

**Travaux dirigés d'électronique :**  
**Amplification par transistor bipolaire**

**Exercice1: MONTAGE EC AVEC RESISTANCE D'EMETTEUR NON DECOUPLEE**

Le schéma d'un étage amplificateur à transistor monté en émetteur commun avec résistance d'émetteur non découplée, alimenté sous une tension d'alimentation  $V_{CC}$  de 20V, est donné en figure 1. Il utilise, à  $T = 25^\circ\text{C}$ , un transistor NPN au silicium tel que :

$I_C \text{ repos} = 6.5 \text{ mA}$ ,  $I_B \text{ repos} = 68 \mu\text{A}$  et  $V_{CE} \text{ repos} = 6 \text{ V}$ .

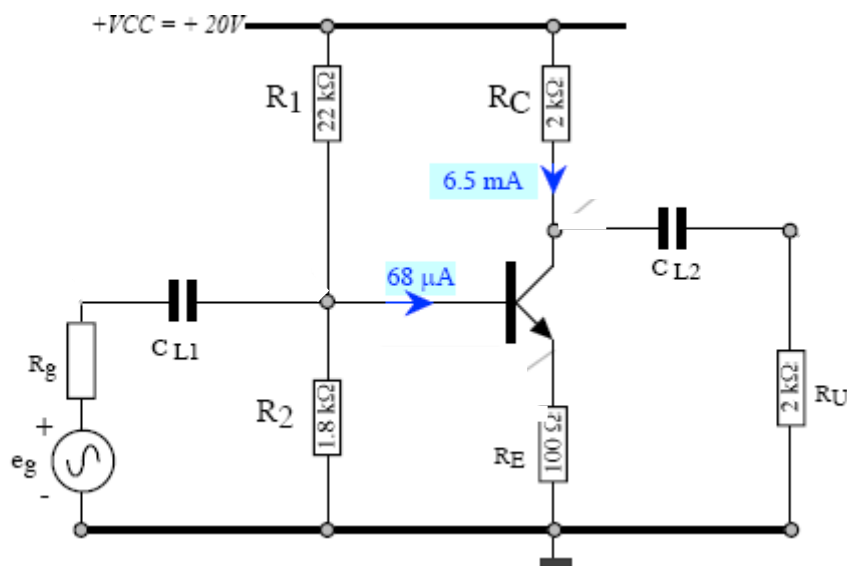


Figure 1

1. Déterminer les paramètres  $r_{be}$  et  $\beta$  du transistor
2. Dessiner le schéma équivalent du montage complet pour les petites variations imposées par le générateur d'attaque sinusoïdal ( $e_g, R_g$ ). Les capacités de liaisons  $C_1$  et  $C_2$  ont une impédance négligeable à la fréquence de travail. Choisir le schéma en " $\beta$  ib" pour simuler le transistor.
3. Calculer la valeur des paramètres du transistor autour de son point de repos :  $r_{be}$ ,  $g_m$  et  $r_{ce}$ .
4. Déterminer la résistance d'entrée  $R_e$  du montage vue par le générateur d'attaque ( $e_g, R_g$ ).  
On rappelle que  $R_e = v_e / i_g$  où  $i_g$  représente le courant variable imposé par  $e_g$ .
5. Chercher l'expression et calculer le gain en tension en charge :  $A_v = v_s / v_e$ .
6. Chercher l'expression et calculer la résistance de sortie  $R_s$  du montage vue par la résistance  $R_u$ .

**Exercice 2**

On considère le montage amplificateur donné en figure 2.a. Ce montage utilise un transistor NPN  $T_1$  au silicium à  $T = 25^\circ\text{C}$ , alimenté sous une tension continue  $V_{CC}$  de 15 V. Le transistor possède un gain en courant  $\beta$  de 250 et sa résistance  $r_{ce}$  **est considérée comme infinie**. Dans l'émetteur de  $T_1$ , on a disposé un

potentiomètre tel que seule la portion  $\alpha R_{E1}$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) de sa résistance totale  $R_{E1}$  soit découplée à la masse par le condensateur  $C_d$  de valeur suffisante.

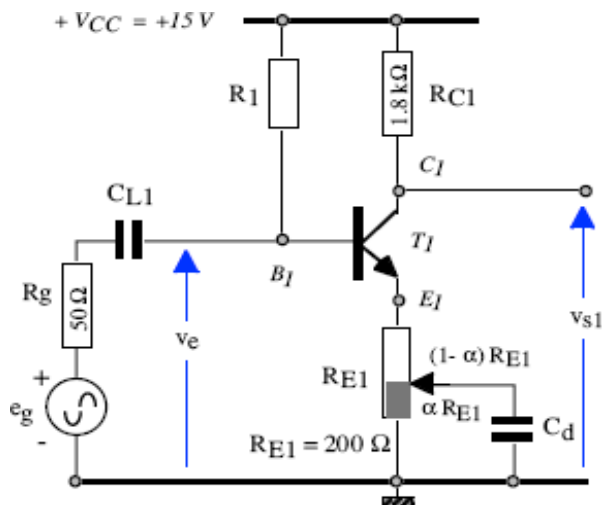


Figure 2.a

- Dessiner le schéma du montage en régime continu. Sachant que le courant de repos de collecteur est tel que :  $I_{C1 \text{ repos}} = 5 \text{ mA}$ , déterminer :
    - La valeur à donner à la résistance de polarisation  $R_1$ . On prendra  $V_{B1E1} = 0.6 \text{ V}$
    - La résistance d'entrée  $r_{be}$  et la transconductance  $g_m$  du transistor.
  - Dessiner le schéma équivalent aux petites variations et aux fréquences moyennes du montage complet sachant que toutes les capacités ont alors une impédance faible. Choisir une représentation en «  $g_m v_{be}$  » pour le transistor. **Dans la suite on prendra  $i_b$  négligeable devant  $g_m v_{be}$**
  - Déterminer l'expression de la résistance d'entrée  $R_{e1}$  du montage vue par le générateur d'excitation ( $e_g, R_g$ ). Entre quelles valeurs limites varie  $R_{e1}$ .
  - Déterminer l'expression du gain en tension  $A_1 = v_{s1}/v_e$ . Quelles sont les valeurs limites de  $A_1$ .
  - Montrer que la résistance de sortie  $R_{s1}$  du montage vue entre le collecteur  $C_1$  de  $T_1$  et la masse est égale à  $R_{C1}$ .
- Afin d'améliorer les performances de l'ampli, on décide d'ajouter un étage en utilisant un transistor  $T_2$  identique à  $T_1$  comme indiqué en figure 2.b. La base de  $T_2$  est reliée au collecteur de  $T_1$ . Aussi le courant de base de  $T_2$  peut être considéré comme négligeable et la tension  $V_{B2E2} = 0.6 \text{ V}$ .
- Sachant que  $R_{E2} = 1 \text{ k}\Omega$ , en déduire la valeur du courant de repos  $I_{C2}$  de  $T_2$ .
  - En déterminant l'impédance d'entrée  $R_{e2}$  du 2<sup>ème</sup> étage, montrer que le gain en tension du premier étage est peu influencé par la présence du deuxième étage.

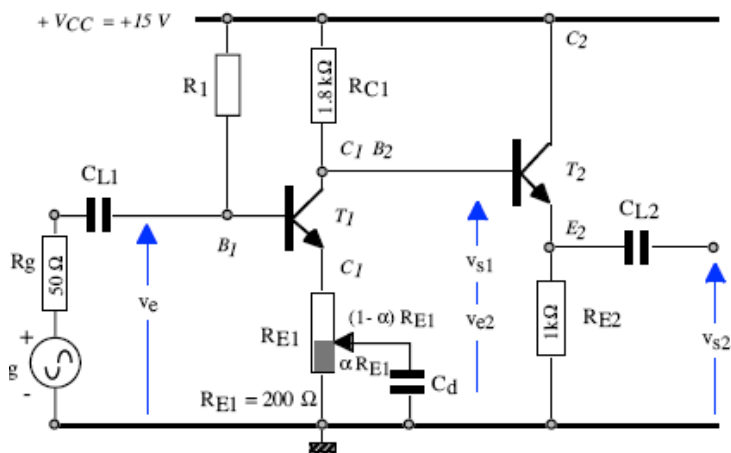
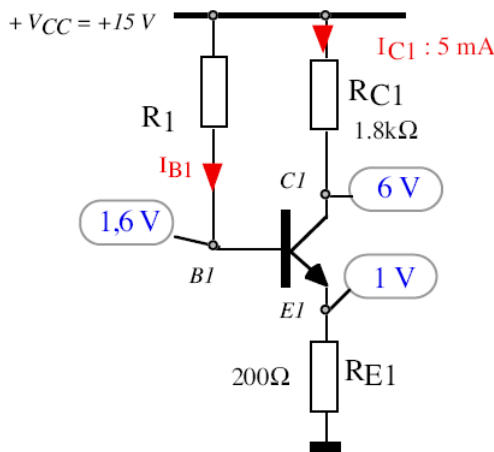


Figure 2.b

8. Que devient le gain en tension A du montage complet ?
9. Sachant que la sortie  $v_{s1}$  du premier étage est représentée sous la forme de Thévenin ( $e_{g1}$ ,  $R_{g1}$ ), on se propose de calculer la résistance de sortie  $R_s$  du montage complet vue entre  $E_2$  et la masse.
- a. Donner la valeur de  $e_{g1}$  et  $R_{g1}$ .
- b. Calculer  $R_s$  et faire l'application numérique.

