

str. 225 - 2. red iznad slike 6.13

$$I_{DSS} = 10 \text{ mA},$$

komentar:  $I_{DSS}$  umjesto  $I_{DDSS}$

str. 227 - jednačba (6.23)

$$u_{gs} \ll 2(U_{GSQ} - U_{GS0}). \quad (6.23)$$

komentar: bez strujnog koeficijenta  $K$

str. 234 – jednačba (6.40)

$$u_{iz} = -(R_D \parallel R_T) i_d, \quad (6.40)$$

komentar: nedostaje predznak minus

str. 236 do 238 – Primjer 6.7

komentar: zbog numeričkih pogrešaka slijedi kompletan ispravljeni primjer

---

### Primjer 6.7

U pojačalu na slike 6.19 zadano je:  $U_{DD} = 20 \text{ V}$ ,  $R_g = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_G = 2 \text{ M}\Omega$ ,  $R_D = 5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_S = 400 \Omega$  i  $R_T = 7.5 \text{ k}\Omega$ . Parametri  $n$ -kanalnog spojnog FET-a su  $I_{DDSS} = 10 \text{ mA}$ ,  $U_P = -2 \text{ V}$  i  $\lambda = 0,005 \text{ V}^{-1}$ . Odrediti statičku radnu točku sklopa, naponska pojačanja  $A_V = u_{iz} / u_{ul}$  i  $A_{Vg} = u_{iz} / u_g$ , te ulazni i izlazni otpor pojačala.

Rješenje:

Napon  $U_{GSQ}$  i struja  $I_{DQ}$  u statičkoj radnoj točki određuju se iz jednačbe ulaznog kruga

$$0 = U_{GSQ} + R_S I_{DQ}$$

i izraza za struju spojnog FET-a u području zasićenja

$$I_{DQ} = I_{DSS} \left( 1 - \frac{U_{GSQ}}{U_P} \right)^2.$$

Pri proračunu statičke radne točke zanemaruje se porast struje odvoda u području zasićenja. Iz gornje dvije jednačbe dobiva se kvadratna jednačba

$$I_{DQ} = I_{DSS} \left( 1 - \frac{U_{GSQ}}{U_P} \right)^2 = -\frac{U_{GSQ}}{R_S}$$

$$U_{GSQ}^2 + \left( \frac{U_P^2}{R_S I_{DSS}} - 2U_P \right) U_{GSQ} + U_P^2 = 0$$

Uvrštenjem zadanih vrijednosti dobiva se

$$U_{GSQ}^2 + 5U_{GSQ} + 4 = 0,$$

odakle je

$$U_{GSQ} = -2,5 \pm \sqrt{2,5^2 - 4} = -2,5 \pm 1,5 \text{ V},$$

Od dva matematička rješenja  $U_{GSQ} = -1 \text{ V}$  i  $U_{GSQ} = -4 \text{ V}$  fizikalno je realno rješenje  $U_{GSQ} = -1 \text{ V}$ , jer u vođenju spojnog FET-a napon  $U_{GS}$  mora biti pozitivniji od napona dodira  $U_P = -2 \text{ V}$ . Uz poznati napon  $U_{GSQ}$  izračunavaju se struja odvoda

$$I_{DQ} = -\frac{U_{GSQ}}{R_S} = -\frac{-1}{0,4} = 2,5 \text{ mA}$$

i napon  $U_{DSQ}$

$$U_{DSQ} = U_{DD} - (R_D + R_S)I_{DQ} = 20 - (5 + 0,4) \cdot 2,5 = 6,5 \text{ V},$$

Da bi  $n$ -kanalni spojni FET radio o području zasićenja treba biti  $U_{DSQ} > U_{GSQ} - U_P$ . Kako vrijedi  $U_{GSQ} - U_P = -1 + 2 = 1 \text{ V}$  navedeni uvjet je ispunjen i FET radi u području zasićenja.

Pri određivanju dinamičkih parametara struja odvoda spojnog FET-a u području zasićenja može se pisati u obliku

$$i_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{u_{GS}}{U_P} \right)^2 (1 + \lambda u_{DS}).$$

Parametri su

$$\begin{aligned} g_m &= \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_Q = -\frac{2I_{DSS}}{U_P} \left( 1 - \frac{U_{GSQ}}{U_P} \right) (1 + \lambda U_{DSQ}) = \\ &= -\frac{2 \cdot 10}{-2} \cdot \left( 1 - \frac{-1}{-2} \right) \cdot (1 + 0,005 \cdot 6,5) = 5,16 \text{ mA/V}, \end{aligned}$$

$$r_d = \frac{1}{\lambda I_{DQ}} = \frac{1}{0,005 \cdot 2,5} = 80 \text{ k}\Omega,$$

