

Simulation #4

**Differential to Single
Ended Amp (5T Amp) + Source Follower**

מגישות:

**עדי גריין 324965946
הדים רם 214068843**

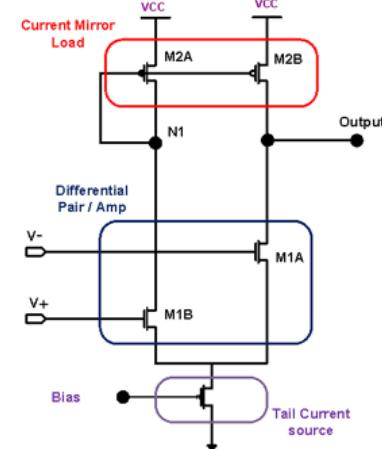
תאריך הגשה:

13.1.2026

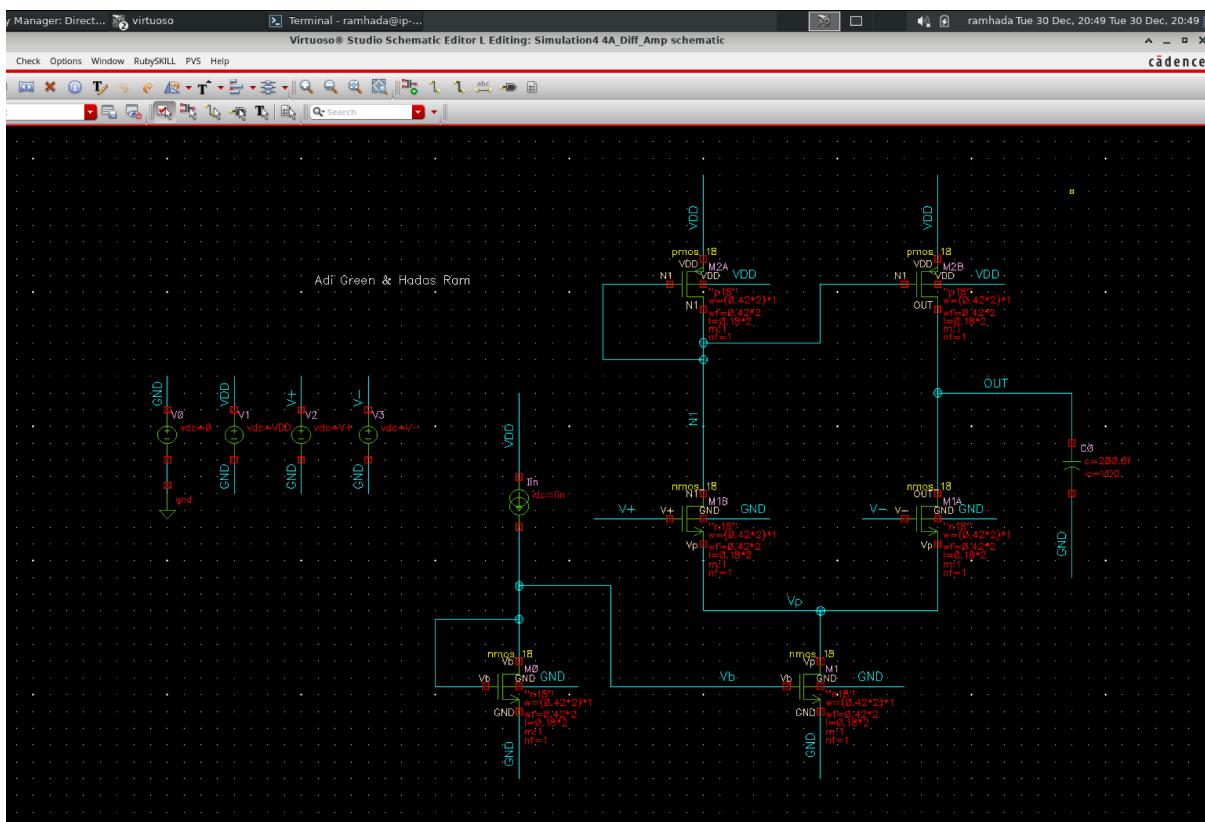
4A: Differential to single ended amp

4A.1 – OPAMP SCHEMATIC

התבוקשנו לבנות את המעגל:



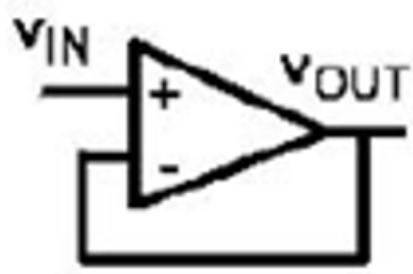
הוספנו קיבול של $C_0 = 0.2\text{pF}$ בموقع.
הכפלנו את הגודל המינימלי של אורך הטרנזיסטור פי 2 כמボוקש, כלומר $L=0.36\text{L}$.
הגדכנו $W/L=2.33$, כך ש- $W=0.42 \cdot 2 = 0.84$.



