

ELE222 ELEKTRONİĞE GİRİŞ YARIYIL SONU SINAVI ✍ 18 Ocak 2011 ⌚ 12.00-14.00
İnci ÇİLESİZ / Rıza Can TARCAN / Metin YAZGI

Soru-1 Şekildeki devrede kullanılmakta olan tranzistor için $\beta_F=100$ ve $V_{BE}=0.6V$ değerleri verilmektedir. ($V_T=25mV$)

- Tranzistorun çalışma noktasındaki kollektör akımını bulunuz.(10Puan)
- Tranzistor üzerinde harcanan gücü bulunuz.(10Puan)
- Devrenin v_o/v_i ac gerilim kazancını bulunuz.(10Puan)

Soru-2 Yanda görülen 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.

- 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. (10 puan)

- Kuvvetlendiricinin küçük işaret eşdeğer devresini çizip devrenin ortak işaret kazancını bulunuz. (10 puan)

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.

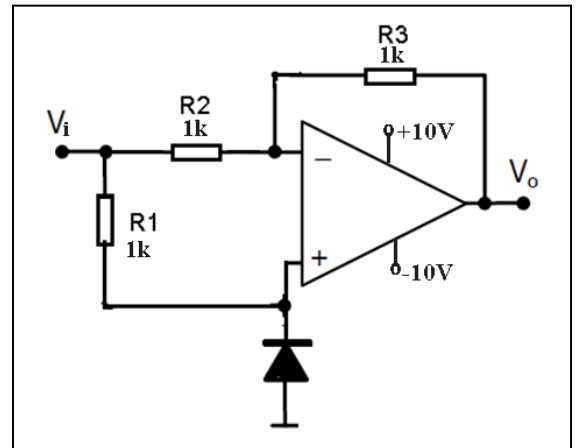
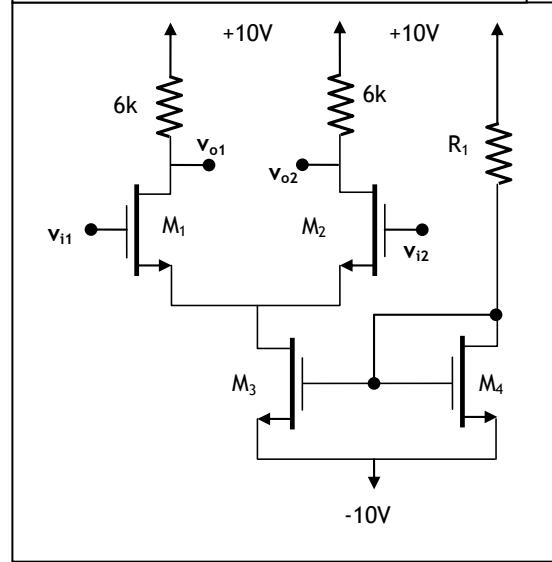
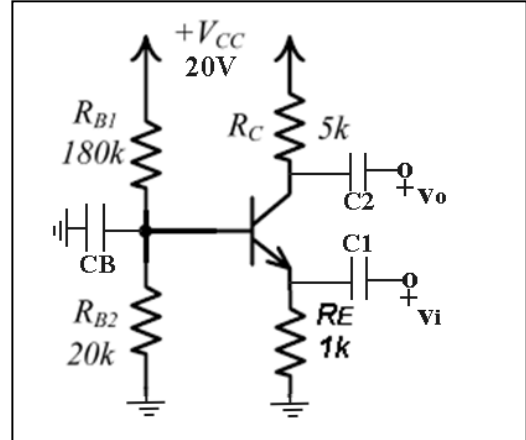
- $K_{d1} = \frac{v_{o1}}{v_{i1} - v_{i2}}$; $K_{d2} = \frac{v_{o2}}{v_{i1} - v_{i2}}$ ifadelerini ve ve CMRR (ortak işareti bastırma oranı)'yi bulunuz. bulunuz. (10 Puan)

- Kuvvetlendiricinin $K_d = \frac{v_{o1} - v_{o2}}{v_{i1} - v_{i2}}$ fark kazancını bulunuz. (10 puan)

Soru-3 Şekildeki işlemsel kuvvetlendirici $\pm 10V$ 'luk kaynaklarla beslenmektedir. Not: Devrede kullanılan diyot için sabit gerilim düşümü modeli kullanılacaktır ($V_{DO} = 0.7V$)

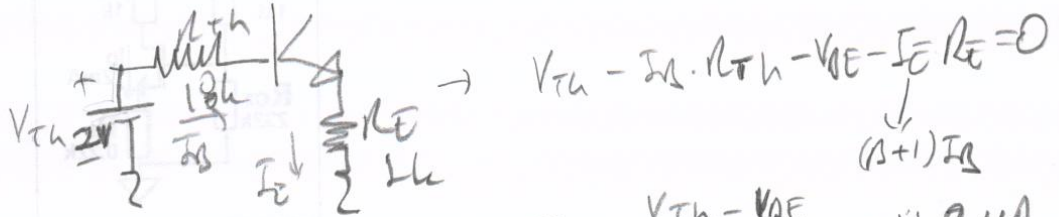
- V_i gerilimi $-15V$ ile $+15V$ aralığında değiştirilmektedir. Gerekli büyüklükleri belirterek V_o-V_i geçiş eğrisini çiziniz. (20Puan)

