TP14 – FILTRE ACTIF D'ORDRE 2 : ÉTUDE À L'OSCILLOSCOPE

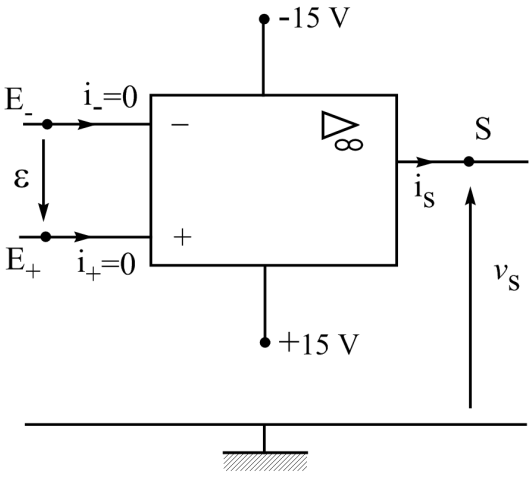
• **Objectif du TPs** :
(1) Appliquer les méthodes présentées aux TPs précédents et nécessaires à la mesure à l'oscilloscope :
- d'une tension
- d'une fréquence de coupure
- et d'un déphasage .

(2) Présentation du modèle de l'amplificateur opérationnel idéal.
(3) Réaliser l'étude d'un filtre actif d'ordre 2 :
- tracés des diagrammes de BODE
- vérification graphique de la théorie :
fréquence(s) de coupure, lien entre bande-passante et facteur de qualité, asymptote(s)).

I Présentation de l'Amplificateur Opérationnel Idéal

• L'**Amplificateur Opérationnel** est un composant électronique **actif** : il a besoin d'alimentations continues $+15\,V$ / $-15\,V$ pour fonctionner.

• Dans ce TP, nous considérons que l'AO utilisé est correctement décrit par **le modèle de l'AO Idéal** :



⊛ $\boxed{i_+ = i_- = 0\,A}$

→ Les intensités de *l'entrée inverseuse* (E_-) et de *l'entrée non inverseuse* (E_+) sont nulles pour un AO Idéal.
(mais i_s est non nulle a priori !)

⊛ l'AOI peut travailler dans les **3 régimes de fonctionnement** suivants :

(a)
Régime Linéaire :

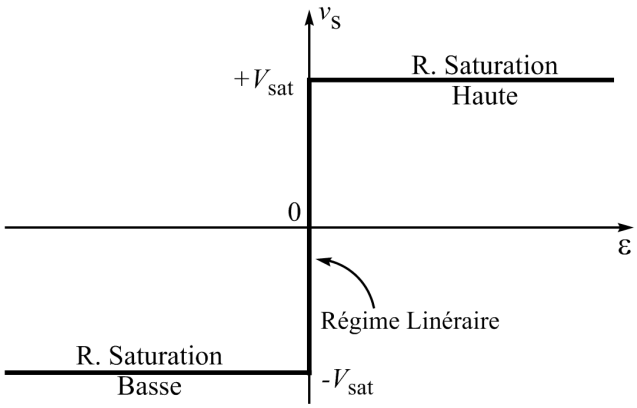
$$\boxed{\epsilon \equiv V_{E_+} - V_{E_-} = 0}$$
pour
$$\boxed{-V_{sat} < v_s < +V_{sat}}$$

(b)
Régime Non linéaire **de Saturation haute** :

$$\boxed{\underline{\underline{\epsilon > 0}} \quad \Leftrightarrow \quad v_s = +V_{sat}}$$

(c)
Régime Non linéaire **de Saturation basse** :

$$\boxed{\underline{\underline{\epsilon < 0}} \quad \Leftrightarrow \quad v_s = -V_{sat}}$$

