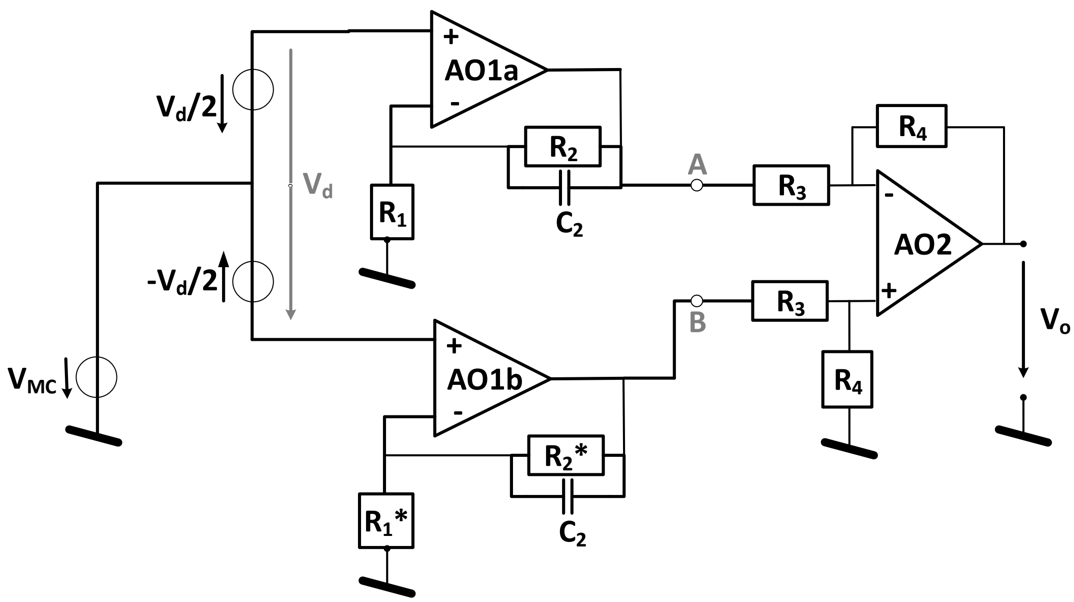
Seuls les résultats finaux encadrés sont donnés

1. Applications de l'AO (Amplificateur différentiel)

Soit le circuit :



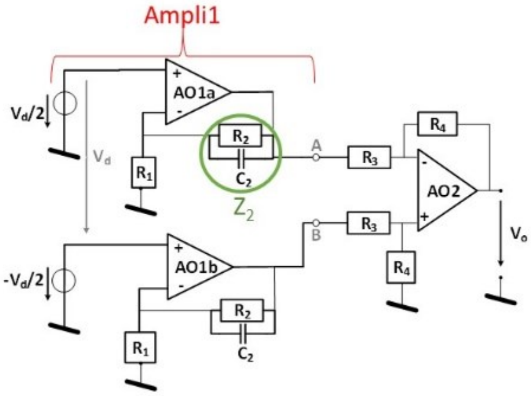
Où V_d = Signal différentiel.
V_{MC} = Signal mode commun.

Cas 1 : Résistances parfaitement appariées ($R_1^* = R_1$, $R_2^* = R_2$)

20

a- Donner l'expression des fonctions de transfert du premier étage $\mathbf{H_1(j\omega) = (V_A - V_B)/V_d}$ et du deuxième étage $\mathbf{H_2(j\omega) = V_o/(V_A - V_B)}$. Déduire l'expression $\mathbf{H_t(j\omega) = V_o/V_d}$ en indiquant les **pôles**, les **zéros** et le gain différentiel maximal $\mathbf{G_{diff} = Max(|H_t(j\omega)|)}$.

