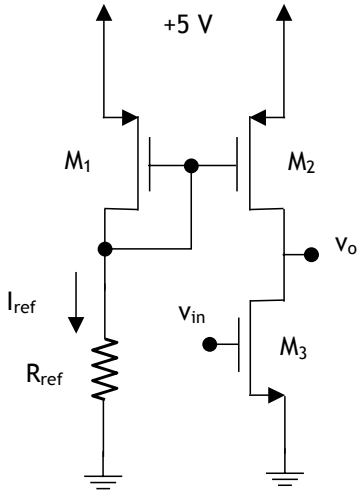


Bu sınavda çözüm için kullandığınız kağıtların yanında SADECE hesap makinası ve kendi el yazınız ile hazırlanmış A4 boyutlu bir "kopya kağıdı" kullanma hakkınız var. Sınav sonunda kağıtlar toplanırken "kopya kağıdı"nızı lütfen sınav kağıtları ile beraber veriniz. "kopya kağıdı"nızı sınav değerlendirildikten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

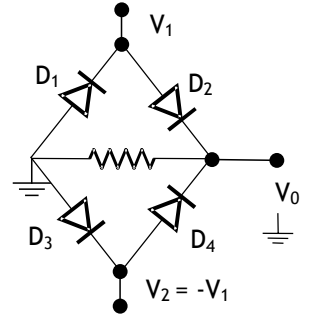
## ELE222 ELEKTRONİĞE GİRİŞ (11883)

Yarıyıl Sonu Sınavı 14 Ocak 2005 14.00-16.00

İnci ÇİLESİZ / Özgür ATEŞ



1. Sağ yandaki diyotlu devrenin çalışmasını  $V_1$  ve  $V_2$  için  $-5V$  -  $+5V$  aralığında analiz ediniz. Giriş-çıkış ( $V_1$ - $V_2$  ve  $V_0$ ) gerilimlerini grafikler yardımıyla inceleyiniz. Sonuçları ( $V_0 > 0$ ?) yorumlayınız.  $V_B = 0,6 V$ . (20 puan)



2. Sol yandaki NMOS'lu tek katlı kuvvetlendirici devresini, bu MOS'un ( $M_3$ ) doymada çalıştığını kabul ederek, savağından PMOS'lu  $200 \mu A$  akım akıtan bir akım aynası ile kutuplayınız.  $+V_{DD} = +5V$  alınız.

Tüm MOS'lar için parametreler:  $W = 100 \mu m$ ,  $L = 0,6 \mu m$ ;  $V_{tn} = |V_{tp}| = 1,5 V$ ;  $\mu_n C_{ox} = 2,5 \mu A/V^2$ ;  $\mu_p C_{ox} = 175 \mu A/V^2$ ; her iki tip MOS için  $|V_A| = 100 V$ . Çıkışın DC düzeyini bulmanıza gerek yoktur.

Kuvvetlendirici girişinin DC düzeyini, akım aynasının eleman değer(ler)ini, PMOS'ların geçit gerilimlerini bulunuz.

NMOS'lu kuvvetlendirici geçidinden  $R_g = 50 \Omega$  iç dirençli bir AC işaret kaynağı ile sürülürse çıkışı savağından olan devrenin yüksüz halde

$$K_{vg} = \frac{v_o}{v_g} \text{ ve } K_{vi} = \frac{v_o}{v_i} \text{ gerilim kazançlarını}$$

