

Problema 1 (15p)

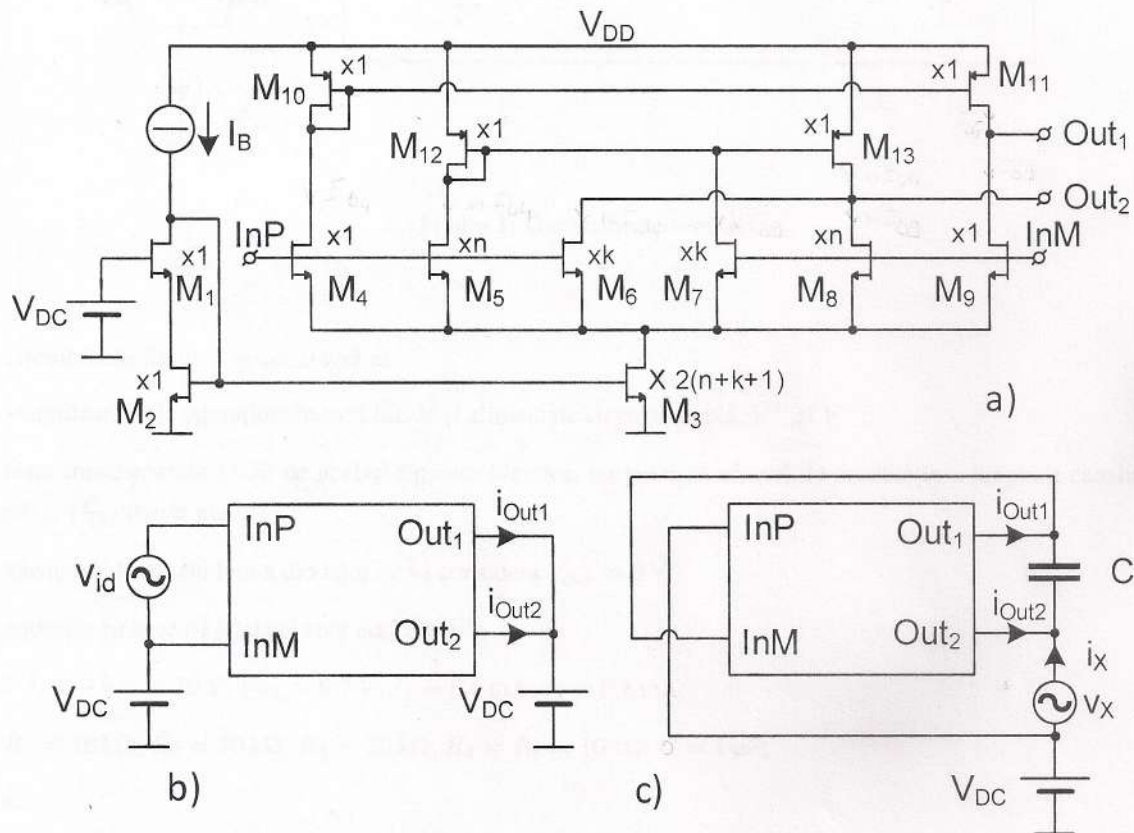
S.I.dr.ing. Oneț Raul, ETTI, Cluj-Napoca

În circuitul din figura a) tranzistoarele PMOS sunt identice între ele iar între tranzistoarele NMOS există următoarele relații: $M_1=M_2=M_4=M_9$; $M_5=M_8=n \cdot M_1$; $M_6=M_7=k \cdot M_1$; $M_3=2 \cdot (n+k+1) \cdot M_1$. ($M_a = q \cdot M_b$ înseamnă că $(W/L)_{M_a} = q \cdot (W/L)_{M_b}$). Efectul modularii lungimii canalului se neglijează pentru toate tranzistoarele MOS.

În figurile b). și c). simbolul dreptunghiular reprezintă circuitul din Fig. a)., iar sursa de tensiune continuă V_{DC} este setată la o valoare care asigură funcționarea tuturor tranzistoarelor în regim de saturație.

