Intégrateur et dérivateur à amplificateur opérationnel : mise en évidence des fonctions intégration et dérivations et limitations.

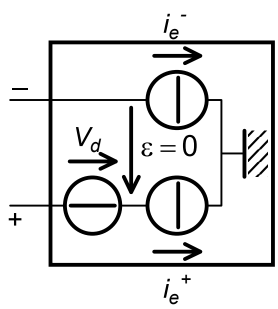
Bibliographie :

- Expériences d'électronique, Agrégation de sciences physiques par R. DUFFAIT chez BREAL.
- Electronique Electrocinétique 1 ère année MPSI -PCSI par JM. BREBEC chez HACHETTE (Hprépa).

Notions de base :

Le modèle de l'***amplificateur opérationnel idéal*** suppose une tension différentielle $\varepsilon = V^+ - V^-$ nulle (gain μ_0 de l'amplificateur opérationnel infini) et des courants d'entrée nuls (impédances d'entrée infinies).

Dans certains cas, il s'avère nécessaire de tenir compte des ***courants de polarisations*** et de la ***tension de décalage*** (tension d'***offset***), conduisant au schéma équivalent de l'amplificateur opérationnel :



Il peut aussi être nécessaire de tenir compte de l'équation différentielle liant v_s et ε, caractérisant le fonctionnement linéaire de l'amplificateur opérationnel :

$$\tau_0 \frac{dv_s}{dt} + v_s = \mu_0 \varepsilon .$$

Les limitations du fonctionnement linéaire de l'amplificateur opérationnel étant :

- la saturation de la tension de sortie ;
- la saturation du courant de sortie ;
- la limitation de la vitesse de balayage de la tension de sortie.

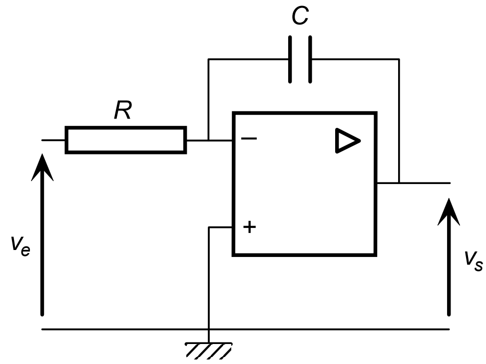
On utilisera un amplificateur opérationnel type TL081.

I - Intégrateur

1°) Premier montage

Si l'amplificateur opérationnel est supposé idéal, on obtient :

$$\boxed{\frac{dv_s}{dt} = -\frac{1}{RC} v_e}.$$



- Réaliser ce montage en plaçant un interrupteur en parallèle avec le condensateur (permettant de décharger le condensateur pour avoir une tension de sortie initialement nulle).

- Mettre en évidence le phénomène de dérive conduisant à la saturation. On utilisera, pour cela, un signal sinusoïdal *sans composante continue* .

En tenant compte du courant de polarisation i_e^- et de la tension de décalage V_d :

$$\begin{cases} \underline{V_e} = R\underline{I} + \underline{V_d} \\ \underline{V_s} = -\dfrac{1}{jC\omega}\left(\underline{I} - \underline{I_e}^-\right) + \underline{V_d} \end{cases} \Rightarrow \underline{V_s} = -\frac{1}{jC\omega}\left(\frac{\underline{V_e} - \underline{V_d}}{R} - \underline{I_e}^-\right) + \underline{V_d}$$

. D'où l'équation différentielle :

$$\boxed{\frac{dv_s}{dt} = -\frac{1}{RC}\left(v_e - v_d\right) + \frac{i_e^-}{C}}.$$

- Réaliser le montage avec $v_e = 0$ et montrer que le courant de polarisation et la tension de décalage sont des constantes.
- Supprimer la résistance R ($R = +\infty$) et mesurer la vitesse de dérive $\frac{dv_s}{dt}$. En déduire i_e^-. On choisira la valeur du condensateur afin d'obtenir une vitesse de dérive adéquate.
- Replacer la résistance R et faire une nouvelle mesure de $\frac{dv_s}{dt}$. En déduire v_d.

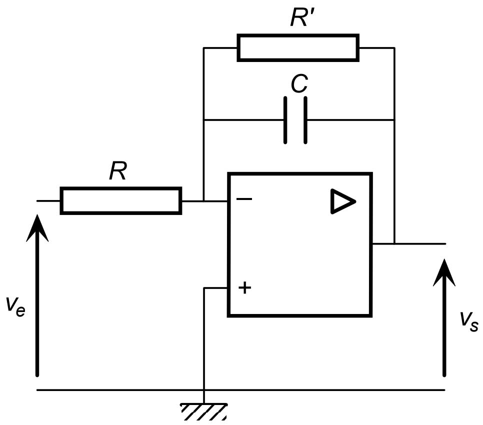
2°) Deuxième montage

On ajoute une résistance R' en parallèle avec le condensateur.

La fonction de transfert de ce montage est alors :

$$\boxed{\frac{\underline{v_s}}{\underline{v_e}} = -\frac{1}{\dfrac{R}{R'} + jRC\omega}}.$$

Si $RC\omega >> \frac{R}{R'} \Leftrightarrow f >> \frac{1}{2\pi R'C}$ alors on retrouve la fonction de transfert de l'intégrateur. Ce montage ayant un comportement d'amplificateur pour les signaux continus, les défauts évoqués précédemment ne conduirons plus à la saturation.



