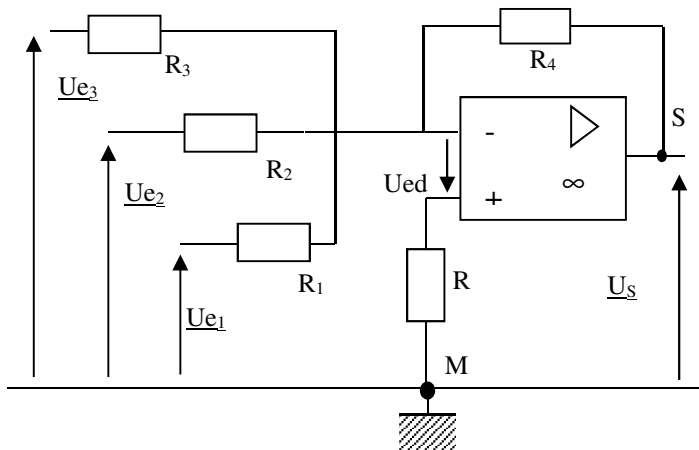


FONCTIONS OPERATIONNELLES DE L'AOP

On rappelle que, dans le cas des régimes permanent, on peut utiliser le théorème de Millman¹.

A. AMPLIFICATEUR INVERSEUR - SOMMATEUR



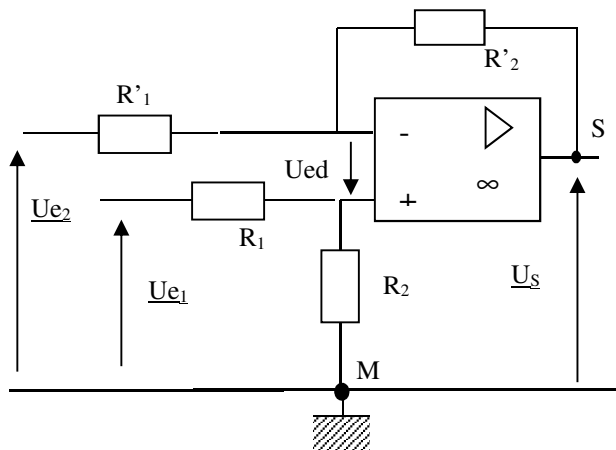
$$\underline{U_{E-}} = \underline{U_{E+}} \quad (5a)$$

$$\underline{U_{E+}} = 0 \quad \text{donc } \underline{U_{E-}} = 0 \quad (5b)$$

On calcule le potentiel à l'entrée inverseuse E- à l'aide du théorème de Millman.

$$\underline{U_{E-}} = \frac{\frac{U_s}{R_4} + \sum_{i=1}^3 \frac{U_{ei}}{R_i}}{\frac{1}{R_4} + \sum_{i=1}^3 \frac{1}{R_i}} \quad \text{si } R_3 = R_2 = R_1 \quad \text{alors } \underline{U_s} = -\frac{R_4}{R_1} (\underline{U_{e1}} + \underline{U_{e2}} + \underline{U_{e3}}) \quad (5)$$

B. MONTAGE SOUSTRACTEUR



$$\underline{U_{E+}} = \underline{U_{E-}}$$

On calcule le potentiel aux entrées inverseuses E- et non-inverseuse E+ à l'aide du théorème de Millman.

¹ « Electronique - Electrocinétique I », 1^{ère} année MPSI-PCSI- PTSI, H-Prépa, Hachette Supérieur, p 65

$$\underline{U_{E-}} = \frac{\frac{U_s}{R_2'} + \frac{U_{e2}}{R_1'}}{\frac{1}{R_2'} + \frac{1}{R_1'}}$$

$$\underline{U_{E+}} = \frac{\frac{0}{R_2} + \frac{U_{e1}}{R_1}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}}$$

