

## Seminarul 3

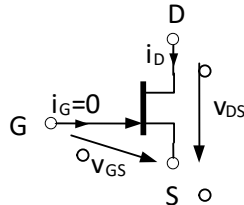
## Modelarea tranzistoarelor cu efect de câmp

<https://docplayer.net/22554685-Chapter-5-field-effect-transistors-fets.html>

## S3.1. TEC-J

## Noțiuni teoretice

Simbol și notații TEC-J cu canal n



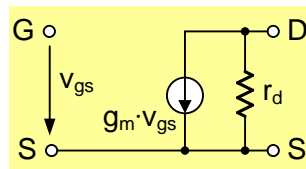
Ecuația de dispozitiv

$$i_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_T} \right)^2 \quad \text{pentru } V_T < V_{GS} < 0$$

$$V_{DS,sat} = V_{GS} - V_T$$

Pentru  $V_{GS} < V_T$ ,  $I_D = 0$

Modelul de semnal mic al TC-J



Panta TEC-J

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial V_{GS}} \right|_{V_{DS}=cst.} = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{-V_T} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_T} \right)$$

## Aplicații

**Ap. 1.** Pentru circuitul din fig. S3.1 se cunoaște că:  
 $J_1(I_{DSS} = 8 \text{ mA}, V_T = -4\text{V})$ , condensatoarele sunt de tip  $C\infty$ .

**Se cere:**

- PSF-ul și regimul de funcționare pentru  $J_1$ ;
- Panta pentru  $J_1$ ;
- Schema echivalentă de curent alternativ;
- Schema echivalentă la semnal mic, frecvențe medii;
- Amplificare în tensiune,  $a_v$  și rezistența de intrare,  $R_i$ .

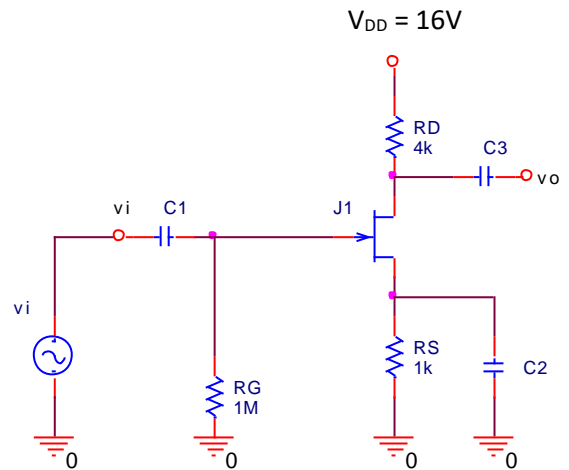


Fig. S3.1. Schema circuitului pentru ap. 1

## Rezolvare

Schema echivalentă de c. c. este ilustrată în fig. S3.2.

$$i_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{v_{GS}}{V_T} \right)^2$$

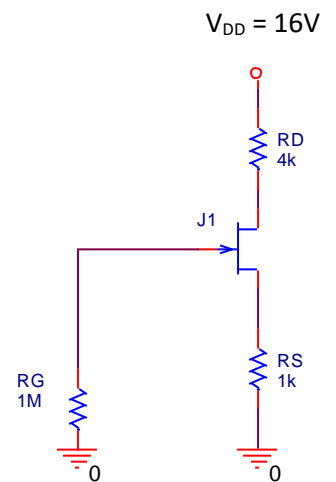


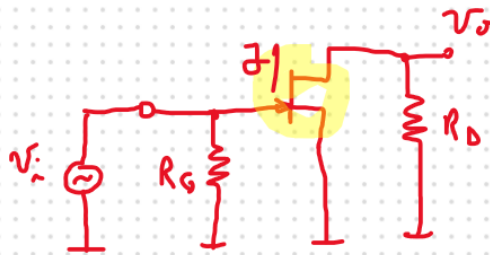
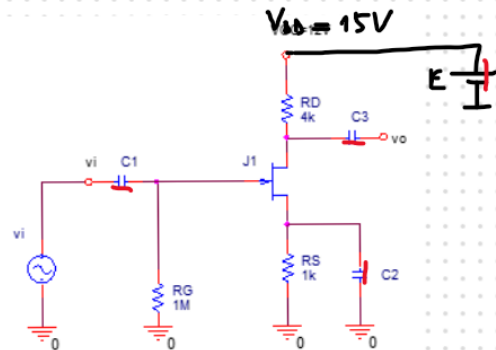
Fig. S3.2. Schema de c. c. pentru circuitul din fig. S3.1

