

ANALYSE D'UN AMPLIFICATEUR POUR ANTENNE DE TELEVISION¹

On se propose d'analyser un montage destiné à amplifier le signal fourni par une antenne de télévision (fréquence de l'ordre de 500 MHz). En effet, cette antenne est située dans une région trop éloignée de l'émetteur pour obtenir une réception de l'image et du son dans de bonnes conditions. Aussi, l'amplificateur proposé permettra de palier à cet inconvénient.

PARTIE 1 : ADAPTATION EN PUISSANCE DU SIGNAL DELIVRE PAR L'ANTENNE

Le signal délivré par l'antenne, véhiculé par un câble blindé, est assimilable à un générateur sinusoïdal indépendant e_g de résistance interne R_G de 75Ω . Sachant que le signal e_g possède une valeur efficace $e_{g\text{ eff}}$ de valeur faible (inférieure à $100\mu\text{V}$), il est nécessaire de prévoir son adaptation en puissance. À cet effet, on donne en figure 1 le schéma du générateur e_g , R_g chargé par une résistance R variable.

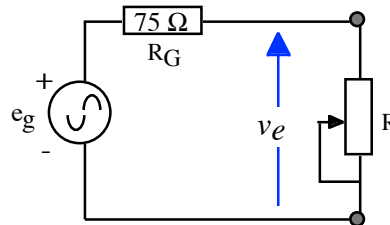


Figure 1

1. Déterminer en fonction de $e_{g\text{ (eff)}}$, R_G et R , l'expression de la puissance efficace P_{eff} qui est reçue dans la résistance R .
2. On désire que la puissance efficace P_{eff} soit maximale. Calculer d'abord la dérivée de la puissance par rapport à R soit :

$$\frac{dP_{\text{eff}}}{dR}$$

Puis, en déduire la relation simple qui relie alors les résistances R_G et R . Faire l'A.N.

PARTIE 2 : ETUDE DE L'AMPLIFICATEUR

Le schéma complet du montage amplificateur est donné en figure 2. La tension d'alimentation est fixée à $V_{cc} = 5\text{V}$ et la température de fonctionnement est de 25°C . Les deux transistors NPN sont identiques avec un gain en courant $\beta = 200$. On négligera leur résistance dynamique r_{ce} .

A – ETUDE DE LA POLARISATION

1. Dessiner le schéma d'étude en régime continu.
2. Montrer que la tension V_{C1E1} du transistor T_1 est sensiblement de $1,2\text{V}$.

¹ Ph.ROUX © 2009

rouxphi3.perso.cegetel.net

- On supposera que les courants de base de T_1 et T_2 sont suffisamment faibles pour être négligés devant les courants de collecteur. En déduire la valeur du courant de repos I_{C1} du transistor T_1 .
- Calculer la valeur des tensions V_{E1M} , V_{E2M} et V_{C1M} qui seront reportées sur le schéma précédent. En déduire la valeur du courant de repos I_{C2} du transistor T_2 . Calculer la valeur du potentiel V_{C2M} .

