

**Contrôle terminal**  
Module électronique analogique & numérique  
Filières : RST & GE, Cycle Ingénieur (S1)  
2 Heures

**Questions de cours :**

Donner la structure et le principe de fonctionnement d'un transistor MOSFET à enrichissement.

**Problème :**

Soit le montage de la figure 1 :

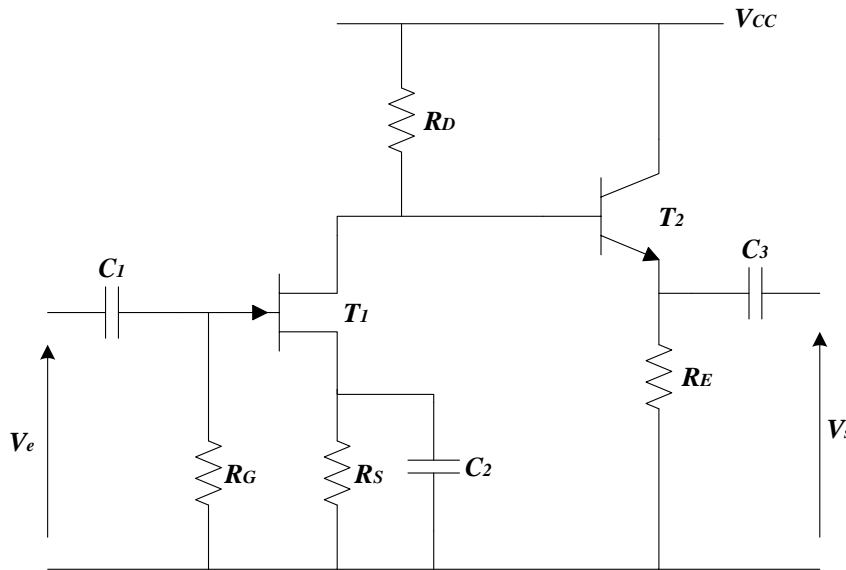


Figure -1-

**I- Analyser le montage de la figure 1 :**

**II- Etude statique :**

On désire les valeurs de repos suivantes, avec :  $V_{CC} = 20V$ ,  $V_{GS} = -1V$  pour  $T_1$  et  $I_E = 5mA$ ,  $V_{CE} = 10V$  pour  $T_2$ .

En se basant sur les caractéristiques des transistors on a :  $I_D = 3mA$  pour  $T_1$  et  $V_{BE} = 0,2V$ ,  $I_B = 60\mu A$ .

Calculer les résistances de polarisation  $R_D$ ,  $R_S$  et  $R_E$ .

**III- Etude dynamique :**

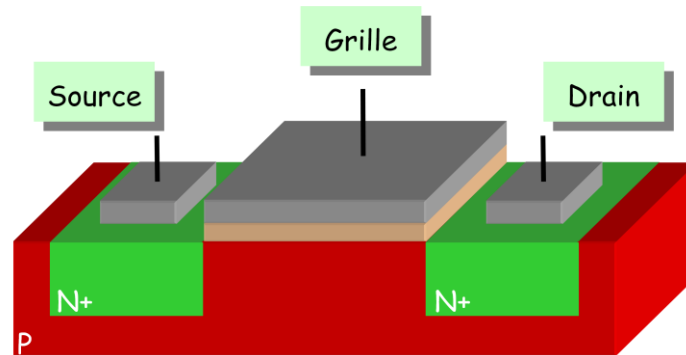
Les paramètres des transistors, mesurés au point de repos, valent :

- Pour  $T_1$  :  $g_m = 2.10^{-3}S$  et  $r_D = 6.10^6\Omega$ .
- Pour  $T_2$  :  $h_{11e} = 1,5K\Omega$ ,  $h_{12e} = 0$ ,  $h_{21e} = 150$ ,  $h_{22e} = 125.10^{-6}S$ .

