

שאלה 1

א.

במעגל קיימים שני קטבים מרכזיים שנובעים:

1. מקיבול C_{gate_cap} ונגד R_0 .
2. מקיבול מוצא src_cap עם התנגדות כניסה לטרנזיסטור M_1 (הערה: בתרגול ראינו שהתנגדות הכניסה של טרנזיסטור M_1 קטנה משמעותית מהתנגדות הכניסה של טרנזיסטור M_2 ולכן אנחנו לוקחים רק את התנגדות הכניסה של M_2).

נביא את שני הקטבים לאותה נקודה:

1. נמצא את התנגדות הכניסה לטרנזיסטור M_1 (בקירוב $\frac{1}{g_m}$) בעזרת סימולציית DC.

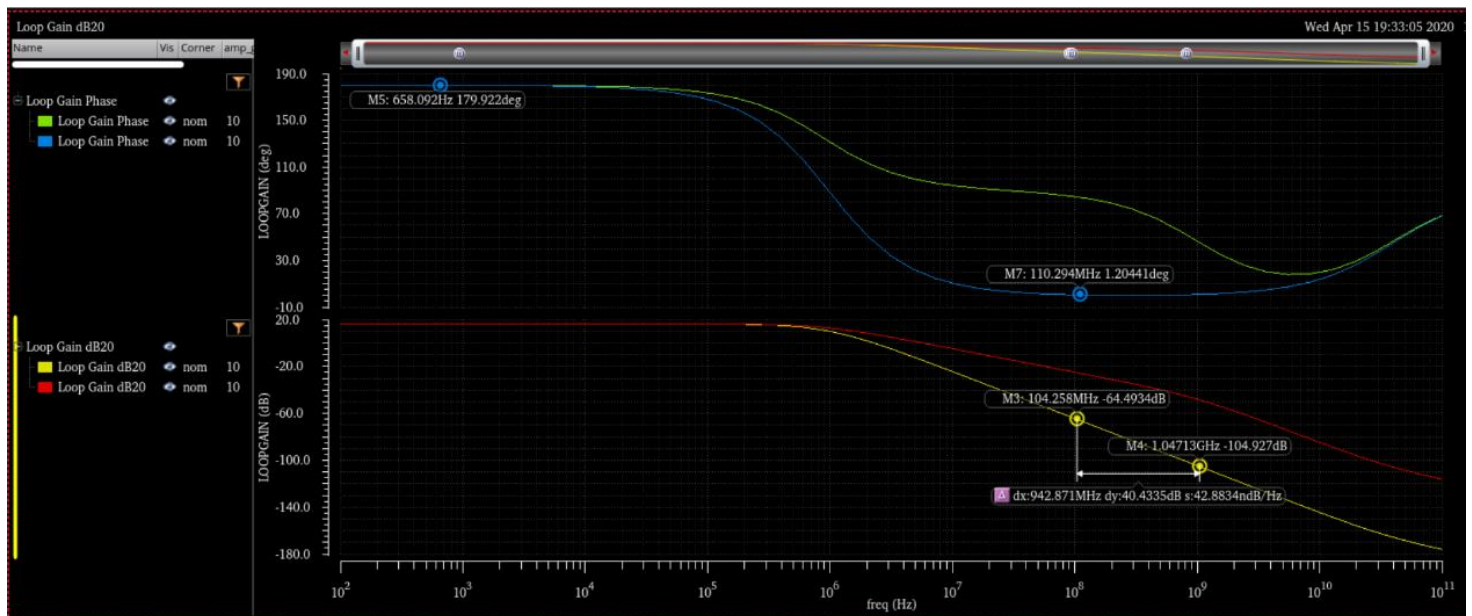
קיבלנו שהתנגדות הכניסה היא בערך $21.71k\Omega$.

לכן התנגדות השקולה שקבל המוצא "רואה" היא

$$R_{out} = 100k\Omega$$

$$R = R_{out} || R_{in}^{m1} \approx 17.837\Omega$$

2. בחרנו קיבול מוצא 10 pF , וקיבול והתנגדות שער זהים על מנת ששני הקטבים יהיו באותו התדר.



מקרא:

- גרף **צהוב** + גרף פאזה **כחול**, שני הקטבים נמצאים באותו התדר. ניתן להבחין בירידה של 180° .

