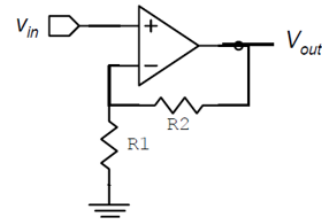
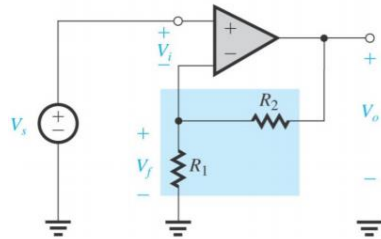


שאלה 1 – יציבות ותכנון מגבר בעל שתי דרגות



א. מציאת ערכו של רשת המשוב (β):

• זיהוי סוג דגימה

נחבר בכניסה V_{in} , ביציאה של המגבר מחובר R_{load} נבדוק באיזה מקרה לא עובר סיגנל המשוב מהמוצא לכניסה ע"י שינוי הנגד R_{load} ניתן לראות כאשר נחליף את הנגד בקצר לא יזרום זרם דרך נגד R_1 ולכן מדובר בדגימה מקבילה. כלומר PO .

• זיהוי סוג החזרה

נניח כי קיים מתח במוצא ונבחן באיזה מקרה לא מגיע מידע מהמוצא לכניסה של המגבר כאשר המקור מוחלף בקצר / בנתק. במקרה שלנו, כאשר אנו ננתק את מקור הכניסה, נקבל הדק צף מכאן $V = -V$ ולכן "הרגנו את המשוב" לכן מדובר בהחזרה טורית SI .

מכאן $\beta = \frac{V_f}{V_o}$ (לפי הגדרה $SIPO$) כאשר V_f מציין את המתח על נגד R_1

V_o מציין את המתח יציאה והמשוב מורכב משני הנגדים כפי שניתן לראות בריבוע התכלת.

מדובר במחלק מתח ולכן $V_f = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_o \rightarrow \beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$
הגבר חוג (loop gain) – על פי ההגדרה $- \beta \cdot A_{ol} = \frac{-R_1}{R_1 + R_2} \cdot A_{ol}$
ב. פונקציית תמסורת של המשוב A_{CL} מוגדרת כפי שראינו בהרצאה:

$$A_{CL} = \frac{A}{1 + AB}$$

ג. בהינתן הנתונים הבאים ופונקציית התמסורת:

$$H_{OL}(f) = \frac{A_{OL}}{\left(1 + \frac{jf}{f_{p1}}\right) \left(1 + \frac{jf}{f_{p2}}\right)}$$

כאשר $f_{p1} = f_{p2} = 1MHz, R_1 = 1K\Omega, R_2 = 2K\Omega, A_{OL} = 80dB$

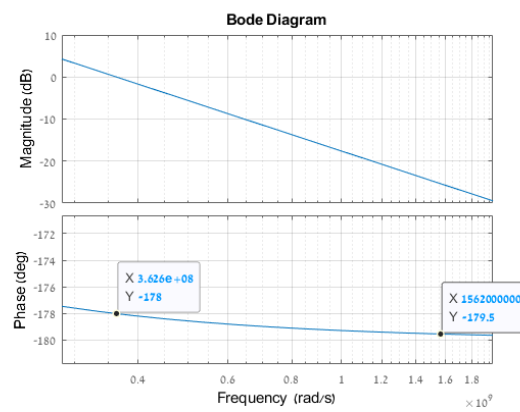
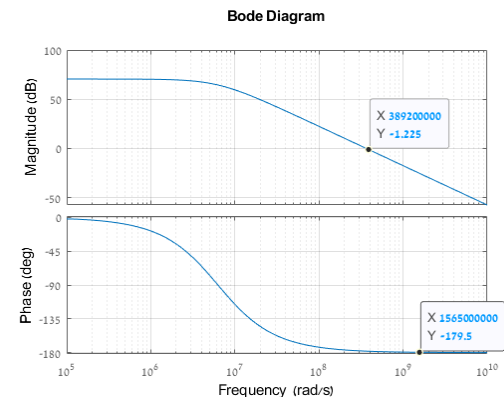
a. ניתוח עבור $\beta \cdot H_{OL}(f)$

$$\begin{aligned} &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{A_{OL}}{\left(1 + \frac{jf}{f_{p1}}\right) \cdot \left(1 + \frac{jf}{f_{p2}}\right)} = \frac{1}{3} \cdot \frac{10000}{\left(1 + \frac{jf}{1M}\right) \cdot \left(1 + \frac{jf}{1M}\right)} \\ &\beta \cdot H_{OL} = \frac{1}{3} \cdot \frac{10000}{\left(1 + \frac{s}{1M \cdot 2\pi}\right)^2} \end{aligned}$$

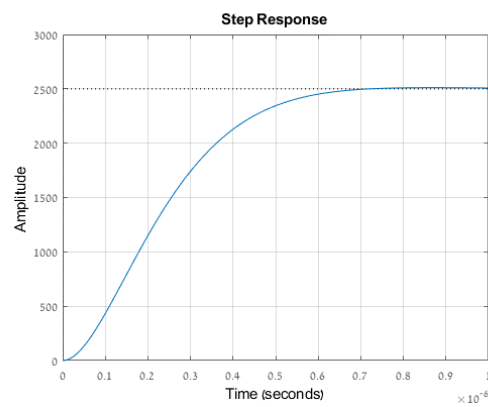
כאשר¹. מציין מעבר למישור לפלס.

