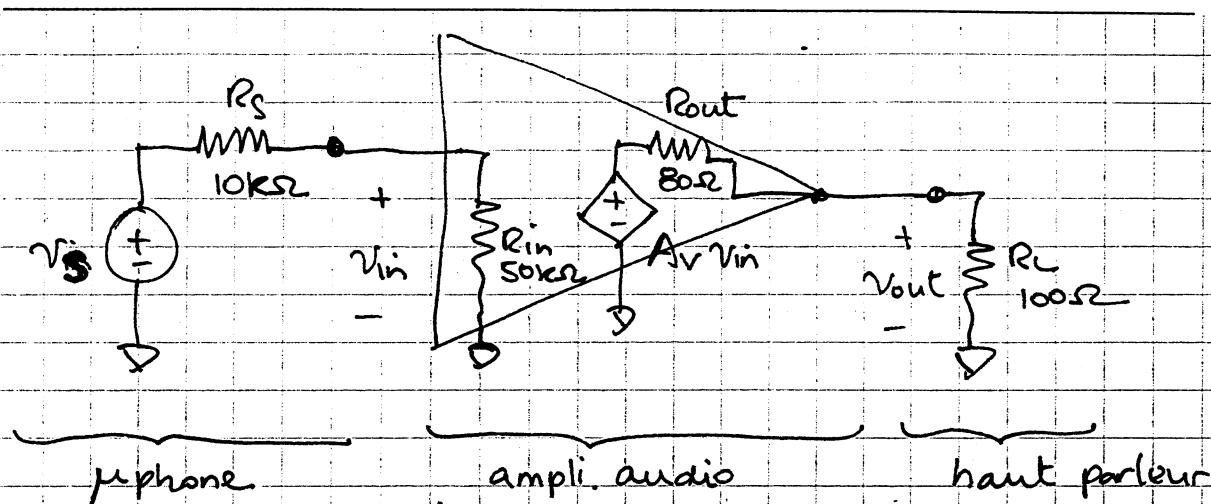


Question 1 : 3 points

Question 1 : 3 points

Un microphone génère un signal de 50 mV crête et a une résistance de source $R_S = 10\text{ k}\Omega$. Ce microphone est relié à un amplificateur audio dont l'impédance d'entrée $R_{IN} = 50\text{ k}\Omega$ et l'impédance de sortie $R_{OUT} = 80\Omega$. La sortie de l'amplificateur est reliée à un haut-parleur de 100Ω . Dessinez le circuit équivalent à ce système et calculez le gain de tension requis pour obtenir un signal de 5 V crête aux bornes du haut-parleur.



$$v_{out} = A_v \cdot v_{in} \times \frac{R_L}{R_L + R_{out}}$$

$$v_{in} = v_s \times \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S}$$

$$v_{out} = A_v \cdot v_s \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} \times \frac{R_L}{R_L + R_{out}}$$

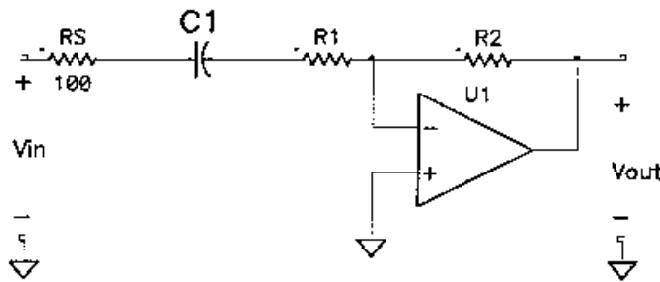
$$\therefore A_v = \frac{v_{out}}{v_s} \times \left(\frac{R_{in} + R_S}{R_{in}} \right) \times \left(\frac{R_L + R_{out}}{R_L} \right)$$

$$= \frac{5\text{ V}}{50 \times 10^{-3}\text{ V}} \times \left(\frac{50\text{ k} + 10\text{ k}}{50\text{ k}} \right) \times \left(\frac{100 + 80}{100} \right)$$

