

- Bibliographie :
- [1] – R. Duffait, *Capes de sciences physiques*, Bréal, 1992
 - [2] – D. Aubert, *Électronique, tome 3 dictionnaire de physique expérimentale*, Pierron, 1992
 - [3] – J. Berty..., *Électricité pratique tome 2*, Vuibert, 1986
 - [4] – J.M. Donnini..., *Introduction à l'électronique (chapitre 7)*, Masson, 1998
 - [5] – Ouvrages du secondaire, TF2,...

⇒ Afin de pouvoir montrer quelques défauts des montages étudiés, on utilisera un ampli-op type « 741 » moins performant que le TL081. *Les régimes linéaires supposent que la tension de sortie reste proportionnelle à la tension d'entrée ; en particulier si v_e est sinusoïdale, v_s doit l'être aussi, les tension et courant de sortie doivent respecter les limitations $|v_s| < V_{sat}$ et $|i_s| < i_{sat}$.*

Nous verrons l'influence de ces limitations dans les différents montages étudiés. Les régimes linéaires supposent que la tension de sortie reste proportionnelle à la tension d'entrée ; en particulier si v_e est sinusoïdale, v_s doit l'être aussi.

1 MONTAGE AMPLIFICATEUR NON INVERSEUR

On réalise le montage de la figure 1 et on utilisera successivement $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 5 \text{ k}\Omega ; 10 \text{ k}\Omega ; 50 \text{ k}\Omega$. On applique une tension sinusoïdale v_e et on observe la tension de sortie v_s à l'aide de l'oscilloscope

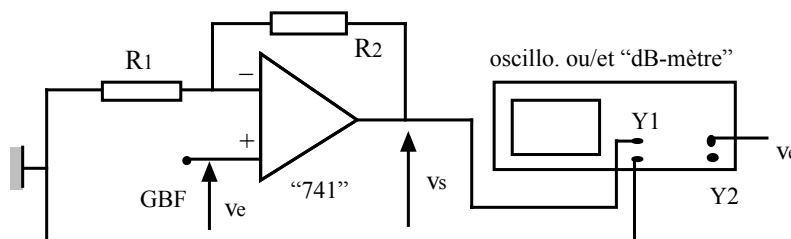


Figure 1

1.1 Observations préalables : conditions de fonctionnement linéaire

- Régler le GBF à une fréquence d'une centaine de hertz et observer v_s . *Noter que si l'amplitude de v_e est trop élevée, v_s n'est plus sinusoïdale mais écourtée (saturation en tension puisqu'on a nécessairement $|v_s| < E_{sat}$).* On utilisera pour la suite une tension d'entrée telle que v_s soit sinusoïdal.
- On augmente la fréquence à partir de la situation précédente, noter que v_s devient triangulaire pour des fréquences trop élevées : le montage ne fonctionne plus en régime linéaire (slew rate ou temps de balayage). En effet l'AO délivre une tension de sortie telle que $\left| \frac{dv_s}{dt} \right| < \alpha$ où α est une grandeur qui dépend de l'AO. En régime sinusoïdal, d'amplitude V_m cela se traduit par $V_m \omega < \alpha$: en diminuant l'amplitude v_s redevient sinusoïdal.

1.2 Amplification et produit gain bande passante

On va étudier le coefficient d'amplification $A_v = \frac{v_s}{v_e}$ pour diverses fréquences.

⇒ Avant toute mesure, faire varier la fréquence de v_e et **vérifier que v_s reste bien sinusoïdale, sinon diminuer v_e jusqu'à ce que cela soit le cas dans toute le domaine des fréquences que l'on utilisera (cf 1.1).**

Amplification dans la bande passante

Fixer la fréquence à une centaine de hertz puis en prenant diverses valeurs de R_2 vérifier que : $A_{v0} = \frac{v_s}{v_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$. Cette amplification A_{v0} reste constante tant que les fréquences sont suffisamment faibles : c'est l'amplification dans la bande passante (voir plus bas).