• גרף *Bode* :

• *phase margin* :



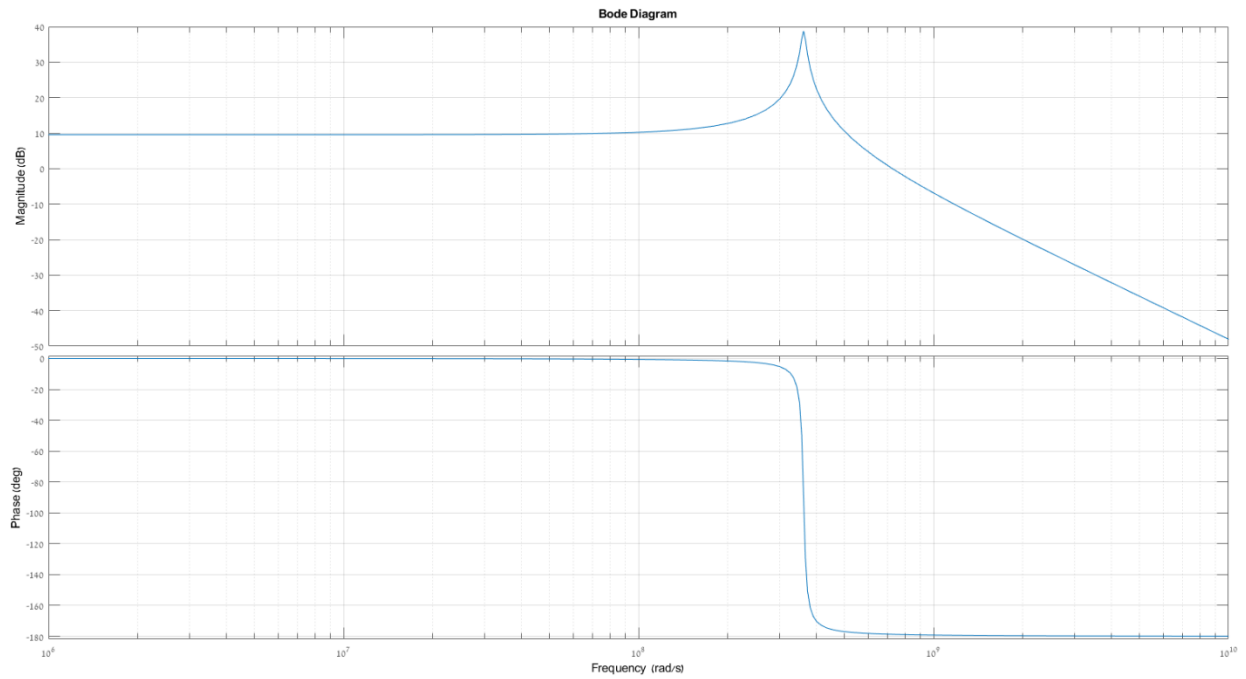
• תגובה למדרגה :



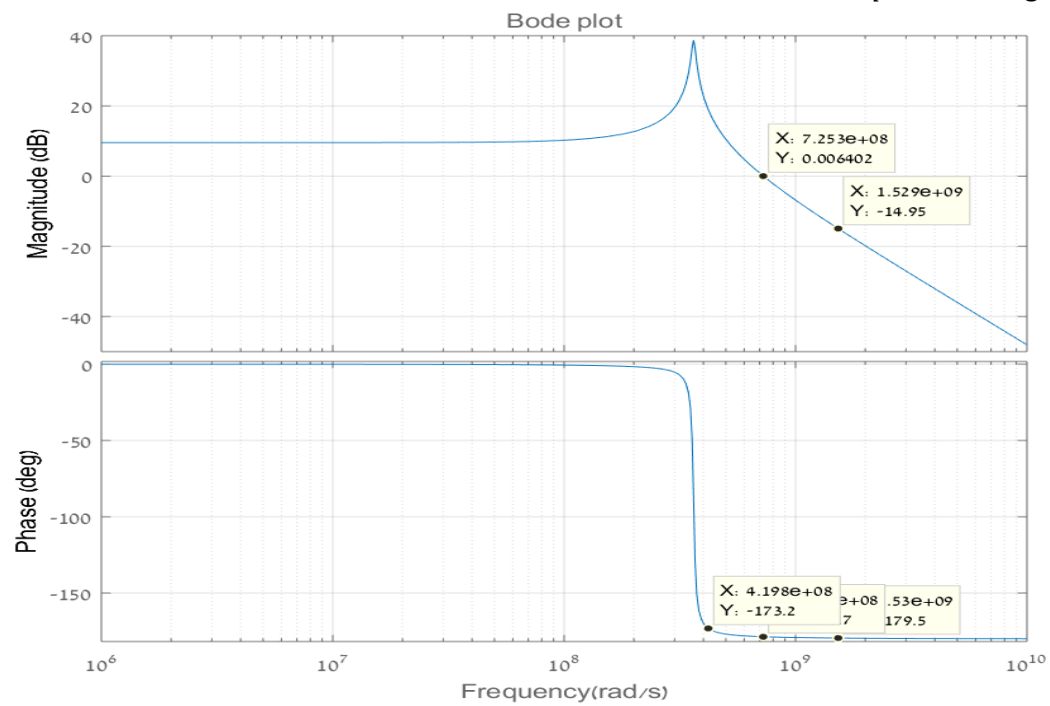
b. ניתוח עבור $H_{CL}(f)$

$$H_{CL} = \frac{H_{OL}}{1 + H_{OL}B} = \frac{\frac{10000}{\left(1 + \frac{s}{1M * 2\pi i}\right)^2}}{1 + \frac{1}{3} * \frac{10000}{\left(1 + \frac{s}{1M * 2\pi i}\right)^2}}$$

