



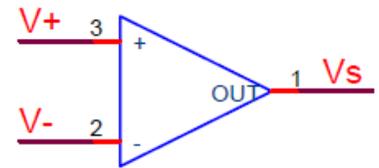
## TP n°1 : Amplificateur opérationnel en régime linéaire

1) **Introduction :** Ce TP a pour objectif d'observer le comportement de l'amplificateur par le biais de ses montages fondamentaux. Donc de découvrir les fonctions qu'il peut réaliser mais aussi ses limites d'utilisation. Et de bien différencier les types de fonctionnements que peut avoir l'amplificateur, la réaction et la contre-réaction. Pour cela quelques notions théoriques sont nécessaires :

Schéma d'un amplificateur opérationnel idéal

Soit les caractéristiques suivantes :  $i_+ = i_- = 0A$  car l'amplificateur possède une impédance d'entrée infinie.

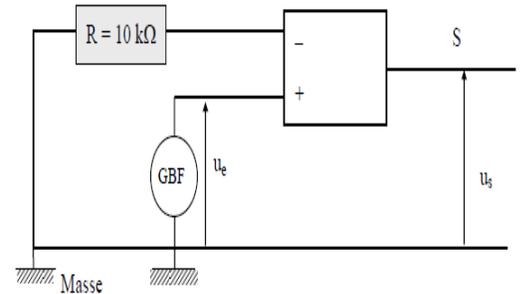
Et si il fonctionne en régime linéaire alors nous pouvons dire que  $V_+ = V_-$



## 2) Montages fondamentaux

### a) Montage comparateur

- Brancher le câble relié à **CH1** de l'oscilloscope aux bornes du GBF pour visualiser  $u_e(t)$
- Brancher le câble relié à **CH2** de l'oscilloscope à la sortie de l'amplificateur opérationnel pour visualiser  $u_s(t)$
- Allumer le GBF
- Sélectionner une **tension sinusoïdale de fréquence:  $f = 1\ 000\ Hz$**  et d'amplitude maximale :  $U_{em} = 1\ V$
- **Identifier** les 2 tensions observées sur l'oscilloscope.
- Tracer l'oscillogramme :  $u_e(t)$  et  $u_s(t)$ . Bien noter les valeurs maximales de  $u_e$  et de  $u_s$ , ainsi que la période  $T$  du signal.



$u_e(t) > 0$ entre 0 et $T/2$	$u_e(t) < 0$ entre $T/2$ et $T$
$\varepsilon > 0$	$\varepsilon < 0$
$u_s(t) = \dots\dots\dots$ entre 0 et $T/2$	$u_s(t) = \dots\dots\dots$ entre $T/2$ et $T$

On observe une tension en forme de **créneaux** pour  $u_s(t)$ . Pourquoi ?

- Entre la sortie S et la masse, on place 2 diodes électroluminescentes verte et rouge montées en opposition. Qu'observe-t-on si la fréquence du GBF est :

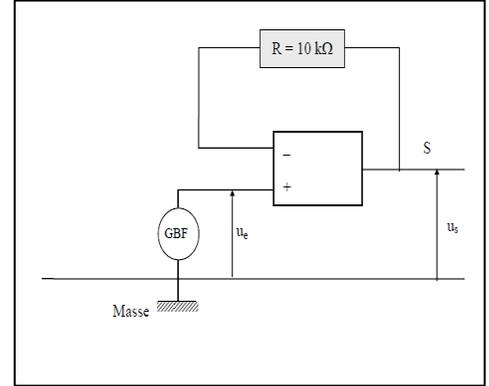
$f = 1000\ Hz$	$f = 50\ Hz$	$f = 20\ Hz$	$f = 5\ Hz$

Quelle est la fréquence de la tension délivrée par EDF ?

**Persistence rétinienne** : l'œil ne peut distinguer 2 images successives si elles apparaissent plus de 16 à 18 fois par seconde. Dans le cas du cinéma, c'est la succession de 24 images par seconde qui donne l'illusion d'un mouvement continu.