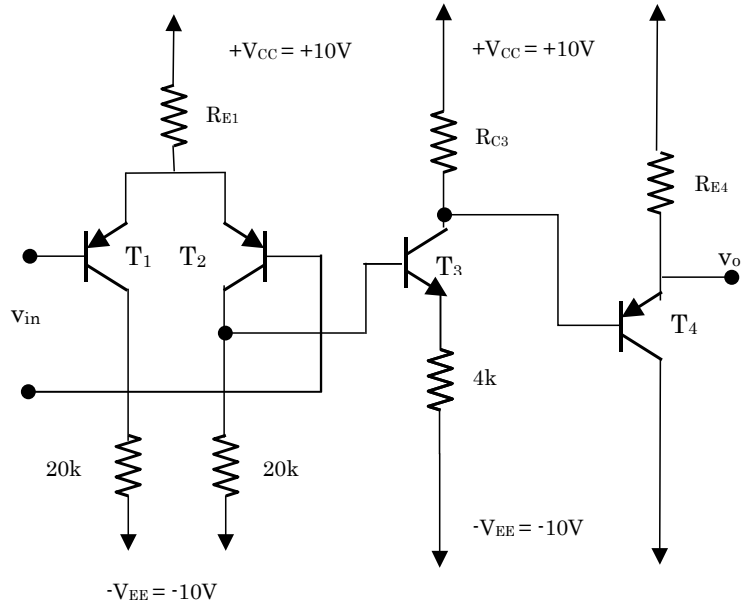
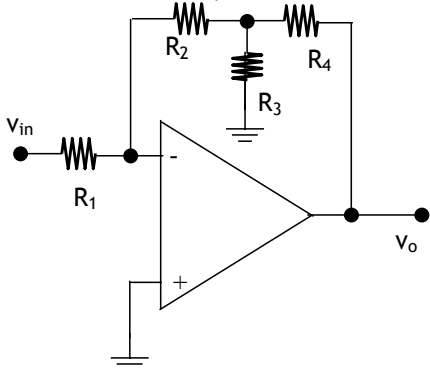
bulunuz. (20 puan)

3. Sağ üst yandaki 3 katlı diferansiyel girişli kuvvetlendirici devresinde tüm BJT'ler için  $h_{FE} = 100$ ,  $|V_{BE}| = 0,6 V$  olduğuna göre

- a. İlk katta DC giriş seviyeleri toprakta iken kutuplama akımlarının  $I_{C1} = I_{C2} = 0,4 mA$  olması için  $R_{E1}$  ne olmalıdır? (6 puan)

- b. Kuvvetlendirilen işaretin çıkıştaki kırılmasının minimum ve simetrik olması için  $R_{E4} = 5k$  seçilirse  $R_{C3}$  direnci ne olmalıdır? (12 puan)

- c.  $R_y = 1k\Omega$ 'luk bir yük direnci çıkışa bağlanırsa devrenin kazancı ( $v_o/v_{in}$ ) ne olur? (16 puan)



- d. Bu devre  $R_g = 100 \Omega$ 'luk dirence sahip bir işaret kaynağı ile sürülürse bu devrenin yüklü haldeki toplam gerilim kazancını ( $v_o/v_g$ ) bulunuz. (6 puan)

4. Yandaki devrede OPAMP'ın ideal olduğunu varsayarak devrenin kapalı çevrim gerilim kazancını dirençler cinsinden bulunuz. Kuvvetlendirici giriş direncinin  $1 M\Omega$  ve kazancın 100 olması için direnç değerleri nasıl seçilmelidir? Kullanılabilecek en büyük direnç  $1M\Omega$ 'dur. (20 puan)

