
6GEI620 - Électronique II

Examen Partiel #1 Solutions préliminaires Hiver 2007

Modalité:

- Aucune documentation n'est permise.
 - Vous avez droit à une calculatrice non programmable.
 - La durée de l'examen est de 3h
 - Cet examen compte pour 20% de la note finale.
-

Question 1. Questions théoriques. (15 points)

- a) Dans quel cas a-t-on le droit de dire les 2 entrées d'un amplificateur opérationnel (gain infini) sont égaux ? (2 points)

Quand il est connecté en rétroaction négative (vout connecte a v- au travers de composantes).

- b) Pourquoi connecte-t-on les sources de tension indépendantes à 0 lors de l'analyse AC ? (2 points)

Par théorème de superposition. Les sources sont indépendantes et notre système est « linéaire ».

- c) Les C à l'entrée et la sortie isolent le niveau DC entre les étages. À quoi sert le C à l'émetteur ? Que se passerait-il s'il n'y était pas ? (2 points)

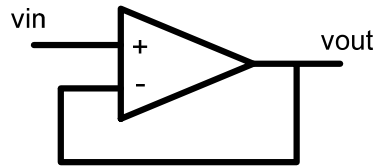
Pour permettre une plus grande variation de vbe. Si CE n'était pas là, ve varierait selon vb (vbe moins grand) ce qui ferait baisser le gain effectif du circuit.

- d) Un transistor BJT a 3 pattes. Quelles pattes sont utilisées comme entrée et sortie dans les configurations suivantes d'amplificateurs ? (3 points)

Configuration	Entrée	Sortie
Base commune	emetteur	collecteur
Emetteur commun	base	Collecteur
Collecteur commun	Base	emetteur

- e) Quel fait cette configuration d'amplificateur opérationnel ? (2 points)

C'est un buffer... un amplificateur de gain unitaire.



f) Donnez un exemple d'application pour ce circuit. (2 points)

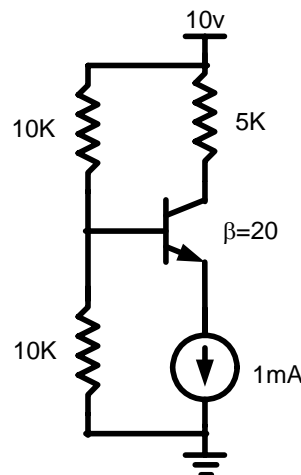
Isoler deux circuits. Présenter une haute résistance à l'entrée et une faible résistance à la sortie. Sans ces caractéristiques, on risquerait de perdre du gain.

g) Dans certains cas, les gains de l'émetteur commun et de la base commune ont une grandeur de $g_m(R_C || R_L)$. Donnez un cas où le gain entre la sortie et la source diffère de beaucoup entre les 2 configurations. (2 points)

Quand la résistance de la source est élevée. La résistance à l'entrée de la base commune est très faible et on y perd du gain quand la résistance de la source est élevée.

Question 2. Faites l'analyse DC de ce circuit. Rappel : On ne trouve pas V_B avec un simple diviseur de tension. C'est-à-dire que V_B n'est pas 5V ! (12 points)

- Trouvez V_B , V_C et V_E . (3 points)
- Trouvez I_B , I_C et I_E (3 points)
- Calculez les paramètres petit-signal pour le modèle en π ET le modèle en T. (3 points)
- Imaginez maintenant qu'on veuille changer la valeur de R_C qui est présentement de 5K. On veut trouver la valeur MINIMALE de R_C pour que le transistor se trouve en SATURATION. Quelle est cette valeur ? (Expliquez) (3 points)



On commence par trouver les courants puisque c'est plus facile. On connaît les équations qui relient les 3 courants I_B , I_C et I_E .

$$I_E = (\beta + 1)I_B \qquad I_E = I_B + I_C$$

On n'en a pas besoin, mais on pourrait déduire une 3e équation pour relier I_C à I_E :

$$IE = \frac{IE}{(\beta + 1)} + IC$$
$$IE \left[\frac{(\beta + 1)}{(\beta + 1)} - \frac{1}{(\beta + 1)} \right] = IC$$
$$IE \left(\frac{\beta}{\beta + 1} \right) = IC$$

Alors, on trouve les reponses:

$$IB = \frac{IE}{\beta + 1}$$
$$IB = 47.6 \mu A$$

$$IC = IE \frac{\beta}{\beta + 1}$$
$$IC = 952.4 \mu A$$

IE est egal a 1mA.