⇒ Vérifier que la tension de sortie est en phase avec la tension d'entrée (non inverseur)

Produit gain-bande passante :

- Pour une valeur donnée de R_2 augmenter la fréquence (v_s reste sinusoïdale cf 1.1) . Noter que A_v diminue et que v_s est déphasée par rapport à v_e . Chercher la fréquence de coupure f_c pour laquelle $A_v(f_c) = \frac{A_{v0}}{\sqrt{2}}$ (pour cela on peut régler l'oscilloscope de façon que v_s occupe 7 carreaux sur l'oscilloscope en basse fréquence et on augmente f jusqu'à ce que v_s occupe 5 carreaux : $\frac{5}{7} \cong \frac{1}{\sqrt{2}}$; on peut aussi utiliser un dBmètre : pour f_c le gain diminue de 3dB ; avec l'oscillo Agilent utiliser les mesures automatiques, par exemple $v_s=14.1V$ en BF, puis augmenter la fréquence, lorsque $v_s=10V$, on a la fréquence de coupure à 3dB)
- On pourra tracer éventuellement un graphe donnant $G_{dB} = 20 \log_{10}(A_v)$. Pente -20 dB/décade ; filtre passe bas d'ordre 1.
- Prendre une autre valeur de R_2 , déterminer la nouvelle valeur de A'_{v0} et celle de la nouvelle fréquence de coupure f'_c . Vérifier que $A'_{v0} \cdot f'_c = A_{v0} \cdot f_c$ reste constant : c'est une grandeur caractéristique de l'AO (**produit gain-bande passante**).

Impédance d'entrée

Placer une résistance de $R_1=50k\Omega$ en série avec le GBF et noter que la tension de sortie ne chute pas. Cela montre que l'impédance d'entrée de l'amplificateur est bien supérieure à R_1 (en effet avec la résistance R_1 en série la tension d'entrée est inchangée puisqu'elle vaut $\frac{R_e}{R_e + R_1 + R_{GBF}} E \cong E$ si $R_e \gg R_1$ et R_{GBF} avec R_e impédance d'entrée de l'amplificateur, R_{GBF} l'impédance interne du générateur et E la fem du générateur). En fait l'impédance d'entrée du montage est comprise entre le $M\Omega$ et plusieurs centaines de $M\Omega$ suivant l'AO utilisé.

Cas du suiveur

- Lorsque $R_1 \rightarrow \infty$ et $R_2 = 0$ on a $G = 1$, le montage est dit « suiveur » : $v_s=v_e$, ce montage qui est un non inverseur particulier a la propriété d'avoir une très grande impédance d'entrée. Pour illustrer cela on peut réaliser le montage de la figure 2.

Pour deux résistances R_3 très différentes (par exemple 100Ω et $10 k\Omega$) comparer V sans le suiveur (figure a) ; puis avec le suiveur comparer v_e et v_s (figure b). Conclure que l'impédance d'entrée du suiveur est très grande devant celle du GBF (50Ω).

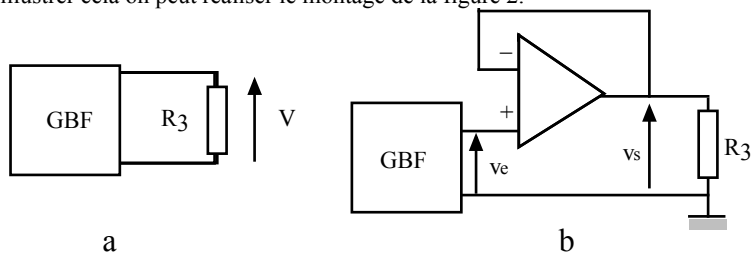


Figure 2

2 MONTAGE INVERSEUR

- On réalise le montage de la figure 3 que l'on étudiera plus sommairement.

