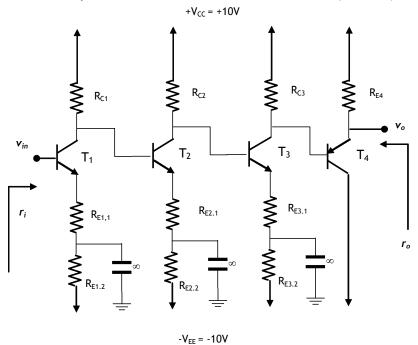
Bu sınavda çözüm için kullandığınız kağıtların yanında SADECE hesap makinası ve kendi el yazınız ile hazırlanmış A4 boyutlu bir "kopya kağıdı" kullanma hakkınız var. Sınav sonunda kağıtlar toplanırken "kopya kağıdı"nızı lütfen sınav kağıtları ile beraber veriniz. "kopya kağıdı"nızı sınav değerlendirildikten 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
$$h_{FE} = h_{fe} = 250$$
, $h_{oe} = h_{re} = 0$, $|V_{BE}| = 0,6$ V, $+V_{CC} = +10$ V, $-V_{EE} = -10$ V, $V_{T} = 25$ mV olup kuvvetlendirici şu özellikleri sağlamalıdır:

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

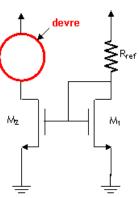
$$r_o \leq 50\Omega$$

<u>DİKKAT</u>: Tasarımda kullanacağınız direnç değerleri 30k'yı aşmamalı, kuvvetlendirilen işaretin çıkıştaki kırpılması minimum ve simetrik olacak biçimde tasarım yapılmalıdır.

TASARIM ADIMLARI:

- a. 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.
- b. 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 $|V_{CB3}| = 0.6$ V olsun. Buradan $R_{E3,1}$ ve $R_{E3,2}$ toplamı bulunur.
- c. 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.
- d. r_i koşulunu kullanarak ve $r_{e1} << R_{e1}$ 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.
- e. Toplam kazanç ifadesini yazınız, eksik terimleri inceleyiniz. 2. ve 3. katın kazançlarına birer değer atayıp buradan $R_{\rm e2}$ ve $R_{\rm e3}$ 'ü bulunuz. Kazanç ve giriş/çıkış direnci koşullarını sağlayıp sağlamadığınızı kontrol ediniz.
- 2. Sağ yanda NMOS'lu bir akım aynası devresi görüyorsunuz. Tek bir NMOS'lu, bir katlı ve savak çıkışlı bir kuvvetlendirici devresini, bu NMOS'un doymada çalıştığını kabul ederek, PMOS'lu ve savağından 200 μ A akım akıtan bir akım aynası ile kutuplayınız. +V_{DD} = +5V alınız. Çıkışın DC düzeyini bulmanıza gerek yoktur. Tüm MOS'lar için parametreler: V_{tn} = |V_{tp}| = 1,5 V; μ _nC_{ox} = 2,5 μ _pC_{ox} = 175 μ A/V²; W = 100 μ m, L = 0,6 μ m; her iki tip MOS için |V_A| = 100 V. Kuvvetlendirici girişinin DC düzeyini, akım aynasının eleman değer(ler)ini, PMOS'ların geçit gerilimlerini bulunuz. NMOS'lu kuvvetlendirici geçidinden R_G = 50 Ω iç dirençli bir işaret kaynağı ile sürülürse çıkışı savağından olan devrenin

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



BJT'li TASARIM: Kuvvetlendirilen işaretin çıkıştaki kırpılması minimum ve simetrik olacak ise $V_0 = 0$ V olmalı. Eğer son katın kollektör akımını 1 mA seçersem $r_{e4} = \frac{25mV}{1mA} = \frac{25\Omega}{m}$ ve $R_{E4} = \frac{V_{CC} - V_o}{I_{E4}} = \frac{10k}{m}$.