- Réaliser ce montage en utilisant un signal de fréquence suffisamment élevée pour satisfaire à la condition permettant l'obtention du montage intégrateur et vérifier le comportement intégrateur.
- Vérifier qu'en continu, le montage se comporte en simple amplificateur.
- Tracer le diagramme de Bode de ce montage.

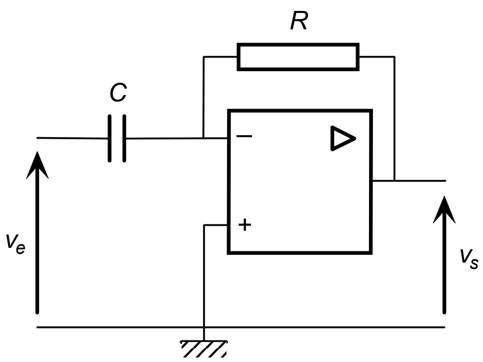
II - Dérivateur

1°) Premier montage

Si l'amplificateur opérationnel est supposé idéal, on obtient :

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

On utilisera une résistance $R = 10\ k\Omega$.



- Pour différents signaux, vérifier que le montage réalise, en première approximation, une dérivation.
- Utiliser un signal d'entrée triangulaire. On observe alors des oscillations amorties qui s'expliquent par la présence d'une équation différentielle d'ordre 2.

En tenant compte de l'équation différentielle de l'amplificateur opérationnel :

$$\tau_0 \frac{dv_s}{dt} + v_s = \mu_0 \varepsilon \Rightarrow j\omega\tau_0 \underline{v}_s + \underline{v}_s = \mu_0 \underline{\varepsilon}.$$

On établit alors la fonction de transfert du montage (...) : $\dfrac{\underline{v}_s}{\underline{v}_e} = \dfrac{-jRC\omega}{1 + \dfrac{1}{\mu_0} + j\omega\left(\dfrac{RC + \tau_0}{\mu_0}\right) - \dfrac{RC\tau_0}{\mu_0}\omega^2}$.

Compte tenu de la valeur élevée de μ_0 (10^5), on gardera : $\boxed{\dfrac{\underline{v}_s}{\underline{v}_e} = \dfrac{-jRC\omega}{1 + j\omega\left(\dfrac{RC + \tau_0}{\mu_0}\right) - \dfrac{RC\tau_0}{\mu_0}\omega^2}}$.

Le montage se comporte comme un filtre passe-bande, présentant un phénomène de résonance.

En effet, le gain du montage est : $G = \dfrac{RC}{\sqrt{\left(\dfrac{1}{\omega} - \dfrac{RC\tau_0}{\mu_0}\omega\right)^2 + \left(\dfrac{RC + \tau_0}{\mu_0}\right)^2}}$ et passe par un maximum lorsque $\dfrac{1}{\omega} = \dfrac{RC\tau_0}{\mu_0}\omega \Leftrightarrow \omega = \omega_0 = \sqrt{\dfrac{\mu_0}{RC\tau_0}} \Leftrightarrow \boxed{f_0 = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{\mu_0}{RC\tau_0}}}$.

- Tracer le diagramme de Bode du montage et le comparer à celui de l'intégrateur.
- En déduire la fréquence de résonance du montage, puis la valeur de τ_0.

2°) Deuxième montage

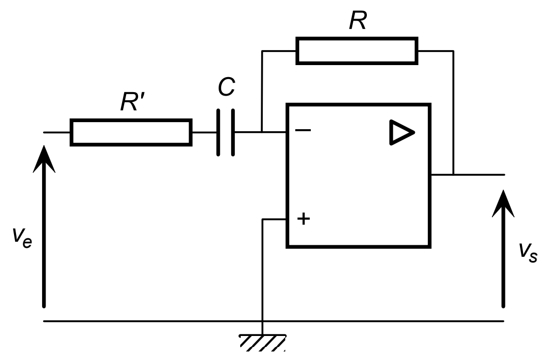
On ajoute une résistance R' en série avec le condensateur.

La fonction de transfert est alors modifiée :

$$\frac{\underline{v}_s}{\underline{v}_e} = \frac{-jRC\omega}{1 + \dfrac{1}{\mu_0} + j\omega\left(R'C + \dfrac{(R + R')C + \tau_0}{\mu_0}\right) - \dfrac{(R + R')C\tau_0}{\mu_0}\omega^2}$$

En tenant compte de la valeur élevée de μ_0 et en choisissant $R' << R$, on pourra garder :

$$\boxed{\frac{\underline{v}_s}{\underline{v}_e} = \frac{-jRC\omega}{1 + j\omega\left(R'C + \dfrac{\tau_0}{\mu_0}\right) - \dfrac{RC\tau_0}{\mu_0}\omega^2}}.$$



Il s'agit toujours d'un filtre passe-bande, dont la fréquence de résonance n'est pas modifiée, mais dont le facteur de qualité dépend de R'. Un bon choix de R' permet donc de faire disparaître les oscillations.

- Vérifier qualitativement le comportement de ce filtre en régime sinusoïdal.
- Réaliser le montage avec $R = 10\ k\Omega$ et montrer l'influence de R' sur les oscillations parasites.