

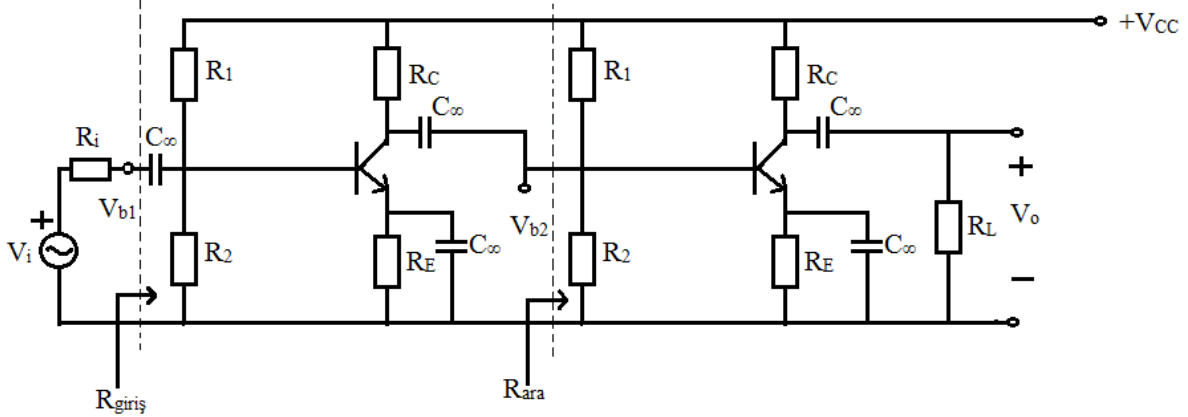
Bu sınavda çözüm için kullandığınız kağıtların yanında SADECE hesap makinası ve kendi el yazınız ile hazırlanmış A4 boyutlu bir "kopya kağıdı" kullanma hakkınız var. Sınav sonunda kağıtlar toplanırken "kopya kağıdı"nızı lütfen sınav kağıtları ile beraber veriniz. "kopya kağıdı"nızı sınav değerlendirildikten sonra geri alabilirsiniz. Bulduğunuz sonuçların birimlerini yazmayı ve birim uyumuna dikkat etmeyi unutmayınız.

EHB222 ELEKTRONİĞE GİRİŞ

Yarıyılsonu Sınavı 31 Mayıs 2017 12.00-14.00

Yüksel ÇAKIR / İnci ÇİLESİZ / BÜLENT YAĞCI

1. Altta verilen iki katlı kuvvetlendirici analiz edilecektir. Devredeki eleman değerleri $V_{CC}=16V$, $R_1=100k\Omega$, $R_2=47k\Omega$, $R_C=6,8k\Omega$, $R_E=3,9k\Omega$, $R_L=2k\Omega$, $R_i=5k\Omega$, $\beta=h_{FE}=100$ ve $V_T=25mV$ ve $V_{BE}=0,6V$ şeklindedir. Küçük işaret analizinde transistörlerin çıkış dirençleri çok büyük varsayılacaktır ($r_{o1}=r_{o2}=\infty$). 30 puan



- R_{ara} direnç değerini hesaplayın, V_o/V_{b2} kazancını bulun.
 - $R_{giriş}$ direncini hesaplayın, V_{b2}/V_{b1} kazancını bulun.
 - V_{b1}/V_i kazancını hesaplayın ve daha önceden bulduğunuz kazanç değerlerini de kullanarak V_o/V_i kazanç değerini bulun.
2. Yandaki NMOS'lu fark kuvvetlendiricisi devresinde bütün transistörler için $\lambda = 0$ ($V_A = \infty$), $V_t = 0,8V$,

