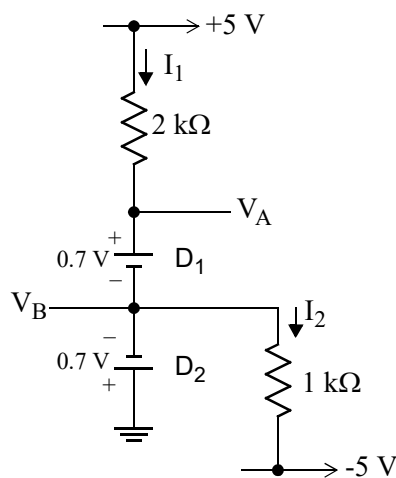


Problème no. 1 (25 points)

a)

Déterminer les courants I_1 , I_2 et les tensions V_A , V_B en utilisant le modèle à V_F constante pour les diodes. (12 points)Posons l'hypothèse que D_1 et D_2 sont passantes. On a le circuit équivalent suivant.

$$V_B = -0.7 \text{ V}$$

$$V_A = 0 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{5\text{V} - 0\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 2.5\text{mA}$$

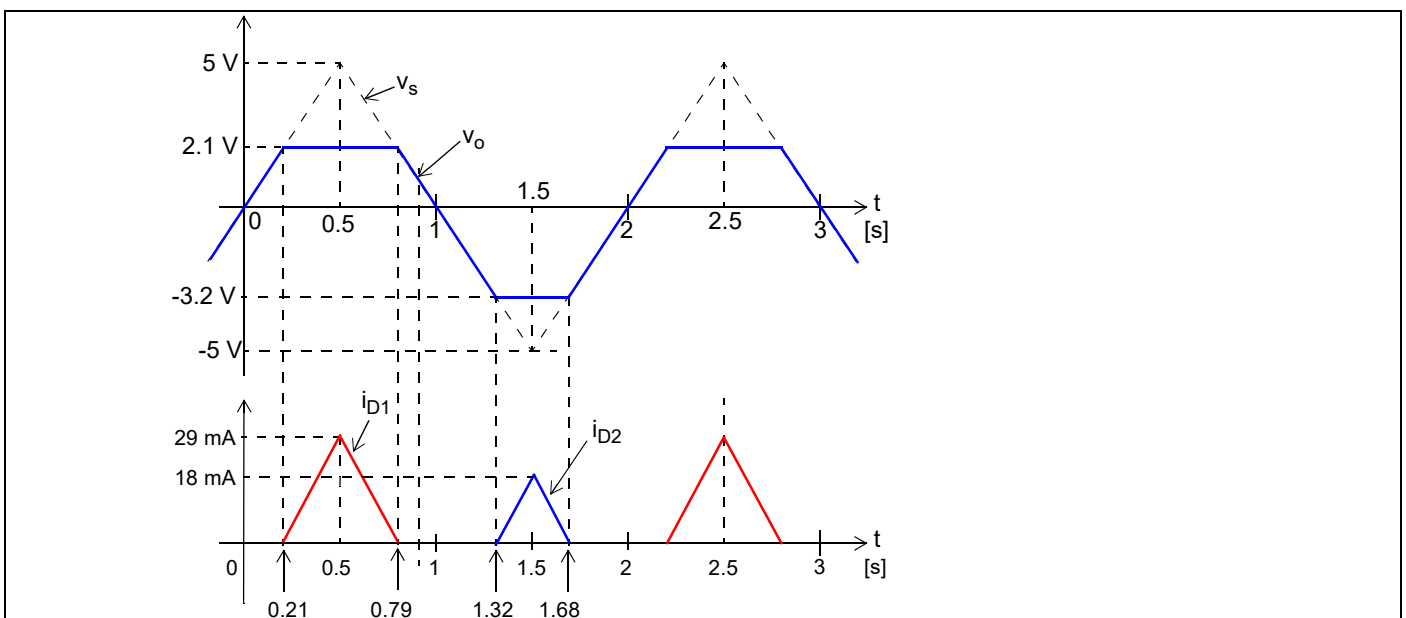
$$I_2 = \frac{5\text{V} - 0.7\text{V}}{1\text{k}\Omega} = 4.3\text{mA}$$

$$I_{D1} = 2.5 \text{ mA}$$

$$I_{D2} = (4.3 - 2.5) \text{ mA} = 1.8 \text{ mA}$$

Conclusion : L'hypothèse est vérifiée

b)