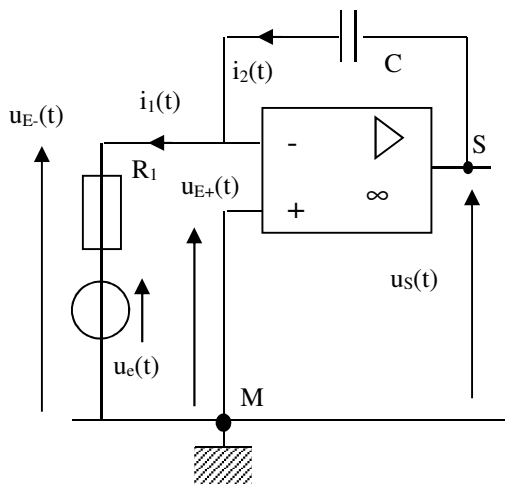
Si on choisit les résistances de telle façon que $R_2' = R_2$ et $R_1' = R_1$ alors on trouve :

$$\underline{U_s} = \frac{R_2}{R_1} (\underline{U_{e1}} - \underline{U_{e2}}) \quad (6)$$

C. MONTAGE INTEGRATEUR

La tension d'entrée est $v_e(t)$, délivrée soit par un générateur (GBF) soit par un circuit amont. Attention : les tensions ne sont pas nécessairement continues ou alternatives sinusoïdales. Il faut donc faire l'étude du circuit en utilisant les tensions et courants instantanés car le théorème de Millman ne s'applique qu'aux régimes permanents.

1. Présentation du circuit



$$u_{E+}(t) = 0$$

Soit $u_C(t)$, la tension aux bornes du condensateur et $R_1 i_1(t)$ la tension aux bornes de R_1 .

$$u_{E-}(t) = u_e(t) + R_1 i_1(t) \quad (7a)$$

$$u_{E-}(t) = u_{E+}(t) \text{ et } Z_{E-} = \infty \quad \text{donc}$$

$$i_1(t) = i_2(t) = \frac{dQ_C}{dt} \quad (7b)$$

$$u_s(t) = u_C(t) \quad (7c)$$

$$\text{avec } Q_C(t) = C u_C(t) \quad (7d)$$

On réécrit (7c) à l'aide des relations précédentes :

$$u_s(t) = u_C(t=0) + \frac{1}{C} \int_0^t i_2(t) dt \quad (7d)$$

si $u_C(t=0) = 0$ comme $u_e(t) = -R_1 i_2(t)$, on trouve alors :

$$u_s(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t u_e(t) dt \quad (7e)$$

2. Traitement avec les amplitudes complexes.

On pourra, dans le cas d'un régime sinusoïdal établi, employer les expressions suivantes :

$$\underline{U_{E+}} = 0 \quad \underline{U_{E-}} = \frac{\frac{\underline{U_e}}{R_1} + \frac{\underline{U_s}}{Z_C}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{Z_C}} \quad \text{et} \quad \underline{U_{E+}} = \underline{U_{E-}}$$

$$\underline{U_s} = -\left(\frac{Z_c}{R_1}\right) \underline{U_e} = -\frac{1}{jR_1 C \omega} \underline{U_e} \quad (7f)$$

La fonction de transfert est :

$$\underline{H(j\omega)} = -\frac{1}{jR_1 C \omega} \quad (7g)$$

On pose $\tau = R_1 C$ et $\omega_0 = \frac{1}{R_1 C}$

$$|\underline{H(j\omega)}| = \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{1}{x} \quad (7h)$$

Remarques :

- On voit que $\underline{U_s} \sim -\frac{1}{j} \underline{U_e} = +j \underline{U_e}$ donc le signal de sortie est en avance de $\frac{\pi}{2}$ par rapport au signal d'entrée (signal sinus).
- Le signal d'entrée est sur l'entrée inverseuse, ce qui entraîne un changement de signe entre entrée et sortie (signal créneau).
- Le terme $\frac{1}{j}$ est parfois appelé l'opérateur intégration, mais c'est un abus de langage.

3. Défauts de l'intégrateur à AOp

Ce montage forme un circuit qui amplifie fortement les B.F. et les tensions continues ($\underline{H(j\omega)} \sim \frac{1}{f}$). Or, un des défauts majeurs de l'AOp est la tension résiduelle U_d (tension de décalage), à l'entrée, qui n'est jamais compensée exactement à 0. Cette tension va donc être amplifiée et amène la sortie à saturation, par intégration sur un temps t suffisamment long. On peut palier à cet inconvénient en plaçant une résistance R_2 en parallèle avec le condensateur C . On pourra, à titre d'exercice, calculer la fonction de transfert qui a pour expression :

$$\underline{H(j\omega)} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{(1 + jR_2 C \omega)} \quad (7i)$$

