

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Département de génie Électrique

Examen final d'Électronique 1 - (ELE-3300)

Mardi le 1er mai 2001 - 9h30 à 12h

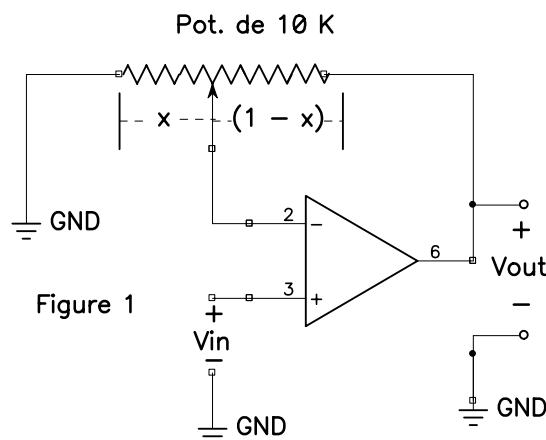
- Seuls le cahier de laboratoire et une calculatrice sont autorisés.

Question 1 : 4 points

Un amplificateur alimenté à +10 VDC et -10 VDC produit un signal sinusoïdal de 9 V crête dans une charge de 1 k Ω quand on applique à l'entrée un signal sinusoïdal de 1 V crête. Dans ces conditions, chaque alimentation fournit à l'amplificateur un courant de 9.5 mA DC. Sachant que le courant fourni par la source de signal à l'entrée de l'amplificateur est sinusoïdal et que son amplitude est de 0.1 mA crête, calculer :

- A_v : Le gain de tension en dB.
- A_i : Le gain de courant en dB.
- A_p : Le gain de puissance en dB.
- P_{dc} : La puissance en W fournie à l'amplificateur par les blocs d'alimentation.
- P_L : La puissance en W fournie à la charge par l'amplificateur.
- P_h : La puissance en W dissipée dans l'amplificateur.
- η : L'efficacité de l'amplificateur ($\eta = P_L / P_{dc}$).

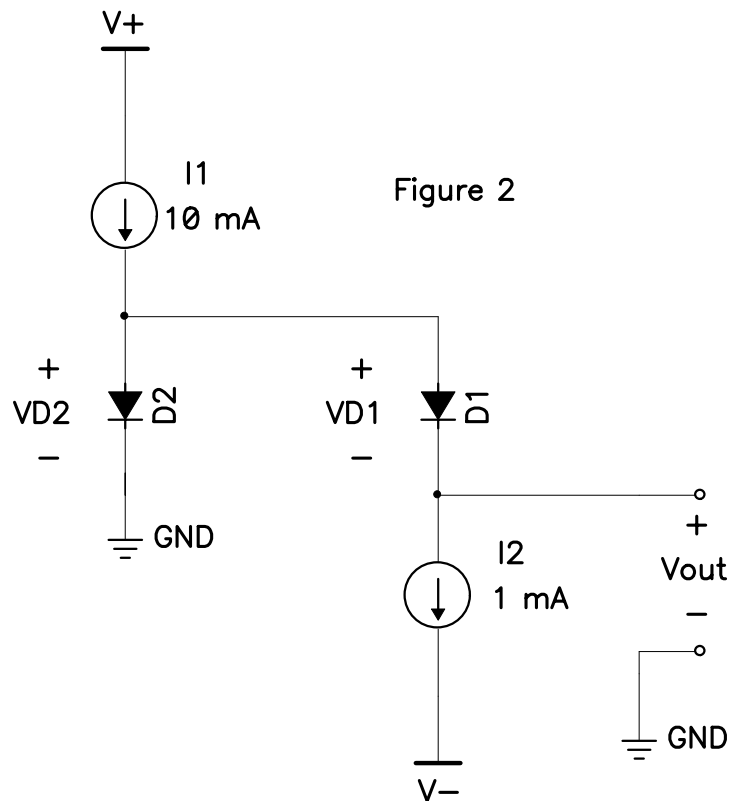
Question 2 : 3 points



Le circuit ci-dessus utilise un potentiomètre de 10 k Ω et un ampli-op (idéal) pour réaliser un amplificateur à gain variable.

- Développez une expression pour le gain de tension en fonction de la position x du curseur du potentiomètre.
- Calculez le gain minimal et le gain maximal que l'on peut obtenir avec ce circuit.
- Dessinez le circuit en lui ajoutant une résistance R , de façon à ce que l'on obtienne des gains de 1 à 11 V/V quand on ajuste le potentiomètre de 10 k Ω . Calculez la valeur de R .

