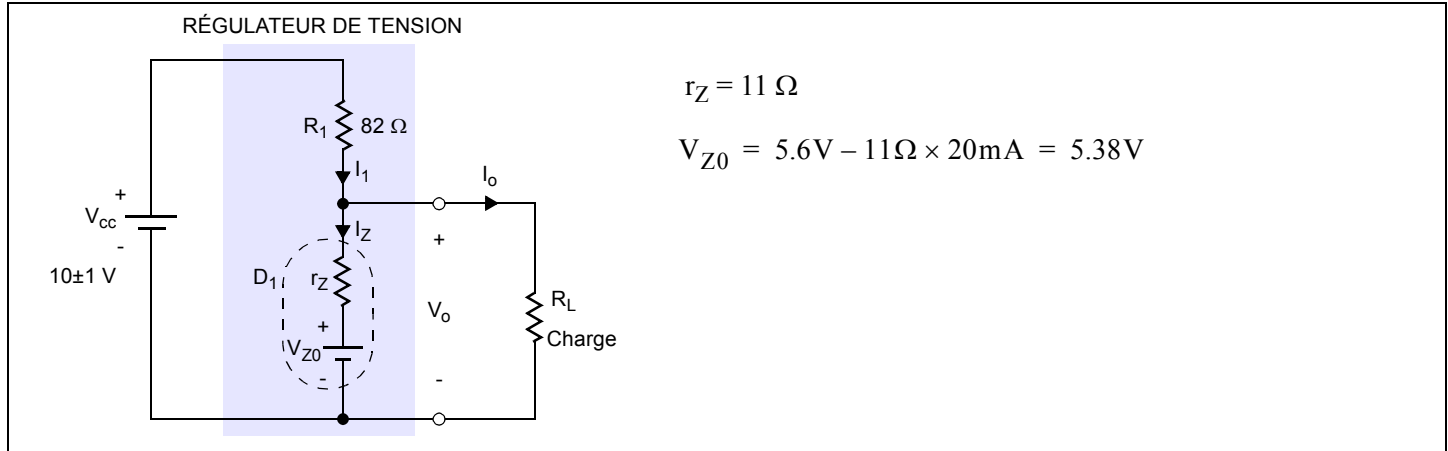
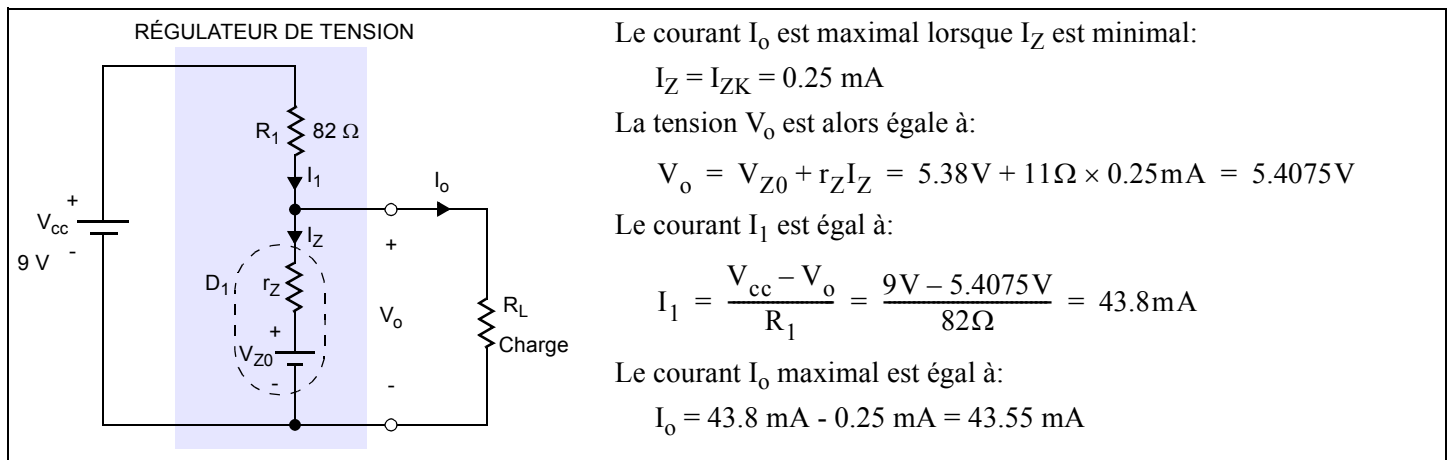
