

ELE415 Analog Tümdevreler

2010-2011 Eğitim-Öğretim Yılı

Yılsonu Sınavı

Süre 90 dakikadır. Soruların tümü yanıtlanacaktır. Kendi not ve kitaplarınızdan yararlanabilirsiniz. Puanlama: 1(30), 2(25), 3(25), 4(20)

Sorulardaki MOS transistorlar için $V_{TN} = 1V$, $V_{TP} = -1V$, $k_N' = 2.k_P' = 20\mu A/V^2$, $\lambda_N = 0.01V^{-1}$, $\lambda_P = 0.02V^{-1}$ olarak verilmiştir.

Soru 1. Şekil-1'deki işlemsel kuvvetlendirici $V_{DD} = V_{SS} = 2.5V$ 'luk simetrik kaynakla beslenmektedir. Devrede $I_B = 20\mu A$, $I_7 = 60\mu A$, $(W/L)_1 = 3$, $(W/L)_3 = 1$, $(W/L)_5 = (W/L)_8 = (10/3)$ olarak belirlenmiştir.

- Sistematik dengesizlik olmaması için eleman boyutları nasıl seçilmelidir?
- Birim kazanç band genişliği $f_1 = 1.5MHz$ olarak belirlenmiştir. Bu band genişliğini sağlayan C_C kompanzasyon kapasitesi değerini hesaplayınız; yükselme eğimini, sağ yarıdüzlemdeki sıfırı sonsuza kaydıran sıfırlama direncini bulunuz.
- İşlemsel kuvvetlendiricinin açık çevrim kazancını hesaplayınız.

Soru 2.

- Şekil-2a'daki band aralığı devresinde $R_2 = a.R_1$, $I_{S2} = m.I_{S1}$ olarak verilmiştir. İşlemsel kuvvetlendiriciyi ideal kabul ederek V_{OUT} çıkış gerilimini veren bağıntıyı yazınız.
- İşlemsel kuvvetlendiricinin V_{OS} giriş dengesizlik gerilimi nedeniyle band aralığı devresi Şekil-2b'deki biçime dönüşmektedir. Bu durum için V_{OUT} çıkış gerilimini veren bağıntıyı yeniden yazınız; V_{OS} dengesizlik geriliminin V_{OUT} çıkış gerilimini nasıl etkilediğini gerekli açıklamaları vererek belirtiniz.

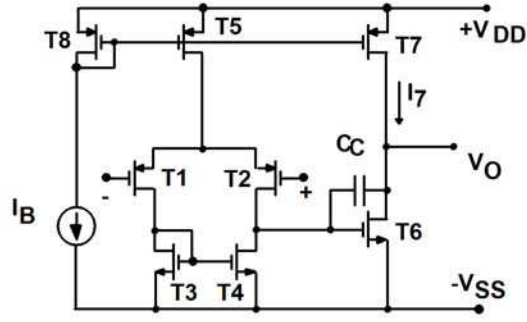
Soru 3. Şekil-3a'da verilen OTA-C osilatörü, Şekil-3b'de verilen CMOS OTA yapısı kullanılarak gerçekleştirilecektir. OTA-C osilatöründe $C_1 = C_2 = 25pF$ olacak ve osilatör $f_0 = 1MHz$ 'de çalışacaktır. Devre simetrik besleme kaynakları ile beslenmektedir.

- Devredeki OTA'ların geçiş iletkenliği nasıl seçilmelidir?
- OTA'nın (a) daki geçiş iletkenliği değerini sağlarken $I_A = 100\mu A$ 'lık bir kutuplama akımında çalışması, giriş işaretini değişim aralığının $-1V \leq V_{ID} \leq +1V$ ve ilk kat kazancının da $K_V = 2$ olması, V_O çıkış geriliminin her iki yöne de simetrik olarak dalgalanması istenmektedir. Transistorların (W/L) oranlarını belirleyiniz.
- OTA'nın yükselme eğimini hesaplayınız.