- Devrede kullanılan diyodun anot bacağına referans yerine $+0.7V$ 'luk DC gerilim uygulanmaktadır. a şikkındaki geçiş eğrisini yeni durum için tekrar çiziniz. (10Puan)



$$C-1-a) V_{Th} = \frac{20k}{200k} \cdot 20V = 2V$$

$$R_{Th} = 20k // 180k = 18k$$



$$I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1) R_E} = 11,8 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 1,2 mA$$

$$b) P_{Tr} = I_B \cdot V_{BE} + I_C \cdot V_{CE}$$

$$\downarrow = I_C \cdot V_{CE} = I_C (V_{CC} - I_C \cdot R_C - I_E \cdot R_E)$$

$$\downarrow = 1,2 mA (20 - 1,2 mA \cdot 5k - 1,2 mA \cdot 1k)$$

$$P_{Tr} \approx 15,4 mW$$

$$c) \frac{v_o}{v_i} = \frac{\beta_m \cdot R_C}{1 + \beta_m \frac{R_E}{\beta + 1}} \quad \frac{R_C = 5k}{R_E = 0} \rightarrow \frac{v_o}{v_i} = \beta_m \cdot R_C$$

$$\beta_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1,2 mA}{25 mV} = 48 mS$$

$$\frac{v_o}{v_i} = 48 mS \cdot 5k = \underline{\underline{240}}$$

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

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

M_1 ve M_2 özdeş devrelerde olduğuna göre

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

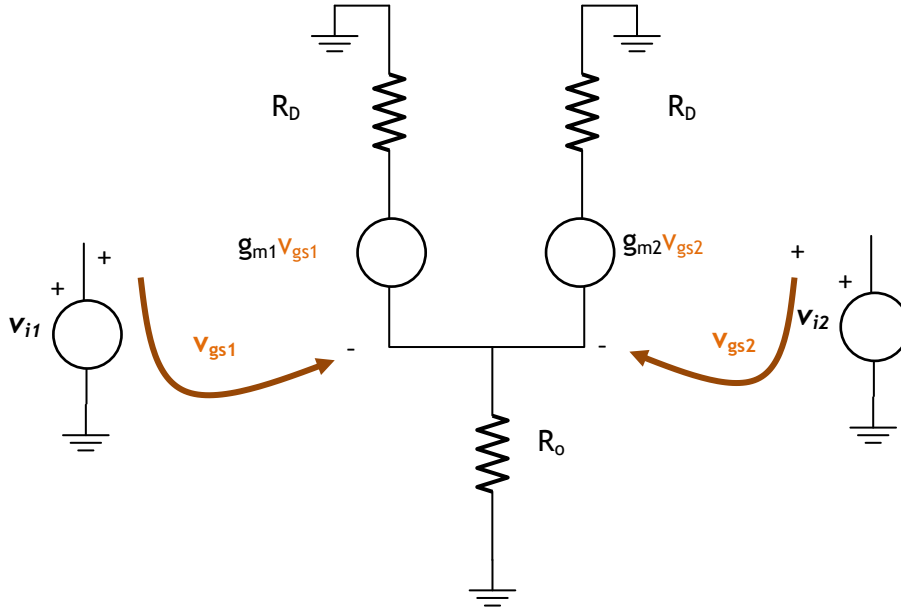
$$V_{GS1} = V_{GS2} = \pm \sqrt{\frac{I_{D1/2}}{K_{1/2}}} + V_t = \pm \sqrt{\frac{0,5mA}{0,4mA/V^2}} + 0,8V = \pm 1,12V + 0,8V = \begin{cases} 1,92V \\ -0,32V \end{cases}, \text{ buradan da uygun}$$

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

$V_{DS1/2} = V_{o1/2} - V_{S1/2} = V_{o1/2} - (V_{G1/2} - V_{GS1/2}) = 7V + (0 - 1,92V) = 8,92V$ 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 $v_{gs1} = v_1 - v_{S1/2}$ ve $v_{gs2} = v_2 - v_{S1/2}$ ve dolayısı ile $g_m(v_1 + v_2 - 2v_{S1/2}) = \frac{v_{S1/2}}{R_o}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

\Rightarrow

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

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

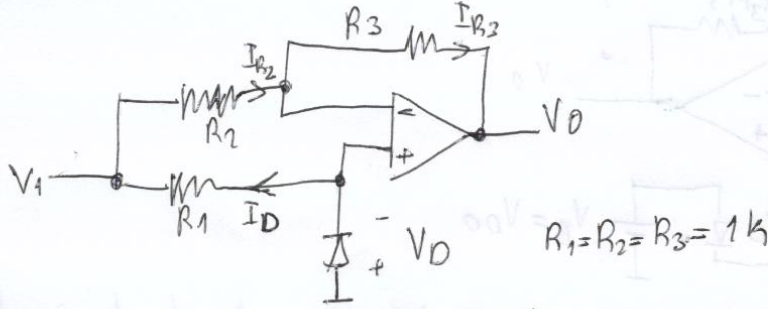
$$R_o \rightarrow \infty$$

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

$$CMRR \rightarrow \infty$$

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

3 a)



Diğottan
 $V_D = (0 - V_i) < V_{D0}$ (Akım akıma sınırında $V_+ \approx V_i$)
 yani $V_i > -V_{D0}$ şartını sağlayan V_i gerilimleri için diğot kesimdedir.