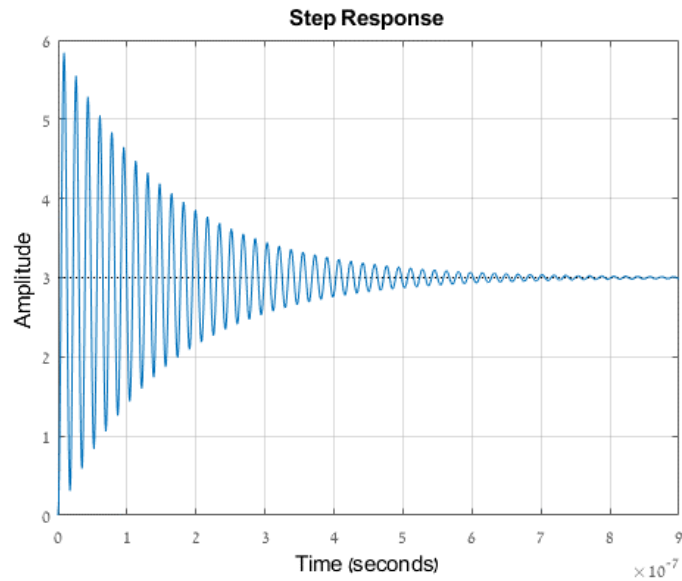
• גרף Bode :



• *phase margin* :



• תגובה למדרגה :



נקודות חשובות בשרטוטים :

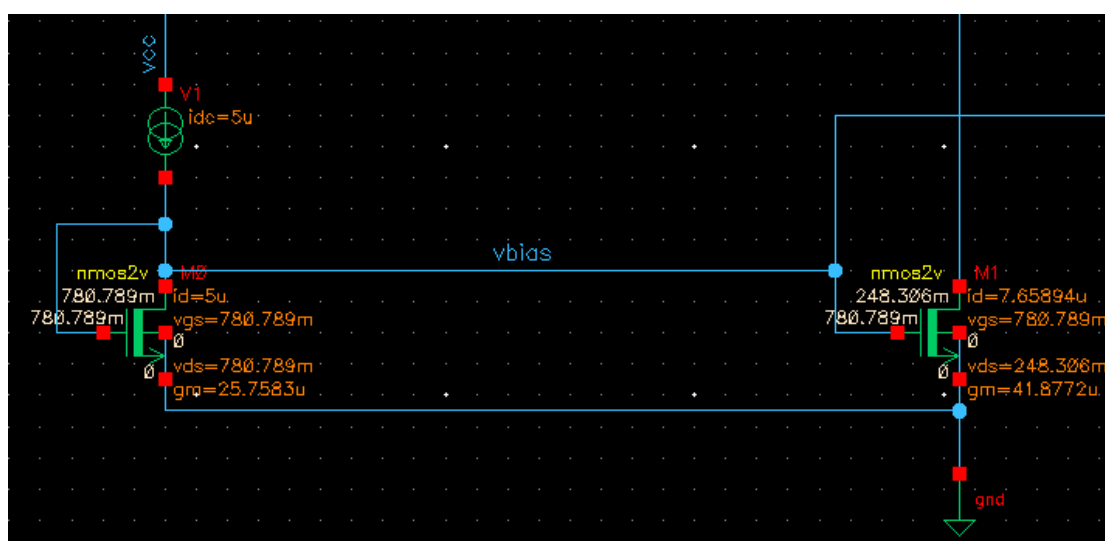
Gain margin : ככל שהפער גדול יותר, כך המערכת תהיה יציבה יותר. בפועל מדובר על הטווח בו יכול ניתן להגביר ולהפחית את ההגבר בלי לפגוע ביציבות המערכת. ניתן לראות אותו על גרף בודה כאשר התדר שלו בגרף בודה הוא התדר שנקרא *phase crossover frequency* וניתן לזהות אותו כאשר לוקחים את התדר כאשר הפאזה מגיע למינוס 180 מעלות ומציאת התדר בגרף האמפליטודה. במערכת שלנו ה *Gain margin* הוא $-10[dB]$ ולכן המערכת לא יציבה.

Phase margin : ככל שהגיון מרגיין גדול יותר, כך המערכת תהיה יציבה יותר. מדובר בפועל על הטווח בו ניתן להגביר ולהקטין את הפאזה בלי לפגוע ביציבות המערכת. ניתן לראות אותו על גרף בודה כאשר התדר שלו בגרף בודה הוא התדר שנקרא *Gain crossover frequency* וניתן לזהות אותו כאשר לוקחים את התדר כאשר האמפליטודה מתאפסת , ומציאת התדר בגרף הפאזה. במערכת שלנו ה *Phase margin* הוא $-7[deg]$ ולכן המערכת לא יציבה.