- גרף **אדום** + גרף פאזה **ירוק**, שני הקטבים לא נמצאים באותו התדר. קוטב $3dB$ (גרף 2 קטבים באותו התדר)

$$f_{3dB} \approx 860\text{ [kHz]}$$

השיפוע של הגרף לאחר הקוטב $3dB$ הוא כ $40 \frac{dB}{dec}$, ולכן מדובר בשני קטבים באותה נקודה. קיבלנו למעשה פילטר מסדר שני.

ב. שולי מופע – *Phase Margin*

הערה: בסעיף זה קיבלנו שגיאות יחסית גדולות בין החישוב התיאורטי לסימולציה.

הגבר 10

סימולציה

Design Variables	
amp_gain	10,1000
gate_cap	10p
src_cap	2.4p,10p

Point	Test	Output	Nominal
Filter	Filter	Filter	Filter
Parameters: amp_gain=10, src_cap=2.4p			
1	AdvancedVLSi:Ti...	Rout M1	22.75K
1	AdvancedVLSi:Ti...	/M0/D	
1	AdvancedVLSi:Ti...	/M2/D	
1	AdvancedVLSi:Ti...	Loop Gain Phase	
1	AdvancedVLSi:Ti...	Loop Gain dB20	
1	AdvancedVLSi:Ti...	Phase Margin_a...	59.5
1	AdvancedVLSi:Ti...	phase_margin_...	60.01
1	AdvancedVLSi:Ti...	Phase Margin Fr...	4.064M
1	AdvancedVLSi:Ti...	zero dB	4.112M
Parameters: amp_gain=10, src_cap=10p			
2	AdvancedVLSi:Ti...	Rout M1	22.75K
2	AdvancedVLSi:Ti...	/M0/D	
2	AdvancedVLSi:Ti...	/M2/D	
2	AdvancedVLSi:Ti...	Loop Gain Phase	
2	AdvancedVLSi:Ti...	Loop Gain dB20	
2	AdvancedVLSi:Ti...	Phase Margin_a...	46.23
2	AdvancedVLSi:Ti...	phase_margin_...	46.72
2	AdvancedVLSi:Ti...	Phase Margin Fr...	2.252M
2	AdvancedVLSi:Ti...	zero dB	2.274M

חישוב תיאורטי

Phase margin = 45 deg

$$PM - 90 = \tan^{-1} \left(-\frac{A \cdot p_1}{p_2} \right)$$

$$PM = 45, R_2 = 21.71[K\Omega], A = 10, p_1 = 860[KHz]$$

$$-45 = \tan^{-1} \left(-\frac{A \cdot p_1}{p_2} \right)$$

$$-1 = -\frac{Ap_1}{p_2}$$

$$p_2 = Ap_1$$

$$\frac{1}{2\pi R_2 C_2} = Ap_1$$

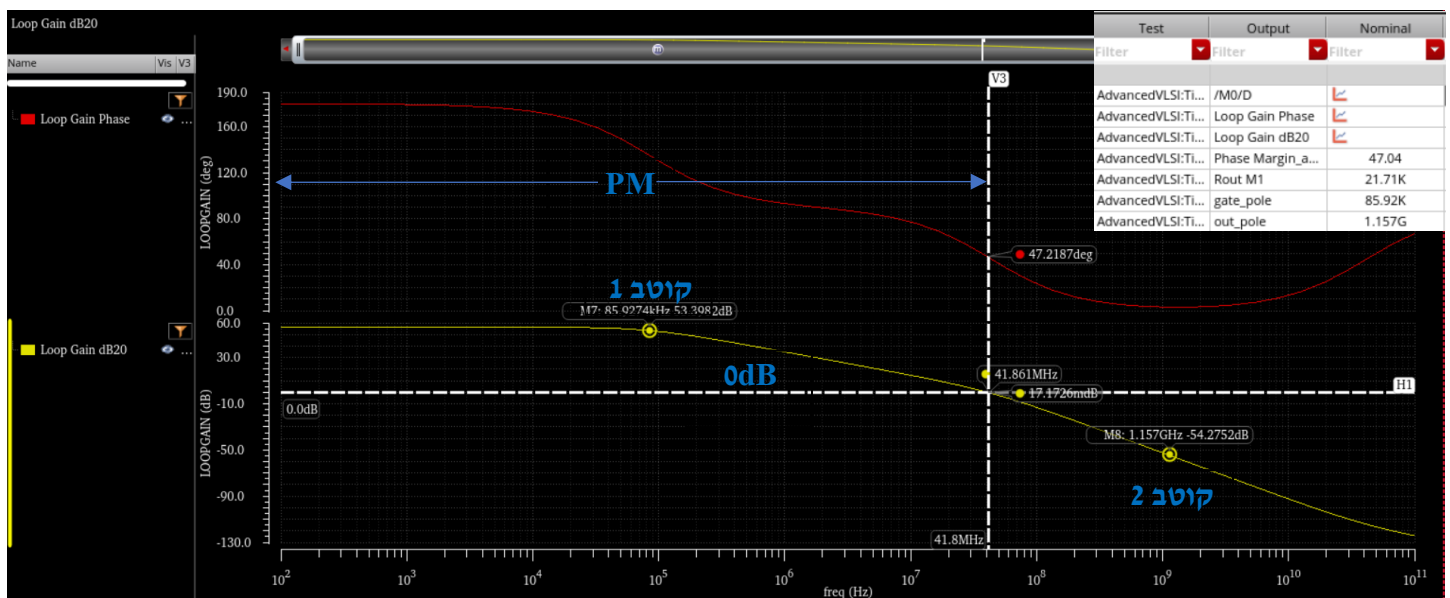
$$C_2 = \frac{1}{2\pi R_2 Ap_1} \approx 8.5 \cdot 10^{-13} [F]$$