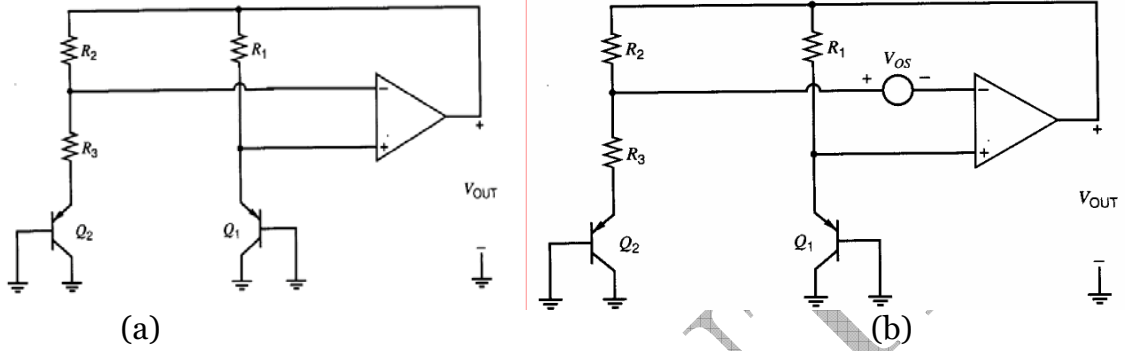
Soru 4. Şekil-4'deki katlanmış Gilbert devresinde analog çarpma devresinin K kazanç sabitinin $K = 200\mu A/V^2$, NMOS ve PMOS transistorlar için $K_n = K_p$, çıkış fark akımının $(\Delta I = I_8 - I_7)$ değişim aralığının

$$-150\mu A \leq \Delta I \leq +150\mu A$$

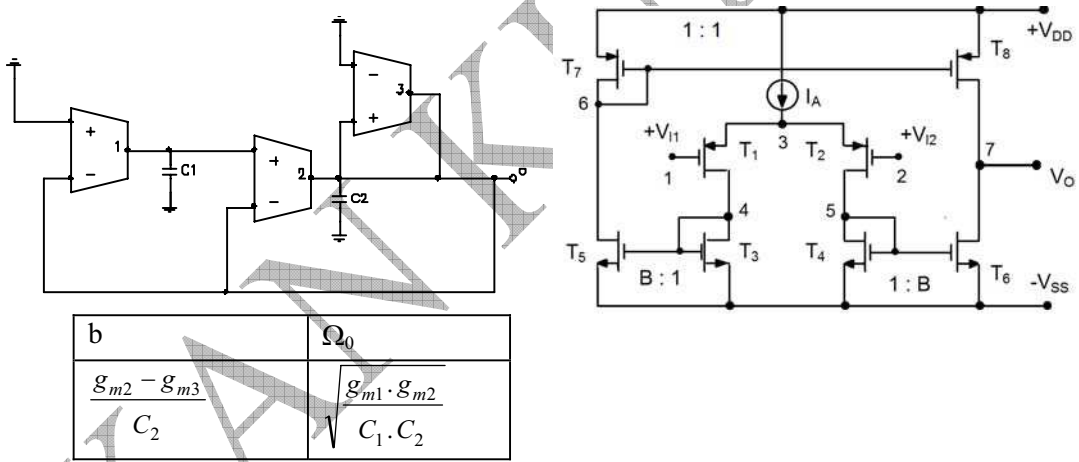
olması istenmektedir. I_{Ssi} ($i = 1, 2, 3$) akımlarını ve transistorların $(W/L)_j$ ($j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) oranlarını belirleyiniz.



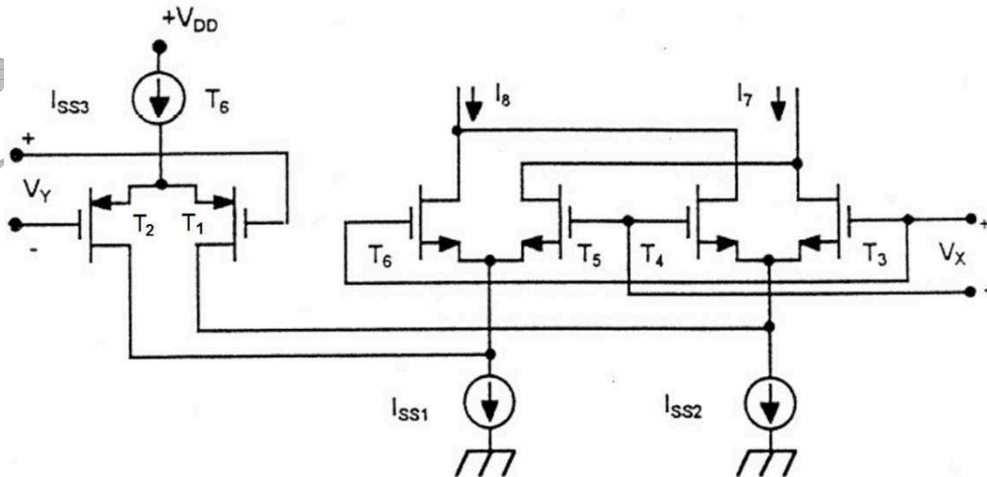
Şekil-1 (Soru 1)



Şekil-2. (a) ideal işlemsel kuvvetlendirici ile band aralığı referansı (b) dengesizlik geriliminin etkisi. (Soru 2)



