

# Amplificateurs à transistors à effet de champ

## 2.1 Introduction

Les amplificateurs à transistors à effet de champ sont très utilisés car ils présentent une très grande résistance d'entrée du fait que le courant qui entre dans la Grille est nul. Comme les transistors bipolaires les transistors TEC fonctionnent pour les trois montages :

- Amplificateur Source commune
- Amplificateur drain commun
- Amplificateur Grille commune

Néanmoins les transistors unipolaires ou à effet de champ peuvent fonctionner comme les bipolaires en régime de faible signaux ou de fort signaux. Ils sont très utilisés dans la fabrication des circuits logiques en électronique digitale, exemple les CMOS.

Les transistors TEC sont aussi très utilisés dans les basses fréquences pour réaliser les préamplificateurs et les amplificateurs de puissances audio, dans les hautes et très hautes fréquences pour la conception des mélangeurs, des oscillateurs et les amplificateurs radiofréquences.

Nous considérons dans ce chapitre uniquement des amplificateurs à faible signaux et en basse fréquence.

## 2.2 Amplificateur à Source commune

Considérons le montage de la *figure 2.1* donc c'est le même que celui de la *figure 1.21* on voit que la résistance de source est découplée à la masse par le condensateur C3, donc c'est le montage source commune.

Partant du schéma équivalent en alternatif du transistor TEC *figure 1.20*, on obtient le schéma équivalent en alternatif de tout le montage *figure 2.2*.

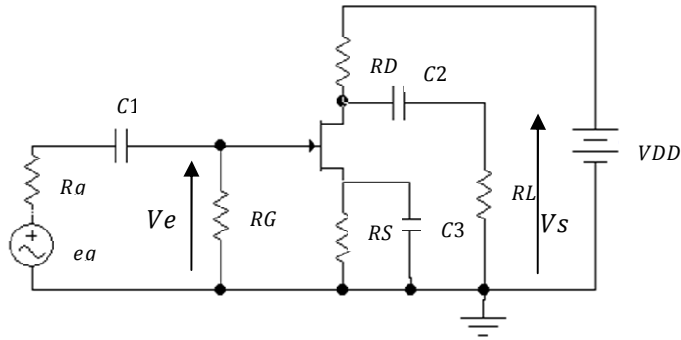


Figure 2.1

Comme dans le cas des transistors bipolaires, nous allons calculer l'amplification en tension, la résistance d'entrée du montage et la résistance de sortie.