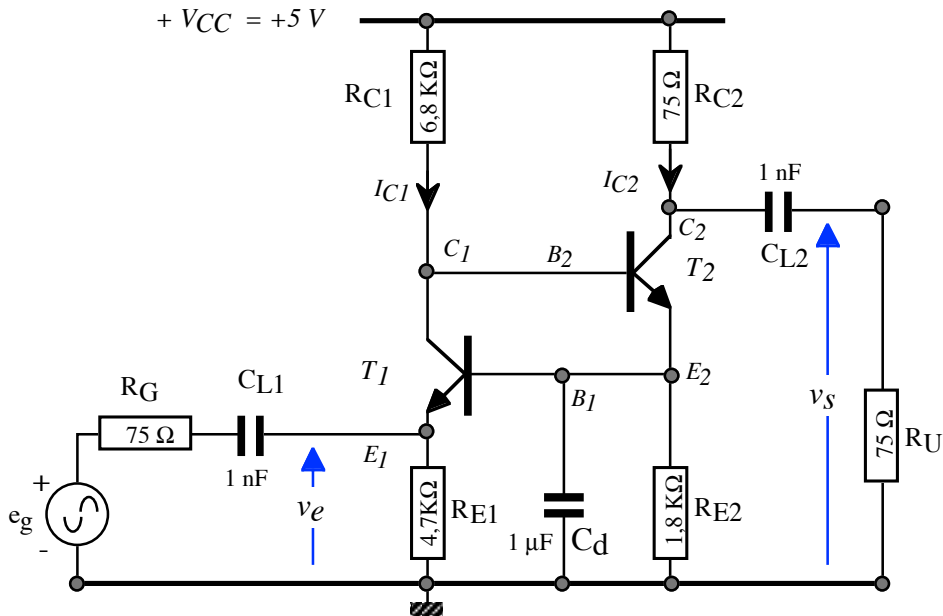


Figure 2 : schéma de l'amplificateur.

- Ce montage sera fabriqué en grande série. On implantera sur chaque circuit imprimé des transistors donc le gain en courant β sera compris entre 200 et 500. Montrer que dans tous les cas les hypothèses faites à la question A₃ sont justifiées.

B – ETUDE DYNAMIQUE AUX PETITES VARIATIONS

On supposera qu'aux fréquences de fonctionnement du montage, les condensateurs sont équivalents à des courts-circuits. Le gain en courant des transistors est fixé à 200.

- Déterminer le type de montage amplificateur relatif à chaque transistor. Que peut-on dire du signe du gain du montage complet ?
- Dessiner le schéma équivalent aux petites variations du montage complet. On utilisera le schéma en « $g_{m1} v_{be1}$ » pour T_1 et « $g_{m2} v_{be2}$ » pour T_2 . On rappelle que les résistances r_{ce1} et r_{ce2} sont négligeables. Il est conseillé de faire et de nommer des regroupements de résistances.
- Calculer les paramètres dynamiques petits signaux de chaque transistor :

Transistor T_1	r_{be1}	g_{m1}
Transistor T_2	r_{be2}	g_{m2}

- Déterminer l'expression du gain en tension de l'amplificateur : $A_v = v_s/v_e$. Faire l'A.N.

5. En déduire la valeur du gain en tension à vide A_{v0} .
6. Déterminer l'expression de la résistance d'entrée R_e du montage, vue par le générateur d'excitation e_g , R_G . Faire l'A.N.
7. L'entrée de l'amplificateur est telle conforme au cahier des charges à savoir adaptation en puissance du générateur d'excitation ? Commenter.
8. En utilisant la méthode habituelle de «l'ohmmètre» dessiner le schéma qui permet de déterminer la résistance de sortie R_s du montage vue par la résistance d'utilisation R_U .
9. Déterminer l'expression de la résistance de sortie R_s vue par la résistance d'utilisation R_U et faire l'A.N. La sortie de l'amplificateur est telle aussi adaptée en puissance. Déterminer le gain en puissance du montage exprimé en dB.
11. On se place maintenant à une fréquence $f = 1$ MHz où l'impédance des condensateurs de liaisons n'est pas négligeable. Cependant à cette fréquence, le condensateur de découplage est encore un court-circuit. Déterminer, dans ces conditions, l'atténuation en dB du gain du montage complet provoqué par les capacités de liaisons. Faire le schéma permettant ce faire cette analyse.