Se cere:

1. Demonstrați că în circuitul din figura b). curenții i_{Out1} și i_{Out2} (valori totale, semnal mare) nu depind de tensiunea V_{DC} . Se consideră $V_{id}=0$.
2. Construiți schema echivalentă de semnal mic a circuitului din figura b). și determinați expresiile curenților i_{out1} și i_{out2} în funcție de tensiunea de intrare de semnal mic V_{id} , g_{mM1} , n și k , unde g_{mM1} este transconductanța tranzistorului M_1 .
3. Pentru circuitul din figura c), determinați impedanța de semnal mic, Z_X , pe care o vede sursa de tensiune de semnal v_X .



Problema nr. 2 (13p)

ș.l. Arcadie Cracan, conf. Neculai Cojan, ETTI, Iași

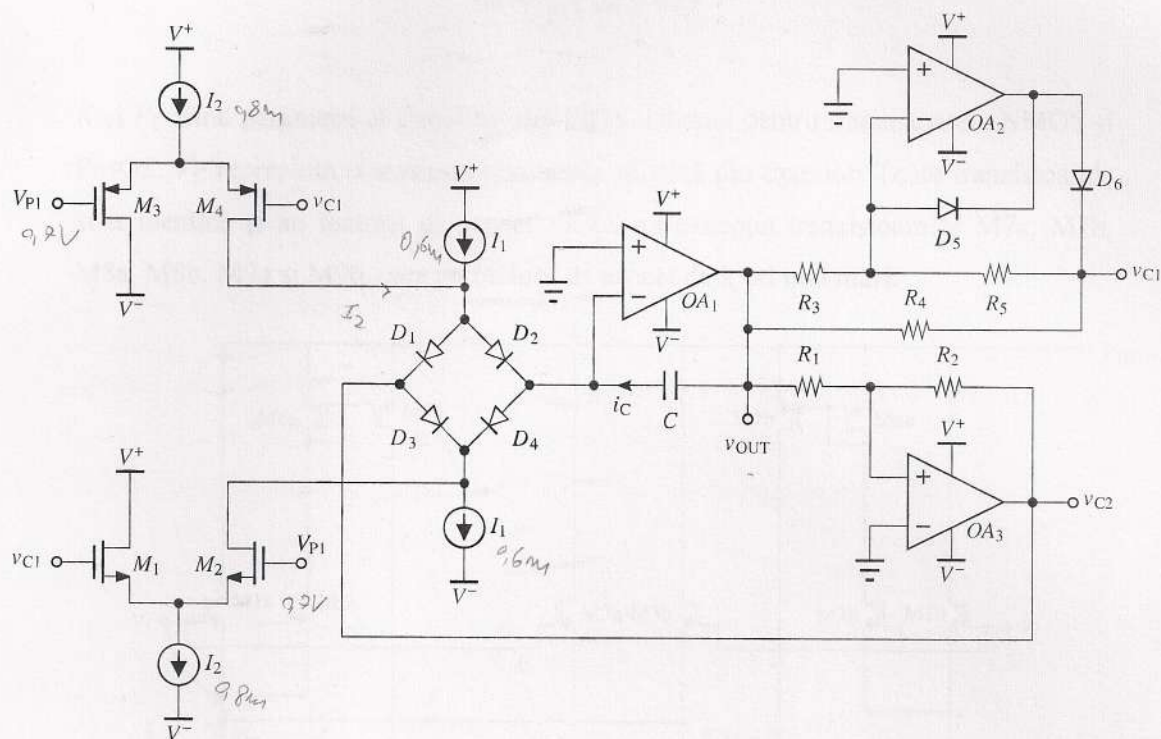


Figura 1: Generator de semnal

În circuitul din figura 1 se consideră că:

- amplificatoarele operaționale sunt ideale și alimentate cu sursă dublă, V^+ și V^- ;
- toate tranzistoarele MOS de același tip sunt identice, nu prezintă efectul de modulație a lungimii canalului și au $\mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)$ foarte mare;
- tensiunea de deschidere a diodelor se va considera $V_{Don} = 0 \text{ V}$;
- nodurile cu aceeași etichetă sunt conectate;
- $V^+ = -V^- = 10 \text{ V}$; $V_{P1} = 0,7 \text{ V}$; $I_1 = 0,6 \text{ mA}$; $I_2 = 0,8 \text{ mA}$;
- $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$; $R_3 = 20 \text{ k}\Omega$; $R_4 = R_5 = 10 \text{ k}\Omega$; $C = 1 \mu\text{F}$;

Se cere:

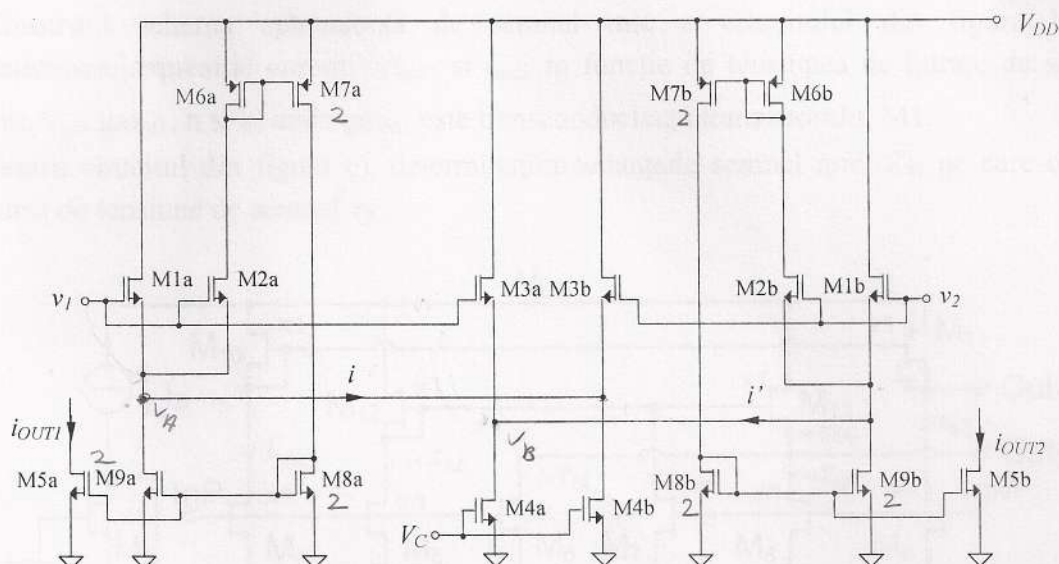
1. Să se traseze caracteristica de transfer $v_{C1}(v_{OUT})$.
2. Să se determine relația $i_C(v_{C1}, v_{C2}, I_1, I_2)$.
3. Să se deseneze o perioadă a semnalului v_{OUT} și să se determine frecvența de oscilație a generatorului.

Problema 3 - prof.dr.ing. Cosmin Radu POPA (UPB) (12p)

Se consideră circuitul din figura următoare. Toate tranzistoarele sunt polarizate în saturație, prezentând o dependență a curentului de drenă de tensiunea grilă-sursă exprimată prin relația:

$$I_D = \frac{K}{2}(V_{GS} - V_T)^2,$$

K și V_T fiind parametri ai tranzistorului MOS, identici pentru tranzistoarele NMOS și PMOS. V_C reprezintă o tensiune constantă, aplicată din exterior. Toate tranzistoarele sunt identice și au factorii de aspect (W/L), cu excepția tranzistoarelor M7a, M7b, M8a, M8b, M9a și M9b, care au factorii de aspect de 2 ori mai mari.



- Să se determine expresiile curenților i și i' ;
- Să se determine expresiile curenților i_{OUT1} și i_{OUT2} , în funcție de v_I , v_2 , V_C și de parametrii tranzistoarelor;
- Să se determine expresiile curentului $i_{OUT} = i_{OUT1} - i_{OUT2}$, în funcție de v_I , v_2 , V_C și de parametrii tranzistoarelor;
- Ce funcție realizează circuitul?

