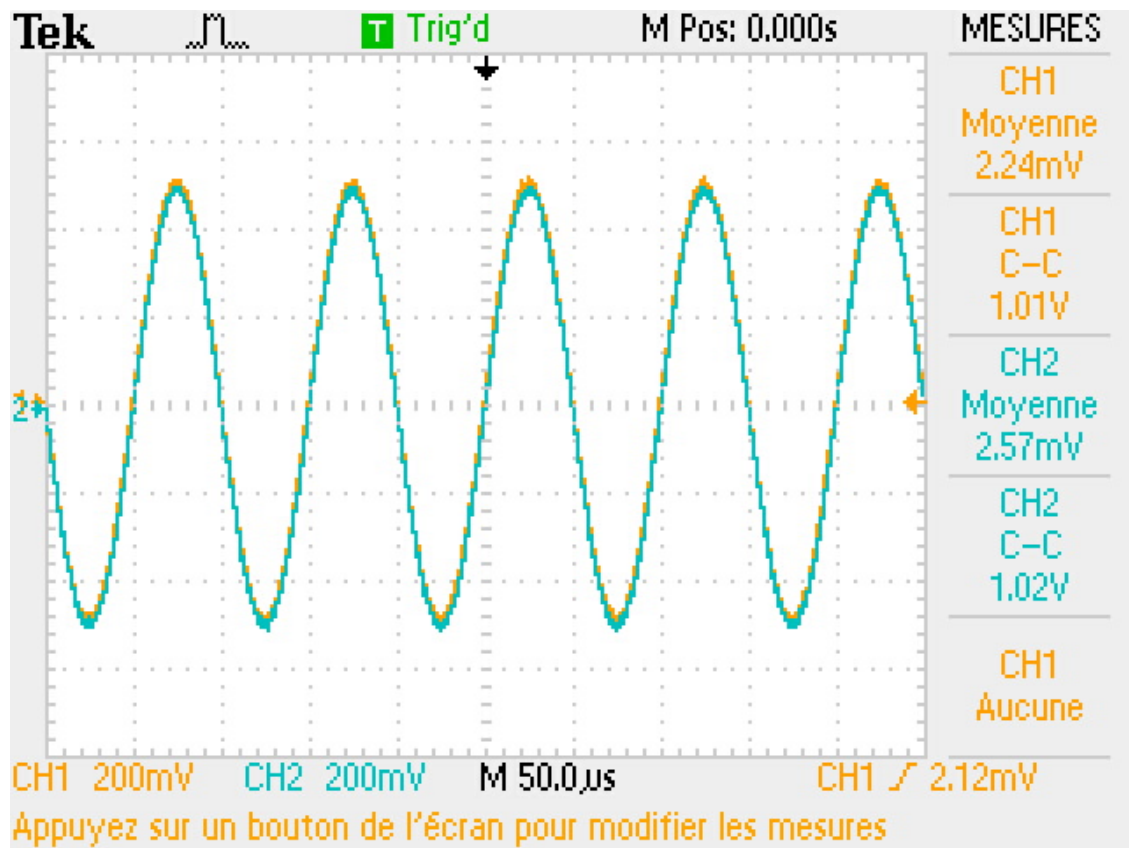


Figure 8: Signal entrant et sortant à l'oscilloscope du montage en suiveur.

Amplitude $V_{in} = 1.01\text{ V}$
 Amplitude $V_{out} = 1.01\text{ V}$

Calcul du gain

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1.01}{1.01} = 1$$

1.3. ...

Amplitude $V_{out} = 200$ mV

1.4. ...

Amplitude $V_{out} = 200$ mV

1.5. ...

Pour ce qui est des valeurs d'amplitude de V_{out} pour les trois derniers circuits, on remarque qu'ils gardent tous le même gain unitaire et donc un V_{out} égal à V_{in} . On confirme donc nos résultats en simulation. En laboratoire, on remarque donc que la résistance de sortie n'a aucun effet sur le gain unitaire. Cependant, la forme de l'onde semble affectée par une résistance à la sortie. En laboratoire, on confirme aussi qu'une faible résistance en série à V_{in} n'a aucun effet mesurable de diviseur de tension en raison de l'impédance pseudo-infinie de l'ampli-op.

1.6. ...

2. Montage de l'inverseur

2.1. ...

2.2.

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2.00V}{0.200V} = 10V/V$$

$$f_{-3dB} = 260.00000kHz$$

$$f_{G=1} = 3.7100000MHz$$

En comparant les valeurs mesurées aux valeurs simulées, on remarque tout d'abord que le gain statique est identique, soit de 10 V/V ou 20 dB. Pour la fréquence de coupure, notre valeur mesurée est dans le même ordre de grandeur que la valeur simulée, mais on remarque tout de même une valeur simulée supérieure de 115,2 kHz. Notre conclusion est semblable pour la fréquence de gain unitaire, les valeurs se retrouvant dans un même ordre de grandeur, la valeur simulée vaut 3,62MHz.

2.3.

3. Montage du circuit non-inverseur

3.1. ...

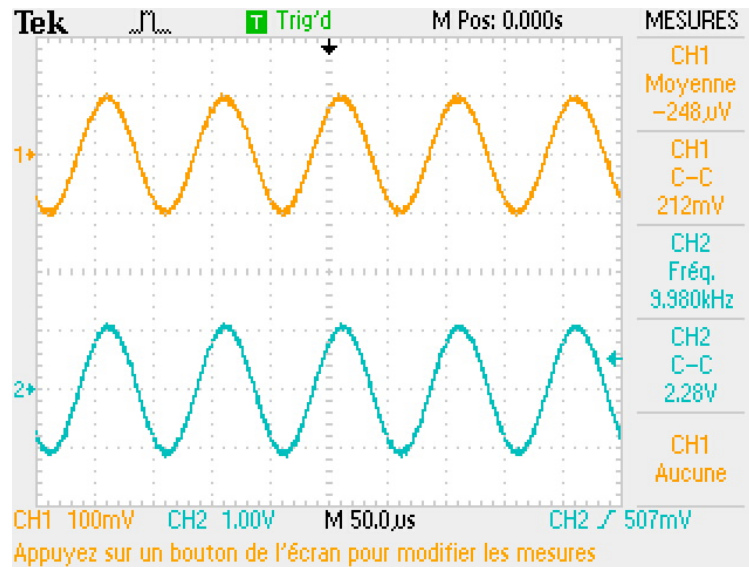


Figure 9: Signal sortant à l'oscilloscope du montage du circuit non-inverseur.