**Solution Ex2 :**

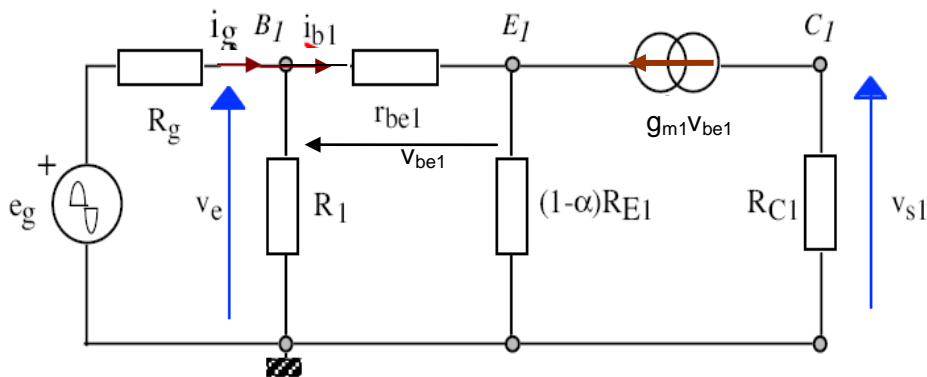
1. Schéma du montage en continu :



a.  $R_1 = 670 \text{ k}\Omega$

b.  $g_m = \frac{I_{co}}{V_T} = 0.2 \text{ S}$        $r_{be} = \beta \frac{V_T}{I_{co}} = 1.25 \text{ k}\Omega$

2. schéma équivalent aux petites variations et aux fréquences moyennes du montage :



3. Résistance d'entrée  $R_{e1} = v_e/i_g$ .

$$i_g = \frac{v_e}{R_1} + i_{b1} \quad \text{Soit : } \frac{i_g}{v_e} = \frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{\frac{v_e}{i_{b1}}}$$

Soit donc :  $R_{e1} = R_1 // (v_e/i_{b1})$

Sachant que :  $v_e = v_{be1} + g_{m1}(1-\alpha)R_{E1}v_{be1}$  (on néglige  $i_{b1}$  devant  $g_{m1}v_{be1}$ )

Et  $i_{b1} = v_{be1}/r_{be1}$

Il vient alors :  $v_e/i_{b1} = r_{be1}(1 + (1-\alpha)g_{m1}R_{E1})$

Soit donc  $R_{e1} = R_1 / [r_{be1}(1 + (1 - \alpha) g_{m1} R_{E1})]$

Pour  $\alpha = 0$   $R_{e1} \approx 48 \text{ K}\Omega$

Pour  $\alpha = 1$   $R_{e1} \approx 1,25 \text{ K}\Omega$

4. Expression du gain en tension :

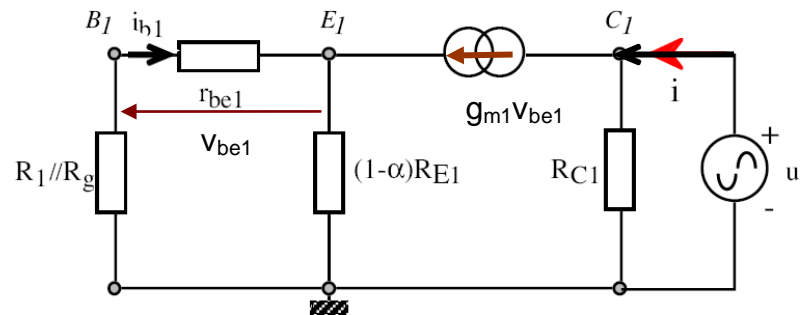
$v_{s1} = -g_{m1} v_{be1} R_{C1}$  et  $v_e = v_{be1} + g_{m1}(1 - \alpha) R_{E1} v_{be1}$

d'où :  $A_1 = - \frac{g_{m1} R_{C1}}{1 + g_{m1}(1 - \alpha) R_{E1}}$

Le gain en tension varie de  $-360$  ( $\alpha = 1$ ) à  $-8,78$  ( $\alpha = 0$ ).

5. Résistance de sortie :

Méthode de l'ohmmètre : annuler  $e_g$  et placer à la sortie un générateur ( $u, i$ ).



Dans la maille d'entrée on a :  $(R_1/R_g)(v_{be1}/r_{be1}) + v_{be1} + (1 - \alpha)g_{m1}R_{E1}v_{be1} = 0$ , dont la solution est  $v_{be1} = 0$  ; avec comme conséquence  $g_{m1}v_{be1} = 0$ .

Par conséquent :  $R_{s1} = \frac{u}{i} = R_{C1}$

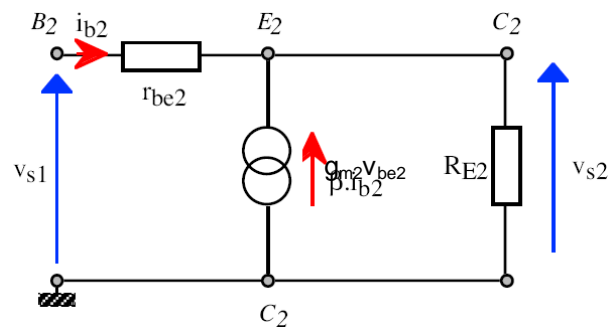
6. courant de repos  $I_{C2}$  de T2 :

La liaison entre T1 et T2 est directe. La tension  $V_{C1M}$  étant de 6V,

$V_{E2M} = V_{C1M} - V_{BE2} = 5.4 \text{ V}$ .

Alors :  $I_{C2} = 5,4 \text{ mA}$ .

7. En régime de variations, le premier étage est chargé par la résistance d'entrée  $R_{e2}$  du deuxième étage dont le schéma aux variations est le suivant :



$R_{e2}=r_{be2}(1+g_{m2}R_{E2})$

Avec  $g_{m2}=0.216\text{ S}$  et  $r_{be2}=1,157\text{ K}\Omega$

Soit  $R_{e2}\approx 251\text{ K}\Omega$

Le gain du premier étage devient alors :  $A_1=-\frac{g_{m1}(R_{C1} // R_{e2})}{1+g_{m1}(1-\alpha)R_{E1}} \approx -\frac{g_{m1}R_{C1}}{1+g_{m1}(1-\alpha)R_{E1}}$

Car  $R_{e2}\gg R_{C1}$  le gain du premier étage n'est pas modifié.

8. **Gain total du montage** : Gain du montage complet :  $A=A_1.A_2$

Avec  $A_2=\frac{V_{s2}}{V_{s1}}=\frac{g_{m2}R_{E2}}{1+g_{m2}R_{E2}}=0,995$

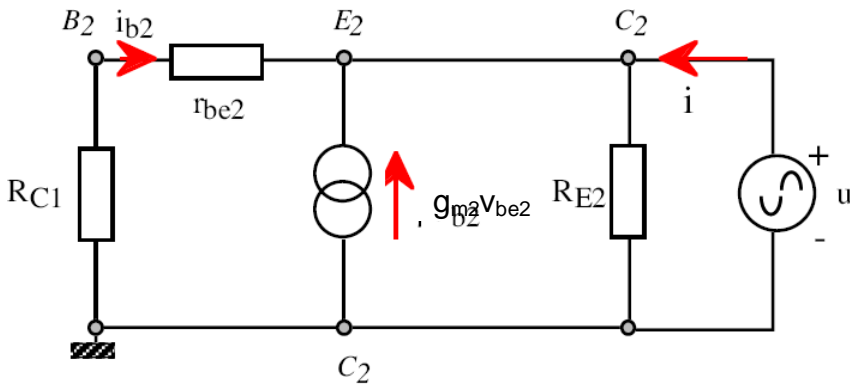
Le gain total est pratiquement égal à  $A_1$ .

9.

a. Le générateur de Thévenin  $e_{g1}$  équivalent à la sortie du premier étage est égal à la tension de sortie à vide de cet étage à savoir ( $e_{g1}=A_1.v_e$ ). Sa résistance interne  $R_{g1}$  est la résistance de sortie de cet étage soit  $R_{C1}$ .

b. **Résistance de sortie  $R_{s2}$**  :

Pour obtenir la résistance de sortie du montage complet on utilise la méthode de l'ohmmètre qui consiste d'une part à annuler  $e_g$  (ce qui annule le générateur lié  $e_{g1}$ ) et d'autre part de placer en sortie du 2° étage un générateur ( $u, i$ ). Le schéma du montage est alors le suivant :



$R_{s2}=R_{E2} // (-\frac{u}{g_{m2}v_{be2}})$

Avec  $u=-\frac{v_{be2}}{r_{be2}}$  soit alors  $R_{s2}=R_{E2} // [(R_{C1}+r_{be2})/g_{m2}r_{be2}]=R_{E2} // (\frac{R_{C1}+r_{be2}}{\beta})$

AN :  $R_s=11,7\Omega$

**Exercice3 : MONTAGE AMPLIFICATEUR EN EMETTEUR COMMUN “BOOTSTRAP”**

Le schéma du montage à étudier est donné en figure 3. Il utilise un transistor NPN à 25 °C dont les paramètres sont les suivants :

$\beta = 500$ ,  $V_{BE} = 0.6 \text{ V}$ ,  $I_{Crep0s} = 2 \text{ mA}$  et résistance  $r_{ce}$  infinie

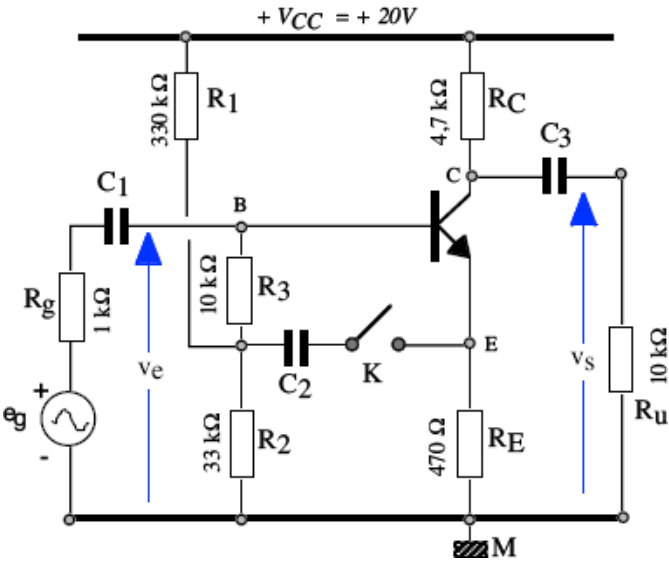


Figure 3

**1° PARTIE : On suppose que l'interrupteur K est ouvert.**

1. Sachant que dans le domaine des fréquences de travail, tous les condensateurs sont des courts circuits, dessiner le schéma équivalent au montage complet, aux petites variations et aux fréquences moyennes. On choisit de représenter le **transistor** par son **modèle en “ $\beta i_b$ ”**
2. Déterminer l'expression de la résistance d'entrée  $R_e$  vue par le générateur d'attaque ( $e_g, R_g$ ).

Ne pas oublier de donner le schéma d'analyse. Faire l'application numérique.

**2° PARTIE : On suppose que l'interrupteur K est fermé.**

Le condensateur “bootstrap”  $C_2$  va ramener, en régime de variations, le pont de polarisation  $R_1 / R_2$  dans le circuit d'émetteur du transistor. Cette technique va entraîner une augmentation de la résistance d'entrée du montage.

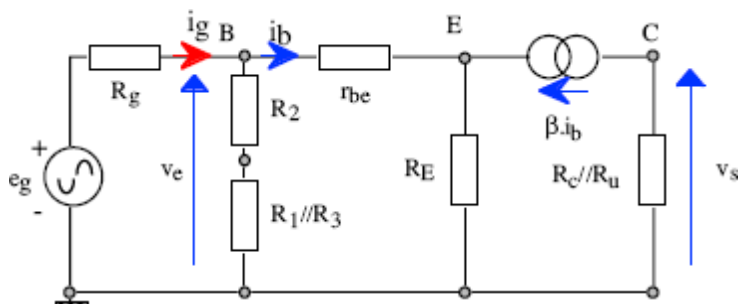
3. Sachant que dans le domaine des fréquences de travail, tous les condensateurs sont des courts circuits, dessiner le schéma équivalent au montage complet, aux petites variations et aux fréquences moyennes. Représentez le transistor par son **modèle en “ $g_m v_{be}$ ”**.