Rezolvare: p 1

a) Calculăm $i_{out1} = f(V_{DC})$ și $i_{out2} = f(V_{DC})$

cerinta 1:
(2 puncte)

$$V_{inP} = V_{inN} = V_{DC}$$

3p

$$i_1 = i_2 = I_B; i_3 = 2 \cdot (n + K + 1) \cdot I_B$$

$$V_{GS4} = V_{GS5} = V_{GS6} = V_{GS7} = V_{GS8} = V_{GS9}$$

0,5p 0,75

$$i_4 = i_9; i_5 = i_8 = n \cdot i_9; i_6 = i_7 = K \cdot i_9$$

$$\Rightarrow i_4 = i_9 = I_B; i_5 = i_8 = n \cdot I_B; i_6 = i_7 = K \cdot I_B$$

0,5p 0,75

$$i_{10} = i_{11}; i_{12} = i_{13}$$

$$i_{10} = i_4 = I_B; i_{12} = i_5 + i_7 = (n + K) \cdot I_B$$

0,5p 0,75

$$i_{out1} = i_{11} - i_9 = I_B - I_B = 0$$

$$i_{out2} = i_{13} - i_6 - i_8 = (n + K) I_B - K I_B - n I_B = 0$$

0,5p 0,75

$\Rightarrow i_{out1}, i_{out2}$ nu depind de V_{DC}

b) $g_{m1} = \sqrt{2 \mu C_{ox} \frac{W_1}{L_1} I_B}; g_{m4} = g_{m9} = \sqrt{2 \mu C_{ox} \frac{W_4}{L_4} I_B} = g_{m1}$

cerinta 2:

(4 puncte)

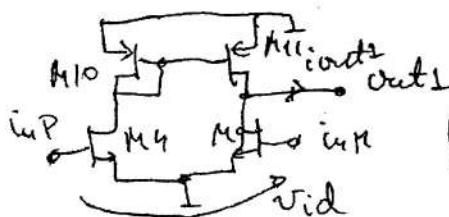
$$g_{m5} = g_{m8} = \sqrt{2 \mu C_{ox} \frac{W_5}{L_5} I_5} = \sqrt{n} \cdot g_{m1}$$

3p

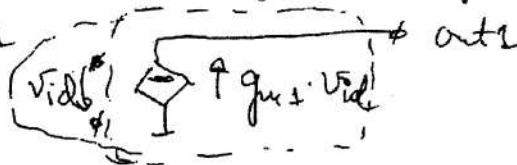
$$g_{m6} = g_{m7} = \sqrt{2 \mu C_{ox} \frac{W_6}{L_6} I_6} = \sqrt{K} \cdot g_{m1}$$

1p 2p

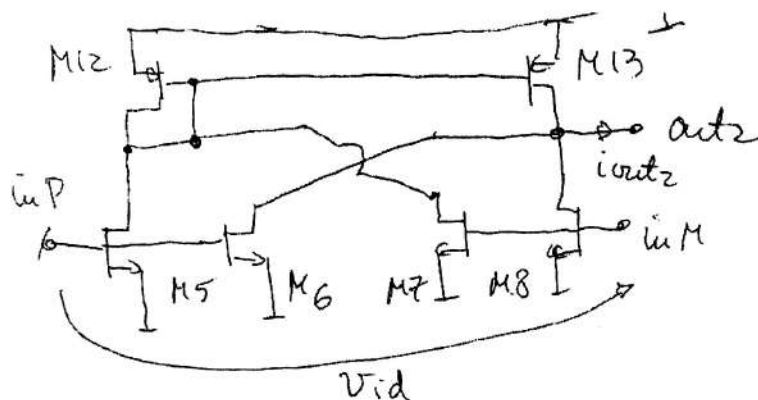
M4-M9-M10-M11: etaj diferential cu autopolarizare



$$i_{out1} = g_{m4} \cdot v_{id} = g_{m1} \cdot v_{id}$$



1p 2p



$$i_{12} = i_5 + i_7 = i_{13}$$

$$i_{out2} = i_{13} - i_6 - i_8 = i_5 + i_7 - i_6 - i_8 = (i_5 - i_8) - (i_6 - i_7)$$

$$i_{out2} = (g_{m5} - g_{m6}) V_{id} = (\sqrt{\mu_n} - \sqrt{\mu_p}) g_{m1} V_{id}$$

