



Elektronika

Auditorne vježbe 10

TRANZISTORI

- Bipolarni tranzistor
 - Ustrojstvo, struje i osnovni parametri
 - Earlyjev efekt
 - Ebers-Mollov model
- Unipolarni tranzistor
 - Spojni unipolarni tranzistor (JFET)
 - Unipolarni tranzistor s izoliranim vratima (MOSFET)

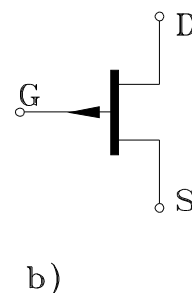
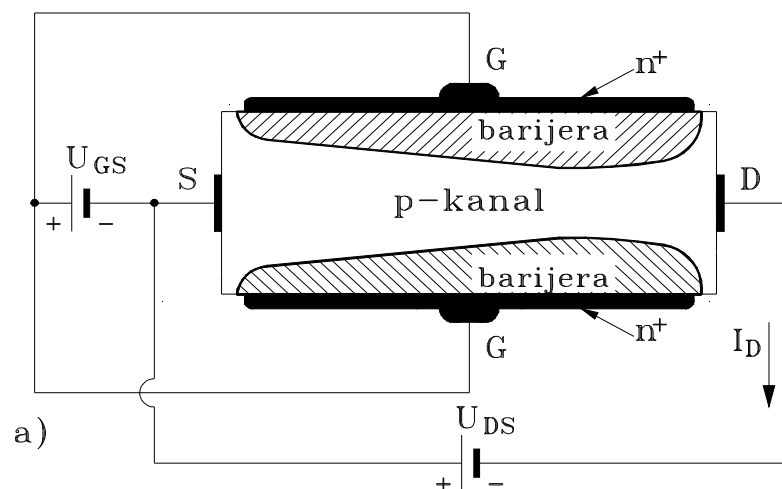
Unipolarni tranzistor

- Tranzistor s efektom polja – Field Effect Transistor
- Unipolarni – u radu tranzistora sudjeluju ili elektroni ili šupljine.
- Elektrode:
 - Uvod (Source)
 - Odvod (Drain)
 - Vrata – upravljačka elektroda (Gate)
- Dio tranzistora kroz koji teče struja – kanal:
 - n-kanalni
 - p-kanalni

Unipolarni tranzistori

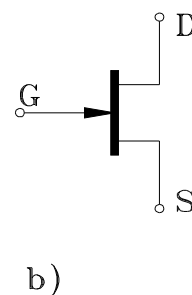
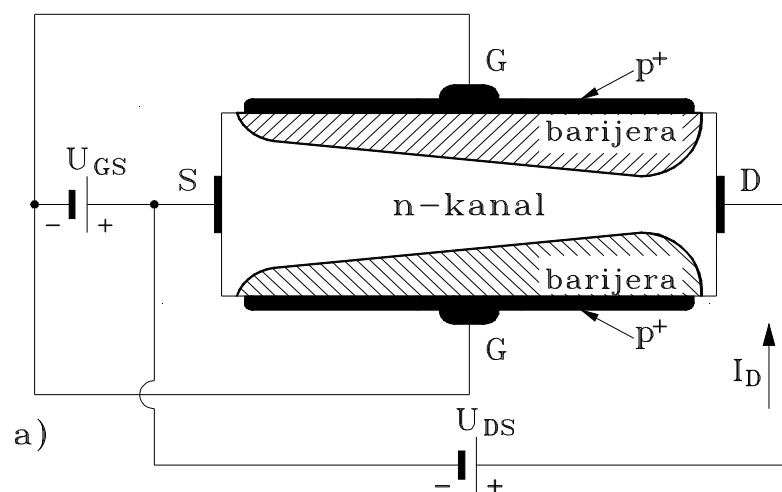
- Podjela s obzirom na tehnološku izvedbu:
 - Spojni unipolarni tranzistori – Junction FET
 - Unipolarni tranzistori s izoliranim vratima:
 - Insulated Gate FET
 - Metal-Oxide-Semiconductor FET
- Zajedničko svojstvo FET-ova: velik ulazni otpor

