

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [1]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

Class Exercise 1 - Analog Electronic Circuits

Hagit Perets
 Eli Abramov
 Prof. Mor M. Peretz

The Center for Power Electronics and Mixed-Signal IC
 Department of Electrical and Computer Engineering
 Ben-Gurion University of the Negev, ISRAEL
 Emails: hagitpe@bgu.ac.il
 Website: <http://www.ee.bgu.ac.il/~analog>

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [2]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

שאלה 1

נתון המעגל הבא ופונקציית התמסורת $\frac{V_{out}}{V_{in}}(f)$ כמשורטט:

א. מצא/י את $A_{OL}(f)$ ואת ערכי הרכיבים R_1, R_2, C הדרושים לביצוע הניסוי.

ב. כעת נתון $R_1 = 9k\Omega, R_2 = 1k\Omega, C = 1.77nF$ ונתון R_1 חשב/י את קבל הקיטוז C_x הדרוש בכדי להבטיח יציבות עבור $\beta = 20dB$ מינימלית.

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [3]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף א'

תזכורת:

$$A_{CL} = G \frac{A_{OL}}{1 + \beta A_{OL}}$$

$$A_{CL} \Big|_{\beta A_{OL} \gg 1} = \frac{G}{\beta}$$

$$A_{CL} \Big|_{\beta A_{OL} \ll 1} = G A_{OL}$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [4]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף א'

$$A_{OL} = \frac{A}{\left(1 + \frac{f}{f_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{f}{f_2}\right) \cdot \dots \cdot \left(1 + \frac{f}{f_n}\right)} \longrightarrow A_{OL} = \frac{10^6}{\left(1 + \frac{f}{10^4}\right) \cdot \left(1 + \frac{f}{10^6}\right)}$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [5]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף א'

תזכורת:

$$\beta = \left. \frac{V_e}{V_{out}} \right|_{V_{in}=0} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

במעגל שלנו:

$$\beta = \left. \frac{V_e}{V_{out}} \right|_{V_{in}=0} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2) \cdot (1 + sCR_1 \parallel R_2)}$$

$$\frac{1}{\beta} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot (1 + sCR_1 \parallel R_2)$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [6]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף א'

$$\frac{1}{\beta} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot (1 + sCR_1 \parallel R_2)$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [7]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף א'

$$10^5 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot \frac{1}{2\pi C R_1 \parallel R_2} = 1 \text{ Hz}$$

$$R_2 = 10[\Omega]$$

$$\Rightarrow R_1 = 1\text{M}[\text{Hz}] \quad C = 15.9\text{m}[\text{F}]$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [8]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף ב'

ב. כעת נתון $R_1 = 9\text{K}\Omega$, $R_2 = 1\text{K}\Omega$, $C = 1.77\text{nF}$ הדרוש כדי להבטיח יציבות עבור $\beta = 20\text{dB}$ מינימלית.

$$\frac{1}{\beta} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot (1 + sCR_1 \parallel R_2)$$

$$\frac{1}{\beta} = 10 \cdot (1 + j \frac{f}{100 \cdot 10^3})$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [9]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

תזכורת – קיזוז קוטב דומיננטי

$$C_{eq} = \frac{1}{2\pi R_e \cdot f_s \text{ old}}$$

$$C_{eq} + C_c = \frac{1}{2\pi R_e \cdot f_s \text{ new}}$$

$$\frac{C_{eq} + C_c}{C_{eq}} = \frac{f_s \text{ old}}{f_s \text{ new}} \Rightarrow C_c = 1000 \cdot C_{eq}$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [10]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

שאלה 2

נתון ממיר קבלים מתמתיים הבא:

א. בהנחת מגבר אידאלי שרטוט מעגל שקול, וחשב את התמסורת $\frac{V_2}{V_1}(f)$ סלל ערכים.

ב. בהנחת הגבר $A_{vdc} = \frac{10^3}{(1+j\frac{f}{10})(1+j\frac{f}{1M})}$ בחר את יציבות המעגל כולל שרטוט וחשב ϕ_m .