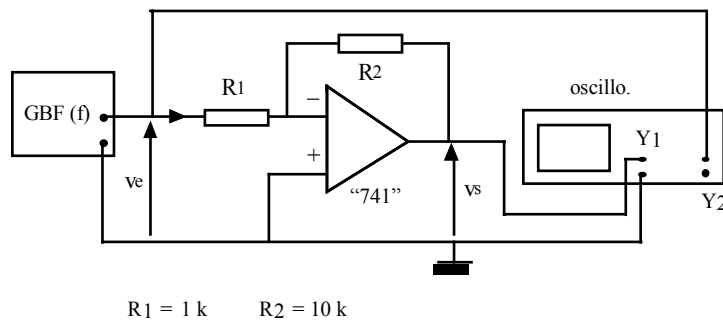


Figure 3

2.1 Amplification

- On vérifiera que dans la bande passante (fréquence assez faible) le gain est donné par $A_{v0} = \frac{v_s}{v_e} = -\frac{R_2}{R_1}$ Prendre $R_1=1 k\Omega$ et $R_2=2 k\Omega, 5 k\Omega$ et $10 k\Omega$
- Observer le signal de sortie à l'oscillo (sinusoïdal) et vérifier qu'il est **déphasé de π (inverseur)**

2.1 Impédance d'entrée.

Prendre $R_1=1k\Omega$ et $R_2=5k\Omega$. Si R_e est la résistance d'entrée de l'amplificateur, R_{GBF} la résistance interne du GBF dont la fem vaut E , et la tension d'entrée appliquée à l'amplificateur vaut : $v_e = \frac{R_e}{R_{GBF} + R_e} E$. Il lui correspond la tension de sortie $v_s=A_v v_e$.

Placer ensuite $R' = 1 \text{ k}\Omega$ en série avec le GBF. Cette fois, la tension d'entrée de l'amplificateur vaut : $v'_e = \frac{R_e}{R_{GBF} + R' + R_e} E$ et

$$v'_s = A_v v'_e.$$

\Rightarrow A partir des mesures de v'_e et de v_e (connaissant R' et $R_{GBF} = 50 \Omega$) en déduire R_e . Comparer sa valeur à R_1 .

3 EXEMPLES DE MONTAGES LINEAIRES

3.1 Additionneur inverseur

• On réalise le montage de la figure 4. Si les résistances sont identiques, on obtient $V_S = -(V_1 + V_2)$.

On prend par exemple V_1 signal sinusoïdal 10 kHz de faible amplitude et V_2 signal carré à 1 kHz d'amplitude plus élevée. Observer V_S .

Attention au choix des signaux utilisés ici. Avec V_1 et V_2 sinusoïdaux de même fréquence mais issus de deux générateurs différents, on peut obtenir n'importe quoi compris entre $|V_1 + V_2|$ et $|V_1 - V_2|$ car le déphasage entre V_1 et V_2 est a priori quelconque.

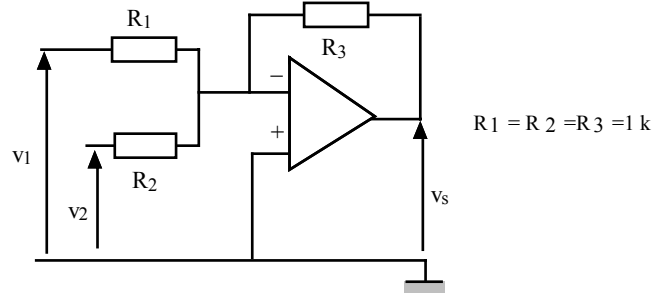


Figure 4

3.2 Montage intégrateur

3.21 Montage théorique

On considère le montage de la figure 5.

La loi des nœuds appliquée à l'entrée inverseuse donne :

$$\frac{u_e - u_-}{R} + C \frac{d(u_s - u_-)}{dt} = 0, \text{ en régime linéaire } u_- = 0 \text{ et dans}$$

$$\text{ces conditions } \frac{u_e}{R} + C \frac{du_s}{dt} = 0 \text{ soit : } \frac{du_s}{dt} = -\frac{u_e}{RC}$$

Le montage réalise une intégration.