On appelle  $r$  la résistance équivalente située entre base et émetteur du transistor et  $R'_{eq}$  celle qui se trouve entre collecteur et masse et  $R'_E$  entre émetteur et masse.

4. Calculer l'expression du gain en tension du montage : Faire l'application numérique.
5. Déterminer l'expression de la résistance d'entrée  $R_e$  vue par le générateur d'attaque ( $e_g, R_g$ ). Faire l'application numérique.
6. Déterminer l'expression de la résistance de sortie  $R_s$  du montage vue par la résistance  $R_u$ .

**Solution Ex3 :**

*K est ouvert. Schéma équivalent au montage complet :*

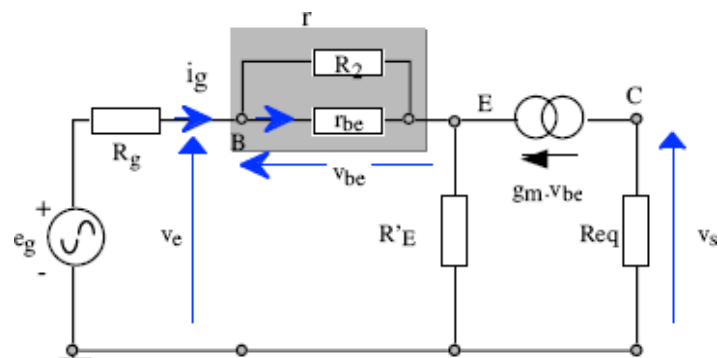


2 : Résistance d'entrée  $R_e$  vue par le générateur d'attaque ( $e_g$ ,  $R_g$ ).

$$R_e = \frac{v_e}{i_g} = (R_2 + R_1 // R_3) // (r_{be} + (\beta + 1)R_E) \text{ avec : } r_{be} = \beta \frac{U_T}{I_{Crep05}} = 6,25 \text{ k}\Omega$$

**Soit  $R_e = 33.7 \text{ k}\Omega$**

3 : *K est fermé. Schéma équivalent au montage complet :*



$$R'_E = R_1 // R_3 // R_E \quad R_{eq} = R_c // R_u$$

4 : Gain en tension du montage :

$$v_s = -R_{eq} g_m v_{be}$$

$$v_e = v_{be} + R'_E \left( \frac{v_{be}}{r'} + g_m v_{be} \right)$$

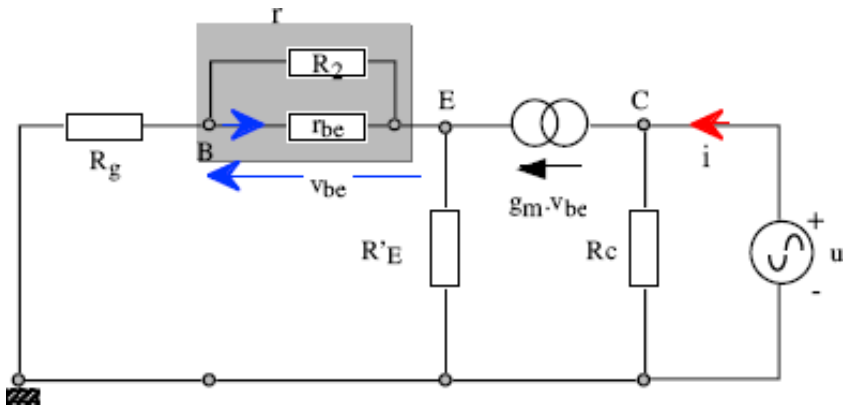
$$A_v = - \frac{g_m R_{eq}}{1 + R'_E \left( \frac{1}{r'} + g_m \right)} = -6,7$$

5 : Résistance d'entrée  $R_e$  vue par le générateur d'attaque ( $e_g$ ,  $R_g$ ).

$$R_e = \frac{v_e}{i_e} = r + R_E^{\circ}(1 + g_m \cdot r) = 147 k\Omega$$

*Intérêt du montage : permet d'augmenter de façon significative la résistance d'entrée ( $33k\Omega$  à  $147k\Omega$ ) en plaçant une partie du circuit de polarisation en parallèle avec  $R_E$ . En effet, toute résistance entre E et masse est vue de la base, sensiblement multipliée par le gain en courant  $\beta$  du transistor. En outre le gain en tension est peu affecté.*

6 : Résistance de sortie  $R_s$  du montage vue par la résistance  $R_u$ . Méthode de « l'ohmmètre » : ne pas oublier de court-circuiter  $e_g$  et d'enlever la résistance  $R_u$ . Le schéma est alors le suivant :



$$R'_E = R_1 // R_3 // R_E$$

En écrivant l'équation de la maille d'entrée on obtient la relation

$$v_{be} \left( 1 + g_m \frac{r R_E^{\circ}}{r + R_g + R_E^{\circ}} \right) = 0$$

Donc la tension de commande  $v_{be}$  est nulle.

**Le générateur dépendant ( $g_m \cdot v_{be}$ ) est aussi nul. Dans ces conditions :  $R_s = R_C$ .**

**Exercice 4 :**

On veut réaliser un amplificateur suivant le schéma de la figure4, utilisant deux transistors rigoureusement complémentaires. Le transistor T2 avec la résistance  $R_2$  associée sert de “charge active” au transistor amplificateur T1. Les caractéristiques des transistors T1 (PNP) et T2 (le NPN complémentaire) sont telles que  $\beta=100$ ,  $|V_{BE}| = 0.6 \text{ V}$  et  $r_{ce}$  très élevée sera négligée.



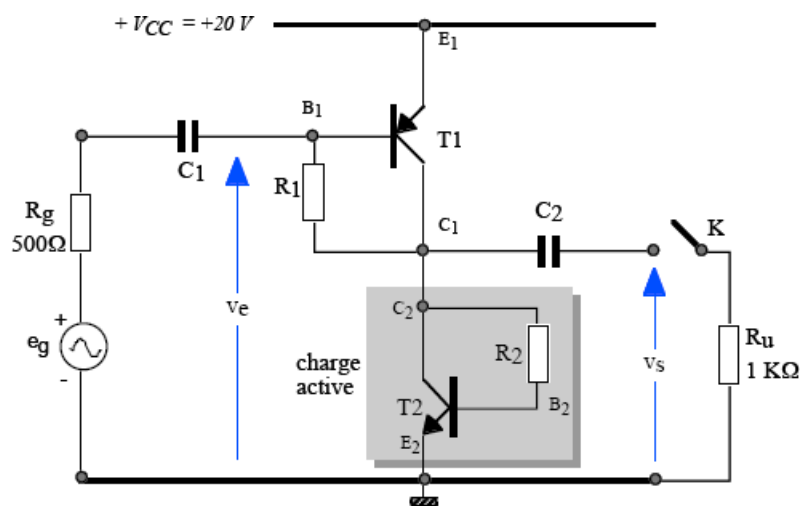


Figure 4

### 1ère PARTIE : ETUDE DE LA POLARISATION

1. Dessiner le schéma qui permet de décrire le fonctionnement du montage en courant continu
2. On veut alimenter chaque transistor sous une tension  $|V_{CE}| = 10 \text{ V}$ . Déterminer les valeurs des tensions de tous les noeuds par rapport à la masse.
3. Déterminer les valeurs à donner aux résistances  $R_1$  et  $R_2$  pour obtenir dans chaque transistor, un courant de collecteur de 5 mA.
4. Déterminer les paramètres  $g_m$  et  $r_{be}$  des transistors autour de leur point de repos.

### 2ème PARTIE : ETUDE DE L'AMPLIFICATEUR A VIDE (K ouvert)

On suppose que les condensateurs  $C_1$  et  $C_2$  ont des valeurs suffisantes pour que leur impédance soit négligeable à la fréquence d'utilisation du montage.

5. Compte tenu de ces hypothèses, dessiner le schéma aux petites variations équivalent à la charge active constituée par  $T_2$  et  $R_2$  (partie encadrée du schéma).
6. Déterminer alors la valeur de la résistance  $R$  équivalente à la charge active. Il s'agit de la résistance d'entrée de ce montage vue entre le collecteur  $C_1$  et la masse.
7. **En déduire** et dessiner le schéma aux petites variations équivalent à l'ensemble du montage.
8. Calculer le gain en tension  $A_{V0} = v_s / v_e$  du montage.
9. Calculer en fonction du gain  $A_{V0}$ , la résistance d'entrée  $R_e$  du montage, telle que la voit le générateur ( $e_g$ ,  $R_g$ ) entre les points  $B_1$  et M.
10. Calculer la résistance de sortie du montage.

### 3ème PARTIE : ETUDE DE L'AMPLIFICATEUR CHARGE PAR $R_U = 1 \text{ K}\Omega$

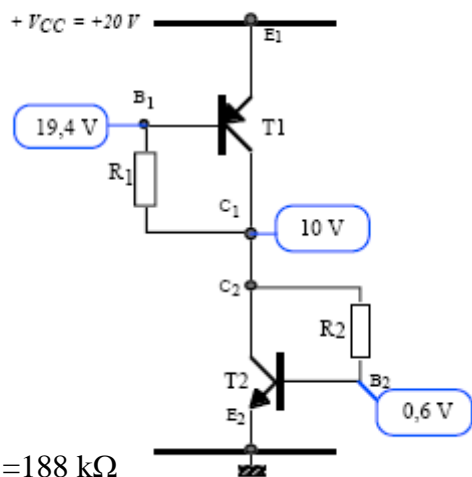
La présence de l'utilisation  $R_u$  modifie le gain en tension et la résistance d'entrée.