Question 3 : 3 points

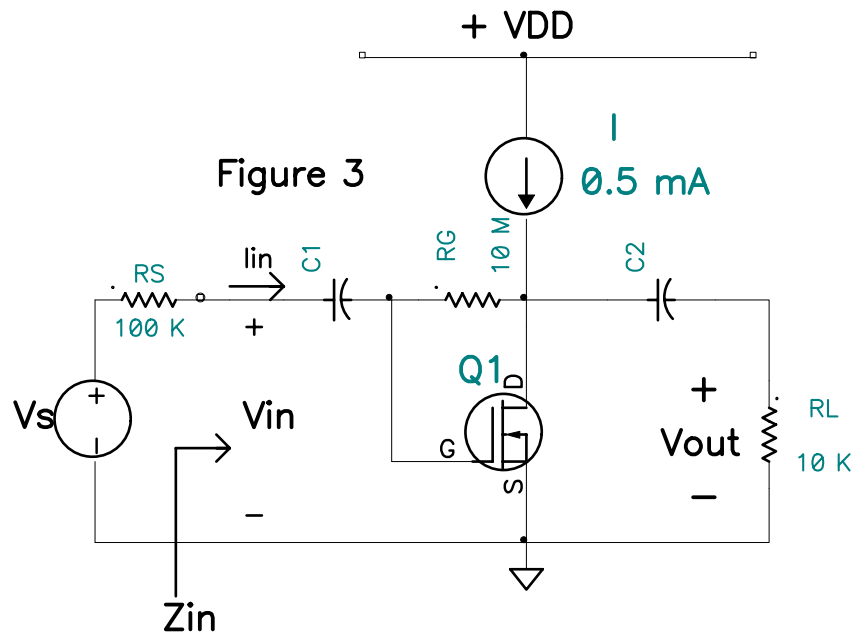


Dans le circuit ci-dessus, les diodes D_1 et D_2 ont un coefficient $n = 2$, mais le courant de saturation (I_S) de la diode D_1 est 10 fois plus grand que celui de D_2 .

L'équation décrivant la relation courant-tension des diodes est : $I_D = I_S e^{\frac{V_D}{nV_T}}$ où I_D est le courant passant dans la diode, V_D la tension à ses bornes et $V_T = 25$ mV, le potentiel thermique.

- Calculez la valeur du courant I_{D1} qui passe dans la diode D_1 .
- Calculez la valeur du courant I_{D2} qui passe dans la diode D_2 .
- Écrivez une expression pour la tension V_{D1} aux bornes de la diode D_1 .
- Écrivez une expression pour la tension V_{D2} aux bornes de la diode D_2 .
- Écrivez une expression pour la tension $V_{out} = V_{D2} - V_{D1}$.
- Calculez la valeur de V_{out} .

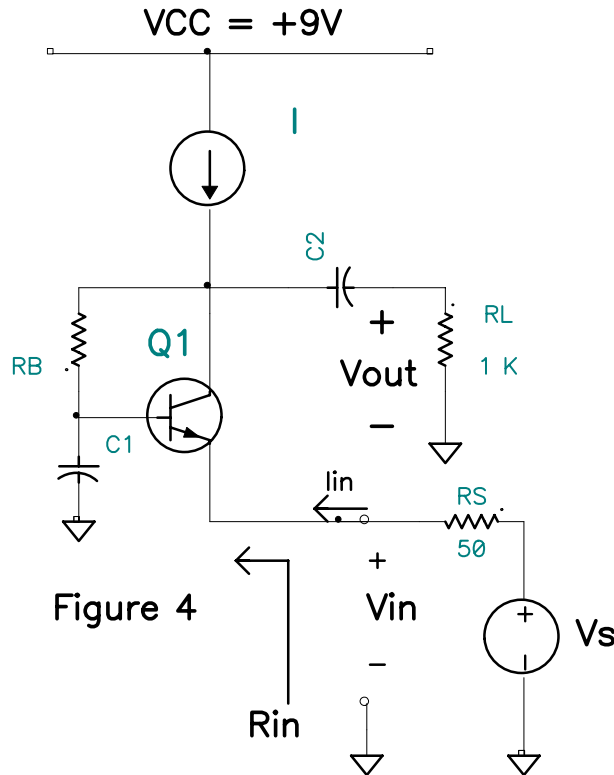
Question 4 : 5 points



Le transistor Q_1 dans le circuit ci-dessus est un NMOS à enrichissement avec une tension de seuil $V_t = 0.9$ V et une tension Early $V_A = 50$ V. Le transistor est polarisé au point de repos par une source de courant I de 0.5 mA DC. La tension de drain au repos est de 2 V DC. Les condensateurs C_1 et C_2 peuvent être considérés infinis.