- En utilisant le modèle à V_F constante pour les LEDs, **déterminer** et **tracer** en fonction du temps la tension de sortie v_o . (7 points)La LED₁ (Rouge) conduit lorsque v_s est positive et plus grande que 2.1 V.La LED₂ (Bleu) conduit lorsque v_s est négative et plus négative que -3.2 V.Lorsque les LEDs sont bloquées, la tension v_o est égale à v_s .Lorsque la LED₁ conduit, la tension v_o est limitée à 2.1 V.Lorsque la LED₂ conduit, la tension v_o est limitée à -3.2 V.

- Déterminer et tracer en fonction du temps les courants i_{D1} et i_{D2} dans les LEDs. (6 points)

Lorsque la LED1 conduit, le courant dans cette LED est égal à:

$$i_{D1} = \frac{v_s - 2.1}{100}$$

La valeur maximale de i_{D1} est atteinte lorsque $v_s = 5$ V: $i_{D1}(\max) = \frac{5 - 2.1}{100} = 29$ mA.

Lorsque la LED2 conduit, le courant dans cette LED est égal à:

$$i_{D2} = \frac{-v_s - 3.2}{100}$$

La valeur maximale de i_{D2} est atteinte lorsque $v_s = -5$ V: $i_{D2}(\max) = \frac{-(-5) - 3.2}{100} = 18$ mA.

Problème no. 2 (25 points)

a) **Déterminer et tracer** en fonction du temps le courant $i_B(t)$, le courant $i_C(t)$ et la tension $v_C(t)$. (10 points)