11. Calculer le nouveau gain en tension  $A_V = v_s / v_e$  et la nouvelle résistance d'entrée du montage.
12. Calculer le gain en puissance du montage et l'exprimer en décibels.
13. A l'aide des résultats de la deuxième partie, dessiner l'ensemble de l'amplificateur sous une forme simplifiée utilisant deux générateurs de Thévenin :
  - à l'entrée : le générateur d'attaque ( $e_g$ ,  $R_g$ )
  - à la sortie : le générateur équivalent au montage vu de l'utilisation (force électromotrice K,  $e_g$ , de résistance interne  $R$ )

Indiquer la valeur de chaque élément. Application numérique

**Solution Ex4 :**

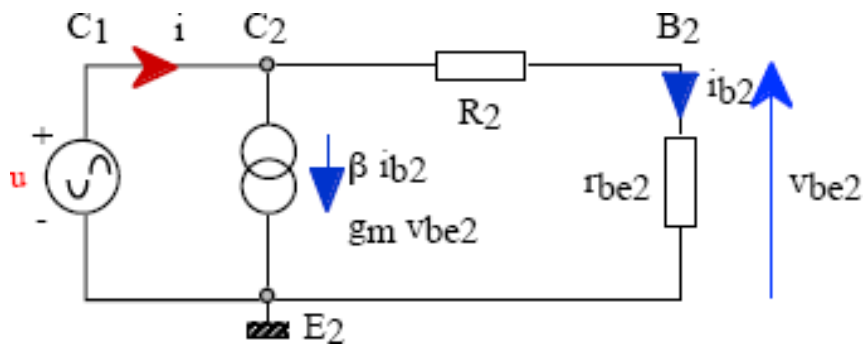
1) et 2)



3.  $I_{B1} = 50 \mu A$   $R_1 = 188 k\Omega$   $R_2 = 188 k\Omega$

4.  $g_m = 0,2 \text{ mS}$  ,  $r_{be} = 500$

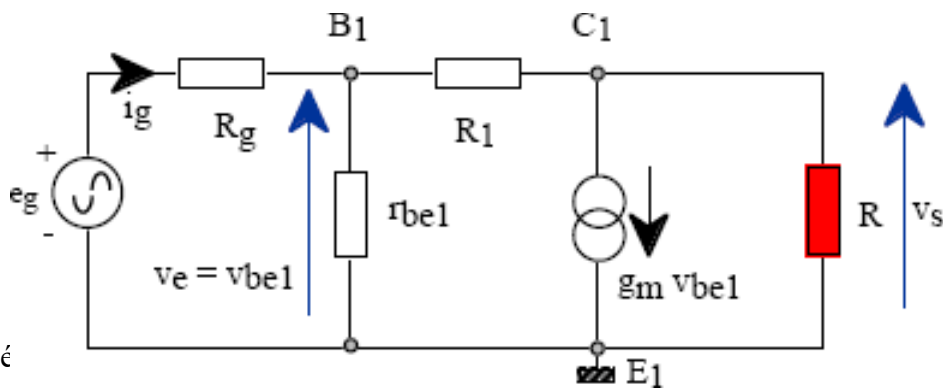
5.



6. L'équation au noeud C2 donne :

$$R = \frac{u}{i} = \frac{R_2 + r_{be2}}{\beta + 1} \quad \text{AN : } R = 1.80 k\Omega$$

7.



8. L'é

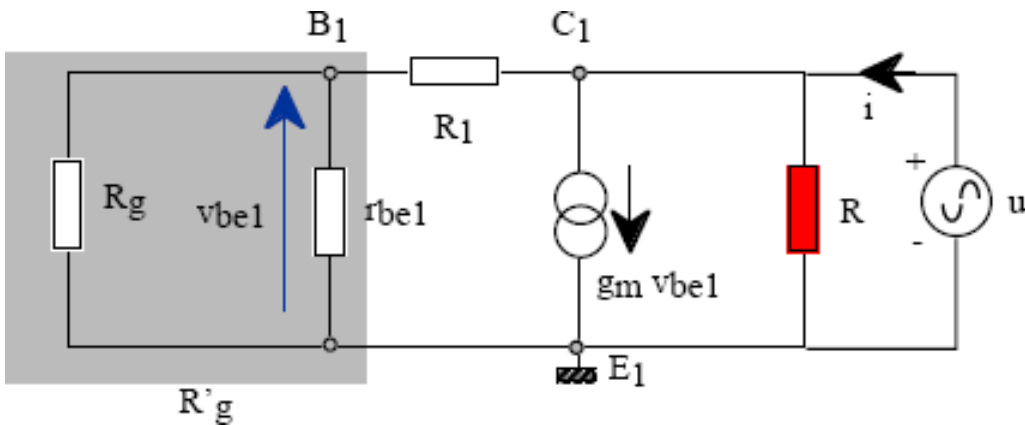
$$g_m v_{be1} = -\frac{v_s}{R} + \frac{v_{be1} - v_s}{R_1}$$

$$A_{v0} = \frac{v_s}{v_e} = -\left(g_m - \frac{1}{R_1}\right)(R_1 // R) \qquad A_{v0} = -356$$

9. La résistance d'entrée peut s'exprimer en fonction du gain en tension précédent :

$$R_e = \frac{e_g}{i_g} = r_{be1} // \frac{R_1}{1 - A_{v0}} \qquad R_e = 250 \, \Omega$$

10. Recherche de la résistance d'entrée :



$$R_s = R // \frac{R_1 + R'_g}{1 + g_m R'_g} \qquad R_s = 1,2 \, \text{k}\Omega$$

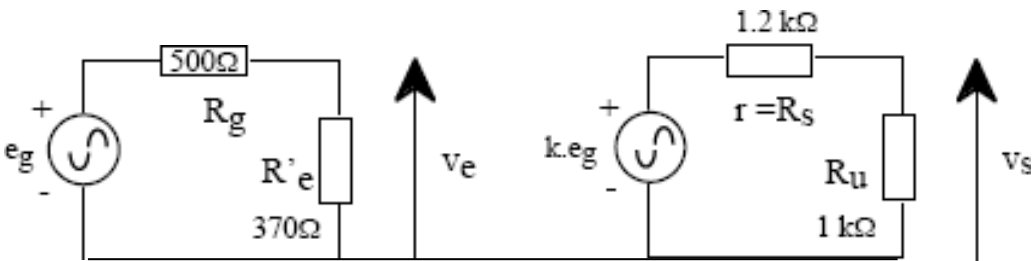
11. R\_u vient en parallèle avec R. Nouveau gain en tension :

$$A_v = \frac{v_s}{v_e} = -\left(g_m - \frac{1}{R_1}\right)(R_1 // R // R_u) \qquad A_v = -128$$

Nouvelle résistance d'entrée :  $R'_e = \frac{e_g}{i_g} = r_{be1} // \frac{R_1}{1 - A_v}$        $R'_e = 370 \Omega$

12.  $A_p = A_v^2 \frac{R_e}{R_u}$       soit 38 dB

13.



k.e\_g représente la f.e.m. de l'amplificateur non chargé.

$k = A_{v0} \frac{R_e}{r_g + R_e}$       soit k = -120

Exercice5 :

La figure 5 représente un montage amplificateur à deux étages qui utilise à 25 °C, deux transistors T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub> tels que :

- $\beta_{T1} = \beta_{T2} = 100$ ,  $V_{CC} = 20V$  et  $V_{BE} = 0.6 V$  ;
- les résistances internes  $r_{ce1}$  et  $r_{ce2}$ , élevées seront négligées.

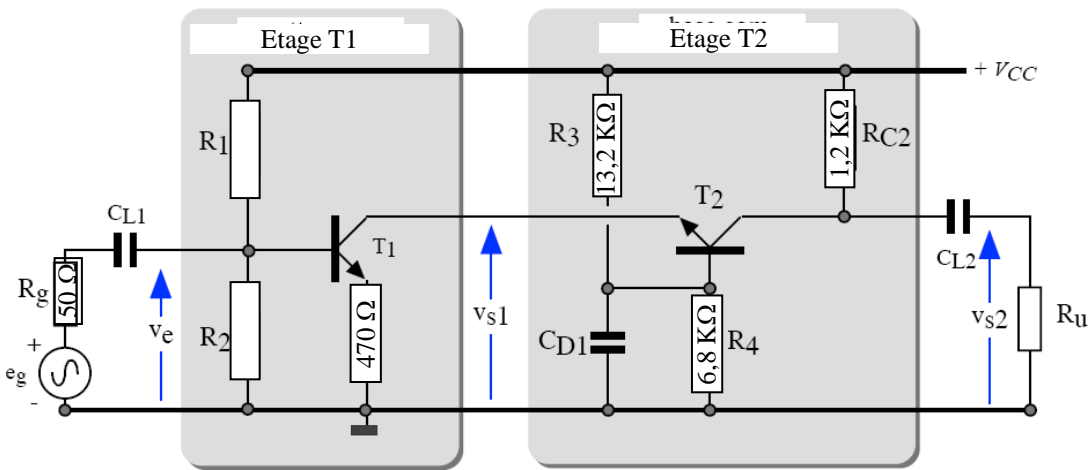


Figure 5

1. Quel est le type de montage de chaque transistor ?

2. Le courant de repos (en régime continu) du transistor T1 est fixé à  $I_{C1\text{repos}} = 5 \text{ mA}$ . En déduire la valeur du courant de repos de collecteur  $I_{C2}$  du transistor T2. Calculer alors  $g_m$  et  $r_{be}$  pour chaque transistor.
3. On choisit un courant de pont  $I_P = 20 I_{B1}$  ( $I_P$  circule dans  $R_1$  et  $I_{B1}$  sera négligeable devant  $I_P$ ), Calculer les valeurs à donner aux résistances de polarisation  $R_1$  et  $R_2$ .
4. Dessiner le schéma équivalent au montage complet aux petites variations et aux fréquences moyennes sachant que les impédances associées aux condensateurs sont négligeables. **On utilisera pour les transistors la représentation « $g_m V_{be}$ ».**
5. Déterminer les expressions de la résistance d'entrée  $R_{e2}$  et du gain en tension  $A = \frac{V_{s2}}{V_{s1}}$  de l'étage T2 vue par T1 entre son collecteur C1 et la masse. Faire l'application numérique.
6. Compte tenu de la question précédente, déterminer le gain en tension  $A = \frac{V_{s1}}{V_e}$  du premier étage ainsi que sa résistance d'entrée  $R_{e1}$ . Faire l'application numérique. En déduire le gain en tension A et la résistance d'entrée  $R_e$  du montage complet.
7. Déterminer la résistance de sortie du montage complet.
8. En tenant compte des capacités de liaisons et des paramètres caractéristiques du montage complet (déjà déterminées précédemment), représenter le schéma de thevenin équivalent au montage. Discuter l'influence des capacités de liaison sur le gain en tension en très basses fréquences. Pour quelle valeur de  $C_{L1}$ , le gain en tension A subit une diminution de 3dB à  $f = 100\text{Hz}$

### **Solution Ex5 :**

1. T1 est en montage émetteur commun et T2 est en base commune.

2.  $I_{E2} = I_{C1}$  et  $I_{E2} = I_{C2}$  soit  $I_{C1} = I_{C2}$

Les courants collecteurs sont identiques pour T1 et T2 par conséquent  $g_{m1} = g_{m2} = g_m = I_C / V_T$

Les béta sont également identiques donc les  $r_{be}$  sont identiques :  $r_{be1} = r_{be2} = r_{be} = \beta / g_m$

A.N :  $g_m = 0,2\text{S}$  et  $r_{be} = 500\Omega$

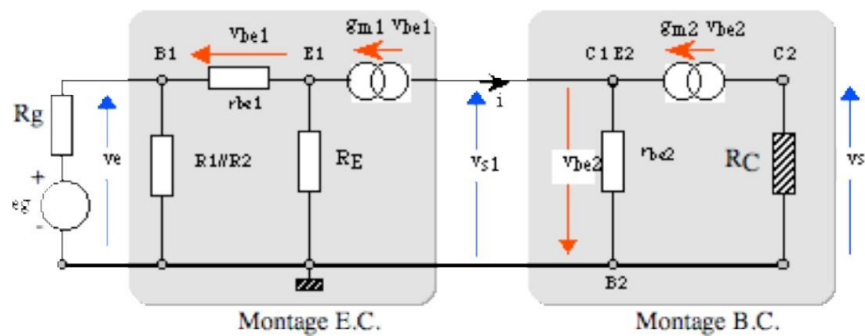
3. Résistance de pont  $R_1$  et  $R_2$

$$I_P \gg I_B \text{ soit } R_1 + R_2 = \frac{V_{CC}}{20 I_B} \quad \text{et } R_2 I_P = R_E I_C + V_{BE}$$

A.N :  $R_1 = 17 \text{ k}\Omega$                        $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$

4. schéma équivalent en régime de variation :

En dynamique, les capacités de liaison et de découplage sont équivalentes à des courts circuits. En conséquence les résistances  $R_3$  et  $R_4$  sont court circuitées par  $C_D$ .



