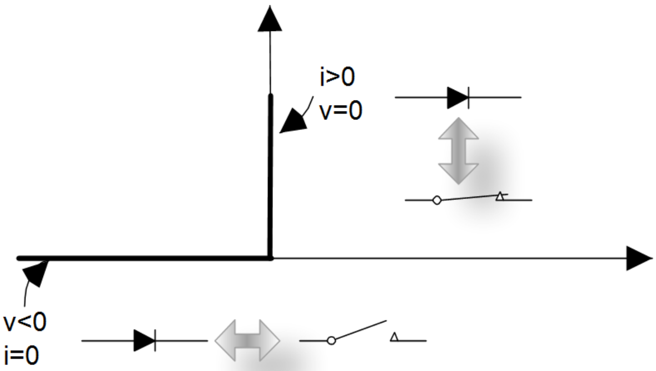
SMP4 : Correction Examen Electronique **Année : 2018-2019**
Sections A/B

Exercice 1 :

1. La caractéristique $i - v$ de la diode idéale est représentée ci dessous :



2. On suppose que la diode conduit. Le circuit de la figure 1 devient celui de la figure 1a qui est également équivalent à celui de la figure 1b.

La loi des mailles nous pemet d'écrire :

$$-v_i + R_2 i + E_1 = 0$$

$$i = \frac{v_i - E_1}{R_2} > 0$$

Soit $v_i > E_1$. La diode conduit si $v_i > E_1$ et elle est bloquée dans le cas contraire.

3. Lorsque la diode est conductrice, on a :

$$v_0 = E_1 = 6V$$

Sinon, la diode sera bloquée et le circuit de la figure 1 devient celui de la figure 1c.

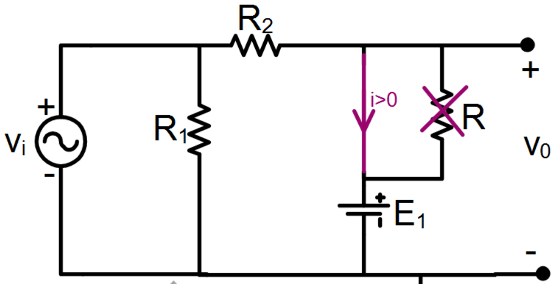


Fig.1a

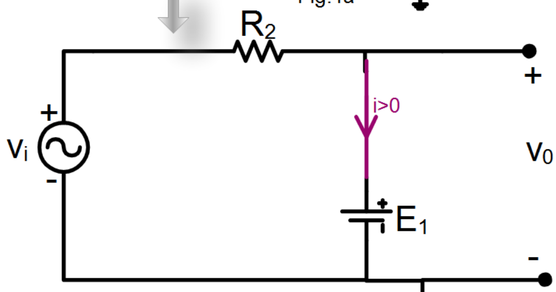


Fig.1b

Le théorème de Millman entraîne :

$$\begin{aligned} v_0 &= \frac{\frac{v_i}{R_2} + \frac{E_1}{R}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R}} \\ &= \frac{R}{R_2 + R} v_i + \frac{R}{R_2 + R} E_1, \quad R_2 = R \\ v_0 &= \frac{1}{2} v_i + \frac{1}{2} E_1 \end{aligned}$$

Il s'ensuit que :

$$v_0 = \begin{cases} \frac{1}{2} v_i + 3V & \text{si} \quad v_i < 6V \\ 6V & \text{si} \quad v_i \geq 6V \end{cases}$$