3.2. ...

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2.28V}{0.208V} = 10.96(V/V)$$

$$f_{-3dB} = 228.00000MHz$$

$$f_{G=1} = 1.2400000MHz$$

En comparant les valeurs mesurées aux valeurs simulées, on remarque tout d'abord que le gain statique est très semblable, soit de 11 V/V simulé comparé à 10.96 V/V mesuré. Pour la fréquence de coupure, notre valeur mesurée est de le même ordre de grandeur que la valeur simulée, mais on remarque tout de même une valeur simulée supérieure de 20.65 kHz. Notre conclusion est semblable pour la fréquence de gain unitaire, les valeurs se retrouvant dans un même ordre de grandeur, la valeur simulée est de 1.3MHz.

4. Arduino

4.1. ...

4.2. ...

4.3. ...

4.4. ...

```

1   int x = 0;
   int y = 0;
3
5   void setup() {
   // put your setup code here, to run once:
7   pinMode(10, OUTPUT); // Configuration de la pin 10 comme sortie
   }
9
   void loop() {

```

```

11 // put your main code here, to run repeatedly:
   int data = analogRead(A0); //Lecture analogique et conversion num rique de la
       tension lue sur A0
13 Serial.println(data); //Affichage de data dans le moniteur de communication
       s r ie
   if (x % 3 == 0) { //Condition pour g n rer l'onde carr e
15     x = 0;
       if (y) {
17         digitalWrite(10, HIGH);
           y = -y + 1;
19     } else {
       digitalWrite(10, LOW);
           y = -y + 1;}
21     }
23     x = x + 1;
       delay(136); //D lai de 136 ms ajout pour chantillonner une fr quence d
       'environ 1 Hz
25 }

```

Figure 10: Code Arduino.

Semaine 2 – Simulation SPICE et questions prélaboratoire

1. Montage du circuit additionneur

1.1. ...

1.2. ...

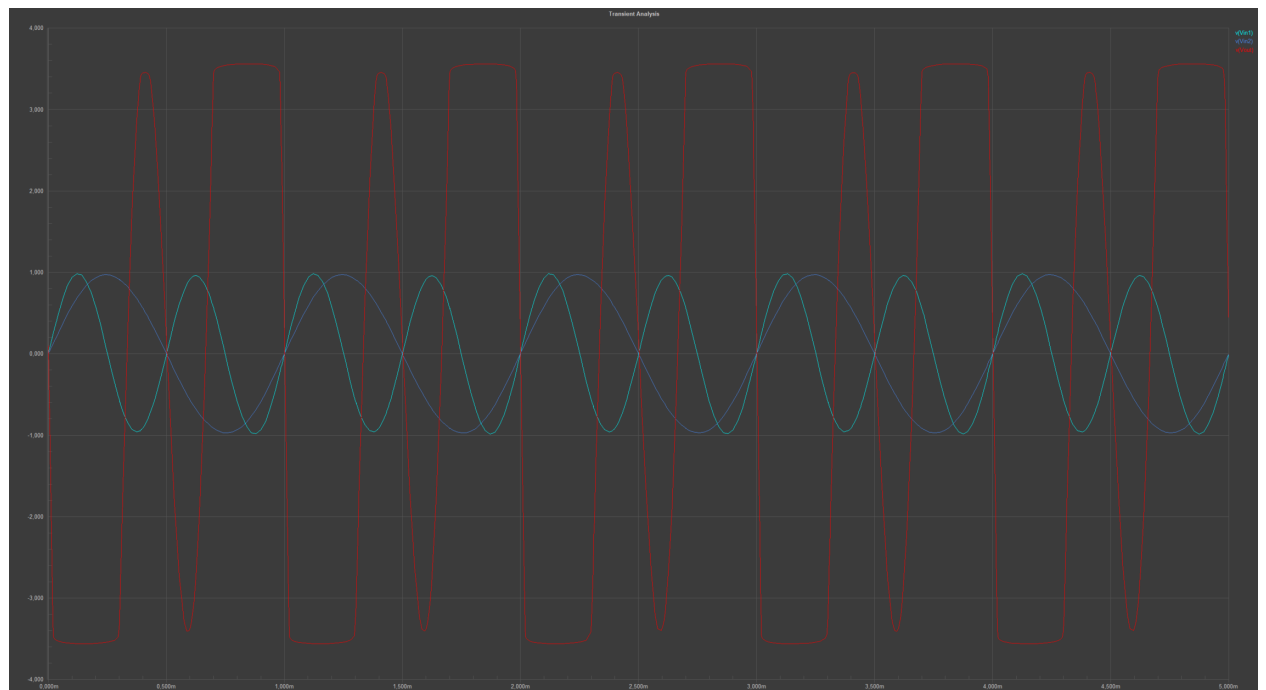


Figure 11: Courbes du circuit additionneur. Les deux signaux sommés sont en bleu et le signal de sortie est en rouge.

Le signal de sortie sature en raison du gain trop élevé du circuit.

2. Montage de l'intégrateur

2.1. ...

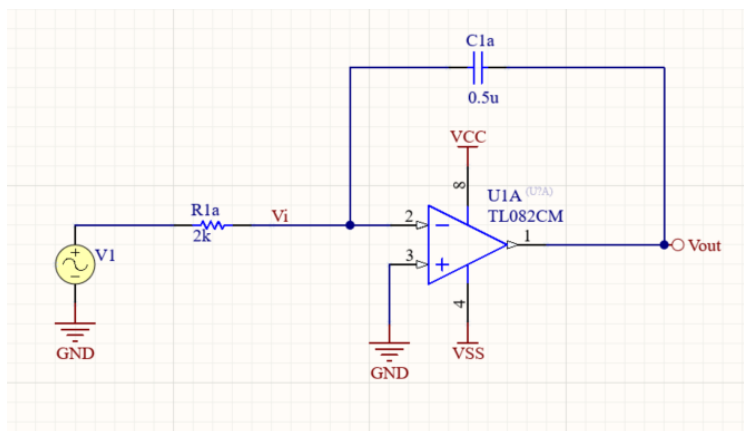


Figure 12: Schéma du montage du circuit de l'intégrateur inverseur.

