

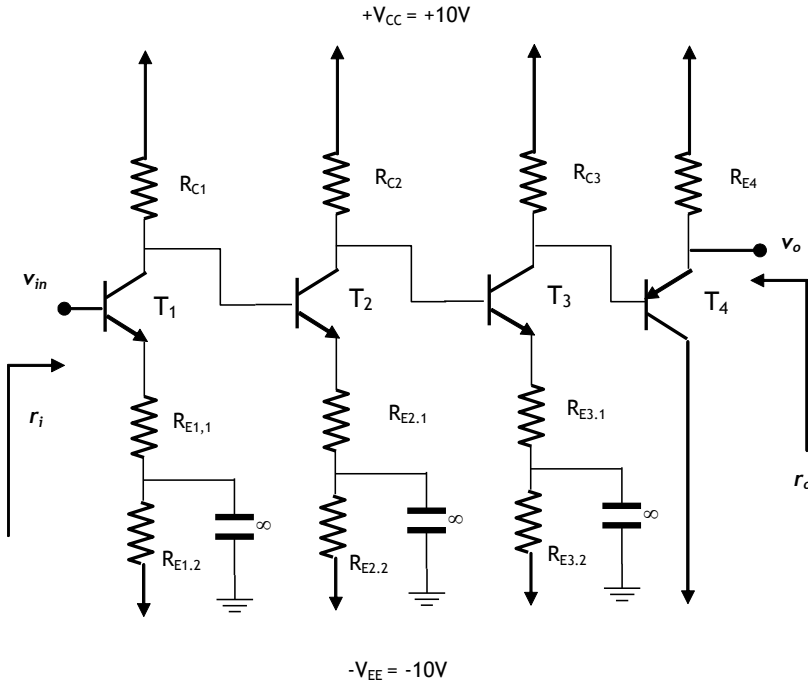
Bu sınavda çözüm için kullandığınız kağıtların yanında SADECE hesap makinası ve kendi el yazınız ile hazırlanmış A4 boyutlu bir "kopya kağıdı" kullanma hakkınız var. Sınav sonunda kağıtlar toplanırken "kopya kağıdı"nızı lütfen sınav kağıtları ile beraber veriniz. "kopya kağıdı"nızı sınav değerlendirildikten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

## ELE222 ELEKTRONİĞE GİRİŞ (11384)

### 2. Yarıyıl Sınavı 15 Aralık 2009 13.30-15.30

### İnci ÇİLESİZ / Nazan İLTÜZER

#### 1. ÇOK KATLI KUVVETLENDİRİCİ TASARIMI (toplam 60 puan, her kat için 15 puan): Yandaki çizimde



görülen tüm BJT'ler için  $h_{FE} = h_{fe} = 250$ ,  $h_{oe} = h_{re} = 0$ ,  $|V_{BE}| = 0,6 \text{ V}$ ,  $+V_{CC} = +10\text{V}$ ,  $-V_{EE} = -10 \text{ V}$ ,  $V_T = 25 \text{ mV}$  olup kuvvetlendirici şu özellikleri sağlamalıdır:

$$K_{v\text{-toplam}} = \left| \frac{v_o}{v_{in}} \right| \geq 1000; r_i \geq 2\text{M}\Omega;$$

$$r_o \leq 50\Omega$$

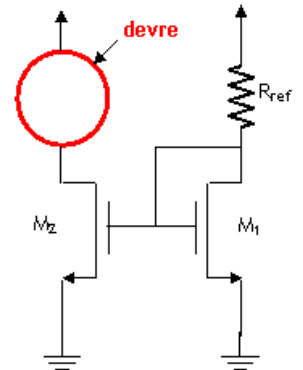
**DİKKAT:** Tasarımda kullanacağınız direnç değerleri 30k'yı aşmamalı, kuvvetlendirilen işaretin çıkıştaki kırılması minimum ve simetrik olacak biçimde tasarım yapılmalıdır.