Spojni unipolarni tranzistor - JFET



p-kanalni JFET

- a) Struktura JFET-a
- b) El. simbol

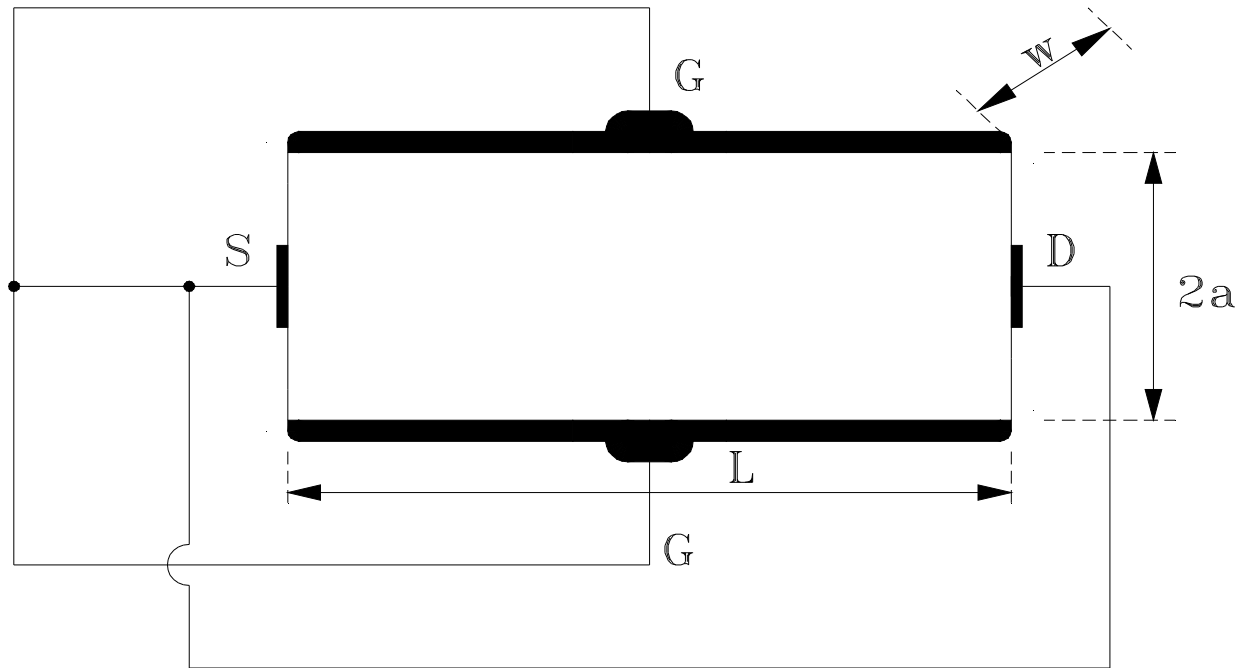


n-kanalni JFET

- a) Struktura JFET-a
- b) El. simbol

Potpuno otvoreni kanal

- $U_{DS}=0$ i $U_{GS}=0$

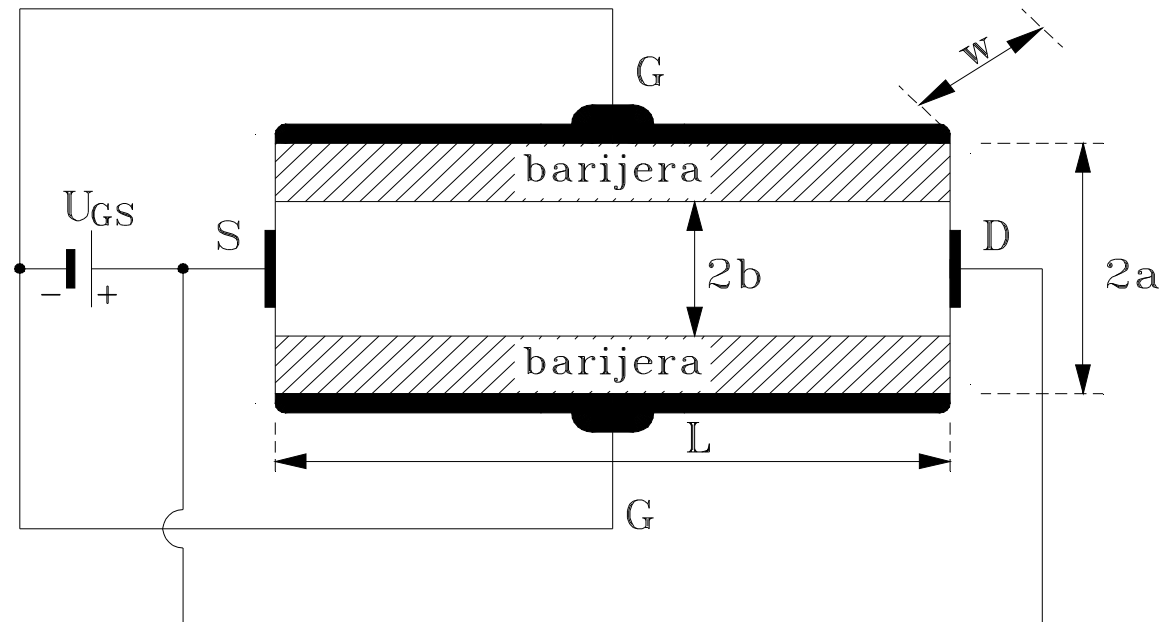


- Vodljivost:

$$G_0 = \frac{1}{R_0} = \frac{q \cdot \mu_n \cdot N_D \cdot 2a \cdot w}{L} = \sigma \cdot \frac{2a \cdot w}{L}$$

