

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

Class Exercise 2 - Analog Electronic Circuits

Hagit Perets Habany
 Prof. Mor M. Peretz

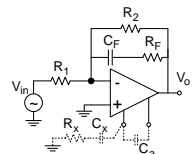
The Center for Power Electronics and Mixed-Signal IC
 Department of Electrical and Computer Engineering
 Ben-Gurion University of the Negev, ISRAEL
 Emails: hagjitpe@bgu.ac.il
 Website: <http://www.ee.bgu.ac.il/~analog>

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

שאלה 1

נתונים המעגל הבא, ופונקציית תמסורת בחוג פתוח $A_{o1}(f)$ של מגבר שרת, וכן נתונים:
 $R_1 = 1k\Omega, R_2 = 1M\Omega, R_F = 2k\Omega, C_F = 100nF, R_{eq} = 2M\Omega$

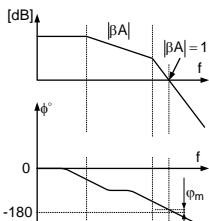
א. חשב/י את ϕ_m של המעגל, ללא קיזוז.
 ב. חשב/י את ערך קבל הקיזוז C_c , לקבלת קיזוז אופטימלי ($\phi_m = 45^\circ$), אם ידוע כי הגבר הדרגה השנייה של המגבר היא 10^3 .
 ג. חזרו/י על סעיף ב' עבור רשת קיזוז של C_c, R_x .



$$A_{o1}(f) = \frac{10^3 \cdot 10^3 \cdot 10^0}{(1 + j\frac{f}{10^2})(1 + j\frac{f}{10^4})(1 + j\frac{f}{10^5})}$$

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

תזכורת 1



$$\phi_m = \phi_{|\beta A|=1} - (-180^\circ) = \phi_{|\beta A|=1} + 180^\circ$$

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

2 תזכורת

$$20\log A - 20\log \frac{1}{B} = 20\log(BA)$$

$$20\log A = 20\log \frac{1}{B} \Rightarrow B \cdot A = 1$$

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

פיתרון – סעיף א'

שלב 1: לחשב את $\frac{1}{\beta}$

$$\beta = \frac{V_o}{V_{out}|_{V_{in}=0}}$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + Z_f}$$

$$Z_f = R_2 \parallel \left(\frac{1}{sC_f} + R_f \right)$$

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

פיתרון – סעיף א'

שלב 1: לחשב את $\frac{1}{\beta}$

$$Z_f = R_2 \parallel \left(\frac{1}{sC_f} + R_f \right) = \frac{R_2 \cdot \left(\frac{1}{sC_f} + R_f \right)}{R_2 + \frac{1}{sC_f} + R_f} = \frac{R_2 + R_2 \cdot R_f \cdot sC_f}{1 + sC_f \cdot (R_2 + R_f)}$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + Z_f} = \frac{R_1}{R_1 + \frac{R_2 + R_2 \cdot R_f \cdot sC_f}{1 + sC_f \cdot (R_2 + R_f)}} = \frac{R_1}{R_1 + \frac{R_2 + R_2 \cdot R_f \cdot sC_f}{1 + sC_f \cdot (R_2 + R_f)}} = \frac{R_1 \cdot (1 + sC_f \cdot (R_2 + R_f))}{R_1 + R_2 + R_2 \cdot R_f \cdot sC_f + R_1 \cdot sC_f \cdot (R_2 + R_f)}$$

$$= \frac{R_1 + R_1 \cdot sC_f \cdot (R_2 + R_f)}{R_1 + sC_f \cdot R_1 \cdot (R_2 + R_f) + R_2 + R_2 \cdot R_f \cdot sC_f} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1 + sC_f \cdot (R_2 + R_f)}{1 + sC_f \cdot (R_1 \parallel R_2 + R_f)}$$

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

פיתרון – סעיף א'