#### TASARIM ADIMLARI:

- Son kattan başlayarak geriye doğru gidiniz. Öncelikle  $I_{E4}$ 'e bir değer atayınız, örneğin, 1mA. Buradan  $V_o$  koşulunu anımsayıp  $r_{e4}$ ,  $R_{E4}$  ve  $r_{i4}$ 'ü bulunuz.
- $r_o$  ve  $V_o$  koşulları verildiğine göre,  $R_{C3}$ ,  $I_{C3}$  ve  $r_{e3}$ 'ü bulunuz. 3. kattaki transistörün aktif bölgede çalışması için  $V_{B3}$ 'e bir değer atayınız, örneğin  $|V_{CB3}| = 0,6 \text{ V}$  olsun. Buradan  $R_{E3,1}$  ve  $R_{E3,2}$  toplamı bulunur.
2. katın kazancını yüksek tutmak için  $R_{C2}$ 'ye bir değer atayınız, örneğin, 30k. Buradan  $I_{C2}$  ve  $r_{e2}$  bulunur. 2. kattaki transistörün aktif bölgede çalışması için  $V_{B2}$ 'ye bir değer atayınız. Buradan  $R_{E2,1}$  ve  $R_{E2,2}$  toplamı bulunur.
- $r_i$  koşulunu kullanarak ve  $r_{e1} \ll R_{e1}$  anımsayarak  $R_{E1,1}$ 'i bulunuz. 1. katın kazancını yüksek tutmak için  $R_{C1}$ 'e bir değer atayınız, örneğin, 30k. Buradan  $I_{C1}$  ve  $r_{e1}$  bulunur. Girişin DC düzeyini 0,6 V kabul ederek emetör direncini kontrol edip  $R_{E1,2}$ 'yi bulunuz.
- Toplam kazanç ifadesini yazınız, eksik terimleri inceleyiniz. 2. ve 3. katın kazançlarına birer değer atayıp buradan  $R_{E2}$  ve  $R_{E3}$ 'ü bulunuz. Kazanç ve giriş/çıkış direnci koşullarını sağlayıp sağlamadığınızı kontrol ediniz.

- Sağ yanda NMOS'lu bir akım aynası devresi görüyorsunuz. Tek bir NMOS'lu, bir katlı ve savaç çıkışlı bir kuvvetlendirici devresini, bu NMOS'un doymada çalıştığını kabul ederek, PMOS'lu ve savağından 200  $\mu\text{A}$  akım akıtan bir akım aynası ile kutuplayınız.  $+V_{DD} = +5\text{V}$  alınız. Çıkışın DC düzeyini bulmanıza gerek yoktur. Tüm MOS'lar için parametreler:  $V_{tn} = |V_{tp}| = 1,5 \text{ V}$ ;  $\mu_n C_{ox} = 2,5 \mu\text{pC}_{ox} = 175 \mu\text{A/V}^2$ ;  $W = 100 \mu\text{m}$ ,  $L = 0,6 \mu\text{m}$ ; her iki tip MOS için  $|V_A| = 100 \text{ V}$ . 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 işaret kaynağı ile sürülürse çıkışı savağından olan devrenin

yüksüz halde  $K_{vg} = \frac{v_o}{v_g}$  ve  $K_{vi} = \frac{v_o}{v_i}$  gerilim kazançlarını bulunuz (40 puan).



**BAŞARILAR**

BJT'li TASARIM: Kuvvetlendirilen işaretin çıkıştaki kırılması minimum ve simetrik olacak ise  $V_o = 0$  V olmalı. Eğer son katın kollektör akımını 1 mA seçersem  $r_{e4} = \frac{25mV}{1mA} = 25\Omega$  ve  $R_{E4} = \frac{V_{CC} - V_o}{I_{C4}} = 10k$ .

Ayrıca  $r_{i4} = h_{fe}(r_{e4} + R_{E4}) = 250(25 + 10k) = 2M5$  olarak **4. ve son kat parametreleri** bulunur.

$$R_{E4} \gg \left[ r_{e4} + \frac{r_{o3}}{h_{fe} + 1} \right] \text{ olduğu için } r_o = r_{o4} = R_{E4} \parallel \left[ r_{e4} + \frac{r_{o3}}{h_{fe} + 1} \right] \cong r_{e4} + \frac{R_{C3}}{h_{fe} + 1} = 50\Omega \text{ ise}$$

$$\frac{R_{C3}}{h_{fe} + 1} = 25\Omega; \text{ yani } R_{C3} = 6k275 \text{ çıkar.}$$

$$V_o = 0V \Rightarrow V_{B4} = V_{C3} = -0,6V \Rightarrow I_{C3} - I_{B4} = \frac{10V - (-0,6V)}{R_{C3}} = \frac{10,6V}{6k275} = 1,69mA$$

$$\Rightarrow I_{C3} = 1,69mA - \frac{1mA}{250} = 1,686mA \Rightarrow r_{e3} = 14,8\Omega \text{ ve } r_{o3} = R_{C3} = 6k275$$