CORRECTION

PARTIE 1 : ADAPTATION EN PUISSANCE DU SIGNAL

1. Expression de la puissance efficace P_{eff} : $P_{\text{eff}} = (e_{\text{geff}})^2 \frac{R}{(R_G + R)^2}$

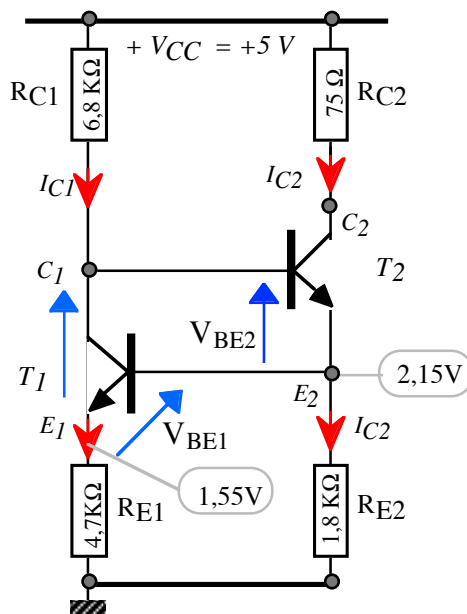
2. Calculons la dérivée de la puissance efficace par rapport à R : $\frac{dP_{\text{eff}}}{dR} = (e_{\text{geff}})^2 \frac{R_G - R}{(R_G + R)^3}$

Cette expression est nulle pour $R = R_G = 75\Omega$. La puissance efficace est alors maximale.

PARTIE 2 : ETUDE DE L'AMPLIFICATEUR

A – ETUDE DE LA POLARISATION

1. Schéma d'étude en régime continu.



2. Montrer que la tension V_{CE1} du transistor T_1 est sensiblement de 1,2V.

$$V_{CE1} = V_{BE2} + V_{BE1} = 1,2 \text{ V.}$$

3. Valeur du courant de repos I_{C1} du transistor T_1 .

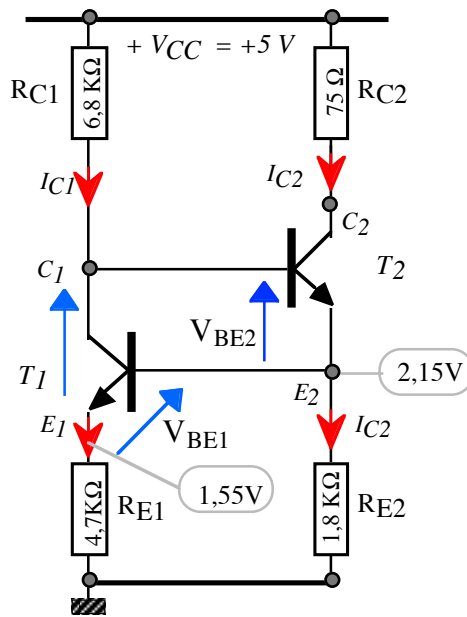
La résistance R_{E1} est parcourue par le courant I_{C1} .

$$V_{CE1} = -R_{C1}I_{C1} + V_{CC} - R_{E1}I_{C1}$$

On en déduit : $I_{C1} = 330 \mu\text{A}$.

4. Tension $V_{E1M} = R_{E1} I_{C1} = 1,55 \text{ V}$ $V_{E2M} = 2,15 \text{ V}$ $V_{C1M} = 2,75 \text{ V}$

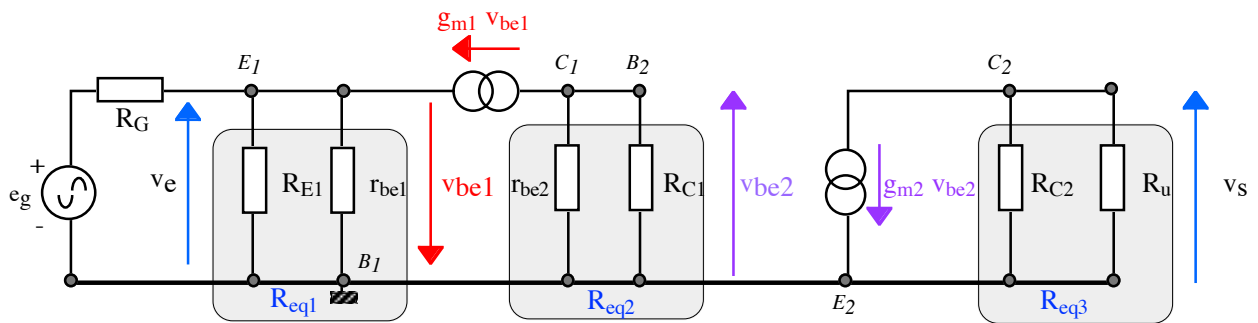
$I_{C2} = 1,19 \text{ mA}$.