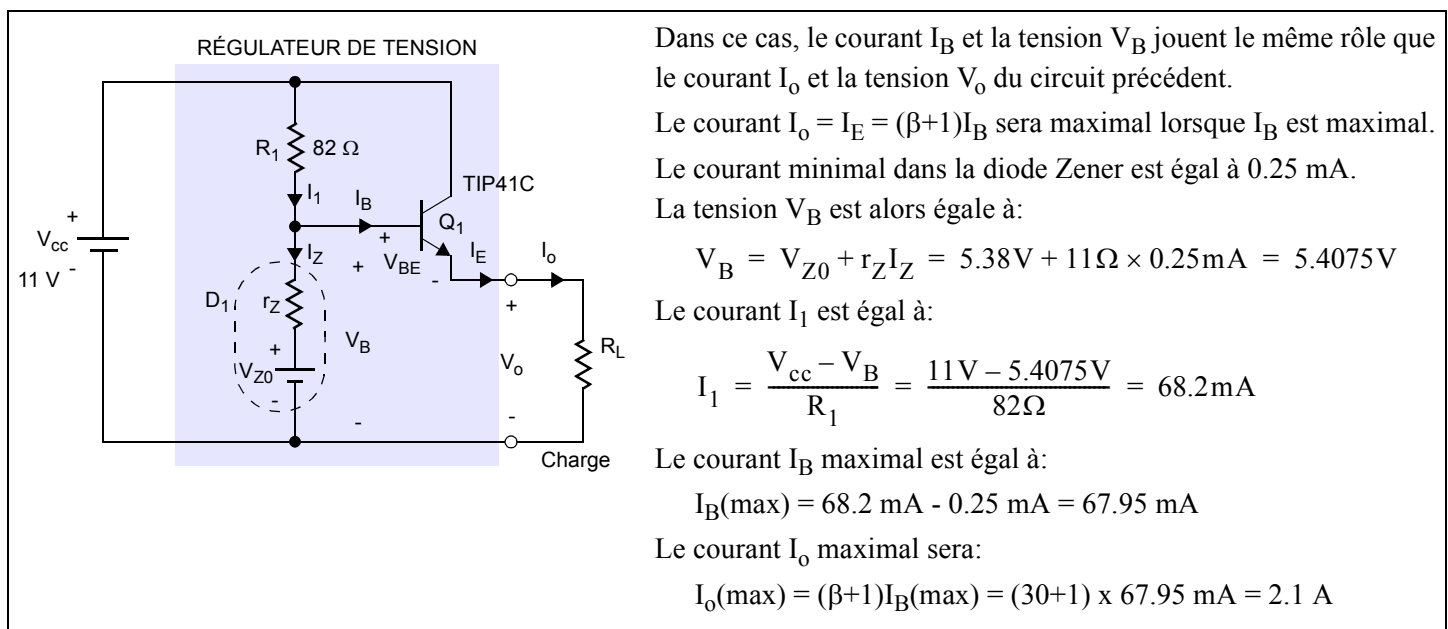