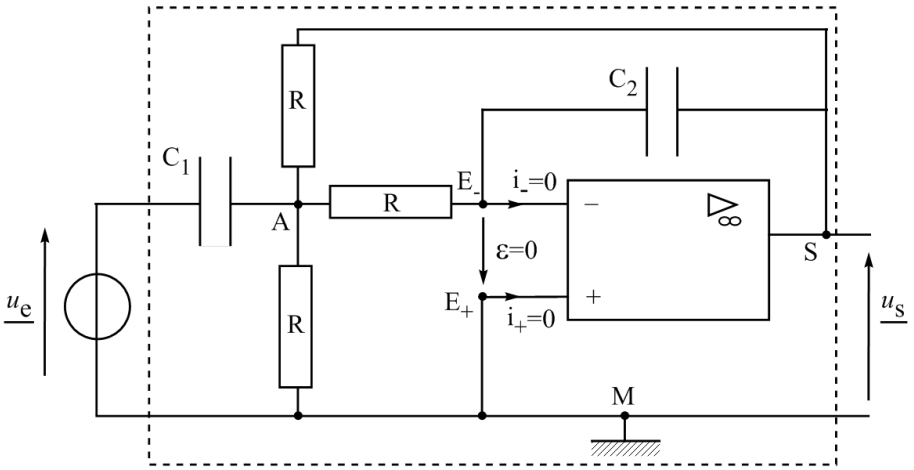


II Préliminaire : étude théorique

II.1 Fonction de transfert d'un filtre de Rauch

• L'objet de ce TP est l'étude d'un filtre d'ordre 2 appartenant à la famille des « filtres de RAUCH ».

• On travaille en régime sinusoïdal :
$u_e = E\cos\omega t$
Donc :
$u_s = U_{sm}\cos(\omega t + \varphi)$.



• ▷ Établir la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega) \equiv \frac{\underline{U_s}}{\underline{U_e}}$ de ce filtre.

Conseil : Il est conseillé d'appliquer la LNTP au nœud A et la LNTP au nœud E_-.

Rép :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{-jRC_1\omega}{1 + j3RC_2\omega - R^2C_1C_2\omega^2} = -RC_1\omega_0\,\frac{jx}{1 + j3RC_2\omega_0 x - x^2}$$

avec : $x \equiv \dfrac{\omega}{\omega_0}$ et $\omega_0^2 = \dfrac{1}{R^2C_1C_2} \Leftrightarrow \omega_0 = \dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{1}{C_1C_2}}$.

▷ Montrer que la fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$ peut se mettre sous la forme :

$$\underline{H}(j\omega) = H_0\,\frac{j\dfrac{x}{Q}}{1 + j\dfrac{x}{Q} + (jx)^2} = H_0\,\frac{1}{1 + jQ\left(x - \dfrac{1}{x}\right)}$$

avec : $Q = \dfrac{\omega_0 RC_1}{3} = \dfrac{1}{3\omega_0 RC_2} = \dfrac{1}{3}\sqrt{\dfrac{C_1}{C_2}}$ et $H_0 = -\dfrac{1}{3}\dfrac{C_1}{C_2}$ et $f_0 \equiv \dfrac{\omega_0}{2\pi} = \dfrac{1}{2\pi\,R\sqrt{C_1C_2}}$

II.2 Quelques questions

• Quelle est l'expressions de la réponse en gain en décibels ($G_{dB}(x)$) de ce filtre ?

• Quelle est $f_{max,th}$, la fréquence théorique associée au gain maximal de ce filtre ?
• Quel est ce gain maximal $G_{dB}(max)$?

• Quelles sont les asymptotes ABF et AHF à la courbe de gain en décibel ? Leurs pentes théoriques ?

• Quelles sont les expressions littérales qui donnent les fréquences de coupure en fonction de f_0 et de Q ?
• Quelle est alors la largeur de la bande passante à $-3\,dB$ en fonction de f_0 et de Q ?

• Quelle est la réponse en phase ($\varphi(x)$) en choisissant un déphasage φ de u_s par rapport à u_e compris entre $-\pi$ ret π ?

$$G_{dB} = 20\log H = 20\log|H_0| - 10\log\left[1 + Q^2\left(x - \frac{1}{x}\right)^2\right]$$

$$G_{dB}(max) = 20\log|H_0| \quad \Leftrightarrow \quad f_{max,th} = f_0$$

$$f_{c_1,th} = x_1\, f_0 = \frac{-\frac{1}{Q} + \sqrt{\frac{1}{Q^2}+4}}{2}\, f_0$$

$$f_{c_2,th} = x_2\, f_0 = \frac{\frac{1}{Q} + \sqrt{\frac{1}{Q^2}+4}}{2}\, f_0$$

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q}$$

Comme $\arg(H_0) = \pm\pi$ et $\arg\left(1 + jQ\left(x - \frac{1}{x}\right)\right) = \arctan Q\left(x - \frac{1}{x}\right)$ et parce qu'on désire exprimer φ sur l'intervalle $[-\pi, \pi]$, on a :

Pour $0 < x < 1$: $\varphi = -\pi - \arctan Q\left(x - \frac{1}{x}\right)$

Pour $1 < x < +\infty$: $\varphi = +\pi - \arctan Q\left(x - \frac{1}{x}\right)$

$$G_{dB}(ABF) = 20\log\frac{|H_0|}{Q} + 20\log x \quad \text{et} \quad G_{dB}(AHF) = 20\log\frac{|H_0|}{Q} - 20\log x$$

Soit une ABF de pente dB/dec et une AHF de pente dB/dec

III Mesures et Confrontation Théorie/Expérience

III.1 Montage

• Faire le montage précédent avec $R = 4,8\ k\Omega$, $C_1 = 110\ nF$ et $C_2 = 10\ nF$.
▷ **Question pratique :** On ne dispose que de capacité de 100 nF et de 10 nF dans ce TP.
→ Comment alors les associer pour constituer un dipôle de capacité équivalente C_1 ?