שאלה 2

בעזרת סימולציית DC נבדוק שהטרנזיסטורים נמצאים ברוויה

נבדוק שהראי זרם ברוויה



M0:vdsat(V)=0.22635527
M1:vdsat(V)=0.21448361
M2:vdsat(V)=0.071657156
M3:vdsat(V)=0.070537313
M4:vdsat(V)=-0.088662508
M5:vdsat(V)=-0.0877568
M6:vdsat(V)=-0.07468056
M7:vdsat(V)=0.23304684

result browser מתחיל את הסטורציה של הטרנזיסטורים

ממשוואת הרוויה

$$V_{dsat} = V_{GS} - V_T$$

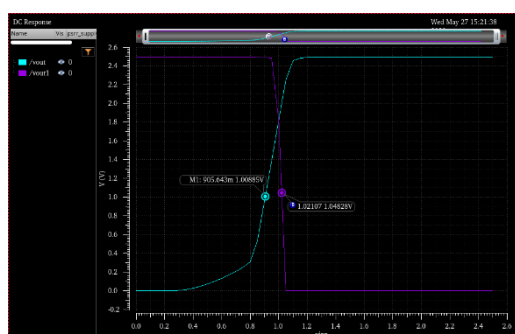
$$0 \leq V_{dsat} \leq V_{DS}$$

טרנזיסטור M0 : $0 \leq 0.226 \leq 780m$: הטרנזיסטור ברוויה.

טרנזיסטור M1 : $0 \leq 0.21 \leq 248.3m$: הטרנזיסטור ברוויה.

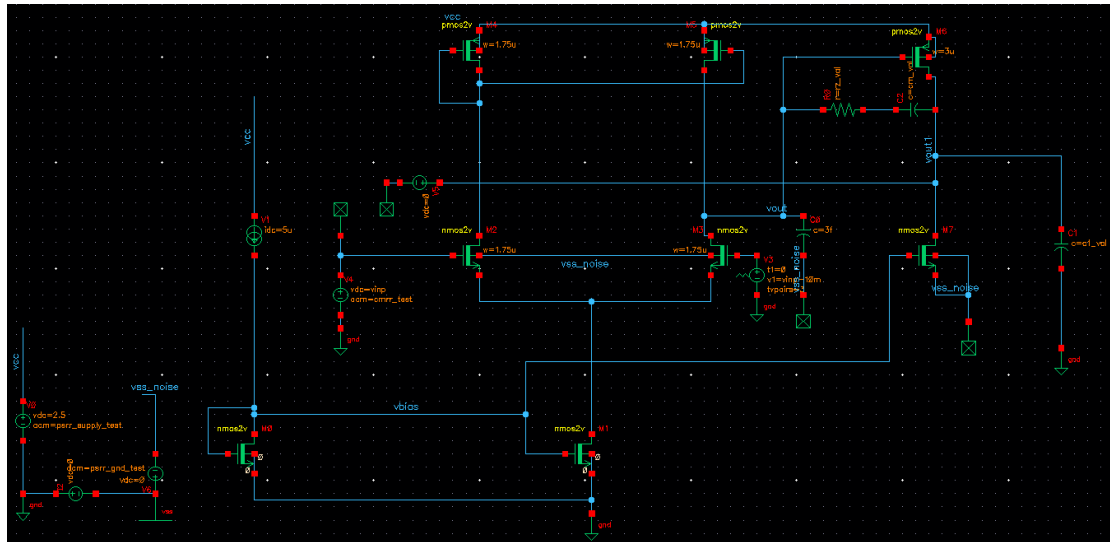
ב. הגברים

הגבר DC עבור כניסה I/v (מסומנת גרף).

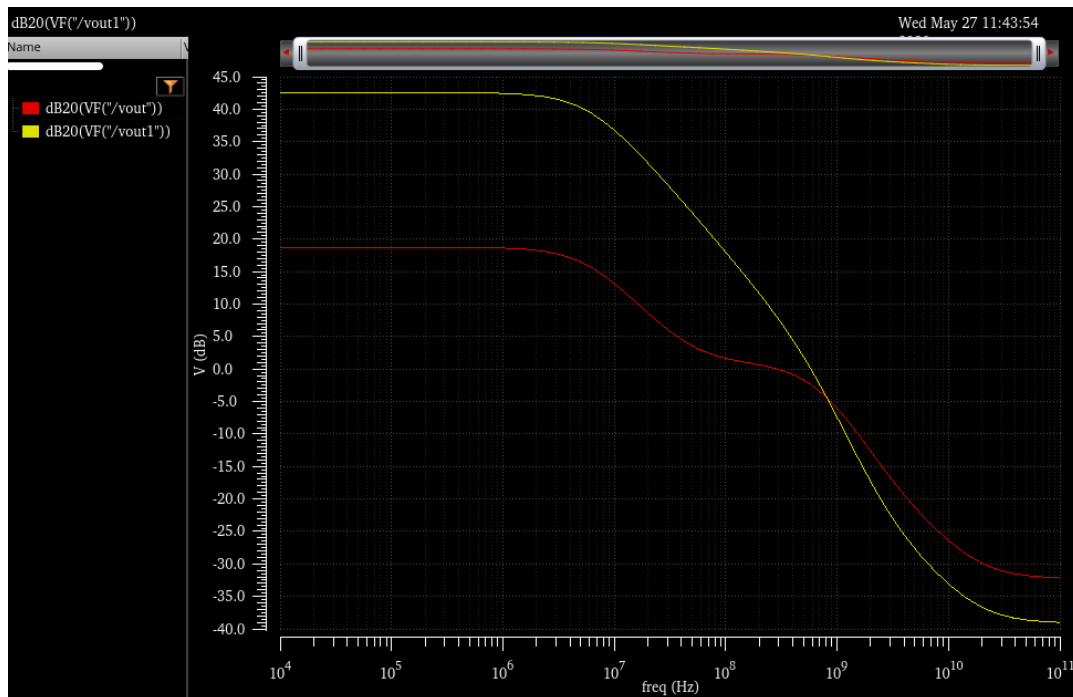


קבענו את רוחבי הטרנזיסטורים של הדרגה הראשונה לרוחב של $1.75\mu m$.