5. Avec $\beta = 200$ les courants de base : $I_{B1} = 1,65 \mu A$ et $I_{B2} = 5,6 \mu A$, sont négligeables devant le courant de collecteur (à fortiori pour $\beta = 500$).

B – ETUDE DYNAMIQUE AUX PETITES VARIATIONS

- T_1 est monté en base commune (entrée sur l'émetteur, sortie sur le collecteur et gain positif). T_2 est monté en émetteur commun (entrée sur la base et sortie sur le collecteur et gain négatif). Le gain du montage complet sera négatif (sortie en opposition de phase avec l'entrée).
- Schéma équivalent aux petites variations.



- Calcul des paramètres.

Transistors	T_1	T_2
Résistance base-émetteur	$r_{be1} = 15,15 \text{ k}\Omega$	$r_{be2} = 4,2 \text{ k}\Omega$
Transconductance	$g_{m1} = 13,2 \text{ mS}$	$g_{m2} = 47,6 \text{ mS}$

- Expression du gain en tension de l'amplificateur : $A_v = v_s/v_e$.

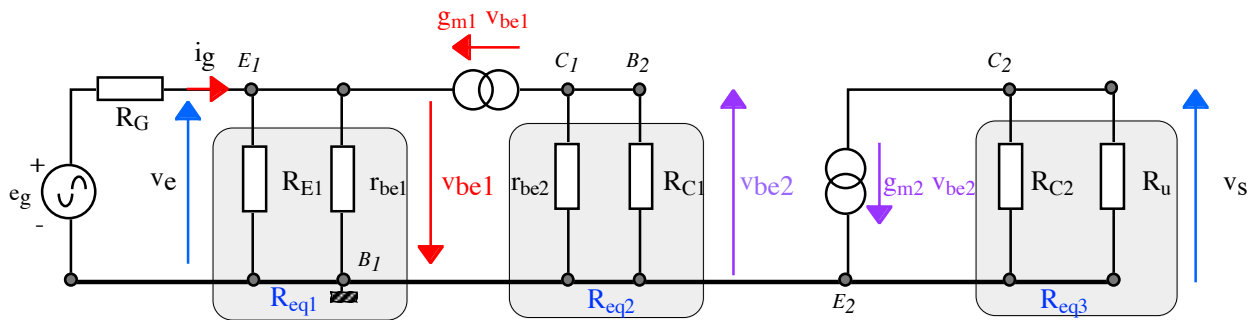
$$v_e = -v_{be1} \quad v_{be2} = -g_{m1}v_{be1}R_{eq2} \quad v_s = -g_{m2}v_{be2}R_{eq3}$$

$$\frac{v_s}{v_e} = -g_{m1}g_{m2}R_{eq2}R_{eq3}$$

$$\text{A.N. } \frac{v_s}{v_e} = -61,26$$

5. Gain à vide c'est à-dire sans R_u : $A_{v0} = -122,5$.

6. Schéma du montage : $R_e = \frac{v_e}{i_g}$



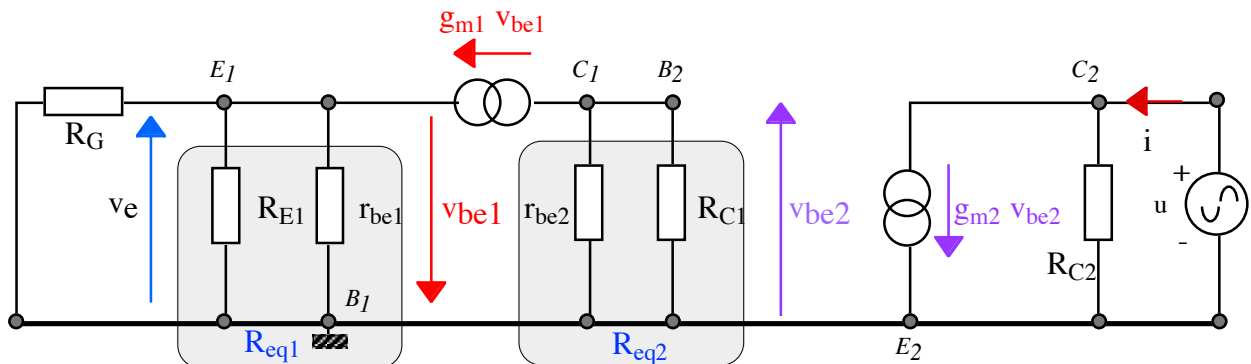
$$v_e = (i_g + g_{m1}v_{be1})R_{eq1} \quad \text{avec : } v_e = -v_{be1}$$