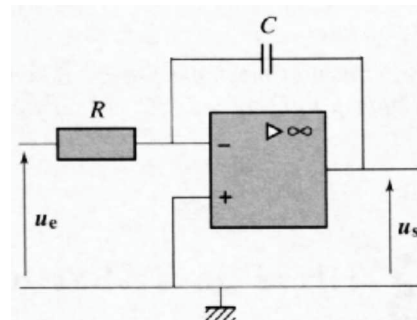


Figure 5

On réalise alors le montage de la figure 6 avec l'interrupteur k.

Cet interrupteur permet de décharger le condensateur.

On peut observer que ce montage dérive vers la saturation dès que l'on ouvre k même si la tension u_e est nulle, (intégration de l'offset et des courants de polarisation).

Montrer cette dérive à l'oscillo.

Ce montage théorique n'est donc pas utilisable en pratique.

On réalise le montage suivant.

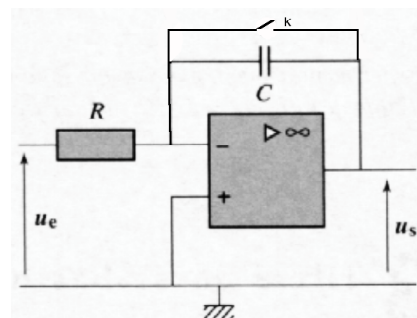


Figure 6

3.22 Montage pratique

On remplace l'interrupteur par une résistance R' , la nouvelle équation différentielle est ;

$$\frac{u_e - u_-}{R} + C \frac{d(u_s - u_-)}{dt} + \frac{u_s - u_-}{R'} = 0$$

soit en régime linéaire avec $u_- = 0$

$$\frac{du_s}{dt} + \frac{u_s}{R'C} = -\frac{u_e}{RC}$$

Pour un signal d'entrée périodique de période T, le signal de sortie u_s sera en régime permanent avec $\langle u_e \rangle = 0$:

$$\text{si } T \gg R'C, u_s = -u_e \frac{R'}{R} \text{ et si } T \ll R'C, u_s = -\frac{1}{RC} \int u_e dt$$

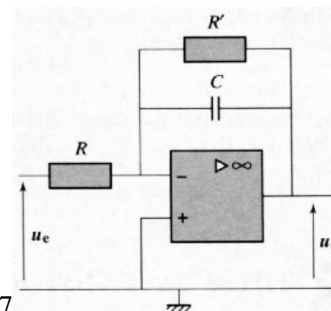
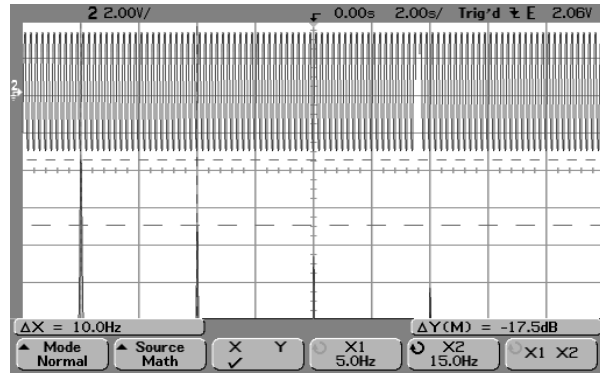
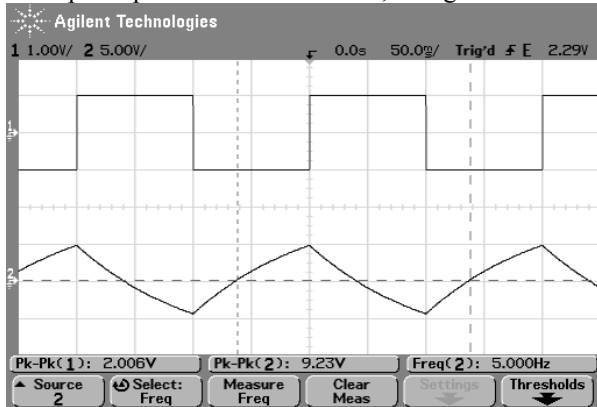