1. Etablir le schéma équivalent du montage pour l'alternatif.
2. Calculer sur ce schéma :
  - La résistance d'entrée du deuxième étage.
  - L'amplification en tension du deuxième étage.
  - Les amplifications en tension du premier étage et du montage complet.
  - La résistance de sortie du montage.
3. Choisir la valeur de  $R_G$  pour que la résistance d'entrée du montage soit  $2M\Omega$ .

## Questions de cours :

Pour ce type de transistor il n'y a pas de canal créé lors de la fabrication. Pour les tensions de grille  $V_{GB}$  négatives, la jonction drain-substrat est bloquée et le courant drain  $I_D$  est nul. Les seuls porteurs libres dans la zone P sont des électrons d'origine thermique. Si  $V_{GB}$  est assez positif, les charges négatives du matériau P se regroupent au voisinage de la grille et forment une couche conductrice entre le drain et la source. Cette couche se comporte comme une zone N qui est induite dans la zone P par inversion de la population des porteurs.



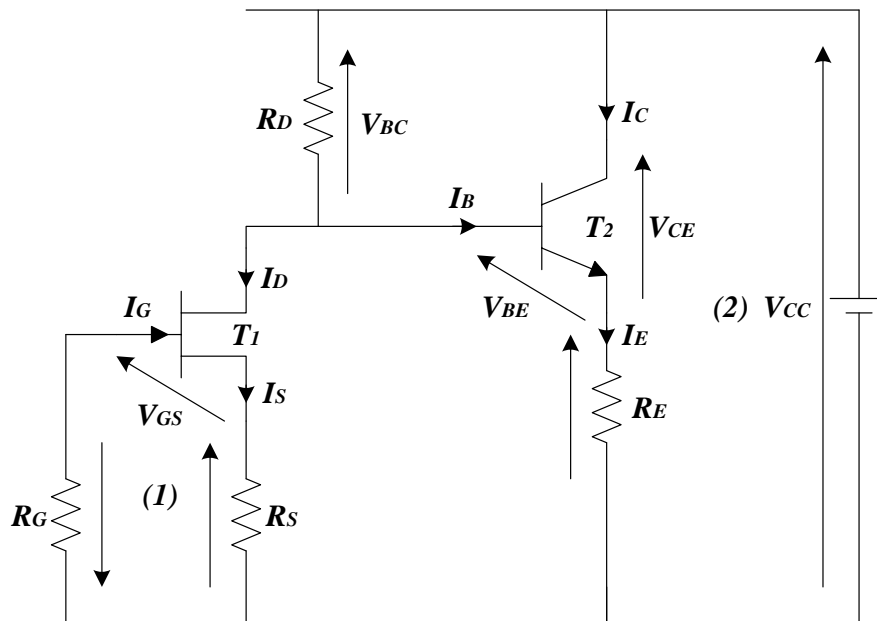
## Problème :

I- Le montage est constitué de deux étages :

- $T_1$  : Transistor à effet de champ à jonction de type canal N, monté en source commune.
- $T_2$  : Transistor bipolaire de type NPN, monté en collecteur commun.

## II- Etude statique :

Le condensateur en régime statique (continu) est considéré un interrupteur ouvert, et donc le montage équivalent du circuit en régime statique est :



- D'après la loi d'Ohm appliquée sur la résistance  $R_D$  :

$$\begin{aligned} V_{CB} &= R_D (I_D + I_B) \\ \Rightarrow V_{CE} + V_{EB} &= R_D (I_D + I_B) \\ \Rightarrow V_{CE} - V_{BE} &= R_D (I_D + I_B) \\ \Rightarrow R_D &= \frac{V_{CE} - V_{BE}}{I_D + I_B} \\ \Rightarrow A.N : R_D &= 3,20 \cdot 10^3 \Omega = 3,20 k\Omega \end{aligned}$$

- D'après la loi des mailles appliquée sur la maille (1) :

$$R_G \underbrace{I_G}_{=0} + V_{GS} + R_S I_S = 0$$

$$\Rightarrow V_{GS} + R_S I_S = 0$$

$$\Rightarrow R_S = \frac{-V_{GS}}{I_S} \quad (I_S = I_D)$$

$$\Rightarrow A.N : R_S = 333,33\Omega$$

Pratiquement  $I_G = 0$ , et donc  $I_D = I_S$ .