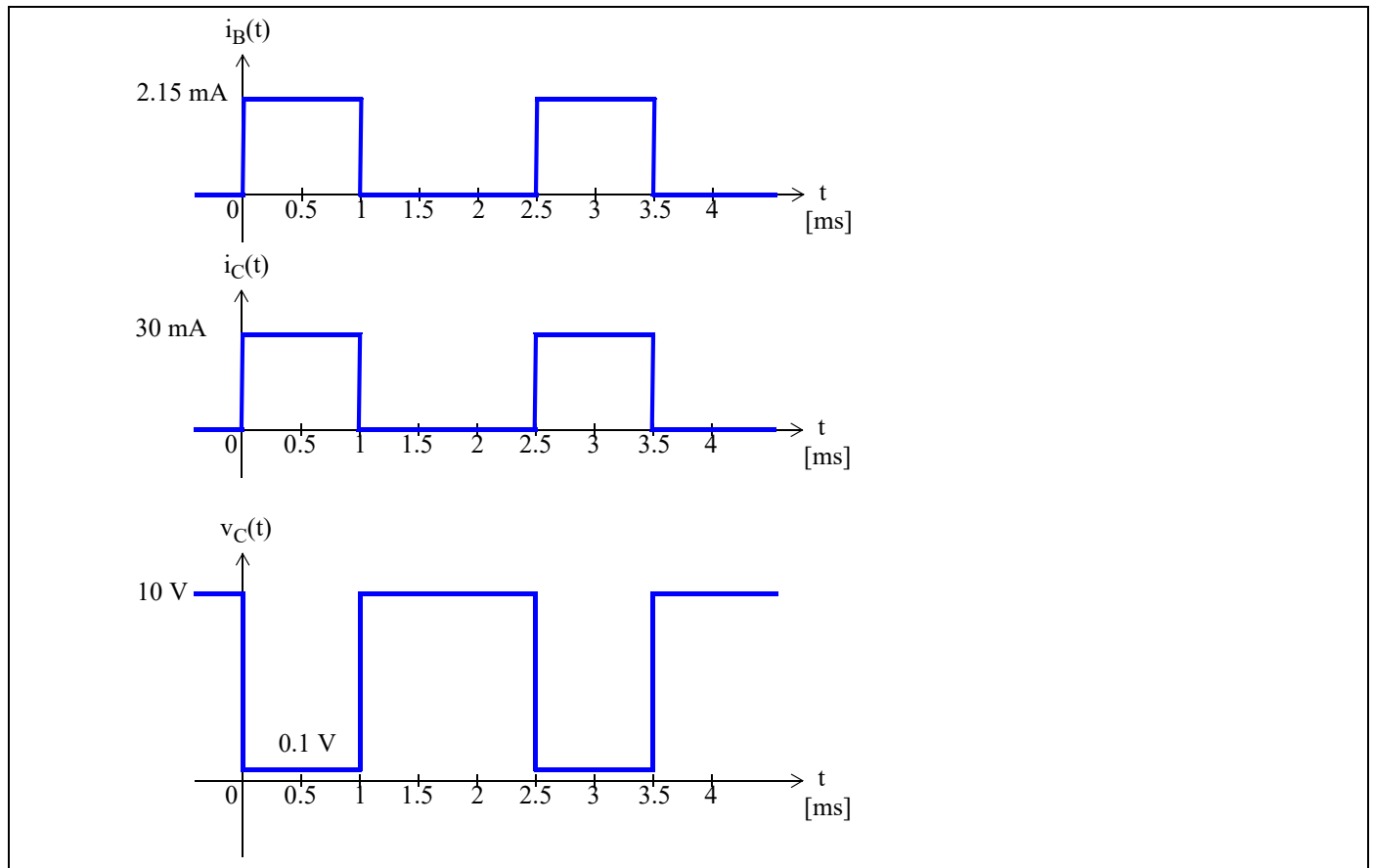
Le courant $i_B(t)$ est égal à:
$$i_B(t) = \frac{v_s(t) - V_{BE}}{2k\Omega} = \frac{v_s(t) - 0.7}{2k\Omega}$$

Lorsque $v_s = 0$ V, le courant i_B est égal à 0. Le transistor est alors bloqué. Le courant i_C est égal 0. La tension v_C est égale à 10 V.

Lorsque $v_s = 5$ V, le courant i_B est égal à:
$$i_B(\max) = \frac{5 - 0.7}{2k\Omega} = 2.15 \text{ mA.}$$

Le transistor est alors en saturation. La tension v_C est égale à $V_{CE}(\text{sat}) = 0.1$ V.

Le courant i_C est égal à:
$$i_C(\max) = \frac{10 - V_{CE}(\text{sat})}{330\Omega} = \frac{10 - 0.1}{330\Omega} = 30 \text{ mA}$$



b) **Déterminer** la valeur moyenne du courant $i_C(t)$. (5 points)

La valeur moyenne du courant $i_C(t)$ est:
$$i_C(\text{moy}) = \frac{30 \text{ mA} \times 1 \text{ ms}}{2.5 \text{ ms}} = 12 \text{ mA.}$$

c) **Déterminer et tracer** en fonction du temps la tension $v_C(t)$, le courant $i_C(t)$ et le courant $i_D(t)$. (7 points)

Comme avant, le courant $i_B(t)$ est égal à:
$$i_B(t) = \frac{v_s(t) - V_{BE}}{2k\Omega} = \frac{v_s(t) - 0.7}{2k\Omega}$$

Lorsque $v_s = 0$ V, le courant i_B est égal à 0. Le transistor est alors bloqué. Le courant i_C est égal 0.

