

NOM :	<b>Correction</b> <b>Examen Final EL80</b>	Note : <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">/20,5</div>
Durée : 1H40. Calculatrice non autorisée car inutile. Aucun document personnel n'est autorisé. Téléphone portable interdit.		

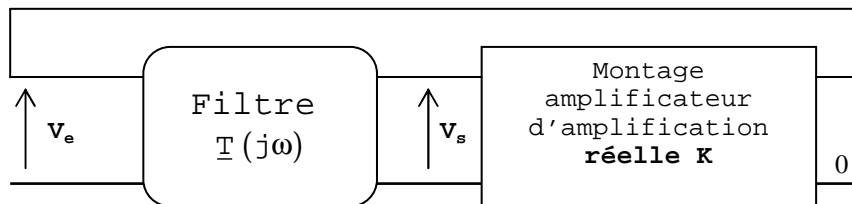
Pour chaque réponse, on expliquera la démarche qui conduit au résultat proposé. Les expressions mathématiques seront exprimées littéralement avant d'être éventuellement calculées de façon numérique.

**Exercice 1** 5,5

Considérons le filtre possédant les diagrammes de Bode donnés en annexe.

On supposera que le filtre a une impédance de sortie assez grande.

On souhaite réaliser un oscillateur avec ce filtre en adoptant la topologie suivante :



- 1) Déterminez  $K_c$  l'amplification critique nécessaire au démarrage des oscillations. (Expliquez)

Explications détaillées : voir cours.

1,5 Il faut qu'il existe une fréquence  $f_{osc}$  telle que  $K_c \cdot \underline{T}(j2\pi f_{osc}) = 1$ . Comme le gain  $K_c$  est réel, on recherche dans le diagramme de bode en phase de  $\underline{T}$ , s'il existe une fréquence pour laquelle la fonction de transfert  $\underline{T}$  est réelle. Dans notre cas pour une fréquence de 10kHz, on remarque que la phase passe par  $-180^\circ$ . Le module est alors de 0dB. La fonction de transfert vaut donc -1 à cette fréquence. Le cas  $f=0$  n'est pas retenu. C'est un cas limite qui ne conduit pas à une oscillation.

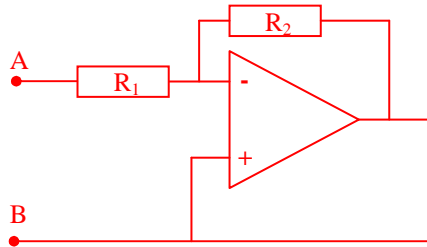
Comment doit-on choisir l'amplification du montage final pour être certain d'obtenir des oscillations.

0,5 En pratique, il faudra choisir une amplification plus grande en valeur absolue pour être certain du démarrage des oscillations. On prendra par exemple -1,2.

2) Proposer un montage (schéma + valeur des composants) permettant de réaliser l'amplificateur nécessaire à l'obtention certaine des oscillations.

Il suffit de réaliser un montage inverseur classique à amplificateur opérationnel.

1,5



Avec  $\frac{R_2}{R_1} = 1,2$

Par exemple  $\begin{cases} R_1 = 10 \text{ k}\Omega \\ R_2 = 12 \text{ k}\Omega \end{cases}$

Quelle est l'impédance d'entrée de ce montage ?  
A-t-elle une influence sur le montage global ?