• On visualise u_e sur la voie Y_I de l'oscilloscope, et u_s sur la voie Y_{II}.
Rque pratique : Rappelons que pour faire de bonnes mesures d'amplitudes à l'oscilloscope il faut prendre le plus petit calibre en tension (afin d'avoir les courbes les plus grandes possibles à l'écran et donc avoir une lecture la plus précise possible).

Le circuit étudié étant un filtre dont on se propose d'étudier le **comportement en fréquence**, rappellons que, *dans ce cas particulier* :
→ on place le *déclenchement des entrées* en AC pour éliminer une éventuelle composante parasite continue que le GBF est susceptible de superposer au signal sinusoïdal qui nous intéresse.

• L'amplitude de la tension d'entrée délivrée par le générateur est fixée à $E = 1\ V$.

III.2 Étude rapide du filtre

• ▷ Faire varier la fréquence en jouant sur la gamme en fréquence du GBF (100, 1 k, 10 k, 100 k, *etc* ...). → de quel **type de filtre** s'agit-il ?

• ▷ Pour ce type de filtre, quel est le déphasage de la sortie par rapport à l'entrée lorsque le gain est maximal ?

→ En déduire (et rédiger sur votre rapport) une *méthode expérimentale* pour **mesurer grâce à l'oscilloscope** la fréquence f_{max} pour laquelle le gain du filtre est maximal.

$f_{max,\text{mes}} = \qquad Hz$ à comparer avec $f_{max,\text{calc}} = f_0 = \dfrac{1}{2\pi R\sqrt{C_1 C_2}} = \qquad Hz$

• ▷ Une fois f_{max} mesurée, évaluer expérimentalement les **fréquences de coupure** $f_{c_1,\text{mes}}$ et $f_{c_2,\text{mes}}$ grâce à la *méthode dite des « 2,8 carreaux »* (➜ Cf **TP n°13**).

$f_{c_1,\text{mes}} = \qquad Hz$
$f_{c_2,\text{mes}} = \qquad Hz$

à comparer avec

$f_{c_1,\text{calc}} = x_1\, f_0 = \qquad Hz$
$f_{c_2,\text{calc}} = x_2\, f_0 = \qquad Hz$

III.3 Diagramme de Bode (en Gain en décibels et en Phase)

• ▷ Tracer les deux graphes du diagramme de Bode du filtre après avoir effectué les mesures suivantes :

f	$20\ Hz$	$30\ Hz$	$50\ Hz$	$70\ Hz$	$100\ Hz$	$200\ Hz$	$300\ Hz$	$400\ Hz$	$500\ Hz$
$E\ (V)$									
$U_C\ (V)$									
$\varphi\ (°)$									
$H = \lvert\underline{H}\rvert$									
G_{dB}									

f	$700\ Hz$	$900\ Hz$	$1\ kHz$	$1,3\ kHz$	$2\ kHz$	$3\ kHz$	$4\ kHz$	$5\ kHz$	$6\ kHz$
$E\ (V)$									
$U_C(mV)$									
$\varphi\ (°)$									
$H = \lvert\underline{H}\rvert$									
G_{dB}									

f	$8\ kHz$	$10\ kHz$	$20\ kHz$	$30\ kHz$	$50\ kHz$	$60\ kHz$	$100\ kHz$	$200\ kHz$	$300\ kHz$
$E\ (V)$									
$U_C(mV)$									
$\varphi\ (°)$									
$H = \lvert\underline{H}\rvert$									
G_{dB}									

• Faire apparaître les asymptotes ABF et AHF des courbes en gain et en phase.
Grâce à ces asymptotes, déterminer **graphiquement** la fréquence $f_{0,\text{graph}}$, les deux fréquences de coupures : $f_{c_1,\text{graph}}$ et $f_{c_2,\text{graph}}$ et les pentes (en dB/dec) des asymptotes.

• Confronter ces résultats (asymptotes BF/HF) avec la théorie.