

## AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL “IDÉAL” EN MODE LINÉAIRE - TP2

### 1. Rappels

- L'amplificateur opérationnel (A.O.) “idéal” est caractérisé par :
  - ◊ des courants d'entrée, ou “courants de polarisation”,  $I_+$  et  $I_-$  nuls (résistances d'entrée infinies) ;
  - ◊ une différence de potentiel entre les deux entrées  $\varepsilon = V_+ - V_-$  nulle en mode linéaire ;
  - ◊ une tension de sortie  $V_s = \pm V_{sat} \approx \pm A$  (tension d'alimentation) en mode “saturé” ;
  - ◊ une résistance de sortie nulle (générateur de tension parfait) en mode linéaire.

☞ remarque : l'alimentation de l'A.O. (tensions  $\pm A$ , usuellement  $\pm 15$  V) n'est généralement pas représentée sur les schémas, il faut pourtant ne pas oublier de la brancher.

☞ remarque : il peut être souhaitable de commencer par utiliser un montage suiveur de tension pour vérifier le réglage du zéro des entrées de l'A.O..

### 2. Montage “sommateur (inverseur)”

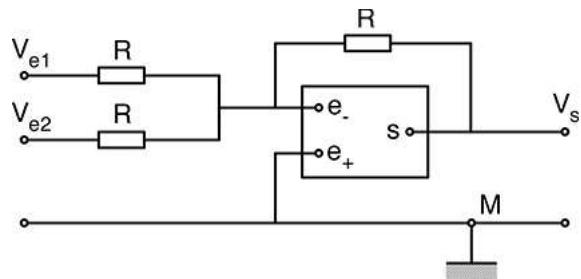
#### 2.1. Montage avec signaux continus ou variables

- Réaliser le montage ci-contre, alimenté en signaux continus.

◊ remarque : il est en général préférable d'utiliser des résistances entre  $1\text{ k}\Omega$  et  $100\text{ k}\Omega$  ; justifier pourquoi.

- Pour plusieurs valeurs algébriques de  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$  (et si possible pour plusieurs valeurs de  $R$ ) vérifier expérimentalement la relation :  $V_s = -(V_{e1} + V_{e2})$ .

Démontrer cette relation à partir des caractéristiques de l'A.O..



◊ remarque : pour propager dans l'expression théorique les incertitudes expérimentales, on doit calculer l'expression de  $V_s$  avec trois résistances quelconques et simplifier seulement ensuite pour trois résistances égales, compte tenu de la précision expérimentale avec laquelle cette égalité est vérifiée.

- Vérifier expérimentalement le fonctionnement avec signaux variables, c'est-à-dire : vérifier que  $\forall t$  on observe  $v_s(t) = -[v_{e1}(t) + v_{e2}(t)]$  à l'aide de l'oscilloscope à mémoire et de l'ordinateur (la mesure des valeurs efficaces avec un voltmètre est sans intérêt car elles ne sont représentatives ni du signe, ni de la phase, ni de la forme des signaux).

◊ remarque : pour faciliter les réglages, ajuster l'un des signaux sur une fréquence multiple (par exemple octuple) de celle de l'autre signal (et utiliser des signaux de formes différentes).

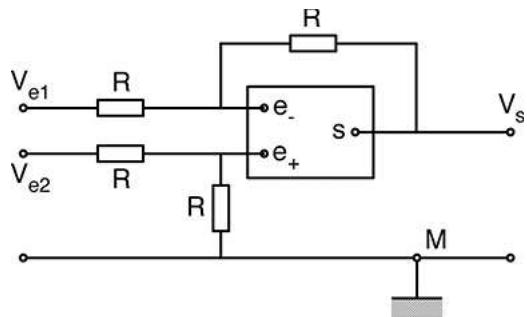
☞ remarque : l'oscilloscope ne peut pas enregistrer trois signaux ; si on enregistre  $v_{e1}$  et  $v_{e2}$ , puis qu'on enregistre  $v_s$ , alors le déphasage des deux entrées sera différent dans leurs mesures séparées et dans leur somme ; il faut donc mesurer d'abord  $v_{e1}$  et  $v_s$ , puis enregistrer  $v_{e2}$ , puis vérifier que par différence on retrouve un signal  $v_s + v_{e1}$  de même forme et de même amplitude que  $v_{e2}$  (mais forcément déphasé).

◊ remarque : de même que pour le montage amplificateur inverseur, on peut ajouter ici des suiveurs de tension avant les entrées pour rendre leurs résistances quasi-infinies.

## 2.2. Variante : montage “soustracteur”

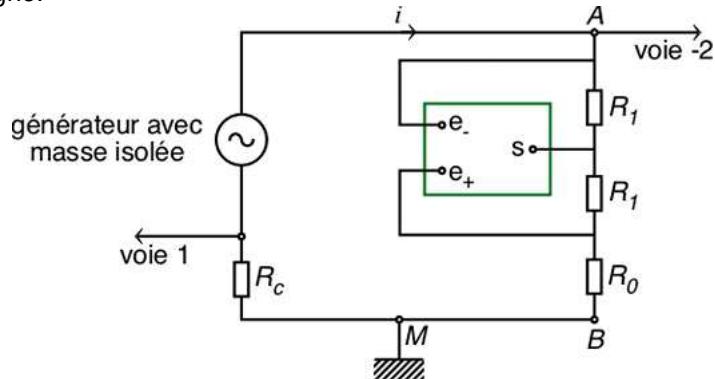
- Réaliser le montage ci-contre.
- De même que dans la partie précédente, vérifier expérimentalement (si possible pour plusieurs valeurs de  $R$ ) la relation :  $V_s = V_{e2} - V_{e1}$ .