### 2.2.1 Calcul de l'amplification en tension $A_v = \frac{V_s}{V_e}$

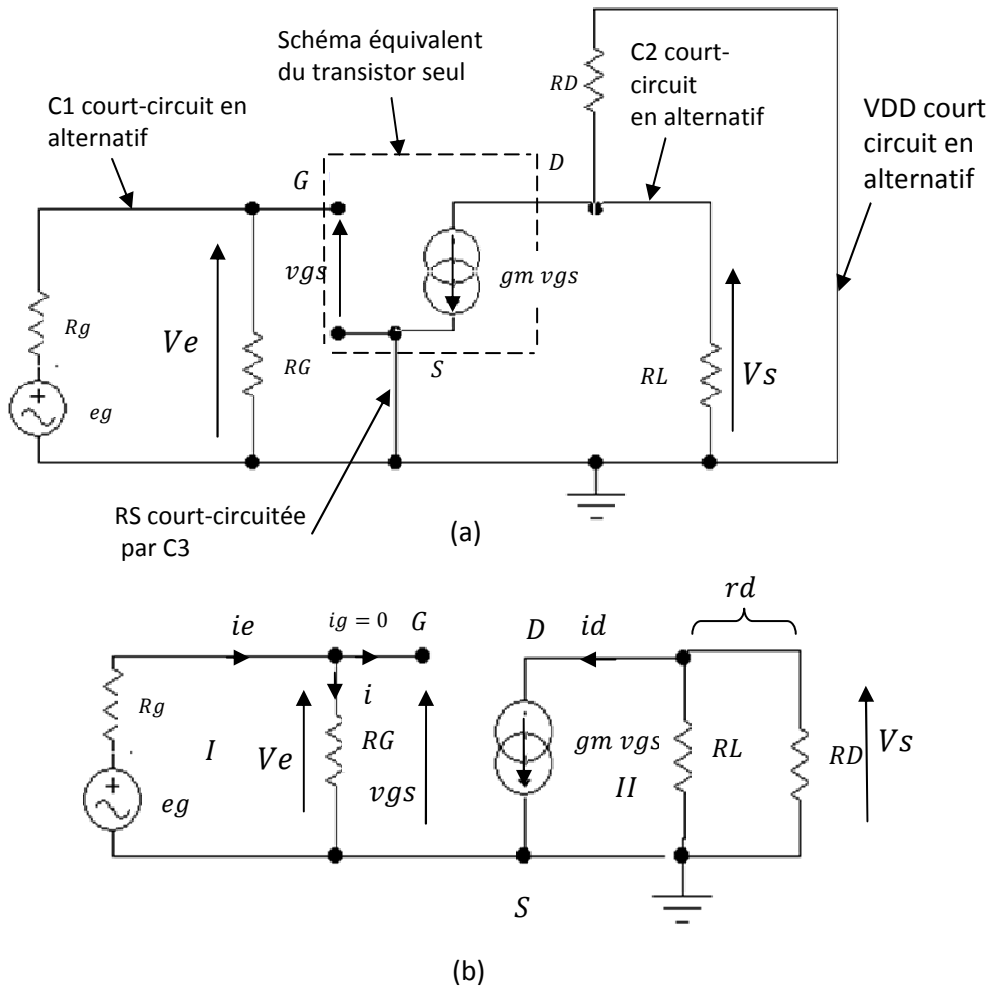


Figure 2.3

Pour simplifier l'étude, on va considérer que  $\rho$  a une valeur infinie, donc on l'enlève du schéma équivalent du transistor TEC de la figure 1.20.

Le schéma équivalent final du montage de la *figure 2.1* est donné à la *figure 2.3*.

La *figure 2.3b* est la même *figure 2.3a*, on a retourné uniquement  $RD$  pour voir plus claire et la source est à la masse à cause du court-circuit provoqué par le condensateur  $C3$ .

On pose  $rd = RD // RL$

$$id = gm vgs,$$

$$Ve = vgs, \text{ Maille I}$$

$$Vs = -rd id = -rd gm vgs, \text{ Maille II}$$

Donc

$$Av = \frac{Vs}{Ve} = \frac{-rd gm vgs}{vgs} = -rd gm \quad (2.1)$$

On remarque la présence d'un signe moins sur l'expression du gain  $Av$ , donc  $Vs$  est en opposition de phase par rapport à  $Ve$  d'où déphasage de 180 degré ou de  $\pi$  Radian.

Donc le gain en tension dépend de  $gm$ , par analogie au transistor bipolaire monté en émetteur commun on a  $Av = -\frac{\beta rc}{h11}$  avec  $rc = RC // RL$ , donc  $gm$  est comme  $\frac{\beta}{h11}$ .

### 2.2.2 Calcul de la résistance d'entrée $Re$

La résistance d'entrée est définie comme étant le rapport de la tension d'entrée sur le courant d'entrée, donc :

$$Re = \frac{Ve}{ie} \quad (2.2)$$

Dans la *figure 2.3b*,  $ie = i + ig$  or  $ig = 0$  donc  $ie = i \Rightarrow Re = \frac{Ve}{ie} = \frac{Ve}{i}$