L'impédance d'entrée du montage inverseur vaut  $Z_{AB} = R_1$   
Attention ! Si on veut éviter de modifier la tension de sortie du filtre quand on branche l'amplificateur nous avons

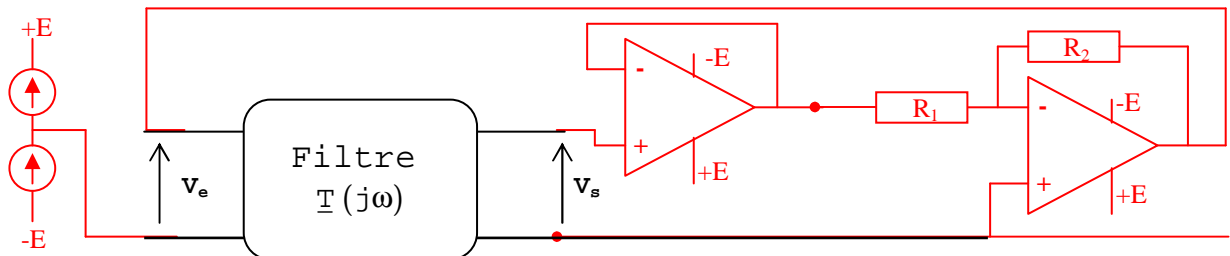
1

2 solutions :

1. choisir  $R_1 \gg Z_s$ . Ce qui nécessite l'étude de  $Z_s$  l'impédance de sortie du filtre !!!
2. Intercaler un étage suiveur.

Faire le schéma de l'oscillateur complet (ne pas oublier les alimentations de l'amplificateur).

1



**EXERCICE 2**

4,5

Considérons la sinusoïde suivante  $A \cos(\omega t)$ . Avec  $A=0,1V$  et  $\omega = 2\pi f$  où  $f$  peut varier de 0 à 25KHz

On souhaite amplifier cette sinusoïde d'un facteur **100** à l'aide **d'un seul amplificateur** opérationnel. Les AOPs disponibles dans notre laboratoire possèdent les caractéristiques suivantes :

	AOP1	AOP2	AOP3	AOP4
<b><math>I_b</math></b>	500nA	50nA	40pA	80pA
<b><math>SR</math></b>	5V/ms	3V/ $\mu$ s	2V/ $\mu$ s	1V/ $\mu$ s
<b><math>GBW</math></b>	500KHz	500KHz	3MHz	3,5MHz
<b><math>V_{os}</math></b>	5mV	15mV	150 $\mu$ V	50 $\mu$ V
<b><math>\Delta V_{os}/\Delta T</math></b>	10 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C	15 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C	3 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C	0.5 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C

$I_b$  : Courant de polarisation

$SR$  : Slew Rate

$GBW$  : Produit gain.Bande

$V_{os}$  : Tension d'offset à l'entrée

$\Delta V_{os}/\Delta T$  : Dérive thermique d'offset.

1,5

1) Quel(s) AOP peut-on utiliser pour amplifier notre sinusoïde d'un facteur 100 ? (Justifiez votre réponse)

a. Pour amplifier d'un facteur 100 une sinusoïde dont la fréquence peut varier entre 0 et 25KHz, il faut que l'amplificateur opérationnel ait un produit gain bande au moins égal à  $100 \times 25KHz$  soit 2,5MHz.

b. En sortie de l'amplificateur, la sinusoïde aura une amplitude de  $100 \times 0,1V$  soit 10V. La pente maximale à reproduire vaudra  $100 \times 2\pi f_{max}$  soit 1,57V/ $\mu$ s.

Il faudra donc choisir un amplificateur ayant :

a. Un produit gain bande supérieur ou égal à 2,5MHz.

b. Un slew rate d'au moins 1,57V/ $\mu$ s.

Le seul Amplificateur qui convient est l'AOP3

1) 2) Déterminez la fréquence de transition de chaque AOP.