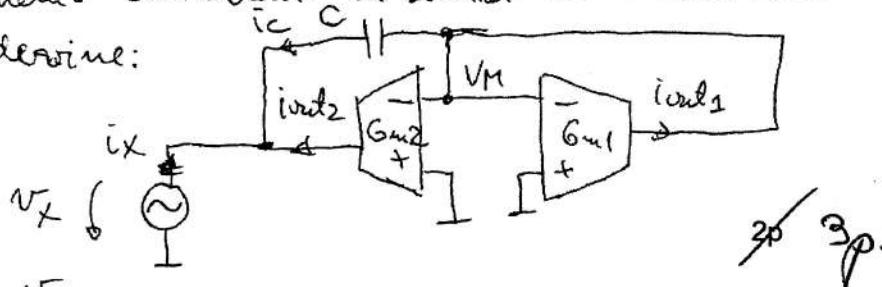
model semnal mic (sursa de curent comandata) - 0.5p

c) $i_{out1} = g_{m1} \cdot V_{id} = G_{m1} \cdot V_{id}$ (notam $G_{m2} = g_{m1}$)

cerinta 3:
(4 puncte) $i_{out2} = g_{m1} \cdot (\sqrt{\mu_n} - \sqrt{\mu_p}) \cdot V_{id} = G_{m2} \cdot V_{id}$
(notam $G_{m2} = (\sqrt{\mu_n} - \sqrt{\mu_p}) g_{m1}$)

Sp

Schemă echivalentă de semnal mic a circuitului din Fig. c)
devine:



$$Z_x = \frac{V_x}{i_x}$$

$$\begin{cases} i_{out1} = i_c = -G_{m1} \cdot V_M \\ i_{out2} = -G_{m2} \cdot V_M \\ i_c = s \cdot C \cdot (V_M - V_x) \\ i_c + i_{out2} + i_x = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow Z_x = \frac{G_{m1} + s \cdot C}{(G_{m1} + G_{m2}) \cdot s \cdot C}$$

(2)

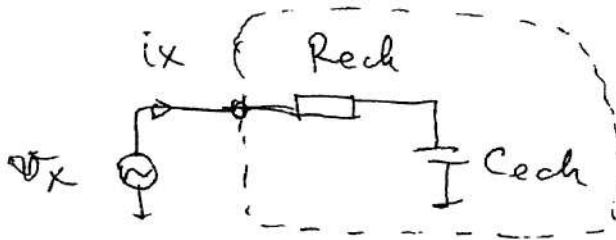
1p

$$Z_x = \frac{1}{G_{m1} + G_{m2}} + \frac{1}{\left(1 + \frac{G_{m2}}{G_{m1}}\right) \cdot s \cdot C}$$

$$Z_x = R_{ech} + \frac{1}{s \cdot C_{ech}} \quad 1p$$

$$R_{ech} = \frac{1}{G_{m1} + G_{m2}}$$

$$C_{ech} = \left(1 + \frac{G_{m2}}{G_{m1}}\right) \cdot C$$



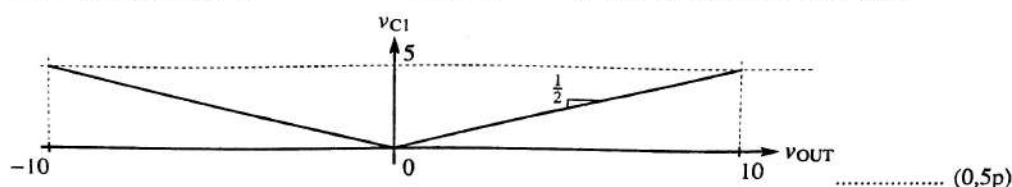
(3)

