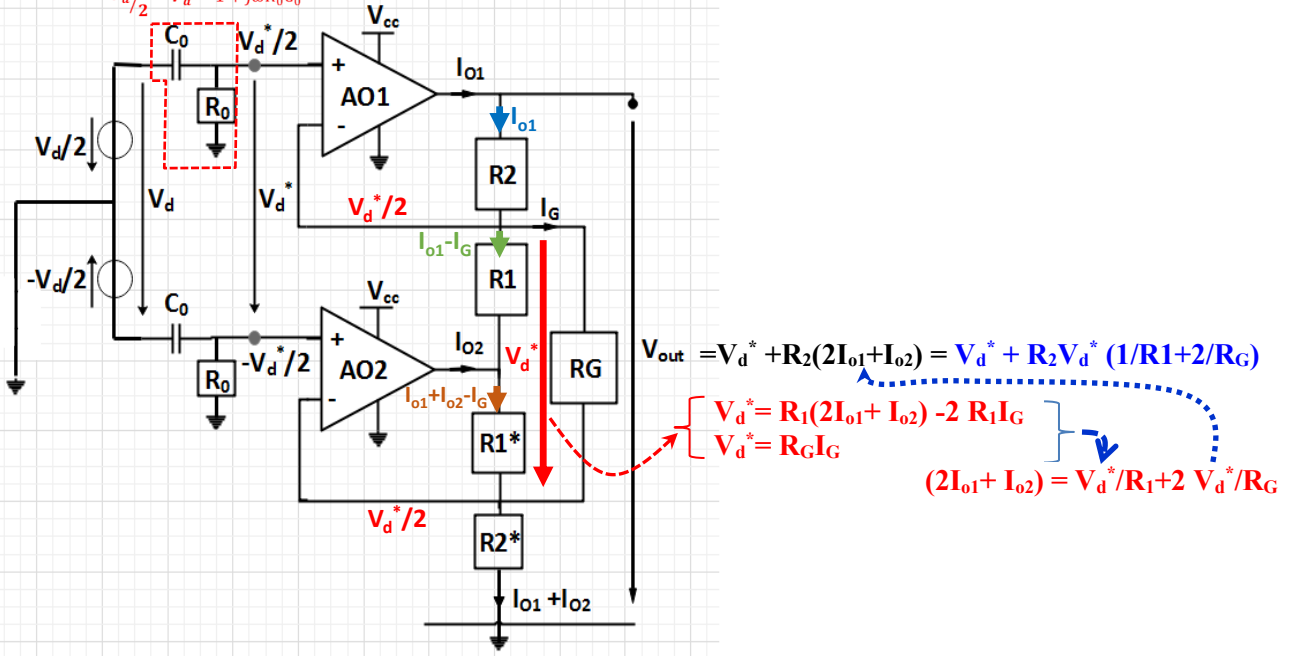


1. Amplificateur différentiel : (40 mn)

10

/30+4

Soit le circuit : $\frac{V_d^*/2}{V_d/2} = \frac{V_d^*}{V_d} = \frac{j\omega R_0 C_0}{1 + j\omega R_0 C_0}$



Cas 1 : Résistances parfaitement appariées, $R_1^* = R_1$ et $R_2^* = R_2$.

a- Donner l'expression du gain différentiel $G_{diff}^* = V_{out}/V_d^*$ en fonction de R_1 , R_2 et R_G . et $G_{diff}(j\omega) = V_{out}/V_d = V_{out}/V_d^* \cdot V_d^*/V_d$. V_{MC} est supposée nulle.

$$G_{diff}^* = \frac{R_2}{R_1} + \frac{2R_2}{R_G} + 1$$

$$G_{diff}(j\omega) = \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{2R_2}{R_G} + 1 \right) \frac{j\omega R_0 C_0}{1 + j\omega R_0 C_0}$$