2.2. ...

2.3. ...

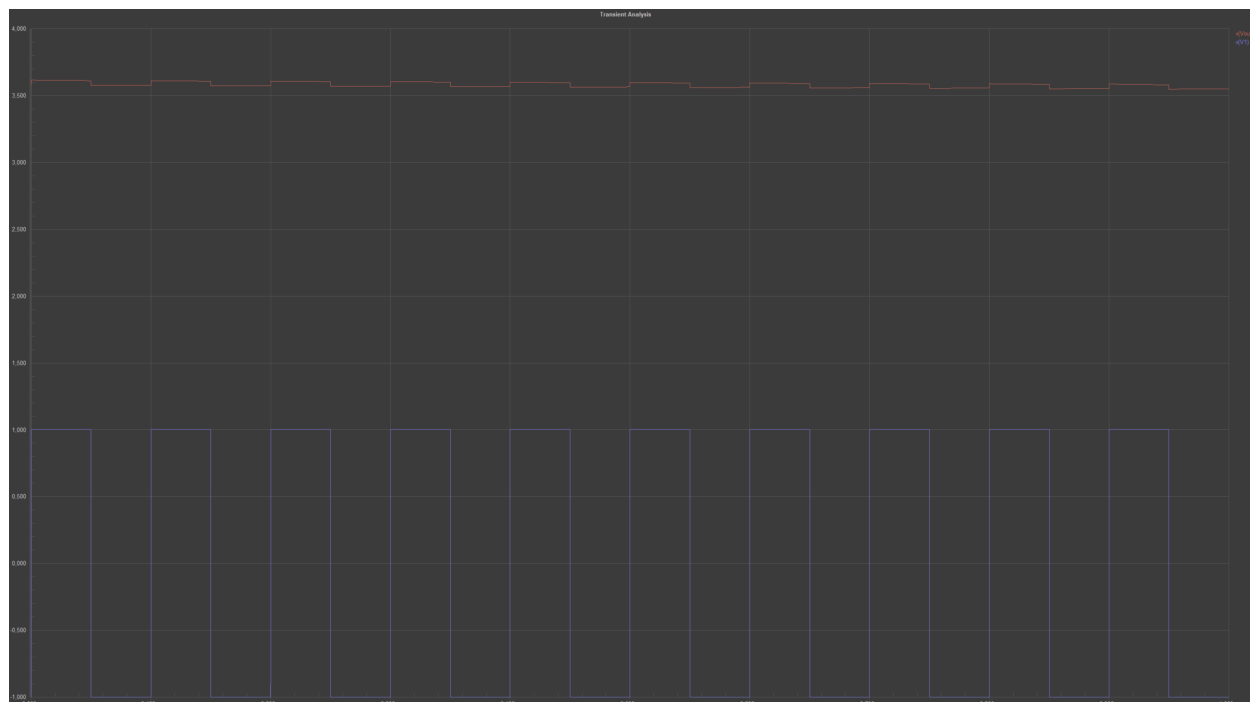


Figure 13: Simulation temporelle du circuit en 2.1. avec signal carré de 10 kHz en entrée.

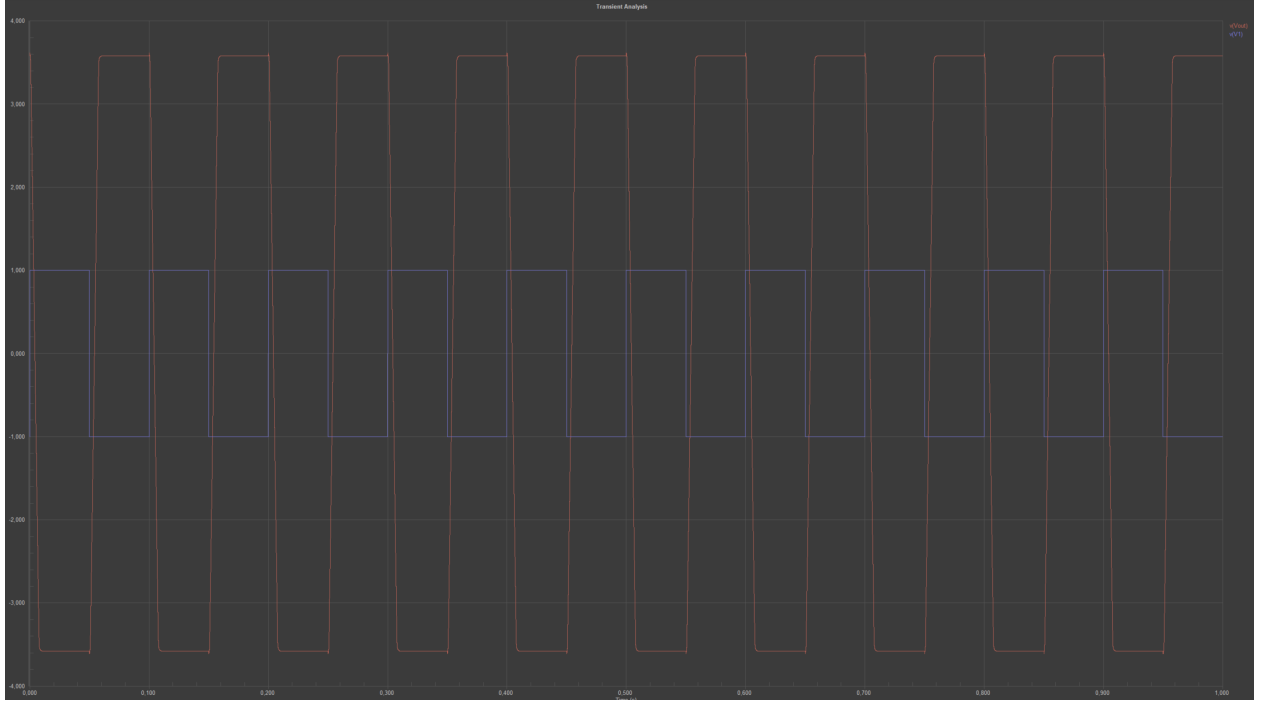


Figure 14: Simulation temporelle du circuit en 2.1. avec signal carré de 10 Hz en entrée.