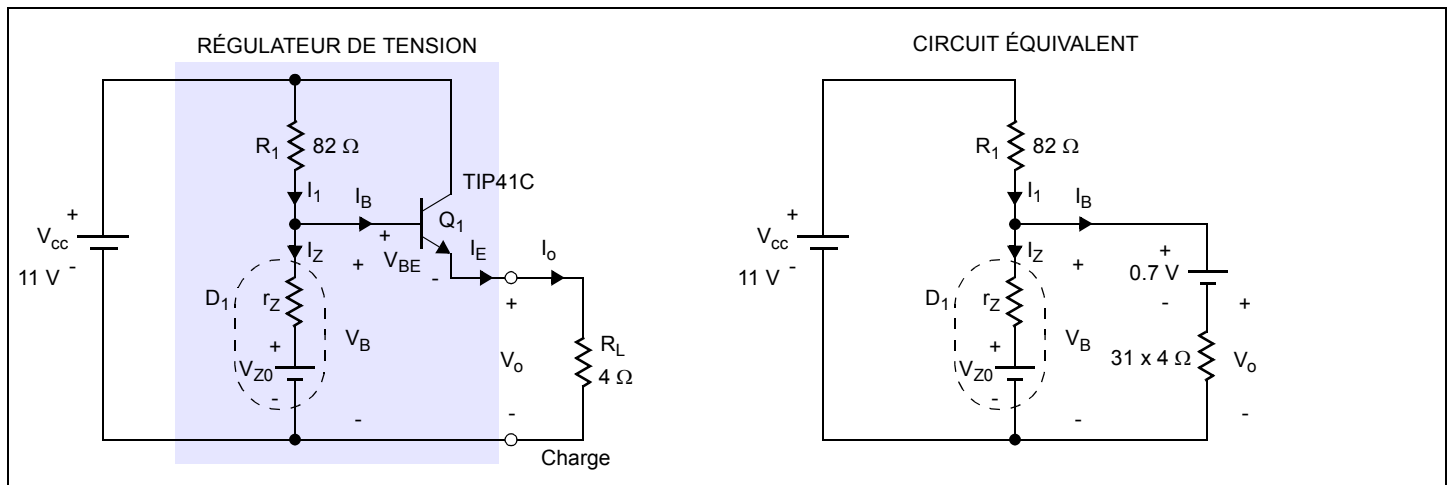
CORRIGÉ DE L'EXAMEN FINAL H2012

Problème no. 1 (25 points)

a) Circuit équivalent du régulateur:

b) Cas où $V_{cc} = 9V$ c) Un transistor de puissance TIP41C est ajouté à la sortie. La source V_{cc} est égale à 11 V.

Une charge $R_L = 4 \Omega$ est connectée à la sortie



L'équation nodale permettant de calculer la tension V_B s'écrit:
$$\left[\frac{1}{82} + \frac{1}{11} + \frac{1}{124} \right] V_B = \left[\frac{11}{82} + \frac{5.38}{11} + \frac{0.7}{124} \right]$$

On déduit: $V_B = 5.657 \text{ V}$

La tension de sortie V_o est égale à: $V_o = V_B - 0.7 \text{ V} = 4.957 \text{ V}$

Le courant de sortie I_o est égal à:
$$I_o = \frac{V_o}{R_L} = \frac{4.957 \text{ V}}{4 \Omega} = 1.239 \text{ A}$$

La puissance dissipée dans le transistor est égale à:
$$P_D = V_{CE} \times I_C = (11 \text{ V} - 4.957 \text{ V}) \times 1.239 \text{ A} = 7.48 \text{ W}$$

Problème no. 2 (25 points)

a) Les deux MOSFETs Q_3 et Q_4 forment un miroir de courant. Les deux MOSFETs sont identiques. Le courant I_{D3} sera égal au courant I_{D4} car les deux tensions V_{GS} sont identiques.

On écrit deux équations: $20V = 18000\Omega \times I_{D4} + V_{GS4}$ et $I_{D4} = 0.004(V_{GS4} - 1.5)^2$

En combinant ces deux équations, on obtient: $20 = 18000 \times 0.004(V_{GS4} - 1.5)^2 + V_{GS4}$