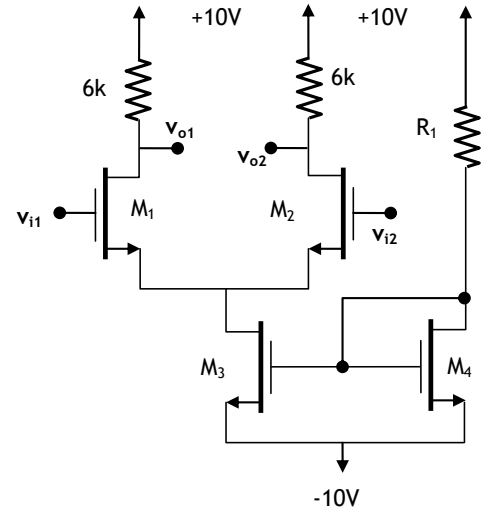
$$K = \frac{\beta}{2} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = 0,4mA/V^2$$

değerleri verilmektedir. 40 puan

- Akım aynası devresini $I_{DQ1} + I_{DQ2} = I_{DQ3} = 1mA$ olacak biçimde tasarlayınız. Çıkış gerilimlerinin DC değerlerini bularak, tüm MOS'lar için doyma bölgesi koşullarının sağlanıp sağlanmadığını kontrol ediniz.
- Kuvvetlendiricinin küçük işaret eşdeğer devresini çizip devrenin ortak işaret kazancını bulunuz.

İPUCU: Eşdeğer devreyi çizerken akım aynası yerine R_o direncini yerleştirin ve buna göre denklemleri çıkarın. Daha sonra akım aynasına bakarak R_o 'a gerçek değerini atar ve ortak işaret kazancını hesaplarsınız.

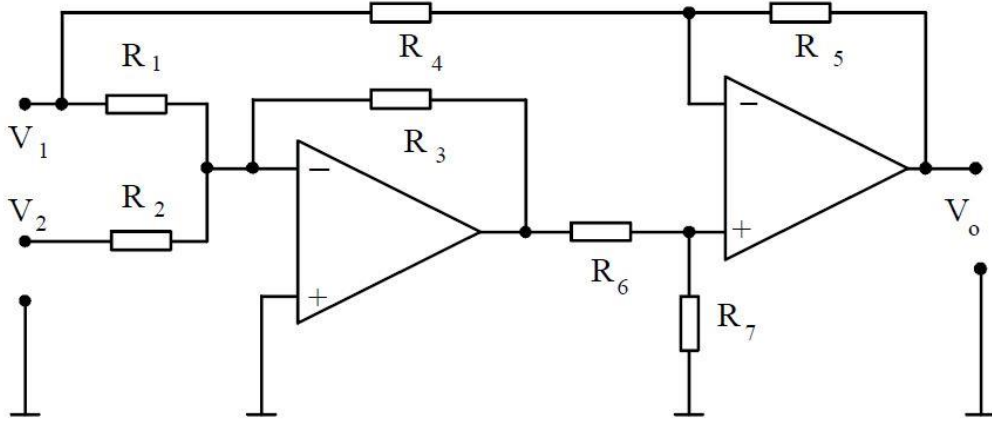
- $K_{d1} = \frac{v_{o1}}{v_{i1} - v_{i2}}$; $K_{d2} = \frac{v_{o2}}{v_{i1} - v_{i2}}$ ifadelerini ve ve CMRR (ortak işareti bastırma oranı)'yi bulunuz.
- Kuvvetlendiricinin $K_d = \frac{v_{o1} - v_{o2}}{v_{i1} - v_{i2}}$ fark kazancını bulunuz.



BAŞARILAR DİLERİZ

3. Şekildeki devrede kullanılan işlemsel kuvvetlendiriciler idealdir. 30 puan

- V_o gerilimin V_1 ve V_2 cinsinden ifade ediniz.
- $R_6=R_7$, $R_4=R_5/2$, $R_1=R_2=R_3/2$ ise $V_o=?$
- (b) de verilen değerler için $V_o=0$ V olması istendiğine göre V_1 ve V_2 gerilimleri arasında ne gibi bir ilişki olmalıdır?



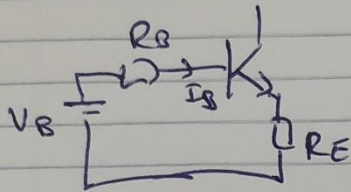
BAŞARILAR DİLERİZ

Çözümler arka sayfalardadır.

