

Rıza Can TARCAN / Metin YAZGI / İnci ÇİLESİZ

BAŞARILAR DİLERİZ...

1. PROBLEM

a) İ.K.'ya negatif geribesleme (çıkışı ile negatif girişi direnç (R_F) ile bağlanmış) olduğundan $V_P=V_N$ (1) yazılabilir. Tabi bu durum çıkış kaynaklarının belirlediği sınır değerlere ulaşmadığı sürece geçerlidir. (1) ifadesi ve İK'nin girişlerinden akım çekmeyeceği bilgisi yardımıyla akım ve gerilim denklemleri yazılırsa

$$\frac{V_{in} - V_N}{R_I} = \frac{V_N - V_{out1}}{R_F} \Rightarrow \frac{V_{in} - 0.2V}{2k\Omega} = \frac{0.2V - V_{out1}}{15k\Omega} \quad (2) \text{ elde edilir.}$$

$$\Rightarrow V_{out1} = 1.7V - 7.5V_{in}$$

b) İK'nin çıkış gerilimi kaynakların belirlediği sınırları aşamaz. $-10V \leq V_{out1} \leq 10V$ (3) Buradan hareketle

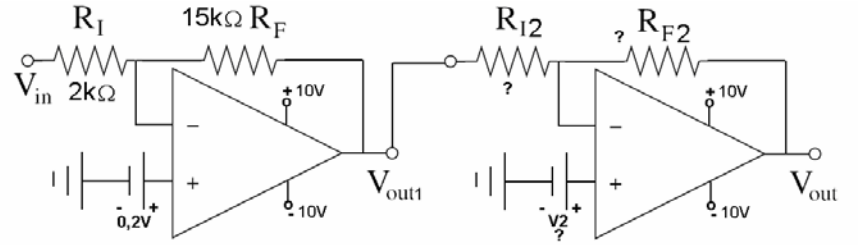
$$V_{in} = 2V \Rightarrow V_{out1} = 1.7V - 7.5V_{in} = -13.3V < -10V \Rightarrow V_{out1} = -10V \text{ elde edilir. Yani } V_{out1} -10V' \text{ ta sınırlanır.}$$

c) Toplam kazanç pozitif istendiğinden aynı konfigürasyona sahip devreden (faz çeviren kuvvetlendirici) bir tane daha kullanılarak çözüme ulaşılabılır. Devre Şekil-4'de verilmektedir. İkinci kat için süperpozisyon ilkesi uygulanırsa:

$$V_{out} = -\frac{R_{F2}}{R_{I2}} V_{out1} + (1 + \frac{R_{F2}}{R_{I2}}) V_2$$

$$15V_{in} = -\frac{R_{F2}}{R_{I2}} (1.7V - 7.5V_{in})$$

$$+ (1 + \frac{R_{F2}}{R_{I2}}) V_2$$



Şekil-4

sonucuna ulaşılır. Buradan V_{in} 'li ifadelerle kendi aralarında diğer ifadelerde kendi aralarında eşitlenirse

$$15V_{in} = -\frac{R_{F2}}{R_{I2}} (-7.5V_{in}) \Rightarrow \frac{R_{F2}}{R_{I2}} = 2$$

$$0 = -\frac{R_{F2}}{R_{I2}} 1.7V + (1 + \frac{R_{F2}}{R_{I2}}) V_2 \Rightarrow 0 = -2 \cdot 1.7V + (1 + 2) V_2 \Rightarrow V_2 = \frac{3.4V}{3} \cong 1.13V$$

$$R_{F2}=2k\Omega \quad R_{I2}=1k\Omega \text{ alınabilir}$$

2. PROBLEM

Probleme başlarken MOS devrelerde MOS transistörlerin doymada çalışması koşulunu sağlamaları gerektiğini anımsayalım.

$$V_{DS2} = V_{DD} - V_{SS} - I_{D2} R_{S2} = 5V - (-5V) - 0.5mA \cdot R_{S2} = 6V \text{ denklemden } R_{S2} = \underline{8k} \text{ olarak bulunduktan}$$

$$\text{sonra } I_{D2} = \left[\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} \right]_2 (V_{GS2} - V_{t2})^2 \Rightarrow V_{GS2} = \pm \sqrt{\frac{I_{D2}}{\left[\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} \right]_2}} + V_{t2} = \pm 1.58V - 1.2V \text{ den PMOS için}$$

$$\text{uygun çözüm } (V_{GS2} < V_{t2} \text{ olacak biçimde) } V_{GS2} = \underline{\underline{-2.78V}} \text{ ya da } V_{SG2} = \underline{\underline{2.78V}}$$