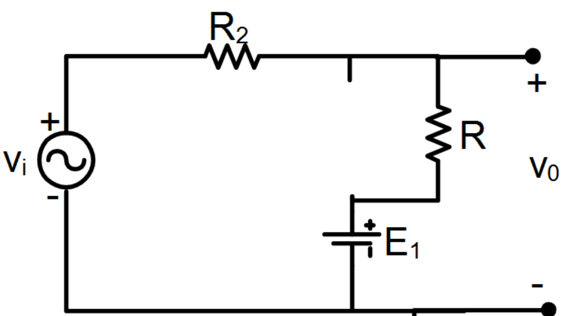
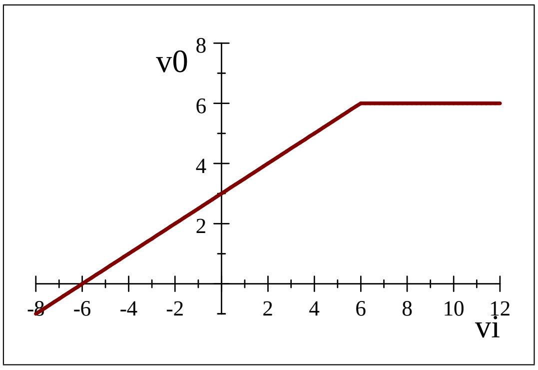


Fig.1c

3. La caractétristique $v_0 = f(v_i)$ est représentée à la figure ci-dessous.



Caractéristique de transfert

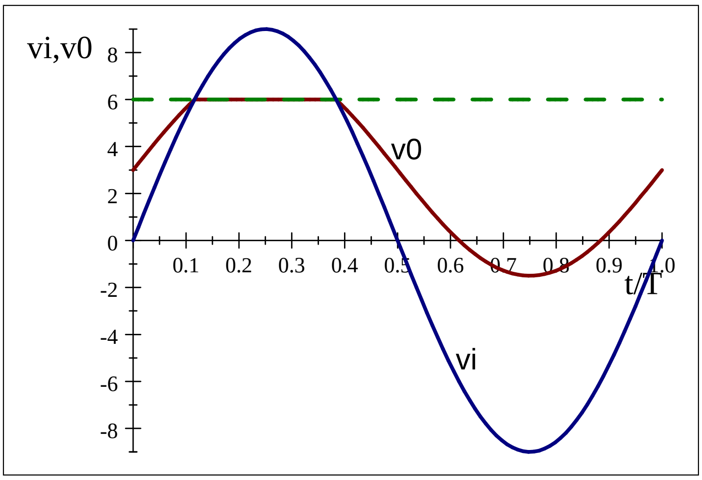
4. La tension d'entrée v_i est supérieure à $6V$ dans l'intervalle $t_0 < t < \frac{T}{2} - t_0$ tel que :

$$\begin{aligned} \frac{t_0}{T} &= \frac{1}{2\pi}\arcsin(\frac{E_1}{E}) \\ &= \frac{1}{2\pi}\arcsin(\frac{6}{9}) \\ &= 0.116 \end{aligned}$$

La diode est bloquée si $\frac{t_0}{T} = 0.116 < \frac{t}{T} < \frac{1}{2} - 0.116 = 0.384$. Elle est conductrique pour $0 < \frac{t}{T} < 0.116$ ou $0.384 < \frac{t}{T} < 1$ La tension de sortie s'écrit :

$$v_0 = \begin{cases} \frac{9}{2}\sin(2\pi\frac{t}{T}) + 3 & \text{si} \quad 0 < \frac{t}{T} < 0.116 \\ 6 & \text{si} \quad 0.116 < \frac{t}{T} < 0.384 \\ \frac{9}{2}\sin(2\pi\frac{t}{T}) + 3 & \text{si} \quad 0.384 < \frac{t}{T} < 1 \end{cases}$$

La figure ci-dessous représente l'évolution de la tension de sortie v_0 et celle de l'entrée v_i.