Figure 7

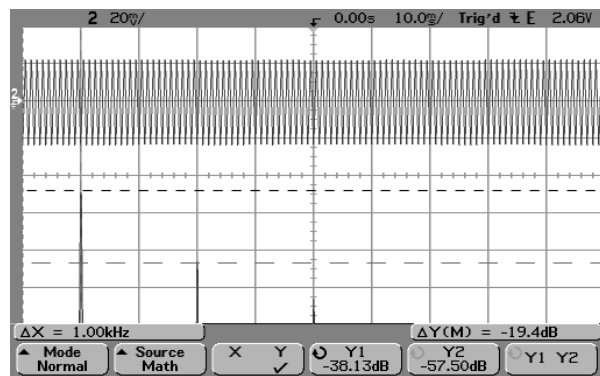
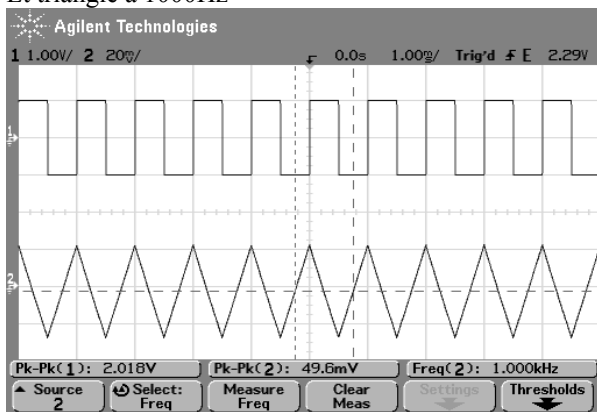
3.23 Etude expérimentale

Avec $R=1\text{M}\Omega$, $C=0.1\mu\text{F}$, $R'C=0.1\text{s}$, la limite $T \ll R'C$ donne un circuit intégrateur pour des fréquences $f > 100\text{Hz}$.

Exemple copie oscillo : créneau 2V, triangle à 5Hz



Et triangle à 1000Hz



Vérifier le déphasage entre u_e et u_s dans le cas d'un signal sinusoïdal.

3.3 Montage dérivateur

Montage théorique

On considère le montage de la figure 8.

La loi des nœuds appliquée à l'entrée inverseuse donne :

$$C \frac{d(v_e - v_s)}{dt} + \frac{v_s - v_s}{R} = 0, \text{ en régime linéaire } v_s = 0$$

et dans ces conditions $\frac{v_s}{R} + C \frac{dv_e}{dt} = 0$ soit :

$$v_s = -RC \frac{dv_e}{dt}$$

Le montage réalise une dérivation.

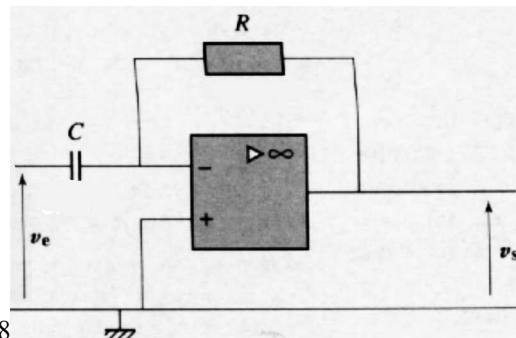


Figure 8

Les défauts seront analysés dans le TP n°7

Pour les applications, on pourra utiliser des montages 'classiques à usages multiples' :

Amplificateur inverseur, non-inverseur et additionneur sont des montages de base du calcul analogique

Suiveur -> Transformation d'un voltmètre basse impédance en voltmètre très haute impédance (TP 19 ou 20)
Générateur d'impédance nulle pour l'étude du circuit RLC série (TP 20 21 22)

Intégrateur -> Générateur de rampe pour la mesure de capacité (TP 20) et TP 7

Dérivateur -> voir le TP 7