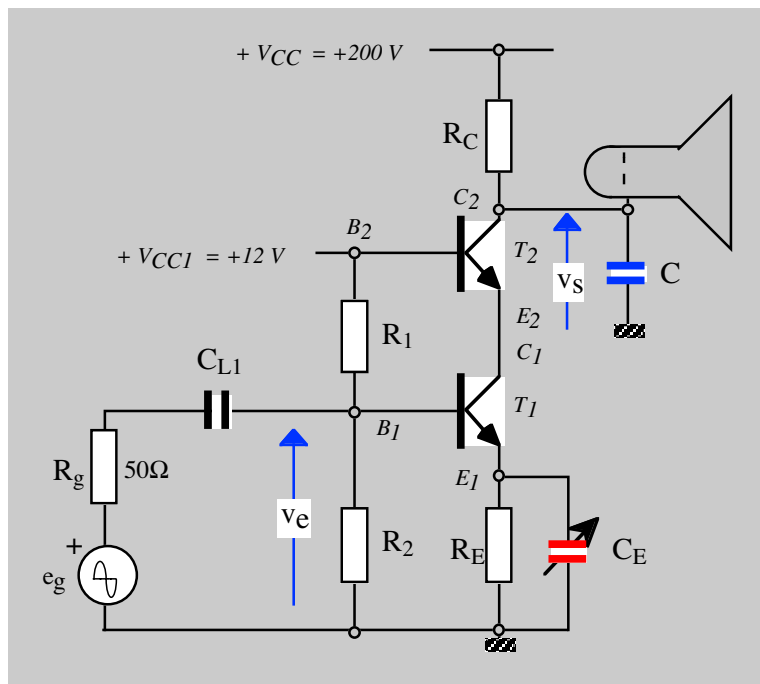


# 1° CONCEPTION D'UN AMPLIFICATEUR "VIDEO" DE TELEVISION

Le schéma ci-dessous, représente sous une forme simplifiée l'amplificateur de sortie en vidéo fréquence d'un téléviseur à tube cathodique. Cet amplificateur est destiné à attaquer la cathode du tube image branchée au collecteur  $C_2$  du transistor  $T_2$ . Le courant consommé par cette cathode est négligeable devant le courant de collecteur du transistor  $T_2$  commandé par l'intermédiaire du transistor  $T_1$ .

L'amplitude du signal exigé par le tube image étant supérieure à 100V, l'alimentation du montage est fixée à  $V_{CC} = 200\text{ V}$ . Une deuxième alimentation  $V_{CC1}$  de 12 V est connectée sur la base de  $T_2$ . Le gain en courant  $\beta$  des transistors est égal à 100.



## 1° PARTIE : CONDITIONS DE PUISSANCE DISSIPABLE

1. Sachant que les caractéristiques de dissipation thermique du transistor  $T_2$  sont :  
 $T_{j\text{ max}} = 200\text{ °C}$  et  $R_{th\text{ j-amb}} = 220\text{ °C/W}$ . Calculer la puissance  $P$  que peut dissiper ce transistor dans l'ambiance normale du téléviseur en fonctionnement c'est-à-dire à une température ambiante de  $30\text{ °C}$ .
2. Quel est à 0,1 V près le potentiel de l'émetteur de  $T_2$  ? En déduire la variation maximale de la tension  $V_{CE2}$  de ce transistor.
3. Montrer que la puissance dissipée dans  $T_2$  est maximale lorsque son point de repos est au milieu de sa droite de charge.
4. Calculer dans ces conditions le courant de repos  $I_{C2}$  de  $T_2$  que permet la limitation de la puissance maximale. En déduire la valeur normalisée que l'on doit donner à la résistance  $R_C$  ainsi que le courant maximal de collecteur  $I_{C2\text{ max}}$  de  $T_2$ .