Ici on s'intéresse au gain différentiel donc on peut négliger le mode Commun (V_{MC} =0) le circuit devient :



$Z_2 = \frac{R_2}{1+j\omega R_2 C_2}$ **(Formulaire des impédances)**

Ampli 1 est amplificateur non inverseur est donc sa fonction de transfert (cours AO slide 21) est :

$$\frac{V_A}{V_d/2} = \frac{R_1+Z_2}{R_1} = \frac{R_1+\frac{R_2}{1+j\omega R_2C_2}}{R_1} = \frac{R_1(1+j\omega R_2C_2)+R_2}{R_1(1+j\omega R_2C_2)} = \frac{(R_1+R_2)}{R_1}\frac{1+j\omega C_2(R_1//R_2)}{1+j\omega C_2R_2}$$

De même pour l'ampli 2

$$\frac{V_B}{-V_d/2} = \frac{R_1+Z_2}{R_1} = \frac{(R_1+R_2)}{R_1}\frac{1+j\omega C_2(R_1//R_2)}{1+j\omega C_2R_2}$$

Or $H_1(j\omega) = \frac{V_A-V_B}{V_d} = \frac{V_A}{V_d} + \frac{V_B}{-V_d} = \frac{(R_1+R_2)}{R_1}\frac{1+j\omega C_2(R_1//R_2)}{1+j\omega C_2R_2}$

H$_1$(jω) $= \frac{(R_1+R_2)}{R_1}\frac{1+j\omega C_2(R_1//R_2)}{1+j\omega C_2R_2} = 1+\frac{R_2}{R_1}\frac{1}{1+j\omega C_2R_2}$ 1

Le 2[ième] étage est un amplificateur de différence (cours « application PPG, ECG slide 17 »)

H$_2$(jω) $=-\frac{R_4}{R_3}$

H$_t$(jω) $= -\frac{R_4}{R_3}\frac{(R_1+R_2)}{R_1}\frac{1+j\omega C_2(R_1//R_2)}{1+j\omega C_2R_2}$

1

NOM: **PRENOM:** **N° place :** ....

Les pôles ω_{pi} : $\frac{1}{C_2 R_2}$ **f_p= 1 kHz**
Les zéros ω_{zi} : $\frac{R_1+R_2}{C_2(R_1R_2)}$ **f_z ~ 10 kHz**
G_{diff} = $\frac{R_4}{R_3}\;\frac{(R_1+R_2)}{R_1}$

1

1

b- Calculer la valeur de **R_2** et de **R_4** permettant d'obtenir un gain différentiel G_{diff} de 40 dB distribué équitablement entre le premier et le deuxième étage (prendre $R_1 = R_3 = 1$ [kΩ]).

