

Durée : 4 h

1 - PRINCIPE D'UN AMPLIFICATEUR DE TRANSDUCTANCE COMMANDEE PAR COURANT

Dans le schéma de la figure 1, le courant collecteur de chaque transistor est donné par la relation :

$$i = I_S \exp \lambda u \quad (\text{voir conventions sur la figure 2})$$

dans laquelle I_S est le courant de saturation de la jonction émetteur base et $\lambda = \frac{e}{kT}$ avec

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \quad (\text{constante de Boltzmann}) \quad \text{et} \quad T \text{ température absolue.}$$

On considère comme négligeable le courant de base de chaque transistor.

1.1 - Exprimer i_1 et i_2 en fonction de $v = v_1 - v_2$ et i_4 .

1.2 - En déduire que $i_1 - i_2 = i_4 \operatorname{th} \frac{\lambda v}{2}$ (on rappelle que $\operatorname{th} x = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1}$)

1.3 - Soit i_c l'intensité du courant de commande de l'amplificateur (voir figure 1)

$$\text{Montrer que } i_4 = i_c, \quad i_{10} = i_1 \quad \text{et} \quad i_{13} = i_2.$$

1.4 - Déduire de ce qui précède l'expression de i_s en fonction de i_c et v .

1.5 - On rappelle le développement limité : $\operatorname{th} x = x - \frac{x^3}{3} + \dots$

Pour les petites valeurs de v on admet que $i_s = g v$.

Calculer g à 20°C pour $i_c = 1 \text{ mA}$.

Déterminer le coefficient de température de la transconductance g à 20°C (quotient d'une petite variation dg de g sur la petite variation dT de T qui lui a donné naissance).

1.6 - Si l'on ne dépasse pas $|v| = 10 \text{ mV}$, quelle erreur relative maximale commet-on en assimilant

$$i_s \text{ à } \frac{\lambda}{2} i_c v ?$$

2 - APPLICATIONS DE L'AMPLIFICATEUR DE TRANSDUCTANCE COMMANDEE PAR COURANT

On donne figure 3 la représentation symbolique d'un amplificateur de transconductance commandée par le courant i_c , qui délivre $i_s = g(v_1 - v_2) = g v$ avec $g = \frac{\lambda}{2} i_c$. Pour les applications numériques, on prendra $\lambda = 40 \text{ V}^{-1}$.

Les courants d'entrée par les bornes + et - sont négligeables.

Les amplificateurs opérationnels rencontrés dans les schémas qui suivent sont parfaits. Sauf indication contraire, ils fonctionnent dans leur domaine de linéarité.

2.1 - On considère le montage de la figure 4.

2.1.1 - Montrer que la transmittance complexe $\underline{T} = \frac{V_s}{V_e}$ peut se mettre sous la forme :

$$\underline{T} = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}} \quad \text{avec} \quad \omega_c = \frac{R_2 g}{(R_1 + R_2) C}$$

Quel est le rôle de l'étage à amplificateur opérationnel ?

2.1.2 - On donne $R_1 = 200 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$. Calculer la valeur à donner à C pour obtenir

$$f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = 16 \text{ kHz} \quad \text{lorsque} \quad i_c = 1 \text{ mA}. \quad (\text{C conserve cette valeur pour la question 2.1.4}).$$

2.1.3 - Donner la représentation de Bode de \underline{T} (gain et argument).

2.1.4 - La différence de potentiel v_e est de la forme :

$$v_e(t) = V_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + V_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) + V_3 \sin(\omega_3 t + \varphi_3)$$

$$\text{avec } f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = 160 \text{ Hz}, \quad f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} = 1,6 \text{ kHz}, \quad f_3 = \frac{\omega_3}{2\pi} = 16 \text{ kHz}.$$

Déterminer le régime permanent $v_s(t)$ pour $i_c = 1 \text{ mA}$ puis pour $i_c = 0,1 \text{ mA}$.

2.2 - Dans le montage de la figure 5, $R_1 \gg R_2$.

2.2.1 - Montrer que les transmittances $T_1 = \frac{V_{s1}}{V_e}$ et $T_2 = \frac{V_{s2}}{V_e}$ peuvent se mettre sous les formes respectives :

$$T_1 = \frac{2 j m \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + 2 j m \frac{\omega}{\omega_0} + \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}$$

$$\text{et } T_2 = \frac{1}{1 + 2 j m \frac{\omega}{\omega_0} + \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}$$

Expliciter ω_0 et m .

2.2.2 - Donner la représentation de Bode de T_1 et T_2 (gain et argument).

(On s'attachera à définir les asymptotes et l'on ébauchera les courbes réelles en précisant les maxima éventuels des diagrammes de gain).

2.2.3 Sachant que $f_0 = 16 \text{ kHz}$ pour $i_c = 1 \text{ mA}$ et

$$v_e(t) = V_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + V_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) + V_3 \sin(\omega_3 t + \varphi_3) \text{ avec}$$

$$f_1 = 160 \text{ Hz}, \quad f_2 = 1,6 \text{ kHz}, \quad f_3 = 16 \text{ kHz}, \text{ déterminer les régimes permanents } v_{s1}(t) \text{ et } v_{s2}(t) \text{ pour } i_c = 1 \text{ mA} \text{ puis pour } i_c = 0,1 \text{ mA}.$$

(On considérera que pour des fréquences distantes de f_0 d'une décade les diagrammes réels de Bode sont pratiquement confondus avec leurs asymptotes).

2.3 - On examine maintenant le montage de la figure 6.

Montrer qu'il se comporte, vu des points A et B, comme une résistance R commandée par le courant i_c .

Dans le cas où $R_1 = 200 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, calculer R pour $i_c = 1 \text{ mA}$ puis pour $i_c = 0,1 \text{ mA}$.

2.4 - Dans le schéma de la figure 7, l'amplificateur opérationnel fonctionne en commutation :

$$v_{s2} = +V_0 \text{ si } e_d > 0 \text{ et } v_{s2} = -V_0 \text{ si } e_d < 0.$$

La tension v appliquée à l'amplificateur de transconductance est suffisamment grande pour le saturer : $i_s = +i_c$ si $v_{s2} = +V_0$ et $i_s = -i_c$ si $v_{s2} = -V_0$.

Analyser le fonctionnement du système.

Tracer les courbes représentatives de $v_{s1}(t)$ et $v_{s2}(t)$ en donnant toutes les précisions utiles.

Montrer que le système constitue une bascule astable dont la fréquence f , que l'on précisera, est commandée par le courant i_c .

Application numérique : sachant que $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ et $R_1 = 200 \text{ k}\Omega$, $V_0 = 12 \text{ V}$, $C = 10 \text{ nF}$, calculer f pour $i_c = 1 \text{ mA}$ puis pour $i_c = 0,1 \text{ mA}$.