

## Elektronika 1

### Popis fizikalnih konstanti i formula

naboj elektrona	$q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$
masa slobodnog elektrona	$m_0 = 9,107 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Planckova konstanta	$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$
Boltzmannova konstanta	$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} = 8,620 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$
apsolutna dielektrička konstanta	$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm}$
relativne dielektričke konstante	$\varepsilon'_{Si} = 11,7$ $\varepsilon'_{SiO_2} = 3,9$
naponski ekvivalent temperature	$U_T = \frac{k T}{q} = \frac{T}{11600} \text{ V}$
energetski ekvivalent temperature	$E_T = k T = \frac{T}{11600} \text{ eV}$

### Osnove elektronike

napon na kondenzatoru:  $u_C(t) = U_{C0} + (U - U_{C0}) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) \right]$

### Električka svojstva poluvodiča

širina zabranjenog pojasa:  $E_G(T) = E'_{G0} + a T$

intrinzična koncentracija:  $n_i = C T^{3/2} \exp\left[-\frac{E_G(T)}{2 E_T}\right] = C_1 T^{3/2} \exp\left(-\frac{E'_{G0}}{2 E_T}\right)$

poluvodič	$E'_{G0}, \text{ eV}$	$a, \text{ eV/K}$	$C, \text{ K}^{-3/2} \text{ cm}^{-3}$	$C_1, \text{ K}^{-3/2} \text{ cm}^{-3}$
Si	1,196	$-2,55 \cdot 10^{-4}$	$7,07 \cdot 10^{15}$	$3,07 \cdot 10^{16}$
Ge	0,776	$-3,85 \cdot 10^{-4}$	$1,61 \cdot 10^{15}$	$1,51 \cdot 10^{16}$
GaAs	1,556	$-4,52 \cdot 10^{-4}$	$2,88 \cdot 10^{14}$	$4,00 \cdot 10^{15}$

koncentracija elektrona:  $n_0 = N_c \exp\left(\frac{E_F - E_c}{E_T}\right) = n_i \exp\left(\frac{E_F - E_{Fi}}{E_T}\right)$

koncentracija šupljina:  $p_0 = N_v \exp\left(\frac{E_v - E_F}{E_T}\right) = n_i \exp\left(\frac{E_{Fi} - E_F}{E_T}\right)$

efektivne gustoće kvantnih stanja:  $N_c = N_v = C T^{3/2}$

gustoća struje elektrona:  $J_n = q n \mu_n F + q D_n \frac{dn}{dx}$

gustoća struje šupljina:  $J_p = q p \mu_p F - q D_p \frac{dp}{dx}$

Einsteinova jednačina:  $D = U_T \mu$

### Poluvodičke diode

kontaktni potencijal:  $U_K = U_T \ln\left(\frac{n_{0n} p_{0p}}{n_i^2}\right)$

širina osiromašenog sloja:  $d_B = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right) (U_K - U)}$

maksimalno električno polje:  $F_{\max} = \left| \frac{2(U_K - U)}{d_B} \right|$

Boltzmannove jednačine:  $n_{p0} = n_{0p} \exp\left(\frac{U}{U_T}\right), p_{n0} = p_{0n} \exp\left(\frac{U}{U_T}\right)$

struje zasićenja:  $I_S = I_{Sn} + I_{Sp} = q S \left( D_n \frac{n_{0p}}{L_n} + D_p \frac{p_{0n}}{L_p} \right)$

$$I_S = I_{Sn} + I_{Sp} = q S \left( D_n \frac{n_{0p}}{W_p} + D_p \frac{p_{0n}}{W_n} \right)$$

difuzijska duljina:  $L = \sqrt{D \tau}$

struje manjinskih nosilaca:  $I_n = \frac{Q_n}{\tau_n}$  ili  $I_n = \frac{Q_n}{t_n}$

$$I_p = \frac{Q_p}{\tau_p} \text{ ili } I_p = \frac{Q_p}{t_p}$$

vrijeme proleta:  $t = \frac{W^2}{2D}$

difuzijski kapacitet:  $C_d = g_d \frac{\tau}{2}$

kapacitet osiromašenog sloja:  $C_B = \varepsilon \frac{S}{d_B}$

## Sklopovi s diodom

efektivna vrijednost napona valovitosti:  $U_{izef} = \sqrt{U_{IZ}^2 + U_{izvef}^2}$

faktor valovitosti:  $r = \frac{U_{izvef}}{U_{IZ}}$

ispravljač	otporno opterećenje		kapacitivno opterećenje	
poluvalni	$U_{IZ} = \frac{U_{sm}}{\pi}$	$U_{izef} = \frac{U_{sm}}{2}$	$U_{izvm} = U_{izm} \frac{T}{2\tau}$	$U_{izvef} = \frac{U_{izvm}}{\sqrt{3}}$
punovalni	$U_{IZ} = \frac{2U_{sm}}{\pi}$	$U_{izef} = \frac{U_{sm}}{\sqrt{2}}$	$U_{izvm} = U_{izm} \frac{T}{4\tau}$	$U_{izvef} = \frac{U_{izvm}}{\sqrt{3}}$

## Unipolarni tranzistori

struja odvoda MOSFET-a:  $i_D = K \left[ (u_{GS} - U_{GS0}) u_{DS} - \frac{u_{DS}^2}{2} \right]$

$$i_D = \frac{K}{2} (u_{GS} - U_{GS0})^2 (1 + \lambda u_{DS})$$

strujni koeficijent  $K = \mu C_{ox} \frac{W}{L}$

za  $n$ -kanalni MOSFET  $\rightarrow K > 0, \lambda > 0$

za  $p$ -kanalni MOSFET  $\rightarrow K < 0, \lambda < 0$

struja odvoda JFET-a:  $i_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{u_{GS}}{U_P} \right)^2 (1 + \lambda u_{DS})$

za  $n$ -kanalni JFET  $\rightarrow I_{DSS} > 0, U_P < 0, \lambda > 0$

za  $p$ -kanalni JFET  $\rightarrow I_{DSS} < 0, U_P > 0, \lambda < 0$

## Sklopovi s unipolarnim tranzistorima

napon praga okidanja:  $U_{PO} = \frac{r(U_{DD} + U_{GS0p}) + U_{GS0n}}{1 + r}$

$$r = \sqrt{-K_p / K_n}$$

vremena kašnjenja  $t_{dVN} \approx \frac{C_T U_{DD}}{K_n (U_{DD} - U_{GS0n})^2}$

$$t_{dNV} \approx \frac{C_T U_{DD}}{-K_p (U_{DD} + U_{GS0p})^2}$$

## Bipolarni tranzistori

struja zasićenja:      za  $nnp \rightarrow I_{CB0} > 0$ ,

za  $pnnp \rightarrow I_{CB0} < 0$ ,

faktori:

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{D_E w_B N_B}{D_B L_E N_E}} \quad \text{ili} \quad \gamma = \frac{1}{1 + \frac{D_E w_B N_B}{D_B w_E N_E}}$$

$$\beta^* = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{w_B}{L_B} \right)^2,$$

naboj u bazi:

$$Q_B = t_{tr} \gamma |I_E| = \tau_B I_R,$$

struja kolektora:

$$i_C = \beta i_B \left( 1 + \frac{u_{CE}}{U_A} \right),$$

za  $nnp \rightarrow U_A > 0$

za  $pnnp \rightarrow U_A > 0$