**b) Montage suiveur**

- Supprimer les 2 diodes mises à la sortie de l'amplificateur opérationnel.
  - Débrancher la résistance :  $R = 10\text{ k}\Omega$  de la masse et la relier à la sortie S de l'amplificateur opérationnel
  - Sélectionner une **tension sinusoïdale de fréquence** :  $f = 1\ 000\text{ Hz}$  **et d'amplitude maximale** :  $U_{em} = 1\text{ V}$
- Qu'observe-t-on si la fréquence du GBF est :

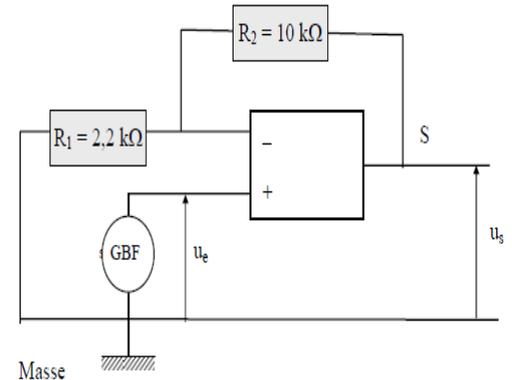


f = 1000 Hz	f = 50 Hz	f = 20 Hz	f = 5 Hz

Les diodes s'allument-elles aussi longtemps à la fréquence de 5 Hz que dans le montage précédent ?  
Comment peut-on l'expliquer ?

**c) Montage amplificateur non inverseur**

- Enlever les 2 diodes mises à la sortie de l'amplificateur opérationnel.
- Rajouter la résistance :  $R_1 = 2,2\text{ k}\Omega$  entre l'entrée (-) de l'amplificateur opérationnel et la masse.
  - Sélectionner sur le GBF une **tension sinusoïdale** ; régler la **fréquence** :  $f = 1\ 000\text{ Hz}$  **et l'amplitude du signal** :  $U_{em} = 1\text{ V}$
  - **Identifier** les 2 tensions observées sur l'oscilloscope
  - Tracer les courbes:  $u_e(t)$  et  $u_s(t)$ . Bien noter les valeurs maximales de  $u_e$  et de  $u_s$ , ainsi que la période  $T$  du signal.



**1) Amplification et limite de linéarité : variation de la tension d'entrée**

- Faire varier la valeur efficace de  $U_e$  et relever les valeurs de  $U_s$  correspondantes, avec 2 voltmètres numériques, l'un branché aux bornes du GBF, l'autre branché à la sortie de l'amplificateur opérationnel. Noter ces branchements sur le schéma électrique.

$U_e$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$U_s$										

Tracer :  $U_s = f(U_e)$

- Quelle est la valeur maximale de  $U_e$  qui permet un **fonctionnement linéaire de l'amplificateur** : si la tension d'entrée est une sinusoïde, la tension de sortie est également une sinusoïde qui ne doit pas être **écrêtée** ?
- Quelle est l'amplification du montage :  $A = U_s / U_e$
- Vérifie-t-on que :  $A = \frac{U_s}{U_e} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$
- Comparer **théorie et pratique**.

**2) Amplification et limite de linéarité : variation de la résistance R2**

- Brancher un voltmètre numérique aux bornes du GBF. Fixer la valeur efficace de la tension d'entrée :  $U_e = 1\text{ V}$
- Relever la valeur efficace de la tension de sortie  $U_s$  avec un autre voltmètre numérique.
- Changer la valeur de  $R_2$  et remplir ce tableau.

R <sub>2</sub>	1 kΩ	2,2 kΩ	4,7 kΩ	6,9 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	14,7 kΩ	22 kΩ	32 kΩ	47 kΩ
U <sub>s</sub>										

• Pour fabriquer une résistance de 6,9 kΩ, on associe 2 résistances de 2,2 kΩ et de 4,7 kΩ en série.

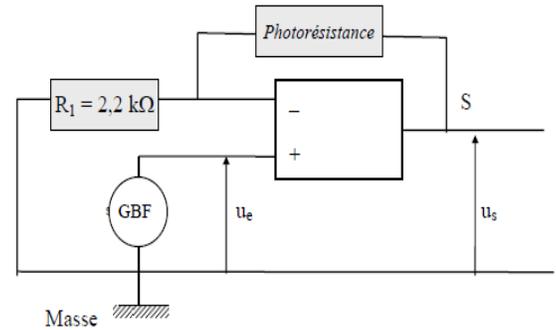
$$U_s = U_e \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

- Tracer :  $U_s = f(R_2)$ . Vérifie-t-on :
- Sur le graphe, déterminer la valeur maximale R<sub>2</sub> qui permet un *fonctionnement linéaire de l'amplificateur*.