1. SORUNUN ÇÖZÜMÜ:

BAŞARILAR

$V_2 = -V_1$  olduğuna göre  $V_1$  : -5V - +5V aralığında değişirken

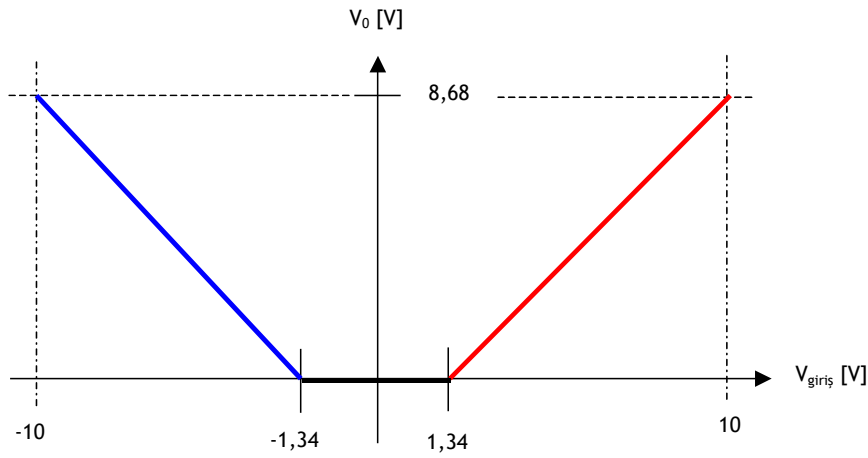
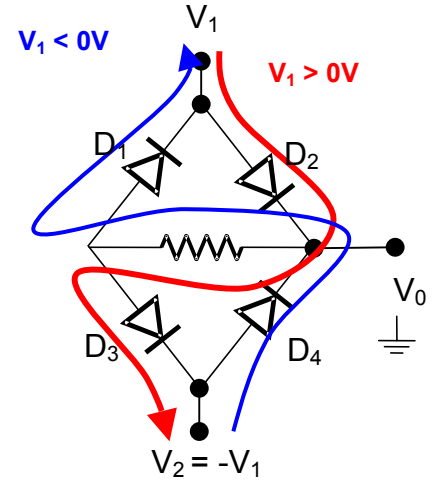
$V_{giriş} = V_1 - V_2$  : -10 V - +10V aralığında değişecek.

$V_{giriş} = +10$  V iken 2. ve 3. diyotlar iletim yönünde diğerleri tıkama yönünde kutuplanmış olacak;  $V_{giriş} = -10$  V iken 1. ve 4. diyotlar iletim yönünde diğerleri tıkama yönünde kutuplanmış olacak. Bir başka deyişle

- a.  $V_{giriş} > 0$  iken akım sırasıyla  $D_2$ , R direnci ve  $D_3$  üzerinden,
- b.  $V_{giriş} < 0$  iken akım sırasıyla  $D_4$ , R direnci ve  $D_1$  üzerinden akacak.

Yani gösterilen kutuplamaya göre R direncinin üzerinden akan akımın yönü değişmeyeceği için gerilimin de yönü değişmeyecek ve hep  $V_0 > 0V$  olacak.

Ayrıca iletimdeki diyotlar üzerinde gerilim düşümü olacağından,  $V_0 = V_{giriş} - 2V_B$  : -(10-2\*0,67) V ile +(10-2\*0,67) V aralığında değişecek, ve anılan bu her iki diyot da iletime geçene kadar devreden hiç bir akım akmayacak.



## 2. SORUNUN ÇÖZÜMÜ:

$M_1$  ve  $M_2$  aynı parametrelere sahip PMOS'lar. Her ikisi için  $V_{GS}$  aynı olduğu için  $I_D$  akımları aynı olacak. Aynı zamanda NMOS savağından bu akımla beslendiğinden  $I_{D1} = I_{D2} = I_{D3}$ .

$I_{D2} = I_{D1} = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{tp})^2$  denkleminde verilen değerler konulduğunda  $\pm V_{GS} = 0,185V \mp 1,5V$  elde ederiz ki buna göre iki çözüm çıkar: (a)  $V_{GS} = 0,185V - 1,5V$  ve (b)  $-V_{GS} = 0,185V + 1,5V$ . Ancak PMOS'un doymada çalışması için  $V_{GS} < 0$  ve  $V_{GS} < V_{tp}$  olduğundan  $V_{GS1} = V_{GS2} = -1,685V$  doğru çözümdür.