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1 + sC_F \cdot (R_2 + R_F)}{1 + sC_F \cdot (R_1 \parallel R_2 + R_F)} \Big|_{R_2 \gg R_1, R_F} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1 + sC_F R_2}{1 + sC_F \cdot (R_1 + R_F)}$$

$$f_{pole} = \frac{1}{2\pi C_F R_2} = 1.59\text{Hz} \qquad \left. \frac{1}{\beta} \right|_{f \rightarrow 0} = \frac{R_2}{R_1} = 10^3 \quad (60\text{dB})$$

$$f_{zero} = \frac{1}{2\pi C_F \cdot (R_1 + R_F)} = 530\text{Hz} \qquad \left. \frac{1}{\beta} \right|_{f \rightarrow \infty} = 1 + \frac{R_F}{R_1} = 3 \quad (10\text{dB})$$

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

פיתרון – סעיף א'

$f_{pole} = 1.59\text{Hz}$
 $f_{zero} = 530\text{Hz}$

שלב 2: לעייר את $\frac{1}{\beta}$ ואת A_{ol}

$$\left. \frac{1}{\beta} \right|_{f \rightarrow 0} = 10^3 \quad (60\text{dB})$$

$$\left. \frac{1}{\beta} \right|_{f \rightarrow \infty} = 3 \quad (10\text{dB})$$

$$A_{ol}(f) = \frac{10^3 \cdot 10^3 \cdot 10^0}{\left(1 + j\frac{f}{10^3}\right) \left(1 + j\frac{f}{10^5}\right) \left(1 + j\frac{f}{10^6}\right)}$$

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

פיתרון – סעיף א'

שלב 3: חישוב ϕ_m של המעגל

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{f_1(Hz)}{f_2(Hz)} \xrightarrow{\frac{\text{slope}[dB/dec]}{20[dB]}} \left[\frac{40[dB]}{10[dB]} \right] = \frac{100}{3} = \frac{(10^5(Hz))^{-60[dB/dec]}}{(f_c(Hz))^{20[dB]}}$$

חישוב תדר החיתוך של המעגל:

$$f_c \approx 322\text{kHz}$$

$$\phi(\beta A_{ol})_{f_c} = -\phi(A_{ol})_{f_c} - \phi(A_{ol})_{f_c} - \phi\left(\frac{1}{\beta}\right)_{f_c} = -180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{f_c}{f_{z(A_{ol})}}\right) - 0$$

$$= -180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{322k}{100k}\right) \approx -253^\circ$$

$$\phi_m = 180^\circ + \phi(\beta A_{ol})_{f_c} = -73^\circ \qquad \text{לא יציב!}$$

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

פיתרון – סעיף ב'

חשב/י את ערך קבל הקיזח C_c . לקבלות קיזח אופטימלי ($\phi_m = 45^\circ$). אם ידוע כי הגבר הדרגה השנייה של המגבר הינו 10^3 .

חשוב לשים לב:

- זיהוי סוג הקיזח הנדרש: קיזח פנימי - קוטב דומיננטי
- התבקשנו לחשב קבל שלא מיוחס לאדמה, אלא שני הדקוי מתחברים לתוך המגבר
- קיבלת נתון לגבי הגבר הדרגה השנייה של המגבר

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

תזכורת – קוטב דומיננטי

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

פיתרון – סעיף ב'

חישוב C_{eq} ע"פ R_{eq} : $C_{eq} = \frac{1}{2\pi f_{old} R_{eq}} \approx 800pF$

חישוב החדר החדש: $\left[\frac{120[dB]}{10[dB]} \right] = \frac{10^6}{3} = \left(\frac{f_{1, new}(Hz)}{10^4(Hz)} \right)^{\frac{-20(dB/dec)}{20(dB)}}$

$f_{1, new} = 0.03Hz$

$\frac{C_{eq} + C_c}{C_{eq}} = \frac{f_{1, old}}{f_{1, new}}$

$C_c = 800pF \cdot \frac{100}{0.03} = 2.67\mu F$

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

פיתרון – סעיף ב'

חישוב הקבל הנדרש בשאלה:

$$C_c = 2.67 \mu F$$

$$C_M = \frac{C_c}{A+1} = \frac{2.67 \mu F}{1001} = 2.66 nF$$

$$C_M = C_c \cdot (A + 1)$$

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

פיתרון – סעיף ג'

חשבו/י את ערך קבל הקיזח C_x, R_x , לקבלת קיזח אופטימלי ($\phi_m = 45^\circ$). אם ידוע כי הגבר הדרגה השנייה של המגבר הוא 10^3 .