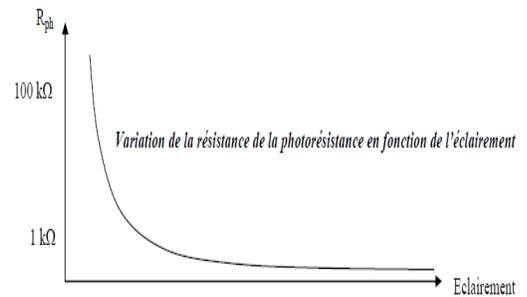
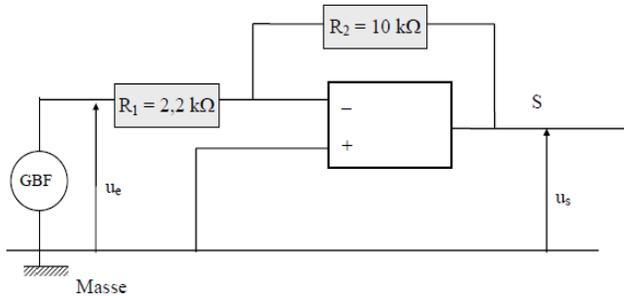
### 3) Application du montage non inverseur

La résistance R<sub>2</sub> est remplacée par une photorésistance.

- A la sortie de l'amplificateur, brancher une diode électroluminescente.
- Diminuer l'éclairement de la photorésistance en plaçant un doigt dessus.
- Qu'observe-t-on ? Pourquoi ?
- Donner une application pratique de ce montage.



### d) Montage amplificateur inverseur



• Sélectionner sur le GBF une *tension sinusoïdale* ; régler la *fréquence* :  $f = 1\ 000\ \text{Hz}$  et l'*amplitude du signal* :  $U_{em} = 1\ \text{V}$

- **Identifier** les 2 tensions observées sur l'oscilloscope
- Tracer les courbes:  $u_e(t)$  et  $u_s(t)$ . Bien noter les valeurs maximales de  $u_e$  et de  $u_s$ , ainsi que la période  $T$  du signal.
- Pourquoi le montage porte-t-il un tel nom ?

#### 1) Amplification et limite de linéarité : variation de la tension d'entrée

• Faire varier la valeur efficace de  $U_e$  et relever les valeurs de  $U_s$  correspondantes, avec 2 voltmètres numériques, l'un branché aux bornes du GBF, l'autre branché à la sortie de l'amplificateur opérationnel. Noter ces branchements sur le schéma électrique.

U <sub>e</sub>	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
U <sub>s</sub>										

- Tracer :  $U_s = f(U_e)$
- Quelle valeur maximale de  $U_e$  permet un *fonctionnement linéaire de l'amplificateur* : si la tension d'entrée est une sinusoïde, la tension de sortie est également une sinusoïde qui ne doit pas être *écrêtée* ?
- Quelle est l'amplification du montage :  $A = U_s / U_e$  ?
- Vérifie-t-on que :  $A = U_s / U_e = -R_2 / R_1$
- Comparer *théorie et pratique*.

#### 2) et 3) Mêmes questions que pour le montage précédent

## TP n°2 : Amplificateur opérationnel en régime non linéaire

Le but de ce TP d'électronique non linéaire est de montrer comment l'utilisation d'un amplificateur opérationnel en régime saturé permet de créer des signaux.

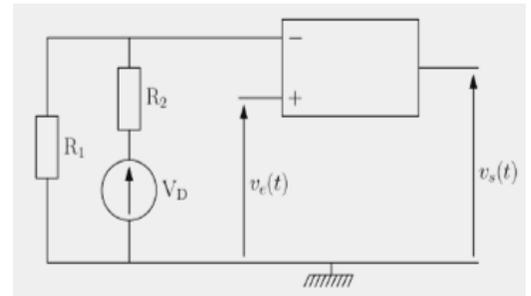
Objectifs :

- Étudier quelques montages à A.O. en régime non linéaire.
- Utiliser le régime non linéaire de l'AO, pour la génération de signaux.