- b- Calculer la valeur de R_G permettant d'obtenir un gain différentiel maximal de 40 dB lorsque $R_1 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}$ et $R_2 = 10 \text{ [k}\Omega\text{]}$. Donner la valeur de R_0C_0 pour que la fréquence de coupure soit 10 Hz.

$$R_G = 224.7 \Omega$$

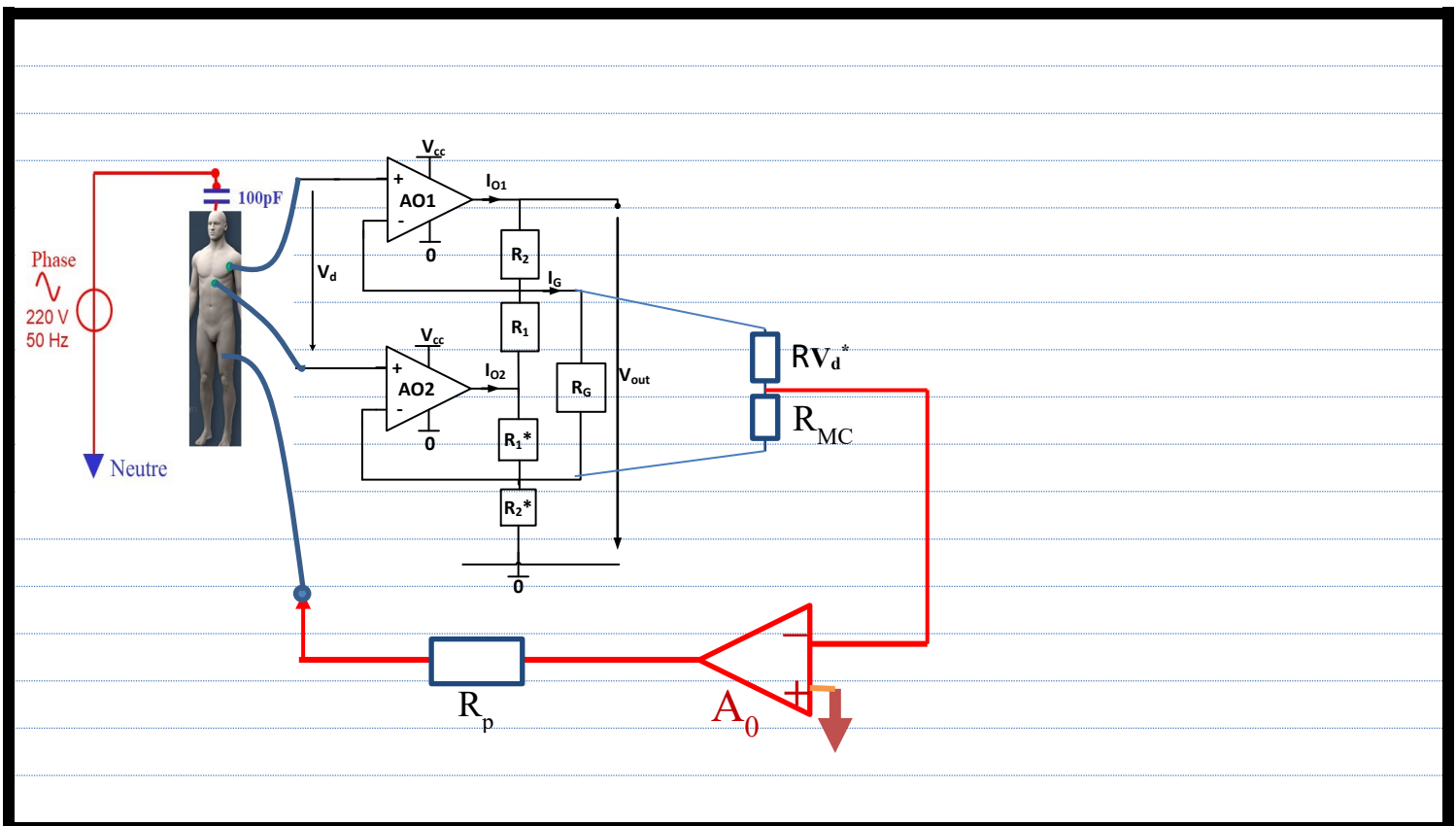
$$R_0C_0 = 15.9 \text{ ms}$$

Cas 2 : Résistances non appariées ($R_1^* \neq R_1$ et $R_2^* \neq R_2$).