שלבי פעולה:

1. מציאת הקוטב החדש, בהנחה שהחיתוך מתרחש בקוטב השלישי
2. מציאת קבל הקיזח C_x ע"פ הקוטב
3. מציאת R_x ע"פ C_x והקוטב השני (אזוהו נרצה לקדד)
4. חישוב הקבל הפרזיטי

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

תזכורת – ביטול קוטב ע"י אפס

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

פיתרון – סעיף ג'

$$\left[\frac{120[dB]}{10[dB]} \right] = \frac{10^6}{3} = \left(\frac{f_{1, new}(Hz)}{10^5(Hz)} \right)^{\frac{-20[dB/dec]}{20[dB]}} \longrightarrow f_{1, new} = 0.3Hz$$

$R_x \gg R_{eq}, C_x \gg C_{eq}$

$$C_x = 800pF \cdot \frac{100}{0.3} = 267nF$$

$$R_x = \frac{1}{2\pi f_x C_x} \approx 60\Omega$$

$$f_x = \frac{1}{2\pi R_x C_{eq}} \approx 3.3MHz$$

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

שאלה 2

נתון המעגל הבא:

א. מצא את הביטוי ל-Z_{in}.
 ב. מתבטים את Z_{in} באופן הבא:

חשב ושרטט את התמסורת $V_o/V_s(f)$
 חשב ושרטט את מתח המוצא כפונקציה של הזמן בעבור אות כניסה סינוסי בעל אפקטיביות של 5V ודורך 10kHz.

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

פיתרון - סעיף א'

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = \frac{1}{sC}$$

$$Z_3 = R_2$$

$$Z_4 = R_4$$

$$Z_5 = R_3$$

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}}$$

$$I_{in} = \frac{V_o - V_{in}}{Z_4}$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [19]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון - סעיף א'

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} \quad V_o = V_{in} \cdot \left(1 + \frac{Z_5}{Z_1}\right)$$

$$I_{in} = \frac{V_o - V_{in}}{Z_4} \quad \frac{V_o - V_{in}}{Z_5} + \frac{V_{in} - V_o}{Z_3} = 0$$

$$V_o = V_{in} \cdot \left(1 - \frac{Z_5}{Z_3}\right) + V_o \cdot \frac{Z_5}{Z_3} = V_{in} \cdot \frac{Z_3 Z_1 + Z_2 Z_5}{Z_1 Z_3}$$

$$I_{in} = \frac{V_{in} \cdot \frac{Z_3 Z_1 + Z_2 Z_5}{Z_1 Z_3} - V_{in}}{Z_4} = V_{in} \cdot \frac{Z_2 Z_5}{Z_1 Z_3 Z_4}$$

$$Z_{in} = \frac{Z_1 Z_3 Z_4}{Z_2 Z_5} = \frac{R_1 R_2 R_4 s C}{R_3}$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [20]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון - סעיף ב'

$$Z_{in} = \frac{R_1 R_2 R_4 s C}{R_3}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R} = \frac{\frac{R_1 R_2 R_4 s C}{R_3}}{\frac{R_1 R_2 R_4 s C}{R_3} + R} = \frac{R_1 R_2 R_4 s C}{R R_3 + R_1 R_2 R_4 s C} = \frac{\frac{R_1 R_2 R_4}{R R_3} s C}{1 + \frac{R_1 R_2 R_4}{R R_3} s C} = \frac{s R_{eq} C}{1 + s R_{eq} C} = \frac{j \frac{f}{f_0}}{1 + j \frac{f}{f_0}}$$

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2 R_4}{R R_3} = 1.6 \text{ M}\Omega$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_{eq} C} = 100 \text{ Hz}$$

Analog Electronic Circuits 361-1-3671 [21]
 THE CENTER FOR POWER ELECTRONICS AND MIXED-SIGNAL IC, BEN-GURION UNIVERSITY

פיתרון - סעיף ב'

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{j \frac{f}{f_0}}{1 + j \frac{f}{f_0}} \quad f_0 = 100 \text{ Hz}$$