### I. Comparateur simple

#### A. Étude théorique

- Déterminer l'expression de  $V^-$ .
- Définir le seuil de basculement et tracer la caractéristique entrée-sortie  $v_s = f(v_e)$ .
- Tracer l'allure de  $v_s$  en fonction du temps si  $v_e$  est une tension sinusoïdale.



#### B. Étude expérimentale

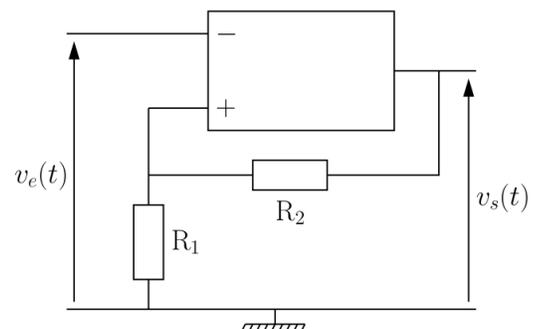
- Choisir  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $V_D = -15 \text{ V}$ ,  $v_e(t)$  : tension sinusoïdale de fréquence 100 Hz.
- Observer les signaux d'entrée et de sortie en mode bi-courbe puis visualiser la caractéristique entrée-sortie en mode X-Y.
- Mesurer le seuil de basculement, comparer théorie et expérience.
- Revenir en mode bi-courbe : qu'observe-t-on si on diminue l'amplitude de  $v_e(t)$  ?
- Expliquer.
- On augmente maintenant la fréquence d'entrée à 1 kHz. En mode bi-courbe, observer les signaux d'entrée et de sortie. Quelle limitation de l'A.O. met-on en évidence ? Faire une mesure.

### II. Comparateur inverseur à hystérésis

On considère le montage de la figure suivante :

#### A. Étude théorique

- Quelles sont les valeurs que peut prendre la tension  $V_s$  et la tension  $V^+$  ?
- Définir les seuils de basculement du montage et tracer la caractéristique entrée-sortie  $v_s = f(v_e)$ .
- Tracer l'allure de  $v_s$  en fonction du temps si  $v_e$  est une tension sinusoïdale.

