ELEKTRONİK 2
ÖDEV-5 ÇÖZÜMLER

1) a) $R_1 = \dfrac{V_{CC} + V_{EE} - V_{EB3}}{I_{R1}}$

$I_{C1} = I_{R1} \cdot \dfrac{1}{1 + \frac{2}{\beta_F}} = 2 I_{E2}$ $\quad I_{C5} = \dfrac{V_{CC}}{R_4} = \dfrac{10}{10k} = 1mA$

$R_3 ( I_{C2} - I_{B5} ) = V_{BE3} + (R_5 + R_6) I_{E5}$

$47 \cdot 10^3 \left( I_{C2} - \dfrac{I_{C5}}{300} \right) = 0{,}7 + 4 \cdot 10^3 \cdot I_{C5} \dfrac{301}{300} \Rightarrow$

$I_{C2} = 103{,}6 \mu A$ $\quad I_{C4} = 2 I_{E2} = 2 \cdot 103{,}6 \cdot \dfrac{301}{300} = 207{,}9 \mu A$

$I_{R1} = I_{C4} \left( 1 + \dfrac{2}{\beta_F} \right) = 209{,}3 \mu A$

$R_1 = \dfrac{10 + 10 - 0{,}7}{209{,}3 \mu A} = 92212 \Omega$

b) $\dfrac{v_o}{v_i} = \dfrac{v_{e2}}{v_i} \cdot \dfrac{v_o}{v_{e2}} = -\left( \dfrac{R_3 // r_{o2} // R_{is}}{2 r_{e2}} \right) \left( \dfrac{R_4 // r_{o5}}{r_{e5} + R_5} \right)$

$r_{e2} = \dfrac{V_T}{I_{E2}} = \dfrac{26}{0{,}1039} = 250{,}2 \Omega$ $\quad r_{e5} = \dfrac{26}{1} = 26 \Omega$

$r_{o2} = \dfrac{V_A}{I_{C2}} = \dfrac{50}{103{,}6 \times 10^{-6}} = 482{,}6 k\Omega$, $\quad r_{o5} = \dfrac{V_A}{I_{C5}} = \dfrac{50}{10^{-3}} = 50k\Omega$

(2)

$R_{i5} = \beta_5 (r_{e5} + R_5) = 300(26+100) = 37800\Omega$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{v_{e2}}{v_i} \cdot \frac{v_o}{v_{e2}} = \left(\frac{47k \parallel 482{,}6k \parallel 37{,}8k}{2 \times 250{,}2}\right)\left(-\frac{10k \parallel 50k}{26+100}\right)$$

$$= 40{,}13 \times (-66{,}14) = \underline{-2654{,}2}$$

$R_i = 2\beta_F r_{e2} = 2 \times 300 \times 250{,}2 = 150{,}12\,k\Omega$

$$R_{o5} = r_{o5}\,\frac{\beta_F (R_5 + r_{e5}) + R_3}{\beta_F r_{e5} + R_5 + R_3} = 50k\,\frac{300(100+26)+47k}{300 \times 26 + 100 + 47k}$$

$$= 50k\,\frac{84800}{54900} = 77{,}23\,k\Omega$$

$R_o = R_{o5} \parallel R_4 = 77{,}23k \parallel 10k = 8854\Omega$

d) $V_n = V_{CEQ} - V_{CEsat}$

$V_{CC} + V_{EE} = V_{CE5} + R_4 I_{C5} + (R_5 + R_6) I_{E5} \quad \sim I_{C5}$

$20 = V_{CE5} + (10+4) \cdot 1 \Rightarrow V_{CE5} = 6\,V$

$V_n = 6 - 0{,}3 = 5{,}7\,V$

$V_p = R_{AC} \cdot I_{C5} = (R_4 + R_5) I_{C5} = 10{,}1k \cdot 1mA = 10{,}1V$

$V_{omax} = \min(V_n, V_p) = 5{,}7\,V$

$$V_{imax} = \frac{5{,}7}{2654{,}2} \cong 2{,}03\,mV$$

(2) 

a) $A_d = \dfrac{V_{o1}-V_{o2}}{V_{i1}-V_{i2}} = ?$ CMRR ?

$I_{D1} = I_{D3} = \dfrac{I_{SS}}{2} = 0{,}1mA$

$$A_d = \frac{V_{o1}-V_{o2}}{V_{i1}-V_{i2}} = -\frac{g_{m1}}{g_{m3}} = -\frac{\sqrt{2\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_1 I_{D1}}}{\sqrt{2\mu_p C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_3 I_{D3}}} = \sqrt{\frac{\mu_n\left(\frac{W}{L}\right)_1}{\mu_p\left(\frac{W}{L}\right)_3}}$$