R_2 = 9 kΩ ; **R_4 = 10 kΩ**

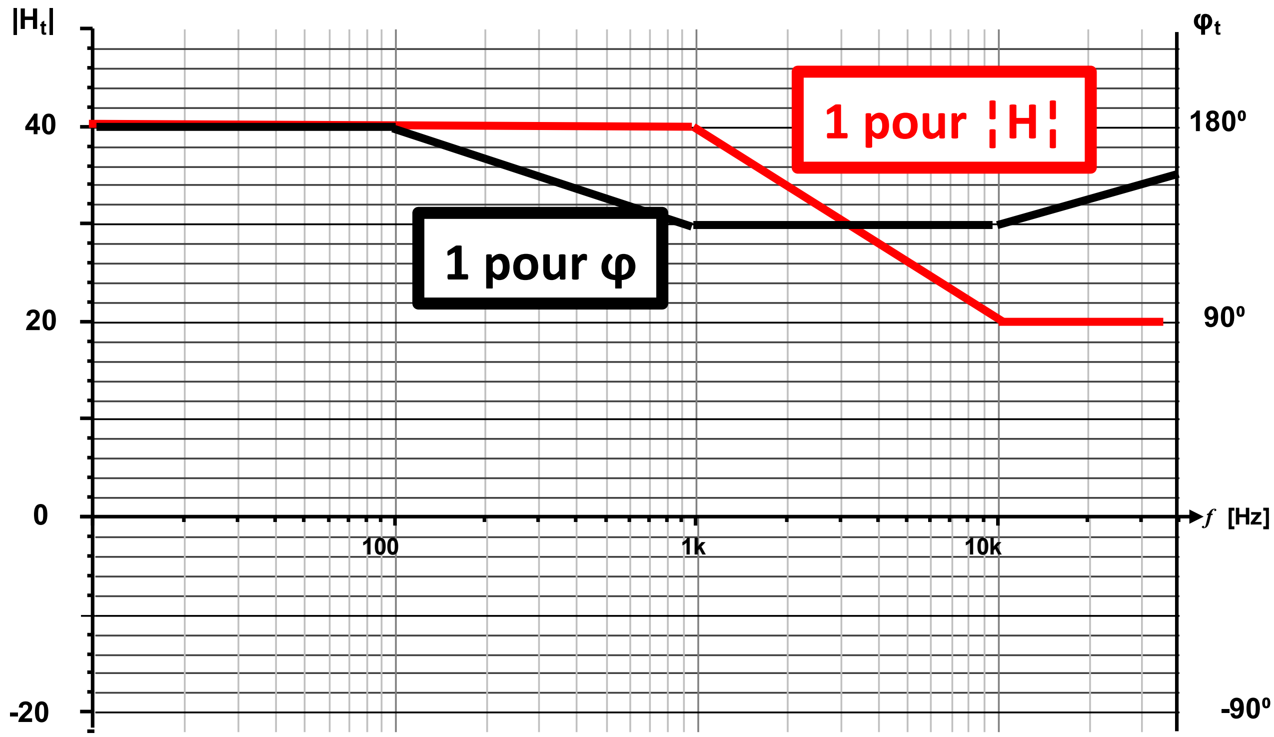
1

c- Calculer la valeur de **C_2** pour avoir le pôle à 1kHz.

C_2 = 17.7 nF

1

d- Tracer le diagramme de **Bode en amplitude et en phase** de $H_t(j\omega)$.

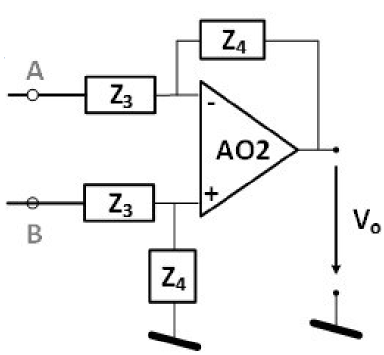


2. Filtrage

a- Ajouter **une paire de capacité au deuxième étage** du circuit pour permettre un filtrage base fréquences en dessous de 100 Hz et donner **la valeur C_f des capacités ajoutées**.

Le 2[ième] étage est un amplificateur de différence (cours application PPG, ECG slide 17) sa fonction de transfert généralisée est:

$$H_2(j\omega) = -\frac{Z_4}{Z_3}$$

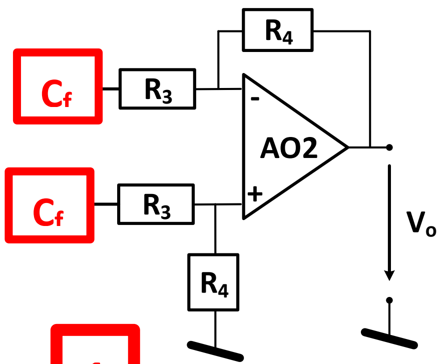


Pour filtrage basse fréquence, le diagramme de Bode doit avoir la forme en basse fréquence ce qui correspond à mais renversé verticalement par rapport à l'axe des fréquences. Par conséquent, c'est Z_3 (dénominateur) qui doit correspondre à cette forme et donc à une résistance en série avec une capacité (Formulaire des impédances). Z_4 ne change pas (=R_4).

