

ÖNEMLİ: 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)

2. Yarıyıl Sınavı ✍ 14 Aralık 2004 ⌚ 14.00-16.00

İnci ÇİLESİZ / Özgür ATEŞ

1. ÇOK KATLI KUVVETLENDİRİCİ TASARIMI (60 puan):

pnp ve npn cinsi karışık BJT'lerle en az iki katlı bir kuvvetlendirici tasarlanacaktır. Tüm BJT'ler için $h_{FE} = h_{fe} = 250$, $h_{oe} = h_{re} = 0$, $|V_{BE}| = 0,6 \text{ V}$, $+V_{CC} = +10\text{V}$, $-V_{EE} = -10 \text{ V}$ olup kuvvetlendirici şu özellikleri sağlamalıdır:

$$K_{v\text{-toplam}} = \left| \frac{v_o}{v_{in}} \right| \geq 1000; \quad r_i \geq 2\text{M}\Omega; \quad r_o \leq 50\Omega$$

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

İPUCU: Baz bölücü direnç kullanılması gerekmemektedir.

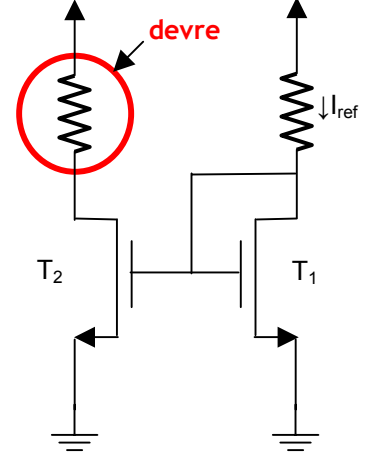
2. 1. yarıyıl sınavında sağ yandaki NMOS'lu akım aynası devresini görmüştünüz. Şimdiyse, NMOS'lu tek katlı bir kuvvetlendirici devresini, bu MOS'un doymada çalıştığını kabul ederek, savağından PMOS'lu 200 μA akım akıtan bir akım aynası ile kutuplayınız. $+V_{DD} = +5\text{V}$ alınız. Çıkışın DC düzeyini bulmanıza gerek yoktur.

Tüm MOS'lar için parametreler:

$$V_{tn} = |V_{tp}| = 1,5 \text{ V}; \quad \mu_n C_{ox} = 2,5 \mu\text{pC}_{ox} = 175 \mu\text{A/V}^2;$$

$$W = 100 \mu\text{m}, \quad L = 0,6 \mu\text{m};$$

$$\text{her iki tip MOS için } |V_A| = 100 \text{ V};$$



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

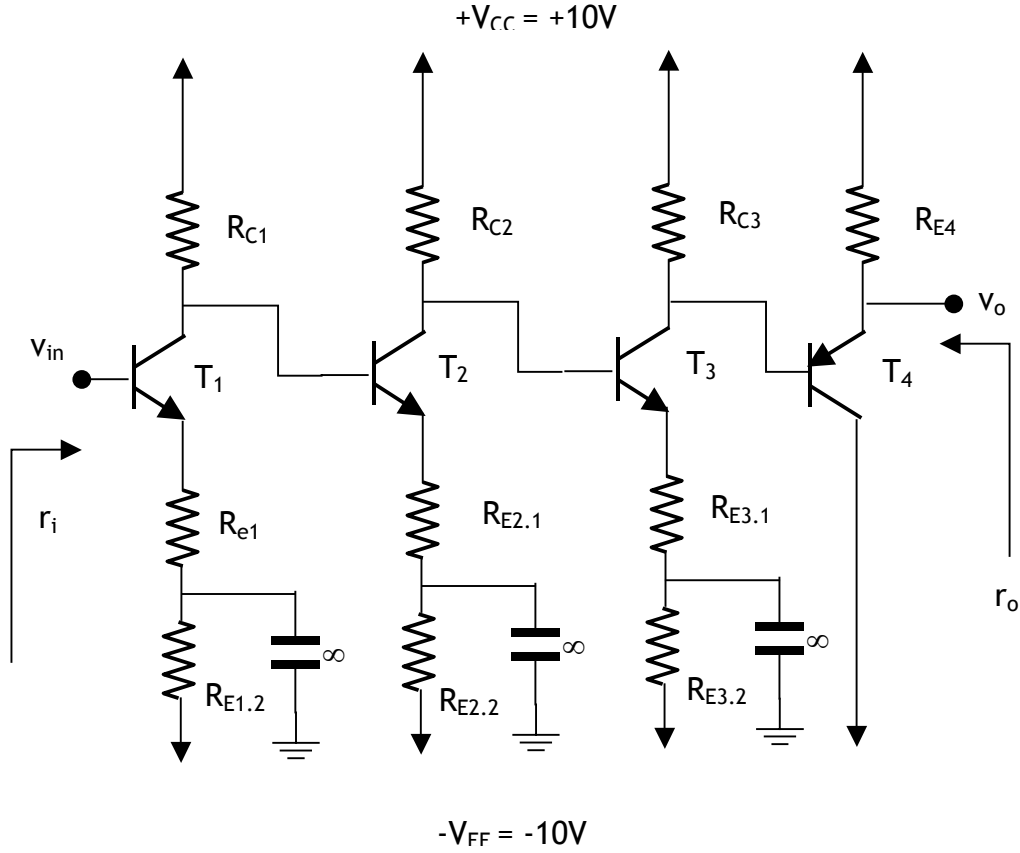
bir işaret kaynağı ile sürülürse çıkışı savağından olan devrenin yüksüz halde $K_{vg} = \frac{v_o}{v_g}$