Buradan  $V_G = 5V - (-V_{GS}) = 3,315V$  ve dolayısıyla  $I_{D3} = I_{D2} = I_{D1} = I_{ref} = 200\mu A = \frac{V_G - 0}{R_{ref}}$

denkleminde  $R_{ref} = \frac{V_G}{I_{ref}} = 16k575$  bulunur. **2. YARIYIL SINAVININ ÇÖZÜMÜNDEKİ YANLIŞI**

**SORGULAMADIĞINIZ ANLAŞILIYOR, ÇÜNKÜ ÇÖZÜMLERDE HERKES EZBERE YANLIŞ YANITI YAZMIŞ...**

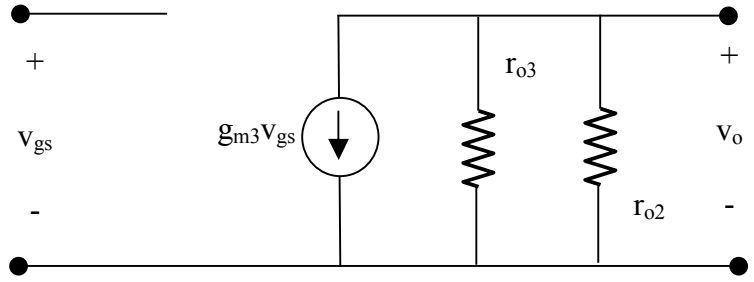
Ayrıca girişin DC değeri  $I_{D3} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{tn})^2$  denkleminde bilinen değerler yerleştirilerek  $\pm (V_{GS} - V_{tn}) = \pm (V_{in} - V_{tn}) = 0,117V$  denkleminde  $V_{GS} > 0$  ve  $V_{GS} > V_{tn}$  olması gerektiğinden  $V_{GS3} = V_{in} = 1,617V$  olarak bulunur.

NMOS'lu kuvvetlendirici:  $r_{o3} = r_{o1} = r_{o2} = \frac{|V_A|}{I_D} = \frac{100V}{0,2mA} = 500k$ ;  $g_{m3} = \sqrt{2\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_{D3}} = 3,42mA/V$

Eşdeğer devreye bakarsak, 2. MOS'un çıkış direncinin çıkışa paralel geldiğini görebiliriz. Dolayısıyla,

$$K_v = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{v_o}{v_g} = -g_m (r_{o3} \parallel r_{o2}) = \underline{\underline{-854}}$$

Yani kazanç kaynağın iç direncinden bağımsızdır, çünkü NMOS'un geçidinden içeri akım akmadığından her zaman için  $v_{gs} = v_{in} = v_g$  dir.