Cözüm: DC analizi

$$R_1 // R_2 = R_B = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 100k \cdot 47k / 147k = 31,97k\Omega$$

$$V_B = R_2 \cdot V_{cc} / (R_1 + R_2) = 5,11V$$



$$V_B = R_B I_B + V_{BE} + (\beta + 1) R_E I_B$$

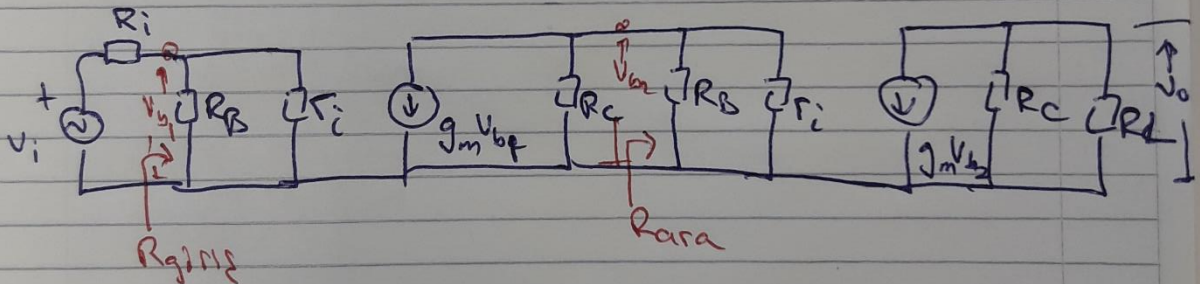
$$5,11 = 31970 \cdot I_B + 0,6 + (101) 3900 \cdot I_B$$

$$I_B = (5,11 - 0,6) / (31970 + 393900)$$

$$I_B = 10,59\mu A \rightarrow I_C = \beta I_B = 1mA$$

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} = \frac{1mA}{25mV} = 0,04 \quad r_e = 1/g_m = 25\Omega \quad r_i = \beta r_e = 245$$

uacın isaret as değeri



$$a) R_{ara} = R_B // r_i = 31,97k // 245 = 2k3\Omega$$

$$v_o / v_{b2} = -g_m v_{b2} (R_C // R_L) / v_{b2} = -g_m (R_C // R_L)$$

$$R_C // R_L = 1k54\Omega \Rightarrow v_o / v_{b2} = -0,04 \cdot 1k54 = -61,8$$

$$b) R_{girdi} = R_B // r_i = R_{ara} = 2k3$$

$$v_{b2} / v_{b1} = -g_m v_{b1} (R_C // R_{ara}) / v_{b1} = g_m (R_C // R_B // r_i)$$

$$v_{b2} / v_{b1} = -0,04 \cdot 1k71 = -68,74$$

$$c) v_{b1} / v_i = \frac{R_{girdi}}{R_i + R_{girdi}} = \frac{2k3}{5k + 2k3} = 0,31 \Rightarrow \frac{v_o}{v_i} = (-61,8) \cdot (-68,74) \cdot 0,31 = 1337$$

2.

$$V_{GS3} = \pm \sqrt{\frac{I_{D3}}{K_3}} + V_{t3} \text{ den } V_{GS3} = \pm \sqrt{\frac{1mA}{0,4mA/V^2}} + 0,8V = \pm 1,58 + 0,8 = \begin{cases} -0,78V \\ 2,38V \end{cases}, \text{ buradan da uygun çözüm}$$

olarak $V_{GS3} = \underline{2,38V}$ bulunur. Buradan akım aynası devresinin direnç değeri

$$R_1 = \frac{+10V - (-10V) - V_{GS4}}{I_{DQ4}} = \frac{10V + 10V - 2,87V}{1mA} = \underline{\underline{17k62}} \text{ bulunur.}$$

M_1 ve M_2 özdeş devrelerde olduğuna göre

$$V_{O1} = V_{O2} = +10V - 6k \cdot I_{D1/2} = +10V - 6k \cdot 0,5mA = \underline{\underline{7V}} \text{ ve}$$

$$V_{GS1} = V_{GS2} = \pm \sqrt{\frac{I_{D1/2}}{K_{1/2}}} + V_t = \pm \sqrt{\frac{0,5mA}{0,4mA/V^2}} + 0,8V = \pm 1,12V + 0,8V = \begin{cases} 1,92V \\ -0,32V \end{cases}, \text{buradan da uygun çözüm}$$