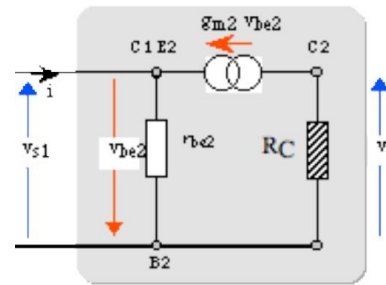
5. Résistance d'entrée et gain en tension du deuxième étage :

$$R_{e2} = \frac{v_{s1}}{i} = r_{be2} // (-\frac{v_{s1}}{g_{m2} v_{be2}}) \quad \text{et } v_{s1} = -v_{be2}$$

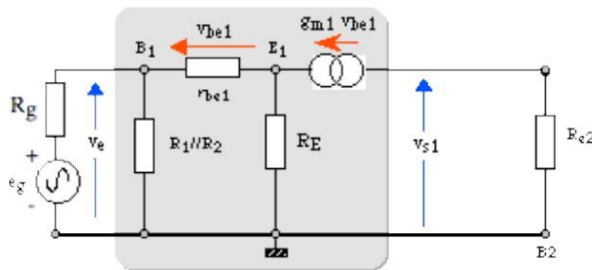
$$R_{e2} = r_{be2} // \frac{1}{g_{m2}} \approx \frac{1}{g_{m2}} \quad (\text{Car } r_{be} \gg g_m^{-1})$$

$$A_2 = g_{m2} R_C$$

A.N :  $R_{e2} = 5 \Omega \quad A_2 = 240$



6. gain en tension et résistance d'entrée de T1 chargé par T2 :



$$v_{s1} = -g_{m1} v_{be1} R_{e2} \quad \text{et } v_e = v_{be1} + R_E (g_{m1} v_{be1} + v_{be1}/r_{be1}), \quad g_{m1} \gg (1/r_{be1})$$

Soit donc : 
$$A = - \frac{g_{m1} R_{e2}}{1 + g_{m1} R_E}$$

$$R_{e1} = (R_1 // R_2) // (v_e / i_{b1}) \quad \text{avec } i_{b1} = v_{be1} / r_{be1}$$

$$R_{e1} = [R_1 // R_2 // r_{be1} (1 + g_{m1} R_E)]$$

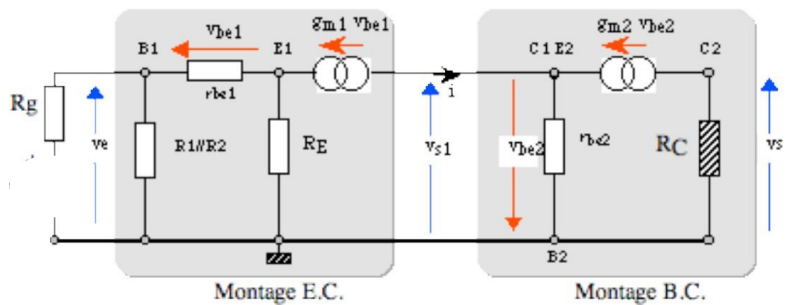
A.N:  $A_1 = -0,01, \quad R_{e1} = 35,9 \text{ k}\Omega \approx 36 \text{ k}\Omega$

Le gain du montage entier c :

$$A = A_1 A_2 = -2,4 \quad \text{et sa résistance d'entrée est } R_e = R_{e1}$$

7. Résistance de sortie du montage complet : méthode de l'ohmmètre :

On cherche  $R_s = (v_s/i_s)$  lorsque  $e_g = 0$



Dans la maille 1 on a :  $[(R_g//R_1//R_2) + r_{be1}](v_{be1}/r_{be1}) + R_E[g_{m1}v_{be1} + (v_{be1}/r_{be1})] = 0$   
Dont la solution est  $v_{be1} = 0$ .

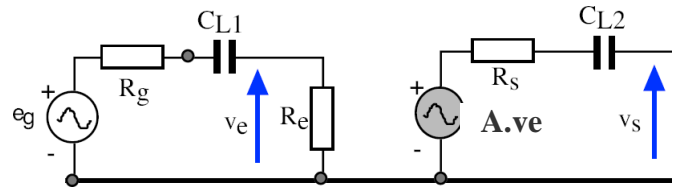
on a :  
 $[(R_g//R_1//R_2) + r_{be1}](v_{be1}/r_{be1}) + R_E[g_{m1}v_{be1} + (v_{be1}/r_{be1})] = 0$   
Dont la solution est  $v_{be1} = 0$ .

Par conséquent  $g_{m1}v_{be1} = 0$   
Or  $g_{m1}v_{be1} = g_{m2}v_{be2} + (v_{be2}/r_{be2}) = 0$ , la solution est  $v_{be2} = 0V$

En consequence:  $R_s = (v_s/i_s) = R_C = 1,2\text{ k}\Omega$

8. Schéma équivalent de thevenin:

en tenant compte de  $R_e$ ,  $A$  et  $R_s$ , le schéma de thevenin équivalent au montage est :



Le montage étant non chargé, donc  $C_{L2}$  n'influence pas sur la réponse en fréquence. Seule donc  $C_{L1}$  introduit un affaiblissement par le filtre passe haut ( $R_e$ ,  $C_{L1}$ ) dont la fréquence de coupure à -3dB est donnée par :

$$f_{cb} = \frac{1}{2\pi R_e C_{L1}}$$

$f_{cb} = 100\text{ Hz}$  conduit à une valeur de capacité de :  $C_{L1} \approx 44\text{ nF}$

Exercice6: ASSOCIATION EMETTEUR COMMUN-COLLECTEUR COMMUN

On considère le montage amplificateur de la figure 6 qui utilise à 25 °C, deux transistors : T1 et T2 (NPN) tels que :  $\beta_1 = 200$ ,  $\beta_2 = 100$  et les résistances internes  $r_{ce}$  élevées, seront négligées.

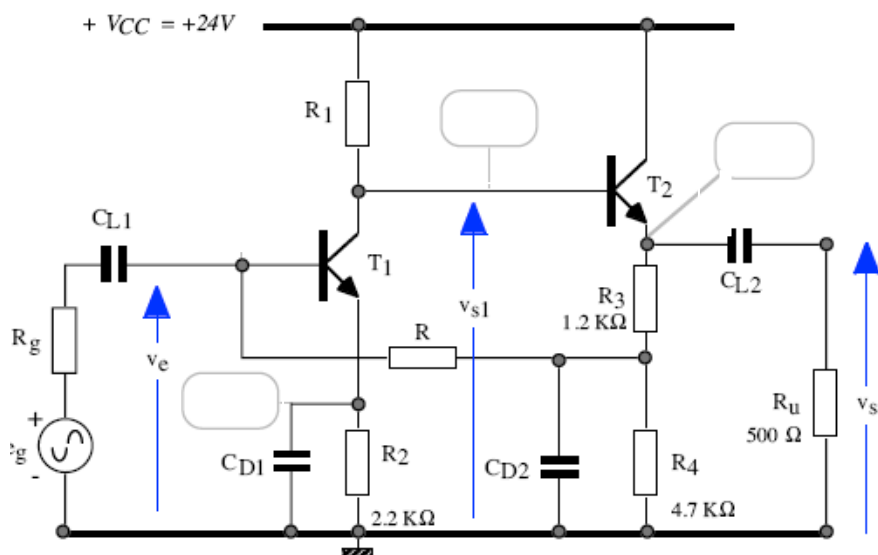


Figure 6

1. Les courants de repos de collecteur des transistors T1 et T2 sont respectivement :  $I_{C1} = 1.7 \text{ mA}$  et  $I_{C2} = 2 \text{ mA}$ .
  - a. En négligeant les courants de base, indiquer sur le schéma la valeur des tensions remarquable par rapport à la masse.
  - b. En déduire la valeur à donner aux résistances R et R1.

*On étudie maintenant les performances du montage en régime sinusoïdal petites variations et fréquences moyennes. Au lieu de dessiner le schéma équivalent du montage complet, il est plus pratique de procéder par étapes, c'est-à-dire d'analyser chaque étage séparément.*

2. Dessiner **uniquement** le schéma équivalent aux petites variations et aux fréquences moyennes de l'étage T2.
3. Calculer l'expression de la résistance d'entrée  $R_{e2}$  de l'étage T2 ainsi que son gain en tension. Faire les applications numériques.
4. Compte tenu de la question précédente, en utilisant la résistance  $R_{e2}$ , dessiner le schéma équivalent aux petites variations et aux fréquences moyennes de l'étage T1.
5. Déterminer l'expression du gain en tension du 1<sup>er</sup> étage. Faire l'application numérique.
6. Donner l'expression et calculer la résistance de sortie  $R_s$  du montage complet. Faire le schéma qui permet de déterminer  $R_s$ .

### **Exercice 7: ANALYSE D'UN AMPLIFICATEUR POUR ANTENNE DE TELEVISION**

*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. 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  $75 \Omega$ .*

### **PARTIE 1 : ETUDE DE L'AMPLIFICATEUR**

*Le schéma complet du montage amplificateur est donné en figure 7. La tension d'alimentation est fixée à  $V_{cc} = 5V$  et la température de fonctionnement est de  $25^\circ C$ . 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  $V_{CE1}$  du transistor T1 est sensiblement de  $1,2V$ .



3. On supposera que les courants de base de T1 et T2 sont suffisamment faibles pour être négligés devant les courants de collecteur. En déduire la valeur du courant de repos  $I_{C1}$  du transistor T1.
4. 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 T2. Calculer la valeur du potentiel  $V_{C2M}$ .