## 2° PARTIE : CONCEPTION DE L'AMPLIFICATEUR

*On considère dans un premier temps que les capacités  $C$  et  $C_E$  ont une valeur nulle.*

1. Dans quelle configuration sont montés les transistors  $T_1$  et  $T_2$  ? Dessiner le schéma équivalent du montage complet aux petites variations et aux fréquences moyennes sachant que le condensateur de liaison d'entrée  $C_{L1}$  a alors une impédance négligeable.
2. Déterminer l'expression de la résistance d'entrée  $R_{e2}$  de l'étage  $T_2$  vue par  $T_1$  entre son collecteur  $C_1$  et la masse.
3. En déduire l'expression du gain en tension  $A_1$  du premier étage en introduisant la transconductance  $g_{m1}$  du transistor  $T_1$ . Que pensez-vous du résultat ?
4. Déterminer l'expression du gain en tension  $A = v_s/v_e$  du montage complet. Donner la forme approchée de ce gain et en déduire la valeur normalisée de  $R_E$  pour avoir un gain de - 25.
5. Pour diminuer la puissance dissipée par  $T_2$ , on choisit un point de repos des transistors tel que  $I_C = 4$  mA, déterminer la valeur des résistances de polarisation  $R_1$  et  $R_2$ .
6. On désire fixer à 100 Hz la fréquence de coupure basse  $f_b$  à -3 dB du montage, calculer la valeur à donner à la capacité de liaison  $C_{L1}$ .

## 3° PARTIE : BANDE PASSANTE ET TEMPS DE MONTEE

1. La résistance  $R_C$  est en parallèle avec une capacité  $C$  de 15 pF représentant la capacité d'entrée du tube image. Déterminer l'expression du gain  $A$  du montage en fonction de  $R_C$ ,  $C$ ,  $R_E$ ,  $g_m$  et  $\omega$ . En déduire la fréquence de coupure haute à -3 dB  $f_h$  du montage.

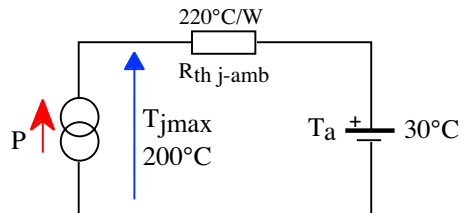
*Cet amplificateur devant posséder une grande bande passante pour restituer correctement le signal image de télévision, il est nécessaire de compenser l'effet de la capacité d'entrée  $C$  du tube image. A cet effet, on place en parallèle avec  $R_E$  un condensateur  $C_E$  de valeur convenable.*

2. Ecrire l'expression de l'impédance  $Z_E$  située dans l'émetteur de  $T_1$  ainsi que l'expression du gain en tension  $A$  du montage en fonction de  $R_C$ ,  $C$ ,  $R_E$ ,  $C_E$ ,  $g_m$  et  $\omega$ .
3. Déterminer l'expression du gain sous une forme permettant de tracer le graphe de Bode. On fera alors apparaître les constantes de temps :  $\tau_e = R_E C_E$ ,  $\tau_c = R_C C$  et  $\tau' = \frac{\tau_e}{1 + g_m R_E}$ .
4. Représenter l'allure de la courbe de réponse en amplitude selon Bode suivant les trois positions relatives de la constante de temps  $\tau_c$  par rapport à  $\tau_e$  et  $\tau'$ .
5. Chercher alors la position optimale qui permet d'obtenir la courbe de réponse la plus plate sur la plus large bande passante possible. Quelle est alors la condition à respecter pour les constantes de temps ? En déduire la valeur à donner à la capacité de compensation  $C_E$  pour remplir cette condition.
6. Calculer la bande passante  $\Delta F$  du montage ainsi que son temps de montée  $\Theta = 2,2 \tau$ .

## CORRECTION

### PREMIERE PARTIE

Q1 : Le schéma thermique associé au transistor  $T_2$  est le suivant :



$$\text{Puissance dissipée par le transistor : } P = \frac{T_{j\max} - T_a}{R_{thj-amb}} = \frac{200 - 30}{220} = 0,772W$$

Q2 : Tension entre l'émetteur et la masse de  $T_2$  :  $V_{E2M} = V_{CC1} - V_{BE2} = 11,4V$ . A la limite du blocage de ce transistor, définie par un courant  $I_{C2}$  nul, on obtient :  $V_{CE2\max} = 188,6V$ .

Q3 : Puissance dissipée dans  $T_2$  :  $P_{T2} = V_{CE2} I_{C2} = V_{CE2} \left[ \frac{V_{CC} - V_{E2M} - V_{CE2}}{R} \right]$

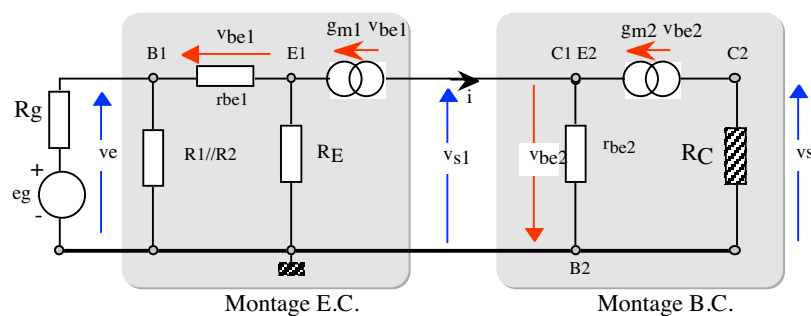
On calcule la dérivée  $\frac{dP_{T2}}{dV_{CE2}}$  qui s'annule pour  $V_{CE2} = (V_{CC} - V_{E2M})/2$  soit  $94,3V$ .