	AOP1	AOP2	AOP3	AOP4
$F_T$	500KHz	500KHz	3MHz	3,5MHz

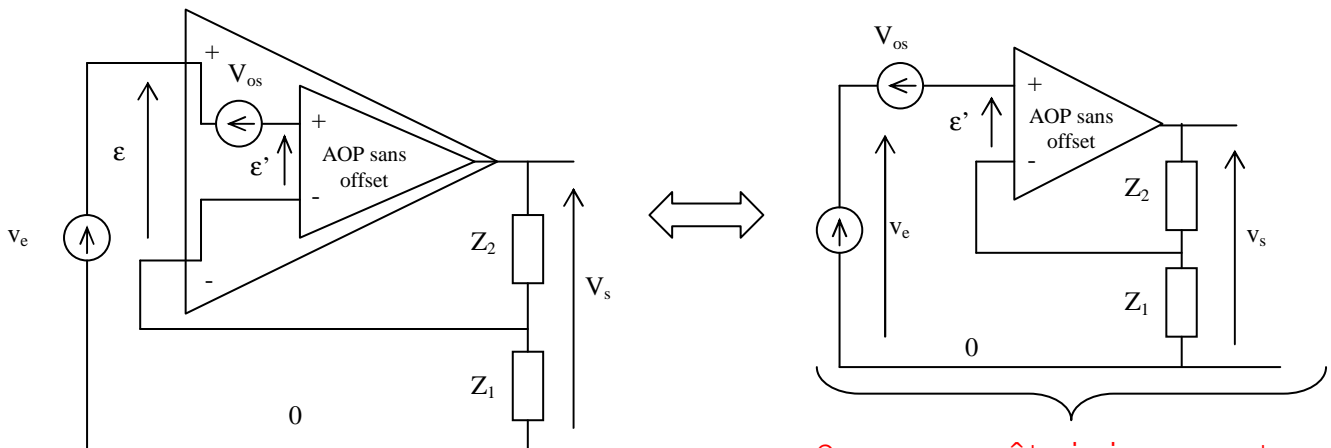
Expliquez :

La fréquence de transition est égale au produit gain.bande (voir cours).

2) 3) Expliquez ce qu'est la caractéristique  $V_{os}$  présente dans le tableau des AOP. Comment peut-on en tenir compte dans la mise en équation d'un simple amplificateur non inverseur à 2 résistances.

$V_{os}$  est la tension d'offset ramenée à l'entrée. Elle correspond à la tension différentielle qu'il faudrait appliquer à l'entrée de l'AOP en boucle ouverte pour obtenir une tension de sortie nulle (voir cours).

Un AOP (presque idéal) présentant une erreur d'offset peut donc être considéré comme un AOP totalement parfait ayant un décalage différentiel de  $V_{os}$ .

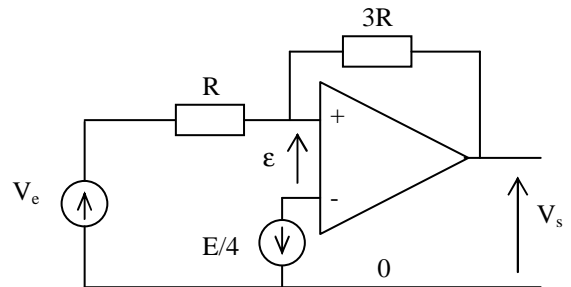


On reconnaît ici un montage classique non inverseur qui amplifie la tension  $V_e - V_{os}$ .

**EXERCICE 3**

3

Considérons le montage suivant :



L'amplificateur Opérationnel parfait est alimenté par deux alimentations symétriques parfaites  $\pm E$ . 0 est la référence de potentiel.

3

1) Etudiez et expliquez le fonctionnement de ce montage puis représentez graphiquement  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .

$$\varepsilon = \frac{\frac{V_e}{R} + \frac{V_s}{3R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{3R}} + \frac{E}{4} = \frac{3V_e + V_s + E}{4} \quad \text{on remarque que la rétroaction}$$