Avec les courants, on peut determiner les valeurs de VB, VC et VE:

$$VC = VDD - IE \frac{\beta}{\beta + 1} RC$$
$$VC = 5.23v$$

Si on se rappelle que VB n'est pas un diviseur de tension, on le trouve en ecrivant des equations de courant:

$$\frac{VDD - VB}{RB1} = IB + \frac{VB}{RB2}$$
$$\frac{VDD}{RB1} - IB = \frac{VB}{RB2} + \frac{VB}{RB1}$$
$$\frac{\frac{VDD}{RB1} - IB}{\left(\frac{1}{RB2} + \frac{1}{RB1} \right)} = VB$$

En mettant les valeurs, on obtient ceci:

$$VB = 4.762$$

Avec $V_{BE}=0.7$, on trouve VE:

$$VE = 4.062$$

Pour trouver les parametres petit-signal, les equations sont toutes donnees:

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{0.952mA}{25mV} = 0.0381$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{20}{0.0381} = 524.9\Omega$$

$$r_e = \frac{r_\pi}{\beta + 1} = \frac{524.9}{21} = 25\Omega$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{50}{0.952mA} = 52521\Omega$$

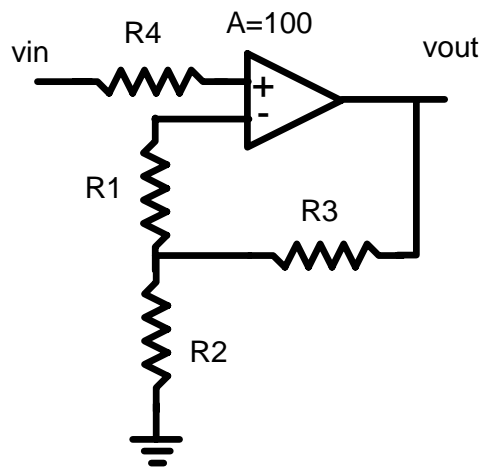
En saturation, $V_{CE}=0.2$. Avec $V_E=4.062$, on aurait $V_C=4.262$. En reprenant l'équation de tantôt, RC devient l'inconnu et V_C devient 4.262.

$$V_C = V_{DD} - I_E \frac{\beta}{\beta + 1} RC$$

$$4.262 = 10 - 1mA \frac{20}{21} RC$$

$$-(4.262 - 10) \frac{21}{20 \cdot 1mA} = RC = 6025\Omega$$

Question 3. Calculez le gain v_{out}/v_{in} de ce circuit. (6 points)



Aucun courant n'entre dans v_- . $R1$ devient inutile et la tension v_- est donnée par un diviseur de tension:

$$v_- = v_{out} \left(\frac{R2}{R2 + R3} \right)$$

On sait aussi que la sortie est liée à l'entrée de la façon suivante:

$$A(v_+ - v_-) = v_{out}$$

On sait qu'il n'y a pas de courant qui entre dans v_+ . La résistance R_4 est donc inutile et $v_+ = v_{in}$.

On substitue v_- et v_+ :

$$A\left(v_{in} - v_{out}\left(\frac{R_2}{R_2 + R_3}\right)\right) = v_{out}$$

On entre A dans la parenthèse:

$$\left(Av_{in} - Av_{out}\left(\frac{R_2}{R_2 + R_3}\right)\right) = v_{out}$$

On met les v_{out} à droite:

$$Av_{in} = v_{out} + Av_{out}\left(\frac{R_2}{R_2 + R_3}\right)$$

on factorise v_{out}

$$Av_{in} = v_{out}\left[1 + A\left(\frac{R_2}{R_2 + R_3}\right)\right]$$

on isole v_{out}/v_{in} :

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{A}{\left[1 + A\left(\frac{R_2}{R_2 + R_3}\right)\right]}$$

On rend le tout plus beau:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{A(R_2 + R_3)}{[R_2 + R_3 + A(R_2)]}$$