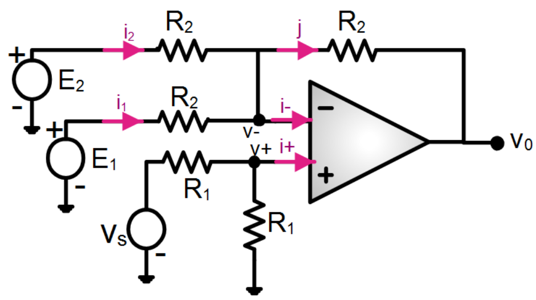


Exercice 2 :

1. L'amplificateur opérationnel du circuit de la figure 2 est idéal. Il est donc caractérisé par une impédance d'entrée infinie, une impédance de sortie nulle et un gain en tension en boucle ouverte infini. On en déduit que :

$$\begin{aligned} v^+ &\simeq v^-, \quad \textit{Potentiels aux entrées} \\ i^+ &= i^- = 0, \quad \textit{Courants aux entrées.} \end{aligned}$$

2. La loi des noeuds au noeud à potentiel v^- s'écrit (Cf. figure ci-dessous) :



$$i_i + i_2 = j$$

Soit :

$$\begin{aligned}\frac{E_1 - v^-}{R_2} + \frac{E_2 - v^-}{R_2} &= \frac{v^- - v_0}{R_2} \\ v^- &= \frac{1}{3}\left(v_0 + E_1 + E_2\right)\end{aligned}$$

3. La loi 'diviseur de tension' au point à potentiel v^+ se traduit par :

$$v^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_1} V_s = \frac{1}{2} V_s$$

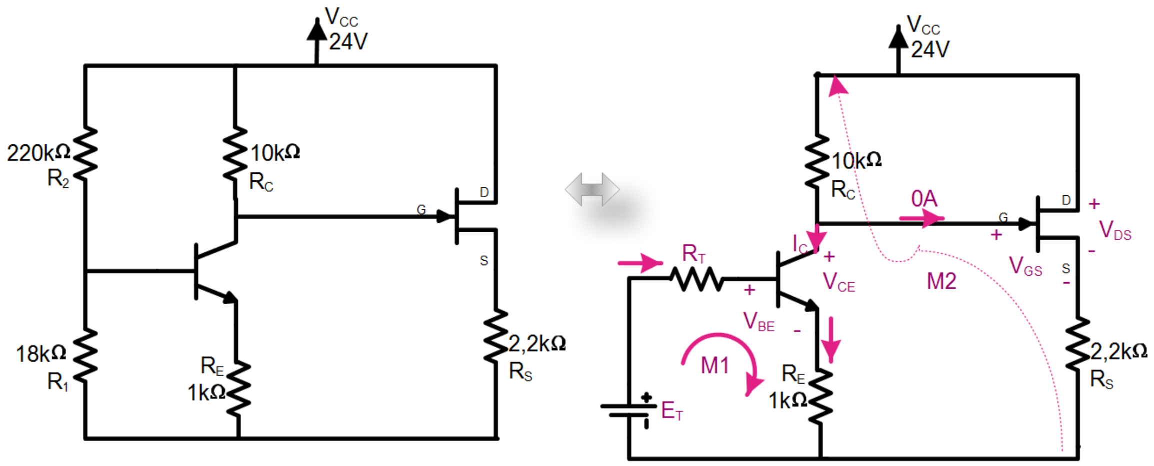
4. Compte tenu du fait que $v^+ = v^-$, on déduit que :

$$\frac{1}{2} V_s = \frac{1}{3}\left(v_0 + E_1 + E_2\right)$$

D'où $v_0 = \frac{3}{2} V_s - E_2 - E_1$.

Exercice 3 :

1. **Schéma en statique**



$$\begin{aligned} E_T &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} \\ &= \frac{18}{18 + 220} 24V \simeq 1.82V \\ R_T &= \left(1/R_1 + 1/R_2\right)^{-1} \\ &= \left(1/18 + 1/220\right)^{-1} k\Omega \simeq 16.6 k\Omega \end{aligned}$$

On suppose le mode actif direct pour le bipolaire et le mode de saturation pour le FET.