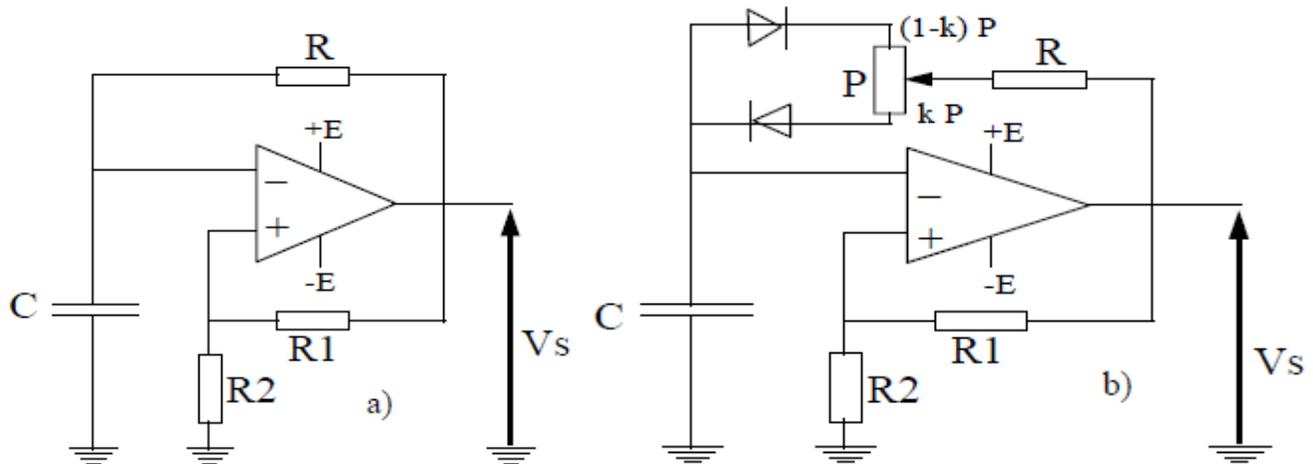


### B. Étude expérimentale

- Choisir  $R_1 = 6,8 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $v_e(t)$  : tension sinusoïdale de fréquence 100 Hz.
- Observer les signaux d'entrée et de sortie en mode bi-courbe.
- Mesurer les seuils de basculement, comparer théorie et expérience.
- Visualiser la caractéristique entrée-sortie en mode X-Y et diminuer la fréquence jusqu'à pouvoir observer le sens de parcours du cycle d'hystérésis.
- Représenter cette caractéristique.
- Revenir en mode bi-courbe : qu'observe-t-on si on augmente la fréquence de  $v_e(t)$  ? Si on diminue l'amplitude de  $v_e(t)$  ? Expliquer.

### III. Multivibrateur astable

Câblez le montage présenté sur la figure 8a. Utilisez une capacité de 100 nF et choisissez les autres composants de manière à obtenir une fréquence d'oscillation la plus proche possible de 1 kHz.



**Figure 8 : a) montage multivibrateur astable b) modification pour pouvoir contrôler le rapport cyclique**

- Comparez la valeur de la fréquence obtenue expérimentalement à la valeur théorique attendue au vu des composants utilisés (un calcul d'incertitudes sera nécessaire pour vérifier si les résultats obtenus sont cohérents avec la théorie).
- Ajoutez les composants nécessaires pour obtenir le montage 8b. Vérifiez et quantifiez l'influence du facteur  $k$  sur le rapport cyclique des impulsions de sortie.

## TP n°3 :

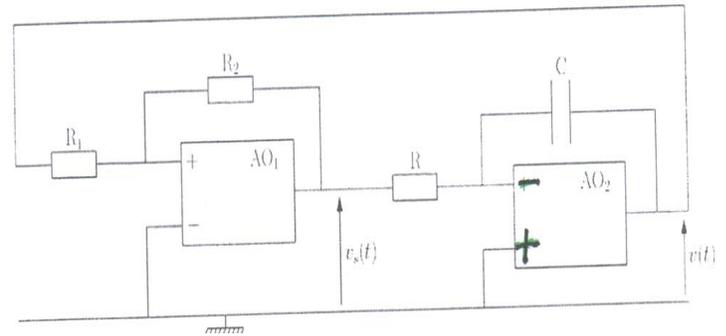
### Générateur de signaux triangulaires et créneaux

On considère le montage suivant, permettant de générer des signaux triangulaires et créneaux.

#### A. Etude théorique

Ce montage est constitué de deux blocs connus :

$\{AO_1, R_1, R_2\}$  et  $\{AO_2, R, C\}$ .



- Identifier la fonction de ces deux blocs.
- Pour le bloc 1 : donner l'expression de la tension  $V^+(t)$ , puis de  $v_1(t)$  en fonction de  $v(t)$  et de  $v_s(t)$ .
- Pour le bloc 2 : donner la fonction de transfert du montage, et en déduire l'expression de la tension  $v(t)$  en fonction de la tension  $v_s(t)$  et des éléments du montage.
- En supposant la capacité initialement déchargée, et la tension  $v_s(t) = +V_{sat}$ , donner l'expression de la tension  $v(t)$ .
- En déduire l'expression de la tension  $v_1(t)$  du bloc 1.
- Représenter sur 3 graphes différents les tensions :  $v_s(t)$ ,  $v(t)$  et  $v_1(t)$
- A quel instant  $t_1$  la tension  $v_1(t)$  s'annule-t-elle ? Que devient la tension  $v_s(t)$  après cet instant ? Quelle est la valeur de  $v(t)$  à cet instant  $t_1$  ?
- Compléter les graphes précédents, pour  $t > t_1$ .
- Montrer alors que  $v_s(t)$  et  $v(t)$  ont pour période :  $T = 4\beta RC$  et  $\beta = R_1/R_2$  et que  $v(t)$  a pour amplitude :  $V_m = \beta \cdot V_{sat}$ .

