

1. Introduction

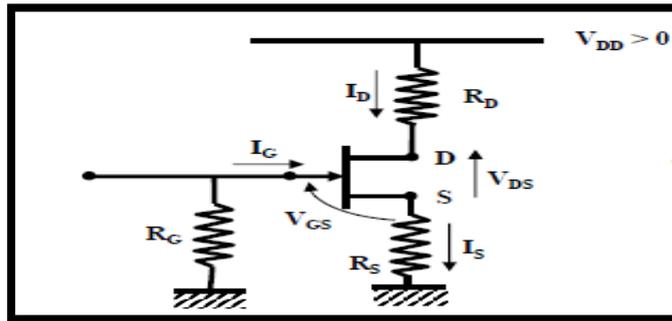
Le transistor à effet de champ (TEC) est constitué d'un barreau de semi-conducteur de type N ou P dans lequel on crée un canal conducteur. Aux deux extrémités du canal on trouve deux électrodes métalliques appelées source et drain. L'électrode de grille permet de faire varier la largeur du canal donc de commander le courant allant du drain vers la source. La jonction latérale grille-source doit toujours être polarisée en inverse (c'est pourquoi $I_G=0$). Les porteurs de charge dans le canal vont de la source vers le drain.

Type	Structure	Symbole
Canal N		<p>$V_{GS} < 0; V_{DS} > 0; I_D > 0$</p>
Canal P		<p>$V_{GS} > 0; V_{DS} < 0; I_D < 0$</p>

2. Polarisation d'un JFET :

Un transistor FET doit être polarisé par un réseau de résistances extérieures permettant d'imposer le point de fonctionnement. La plus utilisée est la polarisation automatique.

a. Polarisation automatique

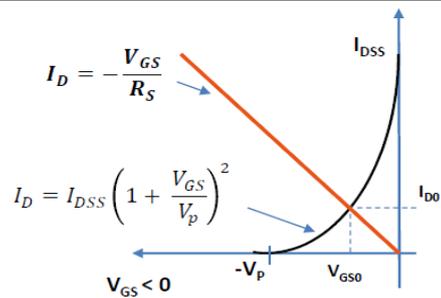


□ Equation de la droite de polarisation

$$V_{GS} = -R_G I_G - R_S I_S$$

or $I_G \approx 0$ et $I_S \approx I_D$

→ $I_D = -\frac{V_{GS}}{R_S}$ Equation de la droite de polarisation ou droite d'attaque



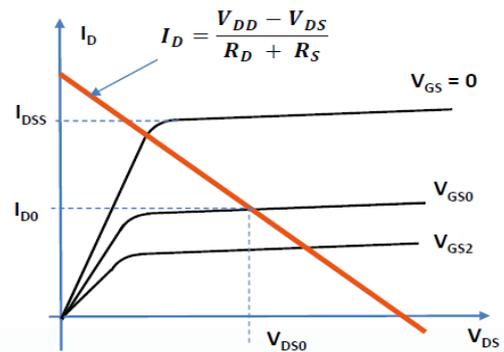
□ Equation de la droite de charge statique

$$V_{DD} - V_{DS} = R_D I_D - R_S I_D$$

Car $I_S \approx I_D$

→ $I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D + R_S}$

Equation de la droite de charge statique



b. Polarisation par diviseur de tension :

La tension à la grille est déterminée par R_1 et R_2 :

$$V_G = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{DD}$$

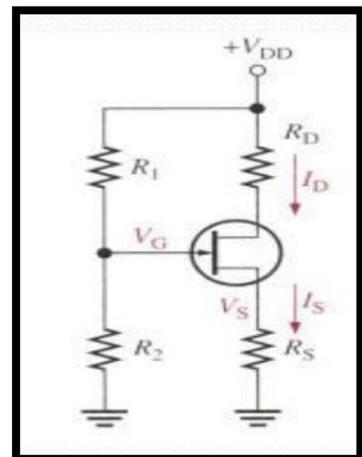
La tension grille-source est:

$$V_{GS} = V_G - V_S \text{ donc } V_S = V_G - V_{GS}$$

Le courant drain est exprimé par:

$$I_D = \frac{V_S}{R_S}$$

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S}$$



➤ **Equation de la droite d'attaque statique :**

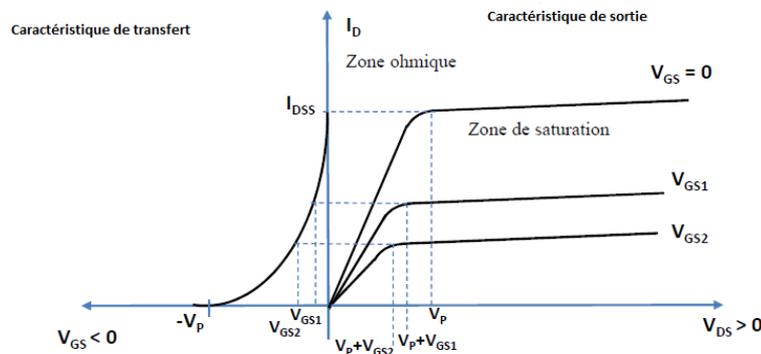
$$I_D = \frac{1}{R_s} V_{GS} + \frac{R_2}{R_2 + R_1} \frac{V_{DD}}{R_D}$$

➤ **Equation de la droite de charge statique :**

$$V_{DD} = (R_D + R_s) I_D + V_{DS}$$

$$I_D = \frac{V_{DD}}{R_D + R_s} - \frac{V_{DS}}{R_D + R_s}$$

3. Réseau de caractéristiques :



a. Caractéristique d'entrée :

Les transistors JFET doivent uniquement être utilisés avec des tensions V_{GS} négatives et inférieures à la tension de claquage inverse. La caractéristique d'entrée est celle d'une diode polarisée en inverse. On a donc toujours : $I_G = 0$.

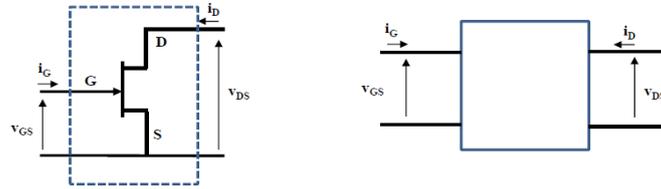
b. Caractéristique de sortie :

La caractéristique de sortie est donnée par le réseau des courbes $I_D = f(V_{DS})$ à V_{GS} constante. Ce réseau est caractérisé par trois régions utiles : la région ohmique, la zone de coude, la zone de saturation.

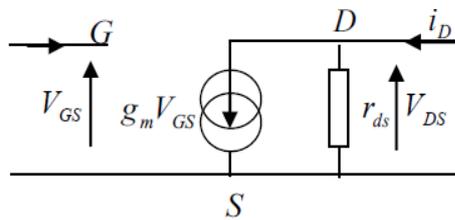
- ✓ La zone ohmique (EN: Ohmic region): Lorsque V_{DS} est très petite, le JFET fonctionne comme une résistance contrôlée. $R_{DS} = \frac{V_P}{I_{DSS}}$
- ✓ La zone de blocage (EN: Cutoff region): Lorsque la tension V_{GS} est suffisamment négative, le canal est fermé et le courant $I_D = 0$. Le JFET est alors similaire à un circuit ouvert.
- ✓ La zone active ou de saturation (EN: active or saturation region): Le JFET agit comme une source de courant contrôlée par la tension de la grille (gate). La tension drain-source a peu ou pas d'effet dans cette zone $V_{DS} > V_P$.

4. Le transistor JFET en régime dynamique :

Le transistor est considéré comme un quadripôle.