- Calculez les paramètres K , g_m et r_0 du transistor.
- Dessinez le circuit équivalent petit signal de l'amplificateur.
- Calculez le gain de tension $G = v_{out} / v_{in}$.
- Calculez le module de l'impédance d'entrée $|Z_{in}| = v_{in} / i_{in}$.
- Calculez le gain de tension "effectif" de l'amplificateur $G_{eff} = v_{out} / v_s$.

Question 5 : 5 points



Mandat : Concevoir un amplificateur ayant les caractéristiques suivantes :

1. Tension d'alimentation $V_{CC} = +9$ VDC. Polarisation de Q_1 par une source de courant DC.
2. Transistor Q_1 : BJT npn avec $\beta = 100$, $V_{BE} = 0.7$ V @ $I_C = 1$ mA et $|V_A| = 100$ V.
3. Bande passante de l'amplificateur : 20 KHz à 2 MHz.
4. Résistance d'entrée à mi-bande ($R_{in} = V_{in} / I_{in}$) : 50 Ω .
5. Gain de tension effectif ($G_{eff} = V_{out} / V_s$) : 9 V/V , mesuré avec une charge $R_L = 1$ k Ω .

Faites la conception du circuit en procédant comme suit :

- a) Dessinez le circuit équivalent petit signal de cet amplificateur. Supposez que C_1 et C_2 sont infinis et ignorez l'effet de la résistance r_0 du BJT
- b) Développez une expression pour la résistance d'entrée R_{in} .
- c) Calculez la valeur du courant de polarisation I pour satisfaire la spécification #4 du mandat.
- d) Développez une expression pour le gain effectif G_{eff} .
- e) Calculez la valeur de R_B pour satisfaire la spécification # 5 du mandat.
- f) Calculez la résistance de sortie (R_{out}) de cet amplificateur.
- g) C_2 forme avec R_{out} et R_L un filtre passe-haut du 1er ordre. Calculez la valeur de C_2 pour que la fréquence de coupure à -3 dB de ce filtre soit 20 KHz (spécification # 3 du mandat).
- h) À quel endroit du circuit ajouteriez-vous un condensateur C_x pour limiter la bande passante de l'amplificateur à 2 MHz ?

Le professeur : Robert GUARDO tél : 4365.

Examen final d'Électronique I : hiver 2001

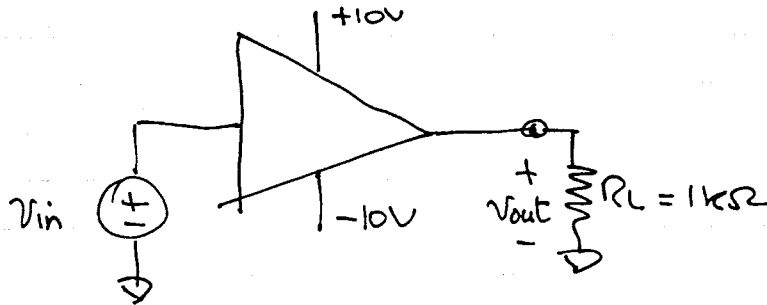
SECTION 5

MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE

/ / Question 1

MAINDEC page 1



a) Calcul du gain de tension :

$$A_v \equiv \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{9V \text{ crête}}{1V \text{ crête}} = 9 \frac{V}{V}$$

$$A_v \text{ (dB)} = 20 \log 9 \approx \underline{\underline{19.1 \text{ dB}}}$$

b) Calcul du gain de courant :

$$i_{out} = \frac{v_{out}}{R_L} = \frac{9V \text{ crête}}{1k\Omega} = 9 \text{ mA crête}$$

$$i_{in} = 0.1 \text{ mA crête}$$

$$A_i \equiv \frac{i_{out}}{i_{in}} = \frac{9 \text{ mA crête}}{0.1 \text{ mA crête}} = 90 \frac{A}{A}$$

$$A_i \text{ (dB)} = 20 \log 90 \approx \underline{\underline{39.1 \text{ dB}}}$$

c) Calcul du gain de puissance :

