[1]CONCEPTION D'UN AMPLIFICATEUR SELECTIF DE TYPE « CASCODE »

On dispose d'une self-inductance L de 938 nH dont le fil du bobinage possède une résistance série r de 4 Ω.

1. Calculer le coefficient de qualité Q_L de la self-inductance à la fréquence f_0 de 30 MHz et en déduire la valeur de la résistance parallèle R, image de r en série (figure 1).

2. *On place en parallèle sur la self (L, r), une capacité C de manière à réaliser un circuit oscillant parallèle.* Calculer la valeur à donner à C pour que la fréquence de résonance f_0 correspondante soit égale à 30MHz. Quelle est alors la valeur de l'impédance |Z| du circuit ?

On désire concevoir un amplificateur sélectif à bande étroite accordé sur la fréquence f_0 de 30 MHz. On décide d'utiliser un montage "cascode" donné en figure 1, qui utilise deux transistors identiques de gain en courant $\beta = 200$ et résistance interne r_{ce} assez importante pour être négligée). La température de fonctionnement est de 25 °C.

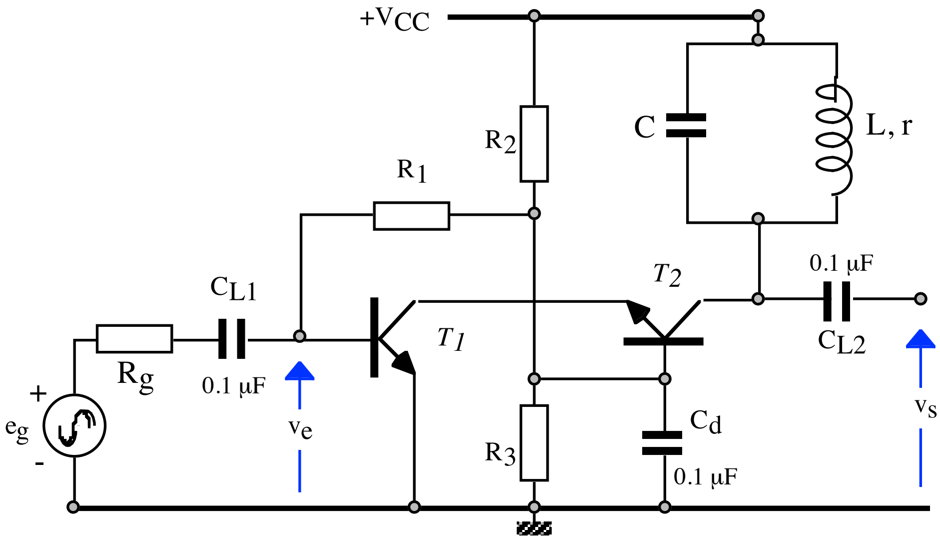


Figure 1

Le premier transistor est monté en émetteur commun et le second en base commune. Les condensateurs C_{L1} et C_{L2} ont une impédance négligeable et le condensateur C_d est supposé maintenir parfaitement constant le potentiel de point B_2 à la fréquence d'utilisation du montage. La charge de T_2 est constituée du circuit oscillant parallèle précédent.

3. Pour obtenir un fonctionnement satisfaisant, on décide d'alimenter chaque transistor sous une tension V_{CE} de 12V. Quelle doit être, avec une bonne approximation, la valeur de la tension d'alimentation V_{CC}?

4. Montrer que les courants de collecteur des deux transistors sont à peu près identiques. Que pensez-vous alors de leur transconductance g_m?

5. Dessiner le schéma équivalent aux petites variations du montage complet **à la fréquence de résonance f_0**. Les condensateurs C_{L1} et C_d ont alors une impédance très faible et la résistance r_{ce} de T_1 et T_2 n'est pas prise en compte.

6. Calculer l'expression du gain en tension $A = v_s / v_e$ du montage complet. Donner sa forme approchée.

7. On veut que le module du gain maximal du montage à la fréquence f_0 soit de 100. Calculer dans ces conditions la valeur du courant de repos de collecteur nécessaire.

8. En déduire la valeur à donner aux résistances de polarisation R_1, R_2 et R_3.

9. On fait varier la fréquence f du générateur d'excitation autour de la fréquence de résonance f_0. Calculer, en exploitant la forme approchée du gain obtenue en question 6, l'expression du gain en tension du montage complet en fonction de g_m, R, C, L et ω.