$$\text{Or } Ve = RG i \Rightarrow \frac{Ve}{i} = RG$$

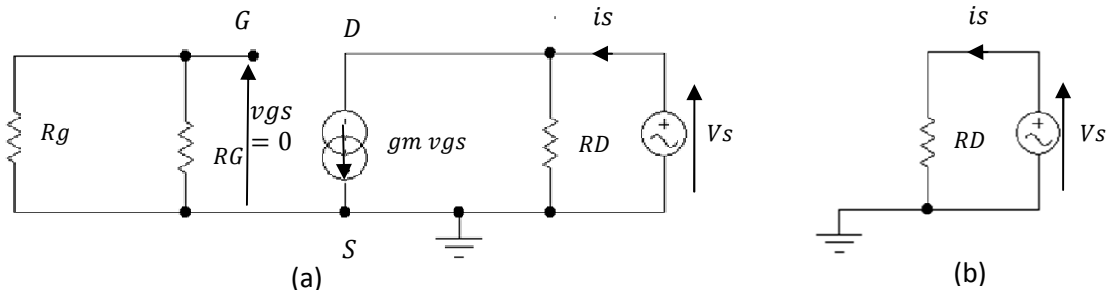
$$\text{Donc la résistance d'entrée} \quad Re = RG \quad (2.3)$$

### 2.2.3 Calcul de la résistance de sortie $Rs$

Pour calculer la résistance de sortie, on applique le théorème de Thevenin, donc on enlève la charge  $RL$  et on annule le générateur d'entrée  $eg$  et on applique à la place de  $RL$  un générateur de tension qui délivre la même tension  $Vs$  *figure 2.4a*.

$$\text{Alors la résistance de sortie est donnée par : } Rs = \frac{Vs}{is} \quad (2.4)$$

Or, quand on court-circuite le générateur de tension  $eg$  *figure 2.4a*, on n'aura pas de tension aux bornes de la Grille et la Source, donc  $vgs = 0$  et par suite on n'aura pas de générateur de courant  $gm vgs$  car il devient un circuit ouvert ; le schéma précédant devient, *figure 2.4b*.



**Figure 2.4**

Maintenant, on remarque facilement sur la *figure 2.4b* que :

$V_S = RD \ i_S \Rightarrow \frac{V_S}{i_S} = RD$  , d'où de l'équation (2.4), on déduit que la résistance de sortie est :

$$R_S = RD \quad (2.5)$$

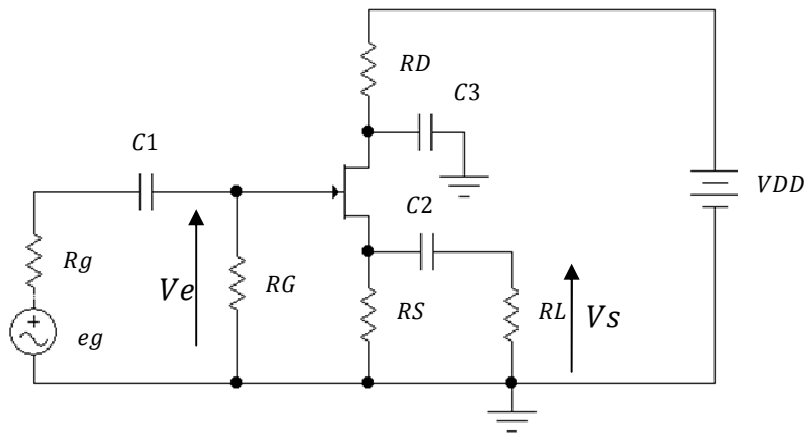
Cette relation reste vraie uniquement dans le cas où  $\rho$  est infinie, si cette dernière a une valeur finie on doit l'introduire dans le calcul de  $R_S$  et on aura :

$$R_S = \rho // RD \quad (2.6)$$

### 2.3 Amplificateur à Drain commun.

Un montage amplificateur Drain commun veut dire que le Drain doit être relié à la masse soit directement ou par l'intermédiaire d'un condensateur de découplage  $C3$ , comme celui indiqué dans la *figure 2.5*. La *figure 2.6* représente son schéma équivalent en alternatif.