Maille M1 :

$$\begin{aligned} -E_T + R_T \frac{I_C}{\beta} + V_{BE} + R_E I_E &= 0 \\ -E_T + R_T \frac{I_C}{\beta} + V_{BE} + R_E I_C &= 0, \qquad I_C \simeq I_E, \quad \beta \gg 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_C &= \frac{E_T - V_{BE}}{R_E + \frac{1}{\beta} R_T} \\ &= \frac{1.82 - 0.7}{1 + \frac{1}{170} 16.6} mA = 1.02 mA \end{aligned}$$

Maille M2:

$$\begin{aligned} -R_S I_D - V_{GS} - R_C I_C + V_{CC} &= 0 \\ -R_S K (V_{GS} - V_p)^2 - V_{GS} - R_C I_C + V_{CC} &= 0 \\ (V_{GS} - V_p)^2 + \frac{1}{R_S K} V_{GS} + \frac{R_C I_C - V_{CC}}{R_S K} &= 0 \\ V_{GS}^2 + \left(\frac{1}{R_S K} - 2V_p \right) V_{GS} + \frac{R_C I_C - V_{CC}}{R_S K} + V_p^2 &= 0 \end{aligned}$$

Or $K = \frac{I_{DSS}}{V_p^2} = \frac{12}{9} mA/V^2 = 1.33 mA/V^2$. L'équation en V_{GS} devient :

$$\begin{aligned} V_{GS}^2 + \left(\frac{1}{2.2 \times 1.33} + 6 \right) V_{GS} + \frac{10 \times 1.02 - 24}{2.2 \times 1.33} + 9 &= 0 \\ V_{GS}^2 + 6.341\,8 V_{GS} + 4.2837 &= 0 \end{aligned}$$

Les racines de cette équation sont $\{V_{GS1} = -5.573\,2, V_{GS}2 = -0.768\,63\}$. La valeur de V_{GS} doit satisfaire l'inégalité $V_p < V_{GS} < 0$. Il en résulte que :

$$V_{GS} = -0.768\,63 \simeq -0.77V$$

Le courant drain est donc donné par :

$$\begin{aligned} I_D &= K (V_{GS} - V_p)^2 \\ &= 1.33(-0.77 + 3)^2 mA \simeq 6.6 mA \end{aligned}$$

La tension V_{CE} se déduit de l'équation de maille suivante :

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E \\ V_{CE} &\simeq V_{CC} - (R_C + R_E) I_C \\ &= 24 - (10 + 1) \times 1.02V = 12.8V \end{aligned}$$

De même, on a :

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_{CC} - R_S I_D \\ &= 24 - 2.2 \times 6.6 \ V \\ &= 9.5V \end{aligned}$$

La supposition du départ est juste, du fait que $V_{DS} = 9.5V > V_{GS} - V_p = (-0.77 + 3)\, V = 2.23V$ et $V_{CE} = 12.8V > V_{BE} = 0.7V$.

2. La résistance entre base et émetteur du transistor bipolaire est donnée par :

$$\begin{aligned} r_\pi &= \beta \frac{V_T}{I_C} \\ &= 170 \frac{26}{1.02} k\Omega \\ &= 4.3 k\Omega \end{aligned}$$

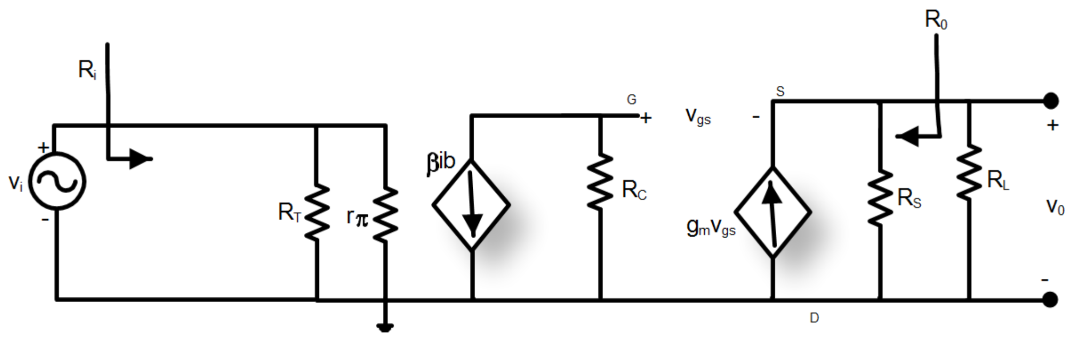
La transconductance du FET s'écrit :

