ELE222 ELEKTRONİĞE GİRİŞ (CRN: 11248, 11249, 11250)

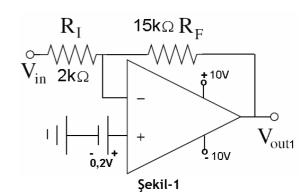
Yarıyılsonu Sınavı / 8 Ocak 2009 \$ 9.00-11.00 Rıza Can TARCAN / Metin YAZGI / İnci ÇİLESİZ

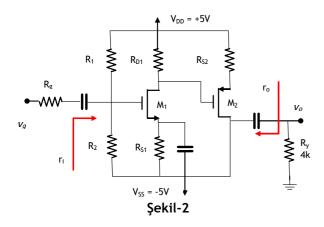
Bu sınavda çözüm için kullandığınız kağıtların yanında SADECE hesap makinası ve kendi el yazınız ile hazırlanmış A4 boyutlu 2 adet (arkalı-önlü) "kopya kağıdı" kullanma hakkınız var. Sınav sonunda kağıtlar toplanırken "kopya kağıdı"nızı sınav kağıtları ile beraber veriniz. Bulduğunuz sonuçların birimlerini yazmayı ve birim uyumuna dikkat etmeyi unutmayınız.

Soru-1 Şekil-1'de işlemsel kuvvetlendirici kullanılarak tasarlanmış bir kuvvetlendirici devresi görülmektedir.

- a) Şekil-1'deki devrede V_{out1} gerilimini V_{in} 'e bağlı olarak bulunuz. (10)
- b) Şekil-1'deki işlemsel kuvvetlendirici +10V ve -10V luk kaynaklarla beslenmektedir. Devrenin girişine $V_{in} = 2V$ 'luk giriş gerilimi uygulanırsa çıkışta V_{out1} 'in değeri ne olur? (10)
- c) Şekil-1'deki devrede görülen İ.K.'nın pozitif girişindeki 0,2V'luk gerilimin etkisini giderip toplam olarak V_{out}/V_{in}=+15'lik kazanç elde edecek şekilde, çıkışa kaskat bağlanacak işlemsel kuvvetlendiricili bir kat tasarlayınız. (10)

Not: Direnç değerlerini $k\Omega$ mertebesinde olmak şartıyla (belirtilen kazancı sağlayacak şekilde) istediğiniz gibi seçebilirsiniz.



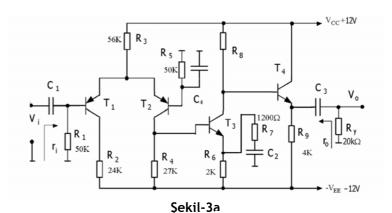


Soru 3- Şekil-3a'da kullanılan tranzistorlar için h_{FE} = B_F = 250, $|V_{BE}|$ = 0,6V, V_T = 25mV ve V_A = ∞ değerleri verilmiştir.

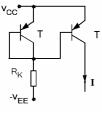
- a) V_{E4} gerilimi 0V olacak şekilde R_8 direncini hesaplayıp, r_i giriş ve r_o çıkış dirençlerini bulunuz. (10)
- b) $K_v = V_o/V_i$ küçük işaret gerilim kazancını bulunuz ve <u>fark kuvvetlendiricisinin</u> CMRR katsayısını bulunuz. (10)
- c) Devrenin doğru akım kutuplama şartlarını değiştirmeden $K_v = V_o/V_i$ gerilim kazancının hangi direnç ile belirlenebileceğini belirtikten sonra $|K_v| = 1000$ olacak şekilde bu direncin yeni değerini hesaplayınız. (10)

Soru-2 Şekil-2'de verilen MOS'lu devre için $β_1/2=K_{n1}=0.5 μ_n C_{ox} (W/L)=500 μA/V^2,$ $β_2/2=K_{p2}=0.5 μ_P C_{ox} (W/L)=200 μA/V^2,$ $V_{t1}=-V_{t2}=1.2$ V; $V_{A1}=V_{A2}=\infty$ ve $R_g=4k$ olarak verilmiş olsun.

