
6GEI620 - Électronique II

Examen Partiel #1 Solutions préliminaires Hiver 2006

Modalité:

- Aucune documentation n'est permise.
 - Vous avez droit à une calculatrice non programmable.
 - La durée de l'examen est de 2h45.
 - Cet examen compte pour 15% de la note finale.
-

D'après moi, il y a 24 points qui sont essentiellement des points **DONNÉS**. Si vous êtes venus au cours et que vous avez écouté, vous devriez être capable de les avoir.

Il y a 14 points qui sont des points **NORMAUX**. Avec assez d'effort, vous devriez être capable de répondre.

Il reste 7 points qui sont des points **"DIFFICILES"** parce que ça en demande un peu plus.

Question 1. Considérez le circuit de la figure 1. (12 points)

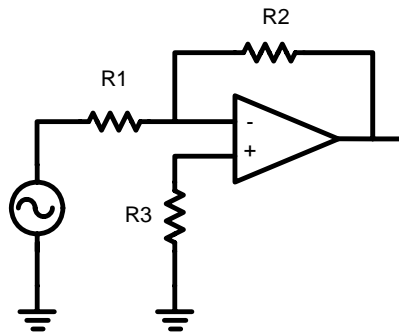


Figure 1

- a) Si le gain de l'amplificateur est infini, quel est le gain ($V_{\text{SORTIE}}/V_{\text{ENTRÉE}}$) de ce circuit ? (2 points)

Aucun courant ne passe par R3. Le gain est donné par : $-R2/R1$. (POINTS DONNÉS)

- b) Si le gain de l'amplificateur est de 100, quel est le gain ($V_{\text{SORTIE}}/V_{\text{ENTRÉE}}$) de ce circuit ? (2 points) (**POINTS DONNÉS**)

On a fait un exemple dans le cours pour les gains qui ne sont pas infinis. C'est la même question (sauf pour R3, mais la réponse demeure la même).

Vous auriez pu ré-écrire systématiquement l'équation qu'on a trouvé ou faire les démarches suivantes :

On écrit l'équation au nœud à V-

$$\frac{v_{in} - \left(-\frac{v_o}{A}\right)}{R1} = \frac{\left(-\frac{v_o}{A}\right) - v_o}{R2}$$

On multiplie les deux bords par R1R2.

$$R2v_{in} - R2\left(-\frac{v_o}{A}\right) = R1\left(-\frac{v_o}{A}\right) - R1v_o$$

On déplace Vo d'un bord:

$$R2v_{in} = R1\left(-\frac{v_o}{A}\right) - R1v_o - R2\left(\frac{v_o}{A}\right)$$

On factorise Vo

$$R2v_{in} = -v_o \left[\left(\frac{R1}{A}\right) + R1 + \left(\frac{R2}{A}\right) \right]$$

On isole Vo/Vi :

$$\text{Gain} = -\frac{R2}{\left[\left(\frac{R1}{A}\right) + R1 + \left(\frac{R2}{A}\right) \right]}$$

On peut encore simplifier si on veut :

$$\text{Gain} = -\frac{R2}{\left[\left(\frac{R1}{A}\right) + \left(\frac{AR1}{A}\right) + \left(\frac{R2}{A}\right) \right]} = -\frac{AR2}{[R1 + AR1 + R2]}$$

On remplace A par 100 et on obtient la réponse :

$$\text{Gain} = - \frac{100R_2}{[101R_1 + R_2]}$$

Le gain de l'amplificateur est de 100. Les tensions d'alimentation sont de 5v et -5v. Si le signal a l'entrée change de 0v à 20mV, quel changement de signal allez-vous voir a la sortie quand R1=1K, R2= 5K et V_{Sortie} initial est 0v ? (2 points) (POINTS DONNÉS)

Remplaçons premièrement le gain "symbolique" avec une valeur :

$$\text{Gain} = - \frac{100(5K)}{[101(1K) + 5K]} \cong 4.71$$

Si le gain est 4.71 et le signal est de 20mV, la sortie sera de 4.71*20mV INVERSÉ (puisque notre gain est négatif).

La sortie changera de 0 à 94.34mV.