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [11]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

תזכורת – קבלים מתמתיים

$$I_{avg} = f_{clk} \Delta Q$$

$$I_{avg} = C f_{clk} (V_1 - V_2)$$

$$R_{eq} = \frac{V_1 - V_2}{I_{avg}} = \frac{1}{C f_{clk}}$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [12]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף א'

$$R_{eq1} = \frac{1}{1n \cdot 10M} = 100[\Omega]$$

$$R_{eq2} = \frac{1}{1p \cdot 10M} = 100K[\Omega]$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [13]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף א'

$$V_{out} = -V_{in} \left(\frac{R_f}{R_{in}} \right)$$

$$V_{out} = -(V_1 - V_2) \cdot \left(\frac{R_{eq2}}{R_{eq1}} \cdot \frac{1}{1 + sCR_{eq2}} \right)$$

$$\frac{V_{out}}{(V_1 - V_2)} = -\frac{10^3}{1 + j1.59f}$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [14]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף ב'

$$\beta = -\frac{V_e}{V_{out}} \Big|_{V_{in}=0} = \frac{R_{eq1}(1 + sCR_{eq2})}{(R_{eq1} + R_{eq2}) \cdot (1 + sCR_{eq1} \parallel R_{eq2})}$$

$$\frac{1}{\beta} = \left(1 + \frac{R_{eq2}}{R_{eq1}} \right) \cdot \frac{(1 + sCR_{eq1} \parallel R_{eq2})}{(1 + sCR_{eq2})}$$

$$\frac{1}{\beta} \Big|_{f=0} = 1 + \frac{R_{eq2}}{R_{eq1}} = 10^3 \quad (60dB)$$

$$\frac{1}{\beta} \Big|_{f \rightarrow \infty} = \left(1 + \frac{R_{eq2}}{R_{eq1}} \right) \cdot \frac{R_{eq1}}{R_{eq2}} = 1 \quad (0dB)$$

$$A_{OL} = \frac{10^3}{\left(1 + j\frac{f}{10} \right) \left(1 + j\frac{f}{1M} \right)}$$

$$f_{pole} = \frac{1}{2\pi CR_{eq2}} = 1.59Hz$$

$$f_{zero} = \frac{1}{2\pi CR_{eq1} \parallel R_{eq2}} = 1.59KHz$$

ב. בהנתן הגבר A_{OL} , בחן את יציבות המעגל כולל שרטוט וחשב ϕ_m .

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [15]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף ב'

$$\frac{1}{\beta} \Big|_{f=0} = 1 + \frac{R_{eq2}}{R_{eq1}} = 10^3 \quad (60dB)$$

$$\frac{1}{\beta} \Big|_{f \rightarrow \infty} = \left(1 + \frac{R_{eq2}}{R_{eq1}} \right) \cdot \frac{R_{eq1}}{R_{eq2}} = 1 \quad (0dB)$$

$$f_{pole} = \frac{1}{2\pi CR_{eq2}} = 1.59Hz$$

$$f_{zero} = \frac{1}{2\pi CR_{eq1} \parallel R_{eq2}} = 1.59KHz$$

$$A_{OL} = \frac{10^3}{\left(1 + j\frac{f}{10} \right) \left(1 + j\frac{f}{1M} \right)}$$

$\phi_m = 45^\circ$

Analog Electronic Circuits
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY
 361-1-3671 [16]

שאלה 3

נתון המעגל המסמן הבא:

א. בטא' את המסורת $\frac{V_o}{V_{in}}(f)$ כפונקציה של $Y_1 - Y_5$.