$$= \boxed{216 \frac{\text{V}}{\text{V}}}$$

Question 2 : 3 points

Question 2 : 3 points



On désire obtenir pour le circuit ci-dessus une réponse en fréquence caractéristique d'un filtre passe-bande avec un gain de tension à mi-bande $A_v = -10 \text{ V/V}$, et des fréquences de coupure à -3dB, $f_L \leq 100 \text{ Hz}$ et $f_H \geq 300 \text{ kHz}$. Déterminez les valeurs de R_1 , R_2 , C_1 et f_c qui permettent d'obtenir ces caractéristiques. (N.B. Ce problème n'a pas de solution unique).

Gain de tension à mi-bande

$$\textcircled{A} \quad A_v = -\frac{R_2}{(R_1 + R_S)} = -10 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

Filtre passe-haut

$$\textcircled{B} \quad f_L = \frac{1}{2\pi (R_1 + R_S) C_1} = 100 \text{ Hz}$$

Filtre passe-bas obtenu par la réponse en fréquence de l'ampli-op

$$\textcircled{C} \quad f_H = \beta f_c \quad \text{où} \quad \beta = \text{facteur de retroaction} = \frac{(R_1 + R_S)}{(R_1 + R_S + R_2)} = 300 \text{ kHz}$$

On a 3 équations et 4 inconnues (R_1, R_2, C_1 et f_c)

Choisissons une valeur "raisonnable" pour C_1 . Prenons $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$

$$\text{de } \textcircled{B}: \quad (R_1 + R_S) = \frac{1}{2\pi f_L C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot 10^{-7} \text{ F}} = 15.9 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Donc } \boxed{R_1 = 15.8 \text{ k}\Omega}$$

$$\text{de (A) : } \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \rightarrow R_2 = 10 (15.9 \text{ k}\Omega)$$

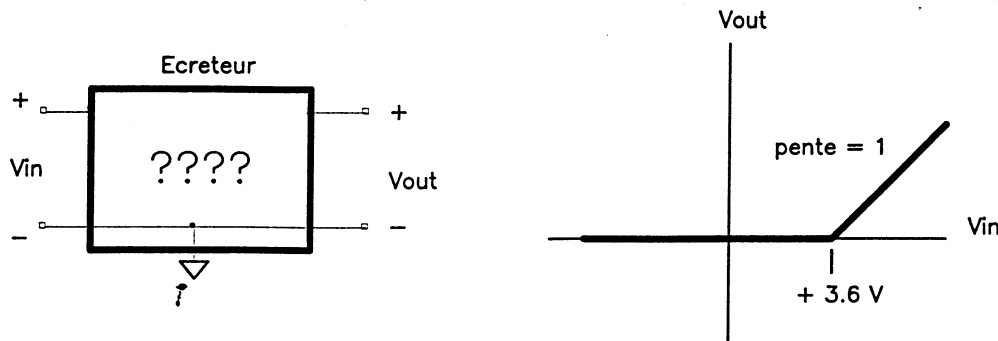
$$R_2 = 159 \text{ k}\Omega$$

$$\text{de (C) : } \beta = \frac{(R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2 + R_2)} = \frac{15.9}{15.9 + 159} = \frac{1}{11}$$