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

$$R_{{\scriptscriptstyle E}4} >> \left[r_{{\scriptscriptstyle e}4} + \frac{r_{{\scriptscriptstyle o}3}}{h_{{\scriptscriptstyle f}e} + 1} \right] \qquad \text{olduğu} \qquad \text{için} \qquad r_{{\scriptscriptstyle o}} = r_{{\scriptscriptstyle o}4} = R_{{\scriptscriptstyle E}4} \parallel \left[r_{{\scriptscriptstyle e}4} + \frac{r_{{\scriptscriptstyle o}3}}{h_{{\scriptscriptstyle f}e} + 1} \right] \cong r_{{\scriptscriptstyle e}4} + \frac{R_{{\scriptscriptstyle C}3}}{h_{{\scriptscriptstyle f}e} + 1} = 50\Omega \qquad \text{ise}$$

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

$$V_o = 0V \Rightarrow V_{B4} = V_{C3} = -0.6V \Rightarrow I_{C3} - I_{B4} = \frac{10V - (-0.6V)}{R_{C3}} = \frac{10.6V}{6k275} = 1.69mA$$

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

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

$$V_{CB3}>0V \Longrightarrow V_{CB3}=0.6V \text{ seçersem, } V_{B3}=V_{C3}-V_{CB3}=-1.2V \Longrightarrow V_{E3}=-1.8V \text{ elde ederim.}$$

$$R_{E3.1} + R_{E3.2} = \frac{-1.8V - (-10V)}{I_{E3}} = \frac{8.2V}{01.686mA} = \underbrace{\frac{4k86}{01.686mA}}_{\text{olarak 3. kat parametreleri bulunur.}}$$

2. katın kazancını yükseltmek için $R_{c2} = 30k$ seçiyorum, yani $r_{c2} = R_{c2} = 30k$. Ayrıca

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

2. kattaki npn transistörün aktif bölgede çalışması için BE jonksiyonu iletim yönünde CB jonksiyonu tıkama yönünde kutuplanmış olmalı. Demek ki $V_{CB2}>0V \Longrightarrow V_{CB2}=0.6V$ seçersem deminkine benzer biçimde

$$V_{B2} = V_{C2} - V_{CB2} = -1.8V \Rightarrow V_{E2} = -2.4V$$
 elde edilir.

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

$$r_i = r_{i1} = h_{fe}(r_{e1} + R_{e1}) \ge 2M\Omega$$
 ise $r_{e1} << R_{e1}$ olduğundan $R_{e1} = \frac{2M\Omega}{250} = \frac{8k}{20}$.

1. katın kazancını yükseltmek için $\underline{R_{c1}} = 30k$ seçiyorum, $r_{o1} = R_{C1} = \underline{30k}$

$$I_{C1} + I_{B2} = \frac{10V - (-1.8V)}{R_{C1}} = \frac{11.8V}{30k} = 0.393mA$$

 \Rightarrow $I_{C1} = 0.364mA$. Şimdi girişin **DC düzeyini 0,6 V kabul ederek** emetör direncini kontrol edelim:

$$I_{E1} = \frac{V_{E1} - (-10V)}{R_{e1} + R_{E1.2}} = \frac{10}{8k + R_{E1.2}} = 0.367 mA \Rightarrow \underbrace{\frac{R_{E1.2} = 19k24}{mR_{E1.2}}}_{\text{end}} \text{. Ayrıca } r_{e1} = \underbrace{\frac{25mV}{0.364mA}}_{\text{end}} = \underbrace{\frac{68,68\Omega}{mR_{e1}}}_{\text{end}}$$

$$r_i = r_{i1} = h_{fe}(r_{e1} + R_{e1}) = 250 \left(\frac{25mV}{0.364mA} + 8k \right) = \underline{2M017 > 2M}.$$

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

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

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

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

$$K_{v-toplam} = \frac{v_o}{v_i} \approx 0,997 \cdot \frac{6k275}{14,8+R_{e3}} \cdot \frac{30k}{68,3+R_{e2}} \cdot 3,71 = 3,70 \\ \frac{6k275}{14,8+R_{e3}} \cdot \frac{30k}{68,3+R_{e2}} \ . \ \ \text{Yandaki ifadede}$$

toplam kazancın 1000 olması için her iki çarpan da 16 civarında olmalı. Diyelim ki her biri 20'ye eşit.