Cette tension est pratiquement égale à  $V_{CC}/2$

Q4 :  $T_2$  travaille à puissance maximale et au milieu de sa droite de charge :  $I_{C2} = P/V_{CE2} = 8,18\text{ mA}$  soit  $R_C = 11,5\text{ k}\Omega$  soit  $R_{C\text{norm}} = 12\text{ k}\Omega$ . Courant maximum dans  $R_C$  :  $16,36\text{ mA}$ .

### DEUXIEME PARTIE

Q1 : Le transistor  $T_1$  est monté en émetteur commun et  $T_2$  en base commune (cette association est nommée « cascode »). Schéma aux variations.

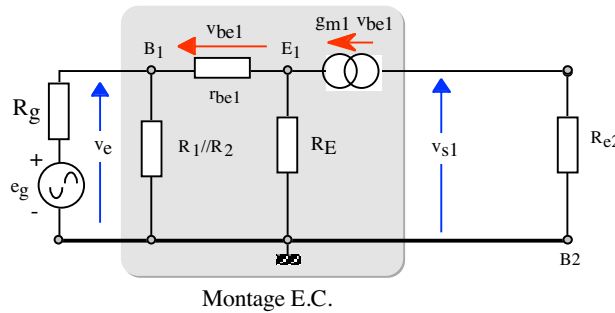


Q2 : Résistance d'entrée du 2<sup>o</sup> étage de type base commune. Par définition :  $R_{e2} = \frac{v_{s1}}{i}$

Equation au nœud E<sub>2</sub> :  $i + g_{m2}v_{be2} + \frac{v_{be2}}{r_{be2}} = 0$  avec :  $v_{s1} = -v_{be2}$

$$R_{e2} = \frac{v_{s1}}{i} = \frac{1}{g_{m2} + \frac{1}{r_{be2}}} \approx \frac{1}{g_{m2}}$$

Q3 : Expression du gain en tension A<sub>1</sub> du premier étage chargé par la résistance R<sub>e2</sub> précédente :



$$v_e = v_{be1} + R_E \left( \frac{v_{be1}}{r_{be1}} + g_{m1} v_{be1} \right)$$

$$v_s = -R_{e2} g_{m1} v_{be1}$$

$$A_1 \approx - \frac{g_{m1} R_{e2}}{1 + g_{m1} R_E}$$

Le module du gain du premier étage est inférieur à 1.

Q4 : Gain en tension A = v<sub>s</sub>/v<sub>e</sub> du montage complet.

Gain du deuxième étage :  $A_{v2} = g_{m2} R_C$  soit  $A = - \frac{g_{m1} R_{e2}}{1 + g_{m1} R_E} g_{m2} R_C$

Sachant que les transistors ont le même courant de repos, on en déduit :  $g_{m1} = g_{m2}$ .

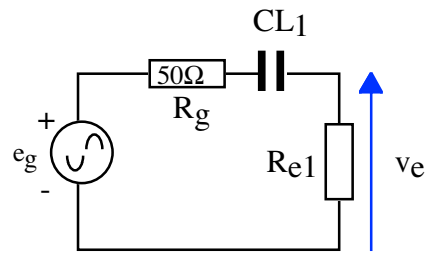
$$A = - \frac{g_{m1} R_C}{1 + g_{m1} R_E}$$

Un gain A de -25 donne :  $R_E = 480 \Omega$  soit  $470 \Omega$  normalisé.

Q5 : Valeur des résistances R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub>. Courant de base de T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub> :  $I_B = \frac{I_C}{\beta} = 40 \mu A$

La tension V<sub>B1M</sub> est égale à 2,48V. Si on choisi un courant I<sub>p</sub> dans R<sub>2</sub> de 400 μA (10.I<sub>B</sub>), on obtient alors : R<sub>1</sub> = 6.8 kΩ et R<sub>2</sub> = 22 kΩ en valeur normalisée.