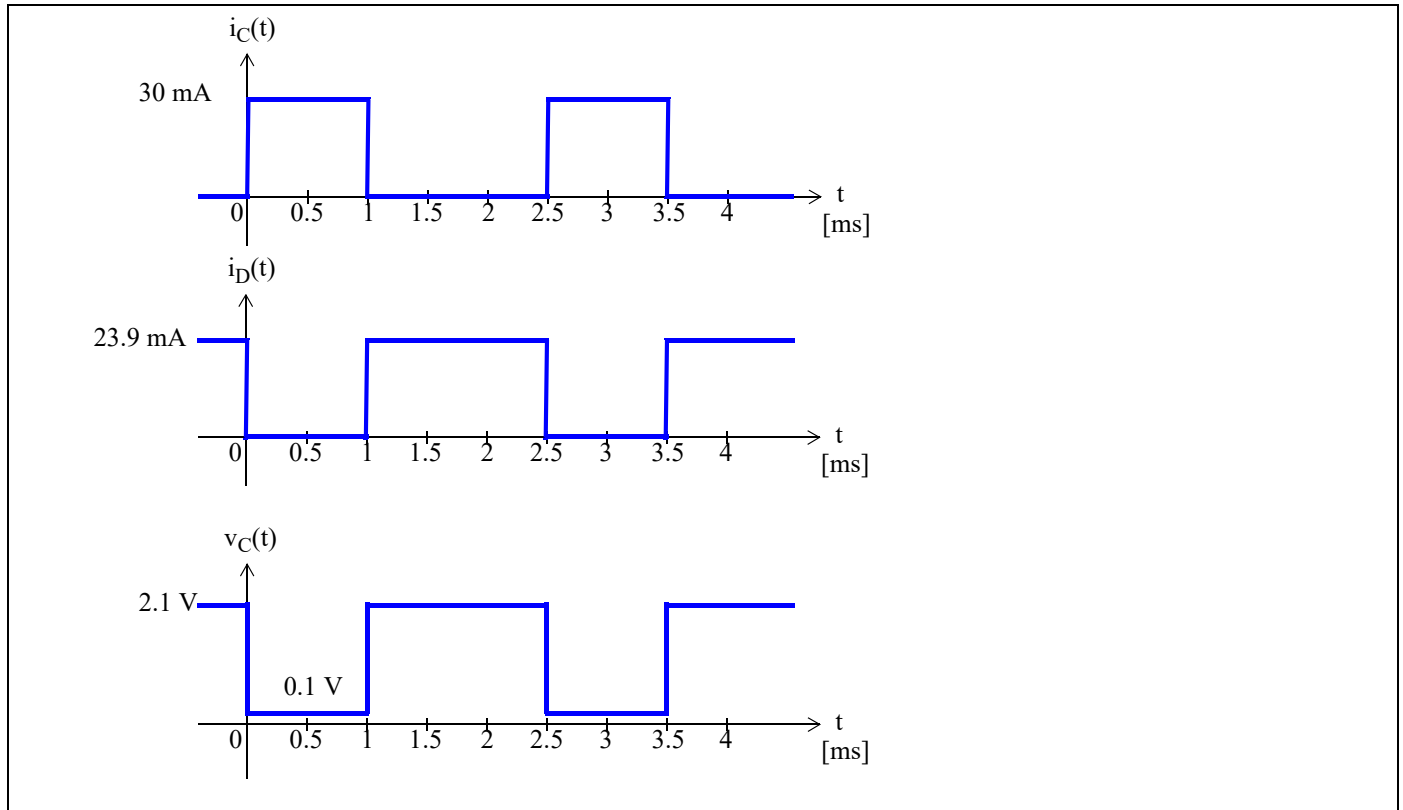
La LED rouge va conduire. La tension à ses bornes est égale à 2.1 V. La tension v_C est égale à 2.1 V.

Le courant dans la LED rouge est alors égal à
$$i_D = \frac{10 - 2.1}{330\Omega} = 23.9 \text{ mA}$$

Lorsque $v_s = 5 \text{ V}$, le courant i_B est égal à: $i_B(\text{max}) = \frac{5 - 0.7}{2\text{k}\Omega} = 2.15 \text{ mA}$.