L'amplitude du signal intégré à plus basse fréquence est beaucoup plus grande que celle du signal à haute fréquence. À plus haute fréquence, le temps d'intégration est tout simplement insuffisant pour le gain du circuit, d'où la très faible amplitude de circuit.

2.4. ...

Considérant les imperfections DC des amplis-op, quel problème risque-t-on de rencontrer en pratique avec l'intégrateur idéal?

L'ampli-op a en réalité une faible tension de décalage en entrée. En faisant l'analyse par superposition de source en considérant ce décalage comme une source tension DC à l'entrée non-inversée (+). Ce signal est intégré de façon non-inversée puisqu'il cause un courant dans R_{1a} qui circule aussi dans C_{1a} . À long terme, l'intégration de de cette faible tension tend à saturer la sortie de l'ampli-op.

2.5. ...

Sachant que la résistance d'entrée doit être de $2k\Omega$. R_1 doit ainsi valoir $2k\Omega$ en raison du ground virtuel. En quelques lignes de calcul, la fonction de transfert obtenue pour le circuit est la suivante:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R_2/R_1}{1 + CRs}$$

. Pour avoir un gain de -5: $\frac{R_2}{R_1} = 5 \rightarrow R_2 = 10k$. De plus, $W_c = 2 \times \pi \times 1000\text{Hz} = \frac{1}{R_2 C} \rightarrow C = 15\text{nF}$.

2.6. ...

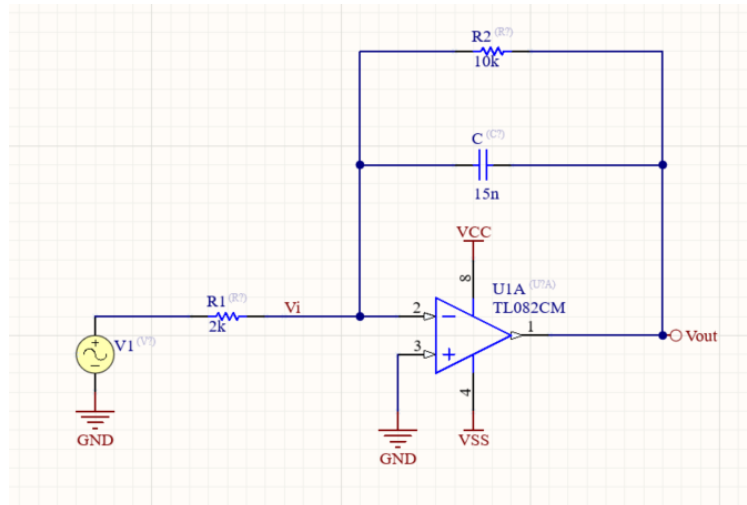


Figure 15: Montage du circuit de l'intégrateur inverseur non-idéal

2.7. ...

2.8. ...

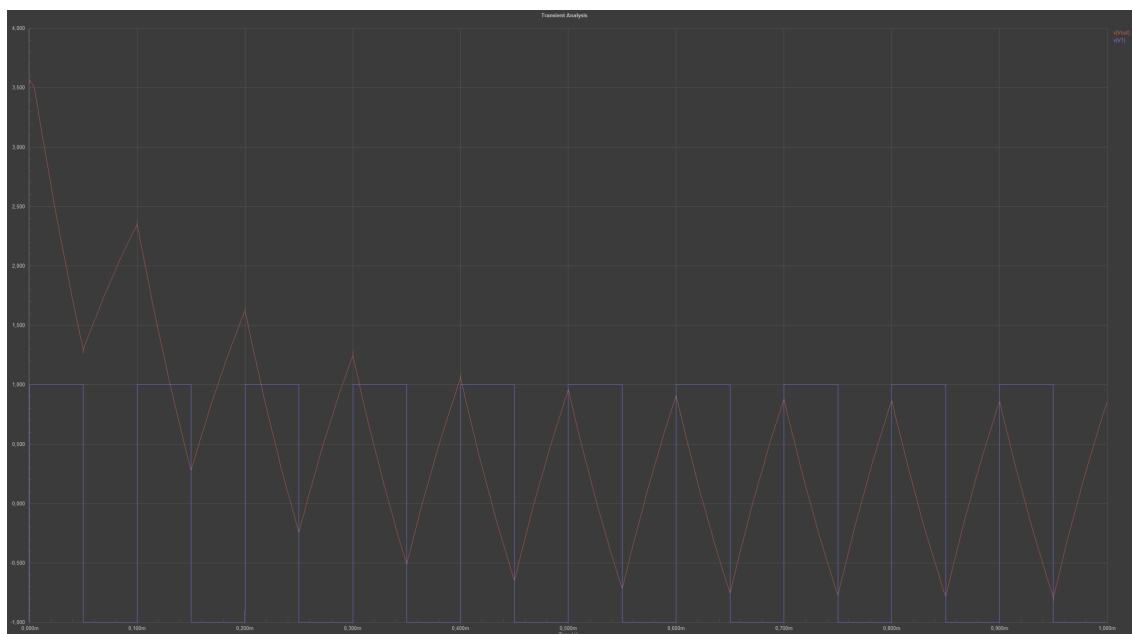


Figure 16: Simulation temporelle du circuit en 2.6. avec signal carré de 10 kHz en entrée.

