

str. 10 – Slika 1.7

u_{g2} (na tranzistoru T_1) $\rightarrow u_{g1}$

komentar: na bazu tranzistora T_1 spojen naponski izvor u_{g1} , a ne u_{g2} .

str. 16 do 17 – Primjer 1.5

komentar: zbog numeričkih pogrešaka slijedi kompletan ispravljeni primjer

Primjer 1.5

Za diferencijsko pojačalo iz primjera 1.4 za asimetrični izlaz $u_{iz} = u_{iz2}$ izračunati naponska pojačanja zajedničkog i diferencijskog signala A_{Vz} i A_{Vd} , te faktor potiskivanja ρ . Parametri svih tranzistora su $h_{fe} = 100$ i $U_A = 200$ V, a naponski ekvivalent temperature $U_T = 25$ mV.

Rješenje:

Dinamički parametri tranzistora T_1 , T_2 i T_3 određuju se iz rezultata statičke analize izračunatih u primjeru 1.4

$$r_{be1} = r_{be2} = \frac{U_T}{I_{BQ1}} = \frac{0,025}{0,0155} = 1,61 \text{ k}\Omega,$$

$$r_{be3} = \frac{U_T}{I_{BQ3}} = \frac{0,025}{0,0313} = 799 \Omega,$$

$$r_{ce1} = r_{ce2} = \frac{U_{CEQ1} + U_A}{I_{CQ1}} = \frac{13,4 + 200}{1,55} = 138 \text{ k}\Omega,$$

$$r_{ce3} = \frac{U_{CEQ3} + U_A}{I_{CQ3}} = \frac{7,34 + 200}{3,13} = 66,2 \text{ k}\Omega.$$

U proračunu dinamičkog otpora strujnog izvora vrijedi

$$R = R_B + r_{be3} + R_E = 1,02 + 0,799 + 2,2 = 4,02 \text{ k}\Omega,$$

$$R_{iz3} = r_{ce3} + \left(1 + \frac{h_{fe} r_{ce3} - R_E}{R}\right) R_E = 66,2 + \left(1 + \frac{100 \cdot 66,2 - 2,2}{4,02}\right) \cdot 2,2 = 3690 \text{ k}\Omega.$$

Naponska pojačanja zajedničkog i diferencijskog signala računaju se prema

$$A_{Iz} = \frac{i_{iz}}{i_{bz2}} = - \frac{h_{fe} r_{ce2} - 2 R_{iz3}}{R_{C2} + r_{ce2} + 2 R_{iz3}} = - \frac{100 \cdot 138 - 2 \cdot 3690}{1,5 + 138 + 2 \cdot 3690} = -0,854,$$

$$A_{Vz} = \frac{u_{iz}}{u_z} = A_{Iz} \frac{R_{C2}}{R_{g2} + r_{be2} + 2 R_{iz3} (1 - A_{Iz})} =$$

$$= -0,854 \cdot \frac{1,5}{0,5 + 1,61 + 2 \cdot 3690 \cdot (1 + 0,854)} = -9,36 \cdot 10^{-5} ,$$

$$A_{Vd} = \frac{u_{iz}}{u_d} = \frac{-h_{fe} R_{C2}}{2(R_{g2} + r_{be2})} = \frac{-100 \cdot 1,5}{2 \cdot (0,5 + 1,61)} = -35,6 .$$

Faktor potiskivanja je

$$\rho = \frac{|A_{Vd}|}{|A_{Vz}|} = \frac{35,6}{9,36 \cdot 10^{-5}} = 3,80 \cdot 10^5 ,$$

a u decibelima iznosi

$$\rho = 20 \log(3,80 \cdot 10^5) = 112 \text{ dB} .$$

Zbog velikog izlaznog otpora strujnog izvora R_{iz3} iznos naponskog pojačanja A_{Vz} je za preko 1000 puta manji, a faktor potiskivanja ρ je za preko 1000 puta veći od istih veličina kod diferencijskog pojačala s emitorskim otpornikom iz primjera 1.2. Pri tome se naponsko pojačanje A_{Vd} praktički nije promijenilo.

str. 17 do 18 – Primjer 1.6

komentar: zbog numeričkih pogrešaka slijedi kompletan ispravljeni primjer

Primjer 1.6

Na diferencijsko pojačalo iz primjera 1.5 priključeni su sinusni signali $u_{g1} = U_{g1m} \sin \omega t$ i $u_{g2} = U_{g2m} \sin \omega t$. Izračunati izlazni napon $u_{iz} = u_{iz2}$ za

- $U_{g1m} = -5 \text{ mV}$ i $U_{g2m} = 5 \text{ mV}$, te
- $U_{g1m} = 20 \text{ mV}$ i $U_{g2m} = 30 \text{ mV}$.