- a) DC çalışma noktasında I_{D1} = 0,2 mA, I_{D2} =0,5 mA, V_{DS1} = 2 V, V_{DS2} = -6 V ve r_i = 100k olacak şekilde direnç değerlerini bulunuz. (20)
- b) v_o/v_g kazancını ve devrenin çıkış direncini bulunuz. (20)



d) Devrede R_3 direncinden akan akım, (R_3 açık devre edildikten sonra) Şekil-3b'deki gibi bir akım aynası tarafından sağlanacaktır. Bu durumda kullanılması gereken R_K direncini ve oluşan yeni CMRR'nin değerini bulunuz.(Şekil-3b'deki transistorlar eş olup herbiri için $h_{FE}=B_F=250,\ |V_{BE}|=0,6V$ ve $V_A=150$ V'dur). (10)



Şekil-3b

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 kaynakların belirlediği sınır değerlere ulaşmadığı sürece geçerlidir. (1) ifadesi ve İK'nin girişlerinden akım çekmeyeceği bilgisi yardımıyla akım ve gerilim denklemleri yazılırsa

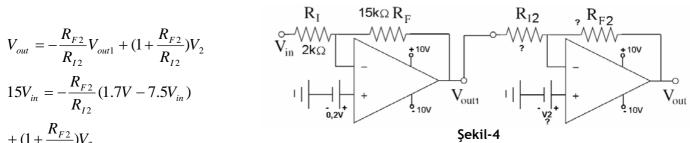
$$\begin{split} \frac{V_{in}-V_N}{R_I} &= \frac{V_N-V_{out1}}{R_F} \Rightarrow \frac{V_{in}-0.2V}{2k\Omega} = \frac{0.2V-V_{out1}}{15k\Omega} \\ \Rightarrow V_{out1} &= 1.7V-7.5V_{in} \end{split} \tag{2} elde edilir.$$

- b) İK'nin çıkış gerilimi kaynakların belirlediği sınırları aşamaz. $-10V \le V_{out1} \le 10V$ (3) Buradan hareketle $V_{_{in}}=2V \Rightarrow V_{_{out1}}=1.7V-7.5V_{_{in}}=-13.3V<-10V \Rightarrow V_{_{outd}}=-10V \text{ elde edilir. Yani V}_{\text{out1}} \text{ -10V'ta sınırlanır.}$
- c) Toplam kazanç pozitif istendiğinden aynı konfigurasyona sahip devreden (faz çeviren kuvvetlendirici) bir tane daha kullanılarak çözüme ulaşılabilir. Devre Şekil-4'de verilmektedir. İkinci kat için süperpozisyon ilkesi uvgulanırsa:

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

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

$$+ (1 + \frac{R_{F2}}{R_{I2}})V_{2}$$



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

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

$$0 = -\frac{R_{F2}}{R_{I2}}1.7V + (1 + \frac{R_{F2}}{R_{I2}})V_2 \Rightarrow 0 = -2x1.7V + (1 + 2)V_2 \Rightarrow V_2 = \frac{3.4V}{3} \approx 1.13V$$

 $R_{F2}=2k\Omega$ $R_{I2}=1k\Omega$ alinabilir

2. PROBLEM

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

$$\begin{split} V_{DS2} &= V_{DD} - V_{SS} - I_{D2} R_{S2} = 5V - (-5V) - 0,5 \text{mA} \cdot R_{S2} = 6V \text{ denkleminden } R_{S2} = \underline{8k} \text{ olarak bulunduktan} \\ \text{sonra } I_{D2} &= \left[\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L}\right]_2 \left(V_{GS2} - V_{t2}\right)^2 \Rightarrow V_{GS2} = \pm \sqrt{\frac{I_{D2}}{\left[\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L}\right]_2}} + V_{t2} = \pm 1,58V - 1,2V \text{ den PMOS için} \\ \text{uygun çözüm } (V_{GS2} < V_{t2} \text{ olacak biçimde) } V_{GS2} &= \underline{-2,78V} \text{ ya da } V_{SG2} = \underline{2,78V} \end{split}$$

$$\begin{split} V_{S2} &= V_{SS} + \left| V_{DS2} \right| = \underline{\underline{1V}} \Rightarrow V_{G2} = V_{D1} = V_{S2} - V_{SG2} = 1V - 2,78V = \underline{\underline{-1,78V}} \quad \text{olduğu için} \\ R_{D1} &= \frac{V_{DD} - V_{D1}}{I_{D1}} = \frac{5V + 1,78V}{0,2mA} = \underline{\underline{33k9}} \end{split}$$

