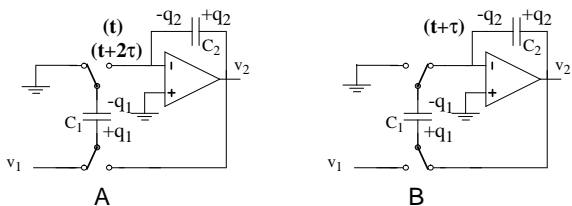


1. a) Laddningsanalys



1. Switch enl. A: (t)
 $q_1(t) = C_1 v_1(t)$; $q_2(t) = C_2 v_2(t)$

2. Switch enl. B: (t+ τ)
 $q_1(t + \tau) = C_1 v_2(t + \tau)$; $q_2(t + \tau) = C_2 v_2(t + \tau)$

Laddningen bevaras:

$$q_1(t + \tau) + q_2(t + \tau) = q_2(t) + q_1(t)$$

Detta ger:

$$C_1 v_2(t + \tau) + C_2 v_2(t + \tau) = C_1 v_1(t) + C_2 v_2(t)$$

3. Switch enl. A: (t+2 τ)

$$q_1(t + 2\tau) = C_1 v_1(t + 2\tau)$$
 ; $q_2(t + 2\tau) = C_2 v_2(t + 2\tau)$

Laddningen på C_2 bevaras:

$$q_2(t + 2\tau) = q_2(t + \tau) \Rightarrow v_2(t + 2\tau) = v_2(t + \tau)$$

Vi får då:

$$v_2(t + 2\tau) = \frac{C_1 v_1(t) + C_2 v_2(t)}{C_1 + C_2}$$

b) Sätt: $t + 2\tau = kT$; $2\tau = T$ vilket ger:

$$v_2(kT) = \frac{C_1 v_1(kT - T) + C_2 v_2(kT - T)}{C_1 + C_2}$$

Z-transformera:

$$V_2(z) = \frac{C_1 z^{-1} V_1(z) + C_2 z^{-1} V_2(kT - T)}{C_1 + C_2}$$

Detta ger:

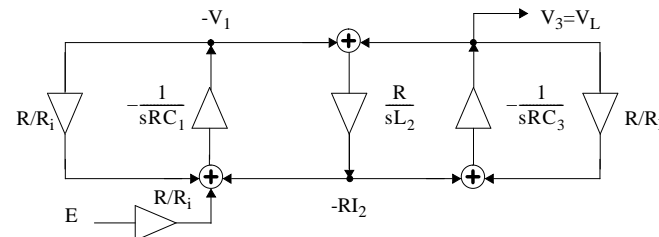
$$V_2(z) = \frac{C_1 z^{-1} V_1(z)}{1 - \frac{C_2}{C_1 + C_2} z^{-1}} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \frac{V_1(z)}{z - \frac{C_2}{C_1 + C_2}}$$

c) Integratorn är parasitokänslig ty switchen på OP:ns ingång switchas mellan jord och virtuell jord. Detta medför att en eventuell parasitkapacitans inte har någon effekt om OP:n antas ideal.

2. För LDI-transformen gäller $s = s_0 \frac{z-1}{z^{1/2}}$ och $\omega_a = 2s_0 \sin\left(\frac{\omega T}{2}\right)$. Beräkna värdet av s_0

$$s_0 = \frac{\omega_{ac}}{2 \sin\left(\frac{\omega_c T}{2}\right)} = \frac{1}{2 \sin\left(\frac{2\pi \cdot 2k}{2 \cdot 100k}\right)} = 7.96 \text{ rad/s} \quad (1)$$

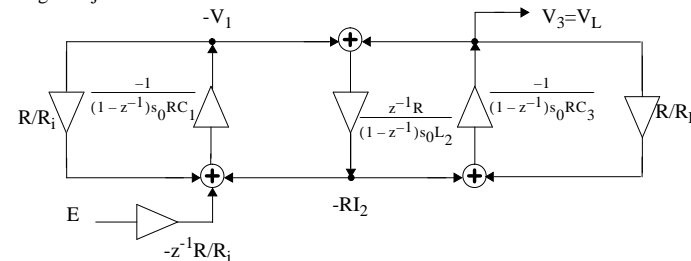
Tabell s. 100 ger signalfödesschema för ett elliptiskt filter. genom att sätta $C_2 = 0$ fås:



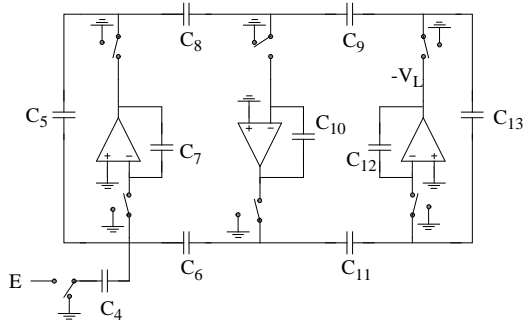
LDI-transformera och kompensera för $z^{-1/2}$ i yttre grenarna:

$$C_1' = C_3' = C_1 - \frac{1}{2s_0 R_i} = 0.9372F$$

Detta ger följande flödesschema:



Detta ger följande realisering:



$$R = R_i = R_L = 1 \Rightarrow \frac{C_4}{C_7} = \frac{C_5}{C_7} = \frac{C_6}{C_7} = \frac{C_4}{C_7} = \frac{C_{13}}{C_{12}} = \frac{1}{s_0 C_1'} = 0.1340$$

$$\frac{C_8}{C_{10}} = \frac{C_9}{C_{10}} = \frac{1}{s_0 L_2} = 0.0628$$

b) LDI-transformationen används för smalbandiga filter. För bredbandiga filter används bilinjär transformation

3.

1. Enligt tabellen så är $\lambda_n = 0.01 V^{-1}$ och $\lambda_p = 0.02 V^{-1}$ då $L_{min} = 10\mu m$.

2. Fasmarginalen var given 60° . Enligt kokboksreceptet och kompenseringstabellen skall vi välja $X_\phi = 2.2$ och $X_z = 10$.

$$z_1 = X_z \cdot GB = g_{m6}/C_C \text{ och } p_2 = -g_{m6}/C_L > -X_\phi GB$$

Om dessa två ekvationer divideras med varandra så fås en undre gräns på C_C :

$$C_C = \frac{X_\phi}{X_z} C_L = 2.2 pF$$

3. Det finns ingen uppgift om insvängningstiden T_S så därför kan I_5 beräknas med hjälp av Slew rate: $I_5 = SR \cdot C_C$. I punkt 2 beräknades C_C :

$$I_5 = 50M \cdot 2.2p = 110\mu A$$

4. Bestäm storleken på transistor M3 genom att använda CMR. Enligt receptet:

$$S_3 = S_4 = \frac{I_5}{K'_3 [V_{DD} - V_{in,hi} - |V_{T3}| + V_{T1}]^2} = \frac{110\mu}{8\mu(5-2-1+1)^2} \approx 1.53$$

$$S_3 = S_4 = 1.53.$$

5. Se till att polen som uppstår på grund av M3 inte är dominant.

$$PM3 = \frac{-g_{m3}}{2 \cdot 0.67 \cdot C_{ox} I_{min} W_3} = \frac{\sqrt{2K'_p S_3 I_3}}{2 \cdot 0.67 \cdot C_{ox} I_{min} W_3} = \frac{\sqrt{8\mu \cdot 1.53 \cdot 110\mu}}{1.33 \cdot 0.43f \cdot 10 \cdot 10} \approx 642M \text{ ras/s}$$

vilket är större än $10GB=62.8Mrad/s$ och p_3 har därmed liten effekt på fasmarginalen.

6. Bestäm storleken på transistor M2 genom att använda GB.

$$S_1 = S_2 = \frac{g_{m2}^2}{K'_2 I_5} = \frac{(GB \cdot C_C)^2}{K'_2 I_5} = \frac{(2\pi \cdot 1M \cdot 2.2p)^2}{17\mu \cdot 110\mu} \approx 0.1 \text{ välj } S_1 = S_2 = 1$$

$$\text{Detta ger } g_{m2} = \sqrt{2K'_2 S_2 I_2} = 43.2\mu A/V$$

7. Använd CMR för att beräkna storleken på transistor M5:

$$V_{DS, sat5} = V_{in,lo} - V_{SS} - \sqrt{I_5/\beta_1} - V_{T1} = 0.46 \cdot OK$$

$$S_5 = \frac{2I_5}{K'_5 V_{DS, sat5}^2} = \frac{2 \cdot 110\mu}{17\mu(0.1)^2} = 62.2$$