Şekil-3. (a) OTA-C osilatörü (b) Simetrik CMOS OTA (Soru 3)



Şekil-4 (Soru 4)

Soru 1.

$$\text{a-} \quad \frac{(W/L)_3}{(W/L)_6} = \frac{(W/L)_4}{(W/L)_6} = \frac{1}{2} \frac{(W/L)_5}{(W/L)_7} = \frac{I_O}{2 \cdot I_7} \Rightarrow (W/L)_7 = \frac{I_7}{I_O} (W/L)_5$$

$$(W/L)_7 = \frac{60 \mu A}{20 \mu A} (10/3) = \frac{30}{3} = 10$$

$$(W/L)_6 = (W/L)_{3-4} \cdot \frac{2 \cdot I_7}{I_O} = 1 \times \frac{2 \times 60 \mu A}{20 \mu A} = 6$$

b-

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 = \frac{g_{m1-2}}{C_C} \Rightarrow C_C = \frac{g_{m1-2}}{2 \cdot \pi \cdot f_1}$$

$$g_{m1-2} = \sqrt{k_p' \cdot I_O \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_{1-2}} = \sqrt{10 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{-6} \times 3} = 24.49 \mu A/V$$

$$C_C = \frac{24.49 \mu A/V}{2 \cdot \pi \cdot 1.5 \times 10^6} = 2.6 \text{ pF}$$

$$y_e = \left| \frac{dV_O}{dt} \right|_{maks} = \frac{20 \times 10^{-6}}{2.6 \times 10^{-12}} = 7.69 \text{ V} / \mu s$$

$$s_0 = \frac{1}{C_C \cdot \left[\frac{1}{g_{m2}} - R_Z \right]} \Rightarrow g_{m2} \text{ ikinci kat eğimi burada } g_{m6} \text{ eğimine karşı düşer.}$$

$$R_Z = \frac{1}{g_{m6}} \quad g_{m6} = \sqrt{k_N' \cdot I_7 \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_6} = \sqrt{20 \times 10^{-6} \times 60 \times 10^{-6} \times 6} = 120 \mu A/V$$

$$R_Z = \frac{1}{120 \mu A/V} = 8.3 \text{ k}\Omega$$

c-

$$K_{V1} = \frac{g_{m1}}{g_{o2} + g_{o4}}$$

$$K_{V2} = -\frac{g_{m6}}{g_{o6} + g_{o7}}$$

$$g_{o2} = \lambda_p \cdot I_{D2} = \frac{1}{2} \lambda_p \cdot I_O = 0.02 \times 10 \times 10^{-6} = 0.2 \mu A/V$$

$$g_{o4} = \lambda_n \cdot I_{D4} = \frac{1}{2} \lambda_n \cdot I_O = 0.01 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^{-6} = 0.1 \mu A/V$$

$$g_{o7} = \lambda_p \cdot I_7 = 0.02 \times 60 \times 10^{-6} = 1.2 \mu A/V \quad g_{o6} = \lambda_n \cdot I_7 = 0.01 \times 60 \times 10^{-6} = 0.6 \mu A/V$$

$$K_{V1} = 81.5 \quad K_{V2} = -66$$

$$K_d = 5466$$

Soru 2.

a)

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{I_1}{I_2} = a$$

$$I_1 = I_{S1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right), \quad I_2 = I_{S2} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB2}}{V_T}\right) \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_{S1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right)}{I_{S2} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB2}}{V_T}\right)} = \frac{1}{m} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1} - V_{EB2}}{V_T}\right)$$

$$\Delta V_{EB} = V_{EB1} - V_{EB2} = V_T \cdot \ln\left(m \cdot \frac{I_1}{I_2}\right) = V_T \cdot \ln(m \cdot a)$$

$$V_{OUT} = V_{EB1} + I_1 \cdot R_1 = V_{EB1} + a \cdot I_2 \cdot R_1 = V_{EB1} + a \frac{\Delta V_{EB}}{R_3} R_1 = V_{EB1} + V_T \cdot a \frac{R_1}{R_3} \cdot \ln(m \cdot a)$$

veya

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= V_{EB2} + I_2 \cdot R_2 + \Delta V_{EB} = V_{EB2} + \frac{\Delta V_{EB}}{R_3} R_2 + \Delta V_{EB} = V_{EB2} + \Delta V_{EB} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) \\ &= V_{EB2} + \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_T \cdot \ln(m \cdot a) \end{aligned}$$

b) V_{OS} varsa

$$V_{R3} = V_{EB1} - V_{EB2} + V_{OS} = \Delta V_{EB} + V_{OS}$$

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= V_{EB2} + V_{R3} + V_{R2} \\ &= V_{EB2} + \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) (\Delta V_{EB} + V_{OS}) \end{aligned}$$

$$V_{OUT} = V_{EB2} + \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) (\Delta V_{EB}) + V_{OS(out)}$$

$$V_{OS(out)} = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_{OS}$$

Soru 3.