Soluție Problema 2

1. Circuitul realizat cu OA_2 reprezintă un redresor dublă alternanță..... (0,5p)

Pentru alternanța pozitivă a semnalului v_{OUT} , $v_{C1} = \frac{v_{OUT}}{2}$ (1p)

Pentru alternanța negativă a semnalului v_{OUT} , $v_{C1} = -\frac{v_{OUT}}{2}$ (1p)



$$2. i_C = \begin{cases} I_1 + I_2, & v_{C1} \in [0; V_{P1}], v_{C2} = V^- \quad \dots\dots\dots (1p) \\ I_1, & v_{C1} > V_{P1}, v_{C2} = V^- \quad \dots\dots\dots (1p) \\ -(I_1 + I_2), & v_{C1} \in [0; V_{P1}], v_{C2} = V^+ \quad \dots\dots\dots (1p) \\ -I_1, & v_{C1} > V_{P1}, v_{C2} = V^+ \quad \dots\dots\dots (1p) \end{cases}$$

3. Deoarece condensatorul se încarcă liniar (la curent constant), calculul duratei fiecărui subinterval se face utilizând relația

$$\Delta t = C \frac{\Delta v_{OUT}}{i_C} \dots\dots\dots (0,5p)$$

Pragurile $\pm V_{P2}$ ale comparatorului realizat cu OA_3 sunt $\{-2V, 2V\}$(0,5p)

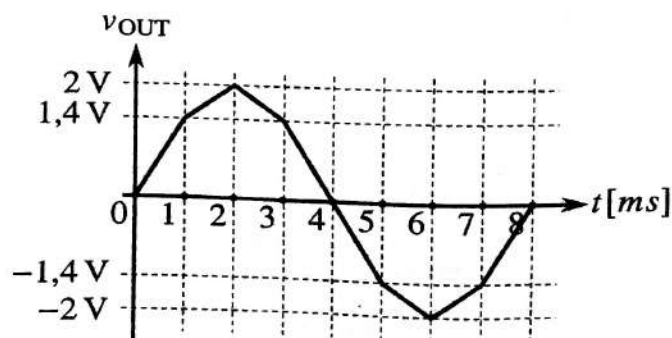
Etajele M_1, M_2 și M_3, M_4 mută curentul I_2 dintr-un tranzistor în celălalt în momentul în care $v_{C1} = V_{P1} \Leftrightarrow |v_{OUT}| = 2 \cdot V_{P1} = 1,4V$(1p)

$$\Delta t_1 = C \frac{2V_{P1} - 0}{I_1 + I_2} = 1ms \dots\dots\dots (1p)$$

$$\Delta t_2 = C \frac{V_{P2} - 2V_{P1}}{I_1} = 1ms \dots\dots\dots (1p)$$

Duratele celorlalte 6 subintervale se calculează similar.

Frecvența semnalului v_{OUT} rezultă $f = \frac{1}{8ms} = 125Hz$(0,5p)



.....(1,5p)

Resolvoir Probleme 3

(1p) a) $i = i' = 0$

b)

(2p) $v_{GS3a} = v_{GS3b} = V_C$

(1,5p) $v_1 - v_2 = v_{GS1a} - V_C \Rightarrow v_{GS1a} = V_C + (v_1 - v_2)$

(1,5p) $v_1 - v_2 = V_C - v_{GS1b} \Rightarrow v_{GS1b} = V_C - (v_1 - v_2)$

(1,5p) $i_{OUT1} = \frac{K}{2} (v_{GS1a} - V_T)^2 = \frac{K}{2} [(V_C - V_T) + (v_1 - v_2)]^2$

(1,5p) $i_{OUT2} = \frac{K}{2} (v_{GS1b} - V_T)^2 = \frac{K}{2} [(V_C - V_T) - (v_1 - v_2)]^2$

c) $i_{OUT} = i_{OUT1} - i_{OUT2}$

(2p) $i_{OUT} = 2K(V_C - V_T)(v_1 - v_2)$

(4p) $\left\{ \begin{array}{l} d) i_{OUT} = G_m (v_1 - v_2) \\ G_m = 2K(V_C - V_T) \end{array} \right.$