Avec $Z_3 = \frac{1+j\omega R_3 C_f}{j\omega C_f}$ est donc $H_2(j\omega) = -\frac{R_4}{Z_3} = -\frac{j\omega C_f R_4}{1+j\omega R_3 C_f}$

Schéma avec C_f :

1



$C_f = 1/(2\pi R_3 F_f) = \ \ 1.59\ \mu$ 1

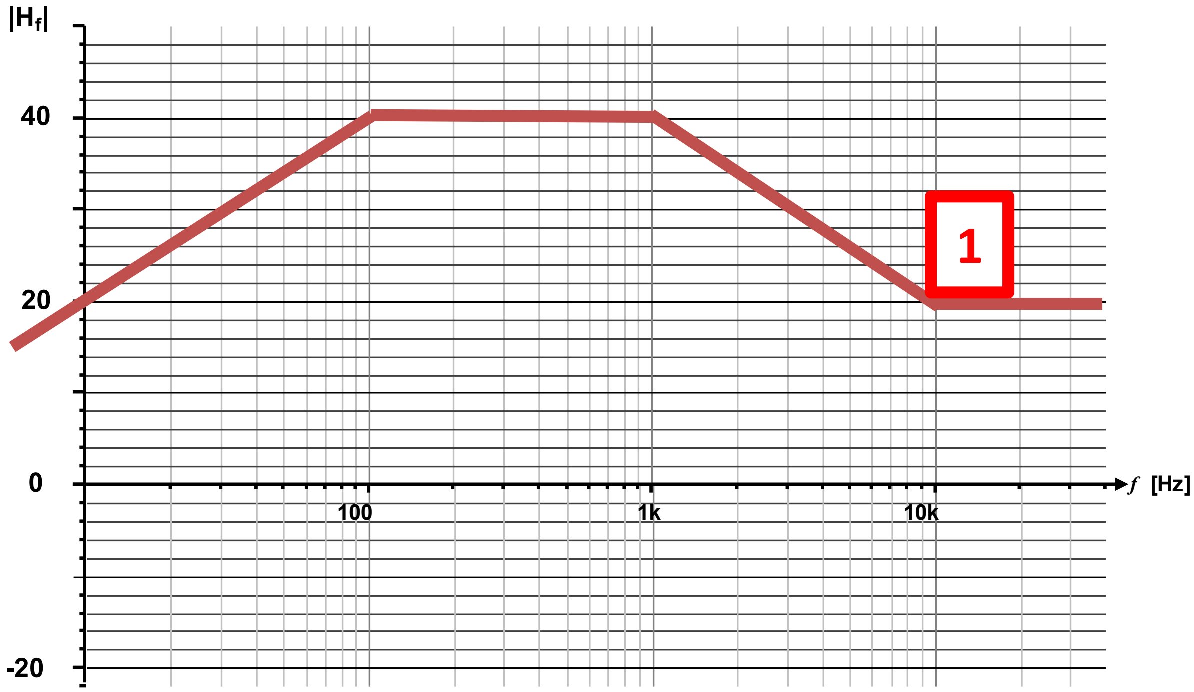
b- Etablir l'expression analytique de la nouvelle fonction de transfert **H_f (jω)= V_o /V_d,** en mettant en évidence **les pôles** et **les zéros** et tracer son diagramme de **Bode en amplitude**.

1

H_f(jω) =	$-\dfrac{R_4(R_1+R_2)}{R_3R_1}\,\dfrac{1+j\omega C_2(R_1//R_2)}{1+j\omega C_2R_2}\,\dfrac{j\omega C_fR_3}{1+j\omega C_fR_3} = -\dfrac{(R_1+R_2)}{R_1}\,\dfrac{1+j\omega C_2(R_1//R_2)}{1+j\omega C_2R_2}\,\dfrac{j\omega C_fR_4}{1+j\omega C_fR_3}$
<u>**Les pôles ω$_{pi}$:**</u>	$\omega p1 = \dfrac{1}{C_2R_2}$ $\qquad \omega p2 = \dfrac{1}{C_fR_3}$
<u>**Les zéros ω$_{zi}$:**</u>	$\omega z1 = \dfrac{R_1+R_2}{C_1(R_1R_2)}$ $\qquad \omega z2 = \dfrac{1}{C_fR_{3,4}}$