Puissance fournie à la charge : $P_L \equiv i_{out \text{ rms}} \times v_{out \text{ rms}}$ or, puisque les signaux sont sinusoïdaux : $P_L = \frac{i_{out \text{ crête}}}{\sqrt{2}} \times \frac{v_{out \text{ crête}}}{\sqrt{2}}$

$$P_L = \frac{9 \text{ mA}}{\sqrt{2}} \times \frac{9 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 40.5 \text{ mW}$$

Puissance fournie par la source de signal : $P_I = i_{in \text{ rms}} \times v_{in \text{ rms}}$

$$= \frac{i_{in \text{ crête}}}{\sqrt{2}} \times \frac{v_{in \text{ crête}}}{\sqrt{2}}$$

Examen final d'Electronique 1 : hiver 2001

SECTION 5

MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE

/ / Question 1 (suite)

MAINDEC

page 2

$$P_I = \frac{0.1 \text{ mA crête}}{\sqrt{2}} \times \frac{1 \text{ V crête}}{\sqrt{2}} = 0.05 \text{ mW}$$

$$A_p \equiv \frac{P_L}{P_I} = \frac{40.5 \text{ mW}}{0.05 \text{ mW}} = 810 \frac{\text{W}}{\text{W}}$$

$$A_p (\text{en dB}) = 10 \log 810 \approx \underline{\underline{29.1 \text{ dB}}}$$

d) Calcul de la puissance fournie par les blocs d'alimentation

$$P_{dc} = (10 \text{ V} \times 9.5 \text{ mA}) \times 2 = \underline{\underline{190 \text{ mW}}}$$

e) Calcul de la puissance fournie à la charge par l'amplificateur.

(déjà calculé en e)) $P_L = \underline{\underline{40.5 \text{ mW}}}$

f) Calcul de la puissance dissipée dans l'amplificateur

$$P_n \equiv P_{dc} + P_I - P_L$$

$$= 190 \text{ mW} + 0.05 \text{ mW} - 40.5 \text{ mW} = \underline{\underline{149.6 \text{ mW}}}$$

g) Calcul de l'efficacité de l'amplificateur.

$$\eta \equiv \frac{P_L}{P_{dc}} = \frac{40.5 \text{ mW}}{190 \text{ mW}} = 0.213 \frac{\text{W}}{\text{W}}$$

(ou 21.3 %)

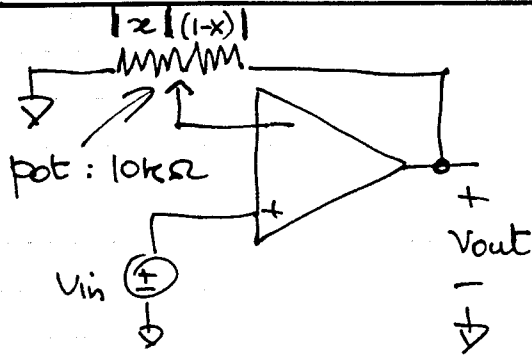
Examen final d'Électronique 1 : hiver 2001

SECTION 5

MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE / / Question 2

MAINDEC Page 3



potentiomètre
 $P = 10k\Omega$

a) Expression pour le gain de tension en fonction de la position (x) du curseur.

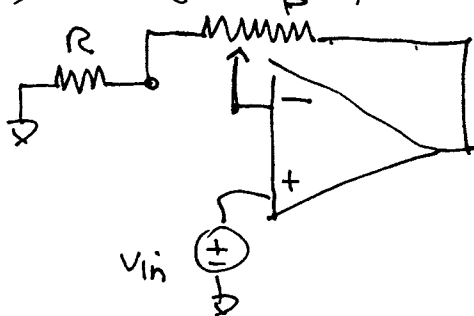
$$\text{Gain} \equiv \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{(1-x)P}{xP} = \frac{1}{x}$$

b) Calcul du gain minimum et du gain maximum
 $0 \leq x \leq 1$

Donc gain maximum = $\frac{1}{0} = \infty$

gain minimum = $\frac{1}{1} = 1 \frac{V}{V}$

c) Configuration pour obtenir des gains variant de 1 à 11 V/V



Quand le curseur du potentiomètre est à gauche (i.e. $x=0$)

$$\text{Gain}_{\max} = 1 + \frac{P}{R} = 11 \frac{V}{V}$$

Quand le curseur est à droite (i.e. $x=1$)

$$\text{Gain}_{\min} = 1 + \frac{0}{(R+P)} = 1 \frac{V}{V}$$

Donc : $1 + \frac{10k\Omega}{R} = 11 \rightarrow \underline{\underline{R = 1k\Omega}}$