- D'après la loi des mailles appliquée sur la maille (2) :

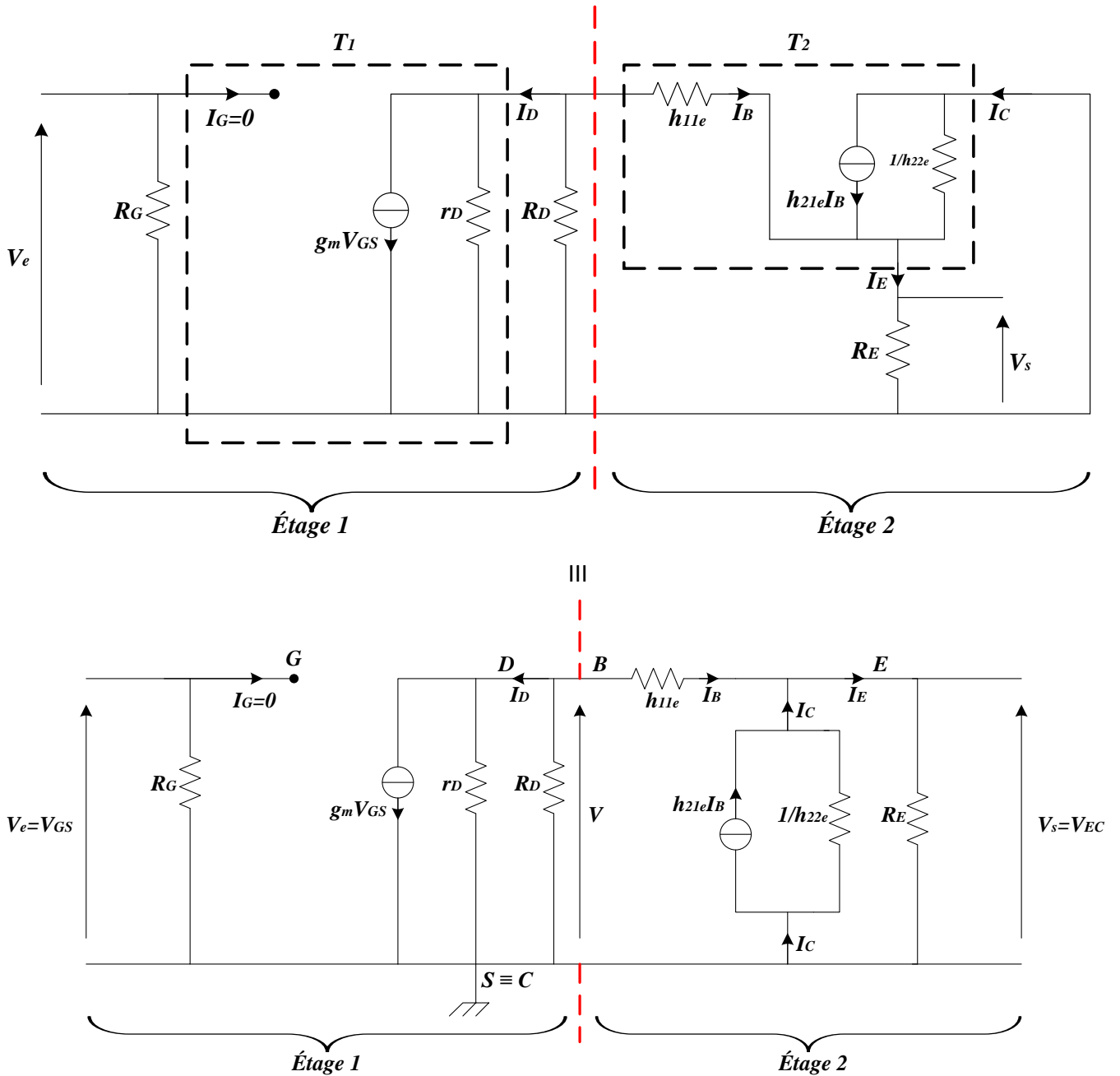
$$V_{CC} = V_{CE} + R_E I_E$$

$$\Rightarrow R_E = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_E}$$

$$\Rightarrow A.N : R_E = 2k\Omega$$

### III- Etude dynamique :

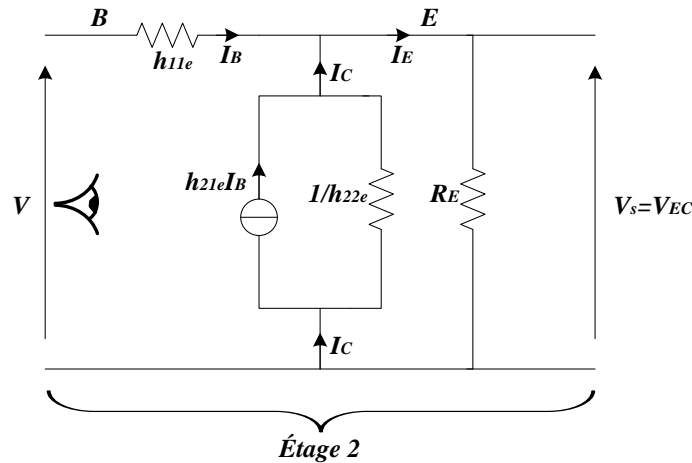
1. Le schéma équivalent :



2.

**- Résistance d'entrée du deuxième étage :**

C'est la résistance vue à l'entrée du deuxième étage.



$$Z_{e2} = \frac{V}{I_B}$$

$$V = h_{11e} I_B + V_{EC} \text{ (}\otimes\text{)}$$

$$V_{EC} = R_E I_E = R_E (I_B + I_C)$$

$$\Rightarrow V_{EC} = R_E (I_B + h_{21e} I_B + V_{CE} h_{22e})$$

$$\Rightarrow V_{EC} = (R_E + R_E h_{21e}) I_B + R_E V_{CE} h_{22e}$$