1

NOM: **PRENOM:** **N° place :..........**



3. Imperfections de l'AO : (pour cette partie considérer le circuit de la page 1)

Cas 2 : Résistances non appariées : $R_1^* \neq R_1$, $R_2^* \neq R_2$.

a- Donner le gain en mode commun, basse fréquence: $G_{MC} = V_o/V_{MC}$. (Pour cette question V_d est annulée et les capacités C_2 déconnectées).

$$G_{MC} = -\frac{R_4}{R_3}\left(\frac{(R_1+R_2)}{R_1} - \frac{(R*_1+R*_2)}{R*_1}\right) = -\frac{R_4}{R_3}\left(\frac{R_2}{R_1} - \frac{R*_2}{R*_1}\right)$$ 1

b- Calculer le gain en mode commun G_{MC} et le taux de réjection du mode commun $TRMC_{dB}$, en supposant que $R_1^* = R_1(1\text{-}10\%)$, $R_2^* = R_2(1+10\%)$. L'effet de l'appariement imparfait des résistances sur le gain différentiel est négligé **par simplification**.

1

G_{MC} = -20 ≡ 26 dB ; G_{diff} = 40 dB → $TRMC_{dB}$ = (40-26) dB = 14 dB

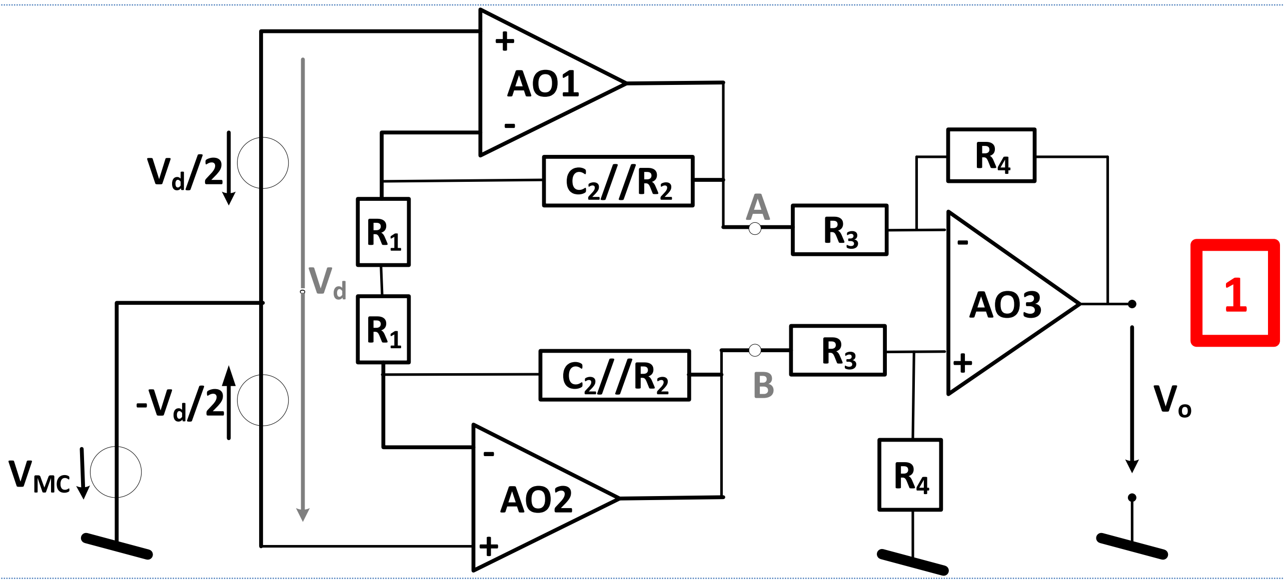
a- Donner l'expression de R_2^* permettant d'annuler l'effet mode commun.