Širina kanala

- $U_{DS}=0, U_{GS} \neq 0$



- Širina barijere:

$$a - b = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot (U_k - U_{GS})}{q \cdot N_D}}$$

Napon dodira

- Napon pri kojem je širina kanala nula: $b = 0$.

$$a^2 = \frac{2 \cdot \varepsilon \cdot (U_k - U_{GS0})}{q \cdot N_D} \quad \Rightarrow \quad U_{GS0} = U_k - \frac{a^2 \cdot q \cdot N_D}{2 \cdot \varepsilon}$$

$$b = a \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{U_k - U_{GS}}{U_k - U_{GS0}}} \right)$$

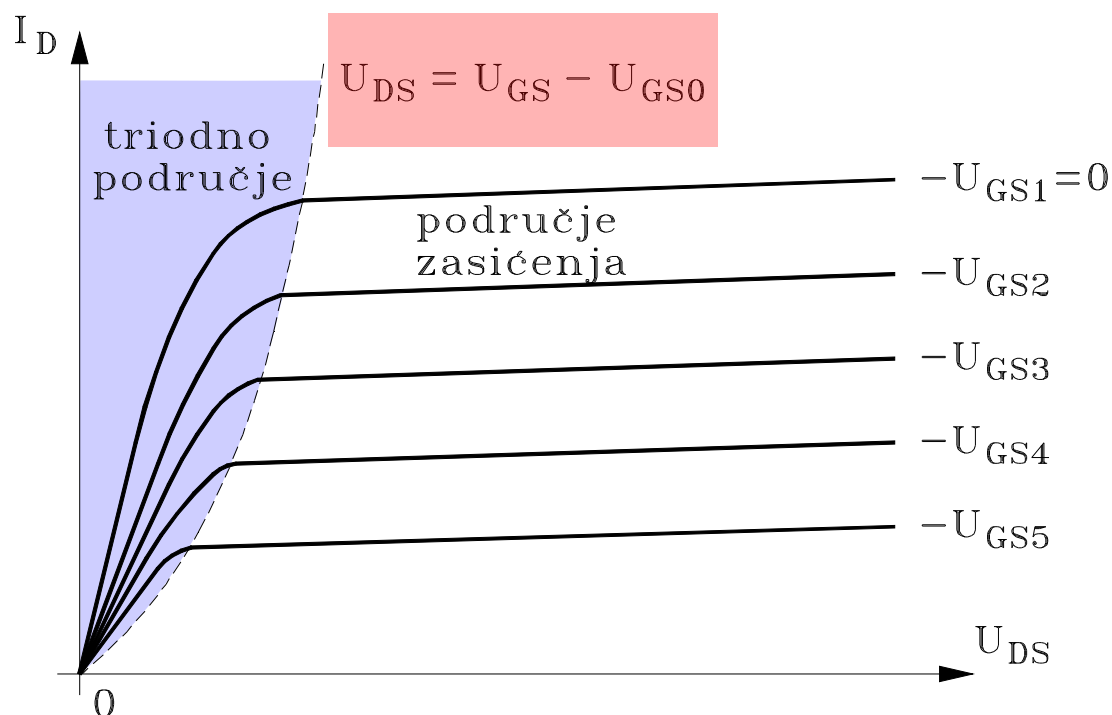
n-kanalni JFET

$$a^2 = \frac{2 \cdot \varepsilon \cdot (U_k + U_{GS0})}{q \cdot N_A} \quad \Rightarrow \quad U_{GS0} = \frac{a^2 \cdot q \cdot N_A}{2 \cdot \varepsilon} - U_k$$

$$b = a \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{U_k + U_{GS}}{U_k + U_{GS0}}} \right)$$

p-kanalni JFET

Izlazne karakteristike JFET-a



- Dva područja rada:
 - Triодно područje
 - Područje zasićenja

Dinamički parametri JFET-a (n-kanalni)

Parametar	Područje	Izraz
Strmina	Triodno	$g_m = G_0 \cdot \frac{\sqrt{U_k - U_{GS}} + U_{DS} - \sqrt{U_k - U_{GS}}}{\sqrt{U_k - U_{GS0}}}$
	Zasićenje	$g_m = G_0 \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{U_k - U_{GS}}}{\sqrt{U_k - U_{GS0}}} \right)$
Izlazna dinamička vodljivost	Triodno	$g_d = G_0 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{U_k - U_{GS} + U_{DS}}{U_k - U_{GS0}}} \right)$
	Zasićenje	$g_d = I_D \cdot (1 + \lambda \cdot U_{DS})$
Faktor pojačanja		$\mu = \frac{g_m}{g_d}$