Ap 1/S3 p2

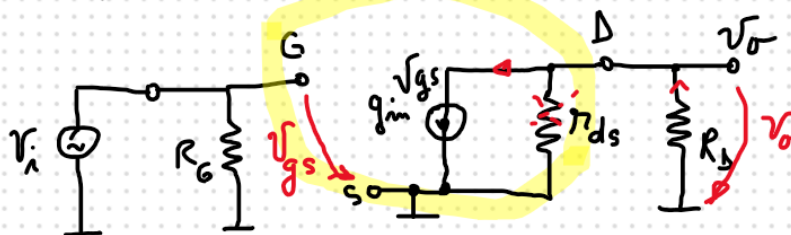
b)  $g_m = ?$ 

$$g_m = \left. \frac{\partial i_b}{\partial V_{GS}} \right|_{PSF} = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{-V_T} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_T} \right) = \frac{2 \cdot 8}{4} \left( 1 - \frac{-2}{-4} \right) = 2 \frac{mA}{V}$$

c) Sch. de c.a.



d) Sch. echiv. la semnal mic, frecvențe medii



$$e) a_v = \frac{v_o}{v_i}, \quad v_i = v_{gs}$$

$$v_o = -R_D \cdot g_m \cdot v_{gs} \Rightarrow a_v = -g_m R_D = -2 \frac{mA}{V} \cdot 4k\Omega \Rightarrow$$

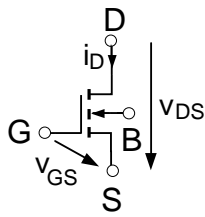
$$a_v = -8$$

$$1 \frac{mA}{V} \cdot 1k\Omega = 1$$

## S3.2. TEC-MOS

### Noțiuni teoretice

Simbol, notații și ecuație de dispozitiv pentru TEC-MOS cu canal n indus



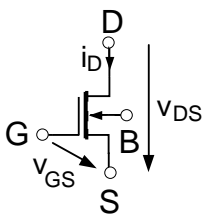
Curentul de drenă este:

$$I_D = \beta \cdot (V_{GS} - V_T)^2, \quad \text{pentru } V_{GS} > V_T \text{ și } V_{DS} = V_{DS,sat}$$

$$V_{DS,sat} = V_{GS} - V_T$$

Pentru  $V_{GS} < V_T$ ,  $I_D = 0$

Simbol, notații și ecuație de dispozitiv pentru TEC-MOS cu canal n inițial



Curentul de drenă este:

$$i_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_T} \right)^2 \quad \text{pentru } V_T < V_{GS}$$

$$V_{DS,sat} = V_{GS} - V_T$$

Pentru  $V_{GS} < V_T$ ,  $I_D = 0$

### Aplicații

**Ap. 1.**  $M(\beta = 1 \text{ mA/V}^2, V_T = 1 \text{ V})$ .

Se cere:

- PSF-ul pentru M1;
- Regimul de funcționare pentru M1;
- $g_m = ?$

### Rezolvare

Ec. de dispozitiv:

$$I_D = \beta \cdot (V_{GS} - V_T)^2$$

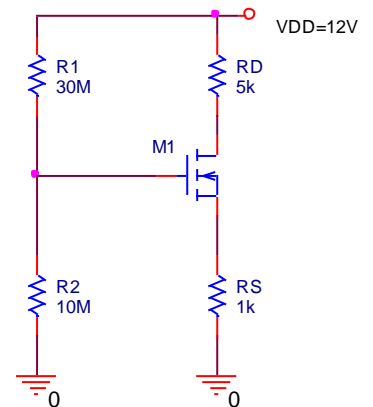


Fig. S3.3. Schema circuitului pentru ap. 1

$$M1 (\beta = 1 \text{ mA/V}^2, V_T = 1 \text{ V})$$

a) PSF

Ec. de disp.:

$$I_D = \beta (V_{GS} - V_T)^2 \quad (1)$$

$$V_{GS} \geq V_T$$

$$V_{DS} > V_{DS, \text{sat}}$$

Pf.  $V_{GS} < V_T \Rightarrow I_D = 0$

Ec. de circuit:

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{DD} = \frac{10}{10 + 30} \cdot 12 = 3 \text{ V}$$

$$\text{TKT}(\sigma_1): -V_G + V_{GS} + R_S \cdot I_D = 0 \quad (2)$$

$$\text{TKT}(\sigma_2): -V_{DS} + (R_S + R_D) I_D + V_{DS} = 0 \quad (3)$$

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S} \rightarrow (1)$$

$$\frac{V_G - V_{GS}}{R_S} = \beta (V_{GS} - V_T)^2$$

$$3 - V_{GS} = (V_{GS} - 1)^2$$

$$3 - V_{GS} = V_{GS}^2 - 2V_{GS} + 1$$

$$V_{GS}^2 - V_{GS} - 2 = 0$$

$$V_{GS} < -1 \Rightarrow V_{GS} = 2 \Rightarrow I_D = \frac{3-2}{1} = 1 \text{ mA}$$