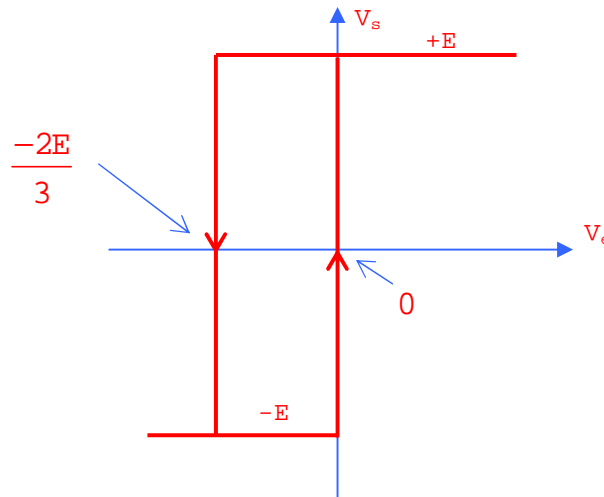
est positive. L'amplificateur fonctionnera donc en saturation.

$$V_s = \begin{cases} V_{\text{sat}+} = E & \text{quand } \varepsilon > 0 \\ V_{\text{sat}-} = -E & \text{quand } \varepsilon < 0 \end{cases}$$

➤ Quand  $V_s = V_{\text{sat}+}$ ,  $V_s$  basculera à  $V_{\text{sat}-}$  quand  $\varepsilon$  passera par zéro. D'où  $3V_e + V_{\text{sat}+} + E = 0$  soit

$$V_e = \frac{-E - V_{\text{sat}+}}{3} = -\frac{2E}{3}$$

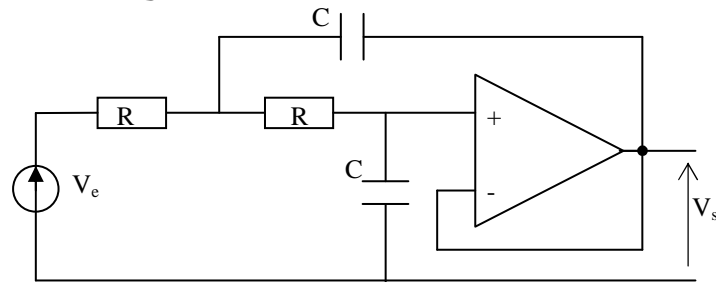
➤ Quand  $V_s = V_{\text{sat}-}$ ,  $V_s$  basculera à  $V_{\text{sat}+}$  quand  $\varepsilon$  passera par zéro. D'où  $3V_e + V_{\text{sat}-} + E = 0$  soit  $V_e = \frac{-E - V_{\text{sat}-}}{3} = 0$



**EXERCICE 4**

3,5

Considérons le montage suivant :



1

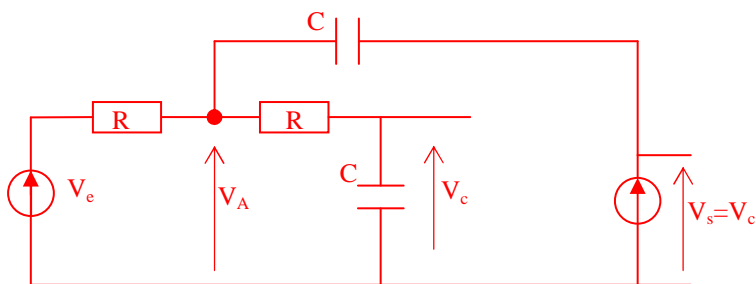
1°) Comment est monté l'amplificateur opérationnel ?

L'amplificateur opérationnel est monté en suiveur de gain +1. C'est un cas particulier du montage non inverseur. Une des deux résistances est nulle et l'autre est infinie.

2,5

2°) Déterminer la fonction de transfert  $\frac{V_s(p)}{V_e(p)}$  du montage

complet. Quel type de filtre ce montage réalise-t-il ? (définir totalement ses caractéristiques : type, ordre, pulsation de coupure, etc...)