Dinamički parametri JFET-a (p-kanalni)

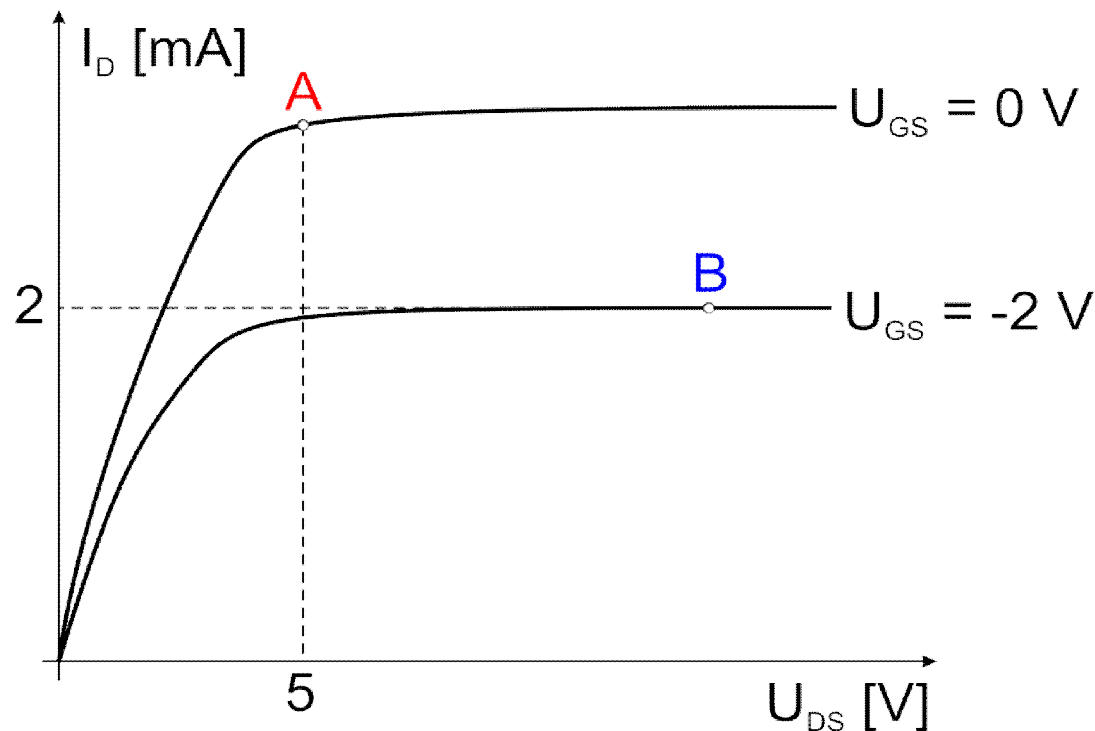
Parametar	Područje	Izraz
Strmina	Triodno	$g_m = G_0 \cdot \frac{\sqrt{U_k + U_{GS}} - \sqrt{U_k + U_{GS} - U_{DS}}}{\sqrt{U_k + U_{GS0}}}$
	Zasićenje	$g_m = G_0 \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{U_k + U_{GS}}}{\sqrt{U_k + U_{GS0}}} \right)$
Izlazna dinamička vodljivost	Triodno	$g_d = G_0 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{U_k + U_{GS} - U_{DS}}{U_k + U_{GS0}}} \right)$
	Zasićenje	$g_d = I_D \cdot (1 + \lambda \cdot U_{DS})$
Faktor pojačanja		$\mu = \frac{g_m}{g_d}$

Zadatak 24.

- Za silicijski n-kanalni FET zadani su podaci: $N_A=10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $a=3 \text{ }\mu\text{m}$, $L/w=1$, $T=300 \text{ K}$. Odrediti:
 - a) Vodljivost potpuno otvorenog kanala;
 - b) Poluširinu b i vodljivost pri naponu $U_{GS}=1/2 U_{GS0}$.

Zadatak 25.

- Zadane su izlazne karakteristike silicijskog n-kanalnog FET-a. Treba odrediti sve dinamičke parametre u tačkama A i B, ako je poznato: $N_A = 1,2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $a = 2 \text{ }\mu\text{m}$, $\lambda = 0,01 \text{ V}^{-1}$, $T = 300 \text{ K}$.



Zadatak 26.

- Za silicijski p-kanalni FET zadani su podaci: $N_A=10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_D=5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $a=1 \text{ } \mu\text{m}$, $w/L=10$, $T=300 \text{ K}$. Odrediti struju odvoda I_D i strмину pri naponu $U_{DS}=-6 \text{ V}$ i naponima $U_{GS}=0 \text{ V}$, i $U_{GS}=2 \text{ V}$.