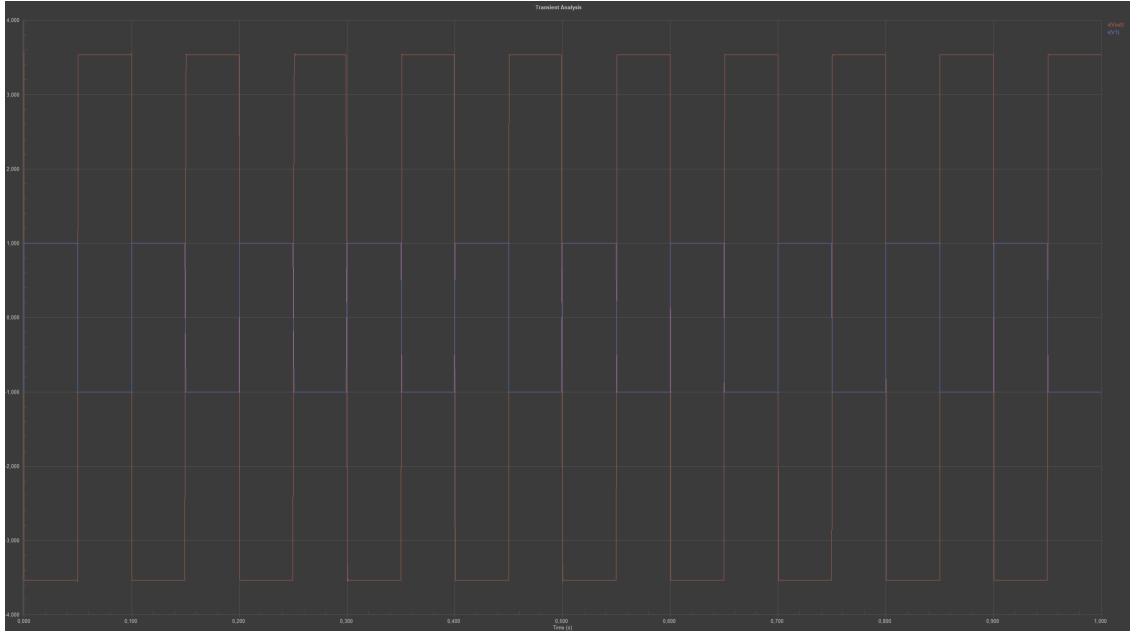


Figure 17: Simulation temporelle du circuit en 2.6. avec signal carré de 10 Hz en entrée.

L'intégrateur non-idéal possède une résistance en parallèle à son condensateur. Cette résistance permet la décharge du condensateur ce qui tend à éviter la saturation. Cette caractéristique permet de contrer la nature du circuit à saturer dû aux imperfections DC.

3. Montage du dérivateur

3.1. ...

3.2. ...

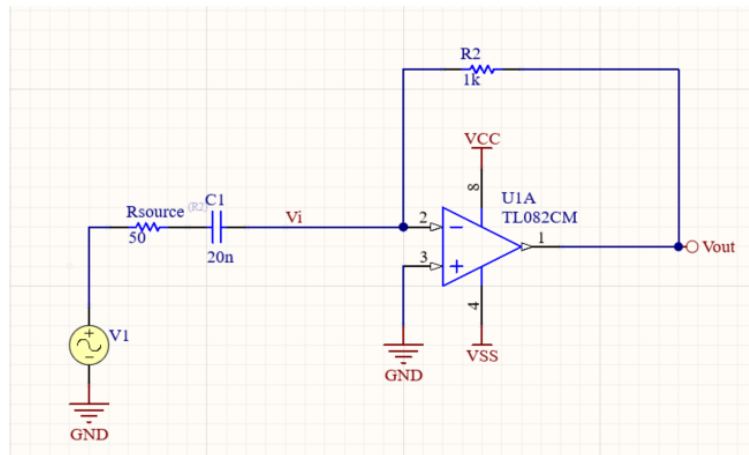


Figure 18: Schéma du montage du circuit additionneur selon 3.1.

3.3. ...

3.4. ...

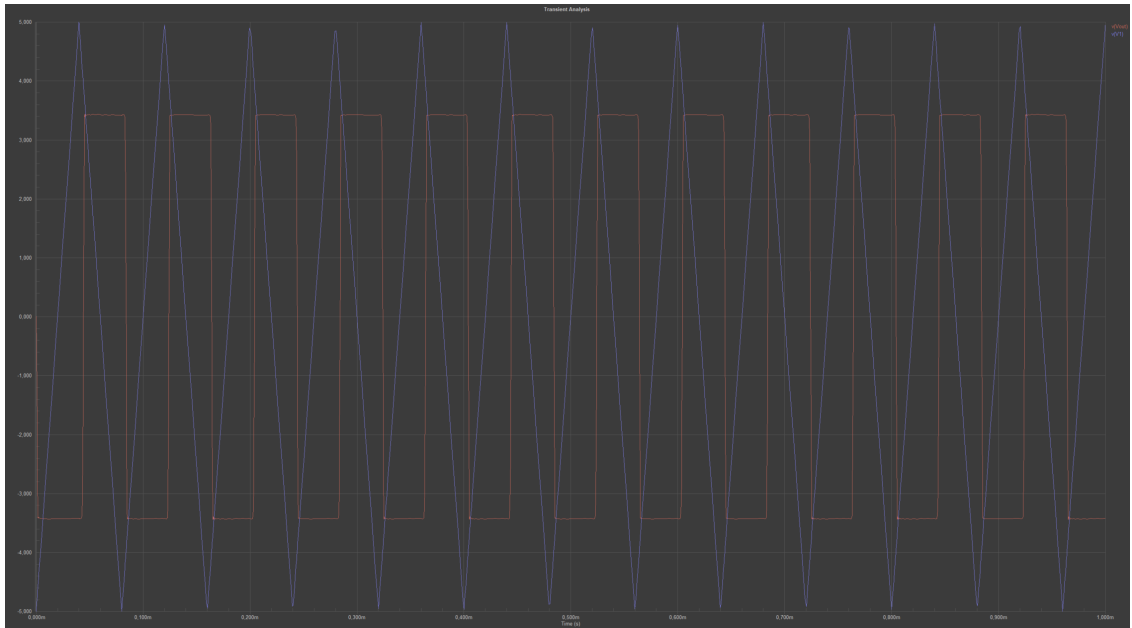


Figure 19: Simulation temporelle du circuit en 3.2. avec signal triangulaire de 12.5 kHz en entrée.