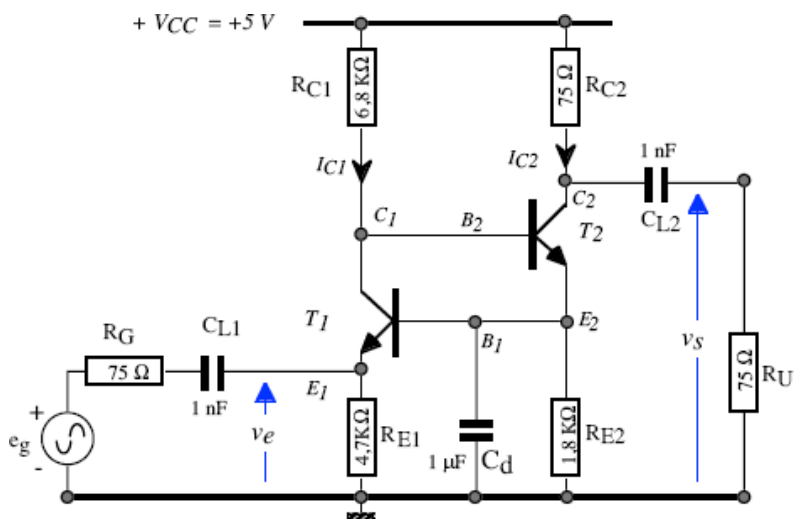


Figure 7 : schéma de l'amplificateur.

**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  $\beta$  des transistors est fixé à 200.

1. Déterminer le type de montage amplificateur relatif à chaque transistor. Que peut-on dire du signe du gain du montage complet ?
2. Dessiner le schéma équivalent aux petites variations du montage complet. On utilisera le schéma en «  $g_{m1} v_{be1}$  » pour T1 et «  $g_{m2} v_{be2}$  » pour T2. On rappelle que les résistances  $r_{ce1}$  et  $r_{ce2}$  sont négligeables. Il est conseillé de faire et de nommer des regroupements de résistances.
3. Calculer les paramètres dynamiques petits signaux de chaque transistor :

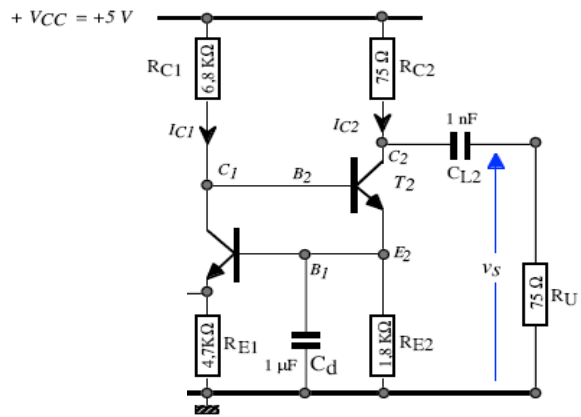
Transistor $T_1$	$r_{be1}$	$g_{m1}$
Transistor $T_2$	$r_{be2}$	$g_{m2}$

4. 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. Déterminer l'expression de la résistance de sortie  $R_s$  vue par la résistance d'utilisation  $R_U$  et faire l'A.N.

**Solution Ex 7 :**

A. Etude en statique

1. schéma en continu



2. Tension VCEI de T1

$V_{C1E1} = V_{C1B1} + V_{B1E1} = V_{B2E2} + V_{B1E1}$

Comme en fonctionnement normal  $V_{BE} \approx 0.6V$  alors  $V_{C1E1} = 1.2 V$

3. Courant collecteur IC1 ?

En négligeant le courant dans la branche  $C1B2$ , il vient :

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{C1E1}}{R_{E1} + R_{C1}} \quad \text{soit } I_{C1} = 0.41 \text{ mA}$$

4.  $V_{E1M} = 1.93 V, \quad V_{E2M} = V_{E1M} + V_{B1E1} = 2.53 V \quad \text{et } V_{C1M} = V_{E1M} + V_{C1E1} = 3.13 V$

$$I_{C2} = \frac{V_{E2M}}{R_{E2}} \quad \text{soit } I_{C2} = 1.40 \text{ mA} \quad \text{et } V_{C2M} = V_{CC} - R_{C2} I_{C2} = 4.90 V$$

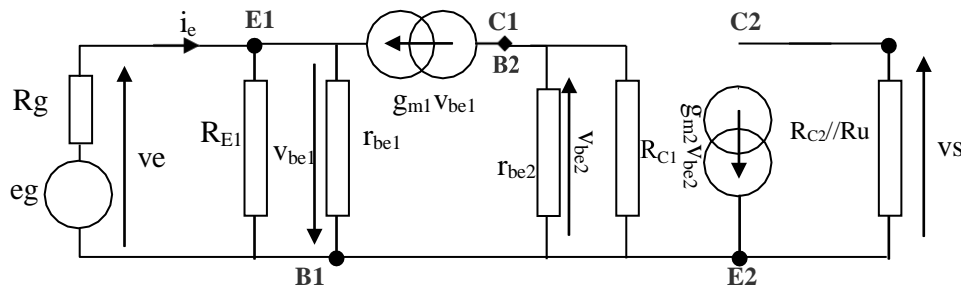
Toute la chute de tension est sur le transistor c normal car  $R_{C2}$  est faible

B. Etude en dynamique :

1. Type de montage :

T1 en base commune, T2 en émetteur commun

2. Schéma équivalent :



2. Paramètres dynamiques

	$g_m = \frac{I_{co}}{V_T}$	$r_{be} = \beta \frac{V_T}{I_{co}}$
Transistor T1	$0.016 \Omega^{-1}$	$12.2 k\Omega$
Transistor T2	$0.056 \Omega^{-1}$	$3.6 k\Omega$

3. gain en tension :  $v_s = -$

$$(R_{C2} // R_U) g_{m2} v_{be2}$$

$$v_{be2} = -g_{m1} v_{be1} (r_{be2} // R_{C1})$$

$$\text{et } v_{be1} = -v_e$$

$$D'o\grave{u} \frac{v_s}{v_e} = -g_{m1} g_{m2} (r_{be2} // R_{C1}) (R_{C2} // R_U) \quad \text{AN } A_v = -791$$

4. Gain en tension \`a vide :

$$\text{\`A vide il faut faire } r_u \text{ infinie d'o\`u } A_{vo} = -g_{m1} g_{m2} r_{be2} R_C$$

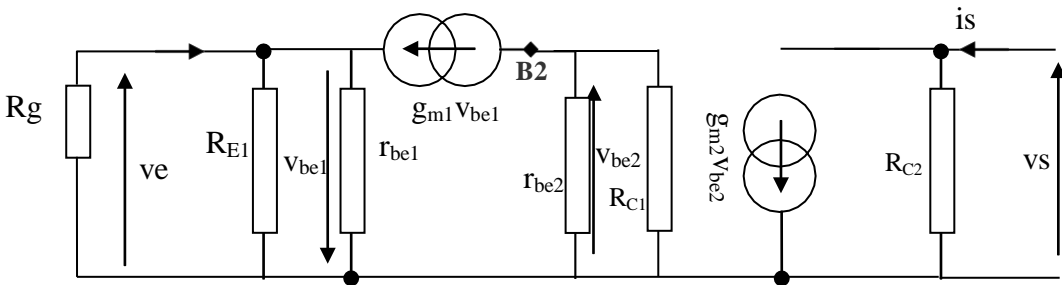
$$A_{vo} = -1582$$

5. r\'esistance d'entr\'ee  $R_e$  :

$$R_e = R_{E1} // r_{be1} // \left( \frac{v_{be1}}{g_m v_{be1}} \right) \text{ soit } R_e = R_{E1} // r_{be1} // g_m^{-1}$$

$$\text{AN } R_e = 212 \Omega$$

6. R\'esistance de sortie  $R_s$  :



$$\text{A l'entr\'ee on a } v_{be1} = r_{be1} \left( g_{m1} v_{be1} + \frac{v_{be1}}{R_g // R_{E1}} \right)$$

$$\text{Soit } v_{be1} \left( 1 - g_{m1} r_{be1} - \frac{r_{be1}}{R_g // R_{E1}} \right) = 0 \quad \text{le terme entre } ( ) \text{ n'est n\'ecessairement pas nul, par}$$

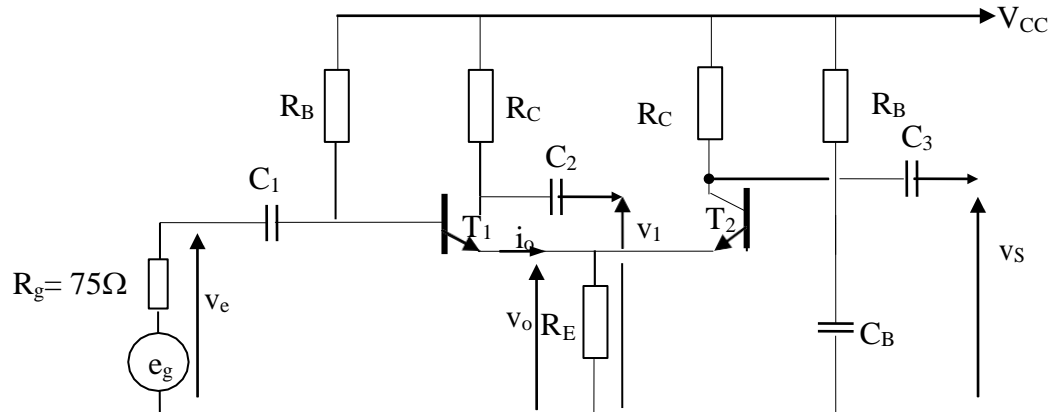
cons\'equent  $v_{be1} = 0$ , implique la source  $g_{m1} v_{be1}$  n'existe pas et donc  $v_{be2} = 0$ , il en r\'esulte que la source  $g_{m2} v_{be2}$  n'existe pas. La r\'esistance vue depuis la charge  $R_U$  est alors :  $R_s = R_C = 75 \Omega$

**Exercice 8:**

Un amplificateur symétrique est constitué par deux transistors bipolaires  $T_1$  et  $T_2$  montés selon le schéma de la figure 8 et supposés parfaitement identiques. Les deux transistors possèdent le même point de fonctionnement. L'amplificateur est alimenté par une source de tension sinusoïdale et les condensateurs se comportent comme des courts circuits à la fréquence d'utilisation.

On donne :  $V_{CC} = 12\text{ V}$ ,  $R_{E1E} = 0,2 V_{CC}$ ,  $V_{CE} = 4\text{ V}$ ,  $I_C = 12,5\text{ mA}$ ,  $V_{BE} = 0,6\text{ V}$  et  $\beta = 120$

1/ Déterminer les résistances de polarisation des transistors. On supposera négligeable le courant de base devant le courant collecteur.