Le transistor est alors en saturation. La tension v_C est égale à $V_{CE}(\text{sat}) = 0.1 \text{ V}$. La LED rouge est alors bloquée

Le courant i_C est égal à: $i_C(\text{max}) = \frac{10 - V_{CE}(\text{sat})}{330\Omega} = \frac{10 - 0.1}{330\Omega} = 30 \text{ mA}$

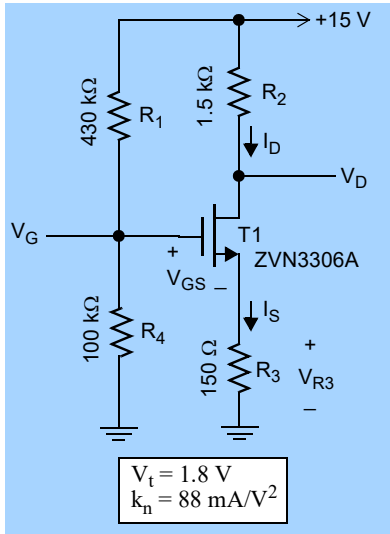


Calculer la valeur moyenne du courant $i_D(t)$ dans la LED rouge. (3 points)

La valeur moyenne du courant $i_D(t)$ est: $i_D(\text{moy}) = \frac{23.9\text{mA} \times 1.5\text{ms}}{2.5\text{ms}} = 14.34 \text{ mA}$.

Problème no. 3 (25 points)

a) **Faire l'analyse DC** du montage pour **déterminer** le point de fonctionnement (I_D , V_{DS}) du MOSFET. (10 points)



La tension V_G est: $V_G = \frac{100}{100 + 430} \times 15V = 2.83V$

Équation du circuit d'entrée:

$$V_G = V_{GS} + R_3 I_D = (V_t + V_{OV}) + R_3 (0.5 k_n V_{OV}^2)$$

$$2.83 = (1.8 + V_{OV}) + 150 \times 0.5 \times 88 \times 10^{-3} \times V_{OV}^2$$

$$0 = 6.6 V_{OV}^2 + V_{OV} - 1.03$$

Deux solutions: -0.478 et 0.3265. On choisit $V_{OV} = 0.3265V$

Le courant I_D est:

$$I_D = 0.5 k_n V_{OV}^2 = 0.5 \times 88 \times 10^{-3} \times (0.3265)^2 = 4.69 \text{ mA}$$

La tension V_D est:

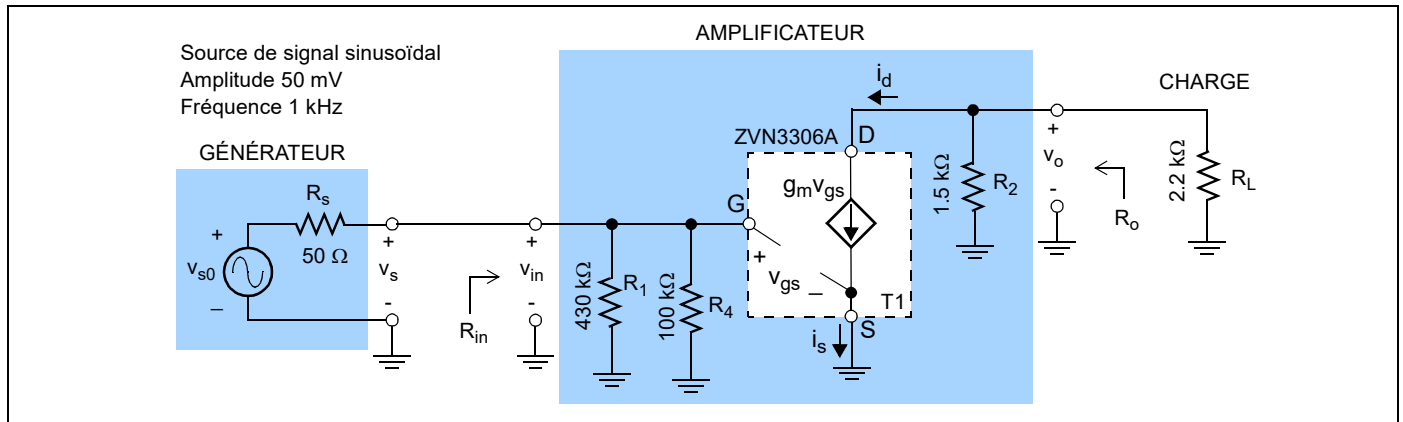
$$V_D = 15V - R_2 I_D = 15V - (1.5k\Omega \times 4.69\text{mA}) = 7.965V$$