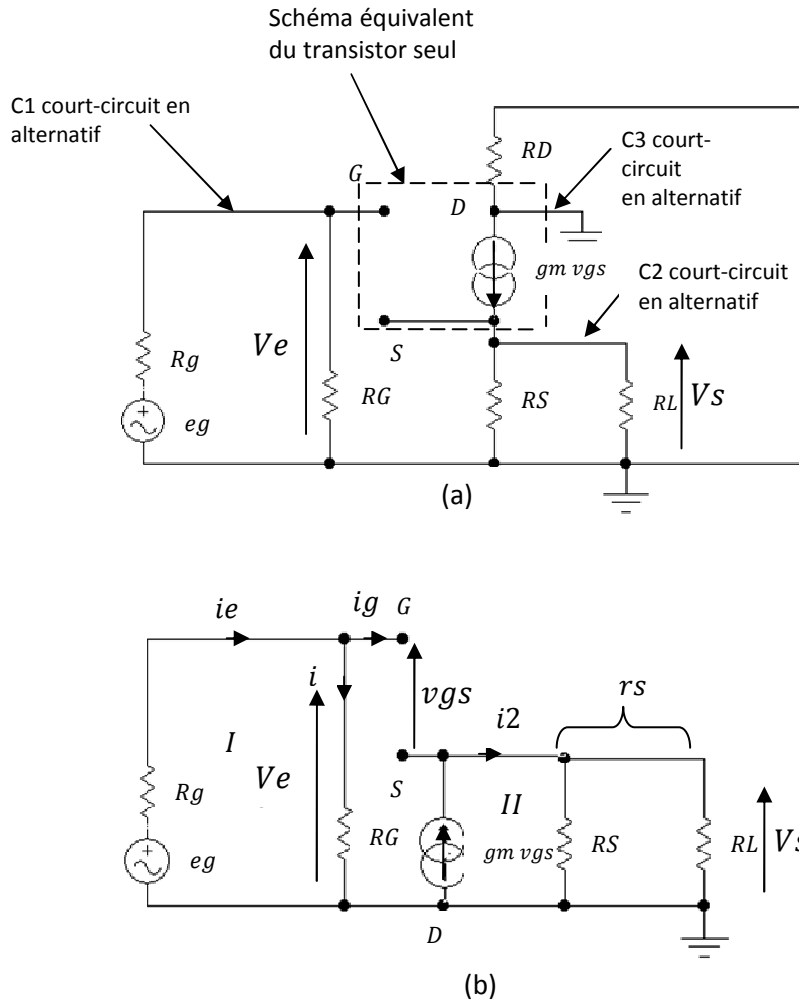
Donc intuitivement on déduit que l'entrée  $V_e$  est par la Grille et la sortie  $V_S$  est par la Source.



**Figure 2.5**

Pour simplifier l'étude, on va considérer que  $\rho$  a une valeur infinie, donc on l'enlève du schéma équivalent du transistor TEC de la *figure 1.20*.

On rappelle comme précédemment, les condensateurs  $C1, C2, C3$  et  $VDD$  se comportent comme des court-circuits en alternatif, *figure 2.6a*.



**Figure 2.6**

On remarque sur la *figure 2.6a* que la résistance  $RD$  est court-circuitée par le condensateur  $C3$  car ces 2 bornes sont reliées à la masse.

On remarque aussi que le Drain du transistor TEC est à la masse, on peut donc retourner le générateur de courant  $gm vgs$  et en arrangeant le schéma de la *figure 2.6a* on obtient le schéma de la *figure 2.6b*.

Calculons comme précédemment le gain en tension et les résistances d'entrée et de sortie.

### 2.3.1 Calcul du gain en tension $Av = \frac{Vs}{Ve}$

On pose  $rs = RS // RL$

On a :

$$Ve = vgs + Vs, \text{ maille I}$$

$$Vs = rs i2, \text{ maille II}$$

$$\text{Or } i2 = gm vgs, \text{ donc}$$

$$\text{Donc} \quad Vs = rs gm vgs \quad (2.7)$$

Et 
$$V_e = v_{gs} + r_s gm v_{gs} = (1 + r_s gm)v_{gs} \quad (2.8)$$

En remplaçant  $V_e$  et  $V_s$  par leurs valeurs dans  $Av$  ; on obtient :

$$Av = \frac{r_s gm v_{gs}}{(1+r_s gm)v_{gs}} = \frac{r_s gm}{1+r_s gm} \quad (2.9)$$

Donc on remarque que le gain en tension est positif et inférieur à un, donc c'est le même résultat obtenu pour un montage amplificateur collecteur commun. Le montage amplificateur Drain commun est appelé aussi suiveur de tension.