R₂* = $$R_2 \frac{R*_1}{R_1} = 9\text{k}.\ 0.9/1 = 8100\ \Omega$$ 1

b- Proposer une **amélioration du schéma de l'amplificateur** rendant cet appariement imparfait des résistances de l'étage d'entrée sans effet sur le mode commun**. Expliquer** votre choix

Schéma amélioré :

Ampli d'instrumentation (slides 21 Chap 5)



Explication :

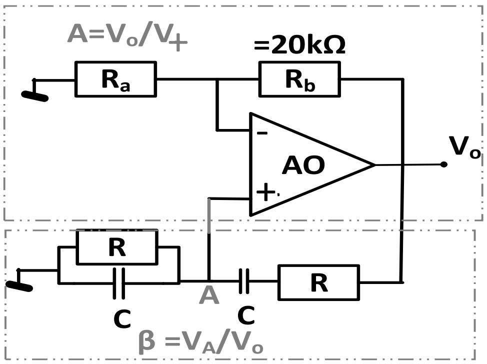
En MC, i(R1) = 0 → $V_A = V_B = V_{MC}$ quel que soit la différence entre Ri et Ri* du premier étage et donc seul le pareillement des résistances du deuxième étage engendre une amplification du mode commun.

1

NOM: **PRENOM:** **N° place :..........**

4- Oscillateur:

Soit l'oscillateur ci-dessous:



a. P $\boxed{7}$ théoriquement la fonction de transfert : $\beta(i\omega) = \frac{V_A}{V_o}$

b. Donner la valeur de RC pour que la fréquence d'oscillation soit égale à fo = 1kHz, en expliquant brièvement la démarche suivie.

c. En déduire le module $|\beta(j\omega o)|$ à la fréquence d'oscillation.

d. Donner la condition sur la **valeur de R_a** pour amorcer l'oscillation ainsi que sa valeur à l'équilibre.

e. Pour Ra, doit-en choisir une R_{NTC} (résistance dont la valeur diminue avec la température) ou une R_{PTC} (résistance dont la valeur augmente avec la température). Expliquer brièvement votre choix.

f. Déterminer les pôles et les zéros de cette fonction de transfert

Rq : *(Utiliser l'identité remarquable :*

$aX + bX + c = (X - x1)(X - x2) = x1x2(1 - X/x1)(1 - X/x2)$, *x1 et x2 sont les racines du trinôme.*)

g. Tracer le diagramme de Bode en phase est en amplitude sur un papier Lin-Log

a.

$$\boldsymbol{\beta(i\omega) = \frac{V_A}{V_o} = \frac{j\omega RC}{1 + (j\omega RC)^2 + 3j\omega RC}}$$

$\boxed{1}$

b.

$$\rightarrow Arg\left(\beta(i\omega_o)\right) = 90° - \text{Arctg}\,(3RC\omega_o/(1-(\omega_o RC)^2)) = 0$$

$$1-(\omega_o RC)^2 = 0 \;\rightarrow\; \omega_o = \frac{1}{RC} = 2\pi f_0 \qquad \boldsymbol{RC = \frac{1}{2\pi f_0} = 159\mu s}$$

$\boxed{1}$

c.

$$\boldsymbol{|\beta(i\omega_0)| = \left|\frac{j1}{3j1}\right| = \frac{1}{3}} \quad (\equiv \boldsymbol{-9.54dB})$$

$\boxed{1}$

d.

$$|\beta(i\omega_0)| = \left|\frac{j1}{3j1}\right| = \frac{1}{3} \rightarrow \text{A} = 1 + \frac{R_b}{R_a} > 3 \rightarrow \boldsymbol{R_a = \frac{R_b}{2} < 10\ k}\Omega$$

$\boxed{1}$

e.

$$R_a\ est\ une\ R_{PTC}$$

$\boxed{1}$

Explication : **Amplitude ↗ et donc T ↗ le gain doit ↘ et donc Ra ↗**

e.

$$\beta(i\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + (j\omega RC)^2 + 3j\omega RC}$$