$$\mu = g_m r_d = 5,16 \cdot 80 = 413.$$

Iz dinamičke analize slijedi

$$A_V = \frac{u_{iz}}{u_{ul}} = \frac{-\mu(R_D \parallel R_T)}{(1+\mu)R_S + r_d + R_D \parallel R_T} = \frac{-413 \cdot (5 \parallel 7,5)}{(1+413) \cdot 0,4 + 80 + 5 \parallel 7,5} = -4,98,$$

$$R_{ul} = R_G = 2 \text{ M}\Omega,$$

$$A_{Vg} = \frac{u_{iz}}{u_g} = \frac{u_{iz}}{u_{ul}} \frac{u_{ul}}{u_g} = A_V \frac{R_G}{R_g + R_G} = -4,98 \cdot \frac{2000}{1 + 2000} = -4,98,$$

$$R_{iz} = R_D \parallel [(1+\mu)R_S + r_d] = 5 \parallel [(1+413)0,4 + 80] = 5 \parallel 245 = 4,90 \text{ k}\Omega.$$

Primjenom pojednostavljenog izraza za naponsko pojačanje dobiva se

$$A_V \approx \frac{-g_m(R_D \parallel R_T)}{1 + g_m R_S} = \frac{-5,16 \cdot (5 \parallel 7,5)}{1 + 5,16 \cdot 0,4} = -5,05.$$

To je rezultat gotovo jednak onom koji je dobiven točnim izrazom za pojačanje. Bez degeneracije pojačanje sklopa bilo bi  $-g_m(R_D \parallel R_T) = -5,16 \cdot (5 \parallel 7,5) = -15,5$ .

---

str. 240 – jednađžba (6.55)

$$i_{ul} = \frac{u_{ul}}{R_S} - i_d = \frac{u_{ul}}{R_S} + \frac{u_{ul}}{(r_d + R_D \parallel R_T)(1+\mu)} \quad (6.55)$$

komentar:  $-i_d$  umjesto  $+i_d$

str. 241 do 242 – Primjer 6.8

komentar: zbog numeričkih pogrešaka slijedi kompletan ispravljeni primjer

---

### Primjer 6.8

U pojačalu na slike 6.22b zadano je:  $U_{DD} = 20 \text{ V}$ ,  $R_g = 500 \Omega$ ,  $R_D = 5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_S = 400 \Omega$  i  $R_T = 7,5 \text{ k}\Omega$ . Parametri  $n$ -kanalnog spojnog FET-a su  $I_{DDs} = 10 \text{ mA}$ ,  $U_P = -2 \text{ V}$  i  $\lambda = 0,005 \text{ V}^{-1}$ . Odrediti naponska pojačanja  $A_V = u_{iz} / u_{ul}$  i  $A_{Vg} = u_{iz} / u_g$ , te ulazni i izlazni otpor pojačala.

Rješenje:

Statička radna točka pojačala i dinamički parametri FET-a jednaki su statičkoj radnoj točki i dinamičkim parametrima pojačala iz primjera 6.6. Rezultati su  $U_{GSQ} = -1 \text{ V}$ ,  $I_{DQ} = 2,5 \text{ mA}$ ,  $U_{DSQ} = 6,5 \text{ V}$ ,  $g_m = 5,16 \text{ mA/V}$ ,  $r_d = 80 \text{ k}\Omega$  i  $\mu = 413$ .

Za dinamičku analizu vrijedi

$$A_V = \frac{u_{iz}}{u_{ul}} = \frac{(1+\mu)(R_D \parallel R_T)}{r_d + R_D \parallel R_T} = \frac{(1+413)(5 \parallel 7,5)}{80 + 5 \parallel 7,5} = 15,$$

$$R_{ul} = R_S \parallel \frac{r_d + R_D \parallel R_T}{1 + \mu} = 0,5 \parallel \frac{80 + 5 \parallel 7,5}{1 + 413} = 0,4 \parallel 0,200 = 133 \Omega,$$

$$A_{vg} = \frac{u_{iz}}{u_g} = \frac{u_{iz}}{u_{ul}} \frac{u_{ul}}{u_g} = A_V \frac{R_{ul}}{R_g + R_{ul}} = 15 \cdot \frac{133}{500 + 133} = 3,15,$$

$$R_{iz} = R_D \parallel [r_d + (1 + \mu)(R_S \parallel R_g)] = 5 \parallel [80 + (1 + 413)(0,4 \parallel 0,5)] = 5 \parallel 172 = 4,86 \text{ k}\Omega.$$

Pojednostavljenim izrazima dobiva se

$$A_V \approx g_m (r_d \parallel R_D \parallel R_T) = 5,16 \cdot (80 \parallel 5 \parallel 7,5) = 14,9,$$

$$R_{ul} \approx R_S \parallel \frac{1}{g_m} = 0,4 \parallel \frac{1}{5,16} = 131 \Omega.$$

Točni i pojednostavljeni izrazi daju gotovo jednake rezultate. Pojačalo u spoju zajedničke upravljačke elektrode odlikuje se pozitivnim naponskim pojačanjem i malim ulaznim otporom. U izlaznom otporu pojačala, veliki izlazni otpor FET-a smanjen je otporom otpornika  $R_D$ . Mali ulazni otpor utječe na smanjenje pojačanja  $A_{vg}$  u odnosu na  $A_V$ .