$$f_t = \frac{f_H}{\beta} = 11 \times 300 \text{ kHz} = 3.3 \text{ MHz}$$

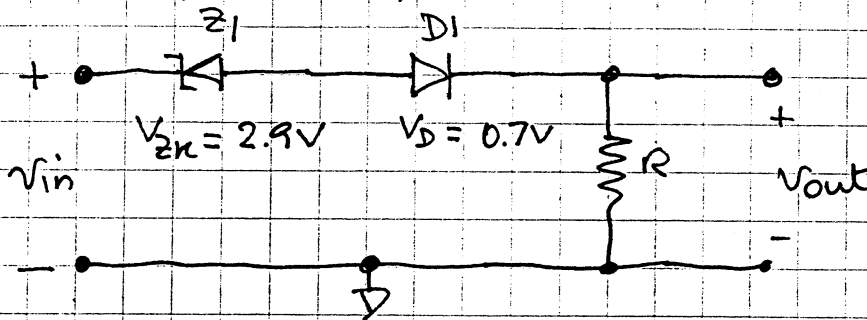
Question 3 : 4 points

Question 3 : 4 points



En vous servant uniquement d'une diode au Silicium ($V_D = 0.7$ V) d'une Zener de 2.9 V et d'une résistance, dessinez un circuit écrêteur dont la fonction de transfert de tension v_{IN} versus v_{OUT} correspond au graphique illustré ci-dessus à droite. Expliquez le fonctionnement de votre circuit ; en particulier, le rôle de la résistance.

Le circuit le plus simple qui répond à ces exigences est le suivant :

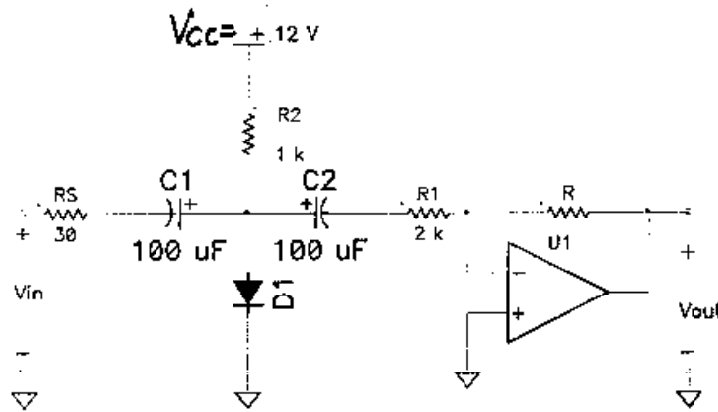


Quand V_{in} est positif la tension de sortie est nulle jusqu'à ce que $V_{in} \geq 3.6$ V. Pour $V_{in} = 3.6$ V on a tout juste les bonnes conditions pour que la diode Z_1 conduise dans sa région d'avalanche (i.e polarisation inverse) et que D_1 conduise normalement. Pour $V_{in} > 3.6$ V la tension de sortie suit la tension d'entrée pourvu que $R \gg$ la résistance dynamique des diodes.

Quand V_{in} est négatif, la diode Zener conduit dans sa région normale (polarisation avant) mais la diode D_1 ne conduit pas. On a donc un circuit ouvert et $V_{out} = 0$.

La valeur de R n'a pas grande importance mais la résistance doit être présente pour permettre aux courants de polarisation de passer dans les diodes.

Question 4 : 5 points



La diode D1 dans le circuit ci-dessus a pour caractéristiques $V_D = 0.7 \text{ V} @ I_D = 1 \text{ mA}$, $n = 2$. Calculez la valeur de R qui permet d'obtenir une tension $v_{OUT} = 1.2 \text{ V}$ crête quand v_{IN} est une onde sinusoïdale de 0.05 V crête à 5 kHz . Procédez par étapes, comme suit:

- Déterminez le régime de fonctionnement de la diode : i) grand signal (e.g. comme redresseur), ii) petit signal en polarisation avant, ou iii) petit signal polarisation inverse.
- Si vous avez choisi l'option ii) procédez à l'étape suivante (sous-question 3c)). Sinon, expliquez votre choix de régime de fonctionnement et passez à la question 5.
- Calculez le courant de polarisation de la diode au point de repos.
- Calculez la résistance dynamique (r_d) de la diode au point de repos.
- Déterminez si C_1 et C_2 peuvent être considérés infinis à la fréquence du signal v_{IN} .
- Calculez le gain de tension de l'ampli inverseur et, enfin, la valeur de R.

a) En DC, les condensateurs C_1, C_2 sont des circuits ouverts. La diode D1 est polarisée avant par V_{CC} (+12V) via la résistance R_2 . Pour que l'on puisse dire que D1 fonctionne en régime "petit signal" il faut que la tension à ses bornes varie peu (10 mV crête ou moins). Il faut donc estimer ces variations de tension.