#### B. Etude expérimentale

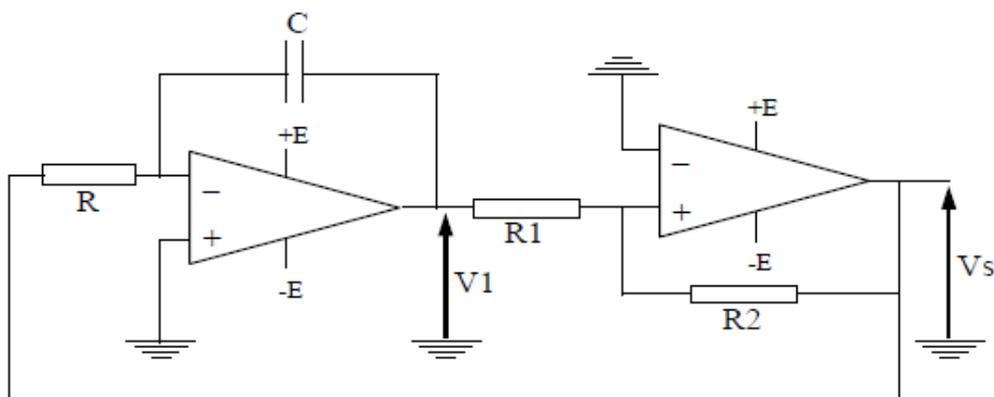
Choisir  $R_1 = 6,8 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R = 47 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 100 \text{ nF}$ .

- Observer  $v_s(t)$  et  $v(t)$  en mode bi-courbe.
- Comparer théorie et expérience. Calculer l'erreur relative sur la fréquence des signaux obtenus.
- Remplacer  $R$  par une boîte de résistances variables. Tracer  $T = f(R)$ . La loi théorique reliant  $T$  et  $R$  est-elle bien vérifiée ?
- Remplacer  $C$  par une boîte de capacités variables. Tracer  $T = f(C)$ . La loi théorique reliant  $T$  et  $C$  est-elle bien vérifiée ?
- Comment pourrait-on faire varier l'amplitude du signal triangulaire ?

## TP n°4 :

### Générateur de fonctions

A. Câblez le générateur de fonction (figure 10). Les résistances  $R_1$  et  $R_2$  seront choisies de façon à obtenir une fréquence de fonctionnement la plus proche possible de 1 kHz.



**Figure 10 : générateur de fonctions**

- Vérifiez le bon fonctionnement du circuit et relevez les chronogrammes des sorties  $V_1$  et  $V_S$ .
- Comparez la fréquence d'oscillation à celle prévue théoriquement.
- Estimez la consommation du circuit à vide (pas de courant de sortie).

### B. CIRCUIT OSCILLATEUR

Soient les deux montages suivants à réaliser :

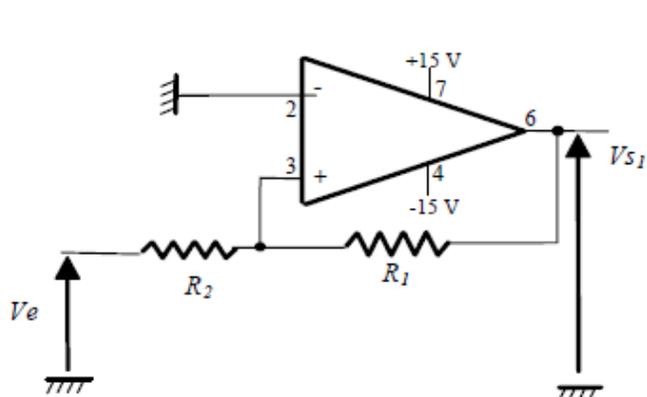


Figure 12 : Montage 1

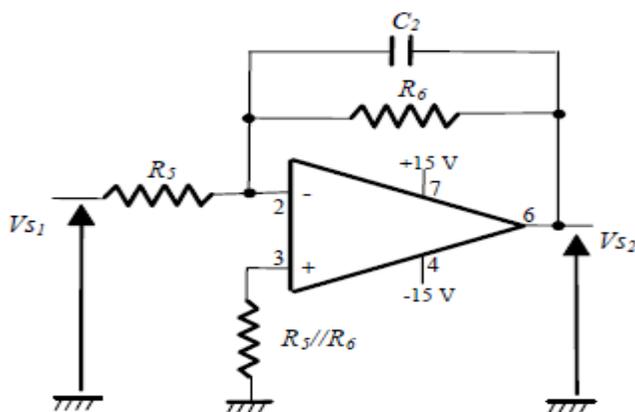


Figure 13 : Montage 2

Avec  $R_1 = 10k\Omega$  et  $R_2 = 1k\Omega$ ,  $R_5 = 1k\Omega$  + potentiomètre de  $47k\Omega$ ,  $R_6 = 100k\Omega$  et  $C_2 = 1\mu F$ .