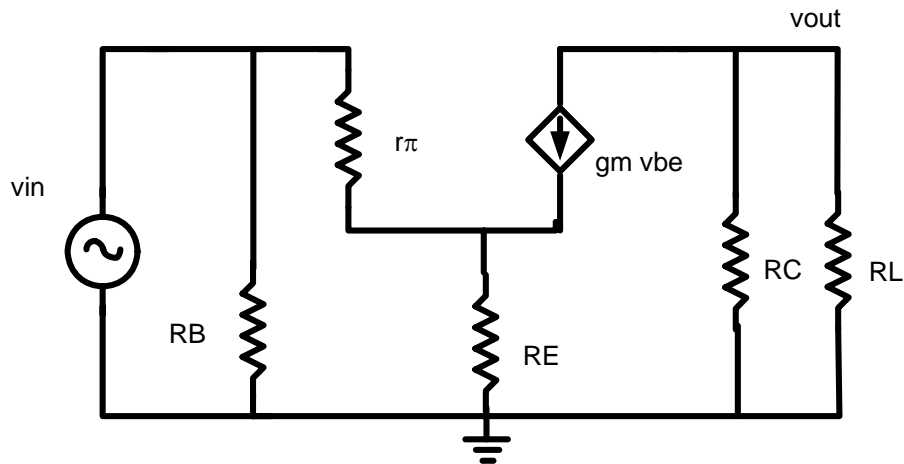
Je le mets sous cette forme pour mettre en évidence ce qui se passe quand A tend vers l'infini.

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{(R_2 + R_3)}{\left[\frac{R_2}{A} + \frac{R_3}{A} + R_2\right]}$$

On devrait remplacer $A=100$:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{(R_2 + R_3)}{\left[\frac{R_2}{100} + \frac{R_3}{100} + R_2\right]}$$

Question 4. Considérez le circuit de la figure suivante. (10 points)



- Trouvez la résistance a l'entrée. (4 points)
- Trouvez la résistance a la sortie. (3 points)
- En court-circuitant R_E (seulement pour la question c)), trouvez le gain v_{out}/v_{in} . (3 points)

Equation du courant a l'entree:

$$I_{IN} = \frac{v_{in}}{R_B} + \frac{v_{in} - v_a}{r_\pi}$$

On voit qu'il y a v_a qu'on ne connaît pas. On écrit donc une deuxième equation:

$$\frac{v_{in} - v_a}{r_\pi} + gm(v_{in} - v_a) = \frac{v_a}{R_E}$$

On développe:

$$\frac{v_{in}}{r_\pi} - \frac{v_a}{r_\pi} + gm v_{in} - gm v_a = \frac{v_a}{R_E}$$

Les v_{in} vont a gauche, les v_a vont a droite:

$$\frac{v_{in}}{r_\pi} + gm v_{in} = \frac{v_a}{R_E} + \frac{v_a}{r_\pi} + gm v_a$$

On factorise:

$$v_{in} \left(\frac{\beta + 1}{r_\pi} \right) = v_a \left(\frac{1}{R_E} + \frac{\beta + 1}{r_\pi} \right)$$

On isole v_a :

$$\frac{v_{in} \left(\frac{\beta + 1}{r_\pi} \right)}{\frac{1}{R_E} + \frac{\beta + 1}{r_\pi}} = v_a$$

On substitue dans l'équation de départ

$$I_{IN} = v_{in} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1 - \frac{\left(\frac{\beta+1}{r_\pi}\right)}{r_\pi + R_E(\beta+1)}}{\frac{R_E r_\pi}{r_\pi}} \right)$$

On réarrange la fraction au numérateur:

$$I_{IN} = v_{in} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1 - \left(\frac{\beta+1}{r_\pi}\right) \frac{R_E r_\pi}{r_\pi + R_E(\beta+1)}}{r_\pi} \right)$$

Les r_π s'annulent au numérateur:

$$I_{IN} = v_{in} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1 - (\beta+1) \frac{R_E}{r_\pi + R_E(\beta+1)}}{r_\pi} \right)$$

On met le numérateur au même dénominateur:

$$I_{IN} = v_{in} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{\frac{r_\pi + R_E(\beta+1)}{r_\pi + R_E(\beta+1)} - (\beta+1) \frac{R_E}{r_\pi + R_E(\beta+1)}}{r_\pi} \right)$$

Ça se simplifie:

$$I_{IN} = v_{in} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{\frac{r_\pi}{r_\pi + R_E(\beta+1)}}{r_\pi} \right)$$

Finalement, on obtient ceci:

$$I_{IN} = v_{in} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{r_\pi + R_E(\beta+1)} \right)$$

$$\frac{v_{in}}{I_{IN}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{r_\pi + R_E(\beta+1)} \right)}$$

$$R_{IN} = \frac{V_{in}}{I_{IN}} = R_B \parallel [r_{\pi} + R_E (\beta + 1)]$$

On aurait aussi le voir par inspection en « convertissant » la résistance de l'émetteur à la base. En faisant ça, on multiplie la résistance R_E par $\beta + 1$. La résistance vue de l'entrée devient une combinaison parallèle de R_B et r_{π} et de cette nouvelle résistance.