$$V_s = V_c = \frac{V_A}{1 + RCp}$$

or

$$V_A = \frac{\frac{V_e}{R} + \frac{V_c}{R} + V_s Cp}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + Cp} = \frac{V_e + V_s + V_s RCp}{2 + RCp}$$

$$V_s = \frac{V_e + V_s + V_s RCp}{(1 + RCp)(2 + RCp)}$$

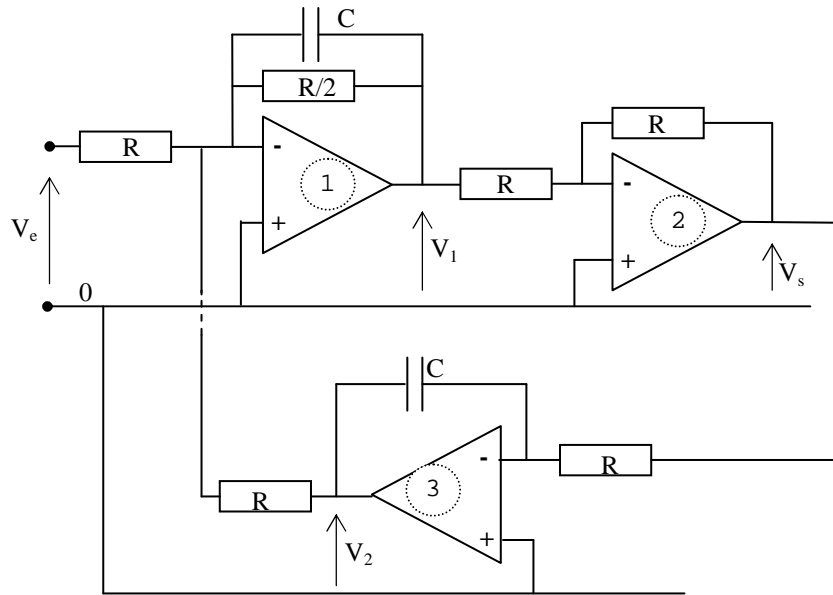
Enfin  $\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{(1 + RCp)^2}$ . Il s'agit d'un filtre passe-bas du

deuxième ordre de pulsation de coupure  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$  et d'amortissement  $m=1$

**EXERCICE 5**

4

Considérons le montage suivant :



Les amplificateurs sont parfaits. Ils sont alimentés par une alimentation symétrique.

1°) Déterminer :

$V_1$  en fonction de  $V_e$  et  $V_2$ .

$$\varepsilon_1 = - \frac{\frac{V_e}{R} + \frac{V_2}{R} + \frac{V_1}{R} (2 + RCp)}{\frac{2}{R} + \frac{2 + RCp}{R}} = - \frac{V_e + V_2 + V_1 (2 + RCp)}{4 + RCp}$$

1,5

L'étage 1 est un montage à rétroaction négative. Tant qu'il n'est pas saturé et tant que l'AOP a un gain infini,  $\varepsilon_1 = 0$

(En fait, le montage est du type filtre sommateur inverseur)

$$V_1 = - \frac{V_e + V_2}{2 + RCp} \quad (1)$$

$V_s$  en fonction de  $V_1$ .

Il s'agit ici d'un étage classique amplificateur inverseur de gain -1.

$$V_s = -V_1 \quad (2)$$

$V_2$  en fonction de  $V_s$ .

Il s'agit ici d'un montage classique de type inverseur.

$$V_2 = - \frac{1}{RCp} V_s \quad (3)$$

0,5

1,5

2°) Dédurre de la question précédente l'expression de  $V_s$  en fonction de  $V_e$  uniquement.