$$\Rightarrow V_{EC} (1 + R_E h_{22e}) = (R_E + R_E h_{21e}) I_B$$

$$\Rightarrow V_{EC} = \frac{(R_E + R_E h_{21e})}{(1 + R_E h_{22e})} I_B \text{ (}\oplus\text{)}$$

$$\text{D'après (}\otimes\text{) et (}\oplus\text{), on aura : } V = \underbrace{\left( h_{11e} + \frac{(R_E + R_E h_{21e})}{(1 + R_E h_{22e})} \right)}_{Z_{e2}} I_B$$

$$\text{Donc : } Z_{e2} = h_{11e} + \frac{(R_E + R_E h_{21e})}{(1 + R_E h_{22e})} = 243k\Omega$$

On remarque que la résistance d'entrée du 2<sup>ème</sup> étage est très élevée ; c'est la caractéristique du montage collecteur commun.

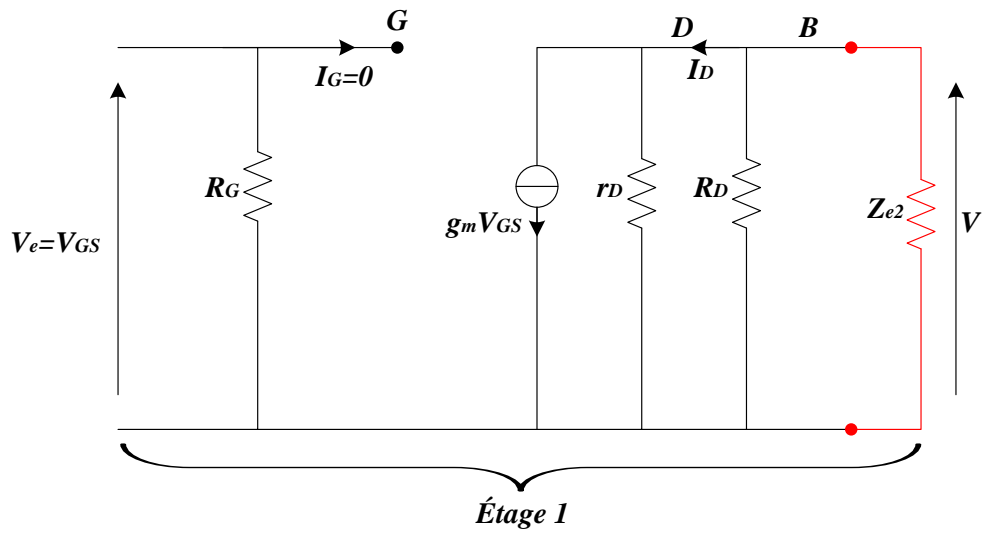
**- L'amplification en tension du deuxième étage :**