10. On posera : $x = \dfrac{\omega}{\omega_0}$ et $Q_p = RC\omega_0 = \dfrac{R}{L\omega_0}$ le coefficient de qualité du circuit oscillant. Déterminer l'expression :

    a. Des fréquences de coupures f_2 et f_1 de l'amplificateur sélectif.
    b. De sa bande passante Δf.
    c. Faire les applications numériques.

CORRECTION

1. Coefficient de qualité de la self-inductance : $Q_L = \dfrac{L\omega_0}{r} = 44{,}2$

   La résistance parallèle R image de r en série est telle que : $R = Q_L^2 r = 7815\Omega$.

2. Pour obtenir la valeur de la capacité d'accord, on utilise la relation : $LC\omega_0^2 = 1$.
   On en déduit : C = 30 pF.

   A la résonance, L et C se compensent en effet : $\underline{Y} = \dfrac{1}{R} + j(\omega C - \dfrac{1}{\omega L})$.

   Pour $\omega = \omega_0$: $\underline{Y} = \dfrac{1}{R}$ ou $\underline{Z} = R = 7815\Omega$.

3. En régime continu, le condensateur C est un circuit ouvert et la self L se comporte comme sa résistance série r de 4Ω. On considère que cette résistance est négligeable. Dans ces conditions : $V_{CC} = 2\ V_{CE} = 24$ V.

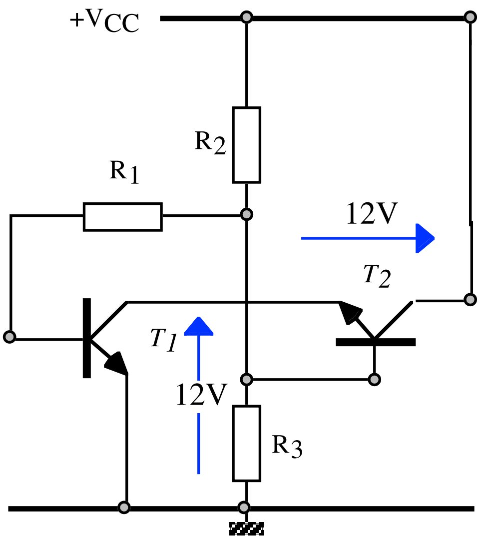
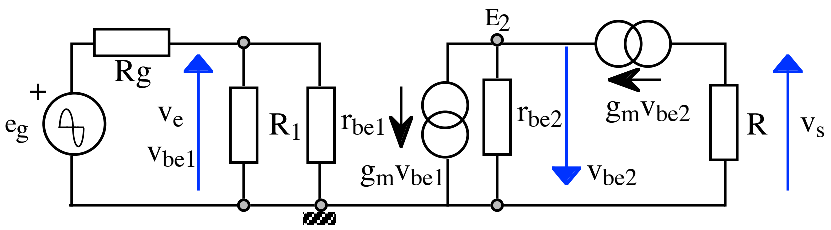


Schéma en régime continu

4. La liaison directe entre T_1 et T_2 impose la relation suivante entre les courants des transistors à savoir : $I_{E2} = I_{C1}$. Pour un gain en courant de 200 on peut en déduire : $I_{C1} \approx I_{C2}$.
   Dans ces conditions les transconductances g_m des deux transistors sont alors identiques.

5. Schéma équivalent aux petites variations du montage complet à la fréquence de résonance f_0. Seule la résistance R image de r est placée entre collecteur de T_2 et la masse (voir Q2).



6. Expression de la tension de sortie : $v_s = -g_m v_{be2} R$.

Equation au nœud E_2 : $-g_m ve + \dfrac{v_{be2}}{r_{be2}} + g_m v_{be2} = 0$ soit : $g_m ve = v_{be2}(\dfrac{1}{r_{be2}} + g_m)$