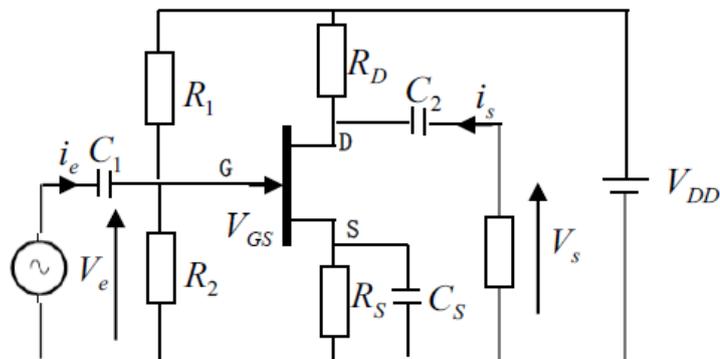
a. Schéma équivalent général :



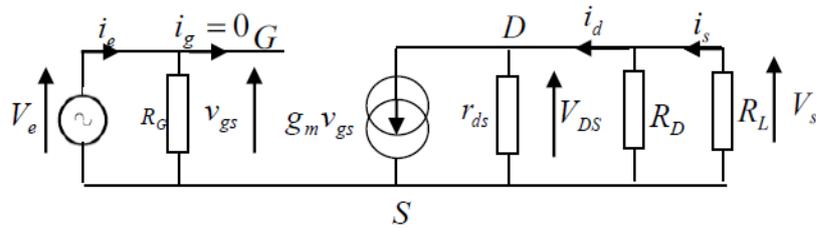
Comme les transistors bipolaires, les transistors TEC fonctionnent pour les trois montages :

Source Commune	Drain Commun	Grille Commune

b. Montage amplificateur source commune :



➤ Schéma équivalent en régime dynamique



➤ **Gain en tension** : G_V ou A_V

$$G_V = \frac{V_s}{V_e} \quad V_e = v_{gs} \quad V_s = -(r_{ds} // R_D // R_L) g_m v_{gs} \quad A_V = \frac{V_s}{V_e} = -(r_{ds} // R_D // R_L) g_m$$

➤ **Gain en courant** : G_i ou A_i

$$A_i = G_i = \frac{i_s}{i_e} \quad i_s = \frac{R_D // r_{ds}}{R_D // r_{ds} + R_L} g_m v_{gs} \quad V_e = R_g i_e = V_{gs} \Rightarrow i_e = \frac{V_{gs}}{R_g} \quad \frac{i_s}{i_e} = \frac{(R_D // r_{ds}) R_G}{R_D // r_{ds} + R_L} g_m$$

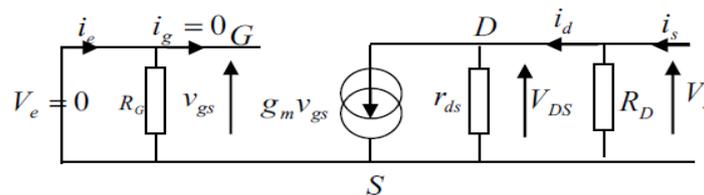
➤ **Impédance d'entrée** : Z_e

$$Z_e = \frac{V_e}{i_e}, \quad V_e = (R_1 // R_2) i_e \quad Z_e = \frac{V_e}{i_e} = R_1 // R_2 = R_G$$

➤ **Impédance de sortie** : Z_s

Pour calculer l'impédance de sortie, on utilise le théorème de Thevenin :

- Débrancher la charge
- Court-circuiter le générateur de tension à l'entrée ($v_e=0$)
- Appliquer une tension v_s à la sortie qui injecte un courant i_s



$$V_s = (r_{ds} // R_D)(i_s - g_m V_{GS}) \quad V_e = 0 \Rightarrow V_{GS} = 0 \quad Z_s = \left. \frac{V_s}{i_s} \right|_{V_e=0} = r_{ds} // R_D$$

Remarques:

- ❖ L'impédance de sortie est petite.
- ❖ On remarque la présence d'un signe moins sur l'expression du gain A_V , donc V_s est en opposition de phase par rapport à V_e d'où le déphasage de 180 degré. Donc le gain en tension dépend du paramètre g_m . par analogie au transistor bipolaire monté en émetteur commun g_m est comme B/h_{11} .
- ❖ L'impédance d'entrée est très grande (de l'ordre de M.Ohm).

Exercices

EXERCICE N° 01 :

1. Quel est le type du transistor utilisé dans le montage de la figure 1 ?
2. Donner la valeur du courant drain I_D .
3. Déterminer la valeur minimale de V_{DD} pour faire fonctionner le transistor dans la région à courant constant.
4. Quelle est la valeur du courant drain si $V_{DD} > 15 V$?
5. Donner la valeur de la tension V_{DS} si $V_{DD} = 15 V$.