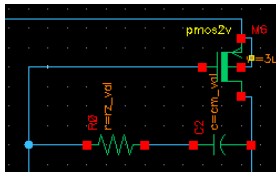
את רוחב הטרנזיסטור השני ל $3\mu m$.



טרנזיסטור	סוג	V_{dsat} מתח סטורציה $[V]$	מתח V_{ds} $[V]$	נמצא ברוויה
$M0$	$NMOS$	0.226	0.78	✓
$M1$	$NMOS$	0.214	0.384	✓
$M2$	$NMOS$	0.0716	1.412	✓
$M3$	$NMOS$	0.07	1.49	✓
$M4$	$PMOS$	-0.088	-0.0673	✓
$M5$	$PMOS$	-0.08	-0.0673	✓
$M6$	$PMOS$	-0.074	-1.49	✓
$M7$	$NMOS$	0.233	1.00	✓



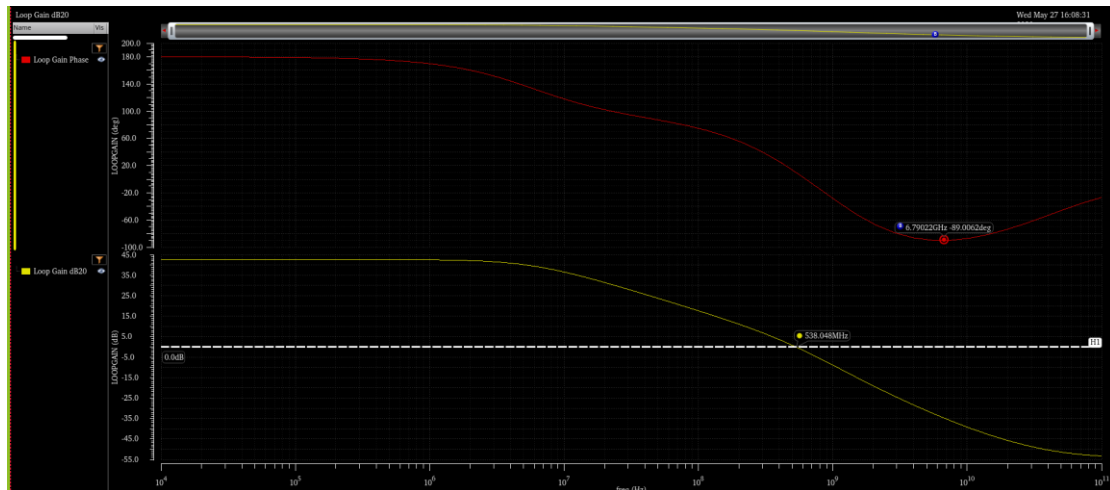
בדיקת יציבות



בדרגה 2 במגבר - עבור

- נגד $rz_val = 0\Omega$

- קבל $cm_val = 10f\Omega$



מהגרף ניתן לראות שיש אפס, שמקטין לנו משמעותית את ה PM .

ולכן המעגל לא יציב.

לכן בעזרת הנגד rz_val וקבל cm_val ניצור קוטב במעגל, ובכך נקבל PM כנדרש ומעגל יציב.
עבור:

$$cm_val = 2p\Omega, rz_val = 2.5k\Omega$$

קיבלנו:

ד. נרצה לחשב את מיקום הקוטב f_{p1} כדי לקבל $\phi_m = 60^\circ$

- עבור $\beta * H_{OL}(f)$ נרשום את הביטוי:

$$\frac{1}{3} * \frac{10000}{\left(1 + \frac{s}{1M * 2\pi}\right) * \left(1 + \frac{s}{f_{p1} * 2\pi}\right)}$$

- עבור $\frac{A}{1+AB}$ נרשום את הביטוי:

$$\frac{\frac{10000}{\left(1 + \frac{s}{1M * 2\pi}\right) * \left(1 + \frac{s}{f_{p1} * 2\pi}\right)}}{1 + \frac{1}{3} * \frac{10000}{\left(1 + \frac{s}{1M * 2\pi}\right) * \left(1 + \frac{s}{f_{p1} * 2\pi}\right)}}$$