b) **Calculer** la transconductance g_m du MOSFET (à I_D = valeur DC calculée dans la question a) (5 points)

La transconductance g_m est: $g_m = \frac{2I_D}{V_{OV}} = \frac{2 \times 4.69\text{mA}}{0.3265V} = 28.73 \text{ mS}$

c) À l'aide d'un circuit équivalent petit signal de l'amplificateur, **calculer** la résistance d'entrée R_{in} , la résistance de sortie R_o et le gain en tension (sans charge) $A_{v0} = \left. \frac{v_o}{v_{in}} \right|_{R_L = \infty}$ de l'amplificateur. (10 points)

Le circuit équivalent petit signal de l'amplificateur est montré dans la figure suivante.



La résistance d'entrée est: $R_{in} = 430k\Omega \parallel 100k\Omega = 81.13k\Omega$

La résistance de sortie est: $R_o = 1.5k\Omega$

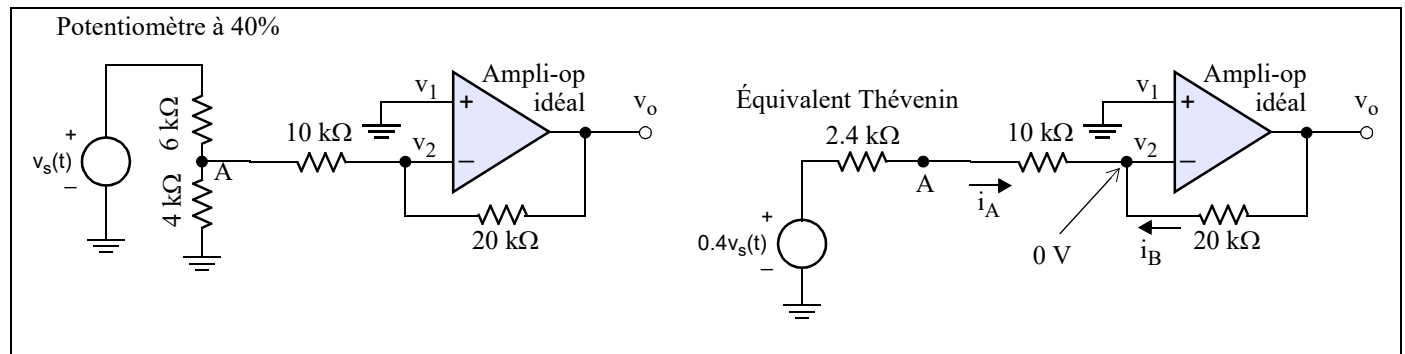
Lorsqu'il n'y a pas de charge, le signal v_o est égal à: $v_o = -R_2 i_d = -R_2 g_m v_{gs} = -R_2 g_m v_{in}$

Le gain en tension (sans charge) est: $A_{v0} = \frac{v_o}{v_{in}} = -R_2 g_m = -1.5k\Omega \times 28.73\text{mS} = -43$

Problème no. 4 (25 points)

a)

- Le potentiomètre est ajusté à la position 40%. **Calculer** le gain en tension $A_v = \frac{v_o}{v_s}$ pour ce cas. (7 points)



La tension v_2 est égale à 0 V.