Pour la résistance de sortie, on enlève R_L et on met v_{in} à 0. Avec $v_{in}=0$, v_{be} devient 0 et la source dépendante ne fonctionne plus. Tout ce qu'on voit c'est R_C .

Il est aussi possible de le faire au long en appliquant un courant v_{out} . On verrait dans ce cas que le courant « tire » est v_{out}/R_C . La résistance de sortie $v_{out}/i_{out}=R_C$.

Pour le gain, le circuit devient un émetteur commun assez typique.

$$v_{out} = -I * (R_C \parallel R_L)$$

$$I = g_m v_{be}$$

$$v_{be} = v_{in}$$

$$v_{out} = -g_m v_{in} * (R_C \parallel R_L)$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_m (R_C \parallel R_L)$$

Question 5. (11 points)

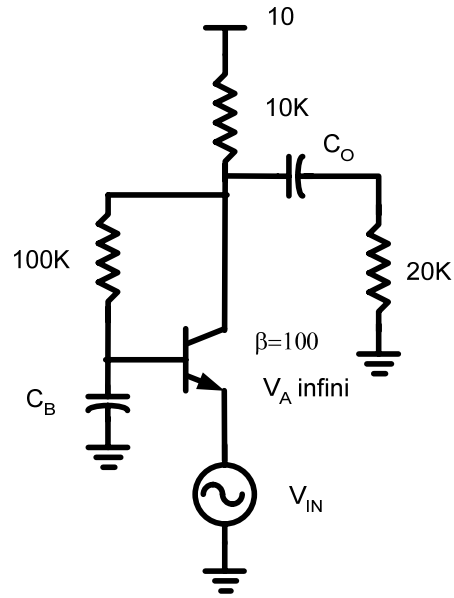
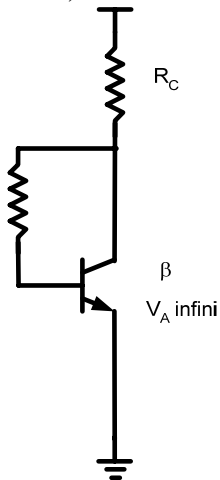


Figure 4

- a) Avec les connexions, on est capable de déterminer le genre d'amplificateurs. Comment se nomme cette topologie d'amplificateur ? (1 point)

Entree a l'emetteur, sortie au collecteur et base mis au ground : base commune.

- b) Faites l'analyse DC pour déterminer I_C . (2 points)



Le courant qui passe par R_C est divisé en 2 : une partie va dans la base et l'autre partie entre au collecteur. Sachant que la somme de I_C et I_B donne I_E , on sait que ce courant est I_E .

$$\frac{V_{DD} - V_C}{R_C} = I_E$$

On a 2 variables. Il faudrait s'écrire une autre equation: l'équation du courant a la base.

$$\frac{V_C - V_B}{R_{FB}} = I_B$$

On remplace I_B par $I_E/\beta+1$.

$$\left(\frac{V_C - V_B}{R_{FB}}\right)(\beta + 1) = I_E$$

On substitue I_E de la première équation ici:

$$\left(\frac{V_C - V_B}{R_{FB}}\right)(\beta + 1) = \frac{V_{DD} - V_C}{R_C}$$

On développe l'équation:

$$\frac{V_C(\beta + 1)}{R_{FB}} - \frac{V_B(\beta + 1)}{R_{FB}} = \frac{V_{DD}}{R_C} - \frac{V_C}{R_C}$$

ON met les V_C à gauche et le reste à droite:

$$\frac{V_C(\beta + 1)}{R_{FB}} + \frac{V_C}{R_C} = \frac{V_{DD}}{R_C} + \frac{V_B(\beta + 1)}{R_{FB}}$$

On isole V_C :

$$V_C = \frac{\frac{V_{DD}}{R_C} + \frac{V_B(\beta + 1)}{R_{FB}}}{\left[\frac{(\beta + 1)}{R_{FB}} + \frac{1}{R_C}\right]}$$

V_B c'est égal à 0.7 puisque V_{BE} est 0.7. Le reste sont des constantes.

$$V_C = \frac{\frac{10}{100K} + \frac{0.7(101)}{100K}}{\left[\frac{(101)}{100K} + \frac{1}{10K}\right]} = 1.54$$