Démontrer cette relation à partir des propriétés caractéristiques de l'A.O..



## 3. Montage “résistance négative”

- Pour observer directement la caractéristique sur l'oscilloscope, en mode “XY”, on peut réaliser le montage suivant, alimenté en tension variable par un générateur avec masse isolée (pour ne pas court-circuiter  $R_c$  par la prise de terre). Il faut en outre “inverser” le signal sur la voie 2 (voie -2) pour ramener les deux signaux à la même convention de signe.

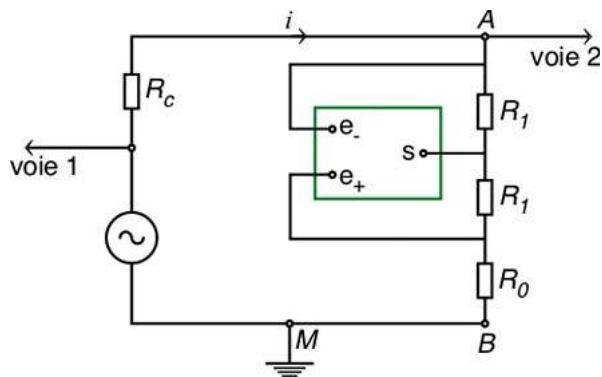


◊ remarque : on peut utiliser par exemple :  $R_1 \approx 10 \text{ k}\Omega$  ;  $R_0 \approx R_c \approx 1 \text{ k}\Omega$  .

En pratique toutefois, ce montage est limité :

- ◊ à cause de la “masse flottante”, les signaux mesurés sont plus ou moins perturbés par des parasites radio (en particulier à 50 Hz à cause du réseau d'alimentation électrique) ;
- ◊ on ne peut pas utiliser  $R_c < R_0$  sinon la portion linéaire de la caractéristique ( $u_{AB} = -R_0 i$ ) n'est pas observable : le tracé comporte un cycle (retour différent de l'aller, de part et d'autre du tracé souhaité) ;
- ◊ on ne peut pas utiliser  $R_c > R_0$  sinon, à cause des défauts de l'A.O. réel (non idéal), la portion linéaire est perturbée par les parasites : le tracé comporte plusieurs tracés légèrement décalés dont l'allure d'ensemble n'est pas mieux qu'un “léger effet de cycle” suffisamment étroit.

- Avec un oscilloscope à mémoire (ou autre dispositif de mesure) relié à un ordinateur, on doit préférer le montage suivant (ou une variante équivalente), nettement moins sensible aux parasites.



L'inconvénient est qu'en général on ne voit pas directement la caractéristique sur l'écran : il faut en effet calculer  $i = \frac{u_{R_C}}{R_C} = \frac{u_1 - u_2}{R_C}$  et c'est moins pratique pour les réglages (si c'est mal ajusté, il peut être nécessaire de remesurer, de recalculer, etc...).

Si on dispose par contre d'un oscilloscope capable d'effectuer des calculs simples (ou d'un logiciel effectuant des calculs en même temps que les mesures), l'augmentation des incertitudes sur  $i$  dues au calcul par différence est nettement compensée par l'élimination des parasites.

Sinon on peut aussi intercaler en sortie un montage soustracteur pour effectuer le calcul électroniquement.

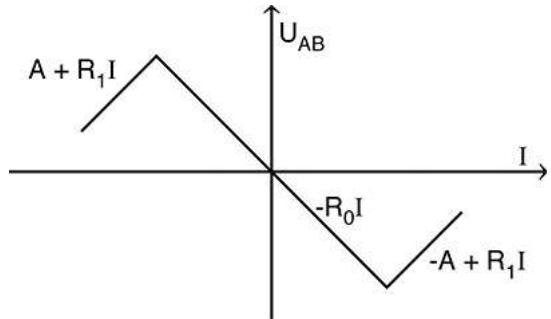
- Vérifier expérimentalement (pour plusieurs valeurs de  $R_1$  et  $R_0 < R_1$ ) la relation :  $U_{AB} = -R_0 I$  ; on peut aussi effectuer quelques mesures plus précises en régime continu.

Démontrer cette relation à partir des caractéristiques de l'A.O. (la tension de sortie  $V_s$  s'adapte automatiquement, tant qu'il n'y a pas saturation, pour maintenir entre  $A$  et  $B$  une tension proportionnelle au courant  $I$ ).

- Vérifier expérimentalement l'effet de la saturation en tension de sortie, donnant des portions de caractéristique de la forme :  $U_{AB} \approx \pm A + R_1 I$ .

◊ remarque : compte tenu de la résistance de sortie non nulle en mode saturé ( $\rho \approx 350 \Omega$ ), on obtient :

$$U_{AB} \approx \pm A \frac{R_0 + R_1}{\rho + R_0 + R_1} + \left( R_1 + \frac{\rho \cdot (R_0 + R_1)}{\rho + R_0 + R_1} \right) I.$$



## AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL “IDÉAL” EN MODE LINÉAIRE - TP2

### Matériel

#### Pour chaque groupe (10 groupes)

1 oscilloscope  
1 plaque pour montages  
2 A.O. avec alimentation  
2 générateurs BF  
1 fréquencemètre (si le GBF n'en a pas)  
2 contrôleurs électroniques  
1 boîte de résistors  $\times 1$  à  $\times 1000 \Omega$

12 fils (des longs et **des courts**)  
un raccord BNC “en T”  
un raccord isolateur de masse  
2 câbles coaxiaux (BNC/fiches 4 mm )  
2 câbles coaxiaux (BNC/BNC)

### Au bureau

lot de résistors  $\approx 1$  à  $100 \text{ k}\Omega$   
prolongateurs fiches 4 mm  
adaptateurs BNC/fiches 4 mm