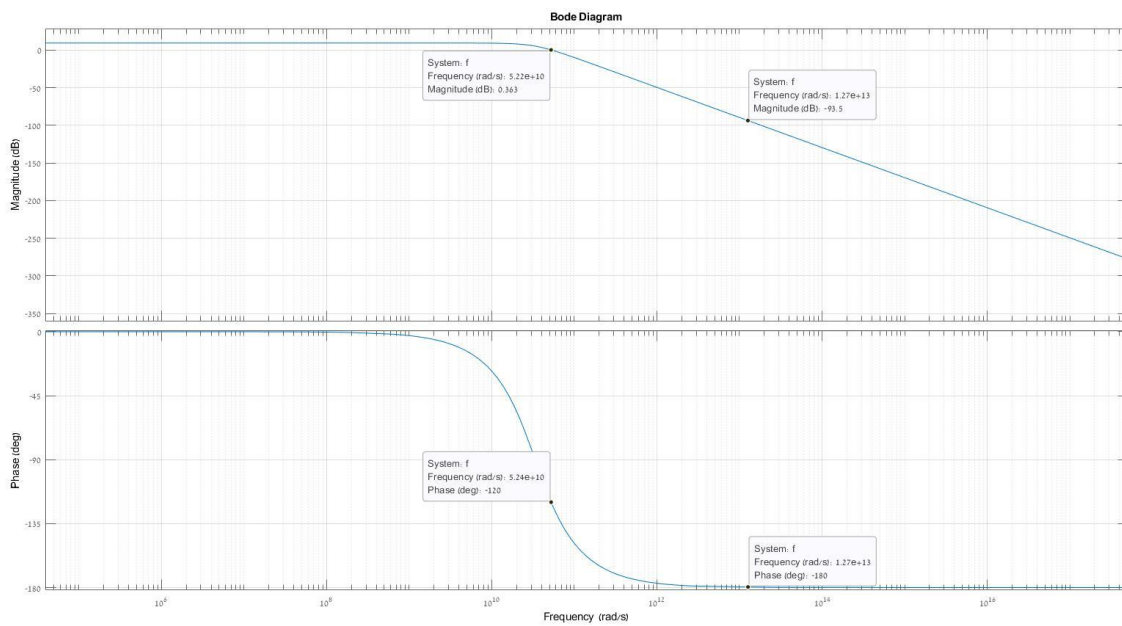
חישבנו את A_v עבור המערכת כעת והצבנו בנוסחא ל $phase\ margin$

$$A_v = 9300$$

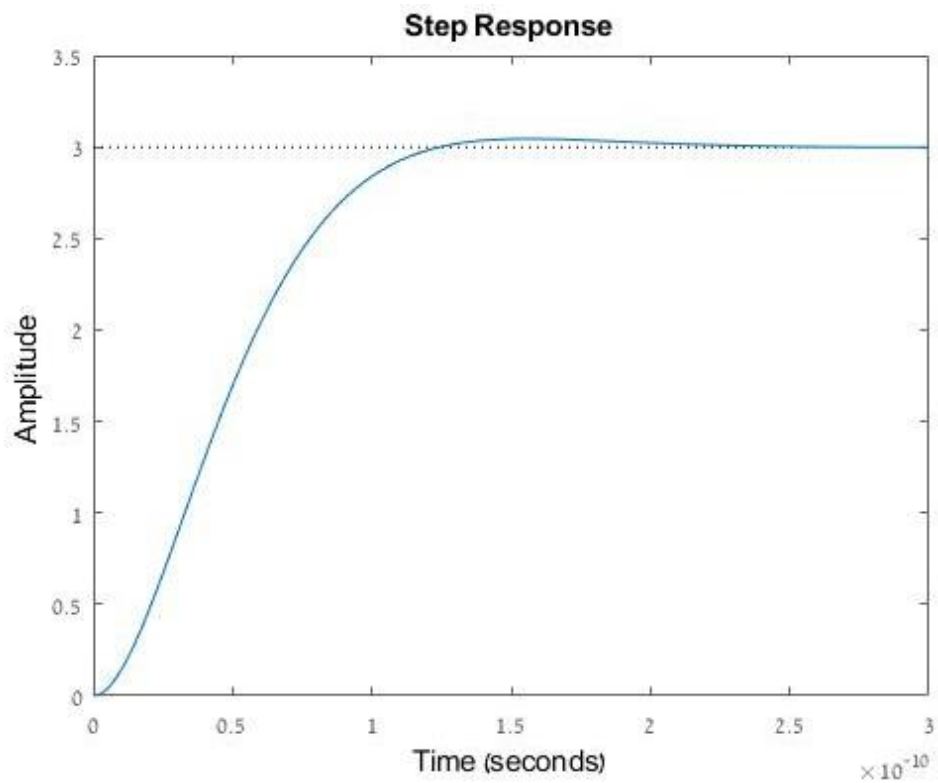
$$PM = \tan^{-1} \left(-\frac{p_1 A_v}{p_2} \right) \rightarrow 60$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{1.6 \cdot 10^6 \cdot 9300}{p_2} \right) \rightarrow p_2 = 8.6 \cdot 10^9 [Hz]$$

• גרף בודה $phase\ margin$



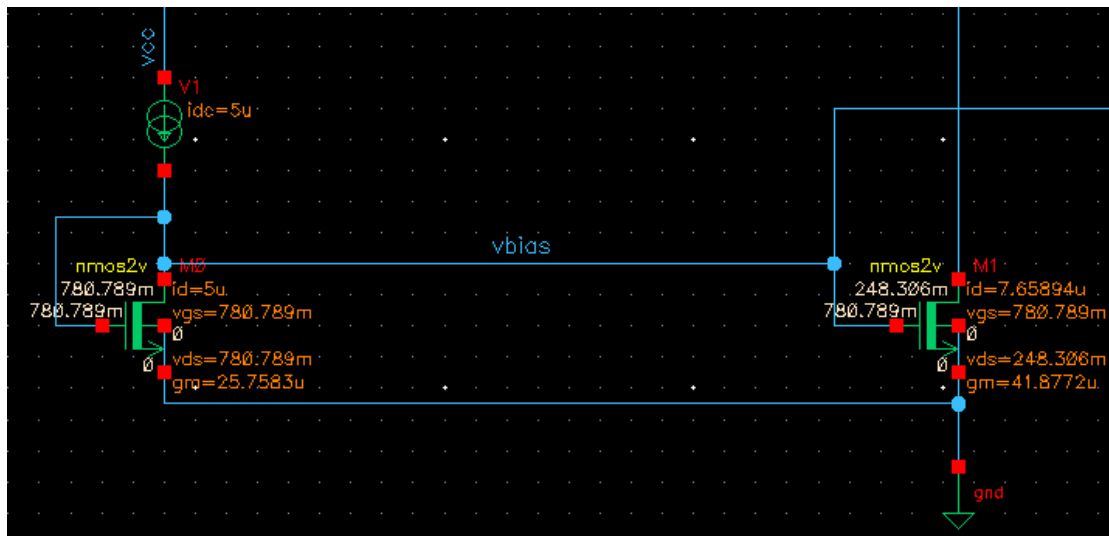
תגובת למדרגה :