Q6 : Schéma de la cellule d'entrée :



Constante de temps  $\tau$  de la cellule RC d'entrée :  $\tau = (R_g + R_{e1})C_{L1}$ . A cette constante de temps correspond une fréquence de coupure à  $-3\text{dB}$  :  $f_c = \frac{1}{2\pi\tau}$

$R_{e1}$  représente la résistance d'entrée du premier étage, soit :

$$R_{e1} = R_1 // R_2 // (r_{be1} + (\beta + 1)R_E) = 4,68\text{k}\Omega$$

On en déduit :  $C_{L1} = 340\text{ nF}$ .

### 3° PARTIE

Q1 : Dans l'expression du gain du montage complet :  $A = -\frac{g_{m1}R_C}{1 + g_{m1}R_E}$ , la résistance  $R_C$  est

maintenant remplacée par une impédance :  $Z_C = \frac{R_C}{1 + j\omega R_C C}$ . Nouveau gain en tension :

$$A = -\frac{g_{m1}R_C}{1 + g_{m1}R_E} \left( \frac{1}{1 + j\omega R_C C} \right)$$

Module du gain A :  $|A| = \frac{g_{m1}R_C}{1 + g_{m1}R_E} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R_C C)^2}} \right)$

La fréquence de coupure haute  $f_h$  est obtenue lorsque :  $|A| = \frac{g_{m1}R_C}{1 + g_{m1}R_E} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$

On en déduit alors :  $f_c = \frac{1}{2\pi \cdot C R_C} = 884\text{ kHz}$ .

Q2 et Q3 : Avec la capacité  $C_E$ , dans l'expression du gain, la résistance  $R_E$  est remplacée par :

$$Z_E = \frac{R_E}{1 + j\omega R_E C_E}$$

Le gain du montage s'exprime alors sous une forme exploitable par Bode :

$$\underline{A}(\omega) = \frac{v_s}{v_e} = -\left[ \frac{g_m R_C}{1 + g_m R_E} \right] \frac{1 + j\omega\tau_E}{(1 + j\omega\tau_C)(1 + j\omega\tau_C)}$$

Avec les constantes de temps et les fréquences de coupures correspondantes :

$$\tau_E = R_E C_E \rightarrow f_{ce} = \frac{1}{2\pi \cdot \tau_E} \quad \tau_C = R_C C_C \rightarrow f_{cc} = \frac{1}{2\pi \tau_C} \quad \tau' = \frac{\tau_E}{(1 + g_m R_E)} \rightarrow f'_c = \frac{1}{2\pi \cdot \tau'}$$

Q4 : Exprimons le gain  $A(f)$  en dB soit  $20 \log |A(f)|$  :

$$|A(f)|_{dB} = 20 \log \left[ \frac{g_m R_C}{1 + g_m R_E} \right] + 10 \log [1 + \omega^2 \tau_E^2] - 10 \log [1 + \omega^2 \tau_C^2] - 10 \log [1 + \omega^2 \tau'^2]$$

On décompose cette expression en quatre fonctions élémentaires :

$$F_1 = 20 \log \left[ \frac{g_m R_C}{1 + g_m R_E} \right] \quad F_2 = +10 \log [1 + \omega^2 \tau_E^2]$$