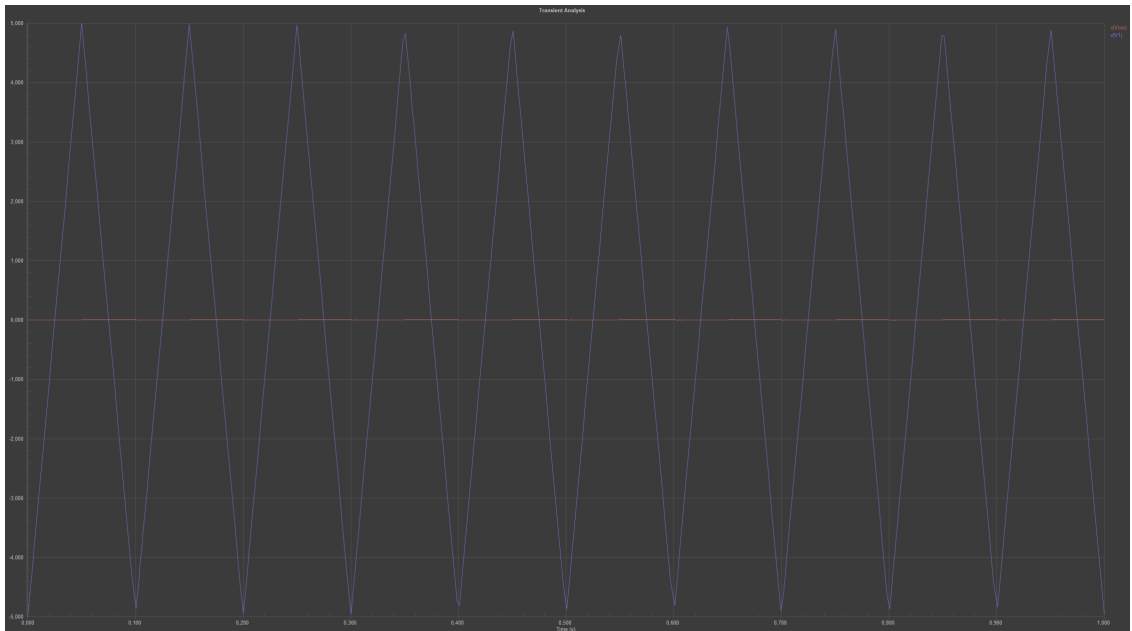


Figure 20: Simulation temporelle du circuit en 3.2. avec signal triangulaire de 10 Hz en entrée.

On constate que les hautes fréquences sont amplifiées selon un gain élevé alors que les basses fréquences (10Hz) sont fortement atténuées.

3.5. ...

Si le circuit reçoit en entrée un signal sinusoïdal à très haute fréquence, qu'arrive-t-il avec le gain du circuit? Quel problème risque-t-on de rencontrer en pratique avec le dérivateur idéal?

À haute fréquence le condensateur possède une impédance qui tend vers 0. Le gain de l'ampli est $\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{Z_2}{0} \rightarrow \infty$. Tout bruit dans le signal d'entrée sera donc fortement amplifié ce qui est indésirable.

- 3.6. On néglige l'effet de la résistance de sortie de la source étant donné que les autres résistances sont beaucoup plus élevées. On a que $R_{in} = 1k = R_1$. On désire un gain de 5: $5 = \frac{R_2}{R_1} \rightarrow R_2 = 5k\Omega$. On désire une fréquence de coupure de 1000kHz. $W_c = 2\pi \times 1000 = \frac{1}{RC}$ Ainsi, $\rightarrow C = \frac{1}{w_c \times R} \frac{1}{2\pi \times 1000 \times 1000} = 159nF$.
- 3.7. ...

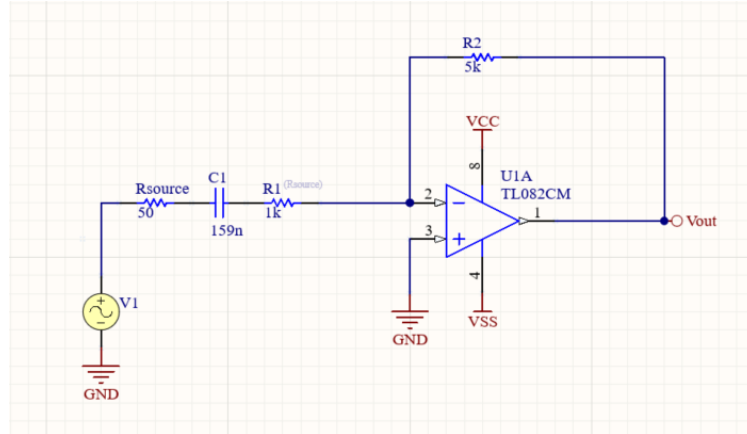


Figure 21: Schéma du dérivateur non-idéal avec les valeurs choisies

3.8. ...

3.9. ...