Şimdi bazı temel tanım bağıntılarını kullanacağız: 3. kattaki npn transistörün aktif bölgede çalışması için BE jonksiyonu iletim yönünde CB jonksiyonu tıkama yönünde kutuplanmış olmalı. Demek ki

$$V_{CB3} > 0V \Rightarrow V_{CB3} = 0,6V \text{ seçersem, } V_{B3} = V_{C3} - V_{CB3} = -1,2V \Rightarrow V_{E3} = -1,8V \text{ elde ederim.}$$

$$R_{E3.1} + R_{E3.2} = \frac{-1,8V - (-10V)}{I_{E3}} = \frac{8,2V}{0,1686mA} = 4k86 \text{ olarak } \mathbf{3. kat parametreleri}$$

2. katın kazancını yükseltmek için  $R_{C2} = 30k$  seçiyorum, yani  $r_{o2} = R_{C2} = 30k$ . Ayrıca

$$I_{C2} + I_{B3} = \frac{10V - (-1,2V)}{R_{C2}} = \frac{11,2V}{30k} = 0,373mA. \Rightarrow I_{C2} = 0,366mA \Rightarrow r_{e2} = 68,3\Omega.$$

2. kattaki npn transistörün aktif bölgede çalışması için BE jonksiyonu iletim yönünde CB jonksiyonu tıkama yönünde kutuplanmış olmalı. Demek ki  $V_{CB2} > 0V \Rightarrow V_{CB2} = 0,6V$  seçersem demekine benzer biçimde

$$V_{B2} = V_{C2} - V_{CB2} = -1,8V \Rightarrow V_{E2} = -2,4V \text{ elde edilir.}$$

$$R_{E2.1} + R_{E2.2} = \frac{-2,4V - (-10V)}{I_{E2}} = \frac{7,6V}{0,367mA} = 20k68 \text{ olarak } \mathbf{2. kat parametreleri}$$

$$r_i = r_{i1} = h_{fe}(r_{e1} + R_{e1}) \geq 2M\Omega \text{ ise } r_{e1} \ll R_{e1} \text{ olduğundan } R_{e1} = \frac{2M\Omega}{250} = 8k.$$

1. katın kazancını yükseltmek için  $R_{C1} = 30k$  seçiyorum,  $r_{o1} = R_{C1} = 30k$ .

$$I_{C1} + I_{B2} = \frac{10V - (-1,8V)}{R_{C1}} = \frac{11,8V}{30k} = 0,393mA$$

$\Rightarrow I_{C1} = 0,364mA$ . Şimdi girişin DC düzeyini 0,6 V kabul ederek emetör direncini kontrol edelim:

$$I_{E1} = \frac{V_{E1} - (-10V)}{R_{e1} + R_{E1.2}} = \frac{10}{8k + R_{E1.2}} = 0,367mA \Rightarrow R_{E1.2} = 19k24. \text{ Ayrıca } r_{e1} = \frac{25mV}{0,364mA} = 68,68\Omega$$

$$r_i = r_{i1} = h_{fe}(r_{e1} + R_{e1}) = 250 \left( \frac{25mV}{0,364mA} + 8k \right) = 2M017 > 2M.$$

$$K_{v-toplam} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_{c3}} \cdot \frac{v_{c3}}{v_{c2}} \cdot \frac{v_{c2}}{v_{c1}} \cdot \frac{v_{c1}}{v_i} = \frac{R_{E4}}{r_{e4} + R_{E4}} \cdot \frac{R_{C3} \parallel r_{i4}}{r_{e3} + R_{E3}} \cdot \frac{R_{C2} \parallel r_{i3}}{r_{e2} + R_{E2}} \cdot \frac{R_{C1} \parallel r_{i2}}{r_{e1} + R_{e1}} \text{ denklemini yeniden}$$

$$\text{yazarsak } K_{v-toplam} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{10k}{25 + 10k} \cdot \frac{6k275 \parallel 2M5}{14,8 + R_{e3}} \cdot \frac{30k \parallel 250(14,8 + R_{e3})}{68,3 + R_{e2}} \cdot \frac{30k \parallel 250(68,3 + R_{e2})}{68,68 + 8k}$$

Burada dikkat edersek 2., 3. ve 4. katların giriş dirençleri çok büyük. Bunlar kendilerinden daha küçük dirençlere paralel geliyor ve eşdeğer direnç küçük dirence çok yakın olacak. Yani