Supposons, en première approximation, que $V_D = 0.7 \text{ V}$. Le courant de polarisation $I_D = \frac{V_{CC} - V_D}{R_2} \approx \frac{(12 - 0.7) \text{ V}}{1 \text{ k}} = 11.3 \text{ mA}$

La résistance dynamique de la diode : $r_d = \frac{n V_T}{I_D} \approx \frac{2 \times 25 \text{ mV}}{11.3 \text{ mA}} \approx 4.4$

La variation de tension aux bornes de la diode :

$$v_d = v_{in} \times \frac{r_d}{r_d + R_S} = 50 \text{ mV crête} \times \frac{4.4}{34.4} \approx 6.4 \text{ mV crête}$$

Donc la diode fonctionne en régime petit signal.

c) Nous avons calculé, en première approximation, $I_D = 11.3 \text{ mA}$. Calculons V_D correspondant à ce courant :

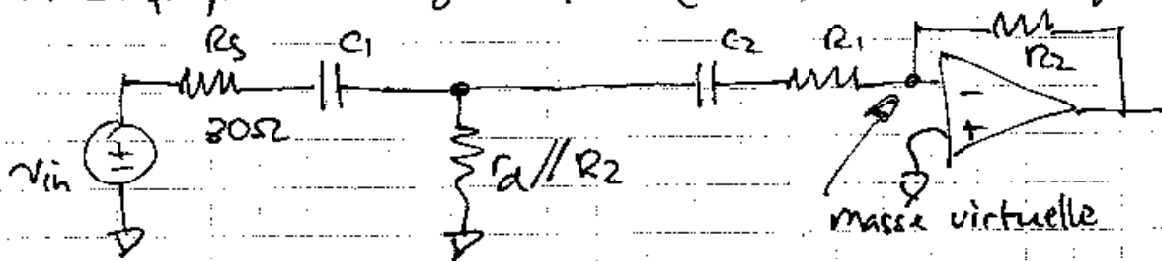
$$V_D = V_1 \left(\frac{I_D}{I_1} \right)^{1/n} = 0.7 \text{ V} \left(\frac{11.3 \text{ mA}}{1 \text{ mA}} \right)^{1/2} = 0.92$$

Le courant passant dans R_2 et D_1 est alors $I_D = \frac{12V - 0.821V}{1k} = 11.18$

Cette valeur (11.18 mA) n'est pas si différente de celle trouvée en 1ère approximation (11.3 mA). On peut considérer que le courant obtenu après une ou 2 autres itérations est entre ces 2 valeurs, disons 11.2.

$$d) r_d = \frac{n V_T}{I_D} = \frac{2 \times 25mV}{11.2 mA} = 4.46 \Omega$$

e) À la fréquence du signal v_{in} (5 kHz) le circuit équivalent est :



On peut considérer que l'on a 2 filtres passe-haut en cascade.

Le 1er filtre, formé de R_s , C_1 et $r_d // R_2$ a une fréquence de coupure à -3dB :

$$f_1 = \frac{1}{2\pi C_1 (R_s + r_d // R_2)} = \frac{1}{2\pi \times 10^{-4} F \times 34 \Omega} \approx 46.8 Hz$$

Le 2ème filtre, formé de C_2 et R_1 a une fréquence de coupure à -3dB

$$f_2 = \frac{1}{2\pi C_2 R_1} = \frac{1}{2\pi \times 10^{-4} F \times 2 \times 10^3 \Omega} \approx 0.8 Hz$$

Dans les 2 cas la fréquence du signal (5 kHz) est \gg . On peut donc considérer C_1 et C_2 comme étant infinis.