Considérez maintenant le circuit de la figure 2. Notez le changement de polarité des signaux en entrée de l'amplificateur.

Le gain de l'amplificateur est infini. Les tensions d'alimentation sont de 5v et -5v. Si le signal a l'entrée change de 0v à 20mV, quel changement de signal allez-vous voir a la sortie quand R1=1K, R2= 5K et V_{Sortie} initial est 0v ? (2 point) (POINTS "DIFFICILES")

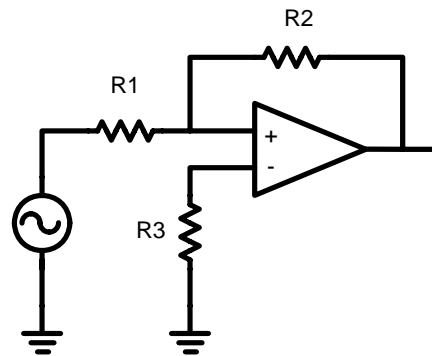


Figure 2

Cette question est une question qui demande de réfléchir. Voici le raisonnement qu'on a discuté dans le cours.

1. Vous savez que l'amplificateur a un gain infini.

2. Dans le cas de a), il y a une rétroaction négative. Si V_+ est plus grand que V_- , la sortie montera.
3. Ce gain est connecté à l'entrée négative qui fait monter la valeur de l'entrée négative.
4. Ce changement diminue la différence entre les deux entrées et va stabiliser la valeur. C'est pour ça que, quand on a un gain infini, les entrées ont à peu près la même valeur.

Ça vient aussi de la théorie des systèmes asservis, alors d'une façon ou d'une autre, vous auriez du le savoir.

Il faut juste pousser le raisonnement plus loin. Si on connectait la sortie à l'entrée positive, à la place de faire une rétroaction négative (pour converger) l'amplificateur va faire une rétroaction positive. Alors, si on avait V_+ plus grand que V_- , la sortie AUGMENTERAIT. Cette augmentation connectée au V_+ va tendre à augmenter la différence entre les entrées. Le processus continue jusqu'à saturation. C'est-à-dire que ça monterait jusqu'à l'infini, mais la source d'alimentation ne le laisserait pas. Il va donc saturer à 5V.

Considérez le circuit de la figure 3.

Dans la situation actuelle, il n'y a aucun avantage à utiliser le circuit de la figure 3 à la place du circuit de la figure 1. Expliquez pourquoi. (2 points) (POINTS NORMAUX)

Il faut premièrement savoir que la première partie du circuit, c'est un amplificateur à gain unitaire (dans vos notes).

Deuxième chose à savoir c'est que, pour un amplificateur en tension, on veut avoir 2 caractéristiques autre que le gain :

- résistance en entrée = infini
- résistance de sortie = 0

La résistance en entrée de la figure 1 est de R_1 . En utilisant la figure 3, on a une résistance en entrée qui est infini.

Pour répondre à la question, le circuit n'a aucun avantage puisque la résistance de sortie de la source de signal est de 0. Donc, toute la tension se retrouverait à l'entrée de l'amplificateur même si il y a une faible résistance en entrée.

- c) Dans quelle situation est-ce que le circuit de la figure 3 serait avantageux par rapport au circuit de la figure 1 ? (Indice : Quand les composantes utilisées sont idéales, il est difficile de voir les différences en performance entre différentes topologies). (2 points) (POINTS NORMAUX)

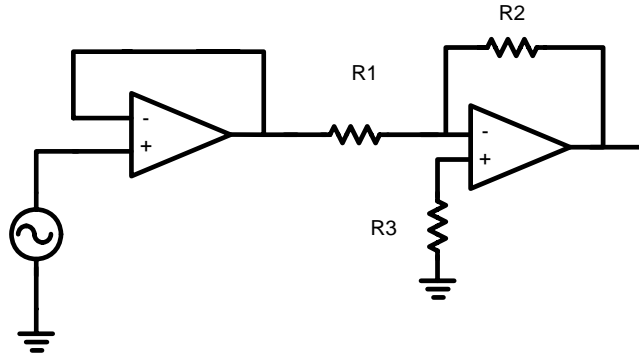


Figure 3

Il serait avantageux quand il y a une grande résistance à la sortie de la source de signal.