Rješenje:

Izlazni napon je

$$u_{iz} = U_{izm} \sin \omega t .$$

gdje su

$$U_{izm} = A_{Vd} U_{dm} + A_{Vz} U_{zm} ,$$

$$U_{dm} = U_{g2m} - U_{g1m} ,$$

$$U_{zm} = \frac{U_{g1m} + U_{g2m}}{2} .$$

Pojačanja iz primjera 1.5 su $A_{Vd} = -35,6$ i $A_{Vz} = -9,36 \cdot 10^{-5}$.

a) Za prvi slučaj vrijedi

$$U_{dm} = U_{g2m} - U_{g1m} = 5 + 5 = 10 \text{ mV},$$

$$U_{zm} = \frac{-5 + 5}{2} = 0,$$

$$U_{izm} = A_{Vd} U_{dm} + A_{Vz} U_{zm} = -35,6 \cdot 10 - 9,36 \cdot 10^{-5} \cdot 0 = -356 \text{ mV},$$

$$u_{iz} = U_{izm} \sin \omega t = -356 \sin \omega t \text{ mV}.$$

Na diferencijско pojačalo priključen je samo diferencijски signal.

b) U drugom je slučaju

$$U_{dm} = U_{g2m} - U_{g1m} = 30 - 20 = 10 \text{ mV},$$

$$U_{zm} = \frac{20 + 30}{2} = 25 \text{ mV},$$

$$U_{izm} = A_{Vd} U_{dm} + A_{Vz} U_{zm} = -35,6 \cdot 10 - 9,36 \cdot 10^{-5} \cdot 25 = -356 - 0,002 = -356 \text{ mV},$$

$$u_{iz} = U_{izm} \sin \omega t = -356 \sin \omega t \text{ mV}.$$

U odnosu na prvi slučaj ulazni diferencijски signal ostao je isti, ali je prisutan i ulazni zajednički signal. Iako 2,5 puta veći od diferencijskog signala, zajednički je signal zbog malog pojačanja A_{Vz} potpuno potisnut i ne doprinosi promjeni izlaznog napona.

Budući da mu je iznos pojačanja A_{Vz} znatno manji od iznosa istog pojačanja diferencijskog pojačala s emitorskim otpornikom, diferencijско pojačalo sa strujnim izvorom znatno bolje potiskuje ulazni zajednički signal.

str. 19 – jednadžba (1.43)

$$A_{Vz2} = \frac{u_{iz2}}{u_z} = \frac{u_{iz1}}{u_z} = A_{Vz1}$$

komentar: u_{iz1} umjesto u_{uz1} .

str. 19 – jednadžba (1.45)

$$A_{Vd2} = \frac{u_{iz2}}{u_d} = -\frac{u_{iz1}}{u_d} = -A_{Vd1}$$

komentar: u_{iz1} umjesto u_{uz1} .

str. 20 – Slika 1.7

u_{BE1} na tranzistoru T_1 i u_{BE2} na tranzistoru T_2

komentar: dodani naponi u_{BE1} i u_{BE2} .

str. 26 – jednađžba (1.69)

$$\rho = \frac{|A_{Vd}|}{|A_{Vz}|} = (1 + \mu) \frac{R_S}{r_{d2} + R_{D2}} + \frac{1}{2}$$

komentar: zadnji član je 1/2 a ne 2.

str. 33 – 1. red odozgo

$$\rho = \frac{|A_{Vd}|}{|A_{Vz}|} = \frac{4,95}{9,77 \cdot 10^{-3}} = 506$$

komentar: bez 55,3 dB.

str. 35 – 4. i 5. red odozgo

Rezultat je povećanje struje i_{D2} i smanjenje struje i_{D1} , ...

komentar: zamjena struja i_{D1} i i_{D2} .

str. 40 – jednađžba (2.14)

$$U_{CEQ2} = U_{CC} - R_{C2} I_{CQ2} - R_{E2} (I_{BQ2} + I_{CQ2}) \approx U_{CC} - (R_{C2} + R_{E2}) I_{CQ2}$$

komentar: predznak – a ne + ispred R_{C2} .