Ou encore: $72V_{GS4}^2 - 215V_{GS4} + 142 = 0$

La résolution de cette équation donne: $V_{GS4} = 2V$

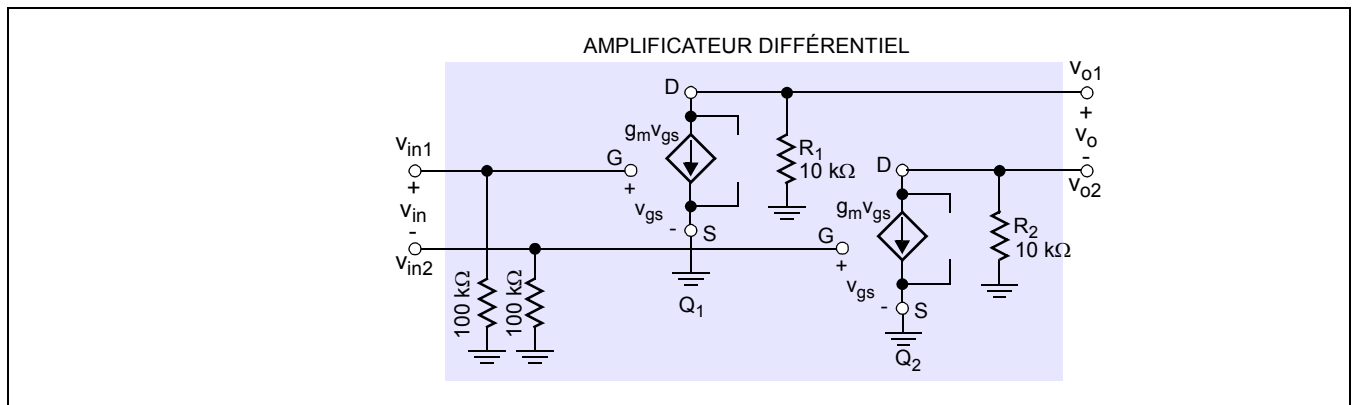
Le courant I_{D4} est égal à: $I_{D4} = \frac{20V - 2V}{18000\Omega} = 1mA$

Le courant I_{D3} est égal à: $I_{D3} = I_{D4} = 1mA$

Les courants I_{D2} et I_{D1} sont égaux: $I_{D2} = I_{D1} = 0.5mA$

b) La transconductance g_m des MOSFETs Q_1 et Q_2 est donnée par: $g_m = \frac{I_D}{0.5V_{OV}} = \frac{0.5mA}{0.5 \times 0.5V} = 2mA/V = 2mS$

Le modèle petit signal de l'amplificateur différentiel:



c) La tension de sortie du transistor Q_1 : $v_{o1} = -g_m v_{gs1} R_1 = -g_m \left(\frac{v_{in}}{2} \right) R_1$

La tension de sortie du transistor Q_2 : $v_{o2} = -g_m v_{gs2} R_2 = -g_m \left(\frac{-v_{in}}{2} \right) R_2$

La tension de sortie de l'amplificateur: $v_o = v_{o1} - v_{o2} = -g_m v_{in} R_1$ car $R_1 = R_2$

Le gain différentiel en tension est donc égal à: $A_d = \frac{v_o}{v_{in}} = -g_m R_1$

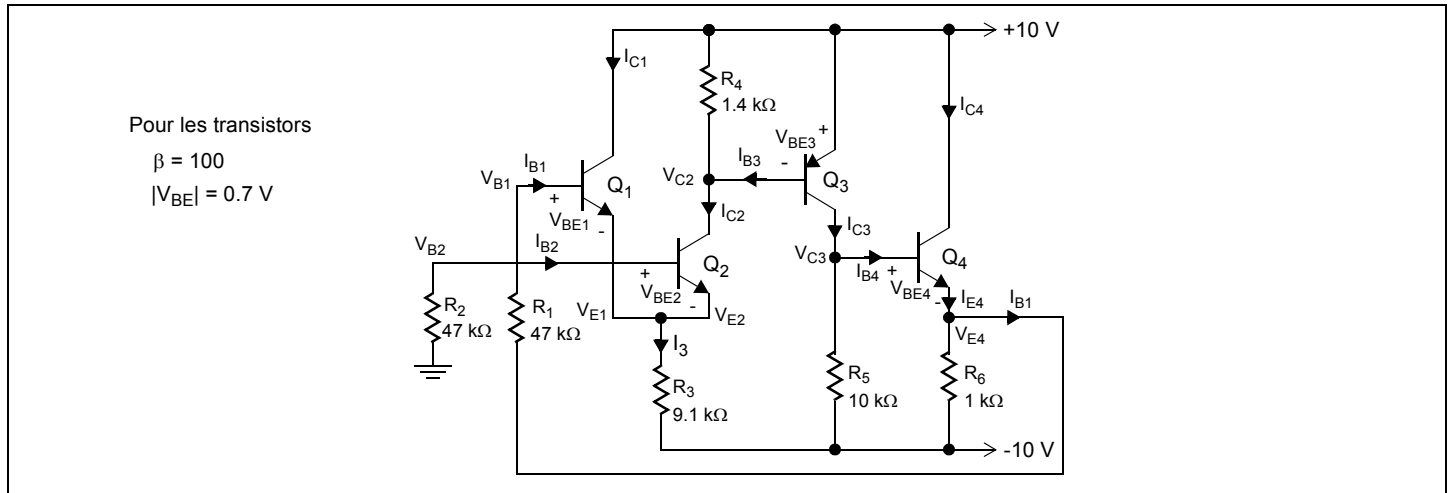
Avec les valeurs numériques, on a: $A_d = -2mS \times 10k\Omega = -20$