Question 2. Décrivez de façon qualitative, la résistance à l'entrée, la résistance à la sortie et le gain des trois amplificateurs bipolaires de base. Utilisez des termes comme faible, élevé, plus élevé que, moins élevé que, etc. (6 points) *(POINTS DONNÉS)*

Amplificateur	Résistance en entrée	Résistance a la sortie	Gain
Emetteur commun	élevé	élevé	élevé
Base commune	Faible	élevé	élevé
Collecteur commun	Elevé (plus que EC)	faible	Unitaire (faible)

Question 3. Considérez le circuit de la figure 4. (7 points) *(POINTS NORMAUX)*

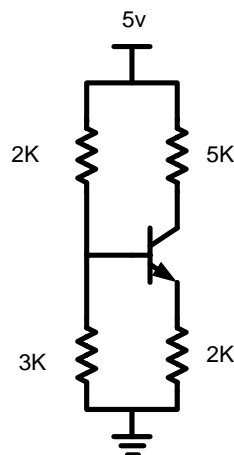


Figure 4

- a) Trouvez les tensions V_B , V_C , V_E et les courants I_B , I_C et I_E si le β est de 50. (6 points)
b) Dans quelle région opère le transistor ? (1 point)

Équation évidente

$$V_B = V_E + V_{BE}$$

Autre équation évidente :

$$V_E = R_E I_E$$

On les combine et on met ça de côté :

$$V_B = R_E I_E + V_{BE}$$

On prend les courants à V_B .

$$\frac{V_{CC} - V_B}{R1} = I_B + \frac{V_B}{R2}$$

On substitue avec l'équation qu'on a mise de côté :

$$\frac{V_{CC} - R_E I_E - V_{BE}}{R1} = I_B + \frac{R_E I_E + V_{BE}}{R2}$$

On multiplie par $R1R2$ des deux bords

$$R2V_{CC} - R2R_E I_E - R2V_{BE} = R1R2I_B + R1R_E I_E + R1V_{BE}$$

Il reste 2 variables : I_B et I_E . Pour en enlever une, on utilise une relation connue :

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

On le substitue :

$$R2V_{CC} - R2R_E I_B(\beta + 1) - R2V_{BE} = R1R2I_B + R1R_E I_B(\beta + 1) + R1V_{BE}$$

On déplace les I_B d'un côté :

$$R2V_{CC} - R2V_{BE} - R1V_{BE} = R1R2I_B + R1R_E I_B(\beta + 1) + R2R_E I_B(\beta + 1)$$

On factorise I_B :

$$R2V_{CC} - R2V_{BE} - R1V_{BE} = [R1R2 + R1R_E(\beta + 1) + R2R_E(\beta + 1)]I_B$$

On isole I_B :

$$I_B = \frac{R2V_{CC} - R2V_{BE} - R1V_{BE}}{[R1R2 + R1R_E(\beta + 1) + R2R_E(\beta + 1)]}$$

On remplace par les chiffres :

$$I_B = 22.28 \mu A$$

$$I_C = 1.11 mA$$

$$I_E = 1.14 mA$$

$$V_E = 2.27 V$$

$$V_C = 5 - 5.55 = -0.55 V$$

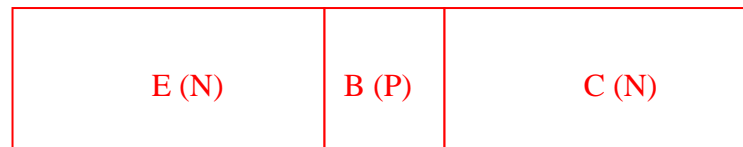
$$V_B = V_E + V_{BE} = 2.27 + 0.7 = 2.97 V$$

La jonction BC est clairement polarisée en direct : on est dans la région de saturation.

$$V_C = V_E + V_{CESAT} = 2.47 V$$

Le courant I_C devient donc : $(5 - 2.47) / 5K = 506 \mu A$.