$$R_e = \frac{R_{eq1}}{1 + g_{m1}R_{eq1}}$$

$$R_e = 74,2 \Omega$$

7. L'entrée est adaptée en puissance, en effet : $R_e = R_g$.

8. Schéma qui permet de déterminer la résistance de sortie R_s du montage.



9. Méthode : faire v_g nulle, enlever R_u et mettre à sa place un générateur u délivrant un courant i : $R_s = u/i$.

$$\text{Equation au nœud } E_1 : -\frac{v_{be1}}{R_G // R_{eq1}} - g_{m1}v_{be1} = 0.$$

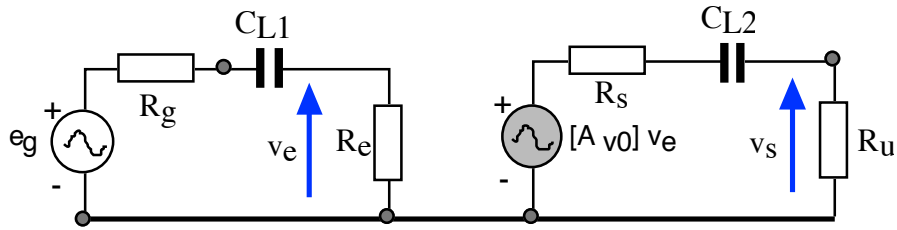
Cette relation a pour solution : $v_{be1} = 0$. En conséquence la tension de commande v_{be2} est nulle entraînant alors un générateur de courant dépendant : $g_{m2}v_{be2} = 0$.

$$\text{On a donc : } R_s = \frac{u}{i} = R_{C2} = 75 \Omega$$

La sortie est alors adaptée en puissance.

$$\text{Gain en puissance : } A_p = (A_v)^2 \frac{R_e}{R_u} \quad \text{soit } 71,5 \text{ dB.}$$

10. Schéma tenant compte des capacités de liaisons.



Le gain du montage complet se met sous la forme :

$$\frac{v_s}{e_g} = \left[\frac{v_s}{e_g} \right]_{fréq\text{moy}} \left[\frac{1}{1 - j \frac{f_{ce}}{f}} \right] \left[\frac{1}{1 - j \frac{f_{cs}}{f}} \right]$$

Avec :

- $\left[\frac{v_s}{e_g} \right]_{fréq\text{moy}} = A_{v0} \frac{R_e R_u}{(R_g + R_e)(R_s + R_u)}$
- $f_{ce} = \frac{1}{2\pi(R_g + R_e)C_{L1}}$
- $f_{cs} = \frac{1}{2\pi(R_s + R_u)C_{L2}}$

Dans ces conditions, l'atténuation en dB du gain du montage complet provoqué par les capacités de liaisons s'exprime selon :

$$A_t(dB) = \left\| \frac{v_s}{e_g} \right\|_{dB} - \left\| \frac{v_s}{e_g} \right\|_{f\text{moy}}^{dB} = -10 \log\left(1 + \left(\frac{f_{ce}}{f}\right)^2\right) - 10 \log\left(1 + \left(\frac{f_{cs}}{f}\right)^2\right)$$

Ici les valeurs des résistances et des condensateurs sont tels que : $f_{ce} = f_{cs} = 1\text{MHz}$.
L'atténuation totale est alors de -6 dB .