1. Quelle est la fonction du montage 1 ? Quelle est celle du montage 2 ?

On connecte la sortie du montage 1 à l'entrée du montage 2. On connecte la sortie du montage 2 à l'entrée du montage 1.

2. En supposant que la résistance  $R_6$  est infinie, donner les valeurs extrêmes de  $V_{S2}$  et calculer la période des signaux obtenus. Quelles sont les valeurs des pentes de variation  $V_{S2}$  ?

3. **Relier les deux maquettes de la manière décrite précédemment.** Régler le potentiomètre à  $10k\Omega$ . Relever les signaux  $V_{s2}$  et  $V_{s1}$ . Mesurer la période. Mesurer les amplitudes des signaux. Comparer avec les valeurs théoriques.
4. **Enlever la résistance  $R_6$ .** Que se passe-t-il ? Pourquoi ? Comparer au comportement du montage intégrateur seul.
5. **Si  $R_5 = 1k\Omega$ , que se passe-t-il ?** Relever les signaux et expliquer.

### C. FILTRE ACTIF

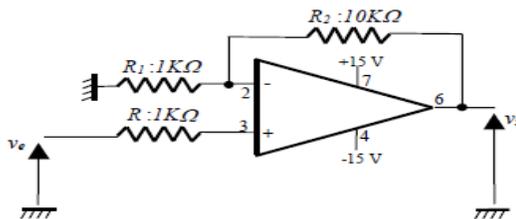


Figure 5. Montage non inverseur

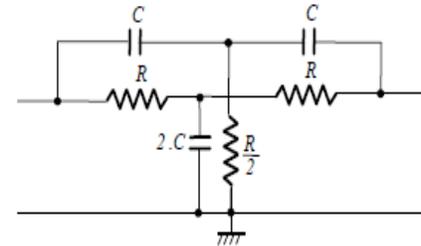


Figure 6 : Filtre "double T"

**P 1. On considère le filtre réjecteur de la figure 6.**

Donner le schéma équivalent en basses fréquences ainsi que le schéma équivalent en hautes fréquences. Quel est le gain dans chacun des cas ?

**P 2. Calculer  $f_0$  :**  $f_0 = 1/2 \cdot \Pi R C$  avec les valeurs :  $C = 100nF$  et  $R = 33k\Omega$ .

**M1. Relier en cascade le filtre réjecteur de fréquence « double T » (figure 6) et l'amplificateur non inverseur (figure 5,  $R_2 = 10 k\Omega$ ).** Dessiner le schéma complet de votre montage.

**M2. Repérer la fréquence pour laquelle le gain est minimal.** Quelle est cette fréquence ? Quelle est la valeur minimale du gain ?

**M3. A partir des mesures précédentes, déduire les échelles du lieu de Bode.**

Relever le gain  $A_v(f)$  de ce filtre actif ainsi réalisé (sur une nouvelle feuille) pour des fréquences variant de 1Hz à 10MHz. Pour cela il est conseillé de suivre la méthode suivante :

1. Pour chaque décade, relever trois points de mesure (également répartis sur une échelle logarithmique) : par exemple 1kHz, 2kHz et 5kHz.
2. Compléter les mesures dans les zones de variation rapide du gain.

**M4. Modifier le montage en remplaçant l'amplificateur non inverseur par l'amplificateur inverseur ( $R_2 = 10 k\Omega$ ) en tenant compte de l'influence de la faible impédance d'entrée du montage inverseur.**

Dessiner le schéma complet du montage et relever  $A_v(f)$  sur la même feuille. Commenter la courbe de gain ainsi obtenue ; et justifier brièvement et correctement les différentes zones de la courbe de gain.

**M5. Sur les courbes relevées, indiquer les fréquences de coupure - 3 dB, les fréquences de résonance  $f_0$  et l'atténuation à ces fréquences :  $A_v(f)$ .**