$$\begin{aligned} g_m &= \frac{2}{|V_p|}\sqrt{I_D I_{DSS}} \\ &= \frac{2}{3}\sqrt{6.6 \times 12} mA/V \simeq 6mA/V \end{aligned}$$

On peut également calculer g_m à partir de la relation :

$$\begin{aligned} g_m &= 2K\left(V_{GS} - V_p\right) \\ &= 2 \times 1.33\left(-0.77 + 3\right) mA/V \simeq 6mA/V \end{aligned}$$

3. **Schéma en dynamique de l'amplificateur**

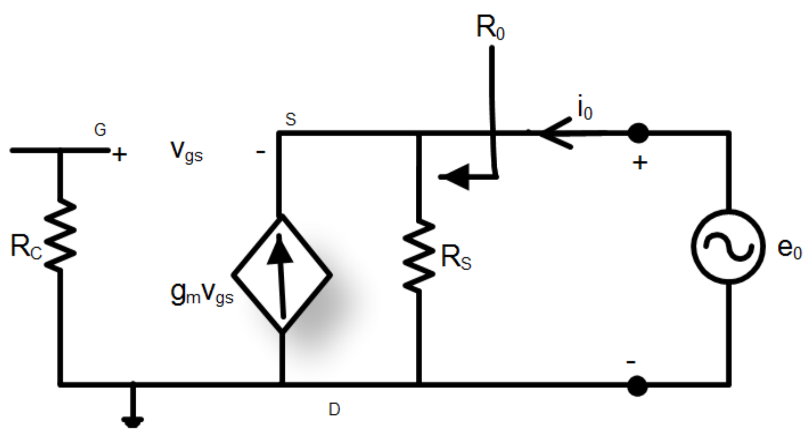


4. **a-Résistance d'entrée**

$$\begin{aligned} R_i &= R_T \parallel r_\pi \\ &= \left(1/R_T + 1/r_\pi\right)^{-1} \\ &= \left(1/16.6 + 1/4.3\right)^{-1} k\Omega \\ &\simeq 3.4 k\Omega \end{aligned}$$

b-résistance de Sortie

Schéma



$$
\begin{aligned}
R_0 &= \frac{e_0}{i_0} \\
i_0 &= \frac{e_0}{R_S} - g_m v_{gs} \\
&= \frac{e_0}{R_S} - g_m (v_g - v_s) \\
&= \frac{e_0}{R_S} - g_m (0 - e_0) \\
R_0 &= \left(\frac{1}{R_S} + g_m\right)^{-1} \\
&= \left(\frac{1}{2.2} + 6\right)^{-1} k\Omega \\
&\simeq 155\Omega
\end{aligned}
$$

c-gain en tension

$$
\begin{aligned}
v_0 &= (R_S \parallel R_L)\, g_m v_{gs} \\
&= (R_S \parallel R_L)\, g_m (v_g - v_s) \\
&= (R_S \parallel R_L)\, g_m (-R_C \beta i_b - v_0) \\
v_0 &= R'_L g_m \left(-\beta R_C \frac{v_i}{r_\pi} - v_0\right), \qquad R'_L = R_S \parallel R_L
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
v_0 &= -\beta R_C R'_L g_m \frac{v_i}{r_\pi + R'_L r_\pi g_m} \\
A_v &= \frac{-\beta R_C R'_L g_m}{r_\pi + R'_L r_\pi g_m} \\
&= \frac{-1700 \times 1.1 \times 6}{4.3 + 1.1 \times 4.3 \times 6} \\
&\simeq -343.
\end{aligned}
$$