ב. מצא' את אופי וערכי הרכיבים לקבלת המסמן הבא:

Analog Electronic Circuits
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY
 361-1-3671 [17]

פתרון – סעיף א'

(1) $V_c = V_o \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = V_o \cdot \frac{Y_2}{Y_1 + Y_2}$

(2) $V_c = V_o \cdot \frac{Y_4}{Y_1 + Y_4 + Y_5} + V_{in} \cdot \frac{Y_5}{Y_1 + Y_4 + Y_5}$

Analog Electronic Circuits
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY
 361-1-3671 [18]

פתרון – סעיף א'

$V_c = V_o \Rightarrow$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{Y_1 \cdot (Y_2 + Y_5)}{Y_2 \cdot Y_1 + Y_2 \cdot Y_5 - Y_2 \cdot Y_4}$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [22]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

שאלה 4

נתון המעגל הבא:

- סמן את קוטביית המגבר.
- חשב $\frac{V_o}{V_{in}}(f)$ נכון את יציבות המעגל
- הצע אפשרות ליציב המערכת

$$A_{OL} = \frac{10^5}{\left(1 + j\frac{f}{10}\right)\left(1 + j\frac{f}{100}\right)}$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [23]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף א'

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [24]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון – סעיף ב'

נתון: בתבונה בטרנזיסטור BJT:

$$V_e = V_c \Rightarrow V_{R1} = V_{R2}$$

$$I_e R_3 = I_{R1} R_1$$

$$I_e = I_c = I_{R1}$$

$$V_{out} = I_{R1} R_2 = I_e \frac{R_2}{R_1} R_2 ; I_e = \frac{V_{in}}{R_3 + R_L}$$

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{1}{R_3 + R_L} \right) \frac{R_2 R_2}{R_1}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2 R_2}{(R_3 + R_L) R_1}$$

Analog Electronic Circuits
THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY 361-1-3671 [34]

שאלה 5- פתרון סעיף א'

$$V_{\max} = \frac{S \cdot R}{\omega} = \frac{S \cdot R}{2\pi f}$$

$$\Delta V_{\max} = S \cdot R \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta V_{\max}}{S \cdot R}$$

$$\Delta t = \frac{10\text{mV}}{0.5\text{V} / \mu\text{s}} = 20\text{ns}$$

$$\begin{cases} V_{\text{out}}(t) = \Delta V_{\text{out}} (1 - e^{-(2\pi f_0 t)}) \\ t_{\text{rise}} = \frac{0.35}{f_0} \end{cases} \Rightarrow t_{\text{rise}} = 3.5\mu\text{s}$$

Analog Electronic Circuits
THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY 361-1-3671 [35]

שאלה 5- פתרון סעיף ב'

$$\Delta V_{\max} = S \cdot R \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta V_{\max}}{S \cdot R}$$

$$\Delta t = \frac{10\text{V}}{0.5\text{V} / \mu\text{s}} = 20\mu\text{s}$$

גלומר השיפוע במהלך השינוי הוא 0.5V/µs

Analog Electronic Circuits
THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY 361-1-3671 [36]

שאלה 5- פתרון סעיף ג'

$$\begin{cases} V_{\text{out}} = V_{\max} \sin \omega t \\ \frac{\Delta V_{\text{out}}}{\Delta t} = V_{\max} \cos \omega t \end{cases}$$

↓

$$\frac{\Delta V_{\text{out}}}{\Delta t} = V_{\max} \cos \omega t ; t=0$$

$$V_{\max} = \frac{S \cdot R}{\omega} = \frac{S \cdot R}{2\pi f}$$

$$f = 1\text{kHz}$$

$$V_{\max} = \frac{0.5 \cdot 10^6 \text{V} / \text{s}}{2\pi \cdot 1\text{kHz}} \approx 80\text{V} > V_{DD}$$

קיבלנו אות גדול מאוד, ולכן עבור המתחם של טעיפיים א+ב' אין בעיה, אבל ברור לנו שהמגבלה נובעת ממתח ספק המגבר ולכן ניתן באמת לעשות שינויים של 80 וולט

$$f = 100\text{kHz}$$

$$V_{\max} = \frac{0.5 \cdot 10^6 \text{V} / \text{s}}{2\pi \cdot 100\text{kHz}} \approx 0.8\text{V}$$

קיבלנו מגבלה של אמפליטודה מקסימלית של 0.8 וולט

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [37]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

שאלה 6

נתון המעגל הבא:

א. חשב $\frac{V_o}{V_{in}}$

ב. חשב את שגיאת ה-DC בגין זרמי ה-Bias כאשר $I_B^+ = I_B^- = 10\mu A$

ג. מה היתרון של מננה המגבר עם רשת המשוכב?