Question 4. Un transistor bipolaire peut être représenté par des blocs de semi-conducteur de type P et de type N. (4 points) (POINTS DONNÉS) c) (POINTS NORMAUX)



- Dessinez ces blocs pour un transistor de type NPN. (2 points)
- Il y a 2 jonctions PN dans ce transistor. Comment doivent-ils être polarisés pour que le transistor opère en SATURATION? (1 point)

Jonction BE : En direct

Jonction BC : ~~En inverse~~ EN DIRECT

- Décrivez le flot des électrons et des trous dans chacune des trois régions quand le transistor est en mode ACTIF. (1 point)

- Électrons entrent dans émetteur (trous en sortent)
- Attirés par trous de la base
- Traversent émetteur pour se rendre à la base
- Attirés par potentiel élevé au collecteur alors ils passent directement au collecteur

Question 5. Considérez le circuit de la figure 5. C'est un amplificateur avec un gain de -100, qui a deux condensateurs de 1pF (10^{-12}) et une résistance R1 de 100K qui sont connectés autour. (7 points) (*POINTS DONNÉS*)

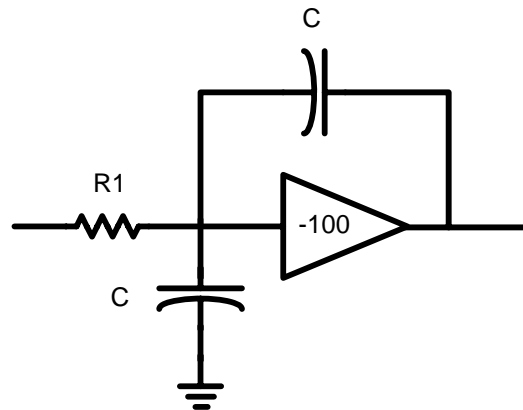


Figure 5

a) Trouvez la (les) fréquence(s) -3dB en HERTZ. (5 points)

On a un cas typique de la capacité de Miller. Un condensateur connecté entre les bornes d'un amplificateur (rappelez-vous qu'on en a parlé pendant l'émetteur commun, la source commune et on a même passé une vingtaine de minutes à parler de ça).

La théorie dit que ça peut être décomposé en deux condensateurs connectés à la masse. Un en entrée et un en sortie.

La valeur du condensateur en entrée est de $(1-K)C$. On se retrouve donc avec un condensateur de $101C$ connecté en parallèle avec un autre condensateur de taille C . La somme : $102C$.

Dans un circuit RC de premier ordre, on sait que la fréquence de coupure (en rad/s) est donné par

$$\omega_{-3db} = \frac{1}{RC}$$

Ici, on remplace C par $102C$:

$$\omega_{-3db} = \frac{1}{102RC}$$

Puisque $\omega = 2\pi f$,

$$f_{-3db} = \frac{1}{(102RC)2\pi}$$

$$f_{-3db} \cong 15603Hz$$

- b) Est-ce un passe-haut ou un passe-bas (ou les deux) ? (2 points)
Passe-bas (filtre RC de premier ordre classique)

Question 6. Considérez le circuit de la figure 6. (9 points)

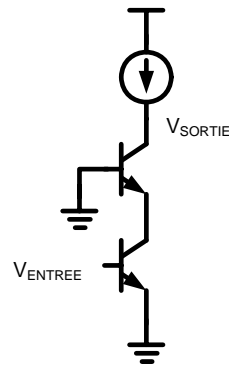
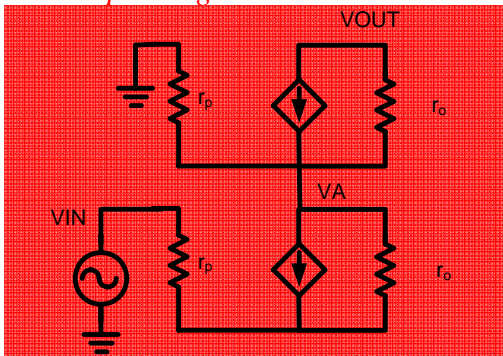