### 2.3.2 Calcul de la résistance d'entrée

La résistance d'entrée est définie par:

$$Re = \frac{V_e}{i_e}$$

De la *figure 2.6b* on a  $i_e = i$  car  $i_g = 0$  , on retrouve donc

$$Re = RG \quad (2.10)$$

### 2.3.3 Calcul de la résistance de sortie.

Pour le montage drain commun, on utilise le même principe que celui 2.2.3 en appliquant le théorème de Thevenin. Donc on enlève la charge  $RL$  et on annule le générateur d'entrée  $eg$  et on applique à la place de  $RL$  un générateur de tension qui délivre la même tension  $V_s$ . Dans ce cas la Grille va à la masse, *figure 2.7*.

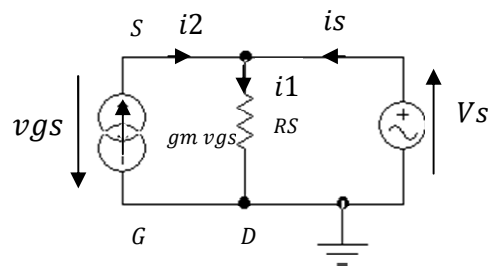


Figure 2.7

De la *figure 2.7*,  $i_s$  sort du générateur de Thevenin, la loi des nœuds permet d'écrire:

$$i_s + i_2 - i_1 = 0 \quad (2.11)$$

Or  $i_2 = gm v_{gs}$

Et  $V_s = R_S i_1 \Rightarrow i_1 = \frac{V_s}{R_S}$

On voit aussi que  $V_s = -v_{gs}$

On remplace  $i_1, i_2$  par leurs valeurs dans (2.11), d'où :

$i_s + gm v_{gs} - \frac{V_s}{R_S} = 0$ , on remplace ensuite  $v_{gs}$  par  $-V_s$ , on obtient :

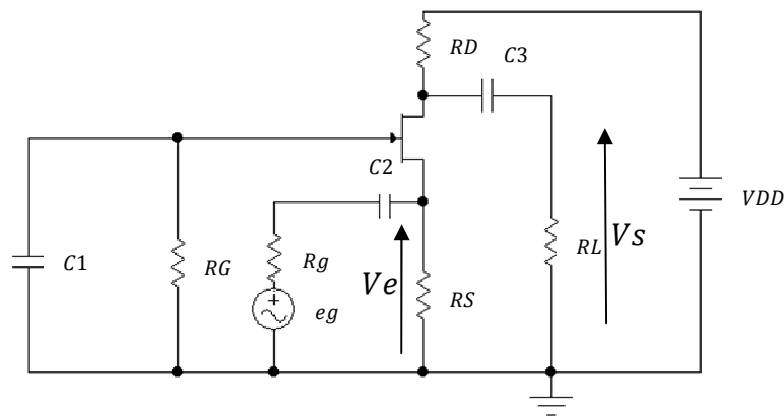
$$i_s - gmV_s - \frac{V_s}{R_S} = 0 \Rightarrow \frac{i_s}{V_s} = gm + \frac{1}{R_S} = \frac{1}{R_s} \Rightarrow$$

$$R_s = \frac{1}{gm + \frac{1}{R_S}} \quad (2.12)$$

De même si  $\rho$  a une valeur finie, on ajoute  $\frac{1}{\rho}$  au dénominateur car elle sera en parallèle avec  $R_S$ .