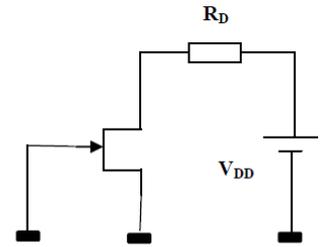
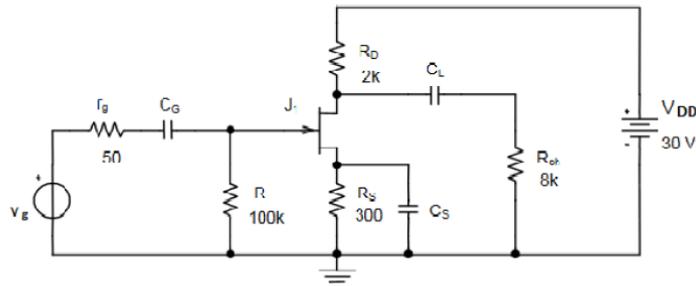


Figure 1

On donne : $R_D = 560 \Omega$, $V_{GSoff} = -4 V$ et $I_{DSS} = 12 mA$.

EXERCICE N° 02 :

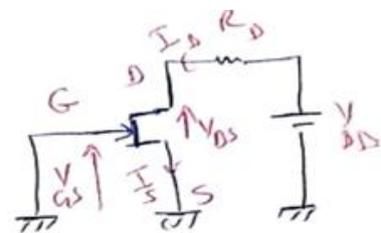
1. Quel est le type du montage de la figure ci-dessous? justifier.
2. Donner le schéma équivalent en régime continu. Quel est le type de la polarisation utilisée ?
3. Déterminer le point de fonctionnement du transistor.
4. Donner le schéma équivalent en régime dynamique faibles signaux ($r_{ds} = \infty$).
5. Évaluez le paramètre g_m du modèle du transistor.
6. Calculez l'impédance d'entrée et l'impédance de sortie.
7. Évaluez le gain en tension.



Solutions :

Exercice1 :

1. Transistor JFET canal-N
2. $V_{GS} = 0 \Rightarrow I_D = I_{DSS} = 12 mA$
3. $V_{DS_{min}}$ pour I_D cst $\rightarrow V_P$

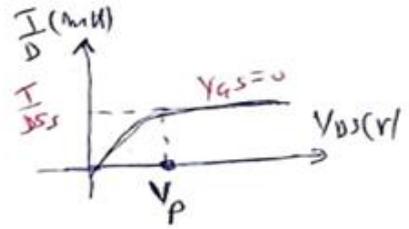


$$V_{DSmin} = V_P \text{ et } V_P = |V_{GSoff}|$$

donc $V_{DSmin} = 4V$ avec $V_{GS} = 0$.

$$V_{DD} = V_{DS} + R_D I_D \Rightarrow V_{DDmin} = V_{DSmin} + R_D I_{DSS}$$

$$V_{DDmin} = 10,7V$$



4. si $V_{DD} = 15V \Rightarrow I_D$ reste constant c'd $I_D = I_{DSS} = 12mA$

5. $V_{GS} = V_{DD} - R_S I_D = 8,28V$.

Exercice 2 :

$$I_{DSS} = 15mA, V_P = +6V,$$

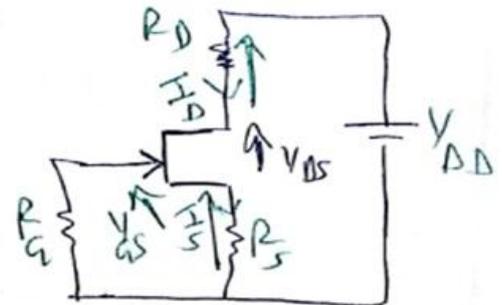
- montage source commune car :
 - l'entrée est sur la grille.
 - la sortie est sur le drain.

2. régime continu

Polarisation automatique.