Figure 6

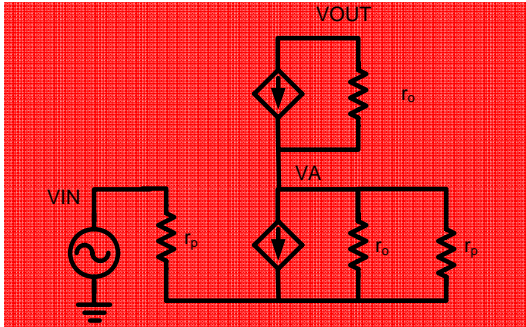
En considérant le modèle petit signal avec r_o , répondez aux questions suivantes:

- a) Quel est le gain de ce circuit ? (5 point) (peut-être long mais ce n'est que des manipulations d'équations si vous connaissez vos modèles : POINTS "DIFFICILES")

Modèle petit-signal :



On déplace le r_{π} pour mettre en évidence la connexion parallèle :



On écrit l'équation du courant au nœud V_A :

$$-g_m V_A = g_m v_{in} + \frac{V_A}{r_o \parallel r_\pi} + \frac{V_A - v_{out}}{r_o}$$

On écrit l'équation du courant au nœud V_{out} :

$$-g_m V_A = \frac{V_A - v_{out}}{r_o}$$

On substitue dans l'équation au nœud V_A :

$$-g_m V_A = g_m v_{in} + \frac{V_A}{r_o \parallel r_\pi} - g_m V_A$$

On simplifie

$$0 = g_m v_{in} + \frac{V_A}{r_o \parallel r_\pi}$$

On déplace $g_m v_{in}$:

$$-g_m v_{in} = \frac{V_A}{r_o \parallel r_\pi}$$

On isole V_A :

$$V_A = -g_m v_{in} (r_o \parallel r_\pi)$$

La tension v_{out} est donnée par (le courant fois la résistance donne la tension aux bornes et on ajoute ça à la tension à la borne minimale)

$$v_{out} = V_A + g_m(V_A)r_o$$

On factorise V_A

$$v_{out} = V_A(1 + g_m r_o)$$

On substitue la valeur de V_A obtenue précédemment :

$$v_{out} = -g_m v_{in}(r_o \parallel r_{\pi})(1 + g_m r_o)$$

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

$$\text{gain} = -g_m(r_o \parallel r_{\pi})(1 + g_m r_o)$$

Pour l'embellir, on pourrait dire que r_{π} est beaucoup plus petit que r_o et que $g_m r_o$ est beaucoup plus grand que 1

$$\text{gain} = -g_m(r_{\pi})(g_m r_o)$$

En sachant que $g_m r_{\pi}$ est égal à β ,

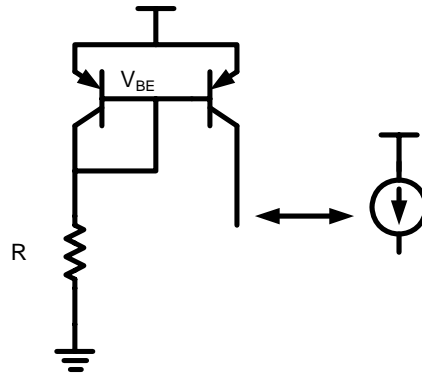
$$\text{gain} = -\beta(g_m r_o)$$

- b) Dans quel cas serait-il avantageux d'utiliser cette topologie d'amplificateur ? (2 points) **(POINTS NORMAUX)**
c)

On peut l'utiliser pour augmenter le gain ou pour augmenter la bande passante (réduire l'effet Miller)

- d) Dessinez une implémentation possible pour cette source de courant si elle doit fournir 3mA quand la tension d'alimentation est de 10V? (2 points) **(POINTS DONNÉS)**

On en a parlé dans le cours et vous l'avez revu au laboratoire : le miroir de courant.



On estime que le V_{BE} est de 0.7. Donc, si la tension est de 10V et que le V_{BE} est de 0.7, on aurait 9.3V à la résistance. $V=RI$, alors pour avoir un courant de 3mA, on divise 9.3 par 0.003. Ça donne une résistance de 3100Ω .