Changement de variable X= jωRC → le dénominateur devient X2 + 3X + 1 dont les racines sont sont $x_1 = -\frac{3+\sqrt{5}}{2} = -2.62$ **et** $x_2 = -\frac{3-\sqrt{5}}{2} = -0.38$ **et donc :**

$$(j\omega RC)^2 + 3j\omega RC + 1 = (j\omega RC + 2.62)(j\omega RC + 0.38) = \underbrace{2.62 \times 0.38}_{=1}\left(1 + \frac{j\omega RC}{2.62}\right)\left(1 + \frac{j\omega RC}{0.38}\right)$$

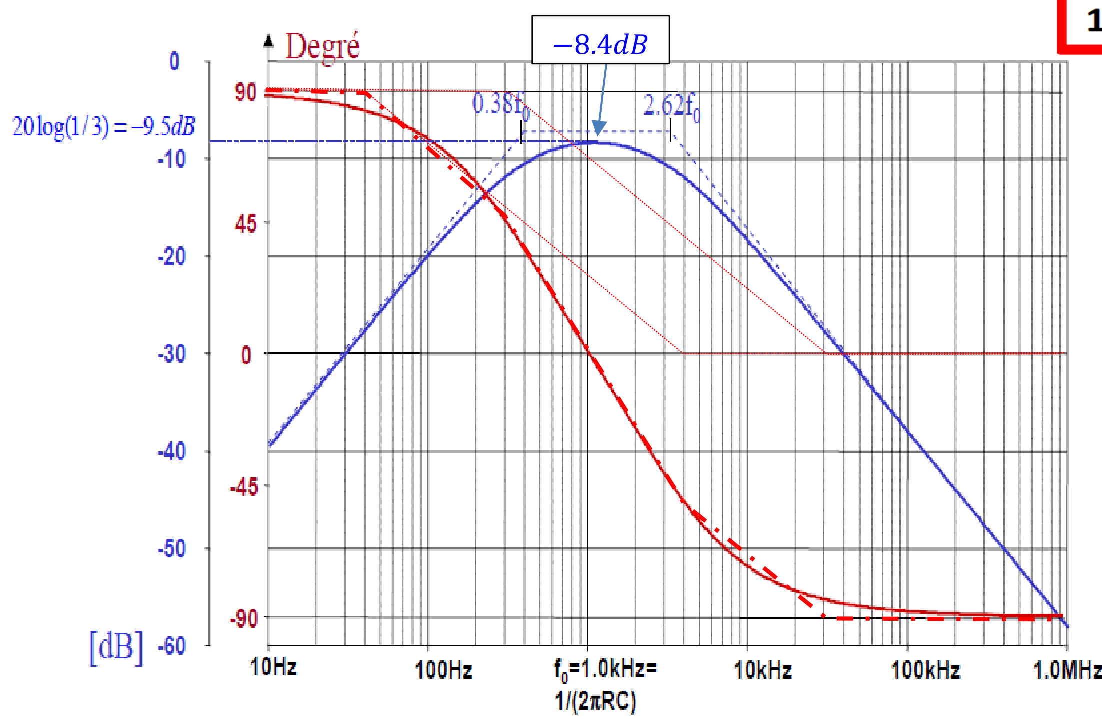
$$\rightarrow \beta(i\omega) = \frac{j\omega RC}{\left(1 + \frac{j\omega RC}{2.62}\right)\left(1 + \frac{j\omega RC}{0.38}\right)}$$

Nous avons donc un zéro et deux pôles : $\omega_z = \frac{1}{RC}; \omega_{p1} = \frac{0.38}{RC}$ et $\omega_{p2} = \frac{2.62}{RC}$

1

f.

1



La valeur maximale du diagramme de Bode (asymptote verticale) est:

$$A_0 = Max\left|\frac{\frac{j\omega}{\omega_z}}{1+\frac{j\omega}{\omega_{p1}}}\right| = \left|\frac{\omega_{p1}}{\omega_z}\right| = 0.38(ou - 8.4dB)$$