f) Le gain de tension requis pour obtenir 1.2V crête à la sortie de l'ampli-op est :

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_d} = \frac{1.2V \text{ crête}}{6.4mV \text{ crête}} = \boxed{187.5 \frac{V}{V}}$$

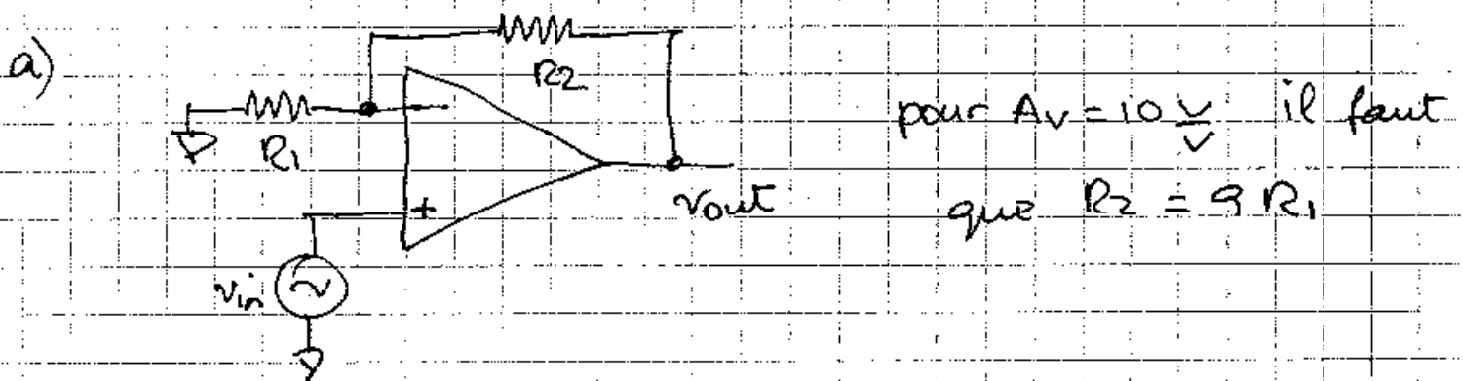
$$R = R_1 \times A_v = 2k\Omega \times 187.5 \frac{V}{V} = \boxed{375 k\Omega}$$

Question 5 : 5 points

Un amplificateur non-inverseur avec un gain de 10 V/V est utilisé pour amplifier un signal sinusoïdal. L'amplificateur est réalisé avec un ampli-op ayant les caractéristiques suivantes :

- Produit gain bande-passante: $f_T = 80$ MHz
- Vitesse de dérive : $SR = 100$ V/ μ s
- Tensions de saturation: $L^+ = +4.5$ V, $L^- = -4.5$ V (pour des alimentations de ± 5 V)
- Tension de décalage typique: $V_{OS} = 5$ mV.
- Courant de polarisation typique: $I_B = 800$ nA.
- Courant de décalage typique : $I_{OS} = 200$ nA.

- a) Pour un signal d'entrée $v_i = 5$ mV crête à 200 kHz, quelle est l'amplitude crête du signal à la sortie de l'amplificateur ?
- b) Pour $v_i = 0.5$ V crête et en augmentant progressivement la fréquence, à partir de quelle fréquence observera-t-on de la distorsion à la sortie de l'amplificateur ?
- c) Pour $f = 200$ kHz et en augmentant progressivement l'amplitude du signal d'entrée, à partir de quelle valeur crête de v_i observera-t-on de la distorsion à la sortie de l'ampli ?
- d) L'amplificateur est réalisé avec des résistances $R_1 = 1$ k Ω et $R_2 = 9$ k Ω . Quand l'entrée de l'ampli. est reliée à la masse ($v_i = 0$) on mesure une tension DC de 15 mV à la sortie de l'amplificateur. D'autres tests nous indiquent que I_B et I_{OS} de cet ampli-op sont égales aux valeurs typiques données ci-dessus. Calculez la tension V_{OS} véritable de cet ampli-op.