3. le pt de fet Q :

$$Q(V_{DS}, I_D, V_{GS})$$



$$\begin{cases} V_{DD} = R_S I_D + V_{DS} + R_D I_D \rightarrow \textcircled{1} \\ V_{GS} = -R_S I_D \rightarrow \textcircled{2} \\ I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSoff}}\right)^2 \rightarrow \textcircled{3} \end{cases}$$

$$\textcircled{2} \text{ ds } \textcircled{3} : \frac{-V_{GS}}{R_S} = I_{DSS} \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_P}\right)$$

$$\frac{1}{V_P} V_{GS}^2 + \left(\frac{2}{V_P} + \frac{1}{R_S I_{DSS}}\right) V_{GS} + 1 = 0 \rightarrow \text{équation}$$

de la forme: $A V_{GS}^2 + B V_{GS} + C = 0$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{de 2^{ème} ordre} \\ \text{en } V_{GS} \end{array} \right.$

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \frac{1}{V_P^2} = 0,03 \\ B = \frac{2}{V_P} + \frac{1}{R_S I_{DSS}} = 0,55 \\ C = 1 \end{array} \right.$$

$$\Delta = (0,55)^2 - 4(0,03) \cdot 1 = 0,18$$

$$V_{G_1} = -16,16 \text{ V à rejeter } (V_{G_1} < V_{GS(off)})$$

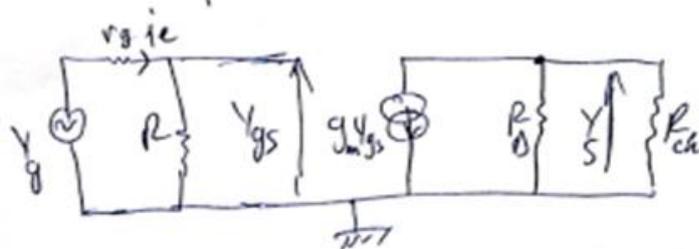
$$V_{G_2} = -2,16 \text{ V} = \boxed{V_{GS} \approx 2 \text{ V}}$$

$$I_D = \frac{-V_{GS}}{R_S} = 6,6 \text{ mA} \rightarrow \text{ds } \textcircled{1}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_S + R_D) I_D = 14,7 \text{ V}$$

$$\mathcal{Q}(14,7 \text{ V}, 6,6 \text{ mA}, 2 \text{ V})$$

4. schéma équivalent en régime dynamique :



$$5. \begin{cases} g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS,off}}\right) \\ g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS,off}|} \end{cases}$$

$$g_{m0} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{6} = 5 \times 10^{-3} \text{ S}$$

$$g_m = 5 \cdot 10^{-3} \left(1 + \frac{2}{6}\right) = 3,3 \text{ mS}$$

$$6. Z_e = \frac{V_e}{i_e} = R = 100 \text{ kW} \quad (i_e \text{ est dirigé ds R par la DSS)}$$

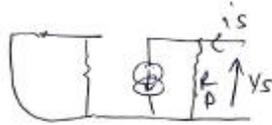
$$Z_s = \frac{V_s}{I_s} \quad | \quad V_e = 0$$

avec charge débranchée

$$V_e = 0 \Rightarrow V_{GS} = 0$$

$$Z_s = \frac{V_s}{I_s} \Rightarrow V_s = R_D I_s \Rightarrow I_s = \frac{V_s}{R_D}$$

$$Z_s = V_s / \left(\frac{V_s}{R_D}\right) = R_D \quad , \quad Z_s = R_D = 2 \text{ kW}$$



$$7. G_v = \frac{V_s}{V_g} \quad , \quad V_s = -(R_{ch} \parallel R_D) g_m V_{gs}$$

$$V_e = V_{gs} = \frac{R}{R + r_g} V_g \quad (\text{division de tension})$$

$$V_s = -(R_{ch} \parallel R_D) g_m \cdot \frac{R}{R + r_g} V_g$$

$$\frac{V_s}{V_g} = -(R_{ch} \parallel R_D) g_m \cdot \frac{R}{R + r_g} = -5,33$$

$$V_s = 5,33 \cdot V_g$$