## 2.4 Amplificateur à Grille commune

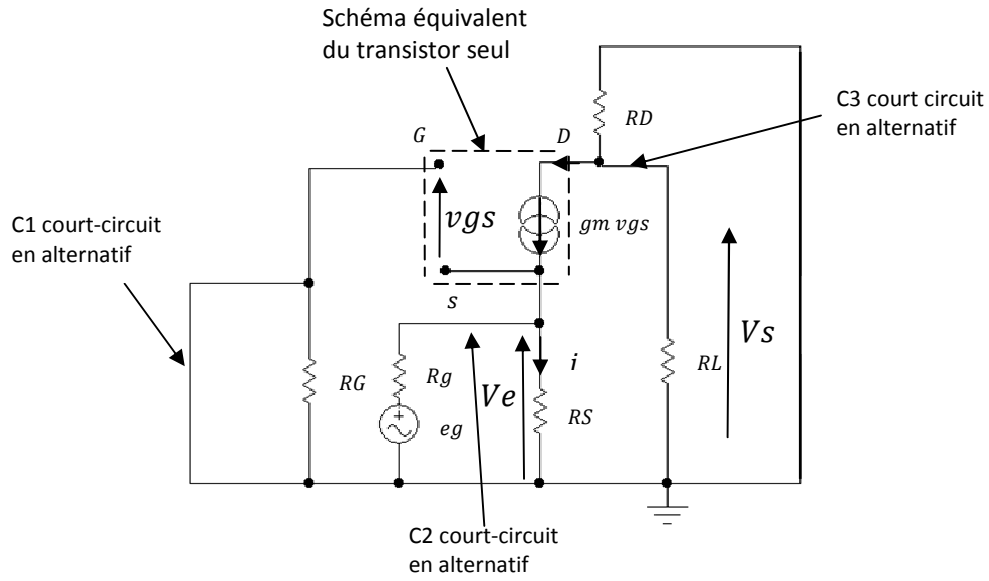
Donc comme indiqué plus haut, Grille commune veut dire que la Grille est à la masse en alternatif par l'intermédiaire d'un condensateur  $C_1$ , l'entrée est par la source et la sortie est par le drain, *figure 2.8*.



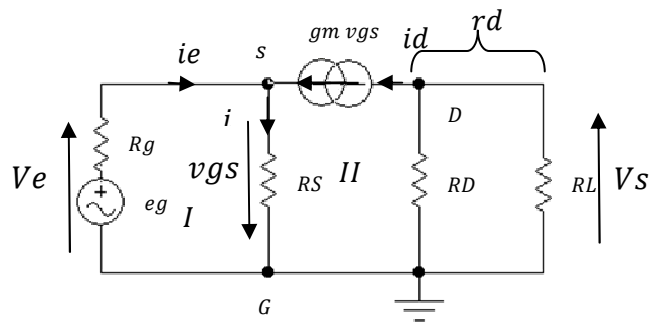
**Figure 2.8**

On va calculer la même chose que précédemment le gain en tension, la résistance d'entrée et la résistance de sortie. Pour cela on va utiliser le schéma équivalent en alternatif du montage, *figure 2.9*.

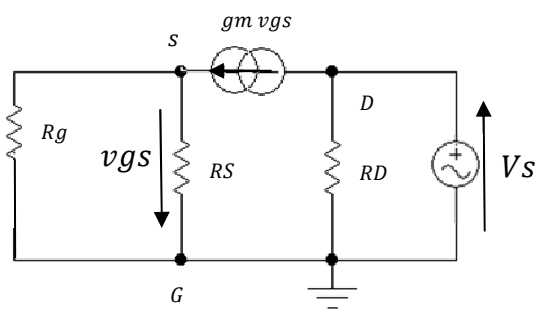
Le schéma dans la *figure 2.9a* n'est pas bien clair, donc il faut l'arranger. On constate que  $R_G$  est court-circuitée par le condensateur  $C_1$  donc elle disparaît et on retourne la résistance de drain  $R_D$  et le générateur de courant  $gm v_{gs}$  ainsi que le sens de la tension  $v_{gs}$ , *figure 2.9b*.



(a)



(b)



(c)

**Figure 2.9**

### 2.4.1 Calcul de l'amplification en tension $Av = \frac{Vs}{Ve}$

On considère le schéma équivalent de la *figure 2.9b*.