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

BAŞARILAR!

ÇÖZÜMLER:

1. ÇOK KATLI KUVVETLENDİRİCİ TASARIMI



Kuvvetlendirilen işaretin çıkıştaki kırılıması minimum ve simetrik olacak ise $V_o = 0V$ 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.

$r_o = r_{o4} = r_{e4} + \frac{r_{o3}}{h_{fe} + 1} = r_{e4} + \frac{R_{C3}}{h_{fe} + 1} = 50\Omega$ ise $\frac{R_{C3}}{h_{fe} + 1} = 25\Omega$; yani $R_{C3} = 6k275$ çıkar.

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

$\Rightarrow I_{C3} = 1,69mA - \frac{1mA}{250} = 1,686mA \Rightarrow r_{e3} = 14,8\Omega$ 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

$$K_{v-toplam} = \frac{v_o}{v_i} = 0,997 \cdot \frac{6k259}{14,8 + 300} \cdot \frac{30k \parallel 250(14,8 + 300)}{68,3 + 1k4} \cdot \frac{30k \parallel 250(68,3 + 1k4)}{68,68 + 8k}$$

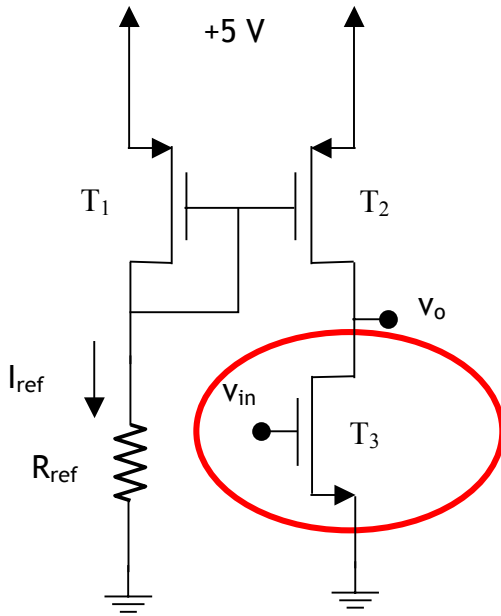
$$\Rightarrow K_{v-toplam} = 0,997 * 19,88 * 14,79 * 3,44 = \underline{1008,4}$$

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

$$R_{E3.1} + R_{E3.2} = \underline{4k86} \text{ ve } R_{e3} \approx \underline{300\Omega} \Rightarrow R_{E3.1} = \underline{300\Omega}; R_{E3.2} = \underline{4k56}$$

$$R_{E2.1} + R_{E2.2} = \underline{20k68} \text{ ve } R_{e2} \approx \underline{1400\Omega} \Rightarrow R_{E2.1} = \underline{1400\Omega}; R_{E2.2} = \underline{19k48}$$

2. PMOSlu akım ayna beslemeli tek katlı NMOS kuvvetlendirici tasarımı tasarımı:



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

T₁ ve T₂ 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}.

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

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 $V_{GS1} = V_{GS2} = \underline{\underline{-1,685V}}$ doğru çözümdür.

Buradan $V_G = 5V - (-V_{GS}) = \underline{\underline{3,315V}}$ ve dolayısıyla

$$I_{D3} = I_{D2} = I_{D1} = I_{ref} = 200\mu A = \frac{V_G - 0}{R_{ref}} \quad \text{denkleminden}$$

$$R_{ref} = \frac{V_G}{I_{ref}} = \underline{\underline{16k575}} \quad \text{bulunur. Ayrıca girişin DC değeri } I_{D3} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{tn})^2 \quad \text{denklemine}$$

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

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

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

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

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