$$(3) \Rightarrow V_{DS} = V_{DD} - (R_S + R_D) \cdot I_D = 12 - 6 \cdot 1 = 6 \text{ V}$$

$$M1 (V_{GS} = 2 \text{ V}; V_{DS} = 6 \text{ V}; I_D = 1 \text{ mA})$$

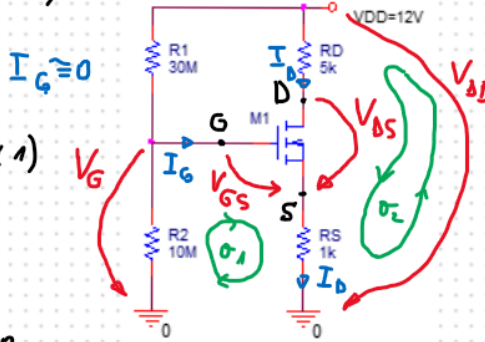
b) Regimul de lucru

$$V_{DS, \text{sat}} = V_{GS} - V_T = 2 - 1 = 1 \text{ V}$$

$$6 \text{ V} = V_{DS} > V_{DS, \text{sat}} = 1 \text{ V} \Rightarrow$$

$M_1$  în regim activ

$$c) g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right|_{\text{PSF}} = 2 \cdot \beta (V_{GS} - V_T) = 2 \cdot 1 (2 - 1) = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$



$$M1 (V_{GS} = 2 \text{ V}, V_{DS} = 6 \text{ V}, I_D = 1 \text{ mA})$$

### Seminarul 3

**Ap. 2.**  $M2(I_{DSS} = 0,5\text{mA}, V_T = -1\text{V})$ .

Se cere:

- PSF-ul pentru M1;
- Regimul de funcționare pentru M1.

$M2(V_{GS} = 1\text{V}, V_{DS} = 6\text{V}, I_D = 2\text{mA})$

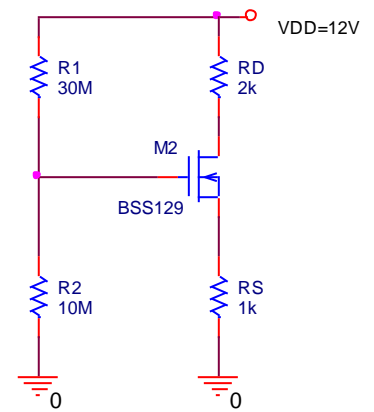


Fig. S3.3. Schema circuitului pentru ap. 1

$$M_2 (I_{DSS} = 0,5 \text{ mA}, V_T = -1 \text{ V})$$

$$I_G = 0$$

a) P.S.F

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} = 3 \text{ V}$$

$$\text{TKT}(o_1): -V_G + V_{GS} + R_S I_D = 0 \quad (2)$$

$$\text{TKT}(o_2): -V_{DD} + (R_S + R_D) I_D + V_{DS} = 0 \quad (3)$$

Ec. de disp.:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \quad (1), \quad V_{GS} > V_T$$

$$V_{DS} > V_{DS, \text{sat}}$$

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S} \rightarrow (1)$$

$$\frac{V_G - V_{GS}}{R_S} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2$$

$$3 - V_{GS} = 0,5 (1 + V_{GS})^2 \quad | \cdot 2$$

$$6 - 2V_{GS} = V_{GS}^2 + 2V_{GS} + 1$$

$$V_{GS}^2 + 4V_{GS} - 5 = 0$$

$$V_{GS} < -5 \quad V_{GS} > V_T = -1$$

$$V_{GS} = 1 \text{ V}$$

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S} = \frac{3 - 1}{1} = 2 \text{ mA}$$

$$(3) \quad V_{DS} = 12 - (2 + 1)2 = 6 \text{ V}$$

$$M_2 (V_{GS} = 1 \text{ V}; V_{DS} = 6 \text{ V}; I_D = 2 \text{ mA})$$

b) Regimul de lucru

$$V_{DS, \text{sat}} = V_{GS} - V_T = 1 - (-1) = 2 \text{ V}$$

$$6 \text{ V} = V_{DS} > V_{DS, \text{sat}} = 2 \text{ V} \Rightarrow M_2 \text{ în reg. activ}$$

$$c) \quad g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right|_{P.S.F} = \frac{2 I_{DSS}}{-V_T} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right) = \frac{2 \cdot 0,5}{1} \left(1 - \frac{1}{-1}\right) = 2 \text{ mA/V}$$