שאלה 2

בעזרת סימולציית DC נבדוק שהטרנזיסטורים נמצאים ברוויה

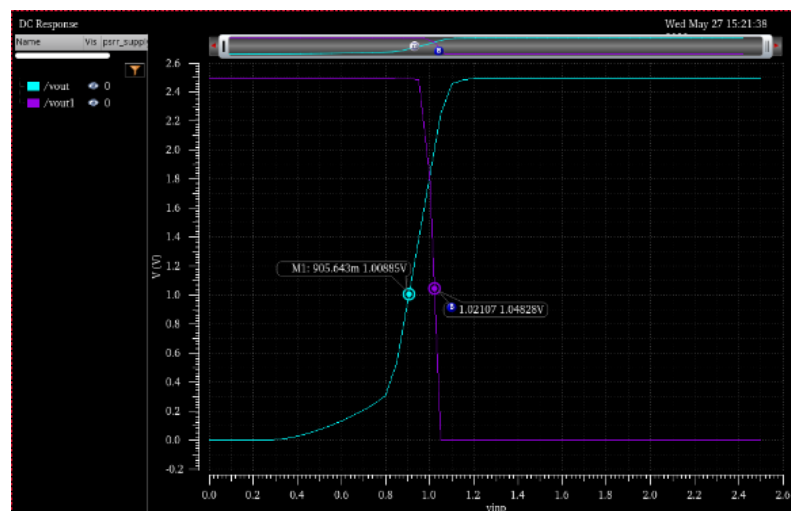
נבדוק שהראי זרם ברוויה



ממשוואת הרוויה

$$V_{dsat} = V_{GS} - V_T$$

$$0 \leq V_{dsat} \leq V_{DS}$$

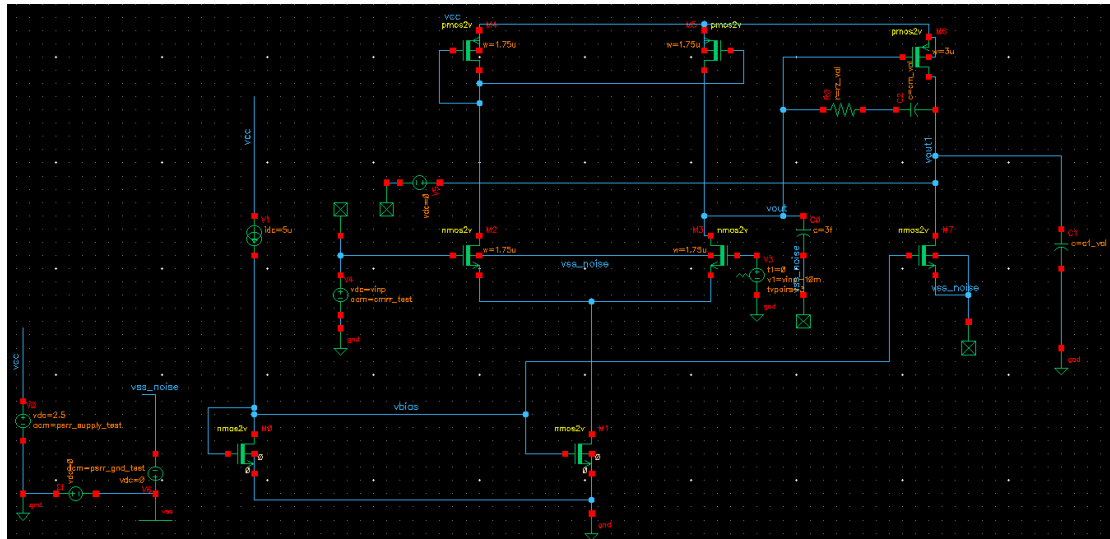


ב. הגברים

הגבר DC עבור כניסה $1/v$ (מסומנת גרף).

קבענו את רוחבי הטרוניסטורים של הדרגה הראשונה לרוחב של $1.75\mu m$.

את רוחב הטרוניסטור השני ל $3\mu m$.



טרנזיסטור	סוג	V_{dsat} [V] סטורציה מתח	מתח V_{ds} [V]	נמצא ברוויה
M0	NMOS	0.226	0.78	✓
M1	NMOS	0.214	0.384	✓
M2	NMOS	0.0716	1.412	✓
M3	NMOS	0.07	1.49	✓
M4	PMOS	-0.088	-0.0673	✓
M5	PMOS	-0.08	-0.0673	✓
M6	PMOS	-0.074	-1.49	✓
M7	NMOS	0.233	1.00	✓