Si $v_i = 5$ mV crête et que $A_v = +10 \frac{V}{V}$, la tension de sortie

$v_{out} = 50$ mV crête. Donc, pas de saturation.

Par contre, il faut vérifier 2 points : 1) que la bande passante de l'ampli. est $\gg 200$ kHz afin que le signal ne soit pas atténué par effet de filtrage et 2) que v_{out} n'est pas limité par le slew-rate de l'ampli-op.

Le facteur de rétroaction $\beta \equiv \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_1}{R_1 + 9R_1} = 0.1$

La fréquence de coupure à -3dB de l'ampli : $f_{-3dB} = \beta f_T = 0.1 \times 80$

Puisque $f_{-3dB} = 8$ MHz $\gg 200$ kHz, la fréquence du signal on peut affirmer que l'amplitude de v_{out} n'est pas réduite

Intra. Automne 2009.
significativement par effet de filtrage.

Daee Sa

La distortion par le "slew rate" se produit quand $\omega_H \cdot V_{omax} \gg SR$

i.e. à partir d'une fréquence $f_H = \frac{SR}{2\pi V_{omax}} = \frac{100 V/\mu s}{2\pi \times 50 \times 10^{-3} V}$

$f_H \approx 318 \text{ MHz}$ ce qui est $\gg 200 \text{ kHz}$. Donc, il n'y a pas de distortion due au "slew rate".

La tension de sortie $V_{out} \approx 50 \text{ mV crête}$

b) Pour $v_i = 0.5 \text{ V crête}$ et $A_v = 10 \frac{V}{V}$ on a $v_{out} = 5 \text{ V crête}$

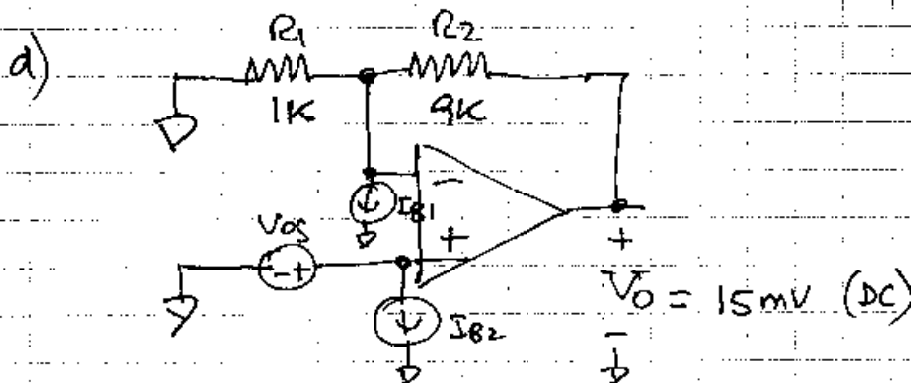
Ceci dépasse les tensions de saturation ($\pm 4.5 \text{ V}$) et on observera de la distortion (saturation) même à très basse fréquence.

c) La distortion due au "slew rate" va commencer à se produire à

$$V_{omax} = \frac{SR}{2\pi f_H} = \frac{100 V/\mu s}{2\pi \times 200 \times 10^3 \text{ Hz}} \approx 500 \text{ V}$$

Ceci est impossible, étant donné que l'ampli se sature à $\pm 4.5 \text{ V}$

Donc $v_{omax} = 4.5 \text{ V crête}$ et $v_{in \text{ max}} = 0.45 \text{ V crête}$



Par superposition: $|V_0| = |-R_2 I_{B1}| + |V_{os} (1 + \frac{R_2}{R_1})| = 15 \text{ mV}$

En prenant $I_{B1} \approx I_{B \text{ typique}} = 800 \text{ nA}$, on trouve $V_{os} = 0.78 \text{ mV}$