$$V_{S2} = V_{SS} + |V_{DS2}| = 1V \Rightarrow V_{G2} = V_{D1} = V_{S2} - V_{SG2} = 1V - 2,78V = \underline{\underline{-1,78V}} \text{ olduğu için}$$

$$R_{D1} = \frac{V_{DD} - V_{D1}}{I_{D1}} = \frac{5V + 1,78V}{0,2mA} = \underline{\underline{33k9}}$$

$$\text{Ayrıca } I_{D1} = \left[\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \right]_1 (V_{GS1} - V_{t1})^2 = 0,5m(V_{GS1} - 1,2V)^2 = 0,2mA \text{ denkleminde}$$

$$V_{GS1} = \pm \sqrt{\frac{I_{D1}}{\left[\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \right]_1}} + V_{t1} \text{ den NMOS için uygun çözüm olarak } V_{GS1} = \underline{\underline{1,83V}} \text{ elde edilir.}$$

$$V_{DS1} = V_{DD} - V_{SS} - I_{D1}(R_{D1} + R_{S1}) = 5V - (-5V) - 0,2mA \cdot (33k9 + R_{S1}) = 2V \text{ denkleminde}$$

$$R_{S1} = \frac{V_{S1} - V_{SS}}{I_{D1}} = \frac{-1,78V - 2V - (-5V)}{0,2mA} = \underline{\underline{6k1}} \text{ bulunur.}$$

$$I_{D1} = \left[\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \right]_1 (V_{GS1} - V_{t1})^2 = 0,5m(V_{GS1} - 1,2V)^2 = 0,2mA \text{ denkleminde de}$$

$$V_{GS1} = \pm \sqrt{\frac{I_{D1}}{\left[\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \right]_1}} + V_{t1} \text{ den } (V_{GS2} > V_{t2} \text{ olacak biçimde}) \text{ uygun çözüm olarak } V_{GS1} = \underline{\underline{1,83V}} \text{ elde edilir.}$$

Burada ilginç bir durumla karşılaşıyoruz: Baz bölücü dirençler öyle alınmalı ki 1. MOS'un geçidinde

$$V_{G1} = V_{GS1} + V_{S1} = 1,83V + (-1,78V - 2V) = -1,95V \text{ sağlansın.}$$

Geçitten içeri akım akmayacağına göre hem

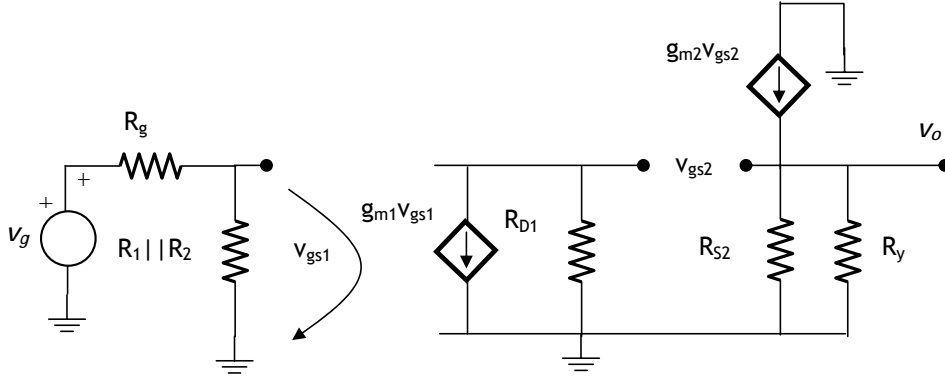
$$V_G = V_{DD} + \frac{R_2}{R_2 + R_1} [V_{DD} - V_{SS}] = V_{SS} + \frac{R_2}{R_2 + R_1} 10 = -1,95V \Rightarrow \frac{R_2}{R_2 + R_1} = \frac{-1,95 + 5}{10} = 0,305$$

$$\text{olacak hem de } r_i = R_1 \parallel R_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 100k \text{ olacak. Buradan kolaylıkla görürüz ki}$$

$$\frac{r_i}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100k}{R_1} = 0,305 \Rightarrow \underline{\underline{R_1 = 328k}} \text{ ve}$$

$$\frac{1}{r_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{100k} = \frac{1}{328k} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \underline{\underline{R_2 = 144k}}$$