---

str. 245 – Primjer 6.9 - 5. jednadžba odozgo

$$U_{GSQ} = 0,875 \pm \sqrt{0,875^2 + 1,675} = 0,875 \pm 1,562 \text{ V},$$

komentar: nakon drugog znaka jednakosti bez predznaka minus

str. 245 – Primjer 6.9 – 2. jednadžba odozdo

$$r_d = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial i_D} \right|_Q = \frac{1}{\lambda I_{DQ}} = \frac{1}{0,005 \cdot 2,07} = 96,6 \text{ k}\Omega.$$

komentar: otpor u k $\Omega$

str. 251 – 4. i 5. red odozdo

... odgovaraju istim točkama na slikama 6.30a i 6.29a.

komentar: na slici 6.29a treba bi biti točka A, a na slici 6.30a točka B da bi te oznake odgovarale oznakama na slici 6.31

str. 252 – 1. red iznad primjera 6.10

$$U_{PO} = U_{DD} / 2$$

komentar:  $U_{PO}$  umjesto  $U_P$

str. 252 – 3. red odozdo

$$U_{PO} = U_{DD} / 2 = 1,25 \text{ V}$$

komentar:  $U_{PO}$  umjesto  $U_P$

str. 253 – 1. jednadžba odozdo

$$U_{PO} = \frac{r(U_{DD} + U_{GS0p}) + U_{GS0n}}{1 + r} = \frac{1,73 \cdot (2,5 - 0,5) + 0,5}{1 + 1,73} = 1,45 \text{ V}.$$

komentar: korigirani su iznosi napona i napon praga okidanja

str. 255 – jednadžba (6.88)

$$i_{Dn} dt = -C_T du_{IZ}. \quad (6.88)$$

komentar:  $du_{IZ}$  umjesto  $u_{IZ}$

str. 258 – jednadžba (6.96)

$$E_C = \int_0^\infty i_{DD} u_{IZ} dt = \int_0^\infty C_T \frac{du_{IZ}}{dt} u_{IZ} dt = C_T \int_0^{U_{DD}} u_{IZ} du_{IZ} = \frac{C_T U_{DD}^2}{2}. \quad (6.96)$$

komentar:  $C_T$  umjesto  $C_P$

str. 276 – jednadžba (7.16)

$$n_B = n_{Bw} + (n_{B0} - n_{Bw}) \frac{w_B - x_B}{w_B}. \quad (7.16)$$

komentar:  $n_{Bw}$  umjesto  $n_{0B}$

str. 278 – jednadžba (7.24)

$$n_B = n_{Bw} + (n_{B0} - n_{Bw}) \frac{\text{sh}\left(\frac{w_B - x_B}{L_{nB}}\right)}{\text{sh}\left(\frac{w_B}{L_{nB}}\right)}, \quad (7.24)$$

komentar:  $n_{Bw}$  umjesto  $n_{0B}$

str. 280 – Primjer 7.2 – 4. jednadžba odozdo

$$I_{pE} = q S D_{pE} \frac{p_{E0}}{L_{pE}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot \frac{1,81 \cdot 10^{12}}{20 \cdot 10^{-4}} = 11,6 \mu\text{A}.$$

komentar: struja  $I_{pE}$  je  $11,6 \mu\text{A}$ .

str. 280 – Primjer 7.2 – 3. jednađžba odozdo

$$I_E = -I_{pE} - I_{nE} = -11,6 \cdot 10^{-6} - 5,79 \cdot 10^{-3} = -5,80 \text{ mA} .$$

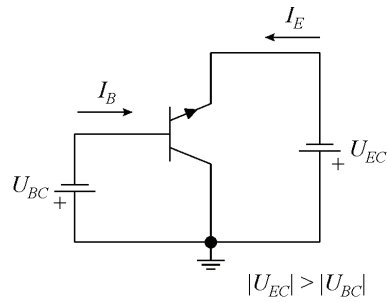
komentar: struja  $I_{pE}$  je  $11,6 \mu\text{A}$ .

str. 281 – Primjer 7.2 – 3. jednađžba odozgo

$$I_B = I_{pE} + I_R - I_{CB0} \doteq I_{pE} + I_R = 11,6 \cdot 10^{-6} + 12,9 \cdot 10^{-6} = 24,5 \mu\text{A} .$$

komentar: struja  $I_{pE}$  je  $11,6 \mu\text{A}$ , a struja  $I_B$  je  $24,5 \mu\text{A}$ .

str. 287 – slika 7.11c



komentar: pozitivni polovi naponskih izvora  $U_{BC}$  i  $U_{EC}$  spojeni su na masu