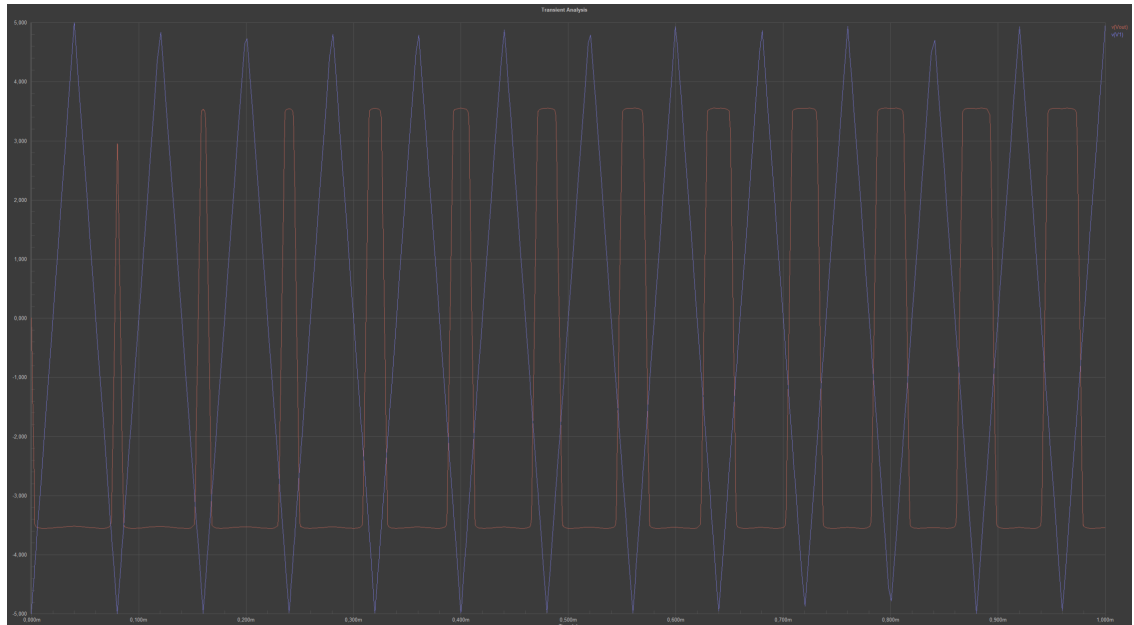


Figure 22: Simulation temporelle du circuit en 3.8. avec signal triangulaire de 12.5 kHz en entrée.

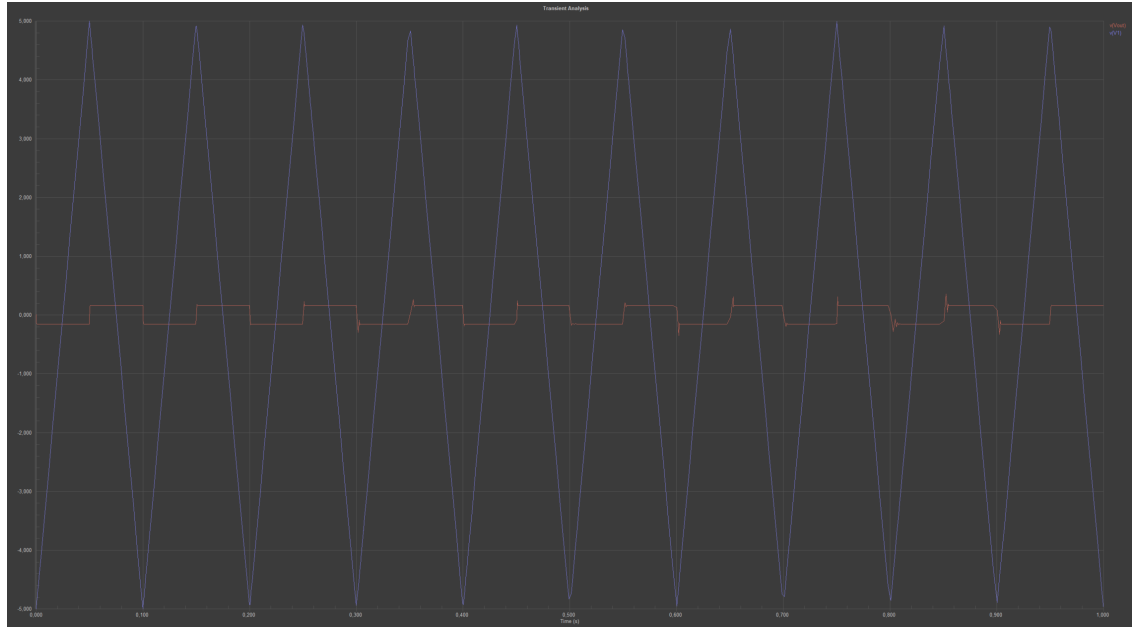


Figure 23: Simulation temporelle du circuit en 3.8. avec signal triangulaire de 10 Hz en entrée.

On observe que le signal à haute fréquence est fortement amplifié. Le gain est toutefois inférieur à celui pour le dérivateur idéal puisque la saturation se fait légèrement moins rapidement. Dans le cas du signal à basse fréquence (10 Hz), ce dernier n'est pas nul contrairement au cas de l'ampli idéal puisque la résistance R_1 ralentit le temps de charge du condensateur ce qui donne lieu à un gain non-nul. Ceci est dû au courant non nul pendant la charge du condensateur.

Semaine 2 – Travaux à effectuer au laboratoire

1. Montage du circuit additionneur

1.1. ...

Amplitude $V_{gen-crête} = 2.5 \text{ V}$

$f_{gen} = 50 \text{ Hz}$

Amplitude $V_{ard} = 5 \text{ V}$

$f_{ard} = 0 \text{ Hz}$

1.2. ...

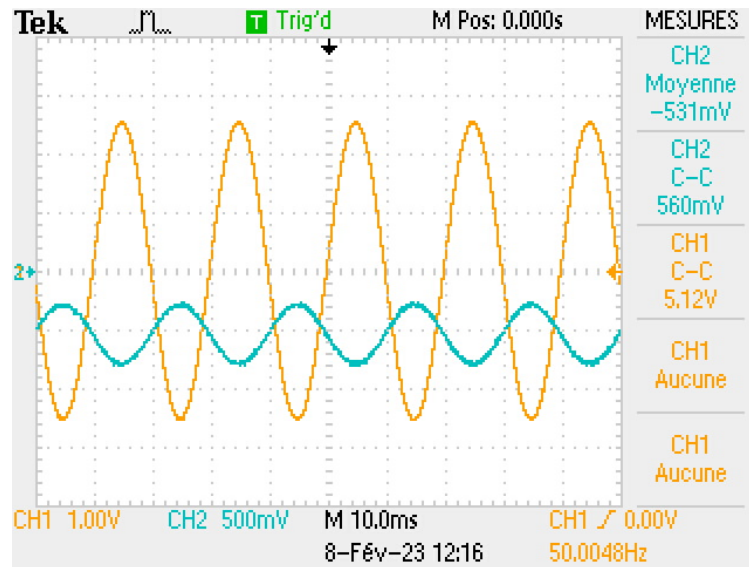


Figure 24: Sources de tension du générateur de signaux(jaune) et de la sortie(bleu) à l'oscilloscope.

Décrivez la tension de sortie du circuit et expliquez ce qui se passe

2. Montage de l'intégrateur

2.1. ...

2.2. ...

Le circuit intègre le signal d'entrée. Toutefois, la valeur moyenne du signal observé augmente dans le temps. Cela se fait à un rythme faible. Toutefois, pour une utilisation la moindrement longue, ceci est fort problématique puisque le signal atteindra évidemment la saturation.