Kazanç hesaplarına gelince



$$g_{m1} = \left[2\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \right]_1 (V_{GS1} - V_{t1}) = 2 * 0,5m * (1,83V - 1,2V) = \underline{\underline{0,63mA/V}}$$

$$g_{m2} = \left[2\mu_p C_{ox} \frac{W}{L} \right]_2 (V_{GS2} - V_{t2}) = 2 * 0,2m * (2,78V - 1,2V) = \underline{\underline{0,63mA/V}}$$

$$v_o = g_{m2} v_{gs2} (R_{S2} \parallel R_y) = g_{m2} (R_{S2} \parallel R_y) v_{gs2}$$

$$v_{gs2} = -g_{m1} v_{gs1} R_{D1} - v_o = -(g_{m1} v_{gs1} R_{D1} + v_o)$$

$$v_{gs1} = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_g + R_1 \parallel R_2} v_g = \frac{r_i}{R_g + r_i} v_g$$

$$v_o = -g_{m2} (R_{S2} \parallel R_y) [g_{m1} v_{gs1} R_{D1} + v_o]$$

$$v_o = -g_{m2} (R_{S2} \parallel R_y) \left[g_{m1} R_{D1} \left\{ \frac{r_i}{R_g + r_i} v_g \right\} + v_o \right]$$

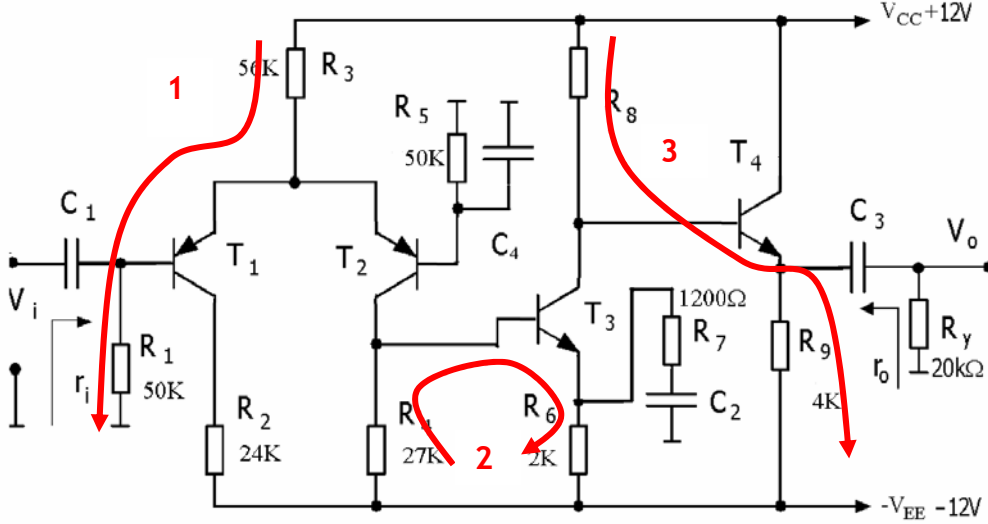
$$\frac{v_o}{v_g} = -\frac{g_{m1} g_{m2} R_{D1} (R_{S2} \parallel R_y)}{1 + g_{m2} (R_{S2} \parallel R_y)} \left(\frac{r_i}{R_g + r_i} \right) = -\frac{0,63 \cdot 0,63 \cdot 33k9(8k \parallel 4k)}{1 + 0,63(8k \parallel 4k)} \left(\frac{100k}{4k + 100k} \right) = \underline{\underline{-12,87}}$$

$r_o = R_{S2} = \underline{\underline{8k}}$ olduğu ise küçük işaret devresinden açıkça görülmektedir.

3. PROBLEM

1 numaralı çevrimde $I_E = I_{E1} + I_{E2}$ kabul ederek $V_{CC} = I_E R_E + V_{EB} + I_{B1} R_1$ ve $I_{B1} = I_{B2} = \frac{2I_E}{\beta_f}$

denklemlerinden $I_E = \underline{200\mu A}$ ve $r_{e1} = r_{e2} = r_e = \frac{V_T}{I_{E1}} = \underline{250\Omega}$ bulunur.



2 numaralı çevrimden $I_{C2} \cong I_{E2}$ kabulü ile $(I_{B3} - I_{C2})R_4 + V_{BE3} + I_{E3}R_6 = 0$ denkleminde

$$I_{E3} = \frac{I_{C2}R_4 - V_{BE3}}{\frac{R_4}{\beta_f} + R_6} \cong \underline{1mA} \text{ ve } r_{e3} = \underline{25\Omega} \text{ bulunur.}$$

$$V_{E4} = 0V \text{ olduğuna göre } V_{B4} = 0,6V \text{ ve } I_{E4} = \frac{0 - (-V_{EE})}{R_4} = \underline{3mA} \text{ ve } r_{e4} = \underline{8,33\Omega} \text{ bulunur.}$$