$$\text{Buradan } \frac{6k275}{14,8+R_{e3}} = 20 \Rightarrow R_{e3} \approx \underline{\underline{300\Omega}} \; ; \; \frac{30k}{68,3+R_{e2}} = 20 \Rightarrow R_{e2} \approx \underline{\underline{1k4}} \; . \; \text{Yeniden hesaplarsak }$$

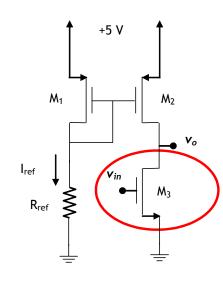
$$K_{v-toplam} = \frac{v_o}{v_i} = 0.997 \cdot \frac{6k259}{14.8 + 300} \cdot \frac{30k \parallel 250(14.8 + 300)}{68.3 + 1k4} \cdot \frac{30k \parallel 250(68.3 + 1k4)}{68.68 + 8k}$$

$$\Rightarrow K_{v-toplam} = 0.997*19.88*14.79*3.44 = 1008.4$$

Sağlamayı yaptığımıza göre artık 2. ve 3. katın emetör eleman değerlerini bulabiliriz:

$$R_{E3.1} + R_{E3.2} = \underline{4k86} \text{ ve } R_{e3} \approx \underline{300\Omega} \implies R_{E3.1} = \underline{300\Omega}; R_{E3.2} = \underline{4k56}$$
 $R_{E2.1} + R_{E2.2} = \underline{20k68} \text{ ve } R_{e2} \approx \underline{1400\Omega} \implies R_{E2.1} = \underline{1400\Omega}; R_{E2.2} = \underline{19k48}$

MOS'lu PROBLEM:



Anlatılan devrenin çizimi sol yanda görüldüğü gibi olmalı. NMOS'lu kuvvetlendirici devresi kırmızı daire içine görülüyor.

 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} .

$$I_{D2} = I_{D1} = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{tp})^2$$
 denklemine verilen değerler

konulduğunda $\pm V_{GS}=0.185V\mp1.5V$ 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'da ${\bf V}_{\rm GS}$ < ${\bf 0}$ olması gerektiğinden $V_{GS1}=V_{GS2}=-1.315V$ doğru

çözümdür.

Buradan
$$V_G = 5V - (-V_{GS}) = 3,685V$$
 ve dolayısıyla

$$I_{D3}=I_{D2}=I_{D1}=I_{re\!f}=200\mu A=\frac{V_G-0}{R_{r\!e\!f}} \ \ {\rm denkleminden} \label{eq:ID3}$$

$$R_{\mathit{ref}} = \frac{V_{\mathit{G}}}{I_{\mathit{ref}}} = \underbrace{\underline{18k425}}_{D3} \; \; \text{bulunur. Ayrıca girişin DC değeri} \; I_{\mathit{D3}} = \frac{1}{2} \, \mu_{\scriptscriptstyle B} C_{\scriptscriptstyle ox} \, \frac{W}{L} \big(V_{\scriptscriptstyle GS} - V_{\scriptscriptstyle In} \big)^2 \; \; \text{denklemine bilinen}$$

değerler yerleştirilerek $\pm \left(V_{GS}-V_{tn}\right)=\pm \left(V_{in}-V_{m}\right)=0,117V$ denkleminden $\mathbf{V}_{GS}>\mathbf{0}$ ve $\mathbf{V}_{GS}>\mathbf{V}_{tn}$ olması gerektiğinden $V_{GS3}=V_{in}=1,617V$ olarak bulunur.

NMOS'lu kuvvetlendirici:
$$r_{o3} = r_{o1} = r_{o2} = \frac{|V_A|}{I_D} = \frac{100V}{0.2mA} = \underline{\underline{500k}}$$
; $g_{m3} = \sqrt{2\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_{D3}} = \underline{\underline{3.42mA/V}}$

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

$$K_{_V}=rac{v_{_O}}{v_{_{in}}}=rac{v_{_O}}{v_{_g}}=-g_{_m}ig(r_{_{O3}}\parallel r_{_{O2}}ig)=\underline{-854}$$
 . Yani kazanç

kaynağın iç direncinden bağımsızdır, çünkü NMOS'un geçidinden içeri akım akmadığından her zaman için $\mathbf{v}_{qs} = \mathbf{v}_{in} = \mathbf{v}_{q}$ dir.