מתחי סטורציה מה *result browser*

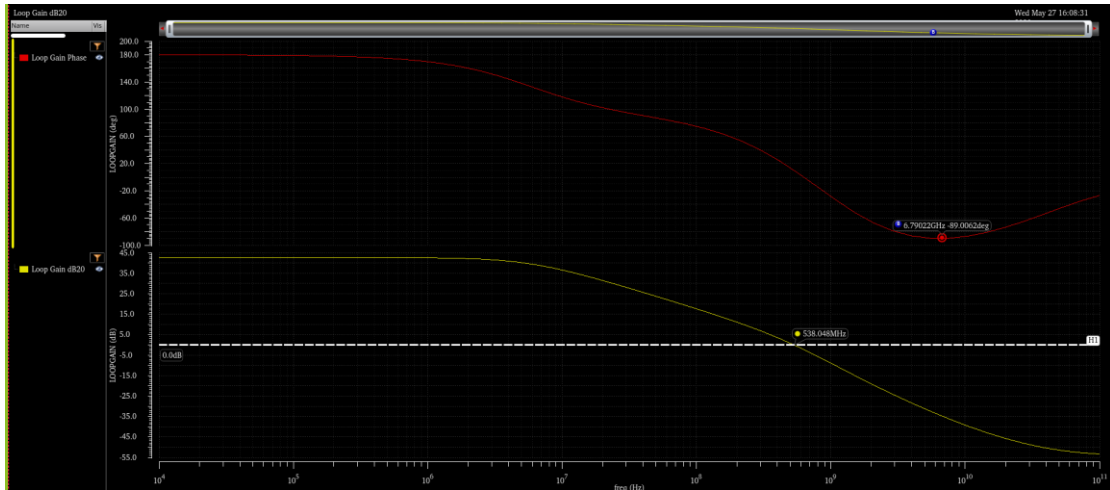
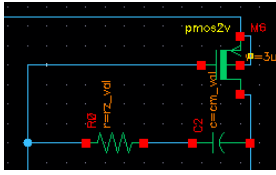
M0:vdsat(V)=0.22635527
M1:vdsat(V)=0.21448361
M2:vdsat(V)=0.071657156
M3:vdsat(V)=0.070537313
M4:vdsat(V)=-0.088662508
M5:vdsat(V)=-0.0877568
M6:vdsat(V)=-0.07468056
M7:vdsat(V)=0.23304684

בדיקת יציבות

בדרגה 2 במגבר - עבור

$$rz_val = 0 \Omega \tau_{\lambda} -$$

$cm_{val} = 10f\Omega$ - קבל



מהגרף ניתן לראות שיש אפס, שמקטין לנו משמעותית את PM .

ולכן המעגל לא יציב.

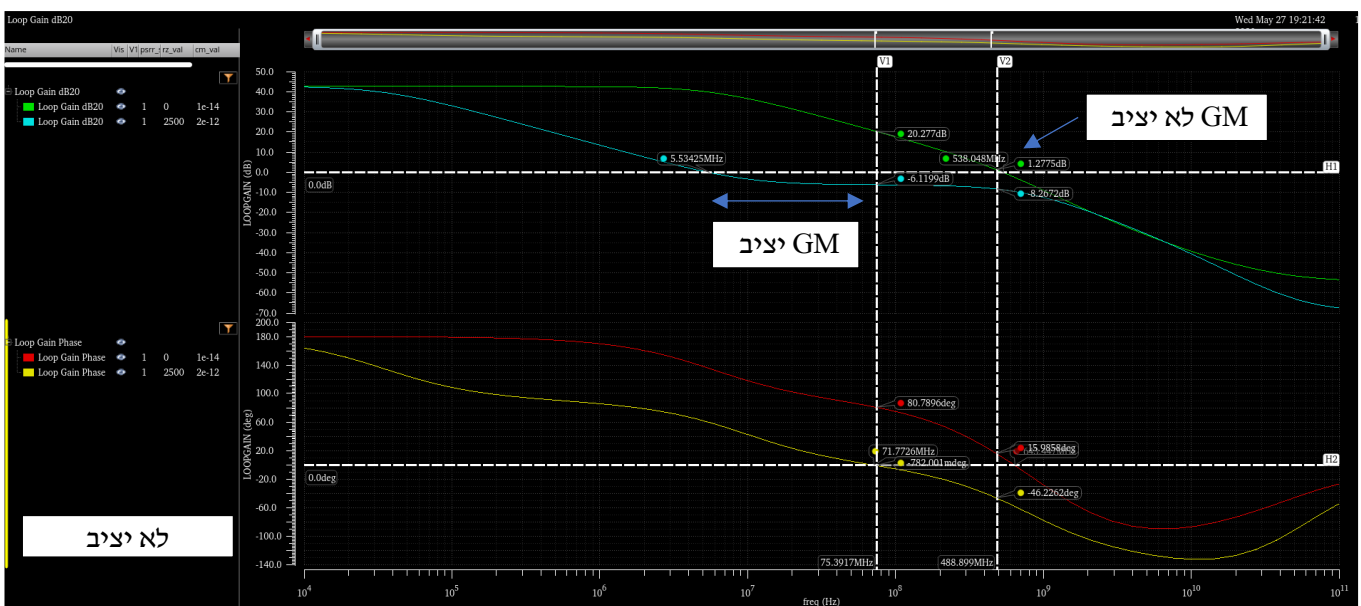
לכן בעזרת הנגד rz_val וקבל cm_val ניצור קוטב במעגל, ובכך נקבל PM כנדרש ומעגל יציב.

עבור:

$$cm_val = 2p\Omega, rz_val = 2.5k\Omega$$

קיבלנו :

Phase Margin				60.21	60.21	60.21
Gain Margin				6.108	6.108	6.108



- מקרה לא יציב – גרפים אדום + ירוק
מקרה יציב – צהוב + כחול