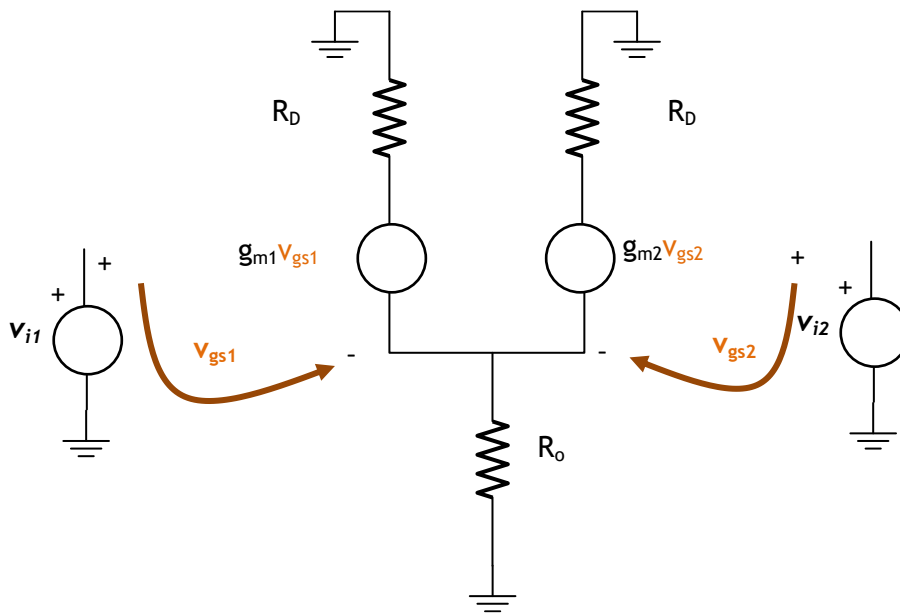
olarak $V_{GS1/2} = \underline{1,92V}$ bulunur. Böyle olunca $V_{I1} = V_{I2} = \underline{0V}$ için

$$V_{DS1/2} = V_{o1/2} - V_{S1/2} = V_{o1/2} - (V_{G1/2} - V_{GS1/2}) = 7V + (0 - 1,92V) = 8,92V \text{ çıkar ki bu da şu eşitsizliği}$$

sağladığından $V_{DS1/2} \geq V_{GS1/2} - V_t$ yani $8,92V \geq 1,92V - 0,8V \Leftrightarrow 8,92V \geq 1,12V$, M_1 ve M_2 doyma bölgesindedir.

Diğer yandan $V_{S1/2} = (V_{G1/2} - V_{GS1/2}) = -1,92V = V_{D3}$ olduğundan $V_{DS3} \geq V_{GS3} - V_t$ yani

$V_{D3} - (-10V) \geq V_{GS3} - V_t$ ya da $-1,92V - (-10V) \geq 2,38V - 0,8V \Leftrightarrow 8,08V \geq 1,58V$ sağlandığı için M_3 de doyma bölgesindedir.



Şimdi üstteki eşdeğer devreye bakarak görebiliriz ki $g_{m1}v_{gs1} + g_{m2}v_{gs2} = \frac{v_{S1/2}}{R_o}$ ve $g_{m1} = g_{m2} = g_m$ olduğuna göre

$$v_{gs1} = v_1 - v_{S1/2} \text{ ve } v_{gs2} = v_2 - v_{S1/2} \text{ ve dolayısı ile } g_m(v_1 + v_2 - 2v_{S1/2}) = \frac{v_{S1/2}}{R_o} \text{ olduğundan } v_{S1/2} = \frac{v_1 + v_2}{2 + \frac{1}{g_m R_o}}$$

buluruz.

$$v_{o1} = -(g_m v_{gs1})R_D = -g_m R_D (v_1 - v_{s1/2})$$

Yani \Rightarrow

$$v_{o1} = -g_m R_D \left[v_1 - \frac{v_1 + v_2}{2 + \frac{1}{g_m R_o}} \right] = -g_m R_D \left[\frac{v_1 \left(1 + \frac{1}{g_m R_o} \right) - v_2}{2 + \frac{1}{g_m R_o}} \right]$$

Benzer biçimde $v_{o2} = -g_m R_D \left[v_2 - \frac{v_1 + v_2}{2 + \frac{1}{g_m R_o}} \right] = -g_m R_D \left[\frac{v_2 \left(1 + \frac{1}{g_m R_o} \right) - v_1}{2 + \frac{1}{g_m R_o}} \right]$.