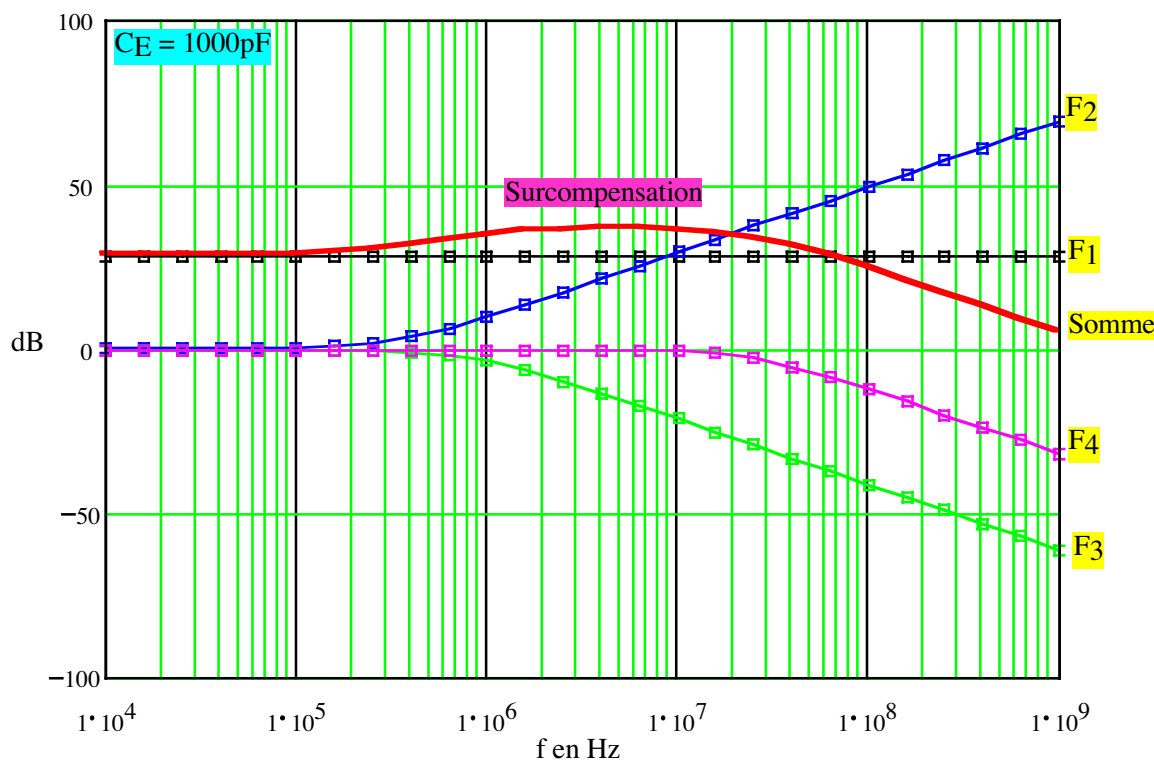
$$F_3 = -10 \log [1 + \omega^2 \tau_C^2] \quad F_4 = -10 \log [1 + \omega^2 \tau'^2]$$

Il faut tracer le graphe de ces quatre fonctions et en faire la somme pour obtenir la courbe de réponse de l'amplificateur complet.

**1° cas :  $C_E = 1000 \text{ pF}$ .**

Fréquences de coupure :  $f_{cc} = 884 \text{ kHz}$ ,  $f_{ce} = 338 \text{ kHz}$  et  $f'_c = 25,8 \text{ MHz}$ .

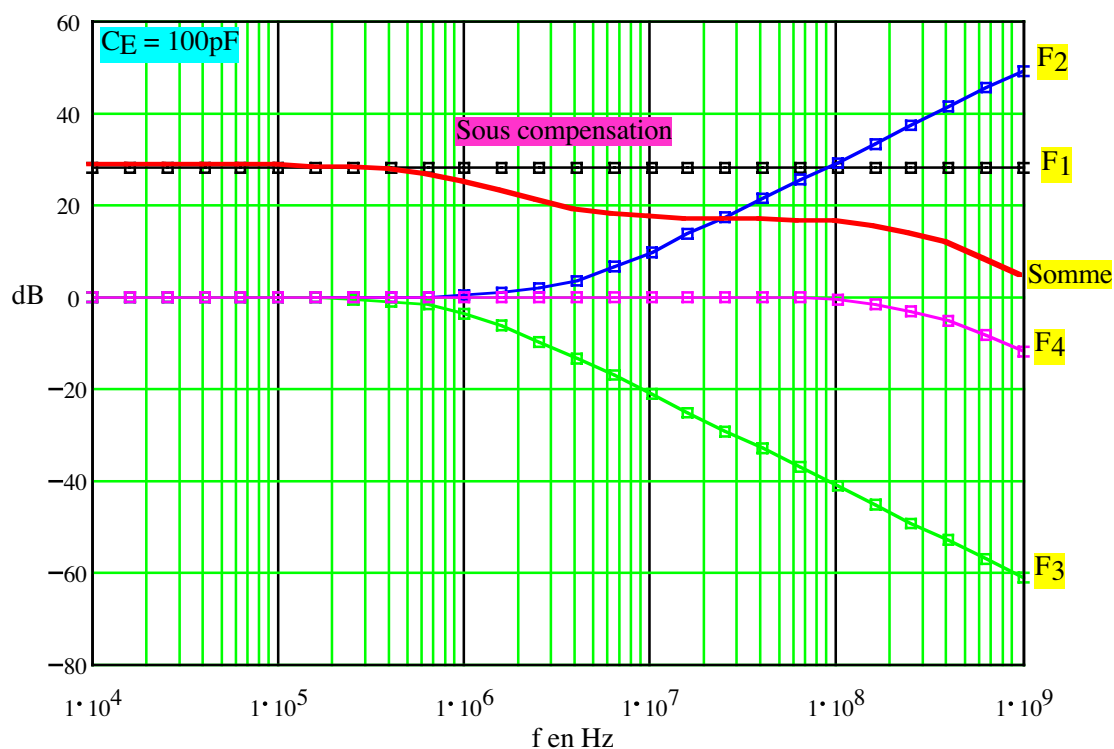
On obtient une surcompensation, en effet pour les fréquences comprises entre 200kHz et 50 MHz, le gain en tension est supérieur au gain correspondant aux fréquences moyennes (10kHz)