- c- Donner le gain en mode commun $G_{MC} = V_{out}/V_{MC}$ en fonction des résistances. V_d est supposée nulle et la fréquence de V_{MC} très grande par rapport à 10 Hz (c.à.d. C_0 court-circuitée)

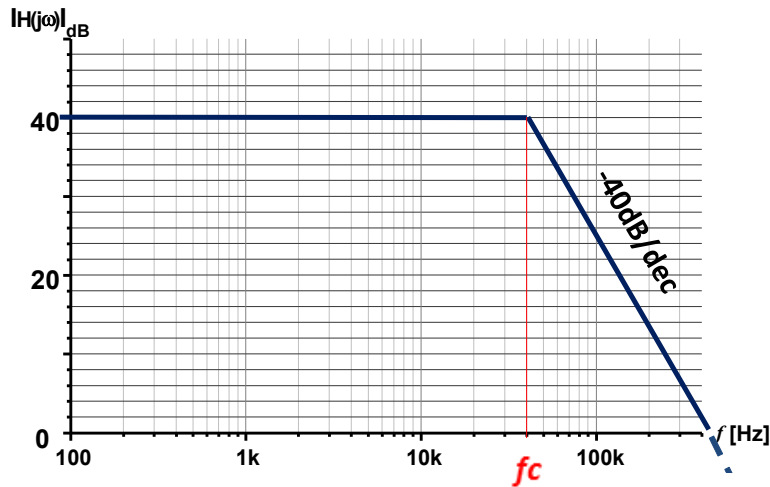
$$G_{MC} = 1 - \frac{R_2}{R_2^*} \frac{R_1^*}{R_1}$$

- d- Compléter le schéma de cet amplificateur en implémentant la technique « Right-Leg Drive » dans l'optique d'une utilisation ECG.



2. Filtrage de V_{out} (20 mn)

- a- Donner deux architectures possibles de filtres à ajouter à la sortie de l'amplificateurs différentiel pour que la fonction de transfert globale ($H(j\omega) = V_{out, Filtre} / V_d$) se comporte en haute fréquences comme ci-dessous. Donner la formule $H(j\omega)$ et dimensionner les éléments du filtre (prendre au moins une des résistances = 1 k Ω).



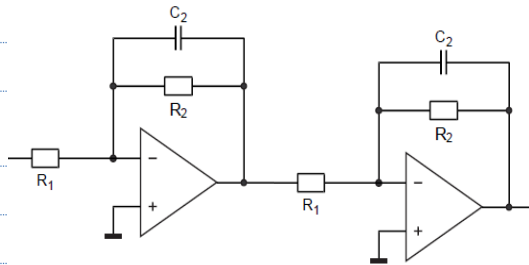
$$H(j\omega) = \frac{G_{diff}(j\omega)}{(1 + j\omega R_2 C_2)^2}$$

Filtre 1 (avec dimensions des éléments)

$$R_2 C_2 = 1/(2\pi f_c) = 3.97 \mu s$$

$$R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C_2 = 3.97 \text{ nF}$$

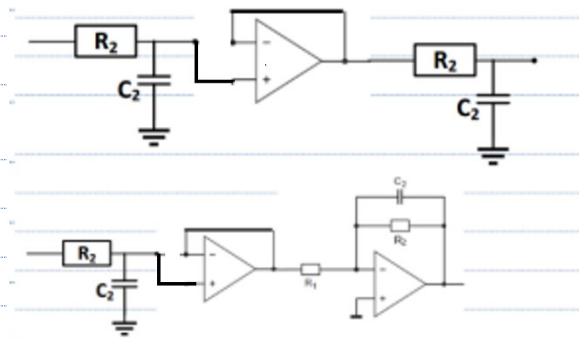


Filtre 2: (avec dimensions des éléments)