Devre fark kuvvetlendiricisi olduğuna göre, $v_{o1} = -g_m R_D \left[\frac{v_1 \left(1 + \frac{1}{g_m R_o} \right) - v_2}{2 + \frac{1}{g_m R_o}} \right]$ ve

$v_{o2} = -g_m R_D \left[\frac{v_2 \left(1 + \frac{1}{g_m R_o} \right) - v_1}{2 + \frac{1}{g_m R_o}} \right]$ denklemlerinin $v_{o1/2} \propto v_{fark}$ ($v_{fark} = v_d = v_1 - v_2$) biçiminde olması

gerektiğini anımsarsak hemen şu sonuca ulaşabiliriz:

$$v_{o1} = -g_m R_D \left[\frac{v_1 \left(1 + \frac{1}{g_m R_o} \right) - v_2}{2 + \frac{1}{g_m R_o}} \right] = K_{fark} v_{fark} + K_{ortak} v_{ortak} = K_d v_d + K_{ortak} v_{ortak}$$

Daha dikkatlice bakar ve BJT'li fark kuvvetlendiricisi için nasıl bir analiz yaptığımızı anımsarsak

$$\frac{1}{g_m R_o} \rightarrow 0 \text{ için } v_{o1} = K_d v_d = -g_m R_D \left[\frac{v_1 - v_2}{2} \right] = \frac{-g_m R_D}{2} v_d \Rightarrow K_d = \frac{-g_m R_D}{2} \text{ olduğunu görürüz.}$$

Demek ki eğer $v_1 = v_2$ ise

$$v_{o1} = K_d v_d + K_{ortak} v_{ortak} = 0 - g_m R_D \left[\frac{v_1 \left(1 + \frac{1}{g_m R_o} \right) - v_1}{2 + \frac{1}{g_m R_o}} \right] = -g_m R_D \left[\frac{v_1 \left(\frac{1}{g_m R_o} \right)}{2 + \frac{1}{g_m R_o}} \right] = -g_m R_D \left[\frac{v_1}{2g_m R_o + 1} \right]$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{K_{ortak} = \frac{-g_m R_D}{2g_m R_o + 1}}}$$

$$CMRR = \frac{K_{fark}}{K_{ortak}} = \frac{\frac{-g_m R_D}{2}}{\frac{-g_m R_D}{2g_m R_o + 1}} = \frac{2g_m R_o + 1}{2} \text{ veya } CMRR = 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{K_{fark}}{K_{ortak}} \right| = 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{2g_m R_o + 1}{2} \right|$$

Bu işlemleri yaptık ama akım aynasının direncini henüz bulmadık. Akım aynası sadece DC durumda çalıştığına göre küçük işaret eşdeğer devresinde sadece M_3 'ün çıkış direnci olacaktır. Halbuki $\lambda = 0$ veya $V_A = \infty$ olarak verilmiş idi. Bu durumda

$$R_o = \frac{V_A}{I_D} \rightarrow \infty \text{ olacağına göre } CMRR \rightarrow \infty \text{ olacaktır.}$$

$$v_{o1} = K_{d1} v_d = -g_m R_D \left[\frac{v_1 - v_2}{2} \right] = \frac{-g_m R_D}{2} v_d \Rightarrow K_{d1} = \frac{-g_m R_D}{2} \text{ bulmuştuk. Yukarıdaki benzer işlemleri ikinci}$$

giriş ve çıkış için yinelersek yani $\frac{1}{g_m R_o} \rightarrow 0$ için $v_{o2} = -g_m R_D \left[\frac{v_2 \left(1 + \frac{1}{g_m R_o} \right) - v_1}{2 + \frac{1}{g_m R_o}} \right]$ hesaplarsak

$$v_{o2} = -g_m R_D \left[\frac{v_2 - v_1}{2} \right] = g_m R_D \left[\frac{v_1 - v_2}{2} \right] = \frac{g_m R_D}{2} v_d \Rightarrow K_{d2} = \frac{g_m R_D}{2} \text{ elde ederiz.}$$