2.3. ...

Si nous disposions d'un ampli-op idéal, ce qui est évidemment impossible, le montage de la figure 5 permettrait d'intégrer parfaitement le signal d'entrée. Malheureusement, ce n'est pas le cas. L'une des imperfections est la présence inévitable d'une tension constante V_{os} de faible amplitude à l'entrée de l'ampli-op. L'analyse par superposition de source du circuit mène à constater que cette faible tension subit elle aussi une intégration ce qui mène la sortie à saturation. La solution la plus simple à cette problématique est l'ajout d'une résistance R_{2a} en parallèle au condensateur. La fonction de transfert $\frac{1}{C_s} // R$ n'a plus un gain infini aux très basse fréquences. Il faut choisir ses composants de sorte à ce que le gain à basse fréquence soit très élevé pour avoir un comportement intégrateur et ainsi intégrer le signal d'entrée, tout en rendant négligeable la contribution de la tension de décalage V_{OS} .

2.4. ...

Résistance $// = 10k$

2.5. ...

Commentez. Tjrs en avance 100Hz $G = 7.28/1.01$ Phase = 2.8ms/10ms, 500Hz $G = 1.68/1.02$ Phase = 520us/2000us, 1kHz $G = 1.02/0.816$ Phase = 260us/1000us, 2kHz $G = 0.416/1.02$ Phase = 128us/500us et 5kHz $G = 0.180/1.02$ Phase = 50us/200us.

2.6. ...

La fréquence de coupure f_{-3dB} est de 144 Hz.

2.7. ...

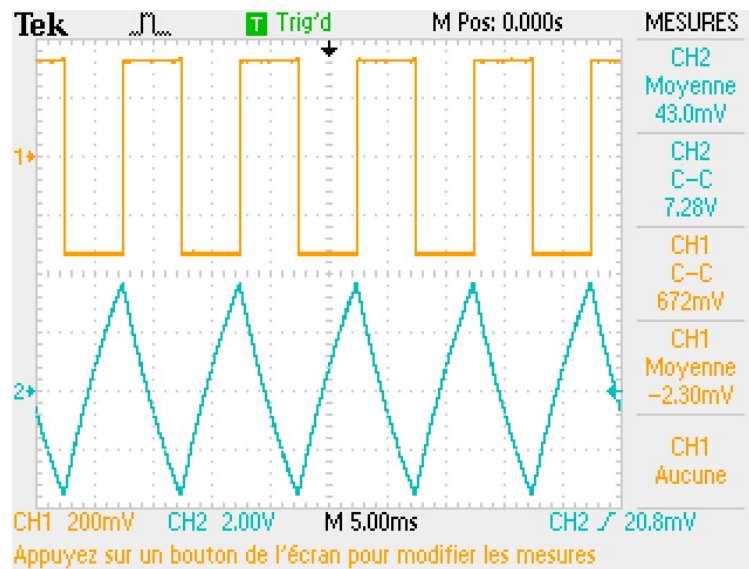


Figure 25: Signal entrant et sortant à l'oscilloscope du montage de l'intégrateur.

commentez dans vos mots le comportement de la sortie

3. Montage du dérivateur

3.1. ...

3.2. ...

Commentez.

3.3. ...

La fréquence de coupure f_{-3dB} est de XX Hz.

3.4. ...

Figure 26: Signal sortant à l'oscilloscope du montage de dérivateur à une fréquence de 100Hz.

Figure 27: Signal sortant à l'oscilloscope du montage de dérivateur à une fréquence de 1.2kHz.

Figure 28: Signal sortant à l'oscilloscope du montage de dérivateur à une fréquence de 5kHz.

Commentez dans vos mots le comportement de la sortie pour l'ensemble des cas.

Questions Post- laboratoire

1. Proposez un montage en boucle fermée pour amplifier un signal délivré par une source dont la résistance de source est de $R_s = 10\text{ k}$? Consigne : visez un gain de 20 et n'utilisez pas de valeur de résistance supérieure à 1 k pour votre montage.
2. Expliquez en quoi consiste un amplificateur dont l'alimentation VDD est unipolaire. Proposez et dessinez un amplificateur dont l'alimentation est unipolaire permettant d'amplifier le signal $() = 2\sin(10) + 5$ avec un gain de 2 sans que celui-ci sature. Donner la forme d'onde d'entrée et de sortie. $V_{DD} = 10\text{ V}$
3. Calculez l'erreur relative maximum sur le gain en boucle fermée d'un amplificateur inverseur dont les valeurs $R_1 = 5\text{ k}$ et $R_2 = 10\text{ k}$, en sachant que la tolérance sur ces résistances est de $\pm 5\%$ des valeurs nominales.
 - (a) Si la valeur attendue est le gain en boucle fermée d'un ampli-op idéal (boucle ouverte infinie) avec les valeurs exactes des résistances et la valeur mesurée est le gain en boucle fermée d'un ampli-op idéal (boucle ouverte infinie) avec les valeurs de résistance considérant les tolérances.
 - (b) Si la valeur attendue est le gain en boucle fermée d'un ampli-op idéal (boucle ouverte infinie) avec les valeurs exactes des résistances et la valeur mesurée est le gain en boucle fermée d'un ampli-op avec un gain en boucle ouverte fini ($A_0 = 1000\text{ V/V}$) avec les valeurs de résistances considérant les tolérances.
4. Justifiez le choix d'un amplificateur non-inverseur vs un amplificateur inverseur pour effectuer un bon couplage AC.
5. Quelle est la raison pour laquelle l'ensemble des simulations sont faites avec une résistance de $50\text{ }\Omega$ en série avec la source de signal?
6. BONUS: Lors du laboratoire, vous avez eu à mesurer avec l'oscilloscope un signal provenant de la source de signal. Pourquoi la valeur obtenue sur l'oscilloscope est-elle de 2 fois la valeur affichée sur le générateur de signal (exemple: vous marquez 2V d'amplitude et 2.5V d'offset sur le générateur de signal et mesurez 4V d'amplitude et 5V d'offset sur l'oscilloscope)?