8. Använd OR för att beräkna storleken på transistor M6:

$$S_6 = \frac{g_{m6}}{K'_6 (V_{DD} - V_{out,hi})} = \frac{X_\phi GB C_L}{K'_6 (V_{DD} - V_{out,hi})} = \frac{2.2 \cdot 1M \cdot 2\pi \cdot 10p}{8\mu \cdot (5-4)} \approx 8.6$$

9. Beräkna strömmen I_6 .

$$I_6 = \max\left[\frac{g_{m6}^2}{2K'_6 S_6}, \frac{S_6 I_1}{S_3}\right] = \max\left[\frac{(X_\phi \cdot GB \cdot C_L)^2}{2K'_6 S_6}, \frac{S_6 \cdot I_5}{S_3 \cdot 2}\right] = \max[138, 311]\mu A$$

$$\text{Dvs } I_6 = 311\mu A \Rightarrow g_{m6} = \sqrt{2K'_6 S_6 I_6} = 207\mu A/V$$

10. Bestäm storleken på transistor M7, utnyttja $V_{GS5} = V_{GS7}$.

$$S_7 = S_5 \frac{I_7}{I_5} = S_5 \frac{I_6}{I_5} = 207 \frac{311}{110} \approx 176$$

11. Kontrollera kraven på effekt och förstärkning:

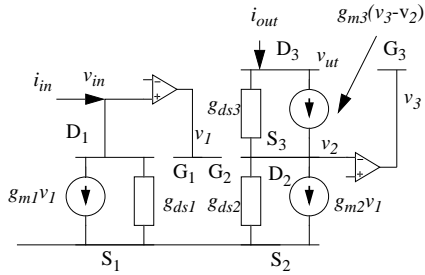
$$P_{diss} = (V_{DD} - V_{SS})(I_5 + I_6) = 10 \cdot (311 + 110)\mu \approx 4.2mW$$

$$A_v = \frac{2g_{m1} \cdot g_{m6}}{I_5(\lambda_2 + \lambda_3)I_6(\lambda_6 + \lambda_7)} = \frac{2 \cdot 43.2\mu \cdot 207\mu}{110\mu \cdot 0.03 \cdot 311\mu \cdot 0.03} \approx 582$$

12. Kravet på förstärkningen ej uppfyllt. Minska I_6 eller öka S_1

4.
a) Inresistansen för en bra strömspegel ska vara liten och utresistansen ska vara stor.

b)



c)

$$r_{in} = \left. \frac{v_{in}}{i_{in}} \right|_{i_{ut}=0}$$

$$v_{in}: \quad -v_{in}g_{ds1} + i_{in} - g_{m1}v_1 = 0$$

$$v_1: \quad v_1 = v_{in}A$$

vilket ger

$$r_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{1}{g_{ds1} + g_{m1}A} \approx \frac{1}{g_{m1}A}$$

$$r_{ut} = \left. \frac{v_{ut}}{i_{ut}} \right|_{i_{in}=0}$$

$$v_{ut}: \quad i_{ut} = (v_{ut} - v_2)g_{ds3} + g_{m3}(v_3 - v_2)$$

$$v_2: \quad i_{ut} = v_2g_{ds2}$$

$$v_3: \quad v_3 = -v_2A$$

Detta ger

$$r_{ut} = \frac{v_{ut}}{i_{ut}} = \frac{g_{ds2} + g_{ds3} + g_{m3} + g_{m3}A}{g_{ds2}g_{ds3}} \approx \frac{g_{m3}A}{g_{ds2}g_{ds3}}$$

$$g_{m1} = g_{m2} = g_{m3} = \sqrt{2\beta_1 I_1} = \sqrt{2 \cdot 20 \cdot 17\mu \cdot 20\mu} = 117\mu \text{ A/V}$$

$$g_{ds1} = g_{ds2} = g_{ds3} = \lambda I_1 = 0.01 \cdot 20\mu = 0.2\mu\Omega^{-1}$$