La résistance d'entrée est égale à: $R_{in} = 100k\Omega + 100k\Omega = 200k\Omega$

La résistance de sortie est égale à: $R_o = 10k\Omega + 10k\Omega = 20k\Omega$

Problème no. 3 (25 points)

a) Circuit en DC:



On suppose que les transistors possèdent un gain en courant $\beta = 100$ et une tension $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$.

À l'entrée de Q_2 , on a: $(47\text{k}\Omega \times I_{B2}) + 0.7\text{V} + (9.1\text{k}\Omega \times 2 \times 101 \times I_{B2}) = 10\text{V}$

On déduit: $I_{B2} = \frac{10\text{V} - 0.7\text{V}}{47\text{k}\Omega + (9.1\text{k}\Omega \times 2 \times 101)} = 4.933\mu\text{A} = I_{B1}$

La tension de base des deux transistors est: $V_{B1} = V_{B2} = -47\text{k}\Omega \times 4.933\mu\text{A} = -0.232\text{V}$

La tension V_{E2} est égale à: $V_{E2} = V_{E1} = -0.232\text{V} - 0.7\text{V} = -0.932\text{V}$

La tension V_{E4} est égale à: $V_{E4} = -0.232\text{V} + 0.232\text{V} = 0\text{V}$

Le courant I_3 est égal à: $I_3 = \frac{-0.932\text{V} + 10\text{V}}{9.1\text{k}\Omega} = 0.996\text{mA}$

Le courant collecteur de Q_1 et Q_2 : $I_{C1} = I_{C2} = \frac{1}{2} \times \frac{100}{101} \times 0.996\text{mA} = 0.493\text{mA}$

Le courant I_{E4} est: $I_{E4} = \frac{10\text{V}}{1\text{k}\Omega} + I_{B1} \approx 10\text{mA}$

Le courant I_{B4} est: $I_{B4} = \frac{I_{E4}}{101} = \frac{10\text{mA}}{101} = 99\mu\text{A}$

La tension V_{C3} est: $V_{C3} = V_{E4} + V_{BE4} = 0 + 0.7\text{V} = 0.7\text{V}$

Le courant I_{C3} est: $I_{C3} = \frac{0.7\text{V} + 10\text{V}}{10\text{k}\Omega} + 99\mu\text{A} = 1.169\text{mA}$

La tension V_{C2} est: $V_{C2} = 10\text{V} - 0.7\text{V} = 9.3\text{V}$

b) La rétroaction DC est réalisée par la résistance $R_1 = 47 \text{ k}\Omega$ qui relie la sortie à l'entrée “-” de l'amplificateur.

La rétroaction AC est réalisée par le diviseur de tension composé des résistances $R_1 = 47 \text{ k}\Omega$ et $R_7 = 1.8 \text{ k}\Omega$