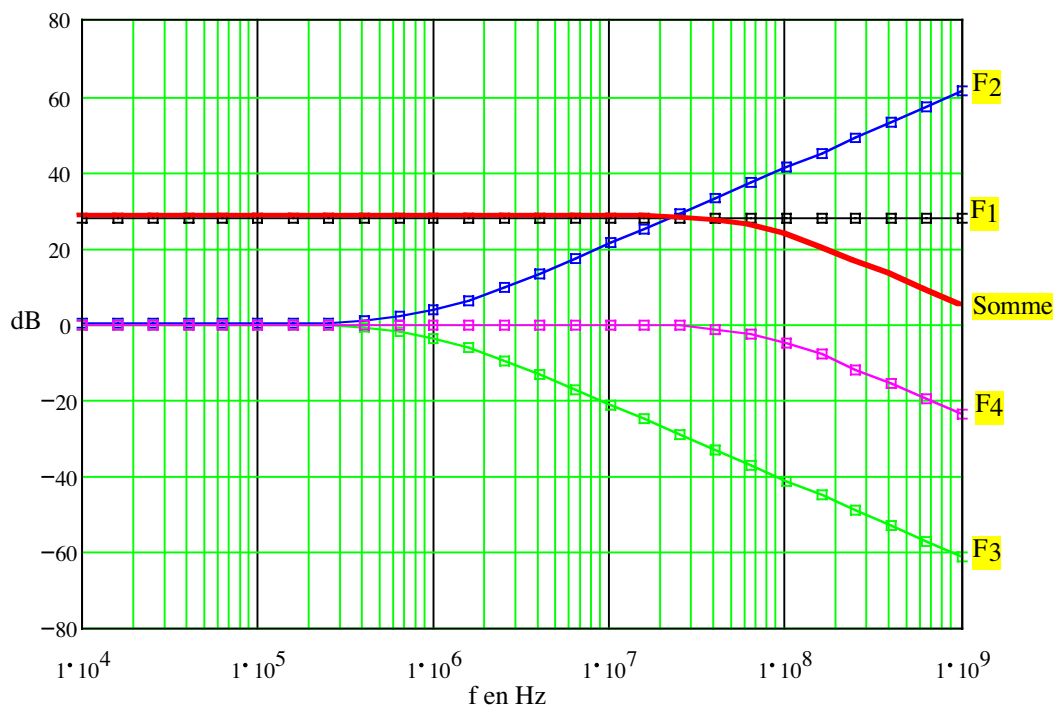
**2° cas :  $C_E = 100 \text{ pF}$ .**

Fréquences de coupure :  $f_{cc} = 884 \text{ kHz}$ ,  $f_{ce} = 3,4 \text{ MHz}$ ,  $f'_c = 258 \text{ MHz}$ .

On obtient une sous-compensation, en effet, pour les fréquences supérieures à 600 kHz le gain est inférieur au gain correspondant aux fréquences moyennes.



Q5 : La condition optimale de réponse en fréquence est obtenue lorsque les fréquences de coupures  $f_{ce}$  et  $f_{cc}$  sont confondues (884 kHz). On a alors :  $R_E \cdot C_E = R_C \cdot C \rightarrow C_E = 383 \text{ pF}$ .  
Le graphe de Bode est donné ci-dessous.



Q6 : La fréquence de coupure haute de l'amplificateur devient alors  $f'_c = 67 \text{ MHz}$  avec un temps de montée de 5.2 ns. La capacité de compensation  $C_E$  améliore nettement la fréquence de coupure haute de l'amplificateur (voir question 1 de la 3<sup>o</sup> partie).