Vi får då $r_{ut} = 14.6T\Omega$ och $r_{in} = 1.7\Omega$

5.
a) Strömmen genom M_2

$$I_D = K' \frac{W}{2L} (V_{GS2} - V_T)^2 = \frac{17\mu}{2} 12(2-1)^2 = 102\mu\text{A}$$

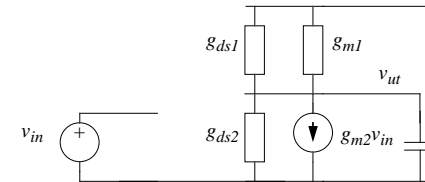
V_{GS1} för M_1

$$V_{SG1} = \sqrt{\frac{2I_D}{K'W/L}} + |V_T| = \sqrt{\frac{204\mu}{17\mu \cdot 3}} + 1 = 3\text{V}$$

Detta ger

$$V_{ut} = V_{DD} - V_{SG1} = 8 - 3 = 5\text{V}$$

b)



$$g_{m2} = \sqrt{2\beta_2 I_D} = \sqrt{2 \cdot 17\mu \cdot 12 \cdot 102\mu} = 204\mu \text{ A/V}$$

$$g_{m1} = \sqrt{2\beta_1 I_D} = \sqrt{2 \cdot 17\mu \cdot 3 \cdot 102\mu} = 102\mu \text{ A/V}$$

$$g_{ds1} = g_{ds2} = \lambda I_D = 0.01 \cdot 102\mu = 1.02\mu\Omega^{-1}$$

c) Låga frekvenser => C har ingen inverkan (avbrott).

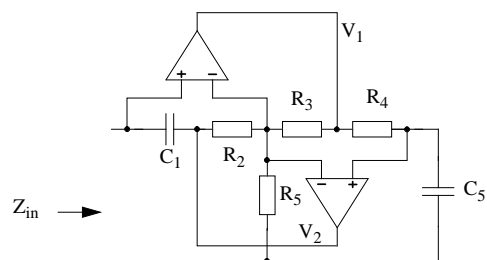
$$A = \frac{v_{ut}}{v_{in}} = g_{m2} \frac{-1}{g_{m1} + g_{ds1} + g_{ds2}} = 201 \frac{-1}{102 + 2 \cdot 1.02} = -1.93$$

d) Överföringsfunktion med C_{ut}

$$\frac{V_{ut}(s)}{V_{in}(s)} = g_{m2} \frac{-1}{g_{m1} + g_{ds1} + g_{ds2} + sC_{ut}}. \text{ Bandbredden (3dB-gränshfrekvensen) blir då}$$

$$BW = |p_1| = \frac{g_{m1} + g_{ds1} + g_{ds2}}{C_{ut}} = \frac{104.04\mu}{21\text{p}} = 5.0 \text{ Mrad/s}$$

6.



Då OP-förstärkarna är ideala kommer återkopplingen göra att spänningen mellan ingångarna är 0V. Detta medför att spänningen över C_5 är V_{in} . Strömmen genom C_5 blir då

$I_5 = \frac{V_{in}}{1/sC_5}$. Eftersom strömmen genom R_4 är I_5 blir $V_1 = V_{in} + I_5R_4$. Strömmen

genom R_3 blir då $I_3 = \frac{(V_{in} - V_1)}{R_3} = -\frac{I_5R_4}{R_3}$. Det går nu att beräkna spänningen V_2 som

$V_2 = V_{in} + \left(I_3 + \frac{V_{in}}{R_5}\right)R_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_5}\right)V_{in} + I_3R_2$. Slutligen kan inströmmen beräknas

$$I_{in} = \frac{V_{in} - V_2}{1/sC_1} = \frac{\frac{R_2}{R_5}V_{in} - I_3R_2}{1/sC_1} = \frac{\frac{R_2}{R_5}V_{in} + R_2\frac{I_5R_4}{R_3}}{1/sC_1}$$

$$= \frac{\frac{R_2}{R_5}V_{in} + R_2\frac{V_{in}sC_5R_4}{R_3}}{1/sC_1} = V_{in}\frac{sC_5R_4R_5 - R_3}{R_5R_3}sC_1R_2$$

Inimpedansen blir således

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{R_5R_3}{(sC_5R_4R_5 - R_3)sC_1R_2}$$