## **Seminarul nr. 5**

**Tranzistorul cu efect de câmp cu poartă joncțiune (TEC-J)**

**Probleme cu 2 TEC-J**

**P1.** Amplificatorul de semnal mic din fig. 1 este realizat cu un TEC-J cu canal *p*, J1, caracterizat prin VGSoff1=10V și IDSS1=10mA și un TEC-J cu canal *n*, J2, caracterizat prin VGSoff2=-10V și IDSS2=10mA.

1. Precizați în ce conexiune se află fiecare tranzistor;
2. Determinați PSF-urile tranzistoarelor, verificați condiția de funcționare ca amplificator a fiecărui TEC-J și determinați parametrii de semnal mic;
3. Aflați valoarea amplificării în tensiune la semnal mic, Av;
4. Care este valoarea rezistenței de intrare a montajului dacă J1 are IGSS1=20nA la VGS=10V?



**Fig. 1.** *Schema circuitului din problema* P1

**Rezolvare**

a) Tranzistorul J1 se află în conexiunea DC, deoarece semnalul se aplică pe poartă și se culege din sursă, iar J2 este în conexiune SC, deoarece semnalul se aplică pe poartă și se culege din drenă.

b) PSF-urile tranzistoarelor

* **PSF-J1**

Curentul de poartă este egal cu zero (ideal) și astfel căderea de tensiune pe RG este egală cu 0 și de aceea $V\_{G1}=V\_{DD}$

T II K pe ochiul de circuit prin care circulă ID1 se scrie

$$V\_{DD}=I\_{D1}R\_{S1}+V\_{S1}⇒V\_{S1}=V\_{DD}-I\_{D1}R\_{S1}$$

și astfel tensiunea poartă-sursă a lui J1 devine

$$V\_{GS1}=V\_{G1}-V\_{S1}=V\_{DD}-\left(V\_{DD}-I\_{D1}R\_{S1}\right)=I\_{D1}R\_{S1}=2I\_{D1}$$

Ecuația de dispozitiv se scrie

$$I\_{D1}=I\_{DSS1}\left(1-\frac{V\_{GS1}}{V\_{GSoff1}}\right)^{2}=10\left(1-\frac{2I\_{D1}}{10}\right)^{2}=10\frac{\left(5-I\_{D1}\right)^{2}}{25}=2×\frac{25-10I\_{D1}+I\_{D1}^{2}}{5}$$

$$5I\_{D1}=50-20I\_{D1}+2I\_{D1}^{2}$$

$$2I\_{D1}^{2}-25I\_{D1}+50=0$$

$$I\_{D1}\_{1,2}=\frac{25\pm \sqrt{25^{2}-4×2×50}}{4}=\frac{25\pm 15}{4}\rightarrow \left\{\begin{array}{c}I\_{D1}\_{1}=10mA\\I\_{D1}\_{2}=2.5mA\end{array}\right.$$

Se alege acea valoare a curentului de drenă pentru care $\left|V\_{GS}\right|<\left|V\_{GSoff}\right|$

* Pentru ID1=10mA $⇒V\_{GS}=2k×10m=20V>10V$ și nu corespunde;
* Pentru ID1=2.5mA $⇒V\_{GS}=2k×2.5m=5V<10V$ și corespunde, deci ID1=2.5mA

Tot pe ochiul de ieșire al lui J1 se aplică T II K pentru a determina tensiune drenă-sursă

$$V\_{DD}=I\_{D1}R\_{S1}-V\_{DS1}+I\_{D1}R\_{D1}⇒V\_{DS1}=I\_{D1}\left(R\_{S1}+R\_{D1}\right)-V\_{DD}$$

$$V\_{DS1}=2.5mA×3.5k-15V=-6.25V$$

Valorile din PSF sunt:

$$PSF\_{J1}=\left\{\begin{array}{c}V\_{GS1}=5V\\I\_{D1}=2.5mA\\V\_{DS1}=-6.25V\end{array}\right.$$

Condiția ca J1 să poată lucra ca amplificator este $\left|V\_{DS1}\right|>\left|V\_{GS1}-V\_{GSoff1}\right|$ și este îndeplinită deoarece

$$\left|V\_{DS1}\right|=6.25V>5V=\left|V\_{GS1}-V\_{GSoff1}\right|$$

Parametrul de semnal mic transconductanță este

$$g\_{m1}=\frac{2I\_{DSS1}}{|V\_{GSoff1}|}\left(1-\frac{V\_{GS1}}{V\_{GSoff1}}\right)=\frac{2×10}{10}\left(1-\frac{5V}{10V}\right)=\frac{2×10}{10×2}=1mS$$

* **PSF-J2**

$$V\_{GS2}=V\_{G2}-V\_{S2}$$

$$V\_{G2}=\frac{R\_{2}}{R\_{1}+R\_{2}}V\_{DD}=\frac{1M}{7.5M}×15V=2V$$

$$V\_{S2}=I\_{D2}R\_{S2}=5I\_{D2}$$

$$V\_{GS2}=2-5I\_{D2}$$

$$I\_{D2}=I\_{DSS2}\left(1-\frac{V\_{GS2}}{V\_{GSoff2}}\right)^{2}=10\left(1-\frac{2-5I\_{D2}}{-10}\right)^{2}=10\frac{\left(5I\_{D2}-12\right)^{2}}{100}=\frac{25I\_{D2}^{2}-120I\_{D2}+144}{10}$$

$$10I\_{D2}=144-120I\_{D2}+25I\_{D2}^{2}$$

$$25I\_{D2}^{2}-130I\_{D2}+144=0$$

$$I\_{D2}\_{1,2}=\frac{130\pm \sqrt{130^{2}-4×25×144}}{50}=\frac{130\pm 50}{50}\rightarrow \left\{\begin{array}{c}I\_{D2}\_{1}=3.6mA\\I\_{D2}\_{2}=1.6mA\end{array}\right.$$