str. 40 do 41 – Primjer 2.1

komentar: zbog numeričkih pogrešaka slijedi kompletan ispravljeni primjer

Primjer 2.1

U pojačalu sa slike 2.2 zadano je: $U_{CC} = 15 \text{ V}$, $R_g = 500 \Omega$, $R_1 = 300 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$, $R_{C1} = 8 \text{ k}\Omega$, $R_{E1} = 1 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 160 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 40 \text{ k}\Omega$, $R_{C2} = 5 \text{ k}\Omega$, $R_{E2} = 1,5 \text{ k}\Omega$ i $R_T = 5 \text{ k}\Omega$. Parametri oba *npn* bipolarne tranzistora su $\beta = 100$ i $U_\gamma = 0,7 \text{ V}$. Odrediti struje i napone tranzistora u statičkoj radnoj točki.

Rješenje:

Statičkom analizom prvog stupnja pojačala dobiva se

$$U_{BB1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{CC} = \frac{50}{300 + 50} \cdot 15 = 2,14 \text{ V} ,$$

$$R_{B1} = R_1 \parallel R_2 = 300 \parallel 50 = 23,3 \text{ k}\Omega ,$$

$$I_{BQ1} = \frac{U_{BB1} - U_{BEQ1}}{R_{B1} + (1 + \beta) R_{E1}} = \frac{U_{BB1} - U_\gamma}{R_{B1} + (1 + \beta) R_{E1}} = \frac{2,14 - 0,7}{23,3 + 101 \cdot 1} = 0,0116 \text{ mA} = 11,6 \text{ }\mu\text{A} ,$$

$$I_{CQ1} = \beta I_{BQ1} = 100 \cdot 0,0116 = 1,16 \text{ mA} ,$$

$$U_{CEQ1} = U_{CC} - (R_{C1} + R_{E1}) I_{CQ1} = 15 - (8 + 1) \cdot 1,16 = 4,56 \text{ V} .$$

Za drugi stupanj vrijedi

$$U_{BB1} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_{CC} = \frac{40}{160 + 40} \cdot 15 = 3,00 \text{ V} ,$$

$$R_{B2} = R_3 \parallel R_4 = 160 \parallel 40 = 32,0 \text{ k}\Omega ,$$

$$I_{BQ2} = \frac{U_{BB2} - U_{BEQ2}}{R_{B2} + (1 + \beta) R_{E2}} = \frac{U_{BB2} - U_\gamma}{R_{B2} + (1 + \beta) R_{E2}} = \frac{3,00 - 0,7}{32,0 + 101 \cdot 1,5} = 0,0125 \text{ mA} = 12,5 \text{ }\mu\text{A} ,$$

$$I_{CQ2} = \beta I_{BQ2} = 100 \cdot 0,0125 = 1,25 \text{ mA} ,$$

$$U_{CEQ2} = U_{CC} - (R_{C2} + R_{E2}) I_{CQ2} = 15 - (5 + 1,5) \cdot 1,25 = 6,88 \text{ V} .$$

Za oba izlazna napona vrijedi $U_{CEQ} > U_{BEQ}$ i tranzistori rade u normalnom aktivnom području.

str. 44 do 45 – Primjer 2.2

komentar: zbog numeričkih pogrešaka slijedi kompletan ispravljeni primjer

Primjer 2.2

Za kaskadno pojačalo iz primjera 2.1 odrediti pojačanja $A_V = u_{iz}/u_{ul}$ i $A_I = i_{iz}/i_{ul}$, te ulazni i izlazni otpor pojačala. Za oba *nnp* bipolarne tranzistore $h_{fe} = 100$. Zanimariti porast struje kolektora u normalnom aktivnom području. Naponski ekvivalent temperature $U_T = 25 \text{ mV}$.

Rješenje:

Ulazni dinamički otpori u statičkoj radnoj točki su

$$r_{bel} = \frac{U_T}{I_{BQ1}} = \frac{0,025}{11,6 \cdot 10^{-6}} = 2,16 \text{ k}\Omega ,$$

$$r_{be2} = \frac{U_T}{I_{BQ2}} = \frac{0,025}{12,5 \cdot 10^{-6}} = 2,00 \text{ k}\Omega .$$

Uz zanemarenje porasta struje kolektora u normalnom aktivnom području izlazni dinamički otpori $r_{ce} \rightarrow \infty$.