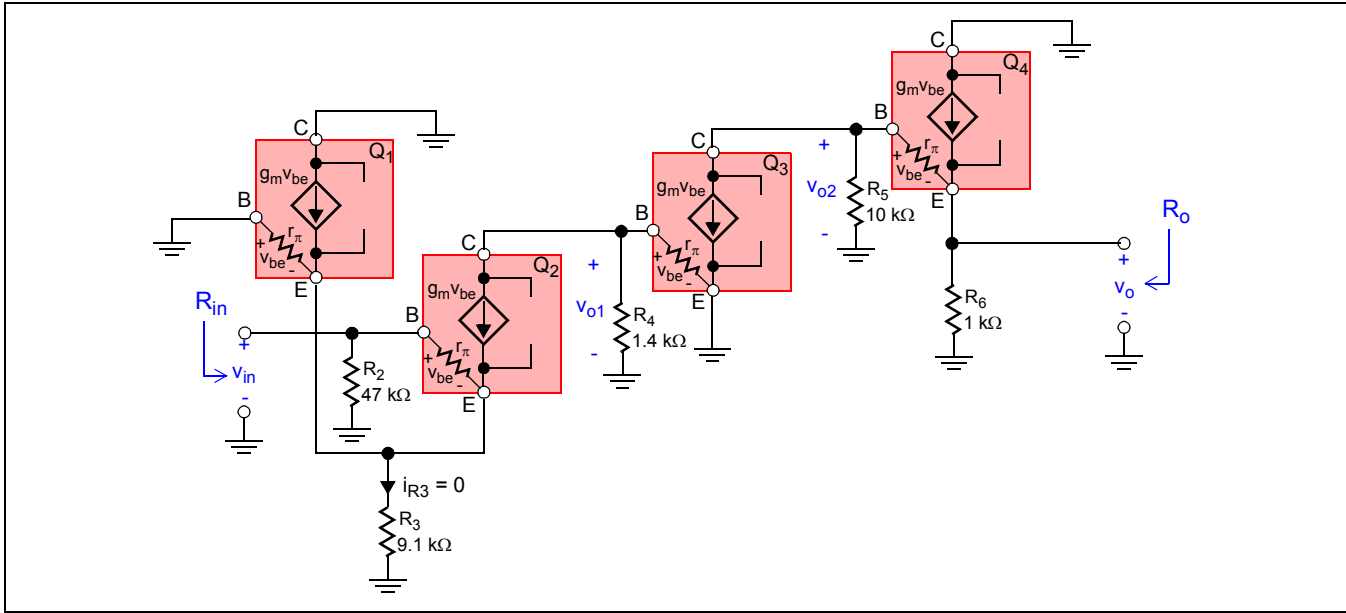
Le facteur de rétroaction AC est égal à: $\beta = \frac{R_7}{R_7 + R_1} = \frac{1.8\text{k}\Omega}{1.8\text{k}\Omega + 47\text{k}\Omega} = 0.036885$

Le gain en tension avec rétroaction est donné par la relation suivante: $A_{vof} = \frac{A_{vo}}{1 + \beta A_{vo}}$

Alors: $A_{vof} = \frac{5000}{1 + 0.036885 \times 5000} = 26.965$ (qui est pratiquement égal à $1/\beta$)

c) On annule la rétroaction AC en utilisant $R_7 = 0 \Omega$ L'amplificateur fonctionne alors en boucle ouverte.

Le modèle petit signal de l'amplificateur:



La résistance d'entrée est égale à: $R_{in} = 47k\Omega \parallel (r_{\pi} + r_{\pi})$ où $r_{\pi} = (\beta + 1)r_e = (\beta + 1)\left(\frac{V_T}{I_E}\right)$

On a: $r_{\pi} = (\beta + 1)\left(\frac{V_T}{I_E}\right) = (100 + 1)\left(\frac{25.8mV}{0.493mA}\right) = 5285\Omega$

Alors: $R_{in} = 47k\Omega \parallel (5285\Omega + 5285\Omega) = 8629\Omega$

$$R_{in} = 8.629k\Omega$$

La résistance de sortie est égale à: $R_o = R_6 \parallel \left(r_{e4} + \frac{R_5}{\beta + 1}\right)$ où $r_{e4} = \frac{V_T}{I_{E4}} = \frac{25.8mV}{10mA} = 2.58\Omega$

Alors: $R_o = 1k\Omega \parallel \left(2.58\Omega + \frac{10k\Omega}{101}\right) = 92.2\Omega$

$$R_o = 92.2\Omega$$

Problème no. 4 (25 points)

a) Le transistor Q_4 est un circuit “multiplicateur de V_{BE} ”. Il crée une tension V_{CE} qui est égale à V_{BE} multiplié par le rapport du diviseur de tension formé de R_1 et R_2 . Cette tension (environ 1 V) est nécessaire pour mettre l'étage de sortie (Q_1 et Q_2) en classe AB.