$$A_{v2} = \frac{V_{EC}}{V}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{EC} = \frac{(R_E + R_E h_{21e})}{(1 + R_E h_{22e})} I_B \\ V = \left( h_{11e} + \frac{(R_E + R_E h_{21e})}{(1 + R_E h_{22e})} \right) I_B \end{array} \right. \Rightarrow A_{v2} = \frac{X}{h_{11e} + X} = \frac{R_E (1 + h_{21e})}{h_{11e} (1 + R_E h_{22e}) + R_E (1 + h_{21e})} \approx 1$$

**- Les amplifications en tension du premier étage et du montage complet :**

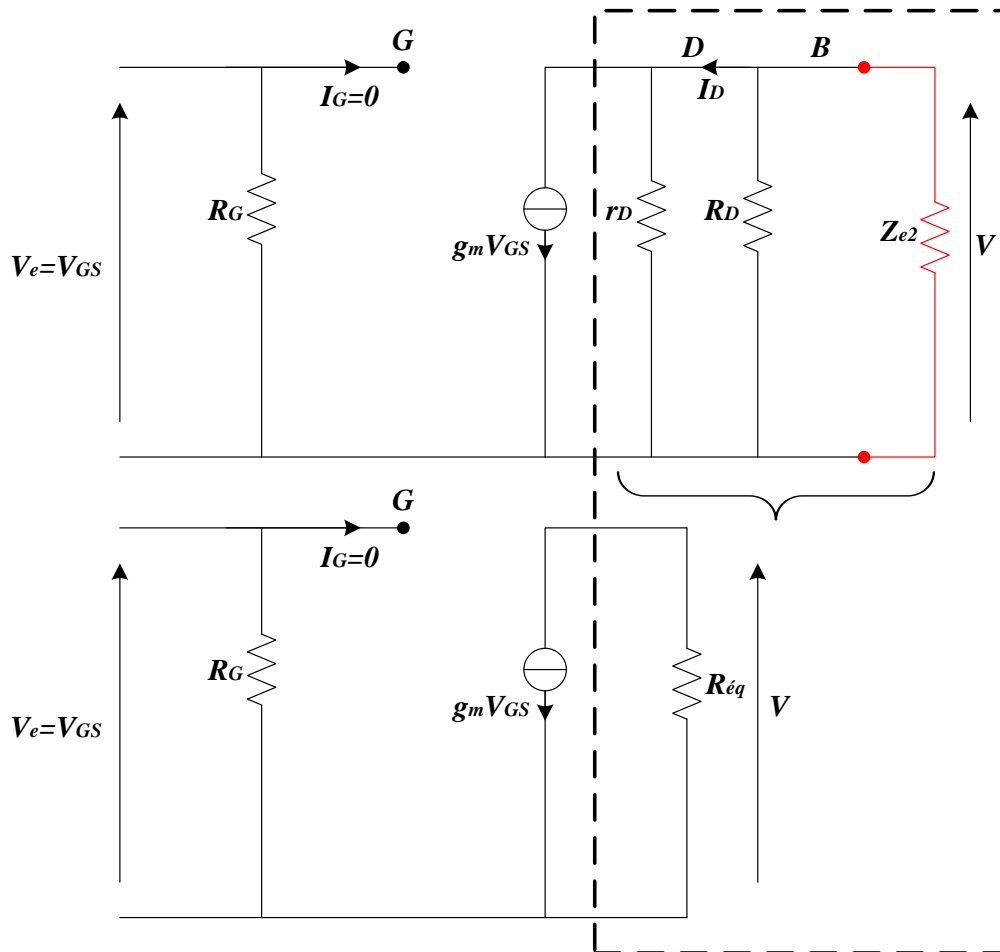
La résistance d'entrée du 2<sup>ème</sup> étage joue le rôle d'une charge pour le 1<sup>er</sup> étage, et donc on aura le schéma suivant :