$$g_m = 2\sqrt{K_n I_{D1/2}} = \underline{\underline{0,894 \text{ mA/V}}}$$

\Rightarrow

$$K_{d1} = \frac{-g_m R_D}{2} = \underline{\underline{-2,68}}$$

$$K_{d2} = \frac{g_m R_D}{2} = \underline{\underline{2,68}}$$

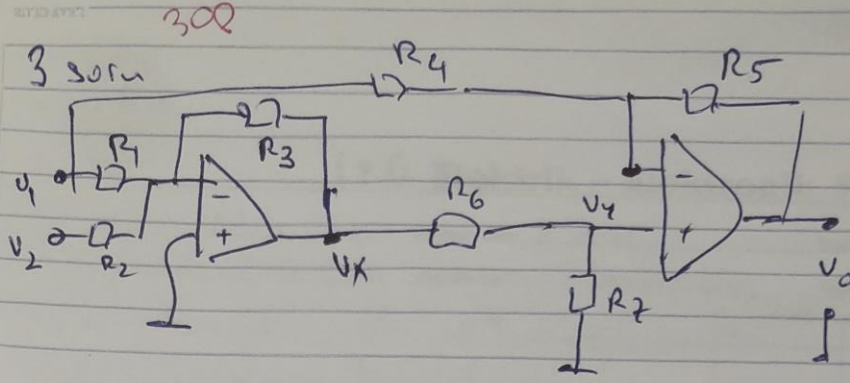
$$R_o \rightarrow \infty$$

$$K_{ortak} = \frac{-g_m R_D}{2g_m R_o + 1} \rightarrow 0$$

$$CMRR \rightarrow \infty$$

$$K_d = \frac{v_{o1} - v_{o2}}{v_{i1} - v_{i2}} = \frac{v_{o1}}{v_{i1} - v_{i2}} - \frac{v_{o2}}{v_{i1} - v_{i2}} = \frac{-g_m R_D}{2} - \frac{g_m R_D}{2} = -g_m R_D = \underline{\underline{-5,37}}$$

4. Sorunun çözümü arkada.



a) V_0 ya V_1 ve V_2 cinsinden bulun!

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_x}{R_3} = 0 \Rightarrow V_x = -\frac{R_3}{R_1} V_1 - \frac{R_3}{R_2} V_2 \quad 4P$$

$$\frac{V_1 - V_y}{R_4} + \frac{V_0 - V_y}{R_5} = 0 \Rightarrow \frac{V_1}{R_4} + \frac{V_0}{R_5} - V_y \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right) = 0 \quad 4P$$

$$V_y = \left(\frac{R_7}{R_6 + R_7} \right) V_x \quad 4P$$

$$\frac{V_1}{R_4} + \frac{V_0}{R_5} - \left(\frac{R_4 + R_5}{R_4 R_5} \right) V_y = 0$$

$$\frac{V_1}{R_4} + \frac{V_0}{R_5} + \left(\frac{R_7}{R_6 + R_7} \right) \left(\frac{R_4 + R_5}{R_4 R_5} \right) \left(\frac{R_3}{R_1} V_1 + \frac{R_3}{R_2} V_2 \right) = 0$$

$$\frac{V_1}{R_4} + \frac{V_0}{R_5} + \frac{R_7(R_4 + R_5)R_3}{(R_6 + R_7)R_4 R_5 R_1} V_1 + \frac{R_7(R_4 + R_5)R_3}{(R_6 + R_7)R_4 R_5 R_2} V_2 = 0$$

$$V_0 = -R_5 \left[\frac{R_7(R_4 + R_5)R_3}{(R_6 + R_7)R_4 R_5 R_1} + \frac{1}{R_4} \right] V_1 - R_5 \left[\frac{R_7(R_4 + R_5)R_3}{(R_6 + R_7)R_4 R_5 R_2} \right] V_2 \quad 18P$$

b) $R_6 = R_7$, $R_4 = R_5/2$, $R_1 = R_2 = R_3/2$ ise

$$V_0 = -5V_1 - 3V_2 \quad 6P$$

c) $V_0 \rightarrow 0$ için $V_1/V_2 = -3/5 \quad 6P$