Phase margin = 60 deg

$$PM - 90 = \tan^{-1} \left(-\frac{A \cdot p_1}{p_2} \right)$$

$$PM = 60, R_2 = 21.71[K\Omega], A = 10, p_1 = 860[KHz]$$

$$C_2 = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 2\pi R_2 A p_1} \approx 4.92 \cdot 10^{-13} [F]$$



חישוב תיאורטי

$$PM - 90 = \tan^{-1} \left(-\frac{A \cdot p_1}{p_2} \right)$$

$$PM = 45, R_2 = 21.71 [K\Omega], A = 1000, p_1 = 85.92 [KHz]$$

$$-45 = \tan^{-1} \left(-\frac{A \cdot p_1}{p_2} \right)$$

$$-1 = -\frac{Ap_1}{p_2}$$

$$p_2 = Ap_1$$

$$\frac{1}{2\pi R_2 C_2} = Ap_1$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi R_2 Ap_1} = 85 [fF]$$

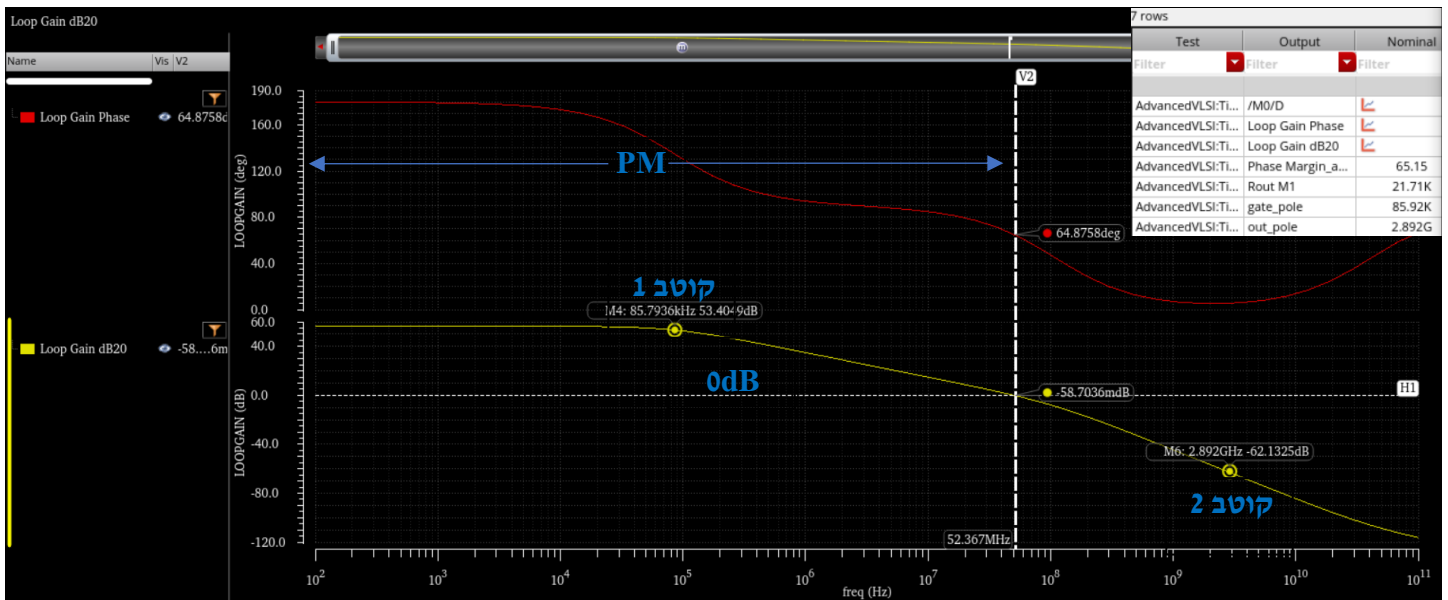
Phase margin 60

בפועל 65 deg

$$C_{gate} = 10^{-10} [F]$$

$$C_{src} = 10^{-13} [F] \text{ חישוב ידני בוירטואזון}$$

שרטוט



חישוב תיאורטי