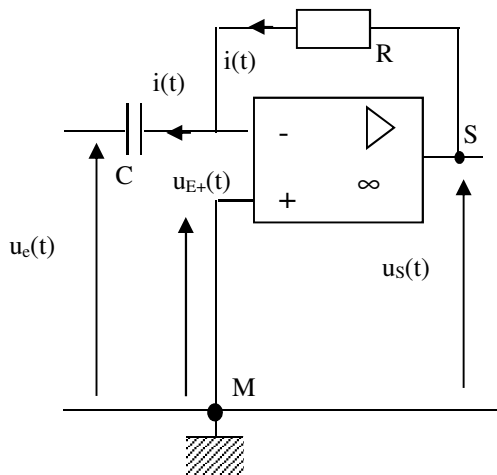
Pour les basses fréquences, $\omega \rightarrow 0$, la fonction de transfert $\underline{H(j\omega)} \rightarrow -\frac{R_2}{R_1}$ et pour les hautes fréquences, $|\underline{H(j\omega)}| \rightarrow -\frac{1}{jR_1 \omega C}$, la fonction de transfert est identique à celle du montage avec un condensateur seul en contre réaction. On appelle ce circuit un « *pseudo intégrateur* ».

4. Observation et mesures

On visualisera les signaux dépendant du temps à l'oscilloscope, par contre pour mettre en évidence l'effet d'une tension continue sur un intégrateur à AOp et la dérive de la tension de sortie, on prendra deux voltmètres : un en entrée et un en sortie de l'AOp.

D. MONTAGE DERIVATEUR INVERSEUR

1. Présentation du circuit



$$u_{E+}(t) = 0$$

Soit $u_C(t)$, la tension aux bornes du condensateur.

$$u_{E-}(t) = u_e(t) + u_C(t) \quad (8a)$$

$$u_{E-}(t) = u_{E+}(t) \text{ et } Z_{E-} = \infty$$

$$\text{donc } u_C(t) = -u_e(t)$$

$$\text{avec } Q_C(t) = C u_C(t) \text{ et } i(t) = \frac{dQ_C}{dt}$$

$$u_S(t) = R i(t) \quad (8b)$$

On trouve :

$$u_S(t) = - (RC) \frac{du_e(t)}{dt} \quad (8c)$$

La tension de sortie est la dérivée de la tension d'entrée.

2. Traitement avec les amplitudes complexes.

$$\underline{U}_S = -R (jC\omega) \underline{U}_e \quad \text{d'où} \quad \underline{U}_S = -j (RC\omega) \underline{U}_e \quad (8d)$$

$$\underline{H}(j\omega) = -j (RC\omega) \quad (8e)$$

$$|\underline{H}(j\omega)| = RC\omega = \frac{\omega}{\omega_0} = x \quad (8f)$$

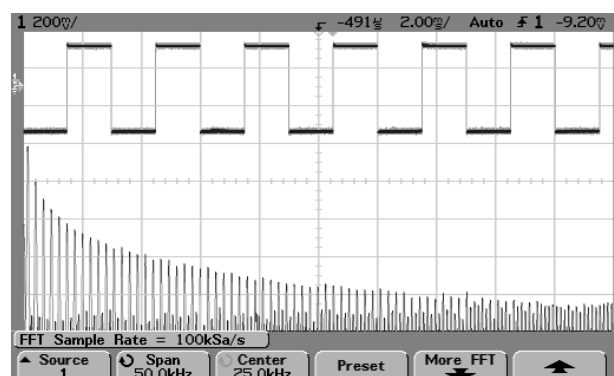
Le module de la fonction de transfert croît linéairement avec la fréquence : on observera donc une très forte atténuation des BF (le continu est « coupé ») et une augmentation de la tension de sortie avec la fréquence (avec $|v_e|$).

Remarques :

- On voit que $\underline{U}_S \sim -j \underline{U}_e$ donc le signal de sortie est en retard de $\frac{\pi}{2}$ par rapport au signal d'entrée (sinus).
- Le signal d'entrée est sur l'entrée inverseuse, ce qui entraîne un changement de signe entre entrée et sortie (signal créneau ou triangle).
- Le terme j est parfois appelé l'opérateur dérivation, mais, à nouveau, c'est un abus de langage.