Fark kazancı

$$A_d = -\sqrt{3 \cdot \frac{30}{10}} = -3$$

$$A_C = -\frac{1/g_{m3}}{2R_{SS} + 1/g_{m1}} = -\frac{g_{m1}}{g_{m3}}\frac{1}{2R_{SS}g_{m1}+1} = A_d\frac{1}{2R_{SS}g_{m1}+1}$$

ortak işaret kazancı

$$g_{m1} = \sqrt{2\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_1 I_{D1}} = \sqrt{2\times 135\times 10^{-6}\times 30\times 100\times 10^{-6}}$$

$$= 0{,}9mS$$

$$CMRR = 20\log\left|\frac{A_d}{A_c}\right| = 20\log(2R_{SS}\cdot g_{m1}+1) \Rightarrow$$

$$= 20\log(2\times 100\times 10^{3}\times 0{,}9\times 10^{-3}+1) = 20\log 181 = 45{,}15dB$$

b) $I_{D1} = I_{D3} + I_{D5}$ $\quad I_{D3} = I_{D1} - I_{D5} = \dfrac{5I_{SS}}{10} - \dfrac{4I_{SS}}{10}$

$$= \frac{I_{SS}}{10} = \frac{0{,}2mA}{10} = 20\mu A$$

$$A_d = \frac{V_{o1}-V_{o2}}{V_{i1}-V_{i2}} = -\frac{g_{m1}}{g_{m3}} = -\frac{\sqrt{2\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_1 I_{D1}}}{\sqrt{2\mu_p C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_3 I_{D3}}} \Rightarrow$$

$$= -\sqrt{\frac{\mu_n \left(\frac{W}{L}\right)_1 \frac{I_{SS}}{2}}{\mu_p \left(\frac{W}{L}\right)_3 \frac{I_{SS}}{10}}} = -\sqrt{3 \cdot \frac{30}{10} \cdot 5} = -3\sqrt{5}$$ (4)

$$= -6{,}71$$

$$CMRR = 20\log\left|\frac{A_d}{A_c}\right| = \underline{20\log\left(2R_{SS}\, g_{m_1} + 1\right)}$$

$\underline{g_{m_1}}$ aynı olduğundan CMRR'de aynıdır.

c) $g_{m_3}$ azaltılırsa, $A_d$ artar

(3) a) $T_1$ ve $T_2$ transistorları eş transistor olduğundan sükunet halinde baz ve kolektör akımları birbirine eşit olacaktır. Transistorların baz gerilimleri de simetriktir. O halde:

$$I_{C1} = I_{C2} = \beta_F \cdot \frac{V_{EE} - V_{BE1}}{R_1 + 2(\beta+1)R_3} = 200 \cdot \frac{12 - 0{,}6V}{100k + (2 \cdot 201 \cdot 100k)}$$

$$\cong 5{,}65 \cdot 10^{-5} A \cong 56{,}5\,\mu A$$

$$r_{e1} = r_{e2} = \frac{25mV}{56{,}5\mu A} \cong 442\,\Omega$$

$T_3$'ün baz geriliminden hareketle:

5

$$V_{CC} = R_4 \cdot (I_{B3} + I_{C2}) + V_{BE3} + R_6 I_{E3} - V_{EE}$$

$$V_{CC} + V_{EE} = R_4 (I_{C2} + I_{B3}) + V_{BE3} + R_6 (1+\beta) I_{B3}$$

$$I_{C3} = h_{FE} \frac{V_{CC} + V_{EE} - R_4 I_{C2} - V_{BE3}}{R_4 + R_6 (1+\beta)}$$

$$= 200 \cdot \frac{24 - 100k \cdot 56{,}5\mu A - 0{,}7}{100k + 10k \cdot 201}$$

$$\cong 1{,}67\,mA \qquad \boxed{r_{e3} = \frac{V_T}{I_{C3}} = 14{,}9\,\Omega}$$

b) Kaskat kuvvetlendiricinin gerilim kazancı katların kazançlarının çarpımına eşittir. $T_3$'den oluşan devre emetör çıkışlı bir kuvvetlendiricidir. Bu devrenin gerilim kazancı

$$K_{v3} = \frac{R_6}{r_{e3} + R_6} = \frac{10^4}{14{,}9 + 10^4} = 0{,}998$$

Uzun kuyruklu devrenin gerilim kazancı, $T_3$'ün bazından görülen dirençle de belirlenir. Bu direnç;

$$r_{i3} = \beta (r_{e3} + R_6) = 200 (14{,}9 + 10k) \cong 2002\,k\Omega$$

Bulunan $r_{i3}$ uzun kuyruklu devrenin yüküdür. Bununla beraber devrenin gerilim kazancı

$$K_{v2} = \frac{R_4 // r_{i3}}{2r_{e2} + \frac{R_5}{\beta}} = \frac{(100k // 2002k)}{2 \times 44{,}2\Omega + \frac{100k}{200}} \cong 68{,}8$$

$$K_v = K_{v2} \cdot K_{v3} = 68{,}8 \times 0{,}998 \cong 68{,}67$$

c) $r_i = R_1 // r_{i1}'$ $\quad r_{i1}' = 2h_{fe1} r_{e1} + R_5 = 2 \times 200 \cdot 44{,}2\Omega + 100k = 276{,}8k\Omega$

$$r_i = 100k // 276{,}8k \cong 73{,}46k\Omega$$

Kuvvetlendiricinin çıkış direnci, emetör çıkışlı bir devre olan $T_3$'ün emetöründen görülen dirençtir. Bu direnç

$r_o = R_6 // r_{o3}'$ $\quad r_{o3}' = r_{e3} + \frac{R_4}{\beta} = 14{,}9\Omega + \frac{100k}{200}$

$$r_{o3}' = 514{,}9$$

$$r_o = 10 \cdot 10^3 // 514{,}9 \cong 489{,}6\Omega$$