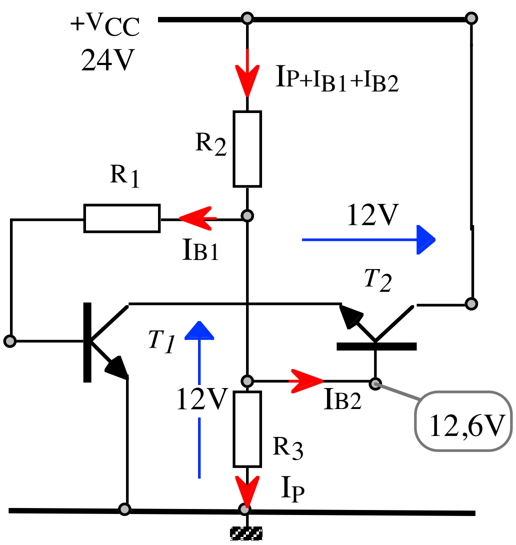
On en déduit alors :

$$\boxed{\frac{v_s}{v_e} = -g_m R \frac{g_m}{g_m + \dfrac{1}{r_{be2}}} \approx -g_m R}$$

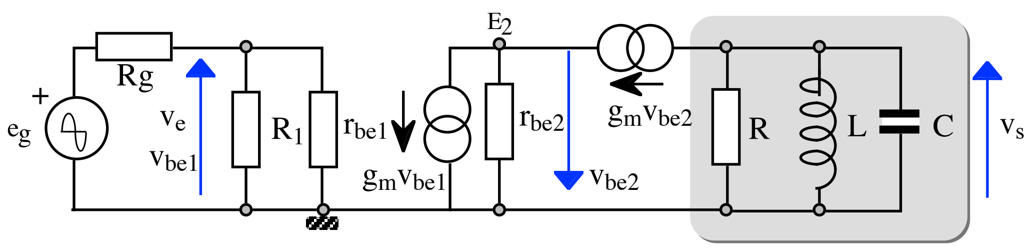
approximation possible car : $g_m = \dfrac{\beta}{r_{be2}}$.

7. Pour un gain en tension de 100 à f_0, on en déduit : $g_m = 40\ I_C = 12{,}82$ mS.
Soit : $I_C = 320{,}5\ \mu A$.

8. Courants de bases : $I_{B1} = I_{B2} = 1{,}6\ \mu A$. Dans la résistance R_3, on choisi un courant de pont : $16\ \mu A < I_P < 32\ \mu A$. Soit par exemple $I_P = 20\ \mu A$.
Il vient alors : $R_3 = 630$ kΩ $R_2 = 491$ kΩ $R_1 = 7{,}5$ MΩ



9. Schéma aux variations autour de f_0 :



$$\frac{v_s}{v_e} = -gm\underline{Z} \qquad \text{avec : } \underline{Z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{1}{\dfrac{1}{R} + j(C\omega - \dfrac{1}{L\omega})}$$

Dans ces conditions :

$$\boxed{\frac{v_s}{v_e} = -\frac{g_m R}{1 + jR(C\omega - \frac{1}{L\omega})}}$$

10. Nouvelle expression du gain en tension :

$$\boxed{\frac{v_s}{v_e} = -\frac{g_m R}{1 + jQ_p(x - \frac{1}{x})}}$$ soit en module : $$\boxed{\left|\frac{v_s}{v_e}\right| = \frac{g_m R}{\sqrt{1 + Q_p^2(x - \frac{1}{x})^2}}}$$

a) Pour obtenir les fréquences de coupures, il faut que la fréquence réduite x soit telle que :

$$\boxed{\left|\frac{v_s}{v_e}\right| = \frac{g_m R}{\sqrt{2}}}$$

On obtient alors : $Q_p^2(x - \frac{1}{x})^2 = 1$ ou : $Q_p x^2 \pm x - Q_p = 0$.

Il y a donc 4 solutions : $x = \frac{f}{f_0} = \frac{\pm 1 \pm \sqrt{1 + 4Q_p^2}}{2Q_p}$ dont on ne retient que les valeurs positives :

$f_2 = f_0(\frac{1 + \sqrt{1 + 4Q_p^2}}{2Q_p})$ et $f_1 = f_0(\frac{1 - \sqrt{1 + 4Q_p^2}}{2Q_p})$

b) Bande passante : $\Delta f = \frac{f_0}{Q_p}$

c) Application numérique : f_1 = 29,66 MHz f_2 = 30,34 MHz Δf = 678 kHz

ANNEXE : courbe de réponse en fréquences du montage simulé.