$$g_{m2} = g_{m3}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_1 \cdot C_2}} \rightarrow g_{m1} = g_{m2} = 2\pi \cdot f \sqrt{C_1 \cdot C_2} = 2\pi \cdot f \cdot C$$

$$g_m = 2 \times 3.14 \times 10^6 \times 25 \times 10^{-12} = 157 \mu A/V$$

$$\Delta V_I \leq \sqrt{\frac{2 \cdot I_A}{\mu \cdot C_{OX} \left[\frac{W}{L} \right]_{1-2}}} \rightarrow \left[\frac{W}{L} \right]_{1-2} = \frac{2 \cdot I_A}{\mu_p \cdot C_{OX} \Delta V_I^2} = \frac{2 \cdot I_A}{k_p' \cdot \Delta V_I^2}$$

$$\left[\frac{W}{L} \right]_{1-2} = \frac{2 \times 100 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-6} \cdot (1)^2} = 20$$

$$K_V = \frac{g_{m1}}{g_{m4}} = \frac{k_p' \cdot (W/L)_1}{k_n' \cdot (W/L)_3} \rightarrow (W/L)_3 = \frac{k_p' \cdot (W/L)_1}{k_n' \cdot K_V^2} = \frac{10 \cdot 20}{20 \cdot (2)^2} = 2.5$$

$$G = B \cdot \sqrt{k_p' \cdot I_A \cdot \left(\frac{W}{L} \right)_{1-2}} \rightarrow B = \frac{G}{\sqrt{k_p' \cdot I_A \cdot \left(\frac{W}{L} \right)_{1-2}}} = \frac{157 \times 10^{-6}}{\sqrt{10 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^{-6} \times 20}} = 1.11$$

$$\left(\frac{W}{L} \right)_{5-6} = B \cdot \left(\frac{W}{L} \right)_{3-4} = 2.775$$

$$V_{DSsat} = [V_{GS} - V_{TN}] = \sqrt{\frac{2I_D}{\left(\frac{W}{L} \right)_{5-6} k_n'}} = \sqrt{\frac{(B/2) \cdot I_A}{\left(\frac{W}{L} \right)_{5-6} k_n'}} = \sqrt{\frac{0.555 \times 100 \times 10^{-6}}{2.775 \times 20 \times 10^{-6}}} = 1V$$

Diğer tarafta da benzeri gerilim düşümü olmalı.

$$V_{DPSat} = [V_{GS7-8} - V_{TP}] = \sqrt{\frac{(B/2) \cdot I_A}{\left(\frac{W}{L} \right)_{7-8} k_p'}} \rightarrow \left(\frac{W}{L} \right)_{7-8} = \frac{(B/2) \cdot I_A}{k_p' \cdot [V_{GS7-8} - V_{TP}]^2} \frac{(0.555) \times 100 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-6} \cdot [1V]^2} = 5.55$$

$$SR = B \cdot \frac{I_A}{C_L + C_{n7}} = 1.11 \times \frac{100 \times 10^{-6}}{25 \times 10^{-12}} = 4.08V / \mu sn$$

Soru 4.

$$K = \sqrt{2.K_n.K_p} = \sqrt{\frac{1}{2}k_N' \left[\frac{W}{L} \right]_{3-4} \cdot \frac{1}{2}k_P' \left[\frac{W}{L} \right]_{1-2}} = \sqrt{2}.K_n = \sqrt{2}.K_p \rightarrow k_N' \left[\frac{W}{L} \right]_{3-4} = k_P' \left[\frac{W}{L} \right]_{1-2}$$

$$K = \sqrt{2}.K_n = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot k_N' \left[\frac{W}{L} \right]_{3-4} \rightarrow \left[\frac{W}{L} \right]_{3-4} = \frac{\sqrt{2}K}{k_N'} = \frac{\sqrt{2} \times 200 \times 10^{-6}}{20 \times 10^{-6}} = 14.14$$

$$\left[\frac{W}{L} \right]_{1-2} = \frac{k_N'}{k_P'} \left[\frac{W}{L} \right]_{3-4} = \frac{20 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-6}} \times 14.14 = 28.28$$

$$-150 \mu\text{A} \leq \Delta I \leq +150 \mu\text{A}$$

$$I_{SS1} = I_{SS2} = I_{SS3} = I_{SS}$$

$$-I_{SS} \leq \Delta I \leq I_{SS} \rightarrow I_{SS} = 150 \mu\text{A} \text{ olmalı.}$$