3 numaralı çevreden ise $\frac{V_{CC} - V_{B4}}{R_8} = I_{C3} + \frac{I_{E4}}{\beta_f}$ olacağından $I_{C3} \cong I_{E3} = \underline{1mA}$ olduğu düşünülürse

$$R_8 = \underline{11k265} \text{ bulunur.}$$

Devrenin giriş direnci $r_i' = \beta_f (r_{e1} + r_{e2} \parallel R_3)$ ve $r_i = r_i' \parallel R_1 = \underline{38k6}$

Emetör çıkışlı devrenin çıkış direnci $r_o = R_9 \parallel (\frac{R_8}{\beta_f} + r_{e4}) = \underline{44,5\Omega}$ olarak bulunur.

b. şıkkı:

$$r_{i3} = \beta_f (r_{e3} + R_6 \parallel R_7) = \underline{193k}$$

$$r_{i4} = \beta_f (r_{e4} + R_9 \parallel R_y) = \underline{835k}$$

$$K_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_{c3}} \cdot \frac{v_{c3}}{v_{c2}} \cdot \frac{v_{c2}}{v_{e1,2}} \cdot \frac{v_{e1,2}}{v_i} = \frac{R_9 \parallel R_y}{r_{e4} + R_9 \parallel R_y} \cdot \frac{-R_8 \parallel r_{i4}}{r_{e3} + R_6 \parallel R_7} \cdot \frac{R_4 \parallel r_{i3}}{r_{e2}} \cdot \frac{R_3 \parallel r_{e2}}{r_e + R_3 \parallel r_{e2}} \text{ olduğundan}$$

$$K_v = \frac{v_o}{v_i} = \underline{\underline{-687}} \text{ bulunur.}$$

Kazanç bulmak için bir başka yol da

$$K_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_{c3}} \cdot \frac{v_{c3}}{v_{c2}} \cdot \frac{v_{c2}}{v_i} = \frac{R_9 \parallel R_y}{r_{e4} + R_9 \parallel R_y} \cdot \frac{-R_8 \parallel r_{i4}}{r_{e3} + R_6 \parallel R_7} \cdot \frac{R_4 \parallel r_{i3}}{2r_e} \text{ olup sonuç yine aynı çıkar.}$$

$$CMRR = 20 \log \left| \frac{2R_E + r_e}{r_e} \right| = \underline{\underline{53dB}}$$

c. şıkkı:

Devrenin kazancı DC kutuplama koşulları değiştirilmeden (DC açıdan C_2 ve C_3 kapasiteleri tarafından yalıtıldıklarından) R_7 ve R_y dirençleri ile değiştirilebilir. $R_y \rightarrow \infty$ bile olsa son katın kazancı ancak 1 olacağından toplam kazanç çok az değişir. Bu durumda kazanç R_7 direnci ile değiştirilebilir.

$$K_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_{c3}} \cdot \frac{v_{c3}}{v_{c2}} \cdot \frac{v_{c2}}{v_i} = \frac{R_9 \parallel R_y}{r_{e4} + R_9 \parallel R_y} \cdot \frac{-R_8 \parallel r_{i4}}{r_{e3} + R_6 \parallel R_7} \cdot \frac{R_4 \parallel \beta_f (r_{e3} + R_6 \parallel R_7)}{2r_e} \text{ olduğundan}$$

$$K_v = \frac{v_o}{v_i} = 0,998 \cdot \frac{-11k115}{25\Omega + R_6 \parallel R_7} \cdot \frac{27k \parallel 250(25\Omega + R_6 \parallel R_7)}{250\Omega}$$

denkleminde $R_7 \rightarrow 0$ yani $R_6 \parallel R_7 = 0$ olursa $K_v = 0,998 \cdot \frac{-11k115}{25\Omega} \cdot \frac{27k \parallel 250(25\Omega)}{250\Omega} = -9003$ 'e kadar artmaktadır.

$$K_v = -1000 = 0,998 \cdot \frac{-11k115}{25\Omega + 2k \parallel R_7} \cdot \frac{27k \parallel 250(25\Omega + 2k \parallel R_7)}{250\Omega} \text{ sağlayan } R_7 = \underline{\underline{640\Omega}} \text{ olarak bulunur.}$$

d. şıkkı:

$$I_E = \frac{V_{CC} - (-V_{EE}) - V_{EB}}{R_K} = 200\mu A \text{ sağlayacak } R_K = \underline{\underline{117k}}$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_E} = \frac{150V}{200\mu A} = \underline{\underline{750k}}$$

$$CMRR = 20 \log \left| \frac{2r_o + r_e}{r_e} \right| = \underline{\underline{75dB}}$$