Examen final d'électronique I : hiver 2001

SECTION 5

MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

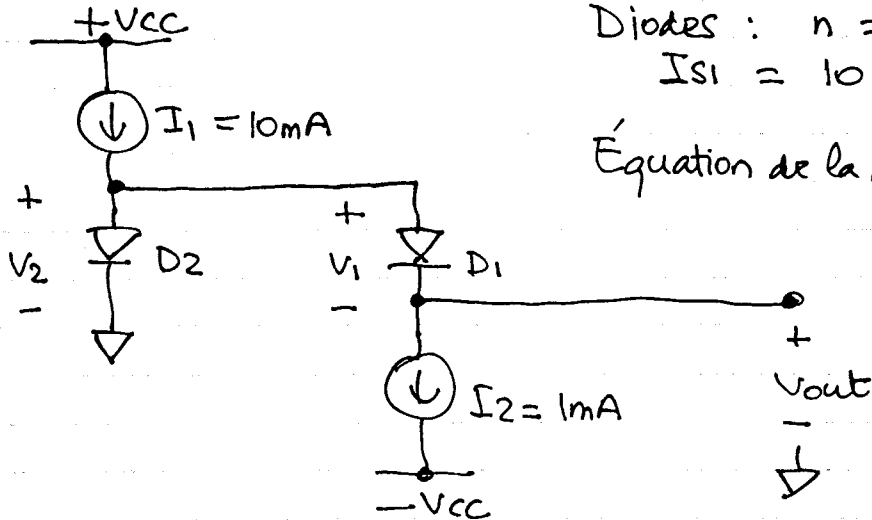
DATE

/ /

Question 3

MAINDEC

Page 4



Diodes : $n = 2$
 $I_{S1} = 10 I_{S2}$

Équation de la diode $i = I_S e^{\frac{V}{nV_T}}$

a) Courant passant dans la diode D_1 : $i_1 = I_2 = 1\text{mA}$

b) Courant passant dans la diode D_2 : $i_2 = I_1 - I_2 = 9\text{mA}$

c) Expression pour la tension aux bornes de D_1 :

$$V_1 = n V_T \ln \frac{i_1}{I_{S1}} = n V_T \ln \frac{i_1}{10 I_{S2}}$$

d) Expression pour la tension aux bornes de D_2

$$V_2 = n V_T \ln \frac{i_2}{I_{S2}}$$

e) Expression pour la tension V_{out}

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_2 - V_1 = n V_T \left[\ln \frac{i_2}{I_{S2}} - \ln \frac{i_1}{10 I_{S2}} \right] \\ &= n V_T \left[\ln \frac{10 i_2}{i_1} \right] \end{aligned}$$

f) Calcul de la valeur de V_{out} : $V_{out} = 2 \times 25\text{mV} \ln \frac{90\text{mA}}{1\text{mA}}$

$$V_{out} = 225\text{mV}$$

Examen final d'Électronique I : hiver 2001

SECTION 5

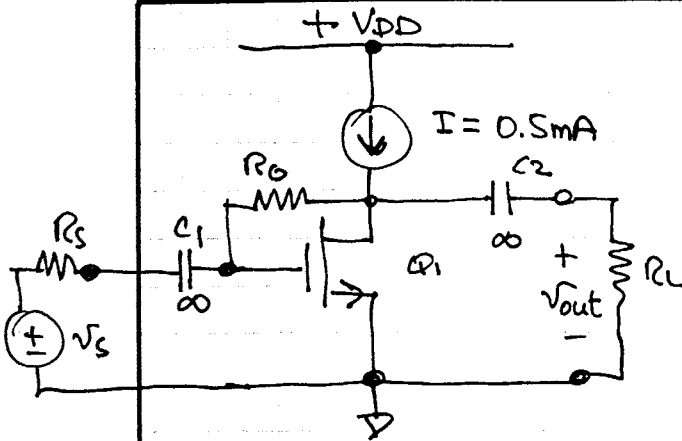
MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE / /

Question 4

MAINDEC

page 6



Q1: NMOS à enrichissement
 $V_t = 0.9V$, $V_A = 50V$

$R_S = 100k\Omega$

$R_L = 10k\Omega$

$R_G = 10M\Omega$

$I_{DQ} = I = 0.5mA$

$V_{DQ} = 2V$

a) Calcul des paramètres k , g_m et r_o du transistor

$$k \equiv \frac{I_{DQ}}{(V_{GSQ} - V_t)^2}$$

ici $V_{GSQ} = V_{DQ} = 2V$

$V_S = 0V$

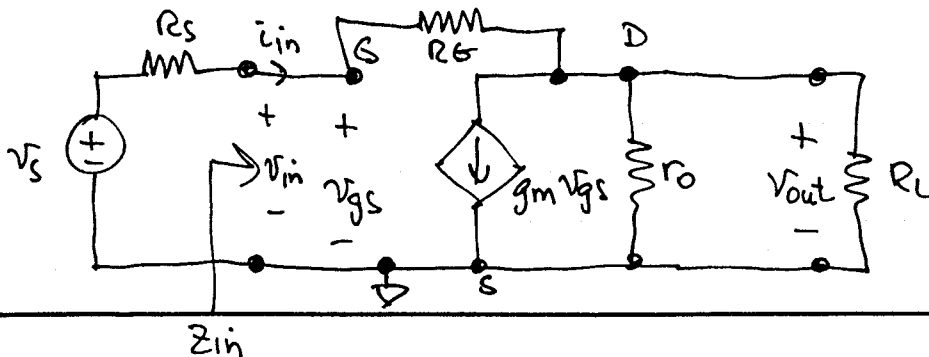
Donc $V_{GSQ} = 2V$

$$k = \frac{0.5mA}{(2 - 0.9)^2 V^2} = \underline{\underline{0.413 \frac{mA}{V^2}}}$$

$$g_m \equiv \sqrt{4k I_{DQ}} = \sqrt{4 \times 0.413 \frac{mA}{V^2} \times 0.5mA} = \underline{\underline{0.91 mS}}$$

$$r_o \equiv \frac{|V_A|}{I_{DQ}} = \frac{50V}{0.5mA} = \underline{\underline{100 k\Omega}}$$

b) Circuit équivalent petit signal



Examen final d'Électronique 1 : hiver 2001

SECTION 5

MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE / / Question 4 (suite)

MAINDEC page 7

c) Calcul du gain de tension : $G = v_{out}/v_{in}$

D'après le circuit équivalent : $v_{gs} = v_{in}$
 $v_{out} = -g_m v_{gs} (r_o // R_L)$

Donc $G \equiv \frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_m (r_o // R_L)$
 $= -0.91 \text{ ms} (100 \text{ k}\Omega // 10 \text{ k}\Omega) \approx \underline{\underline{-8.3 \text{ V/V}}}$

d) Calcul du module de l'impédance d'entrée $|Z_{in}| \equiv v_{in}/i_{in}$

D'après le circuit équivalent : $i_{in} = \frac{v_{in} - v_{out}}{R_G}$

$i_{in} = \frac{v_{in} - G v_{in}}{R_G} = v_{in} \frac{(1-G)}{R_G}$

$\therefore |Z_{in}| \equiv \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{v_{in} \times R_G}{v_{in} (1-G)} = \frac{10 \text{ M}\Omega}{1 + 8.3}$
 $\approx \underline{\underline{1.07 \text{ M}\Omega}}$

e) Calcul du gain de tension "effectif" : $G_{eff} \equiv \frac{v_{out}}{v_s}$

$G_{eff} \equiv \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{v_{out}}{v_{in}} \times \frac{v_{in}}{v_s} = G \times \frac{|Z_{in}|}{R_s + |Z_{in}|}$

$= -8.3 \frac{\text{V}}{\text{V}} \times \frac{1.07 \text{ M}\Omega}{1.07 \text{ M}\Omega + 0.1 \text{ M}\Omega}$

$G_{eff} \approx \underline{\underline{-7.6 \frac{\text{V}}{\text{V}}}}$

Examen final d'Électronique I : hiver 2001

SECTION 5

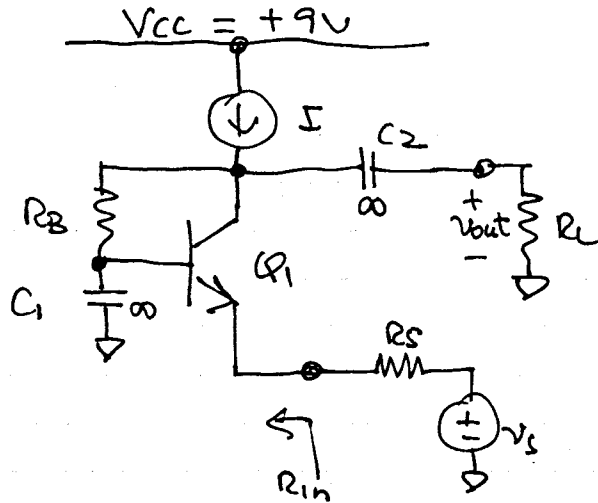
MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE

/ / Question 5

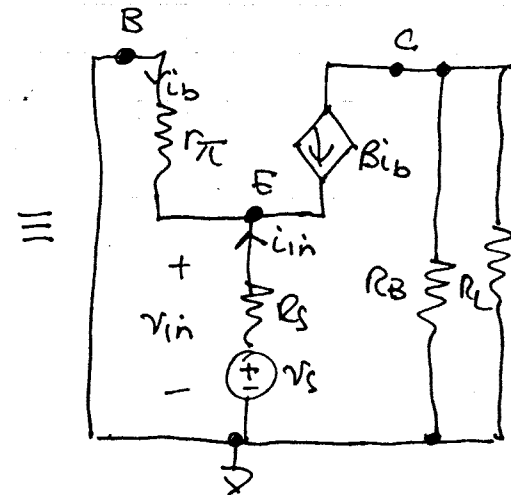
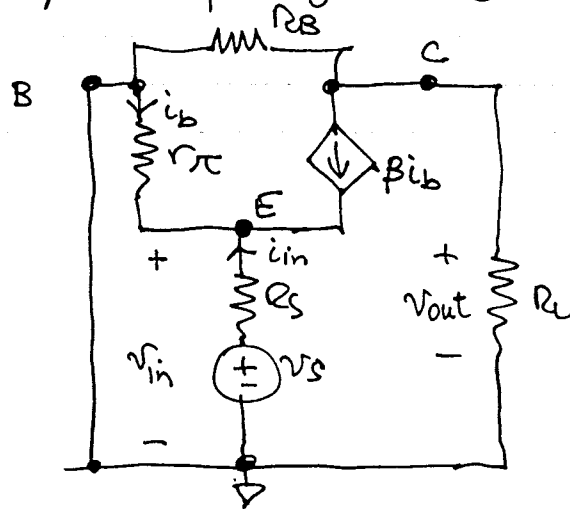
MAINDEC

page 8



Q_1 : BJT npn
 $\beta = 100$
 $V_{BE} = 0.7V @ I_C = 1mA$
 $|V_A| = 100V$
 $R_L = 1k\Omega$
 $R_S = 50\Omega$
 I et R_B inconnus.

a) Circuit équivalent petit signal (C_1 et C_2 sont ∞ et on ignore r_o)



b) Expression pour la résistance d'entrée : $R_{in} \equiv \frac{v_{in}}{i_{in}}$

D'après le circuit équivalent : $i_{in} = -(\beta + 1)i_b$
 et $i_b = -\frac{v_{in}}{r_{\pi}}$

$$\text{Donc } R_{in} \equiv \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{v_{in}}{(\beta + 1) \frac{v_{in}}{r_{\pi}}} = \frac{r_{\pi}}{(\beta + 1)} = r_e$$

Examen final d'Électronique 1 : hiver 2001

SECTION 5

MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE / / Question 5 (suite)

MAINDEC page 9

c) Expression pour le gain effectif ($G_{eff} \equiv \frac{v_{out}}{v_s}$)

$$v_{out} = -\beta i_b (R_B // R_L)$$

$$i_b = -\frac{v_{in}}{r_\pi}$$

$$\text{Donc } \frac{v_{out}}{v_{in}} = \beta \left(\frac{R_B // R_L}{r_\pi} \right)$$

$$\text{D'autre part : } v_{in} = v_s \times \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} = v_s \times \frac{r_e}{R_s + r_e}$$

$$\text{Le gain effectif : } G_{eff} \equiv \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{v_{out}}{v_{in}} \times \frac{v_{in}}{v_s}$$

$$G_{eff} = \beta \left(\frac{R_B // R_L}{r_\pi} \right) \times \frac{r_e}{R_s + r_e}$$

$$= \beta \left(\frac{R_B // R_L}{r_e (\beta + 1)} \right) \times \frac{r_e}{R_s + r_e} = \alpha \left(\frac{R_B // R_L}{(R_s + r_e)} \right)$$

d) Calculez le courant de polarisation au point de repos (I) en vous servant de l'expression pour R_{in} et la spécification #4 du mandat.

$$\text{On a trouvé que } R_{in} = r_e \quad \text{or } r_e \equiv \frac{V_T}{I_E}$$