Bu durumda $I_D = 0$ ve $V_+ = V_- = V_i$ olur

$$I_{R_2} = I_{R_3} \Rightarrow \frac{V_i - V_-}{R_2} = \frac{V_- - V_D}{R_3} = 0 \Rightarrow \boxed{V_D = V_i}$$

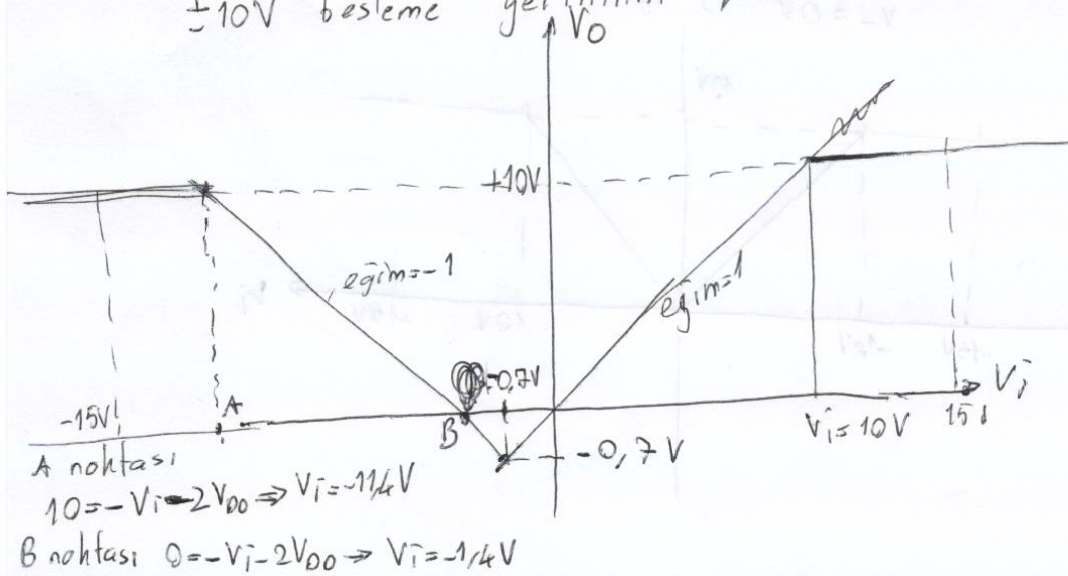
bağıntısı elde edilir.

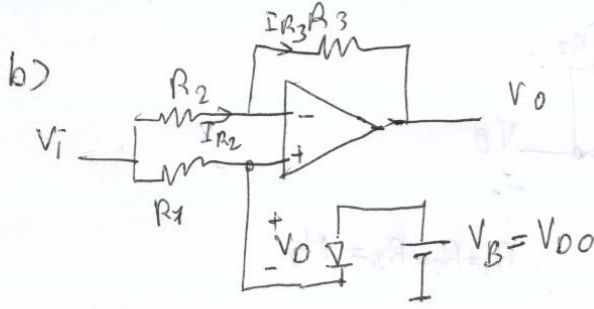
$V_i \leq -V_{D0}$ şartını sağlayan V_i gerilimleri için ise diğot iletimde olacağından $I_{R_1} > 0$ ve $V_+ = -V_{D0}$ olacaktır. Bu durumda

$$\frac{V_i - V_-}{R} = \frac{V_- - V_D}{R} = \frac{V_i - (-V_{D0})}{R} = \frac{-V_{D0} - V_D}{R} \Rightarrow \boxed{V_D = -V_i - 2V_{D0}}$$

olacaktır

$\pm 10V$ besleme geriliminin çıkışı sınırlama etkisini katarak





Bu durumda $V_D = V_B - V_i < V_{D0}$ diyot kesimdedir

$V_B = V_{D0}$ alınırsa

$V_{D0} - V_i < V_{D0} \rightarrow V_i > 0V$ için

diyot kesim olacak ve $I_D = 0$ olacağından a) şıkkındaki $V_0 = V_i$ bağıntısı geçerli olacaktır

Diğer yandan $V_D = V_B - V_i \geq V_{D0}$ için

ya da $V_{D0} - V_i \geq V_{D0} \Rightarrow V_i < 0V$ değeri için

diyot iletimde olacak ve

$V_+ = V_B - V_{D0} = V_- = V_+ = 0V$ geçerli olacaktır.

$$I_{R2} = I_{R3} = \frac{V_i - V_-}{R_2} = \frac{V_- - V_0}{R_3} \Rightarrow V_0 = -V_i \quad \text{bağıntısı geçerli olacaktır}$$

$R_2 = R_3$
 $V_- = 0V$