On pose  $rd = RD // RL$

$Ve = -vgs$ , maille I



$V_s = -rd id$ , maille II

Or  $id = gm v_{gs} \Rightarrow V_s = -rd gm v_{gs}$

Des équations précédentes on obtient ;:

$$Av = \frac{V_s}{V_e} = \frac{-rd gm v_{gs}}{-v_{gs}} = gm rd \quad (2.13)$$

De cette dernière équation, on constate que l'amplification en tension  $Av$  d'un étage amplificateur Grille commune est positive ; donc la tension de sortie  $V_s$  est en phase avec la tension d'entrée  $V_e$ .

### 2.4.2 Calcul de la résistance d'entrée

De la même procédure que celui du montage amplificateur Source commune on pose :

$$Re = \frac{V_e}{i_e} \Rightarrow \frac{1}{Re} = \frac{i_e}{V_e} \quad (2.14)$$

De la *figure 2.9b*, on a

$$i_e = i - id \Rightarrow \frac{1}{Re} = \frac{i}{V_e} - \frac{id}{V_e} \quad (2.15)$$

Or sur la même *figure 2.9*,

$$V_e = RS i \Rightarrow \frac{i}{V_e} = \frac{1}{RS}$$

$$\left. \begin{array}{l} id = gm v_{gs} \\ V_e = -v_{gs} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{id}{V_e} = \frac{gm v_{gs}}{-v_{gs}} = -gm$$

D'où (2.15) devient :  $\frac{1}{Re} = \frac{1}{RS} - (-gm) = \frac{1}{RS} + gm$ , donc 2 conductances en parallèles.

D'où

$$Re = RS // \frac{1}{gm} \quad (2.16)$$

### 2.4.3 Calcul de la résistance de sortie

Pour le calcul de la résistance de sortie, *figure 2.9c*, on utilise le même principe que les 2 autres montages en appliquant le théorème de Thevenin, on enlève donc la charge  $RL$ , on annule le générateur de tension  $eg$  et on place un générateur de tension de même valeur que  $V_s$  à la place de  $RL$ .