En négligeant le courant I_{B4} , on peut écrire:
$$\frac{V_{CE}}{R_1 + R_2} = \frac{V_{BE}}{R_1}$$

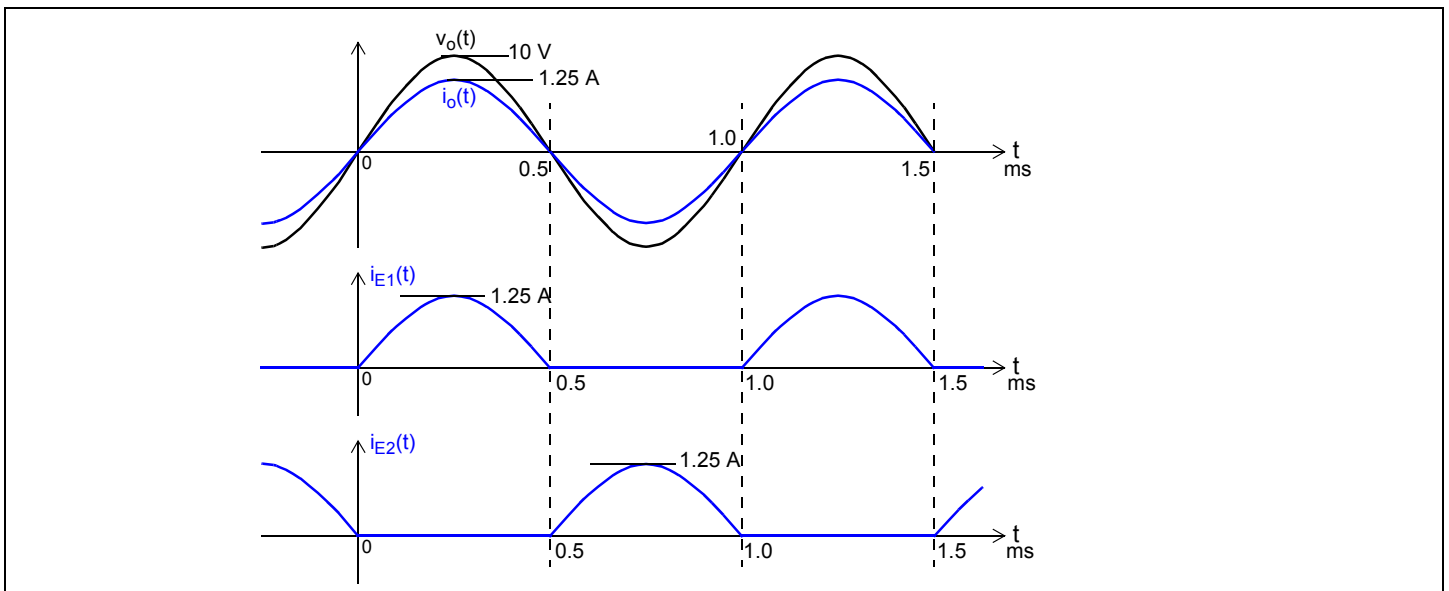
On déduit:
$$V_{CE} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \times V_{BE}$$

Pour obtenir $V_{CE} = 1$ V, on doit utiliser un rapport de diviseur de tension de:
$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{0.7V}{1.0V} = 0.7$$

Si $R_1 = 100 \Omega$, R_2 sera égale à:
$$R_2 = \left(\frac{1-0.7}{0.7} \right) R_1 = \frac{0.3}{0.7} \times 100 \Omega = 42.8 \Omega$$

Le courant I_{C3} est donné par la relation suivante:
$$I_{C3} = \frac{15V - V_{B1}}{R_3} = \frac{15V - 0.5V}{150 \Omega} = 96.67 \text{ mA}$$

b) Les formes d'ondes:



c) Puissance dissipée dans la résistance de charge R_L :
$$P_o = \frac{V_{om}^2}{2R_L} = \frac{10^2}{2 \times 8} = 6.25 \text{ W}$$

Puissance fournie par la source +15V:
$$P_{dc1} = 15V \times I_{E1}(\text{moy}) = 15V \times \left(\frac{1.25A}{\pi} \right) = 5.968 \text{ W}$$

Puissance fournie par la source -15V:
$$P_{dc2} = 15V \times I_{E1}(\text{moy}) = 15V \times \left(\frac{1.25A}{\pi} \right) = 5.968 \text{ W}$$

Puissance fournie par les deux sources +15V et -15V:
$$P_{dc} = P_{dc1} + P_{dc2} = 11.936 \text{ W}$$

Puissance dissipée dans les deux transistors Q_1 et Q_2 :
$$P_d = P_{dc} - P_o = 11.936 \text{ W} - 6.25 \text{ W} = 5.686 \text{ W}$$