Iz dinamičke analize slijedi

$$A_{V2} = \frac{u_{iz}}{u_2} = -h_{fe} \frac{R_{C2} \parallel R_T}{r_{be2}} = -100 \cdot \frac{5 \parallel 5}{2} = -125 ,$$

$$R_{ul2} = R_{B2} \parallel r_{be2} = 32 \parallel 2 = 1,88 \text{ k}\Omega ,$$

$$A_{I2} = \frac{i_{iz}}{i_2} = -h_{fe} \frac{R_{C2}}{R_{C2} + R_T} \frac{R_{B2}}{R_{B2} + r_{be2}} = -100 \cdot \frac{5}{5+5} \cdot \frac{32}{32+2} = -47,5 ,$$

$$A_{V1} = \frac{u_2}{u_{ul}} = -h_{fe} \frac{R_{C1} \parallel R_{ul2}}{r_{be1}} = -100 \cdot \frac{8 \parallel 1,88}{2,16} = -70,5 ,$$

$$R_{ul} = R_{ul1} = R_{B1} \parallel r_{be1} = 42,9 \parallel 2,16 = 2,06 \text{ k}\Omega ,$$

$$A_{I1} = \frac{i_2}{i_{ul}} = \frac{i_2}{i_{b1}} \frac{i_{b1}}{i_{ul}} = -h_{fe1} \frac{R_{C1}}{R_{C1} + R_{ul2}} \frac{R_{B1}}{R_{B1} + r_{be1}} = -100 \cdot \frac{8}{8+1,88} \cdot \frac{42,9}{42,9+2,16} = -77,1 ,$$

$$A_V = \frac{u_{iz}}{u_{ul}} = A_{V2} A_{V1} = -125 \cdot (-70,5) = 881 ,$$

$$A_I = \frac{i_{iz}}{i_{ul}} = A_{I2} A_{I1} = -47,5 \cdot (-77,1) = 366 ,$$

$$R_{iz} = R_{C2} = 5 \text{ k}\Omega .$$

Kaskadirañjem dva stupnja od kojih oba rade u spoju zajedničkog emitera postignuta su velika naponska i strujna pojačanja, veća nego što je to moguće ostvariti s jednostupanjskim pojačalom. Ulazni i izlazni otpor kaskadnog pojačala odgovaraju ulaznom i izlaznom otporu osnovnog pojačala s bipolarnim tranzistorom u spoju zajedničkog emitera.

str. 47 – jednađžba (2.32)

$$\begin{aligned} U_{CEQ2} &= -U_{CC} - (1 + \beta_2) I_{BQ2} R_{E2} - (I_{CQ2} + I_{BQ3}) R_{C2} \approx \\ &\approx -U_{CC} - I_{CQ2} (R_{E2} + R_{C2}) - I_{BQ3} R_{C2} , \end{aligned}$$

komentar: u zadnjem redu u drugom članu I_{CQ2} dolazi jedanput.

str. 47 – Primjer 2.3 – 1. red teksta

izostaviti podatak $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$

komentar: suvišan podatak.

str. 47 – Primjer 2.3 – 2. red teksta

$$R_{E2} = 500 \, \Omega$$

komentar: omi umjesto kilooma.

str. 48 – Primjer 2.3 – predzadnji red odozdo

$$U_{CEQ3} > U_{BEQ3} = 0,7 \, \text{V}$$

komentar: $U_{CEQ3} > U_{BEQ3} = 0,7 \, \text{V}$ umjesto $U_{CEQ2} < U_{BEQ2} = 0,7 \, \text{V}$.

str. 53 – 5. red iza jednadžbe (2.46)

$$I_B = I_{B1} \approx I_{B2} / \beta_1$$

komentar: β_1 umjesto β_2 .

str. 57 – 2. red teksta iza jednadžbe (2.62)

$$A_f \approx h_{fe1} h_{fe2}$$

komentar: bez r_{ce1} .

str. 58 – Primjer 2.6 – 2. red teksta

primjera 2.5

komentar: 2.5 umjesto 2.3.

str. 58 – Primjer 2.6 – 3. red teksta

$$h_{fe2} = 80$$

komentar: 80 umjesto 100.

str. 73 – jednadžba (3.22)

$$-u_{CE2} = U_{CC} + i_{iz} R_T = U_{CC} + i_{C2} R_T$$

komentar: u_{CE2} umjesto u_{CE1} .