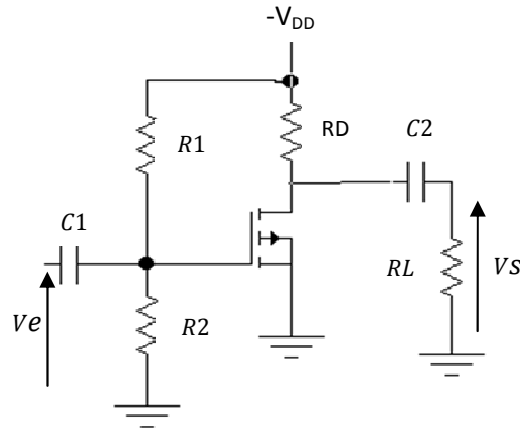
On remarque que

$$Rs = RD \quad (2.17)$$

Car on a supposé que  $\rho = h_{22}^{-1} = \infty$

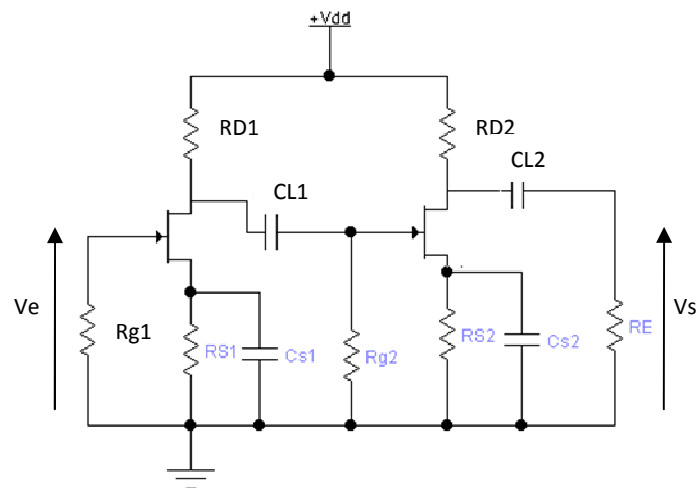
## 2.5 Exercices

### 2.5.1 Exercice 1



- 1 La Figure ci dessus représente un amplificateur à source commune utilisant un E-MOSFET canal P.  $R_D = 3.3k\Omega$ ,  $R_1 = 47 k\Omega$ ,  $R_2 = 8.2 k\Omega$ .
- 2 On donne :  $I_D (on) = 200 mA$  à  $V_{GS} = -4V$ ,  $V_{GS} (th) = -2V$  et  $g_m = 23 mS$ .  $V_{DD} = 15V$  et  $V_e = 25 mV$ .
- 3 Trouvez  $V_{GS}$ ,  $I_D$ ,  $V_{DS}$ , faites le schéma en alternatif et calculer la tension de sortie  $V_s$ .

### 2.5.2 Exercice 2

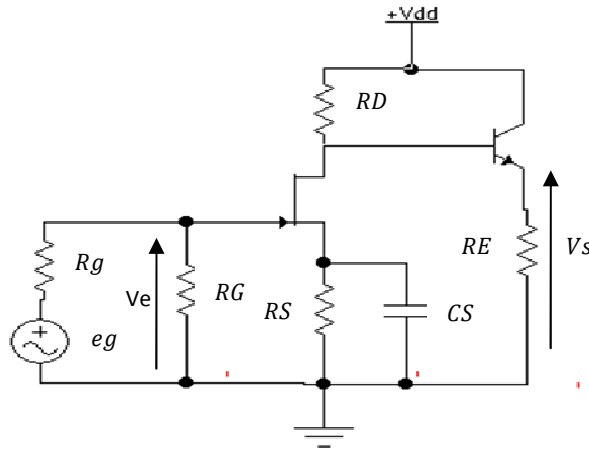


Sur le circuit de la Figure ci-dessus, on donne  $R_{D1} = 8.2 k\Omega$ ,  $R_{S1} = 680 \Omega$ ,  $R_{g1} = 10 m\Omega$  et  $R_{D2} = 2 k\Omega$ ,  $R_{S2} = 220 \Omega$ ,  $R_{g2} = 10 m\Omega$ , le premier TEC à jonction est tel que  $I_{DSS} = 8 mA$  et  $g_{m0} = 4000 \mu S$ . Le second TEC à jonction est tel que  $I_{DSS} = 15 mA$  et  $g_{m0} = 3300 \mu S$ .

1. Calculer le courant drain de chaque étage.
2. Déterminer les tensions continues par rapport à la masse pour tous les points du circuit
3. Etablir le schéma équivalent du montage pour l'alternatif sans les condensateurs  $C_{S1}$  et  $C_{S2}$ ,

4. Calculer les gains en tension du premier et du deuxième étage, on déduire le gain en tension du montage.
5. Refaire 3 et 4 avec les condensateurs  $C_{S1}$  et  $C_{S2}$ , Que déduisez-vous ?
6. Refaire 5 en utilisant les matrices de transferts et donner les valeurs des résistances d'entrée et de sortie.

### 2.5.3 Exercice 3



Soit le schéma ci-dessus ; on donne  $VDD = 12V, VCE = 6V, VGS = -1V, VBE = 0.6V, ID = 2mA, IE = 3mA, IB = 30\mu A$ .

1. Calculez  $RD, RS$  et  $RE$ .
2. Les paramètres des transistors, mesurés au point de repos sont :  
 Pour  $T_1$  :  $g_m = \left(\frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}\right)_{V_{DS}} = 1.5 \cdot 10^{-3} S$  ;  $\rho = \left(\frac{\Delta I_D}{\Delta V_{DS}}\right)_{V_{GS}} = 4 \cdot 10^{-6} S$  ; et  
 Pour  $T_2$  :  $h_{11e} = 1.2 k\Omega, h_{21e} = 120, h_{12e} = 0, h_{22e} = 120 \cdot 10^{-6} S$ 
  - a) Etablir le schéma équivalent du montage pour l'alternatif,
  - b) 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
  - c) Choisir la valeur de  $R_p$  pour que la résistance d'entrée du montage soit  $1.8 M\Omega$ .
3. Refaire 2 sans le condensateur  $C_S$ .