$$PM - 90 = \tan^{-1} \left(-\frac{A \cdot p_1}{p_2} \right)$$

$$PM = 65, R_2 = 21.71 [K\Omega], A = 1000, p_1 = 85.92 [KHz]$$

$$-25 = \tan^{-1} \left(-\frac{A \cdot p_1}{p_2} \right)$$

$$-0.466 = -\frac{1000 \cdot p_1}{p_2}$$

$$p_2 = \frac{1000}{0.466} \cdot p_1 \approx 1.84 \cdot 10^9 [Hz]$$

$$c_2 = \frac{1}{2\pi R_2 \cdot 1.84 \cdot 10^9} \approx 39 [fF]$$

ג. המרחק הנדרש מנקודת הגבר היחידה (0dB) לקוטב הגבוה עבור שולי המופע שבסעיף ב'

עבור הגבר 10, שולי מופע 45° :

$$f_{0dB} = 2.27 [MHz]$$

$$f_{p2} - f_{0dB} = 27.61 - 2.27 = 25.34 [MHz]$$

עבור הגבר 10, שולי מופע 60° :

$$f_{0dB} = 4.11 [MHz]$$

$$f_{p2} - f_{0dB} = 110.4 - 4.11 = 106.26 [MHz]$$

עבור הגבר 1000, שולי מופע 45° :

$$f_{0dB} = 41.8 [MHz]$$

$$f_{p2} - f_{0dB} = 1.15 [GHz] - 41.8 [MHz] \approx 1.1 [GHz]$$

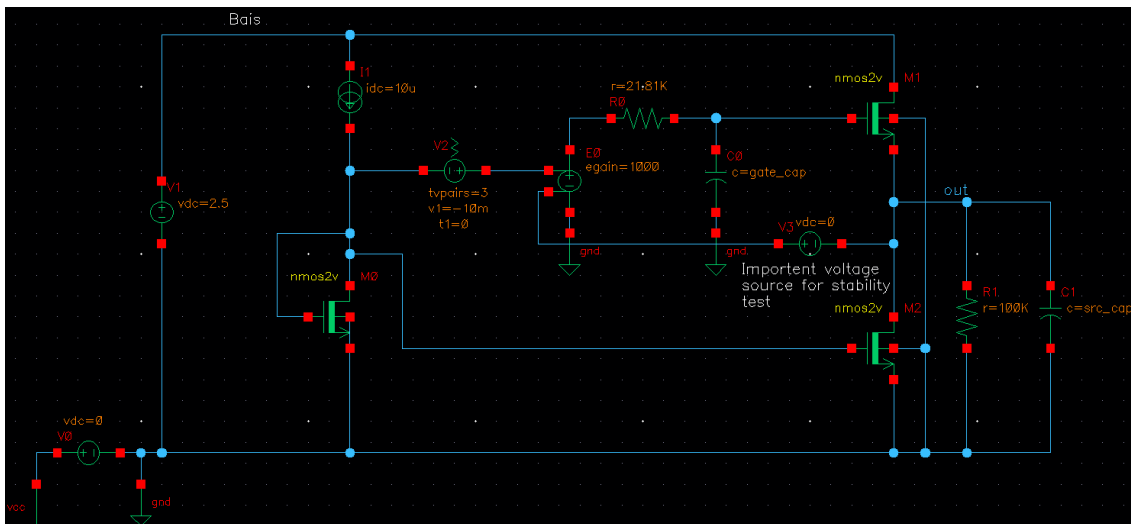
עבור הגבר 1000, שולי מופע 60° :