$$R_2 C_2 = 1/(2\pi f_c) = 3.97 \mu s$$

$$R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C_2 = 3.97 \text{ nF}$$



3. Calcul du bruit (20 mn)

- a- Estimer la valeur efficace (σ) et la valeur crête à crête maximale ($v_{n,p-p,max} = 6\sigma$) du bruit en [mV] à la sortie du filtre et donner la formule permettant ce calcul.

Négliger l'effet du filtrage basse fréquence due à R_0C_0 et considérer seulement la source de bruit dominante à savoir le bruit thermique blanc de 30 [nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$] de chacun des deux Amplis OA1 et OA2 à l'entrée du système.

Rappel : $\int \frac{dx}{x^2+1} = \text{Arctg}(x) + C$ et $\int \frac{dx}{(x^2+1)^2} = \frac{1}{2} \text{Arctg}(x) + \frac{1}{2} \frac{x}{x^2+1} + C$

Formule :	Valeur: [mV]
Deux ampli d'où le 2x ds Pn :	
$P_n(f) = 2 \times (30)^2 \text{ [nV}^2/\text{Hz]} \text{ et } H(j2\pi f) ^2 = \frac{100^2}{\left(1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right)^2}$	$\sigma = 0.75 \text{ mV}$
$P_n = \int_0^{\infty} P_n(f) \cdot H(j2\pi f) ^2 df = 2 \times 30^2 100^2 f_c \frac{\pi}{4} \text{ [nV}^2] = 0.56 \text{ [mV}^2]$	$v_{n,p-p,max} = 6\sqrt{2} \times 0.53 \text{ mV} \approx 4.5 \text{ mV}$
$\sigma = v_{n,eff} = \sqrt{P_n} = \sqrt{2 \times 30^2 100^2 4 \cdot 10^4 \frac{\pi}{4} \text{ nV}} = 0.6 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \text{ mV}$ $v_{n,p-p,max} = 6\sigma$	

Pour la suite prenez par défaut une valeur crête à crête du bruit à la sortie du filtre de 5mV.

4. Convertisseur : Comparateur, Echantillonnage et Oscillateur (1h)

12 +2

Un convertisseur Flash supposé idéal est utilisé pour convertir le signal à la sortie du filtre. Le signal V_d à l'entrée du système de mesure à une amplitude crête à crête maximal de 7mV.

- a- En tenant compte du gain total et du bruit, donner la plage de variation pleine échelle (FS) et le nombre de bits du convertisseur maximal (N_{max}) qu'on peut utiliser.

$FS = 7 \text{ mV} \times 100 = 0.7V$

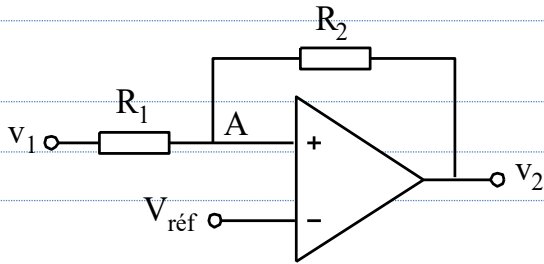
Le LSB min doit être supérieur à $v_{n,p-p,max}$, pour ne pas s'encombrer avec des bits qui ne correspondent rien (juste à du bruit). donc

$N_{max} = \log_2(FS/LSB_{min}) = \log_2(0.7V/5mV) \approx 7$

- b- Proposer pour ce convertisseur, un comparateur non-inverseur insensible au bruit et dimensionner ses éléments. Le signal de sortie du comparateur varie de $V_L = 0 \text{ V}$ à $V_H = 2 \text{ V}$.