Le courant i_A est égal à:
$$i_A = \frac{0.4v_s}{2.4\text{ k}\Omega + 10\text{ k}\Omega} = \frac{0.4v_s}{12.4\text{ k}\Omega}$$

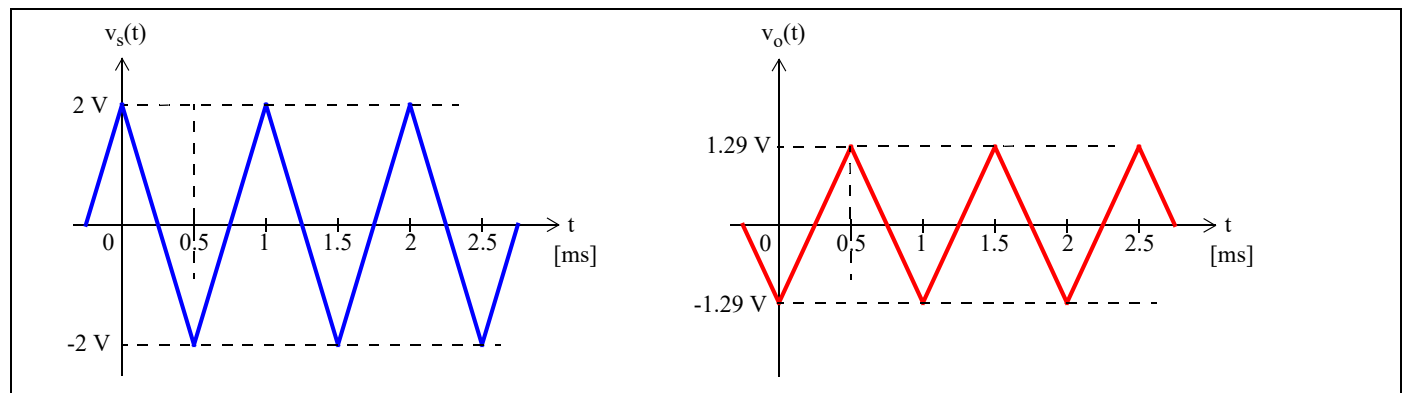
Le courant i_B est égal à:
$$i_B = \frac{v_o}{20\text{ k}\Omega}$$

On a: $i_A = -i_B$

Ou bien:
$$\frac{0.4v_s}{12.4\text{ k}\Omega} = -\frac{v_o}{20\text{ k}\Omega}$$

On déduit le gain en tension pour ce cas:
$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{0.4 \times 20\text{ k}\Omega}{12.4\text{ k}\Omega} = -0.645$$

- **Tracer** en fonction du temps le signal de sortie $v_o(t)$ pour ce cas. (3 points)



b)

Déterminer le taux de rétroaction β . (3 points)

Le taux de rétroaction est égal à:
$$\beta = \frac{4.7k\Omega}{4.7k\Omega + 47k\Omega} = \frac{1}{11}$$

Calculer le gain en tension $A_v = \frac{v_o}{v_i}$, la résistance d'entrée R_i et la résistance de sortie R_o de l'amplificateur.

(9 points)

Le gain en tension est égal à:
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A_0}{1 + \beta A_0} = \frac{100000}{1 + \left(\frac{1}{11} \times 100000\right)} = 11$$

La résistance d'entrée est égale à:
$$R_i = r_i(1 + \beta A_0) = 2M\Omega \times \left(1 + \left(\frac{1}{11} \times 100000\right)\right) = 18184M\Omega$$

La résistance de sortie est égale à:
$$R_o = \frac{r_o}{1 + \beta A_0} = \frac{100\Omega}{1 + \left(\frac{1}{11} \times 100000\right)} = 0.011\Omega$$

Déterminer la largeur de bande de l'amplificateur. (3 points)

La fréquence de coupure est la largeur de bande de l'amplificateur:

$$f_{Cf} = \frac{f_T}{A_v} = \frac{1MHz}{11} = 90.91 \text{ kHz}$$