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

$$V_{GS1} = \pm \sqrt{\frac{I_{D1}}{\left\lceil \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \right\rceil_1}} + V_{t1} \text{ den NMOS için uygun çözüm olarak } V_{GS1} = \underline{\underline{1,83V}} \text{ elde edilir.}$$

$$V_{DS1} = V_{DD} - V_{SS} - I_{D1}(R_{D1} + R_{S1}) = 5V - (-5V) - 0.2mA \cdot (33k9 + R_{S1}) = 2V$$
 denkleminden

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

$$I_{D1} = \left[\frac{1}{2}\mu_{n}C_{ox}\frac{W}{L}\right]_{1}\left(V_{GS1} - V_{t1}\right)^{2} = 0.5m\left(V_{GS1} - 1.2V\right)^{2} = 0.2mA \text{ denkleminden de}$$

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

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

$$V_{G1} = V_{GS1} + V_{S1} = 1{,}83V + (-1{,}78V - 2V) = -1{,}95V \;\; {\rm sa\Bargle lansin}.$$

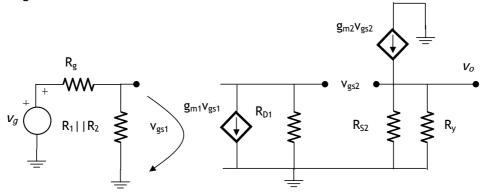
Geçitten içeri akım akmayacağına göre hem

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

olacak hem de
$$r_i=R_1 \parallel R_2=\frac{1}{\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}}=\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}=100k$$
 olacak. Buradan kolaylıkla görürüz ki

$$\frac{r_i}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100k}{R_1} = 0.305 \Rightarrow \frac{R_1 = 328k}{R_2} \text{ ve}$$

Kazanç hesaplarına gelince



$$g_{m1} = \left[2\mu_{n}C_{ox}\frac{W}{L}\right]_{1} (V_{GS1} - V_{t1}) = 2*0.5m*(1.83V - 1.2V) = \underline{0.63mA/V}$$

$$g_{m2} = \left[2\mu_{p}C_{ox}\frac{W}{L}\right]_{2} (V_{GS2} - V_{t2}) = 2*0.2m*(2.78V - 1.2V) = \underline{0.63mA/V}$$

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

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

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

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

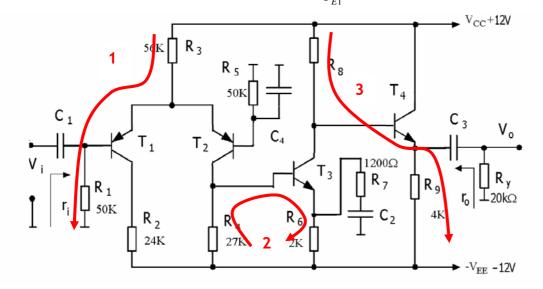
$$v_{o} = -g_{m2}(R_{S2} \parallel R_{y}) \left[g_{m1} R_{D1} \left\{ \frac{r_{i}}{R_{g} + r_{i}} v_{g} \right\} + v_{o} \right]$$

$$\frac{v_o}{v_g} = -\frac{g_{m1}g_{m2}R_{D1}(R_{S2} \parallel R_y)}{1 + g_{m2}(R_{S2} \parallel R_y)} \left(\frac{r_i}{R_g + r_i}\right) = -\frac{0.63 \cdot 0.63 \cdot 33k9(8k \parallel 4k)}{1 + 0.63(8k \parallel 4k)} \left(\frac{100k}{4k + 100k}\right) = \underbrace{-12.87}_{k=0.00}$$

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

3. PROBLEM

1 numaralı çevrimde $I_E=I_{E1}+I_{E2}$ kabul ederek $V_{CC}=I_ER_E+V_{EB}+I_{B1}R_1$ ve $I_{B1}=I_{B2}=\frac{2I_E}{\beta_f}$ denklemerinden $I_E=\underline{200\mu A}$ ve $r_{e1}=r_{e2}=r_e=\frac{V_T}{I_{E1}}=\underline{250\Omega}$ bulunur.