Schéma :

Le ΔV_T de chaque comparateur doit aussi être supérieur à $v_{n,p-p,max}$, là aussi pour ne pas avoir des piques erronés à la sortie des comparateurs.



$$\Delta V_T = (V_H - V_L) \frac{R_1}{R_2} = 5 \text{ mV}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = 2.5 \cdot 10^{-3}$$

Valeur des résistances :

$$\text{Ex : } R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 400 \text{ k}\Omega$$

- c- La fréquence maximale f_{max} du signal utile correspond à un gain $G_{max} - 3\text{dB}$. Exprimer f_{max} en fonction de f_c (fréquence de coupure du filtre) et donner sa valeur. Déduire la fréquence d'échantillonnage minimale $f_{ech,min}$ du convertisseur.

Formule :

$$f_{max} = f_c \sqrt{\sqrt{2} - 1}$$

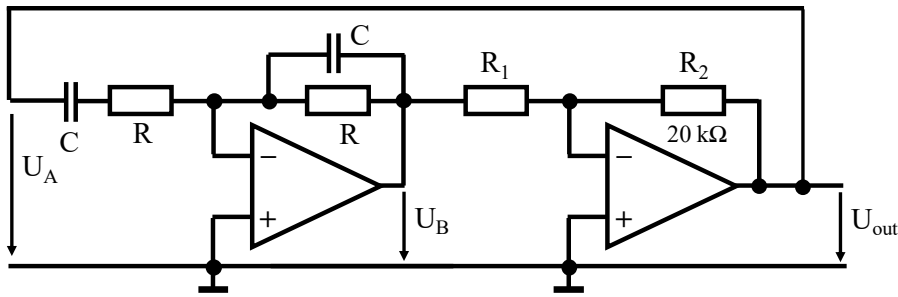
$$f_{ech,min} = 2 \cdot f_{max}$$

$$= 2 \cdot f_{max} = 51.48 \text{ kHz}$$

Valeur :

$$f_{max} = 25,74 \text{ kHz}$$

- d- Pour générer le signal d'échantillonnage, utiliser l'oscillateur ci-dessous :



- Donner la valeur de RC pour que la fréquence d'oscillation soit égale à $f_{ech,min}$, en expliquant brièvement la démarche suivie.
- Donner la condition sur la valeur de R_1 pour amorcer l'oscillation ainsi que sa valeur à l'équilibre.
- Pour R_1 , doit-on 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.

a. Valeur de RC

$$RC = 3\mu s$$

Démarche :

$$A(i\omega) = \frac{U_B}{U_A} = -\frac{j\omega RC}{(1+j\omega RC)^2} \rightarrow \text{Arg}(A(i\omega_0)) = 180^\circ + 90^\circ - 2\text{Arctg}(RC\omega_0)$$

$$\text{à } \omega_0 = 2\pi f_0 \rightarrow \text{Argument}(U_B(\omega_0)/U_A(\omega_0)) = 180^\circ = 180^\circ + 90^\circ - 2\text{Arctg}(RC\omega_0)$$

$$\rightarrow RC\omega_0 = RC \cdot 2\pi f_0 = \text{tg}(45) = 1$$

$$|A(i\omega)|_{\omega_0=1/RC} = 0.5$$

b. Condition sur R_1 pour amorcer l'oscillation :

$$\text{Condition sur } R_1 \text{ pour amorcer l'oscillation : à } t = 0 : |U_{out}(\omega_0)/U_A(\omega_0)| > 1 \rightarrow R_1 < 10 \text{ k}\Omega$$

$$U_{out}(\omega_0)/U_A(\omega_0) = U_{out}(\omega_0)/U_B(\omega_0) \cdot U_B(\omega_0)/U_A(\omega_0) = -R_2/R_1 \cdot 0.5$$

$$\text{Valeur de } R_1 \text{ à l'équilibre : } R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

c. R_{NTC} ou R_{PTC} ?

R_{PTC}

Explication :