Donc, pour que $R_{in} = r_e = 50 \Omega$ il faut que

$$I_E = \frac{V_T}{r_e} = \frac{25 \text{ mV}}{50 \Omega} = 0.5 \text{ mA}$$

$$\text{Donc } I = I_C + I_B = I_E = \underline{\underline{0.5 \text{ mA}}}$$

Examen final d'Électronique 1 : hiver 2001

SECTION 5

MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE

/ /

Question 5 (suite)

MAINDEC

page 10

e) Calculez la valeur de R_B qui permettra d'obtenir un gain effectif de $9V/V$ (spécification 5 du mandat)

$$G_{eff} = \alpha \frac{(R_B // R_L)}{R_s + r_e}$$

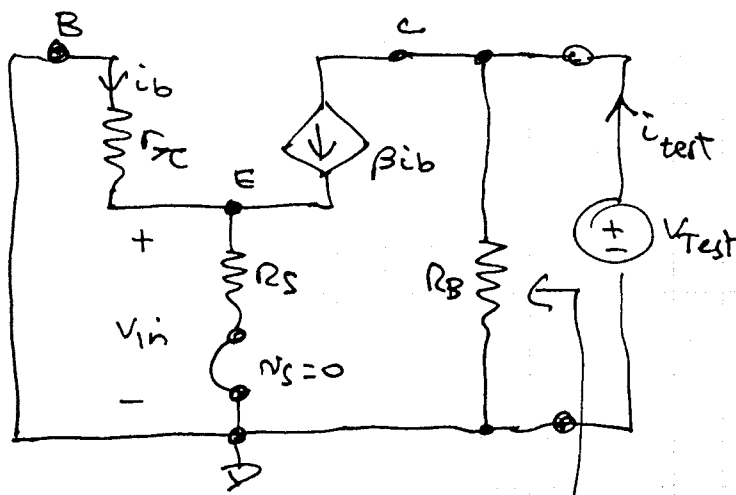
$$\text{Donc } R_{eq} \equiv (R_B // R_L) = \frac{G_{eff} (R_s + r_e)}{\alpha} = \frac{9V/V}{0.99} \times 100\Omega$$

$$\frac{1}{R_B} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{1000\Omega} + \frac{0.99}{900\Omega} = \frac{990 - 900}{900,000}$$

$$R_B = \frac{900,000}{90} = \underline{\underline{10\text{ k}\Omega}}$$

f) Calculez la résistance de sortie (R_{out}) de l'amplificateur.

Pour cela, on met la source de signal v_s à 0 (i.e court-circuit);
 on applique une tension test à la sortie et on calcule le courant.



Étant donné que $V_{in} = 0$
 $i_b = 0$
 et la source de courant
 $\beta i_b = 0$ (circuit ouvert)

$$\text{Donc } \underline{\underline{R_{out} = R_B}}$$

$$R_{out} \equiv \frac{V_{test}}{i_{test}}$$

i_{test}

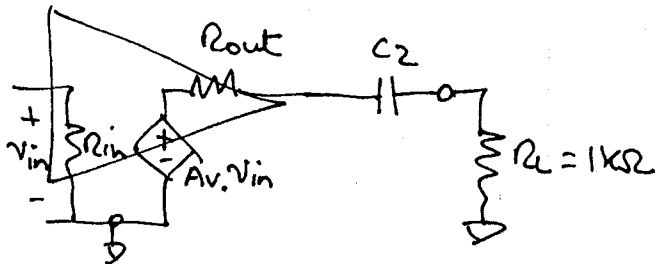
Examen final d'électronique I

SECTION 1

PROBLÈMES – SIGNES DE DÉFAILLANCE

Question 5 (suite)

page 11

| #ITEM | DATE | UNITE | DESCRIPTION – (RÉFÉRENCES AUX DOCUMENTS) |
|-------|------|-------|---|
| | | | <p>g)</p>  <p>Calcul de C_2 pour que la fréquence de coupure du filtre passe-haut formé de C_2, R_{out} et R_L soit de 20 kHz</p> $C_2 = \frac{1}{2\pi f_c (R_{out} + R_L)} = \frac{1}{2\pi \times 20 \times 10^3 \text{ Hz} \times 11 \times 10^3 \Omega}$ <p>$C_2 \approx 723 \text{ pF}$</p> <p>h) Ajout d'un condensateur C_x pour limiter la bande passante à 2 MHz</p> <p>Plusieurs possibilités :</p> <ul style="list-style-type: none"> i) entre la base et le collecteur ii) entre le collecteur et la masse iii) en // avec R_L |