On peut donc trouver les différents courants:

$$I_E = \frac{10 - 1.54}{10K} = 0.846mA$$

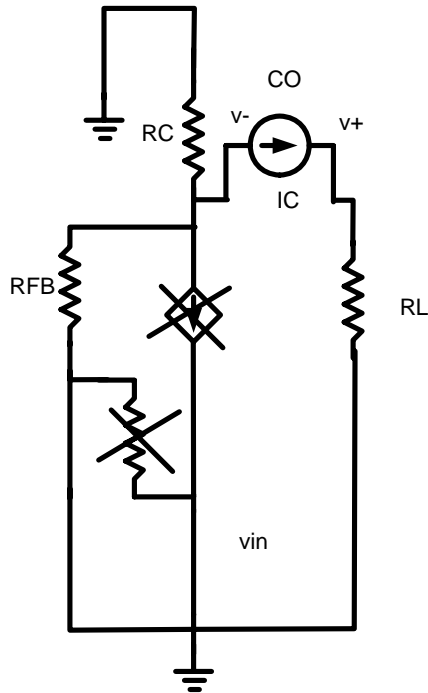
$$I_B = \frac{0.846mA}{101} = 8.38\mu A$$

$$I_C = 0.846mA \frac{100}{101} = 0.838mA$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{0.838mA}{25mV} = 0.0335$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{0.0335} = 2985\Omega$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \infty$$



On sait que la fréquence de coupure totale est la somme des fréquences de coupures des condensateurs pris individuellement. On connaît déjà la fréquence -3dB du condensateur à la base. Pour une fréquence de coupure de 1000rad/s, il faudrait que le condensateur de sortie soit 500 rad/s.

On procède avec la méthode par constante de temps court-circuit. On veut trouver la résistance que voit le condensateur.

Sources indépendantes mises à 0.

Condensateur court-circuité.

On applique un courant à la place du condensateur et on trouve les tensions générées.

On commence avec v_+ :

$$v_+ = I_C R_L$$

On continue avec v_- :

$$v_- = -I_C (R_C \parallel R_{FB})$$

On trouve la différence entre les 2:

$$v_+ - v_- = I_C R_L + I_C (R_C \parallel R_{FB})$$

Et on trouve la résistance équivalente:

$$R_{EQ} = \frac{v_+ - v_-}{I_C} = R_L + (R_C \parallel R_{FB})$$

La fréquence -3dB est donnée par notre équation:

$$\omega_{-3dB} = \frac{1}{R_{EQ} C} = \frac{1}{(R_L + (R_C \parallel R_{FB})) C}$$

On sait qu'on veut 500 rad/s, alors on isole C:

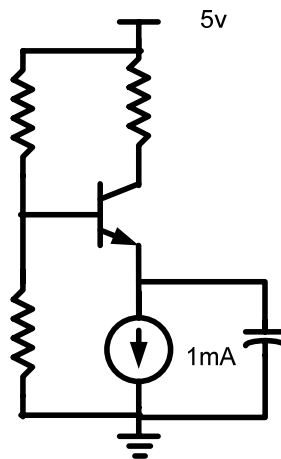
$$500 = \frac{1}{(20K + (10K \parallel 100K))C}$$

$$C = \frac{1}{(20K + (10K \parallel 100K))500} = 68.75nF$$

- c) Trouvez les paramètres du modèle petit-signal de votre choix (2 points)
- d) Redessinez le circuit en remplaçant le transistor par son équivalent petit signal. (1 point)
- e) On a trouvé que ω_{-3dB_CB} est de 500rad/s. Donnez la valeur de C_O pour que la fréquence de coupure totale soit égale à 1000 rad/s. (5 points)

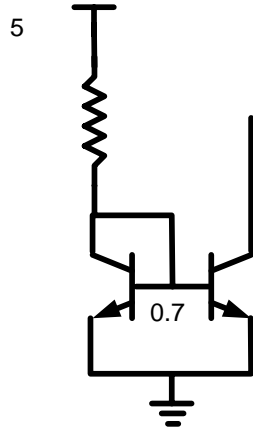
Question 6. : (6 points)

Considérez le circuit suivant.



On aimerait concevoir la source de courant à l'émetteur du transistor. En utilisant 2 transistors NPN et une résistance connectée à l'alimentation de 5v, concevez un miroir de courant.

- a) Déterminez la valeur de R requis pour un courant de 1mA (4 points)
- b) Redessinez le circuit en y connectant le miroir de courant. (2 points)



$$\frac{5 - 0.7}{R} = 1mA$$
$$R = 4300\Omega$$