$$(1) \text{ et } (2) : V_e + V_2 = V_s (2 + RCp) \quad (4)$$

$$(4) \text{ et } (3) : V_e - \frac{1}{RCp} V_s = V_s (2 + RCp)$$

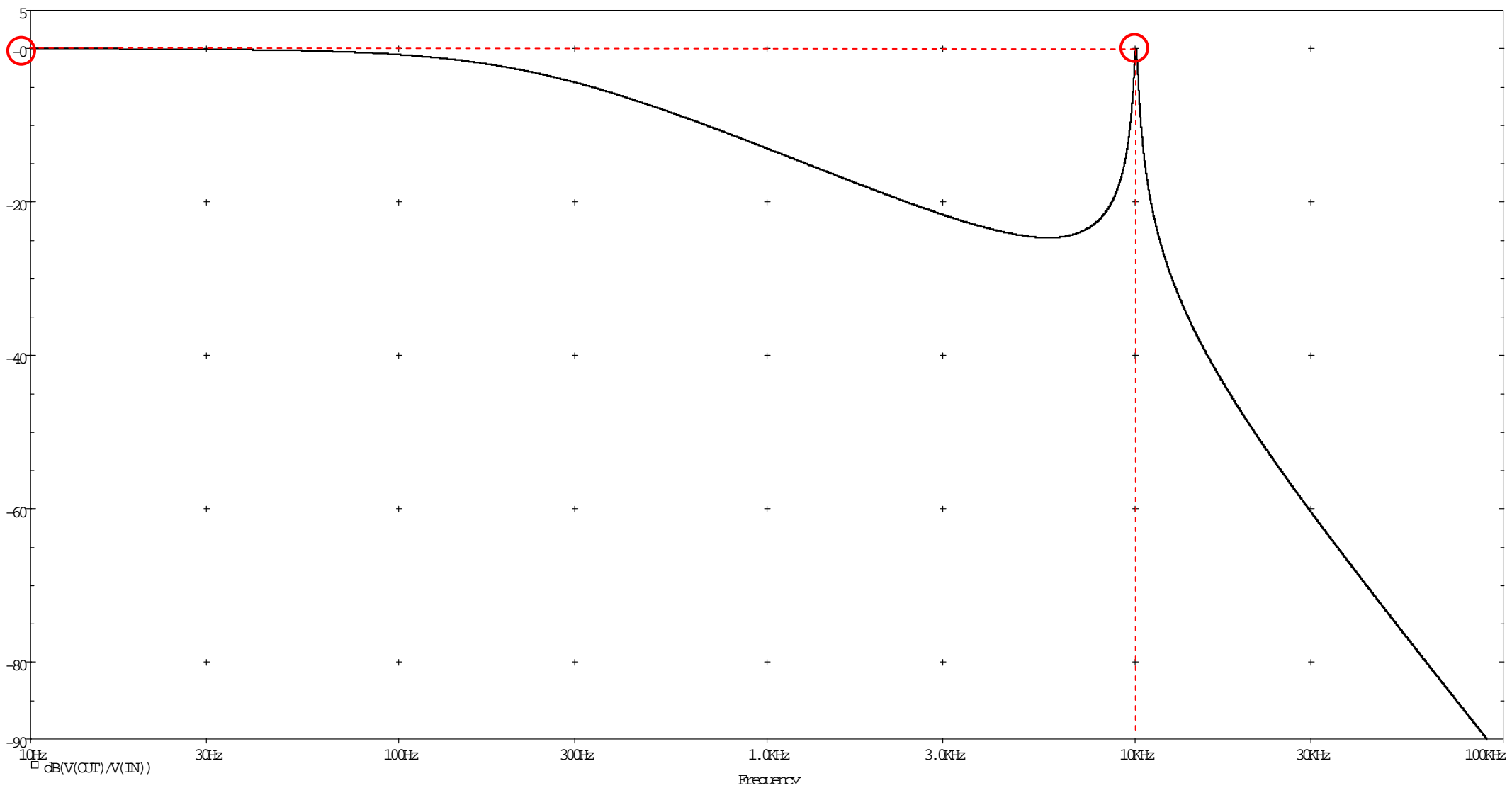
$$\text{D'où } V_e = V_s \left( 2 + RCp + \frac{1}{RCp} \right)$$

$$\text{Enfin } V_s = V_e \frac{RCp}{(1 + RCp)^2}$$



# Annexes de l'exercice 1

## Module (en dB) de la fonction de transfert



# Annexes de l'exercice 1

## Argument (en degré) de la fonction de transfert