- Amplification du 1<sup>ère</sup> étage :

$$A_{v1} = \frac{V}{V_{GS}}$$

$$R_{eq} = (Z_{e2} // R_D // r_D)$$



D'après la loi d'Ohm appliquée sur la résistance  $R_{eq}$  :

$$V = -R_{eq} V_{GS} g_m$$

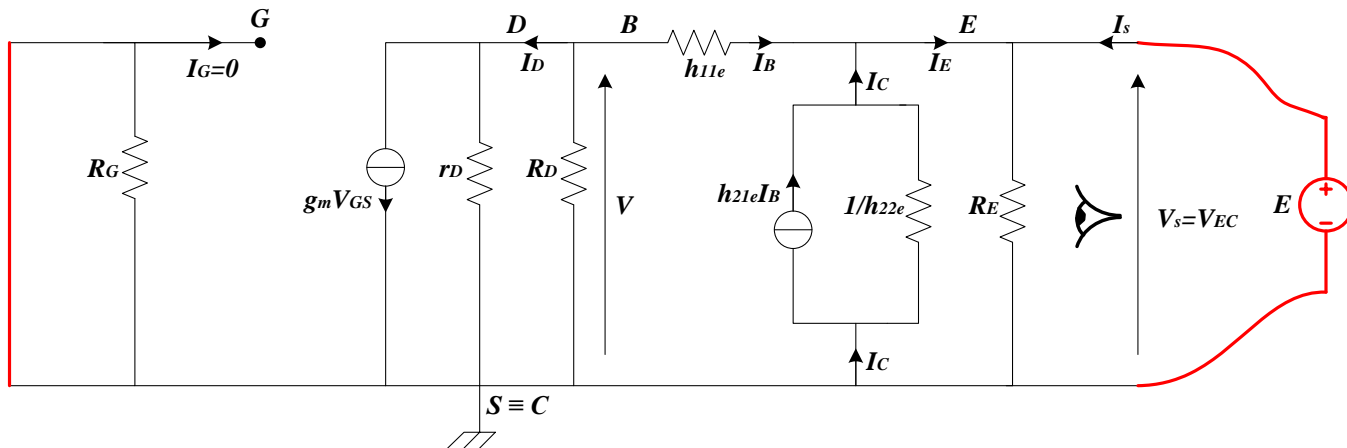
$$\Rightarrow A_{v1} = -R_{eq} g_m = -(Z_{e2} // R_D // r_D) g_m$$

- Amplification du montage :

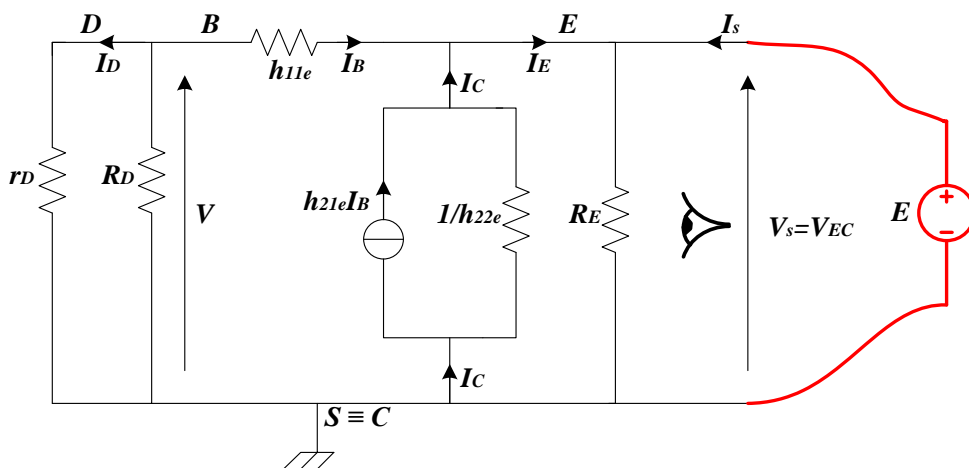
$$A_v = \frac{V_s}{V_e} = \frac{V_{EC}}{V_{GS}} = \frac{V_{EC}}{V} \times \frac{V}{V_{GS}} = A_{v1} \times \underbrace{A_{v2}}_{=1} = A_{v1}$$