3. Défaut(s) du dérivateur à AOp

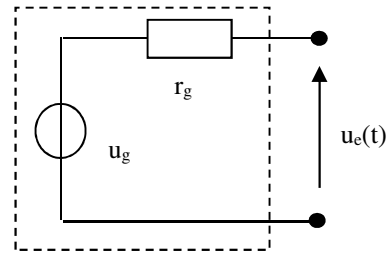
Ce montage est un amplificateur pour les H.F qui sont fortement amplifiées, or, le plus souvent, les signaux à l'entrée comportent du bruit à haute fréquence qui pourra donc être amplifié. De plus les signaux autres que les sinus pur présentent souvent un spectre de fréquence avec de nombreuses harmoniques : l'exemple type est le signal créneau qui présente toutes les harmoniques impaires avec une décroissance de leur



amplitude en $1/n$. L'exemple présenté correspond à un signal de fréquence 333 Hz : on retrouve dans le spectre obtenu par FFT des harmoniques au delà de 30 kHz. L'amplification des hautes fréquences va donner lieu à des phénomènes d'oscillations et à une résonance comme pour un circuit RLC. Pour limiter cet inconvénient, on introduit une résistance avant la capacité, pour amortir les oscillations : on obtient ainsi un « pseudo dérivateur ».

4. Observations et mesures

Le plus souvent, on utilise un GBF « simple » dont l'impédance de sortie est de $50\ \Omega$, on peut donc représenter le circuit d'alimentation par un générateur parfait suivi d'une résistance r_g de $50\ \Omega$, cette résistance étant en série, en amont de la capacité du dérivateur idéal. La valeur de r_g est suffisante pour amortir les oscillations, dans les cas courants. On devra donc utiliser un générateur avec sortie amplifiée (type « Matelco », $r_g \leq 1\ \Omega$), pour pouvoir mettre en évidence ces oscillations.



Voie 1 : signal d'entrée $u_e(t)$

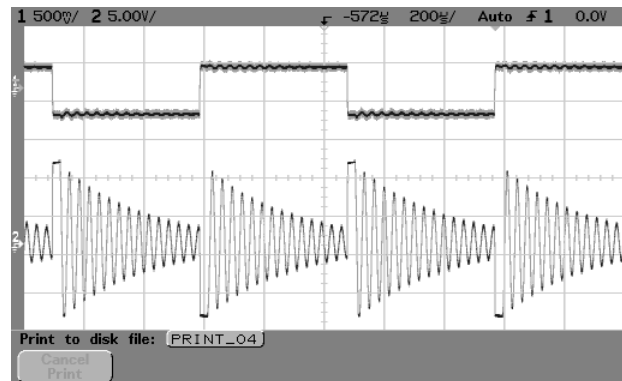
Voie 2 : signal de sortie $u_s(t)$

On observe de telles oscillations sur la figure ci contre dans le cas où :

$f_e = 333\ \text{Hz}$, pour un signal créneau

$C = 0,4\ \mu\text{F}$ $R = 1\ \text{k}\Omega$

$r_g \leq 1\ \Omega$,

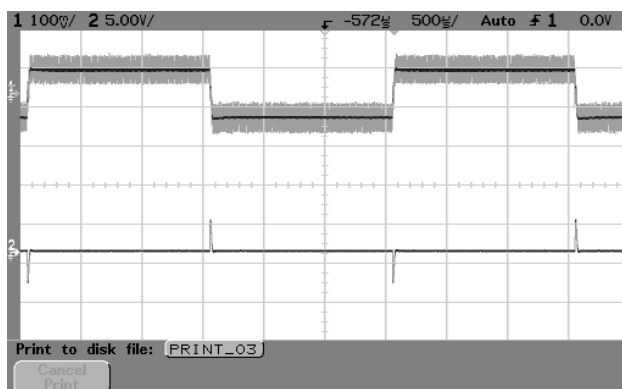


Voie 1 : signal d'entrée $u_e(t)$

Voie 2 : signal de sortie $u_s(t)$

Si on introduit une résistance ($R_a = 20\ \Omega$, boîte AOIP) en sortie du générateur on obtient alors, pour le même montage dérivateur, le signal suivant en sortie.

Dans ce cas la résistance « vue » par l'intégrateur idéal est : $r_g^* = r_g + R_a$.



Le choix d'une résistance variable $[0-500\ \Omega]$ pour R_a permet de mettre en évidence le passage du régime oscillant vers le régime critique puis l'amortissement « fort ».