Se alege acea valoare a curentului de drenă pentru care $\left|V\_{GS}\right|<\left|V\_{GSoff}\right|$

* Pentru ID2=3.6mA $⇒\left|V\_{GS}\right|=\left|2V-5k×3.6m\right|=16V>10V$ și nu corespunde;
* Pentru ID2=1.6mA $⇒\left|V\_{GS}\right|=\left|2V-5k×1.6m\right|=6V<10V$ și corespunde, deci ID2=1.6mA

$$V\_{GS2}=2V-5k×1.6m=-6V$$

$$V\_{DD}=I\_{D2}R\_{D2}+V\_{DS2}+I\_{D2}R\_{S2}⇒V\_{DS2}=V\_{DD}-I\_{D2}\left(R\_{D2}+R\_{S2}\right)$$

$$V\_{DS2}=15V-1.6m×6k=5.4V$$

$$PSF\_{J2}=\left\{\begin{array}{c}V\_{GS2}=-6V\\I\_{D2}=1.6mA\\V\_{DS2}=5.4V\end{array}\right.$$

Condiția ca J2 să poată lucra ca amplificator este $\left|V\_{DS2}\right|>\left|V\_{GS2}-V\_{GSoff2}\right|$ și este îndeplinită deoarece

$$\left|V\_{DS2}\right|=5.4V>4V=\left|V\_{GS2}-V\_{GSoff2}\right|$$

Parametrul de semnal mic transconductanță este

$$g\_{m2}=\frac{2I\_{DSS2}}{|V\_{GSoff2}|}\left(1-\frac{V\_{GS2}}{V\_{GSoff2}}\right)=\frac{2×10}{10}\left(1-\frac{-6V}{-10V}\right)=\frac{2×10×2}{10×5}=0.8mS$$

c) Schema echivalentă inițială de c.a. pe care condensatoarele s-au înlocuit cu scurtcircuit iar bateria de c.c. a fost pasivizată (înlocuită tot cu scurtcircuit) are forma din fig. 2



**Fig. 2.** *Schema echivalentă inițială de c.a.*

Pentru calculul amplificării, tranzistoarele de pe schema din fig. 2 se înlocuiesc cu modelul de semnal mic și rezultă schema ecivalentă de c.a. din fig. 3



**Fig. 3.** *Schema echivalentă de c.a.*

$$A\_{v}=\frac{V\_{out}}{V\_{in}}$$

La ieșirea circuitului, curentul *gm2Vgs2* circulă pe ochiul format din sursa de curent comendată și rezistența echivalentă $\left.R\_{D2}\right‖R\_{L}$ (fig. 4)



**Fig. 4.** *Ochiul de circuit prin care circulă curentul gm2Vgs2*

$$V\_{out}=-g\_{m2}V\_{gs2}\left(\left.R\_{D2}\right‖R\_{L}\right) (1)$$

Tensiunea Vgs2 reprezintă căderea de tensiune determinată der curentul *gm1Vgs1* care trece prin rezistența echivalentă $\left.R\_{S1}\right‖\left.R\_{1}\right‖R\_{2}$

$$V\_{gs2}=g\_{m1}V\_{gs1}\left(\left.R\_{S1}\right‖\left.R\_{1}\right‖R\_{2}\right) (2)$$

$$V\_{in}=V\_{gs1}+V\_{gs2}=V\_{gs1}+g\_{m1}V\_{gs1}\left(\left.R\_{S1}\right‖\left.R\_{1}\right‖R\_{2}\right)=V\_{gs1}\left[1+g\_{m1}\left(\left.R\_{S1}\right‖\left.R\_{1}\right‖R\_{2}\right)\right]$$

de unde

$$V\_{gs1}=\frac{V\_{in}}{1+g\_{m1}\left(\left.R\_{S1}\right‖\left.R\_{1}\right‖R\_{2}\right)} (3)$$

și

$$A\_{v}=\left\{-g\_{m2}\left(\left.R\_{D2}\right‖R\_{L}\right)\right\}×\left\{g\_{m1}\left(\left.R\_{S1}\right‖\left.R\_{1}\right‖R\_{2}\right)\right\}×\left\{\frac{1}{1+g\_{m1}\left(\left.R\_{S1}\right‖\left.R\_{1}\right‖R\_{2}\right)}\right\}$$

$$\left.R\_{D2}\right‖R\_{L}=\frac{1}{\frac{1}{R\_{D2}}+\frac{1}{R\_{L}}}=\frac{1}{\frac{1}{1k}+\frac{1}{20k}}=0.95k$$

$$\left.R\_{S1}\right‖\left.R\_{1}\right‖R\_{2}=\frac{1}{\frac{1}{R\_{S1}}+\frac{1}{R\_{1}}+\frac{1}{R\_{2}}}=\frac{1}{\frac{1}{2k}+\frac{1}{6500k}+\frac{1}{1000k}}=1.995k≅2k$$

$$A\_{v}=-0.8m×0.95k×\frac{1m×2k}{1+1m×2k}=-0.8m×0.95k×\frac{2}{3}=-0.51$$

d) Rezistența de intrare a montajului este (fig. 5)

$$R\_{in}=\left.R\_{G}\right‖\left(\frac{V\_{GS1}}{I\_{GSS1}}\right)=\left.10M\right‖\left(\frac{10V}{20nA}\right)=\left.10M\right‖500M=\frac{1}{\frac{1}{10M}+\frac{1}{500M}}=9.8MΩ$$



**Fig. 5.** *Circuitul pentru determinarea rezistenței de intrare a montajului*