**Figure 8**

2/ Les deux transistors sont représentés en dynamique par leur schéma équivalent en émetteur commun avec les paramètres  $r_{be}$  et  $g_m$  que l'on déterminera pour les besoins des applications numériques.

- Dire le type de montage pour chaque transistor
- Représenter le schéma équivalent en dynamique de tout l'amplificateur.

3 / Pour le deuxième étage, déterminer le gain en tension  $A'_{v2} = \frac{v_s}{v_o}$  et l'impédance d'entrée  $Z_{e2} = \frac{v_o}{i_o}$

4/ En utilisant l'impédance d'entrée  $Z_{e2}$  :

- Représenter le schéma équivalent en dynamique du 1<sup>er</sup> étage chargé par le deuxième étage
- Déterminer l'impédance d'entrée  $Z_{e1}$  du premier étage.

c. Exprimer, puis calculer les gains en tension du premier étage :  $A_{v1} = \frac{v_1}{v_e}$  et  $A'_{v1} = \frac{v_o}{v_e}$

d. En déduire le gain en tension de l'amplificateur  $A_v = \frac{v_s}{v_e}$ , le comparer à  $A_{v1}$

5/ Déterminer l'impédance de sortie de l'amplificateur complet

6/ A l'aide des résultats précédents, dessiner l'ensemble de l'amplificateur sous une forme simplifiée utilisant deux générateurs de Thevenin :

- à l'entrée : le générateur d'attaque ( $e_g$ ,  $R_g$ ),
- à la sortie : le générateur équivalent au montage vu entre les deux points de sortie (force électromotrice  $K.e_g$ , résistance interne  $R$ )

Indiquer la valeur de chaque élément

Solution Ex8 :

1/ Résistances de polarisation :

$R_E I_E = 0,2V_{CC}$ , En négligeant le courant de base il vient :  **$R_E \approx 200 \Omega$**

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - 2R_E I_E}{I_C} \quad \text{soit :} \quad \mathbf{R_C \approx 450 \Omega}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - 2R_E I_E}{I_C} \cdot \beta \quad \text{soit :} \quad \mathbf{R_B \approx 110 k\Omega}$$

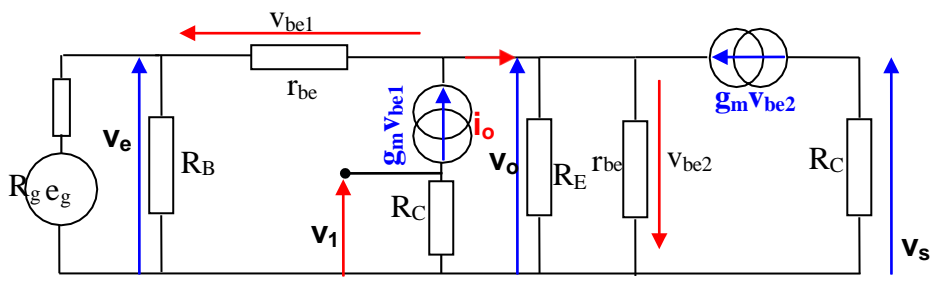
2/ Paramètres dynamique :  $g_m = 0,5 \text{ S}$  et  $r_{be} = 240 \Omega$ , identiques pour T1 et T2

a. Type de montage :

T1 est en collecteur commun

T2 est en base commune

b. Schéma équivalent en dynamique :



3/ \* Gain

en tension du deuxième étage :

$$A'_{v2} = \frac{v_o}{v_1} = \frac{-g_m v_{be2} R_C}{-v_{be2}} \quad \text{soit} \quad \mathbf{A'_{v2} = g_m R_C}$$

**AN :  $A'_{v2} = 225$**

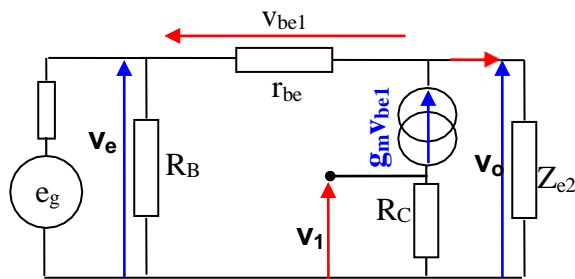
\* Impédance d'entrée :

$$Z'_{e2} = \frac{v_o}{i_o} = R_E // r_{be} // \left( \frac{v_o}{-g_m v_{be2}} \right) \quad \text{avec } v_o = -v_{be2}$$

Soit :

$$\mathbf{Z'_{e2} = R_E // r_{be} // \frac{1}{g_m} \approx \frac{1}{g_m}} \quad \text{AN: } \mathbf{Z'_{e2} = 2\Omega}$$

4/ a. Schéma équivalent du premier étage chargé par le deuxième étage:



b. Impédance d'entrée  $Z_{e1}$  :

$$Z_{e1} = R_B // \left( \frac{v}{i_{b1}} \right) \quad \text{avec : } i_{b1} = \frac{v_{be1}}{r_{be1}}$$
$$Z_{e1} = R_B // \left( \frac{v}{v_{be1}} \right) \quad \text{avec } v_e = v_{be1} + Z_{e2} g_m v_{be1} \quad \left( \text{on néglige le terme } \frac{v_{be1}}{r_{be1}} \right)$$

Soit:  $Z_{e1} = R_B // r_{be1} (1 + g_m Z_{e2})$       AN:  $Z_{e1} = 480 \, \Omega$

c. Gains en tension du premier étage :

\* gain en tension en émetteur commun:  $A_{v1} = \frac{v_1}{v_e}$

$$A_{v1} = \frac{-g_m v_{be1} R_C}{v_{be1} + Z_{e2} g_m v_{be1}}$$

soit :  $A_{v1} = -\frac{g_m R_C}{1 + g_m Z_{e2}}$

AN:  $A_v = -112,5$

• Gain en tension en collecteur commun :  $A'_{v1} = \frac{v_o}{v_e}$

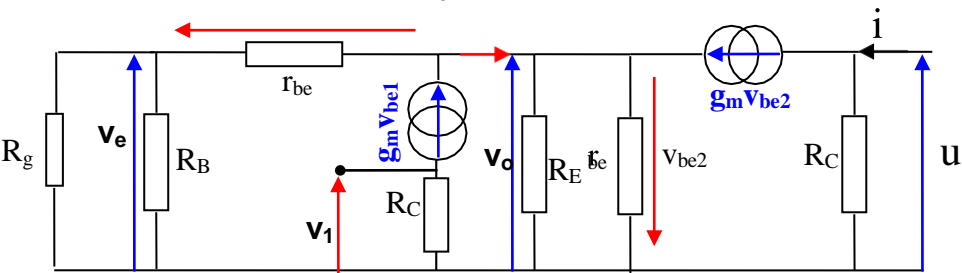
$$A'_{v1} = \frac{g_m v_{be1} Z_{e2}}{v_{be1} + g_m v_{be1} Z_{e2}} \quad \text{soit : } A'_{v1} = \frac{1}{1 + \frac{1}{g_m Z_{e2}}}$$

AN:  $A'_{v1} = 0,5$

d. Gain total:  $A_v = A'_{v2} \cdot A'_{v1}$   $A_v = 112,5$

$$A_v = |A_{v1}|$$

5/ Impédance de sortie:  $R_s = \frac{u}{i} \Big|_{e_g = 0}$



En négligeant les courants de base on a:

$$g_m R_E (v_{be1} + v_{be2}) = v_{be1} + R_g / R_B \cdot \left( \frac{v_{be1}}{r_{be}} \right)$$

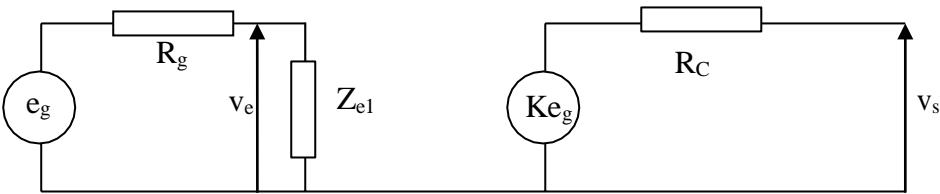
$$g_m R_E (v_{be1} + v_{be2}) = -v_{be2} \quad \text{soit : } v_{be2} = - \frac{g_m R_E}{1 + g_m R_E} v_{be1}$$

$$\text{d'où } v_{be1} + R_g / R_B \cdot \left( \frac{v_{be1}}{r_{be}} \right) = 1 + \frac{g_m R_E}{1 + g_m R_E} v_{be1}$$

Par conséquent  $v_{be1} = 0$  ce qui implique également  $v_{be2} = 0$

Dans ces conditions  $\frac{u}{i} = R_C$  donc  $R_s = R_C$

6/ Représentation de Thevenin:



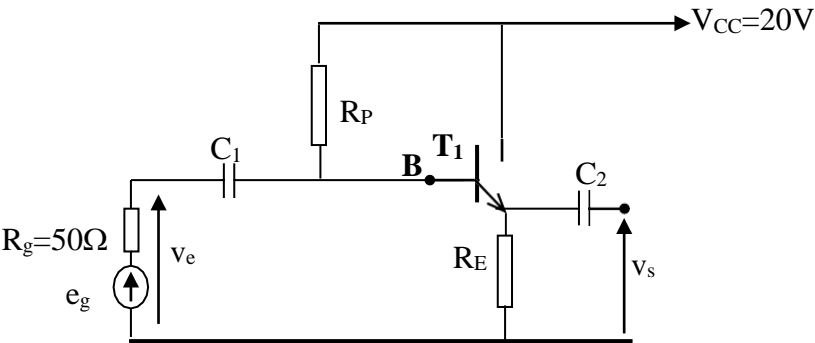
$$K \cdot e_g = A_v \cdot v_e$$

$$\text{Soit : } K = A_v \cdot \frac{v_e}{e_g} = A_v \cdot \frac{Z_{e1}}{R_g + Z_{e1}}$$

AN:  $K = 97,3$

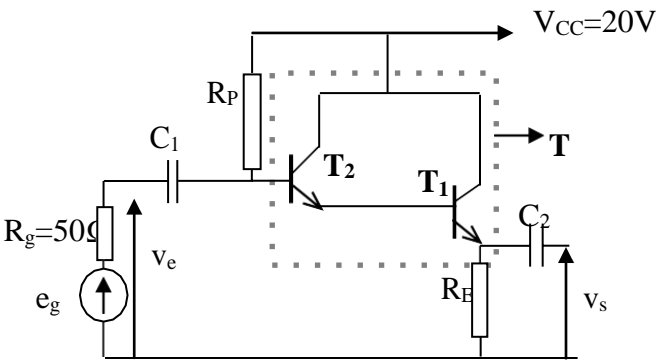
**Exercie9 :**

On considère le montage amplificateur de la figure 9.1. Au point de fonctionnement le transistor **T<sub>1</sub>** est caractérisé par :  $\beta_1 = 100$ ,  $V_{BE1} = 0,7 \text{ V}$ ,  $I_{C1} = 2 \text{ mA}$  et  $V_B = 5,7 \text{ V}$ ;