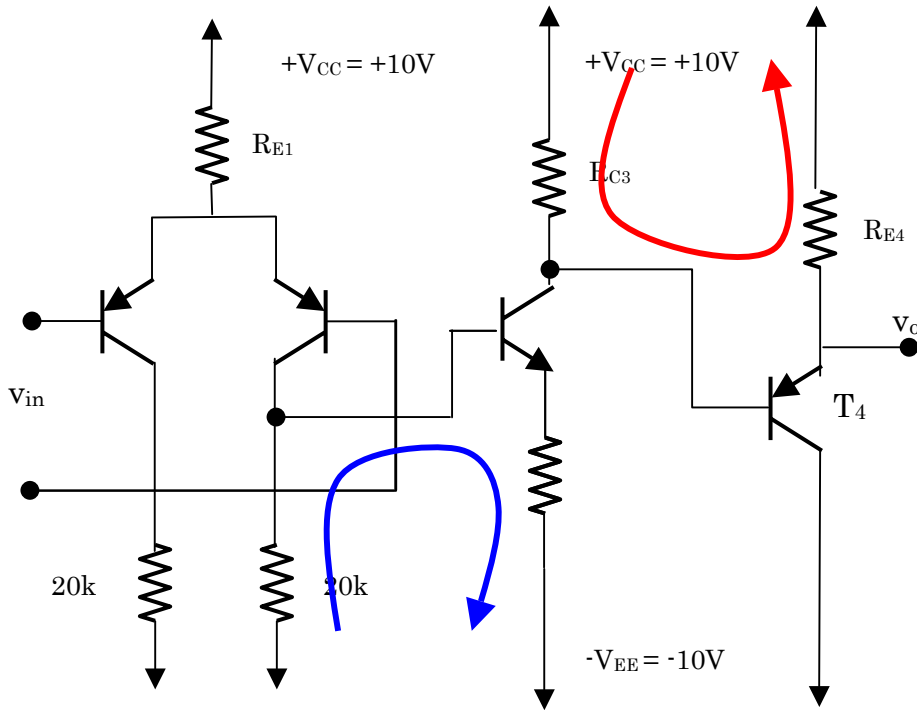


### 3. SORUNUN ÇÖZÜMÜ:

$$R_{E1} = \frac{V_{cc} - (-V_{BE})}{I_{E1,2}} = \frac{V_{cc} - (-V_{BE})}{2 \frac{h_{FE} + 1}{h_{FE}} I_{C1,2}} = \frac{(10 - 0,6)V}{2 * 1,01 * 0,4mA} = \underline{\underline{11k63}}$$

Kuvvetlendirilen işaretin çıkıştaki kırılmasının minimum ve simetrik olması için kutuplama koşulları açısından (DC analizde)  $V_o = 0V$  olmalı.  $R_{E4} = 5k$  ve girişler DC olarak toprakta olduğuna göre

$$I_{E4} = \frac{V_{CC} - V_o}{R_{E4}} = \frac{10V}{5k} = \underline{\underline{2mA}} \Rightarrow I_{C4} = \frac{h_{FE}}{h_{FE} + 1} I_{E4} = \underline{\underline{1,98mA}}$$



Şimdi

$$-V_{EE} = -10V$$

yukarıda devreye

yeniden bakalım... 3. transistörün kutuplama akımını ve kolektör direncinin değerini bulmalıyız. Bunun için önce mavi çevrimi izleyelim:

$$-20k(I_{C2} - I_{B3}) + V_{BE3} + 4k \cdot I_{E3} = 0 \text{ denkleminde } I_{C3} = \underline{\underline{1,745mA}}$$

$$\text{Şimdi de kırmızı çevrimi izlersek } V_{CC} - R_{C3}(I_{C3} - I_{B4}) = -V_{BE4} \text{ ve dolayısıyla } R_{C3} = \underline{\underline{6k14}}$$

$$r_{e1} = r_{e2} = \frac{V_T}{0,4mA} = 62,5\Omega; r_{e3} = \frac{V_T}{1,745mA} = 14,33\Omega; r_{e4} = \frac{V_T}{1,98mA} = 12,63\Omega$$

Gelelim kazanç hesaplarına

$$K_v = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{v_o}{v_{b4}} \cdot \frac{v_{b4}}{v_{b3}} \cdot \frac{v_{b3}}{v_{in}} = + \frac{R_{e4} \parallel R_y}{r_{e4} + R_{e4} \parallel R_y} \cdot \left[ - \frac{R_{C3} \parallel r_{i4}}{r_{e3} + R_{e3}} \right] \cdot \left[ - \frac{R_{C2} \parallel r_{i3}}{2r_{e1}} \right]$$

$$r_{i3} = h_{fe}(r_{e3} + R_{e3}) = 100(14,33 + 4k) = \underline{401k4}; r_{i4} = h_{fe}(r_{e4} + R_{e4}) = 100(12,63 + 1k \parallel 5k) = \underline{84k6}$$