$$f_{0dB} = 52.36 [MHz]$$

$$f_{p2} - f_{0dB} = 1.15 [GHz] - 52.36 [MHz] \approx 1.09 [GHz]$$

ניתן לראות את שולי המופע גם בטבלאות ובסימולציות שנמצאות בסעיף ב'.

נספח – שרטוט המעגל

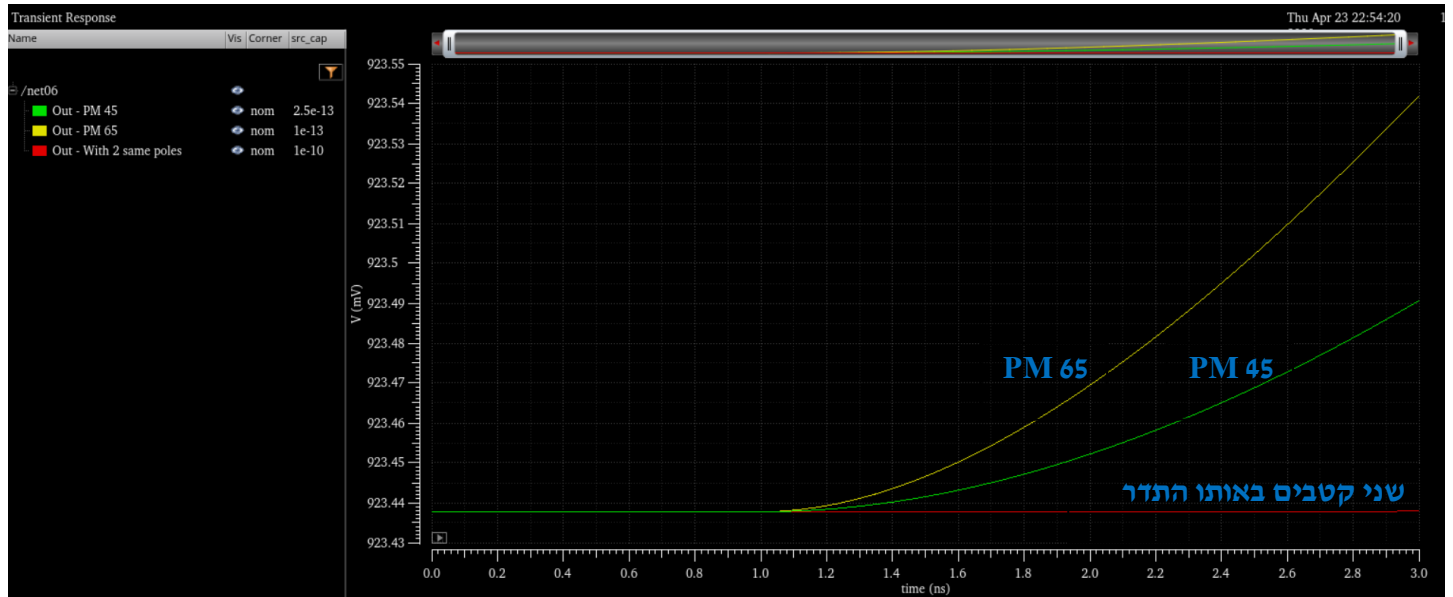


שאלה 2 – תוצאות של תגובת מדרגה

בשאלה זו בחרנו להשתמש בסימולציית transient, על מנת לבחון את תגובת התדר לכניסת מדרגה, בהגבר אידאלי 1000 בשלושה מקרים:

- (1) שני קטבים באותו התדר.
- (2) "שולי מופע" של 45 מעלות.
- (3) "שולי מופע" של 65 מעלות.

תוצאות הסימולציה:



עבור הגבר פי 1000.

מהגרפים ניתן ללמוד ככול שה PM גדול יותר המתח במוצא עולה מהר יותר.