### La résistance de sortie du montage :

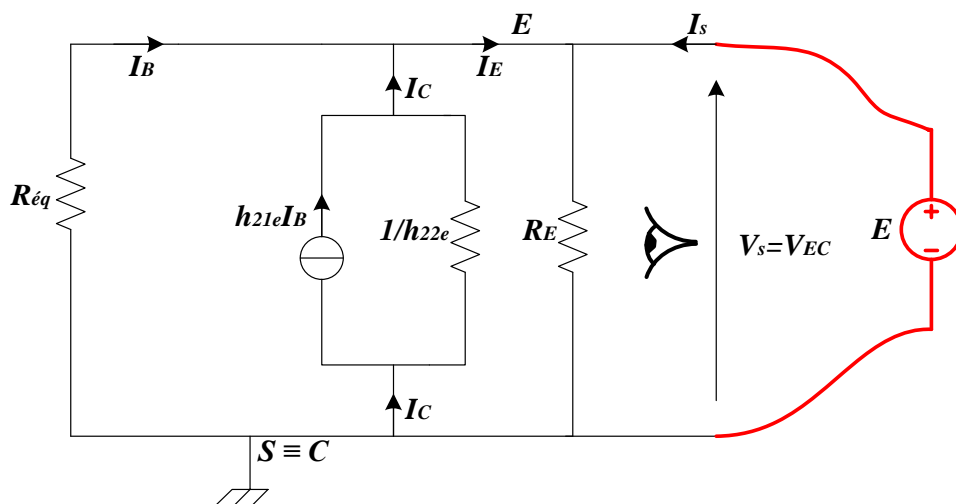
C'est la résistance vue à la sortie du montage lorsque la sortie est branchée par un générateur de tension continue qui débite un courant  $I_s$ , et le générateur de l'entrée est éteint.



On a :  $e_g = 0 \Rightarrow V_{GS} = 0$ , et donc on aura le schéma suivant :



On a :  $R_{\acute{e}q} = (R_D // r_D) + h_{11e}$ .



$$Z_s = \frac{V_{EC}}{I_s}$$

$$I_s = \frac{V_{EC}}{R_E} - I_E (\oplus)$$

$$V_{EC} = -R_{\acute{e}q} I_B$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\Rightarrow I_E = -h_{22e}V_{EC} + h_{21e}I_B + I_B$$

$$\Rightarrow I_E = -h_{22e}V_{EC} - \frac{V_{EC}}{R_{\acute{e}q}}(1 + h_{21e})$$

$$\Rightarrow I_E = -\left(h_{22e} + \frac{(1 + h_{21e})}{R_{\acute{e}q}}\right)V_{EC} (\otimes)$$

D'après  $(\otimes)$  et  $(\oplus)$ , on aura :

$$I_s = \left(\frac{1}{R_E} + h_{22e} + \frac{1 + h_{21e}}{R_{\acute{e}q}}\right)V_{EC}$$

$$Z_s = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + h_{22e} + \frac{1 + h_{21e}}{R_{\acute{e}q}}}$$

3. La valeur de  $R_G$  pour que la résistance d'entrée du montage soit  $2M\Omega$  :

$$Z_e = R_G = \frac{V_{GS}}{I_E} \Rightarrow R_G = 2M\Omega.$$

*Bon courage*