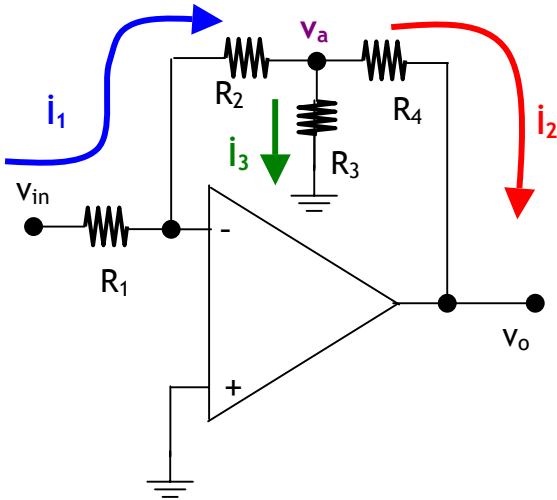
$$K_v = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{5k \parallel 1k}{12,63 + 5k \parallel 1k} \cdot \left[ - \frac{6k14 \parallel 84k6}{14,33 + 4k} \right] \cdot \left[ - \frac{20k \parallel 401k4}{2 \cdot 62,5} \right] = 0,985 \cdot (-1,425)(-152,406) \cong \underline{214}$$

Bu devre iç direnci  $R_g = 100 \Omega$  olan bir işaret kaynağı ile sürülürse

$$K_{toplaml} = \frac{v_o}{v_g} = \frac{v_o}{v_{in}} \cdot \frac{v_{in}}{v_g} = \frac{r_{in1,2}}{r_{in1,2} + R_g} \cdot \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{2h_{FE}r_{e1,2}}{2h_{FE}r_{e1,2} + R_g} \cdot \frac{v_o}{v_{in}} = 0,992 \cdot \frac{v_o}{v_{in}} = \underline{212,39}$$

#### 4. SORUNUN ÇÖZÜMÜ:

Devreyi sol yanda görüldüğü gibi çözümleyeceğiz:



OPAMP'ın eviren ve evirmeyen uçlarından içeri akan akımın değeri SIFIR olduğuna göre, **i<sub>1</sub> akımı** R<sub>1</sub> ve R<sub>2</sub> üzerinden akacak. R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> ve R<sub>4</sub>'ün ortak olan ucunun toprağa gerilimi **v<sub>a</sub>**

$$\text{Kabul edilsin: } \frac{v_{in}}{R_1} = - \frac{v_a}{R_2} \Rightarrow v_a = - \frac{R_2}{R_1} v_{in}$$

**v<sub>a</sub>** düğümünde Kirchoff akım yasasını uygularsak  $i_1 = i_2 + i_3$

$$\text{ya da } - \frac{v_a}{R_2} = \frac{v_a}{R_3} - \frac{v_a - v_o}{R_4} \Leftrightarrow - \frac{v_o}{R_4} = - \frac{v_a}{R_2} - \frac{v_a}{R_3} + \frac{v_a}{R_4}$$

Dolayısıyla

$$v_o = v_a R_4 \left[ \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right] = v_a \left[ \frac{R_4}{R_2} + \frac{R_4}{R_3} + 1 \right] = - \frac{R_2}{R_1} \left[ \frac{R_4}{R_2} + \frac{R_4}{R_3} + 1 \right] v_{in}$$

$$\text{ve } \frac{v_o}{v_{in}} = - \frac{R_2}{R_1} \left[ \frac{R_4}{R_2} + \frac{R_4}{R_3} + 1 \right]$$

Kuvvetlendirici giriş direnci OPAMP'ın eviren girişi toprakta olduğuna göre  $r_i = \frac{v_{in} - 0}{i_1} = R_1$  olduğu için

**R<sub>1</sub> = 1MΩ** seçilmelidir.  $\frac{v_o}{v_a} = \left| - \frac{R_2}{R_1} \left[ \frac{R_4}{R_2} + \frac{R_4}{R_3} + 1 \right] \right| = 100$  olması için **R<sub>2</sub> = 1MΩ** seçersek ilk terimi en

büyükleriz.  $\frac{v_o}{v_a} = \frac{R_4}{R_2} + \frac{R_4}{R_3} + 1 = 100$  denkleminde **R<sub>4</sub> = 1MΩ** seçersek  $\frac{1}{R_3} = \frac{98}{1M\Omega} \Rightarrow \underline{R_3 = 10k2}$