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [38]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

שאלה 6 – פתרון סעיף א'

(1) $V^+ = \frac{V_{out} R_4}{R_3 + R_4}$

(2) $I_{R1} = I_{R2} \Rightarrow \frac{V_{in} - V^-}{R_1} = \frac{V^- - V_{out}}{R_2}$

מאחר ויש משוכב אז $V^+ = V^-$
 נציב את (1) ב-(2):

$$\frac{V_{in} - V_{out} \frac{R_4}{R_3 + R_4}}{R_1} = \frac{V_{out} \frac{R_4}{R_3 + R_4} - V_{out}}{R_2}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2 (R_3 + R_4)}{R_2 R_3 - R_1 R_2} = \frac{30k\Omega}{15k\Omega} = 2$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [39]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

שאלה 6 – פתרון סעיף ב'

$V^+ \equiv V^- = V_{out} \frac{R_4}{R_3 + R_2}$

KCL בצומת של R3 ו-R4

$$I_B^+ = -(I_{R3} + I_{R4}) = -\frac{V^+ - V_{out}}{R_3} - \frac{V^+}{R_4} =$$

$$= -V_{out} \left(\frac{R_4}{R_4(R_3 + R_2)} + \frac{R_4}{R_3(R_3 + R_2)} - \frac{R_4}{R_3} \right) =$$

$$I_B^+ = -V_{out} \frac{R_3 R_2 - R_4 R_4}{R_3 R_4 (R_3 + R_2)}$$

$$\Rightarrow V_{out} (I_B^+) = \frac{R_3 R_4 (R_3 + R_2)}{R_3 R_2 - R_4 R_4} I_B^+ = 2000 I_B^+ = 20mV$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [40]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

שאלה 6 – פתרון סעיף ב'

עבור I_B המעגל השקול הוא כפי שמצויר, נבצע KCL בצומת של R1 ו-R2:

$$V^+ \equiv V^- = V_{out} \frac{R_1}{R_3 + R_4}$$

$$I_B^- = -(I_{R1} + I_{R2}) = -\frac{V^-}{R_1} - \frac{V^- - V_{out}}{R_2} =$$

$$= -V_{out} \left(\frac{R_2}{R_1(R_3 + R_4)} + \frac{R_2}{R_2(R_3 + R_4)} - \frac{1}{R_2} \right) =$$

$$I_B^- = -V_{out} \frac{R_2 R_4 - R_1 R_2}{R_1 R_2 (R_3 + R_4)}$$

$$\Rightarrow V_{out}(I_B^-) = -\frac{R_1 R_2 (R_3 + R_4)}{R_2 R_4 - R_1 R_2} I_B^- = 10^4 I_B^- = -100mV$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [41]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

שאלה 6 – פתרון סעיף ב'

מאן, אם נסכום את ההשפעה של I_B^+ ו- I_B^- נקבל את סך שגיאת ה-DC בגין זרמי ההיסט:

$$V_{out}(I_B) = V_{out}(I_B^+) + V_{out}(I_B^-) = 20mV - 100mV = 80mV$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [42]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

שאלה 6 – פתרון סעיף ג'

- ניתן לראות שהמערכת בנויה משני משוברים למעשה
- במהלך הניתוח של זרמי ההיסט ראינו קשר הדוק בין R3 ו-R4, ומנגד בין R2 ו-R1
- לכן:
- אם התנאי הבא מתקיים – אז המגבר מתפקד **ממגבר לא מהפך**, מאחר והחוג הדומיננטי הוא בין R3 ו-R4

$$\frac{R_4}{R_5} > \frac{R_1}{R_2}$$

- אם התנאי לא מתקיים – אז המגבר מתפקד **ממגבר מהפך**, מאחר והחוג הדומיננטי הוא בין R1 ו-R2
- קיימת דרגת חופש בין מבנה המשבוב לבין קיזוז סה"כ זרמי ההיסט במערכת