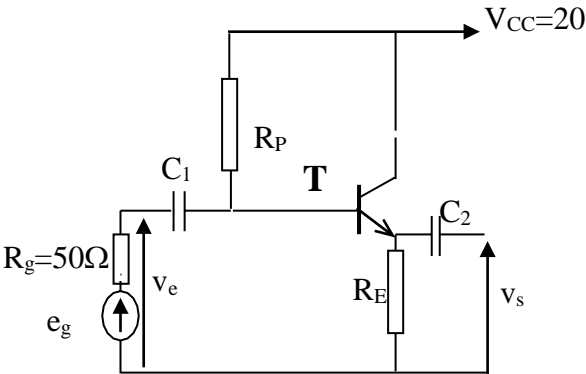
**Figure9.1**

- 1/ Déterminer les valeurs des résistances de polarisation, de la transconductance  $g_{m1}$  et de  $r_{be1}$ .
- 2/ Le transistor **T<sub>1</sub>** est défini en dynamique par ses paramètres en émetteur commun  $r_{be1}$  et  $g_{m1}$  ( $r_{ce}$  supposée infinie).
  - a. Représenter le schéma équivalent petits signaux basses fréquences du montage ;
  - b. Déterminer les gains en tension et en courant  $A_{v1}$  et  $A_{i1}$ , l'impédance d'entrée  $Z_{e1}$  et l'impédance de sortie  $Z_{s1}$  ;
  - c.
- 3/ On modifie l'étage précédent selon le montage de la figure 9.2. Le transistor **T<sub>2</sub>** est défini par ses paramètres en émetteur commun tel que :  $r_{be2} = 1\text{k}\Omega$ ,  $\beta_2 = 60$  et  $r_{ce2}$  supposée infinie; le transistor **T<sub>1</sub>** possède les paramètres déterminés à la question 1.



**Figure9.2**

≡



**Figure9.3**



- a. Soit T le transistor équivalent à l'association de  $T_2$  et  $T_1$  tel que le montage de la figure 1.2 devient celui de la figure 9.3. Déterminer les paramètres  $r_{be}$  et  $g_m$  de T en fonction des paramètres de  $T_1$  et  $T_2$  ;
- b. Calculer l'impédance d'entrée  $Z_e$  et l'amplification en tension  $A_v$  .Quel est alors l'intérêt de ce montage ;

Solution Ex 9 :

1/

- Valeurs des résistances de polarisation:

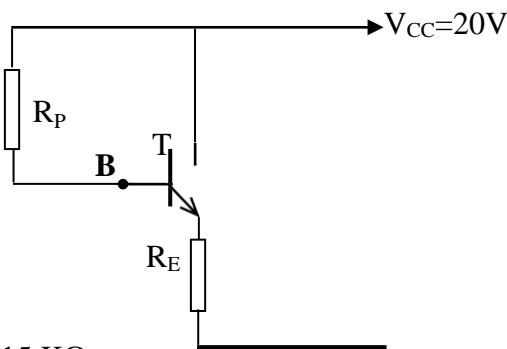
En continu, le montage devient :

$$R_E = \frac{V_B - V_{BE}}{I_C}$$

$$R_E = 2,5 \text{ K}\Omega$$

$$R_P = \frac{V_{CC} - V_B}{I_C} \cdot \beta$$

$$R_P = 715 \text{ K}\Omega$$

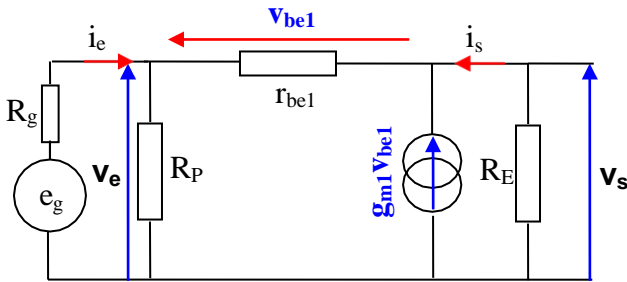


- Paramètres dynamiques :

$$g_{m1} = 0,08 \text{ S} \text{ et } r_{be1} = 1250 \Omega$$

2/ a. Schéma équivalent en dynamique :

Type de montage : collecteur commun



b.

\*Gain en tension :

Remarque :  $1/r_{be1} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ S} \ll g_{m1} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ S}$ , par conséquent le courant dans  $r_{be1}$  peut être négliger devant  $g_{m1} v_{be1}$ .

$$v_s = g_{m1} R_E v_{be1} \text{ et } v_e = g_{m1} R_E v_{be1} + v_{be1}$$

$$A_{v1} = \frac{v_s}{v_e} = \frac{g_{m1} R_E}{1 + g_{m1} R_E} \quad A_{v1} \approx 0,9950$$

\* Gain en courant :

$$i_s = -g_{m1}V_{be1} \quad \text{et} \quad i_e = \frac{V_{be1}}{r_{be1}} + \frac{V_e}{R_p} \quad \text{avec} \quad V_e = g_{m1}R_E V_{be1} + V_{be1}$$

$$i_e = \frac{V_{be1}}{r_{be1}} + \frac{V_{be1}}{R_p} + \frac{g_{m1}R_E V_{be1}}{R_p}$$

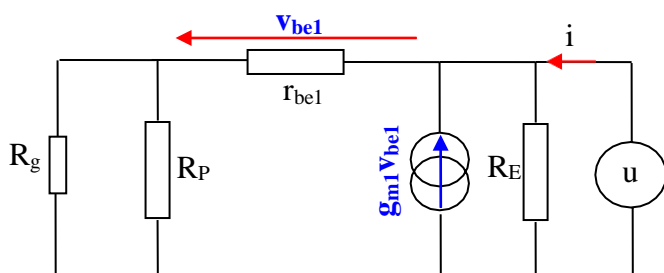
$$\text{d'où } A_i = - \frac{g_{m1}r_{be1}}{1 + \frac{r_{be1}(1 + g_{m1}R_E)}{R_p}} \quad A_i = -74$$

\* Impédance d'entrée  $Z_{e1}$  :

$$Z_{e1} = R_p // \left( \frac{V_e}{i_b} \right) = R_p // \left( \frac{V_e}{i_b} \right) \quad \text{avec} \quad \frac{V_e}{V_{be1}} = 1 + g_{m1}R_E$$

$$\text{Donc } Z_{e1} = R_p // r_{be1} (1 + g_{m1}R_E) \quad Z_{e1} \approx 186 \text{ k}\Omega$$

\* Impédance de sortie :  $Z_{s1} = \frac{u}{i} \bigg|_{V_g=0 \text{ et } R_u \rightarrow \infty}$ , méthode de l'Ohmmètre



$$i = \frac{u}{R_E} - g_{m1}V_{be1} \quad (\text{on néglige le courant } i_b \text{ devant } g_{m1}V_{be1})$$

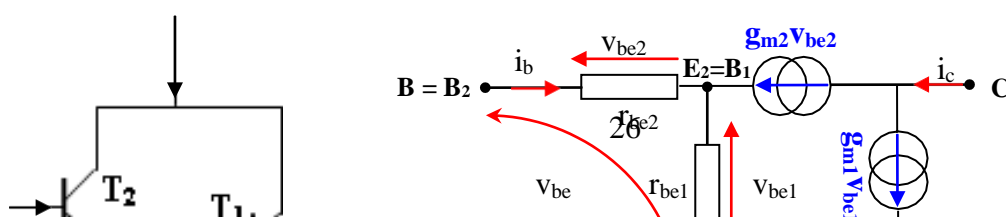
$$\text{avec } V_{be1} = - \frac{r_{be1}u}{r_{be1} + R_g // R_p}$$

$$i = \frac{u}{R_E} + \frac{g_{m1}r_{be1}u}{R_g // R_p + r_{be1}}$$

+

$$Z_s = R_E // \frac{r_{be1} + R_g // R_p}{g_{m1}r_{be1}} = R_E // \frac{r_{be1} + R_g}{g_{m1}r_{be1}} \quad \text{car } R_g \ll R_p \quad Z_s = 13 \Omega$$

3. paramètre du transistor équivalent :



Pour déterminer  $r_{be}$  et  $g_m$  du transistor équivalent, on trace le schéma équivalent de l'association T2 et T1 :

Il apparaît ainsi que :

$$V_{be} = V_{be1} + V_{be2} = r_{be1} i_b + r_{be2} i_{b2}$$

$$i_{b2} = i_{b1} + g_{m1} V_{be1} = (1 + g_{m1} r_{be1}) i_b$$

$$\text{soit : } V_{be} = r_{be1} i_b + r_{be2} (1 + g_{m1} r_{be1}) i_b$$

$$\text{donc } r_{be} = \frac{V_{be}}{i_b} = r_{be1} + r_{be2} (1 + g_{m1} r_{be1}) \quad \text{AN : } \underline{r_{be} \approx 102 \text{ k}\Omega}$$

$$i_c = g_{m1} V_{be1} + g_{m2} V_{be2} \quad (1)$$

$$\text{or } I_{c1} = \beta_1 (1 + \beta_2) I_b \text{ et } I_{c2} = \beta_2 i_b$$

comme  $I_c = I_{c1} + I_{c2} = [\beta_1 (1 + \beta_2) + \beta_2] i_b$  alors le gain en courant du transistor équivalent est :

$$\beta = \beta_1 (1 + \beta_2) + \beta_2 \quad \text{AN : } \beta = 6106$$

$$\text{or } i_c = \beta i_b = [\beta_1 (1 + \beta_2) + \beta_2] i_b \text{ et } i_b = \frac{V_{be}}{r_{be}}$$

d'où la transconductance du transistor équivalent est :

$$g_m = \frac{\beta + \beta (1 + \beta)}{r_{be1} + r_{be2} (1 + g_{m1} r_{be1})} \quad \text{AN } \underline{g_m = 0,06 \text{ S}}$$

- Pour le calcul de  $Z_e$  et  $A_v$ , on utilise les résultats de la deuxième question avec les paramètres de T :

$$\bullet \quad Z_e = R_p // r_{be} (1 + g_m R_E) \quad \text{AN } Z_e \approx 683 \text{ k}\Omega$$

$$\bullet \quad A_v = \frac{v_o}{v_e} = \frac{g_m R_E}{1 + g_m R_E} \quad \text{AN } \underline{A_v \approx 0,9934}$$

L'intérêt de ce montage est donc d'augmenter l'impédance d'entrée