2 numaralı çevrimden $I_{C2}\cong I_{E2}$ kabulu ile $(I_{B3}-I_{C2})R_4+V_{BE3}+I_{E3}R_6=0$ denkleminden $I_{E3}=\frac{I_{C2}R_4-V_{BE3}}{R_4/\beta_f}\cong \underline{\underline{1mA}} \text{ ve } r_{e3}=\underline{\underline{25\Omega}} \text{ bulunur.}$

$$V_{{\scriptscriptstyle E}4} = 0V \ \ \text{olduğuna göre} \ V_{{\scriptscriptstyle B}4} = 0,6V \ \ \text{ve} \ I_{{\scriptscriptstyle E}4} = \frac{0 - (-V_{{\scriptscriptstyle E}E})}{R_{{\scriptscriptstyle A}}} = \underline{\underbrace{3mA}} \ \ \text{ve} \ \ r_{{\scriptscriptstyle e}4} = \underline{\underbrace{8,33\Omega}} \ \ \text{bulunur}.$$

3 numaralı çevreden ise $\frac{V_{CC}-V_{B4}}{R_8}=I_{C3}+\frac{I_{E4}}{\beta_f}$ olacağından $I_{C3}\cong I_{E3}=\underline{\underline{lmA}}$ olduğu düşünülürse $R_8=\underline{11k265}$ bulunur.

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

Emetör çıkışlı devrenin çıkış direnci $r_o=R_9 \parallel (\stackrel{R_8}{/}_{\beta_f}+r_{e^4})=\underbrace{44,5\Omega}_{}$ olarak bulunur.

b. şıkkı:

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

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

$$K_{v} = \frac{v_{o}}{v_{i}} = \frac{v_{o}}{v_{c3}} \cdot \frac{v_{c3}}{v_{c2}} \cdot \frac{v_{c2}}{v_{e1,2}} \cdot \frac{v_{e1,2}}{v_{i}} = \frac{R_{9} \parallel R_{y}}{r_{e4} + R_{9} \parallel R_{y}} \cdot \frac{-R_{8} \parallel r_{i4}}{r_{e3} + R_{6} \parallel R_{7}} \cdot \frac{R_{4} \parallel r_{i3}}{r_{e2}} \cdot \frac{R_{3} \parallel r_{e2}}{r_{e} + R_{3} \parallel r_{e2}} \text{ olduğundan }$$

$$K_{v} = \frac{v_{o}}{v_{i}} = \underline{-687} \text{ bulunur.}$$

Kazanç bulmak için bir başka yol da

$$K_{_{v}} = \frac{v_{_{o}}}{v_{_{i}}} = \frac{v_{_{o}}}{v_{_{c3}}} \cdot \frac{v_{_{c3}}}{v_{_{c2}}} \cdot \frac{v_{_{c2}}}{v_{_{i}}} = \frac{R_{_{9}} \parallel R_{_{y}}}{r_{_{e4}} + R_{_{9}} \parallel R_{_{y}}} \cdot \frac{-R_{_{8}} \parallel r_{_{i4}}}{r_{_{e3}} + R_{_{6}} \parallel R_{_{7}}} \cdot \frac{R_{_{4}} \parallel r_{_{i3}}}{2r_{_{e}}} \text{ olup sonuç yine aynı çıkar.}$$

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

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. $R_y \to \infty$ 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.

$$K_{_{v}} = -1000 = 0,998 \cdot \frac{-11k115}{25\Omega + 2k \parallel R_{_{7}}} \cdot \frac{27k \parallel 250 \left(25\Omega + 2k \parallel R_{_{7}}\right)}{250\Omega} \text{ sağlayan } R_{_{7}} = \underline{\underline{640\Omega}} \text{ olarak bulunur.}$$

d sikki

$$I_{\scriptscriptstyle E} = \frac{V_{\scriptscriptstyle CC} - (-V_{\scriptscriptstyle EE}) - V_{\scriptscriptstyle EB}}{R_{\scriptscriptstyle K}} = 200 \mu A \text{ sağlayacak } R_{\scriptscriptstyle K} = \underline{\underline{117k}}$$

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

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