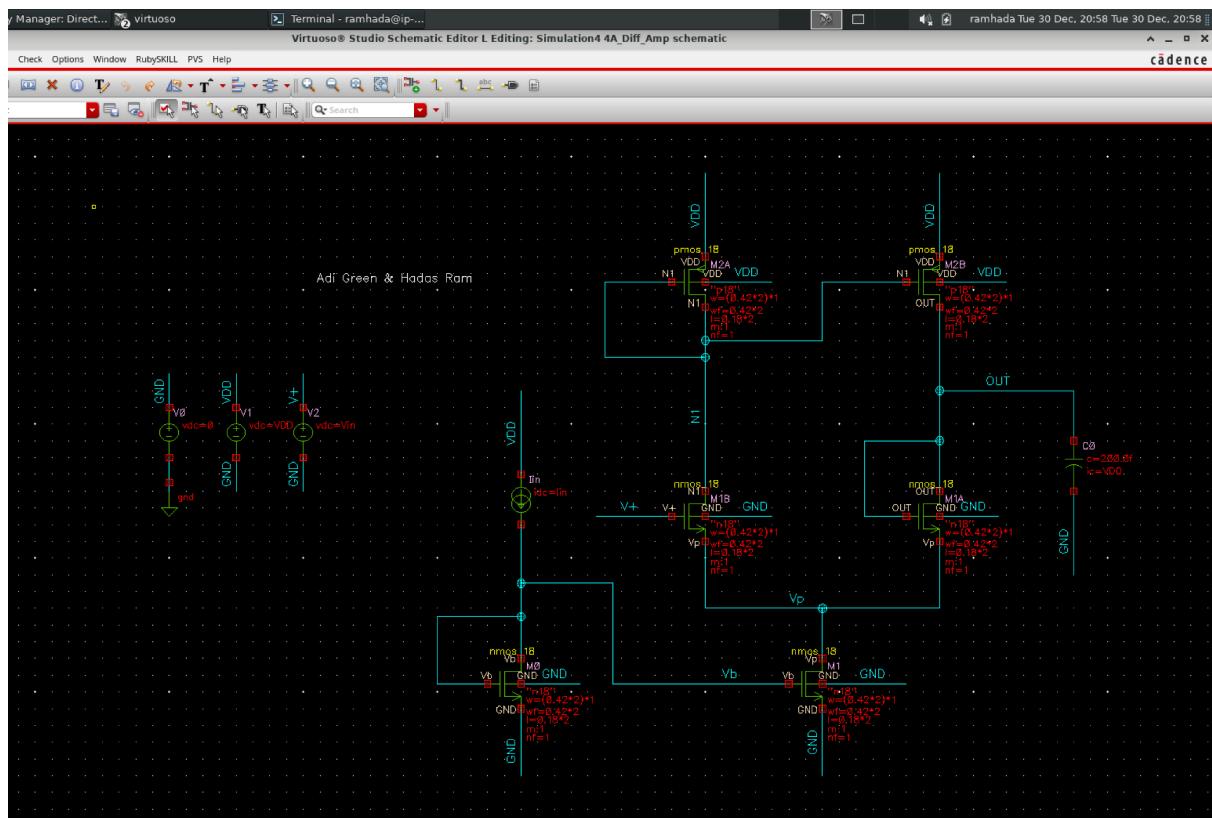
חברנו מראת זרם לטרנזיסטור M1, כך שכל הטרנזיסטורים בסטורייה אנו מקבלים זהים בטרנזיסטור זה. שווה לזרם i_{in} . (נראה בהמשך שאכן מתקיים).

המעגל הוא מגבר "Differential to Single-Ended", שזה מגבר דיפרנציאלי בעל יציאה אחת, כאשר ליציאה שלו מחבר קבל, (בSIMOLCYT DC הקבל בנטק).
הטרנזיסטורים M1A,M1B מהווים את ה-"ז'וֹפַע diff" שאלו הטרנזיסטורים עם הכניסות הדיפרנציאליות של המגבר.
טרנזיסטורים M2A,M2B מהווים את ה-"current mirror load" של gate של M2A ולן מנסה לבדוק את הזרם של הענף השמאלי (כמו ב-Z-Mirror).

4A.2 – DC SIMULATIONS



התבקשנו לחבר את המגבר כ-UGB וכאן אנחנו צריכים לחבר את הכניסה -V ליציאה, על מנת לקבל משוב שלילי. לחבר למשוב השילוי את הטרנזיסטור שהכניסה שכאשר נשנה את הכניסה שלו- היציאה תשתנה באופן הופכי,(מצאנו זאת לפני חישוב ההיפוכים במעגל - כתוב במטה).

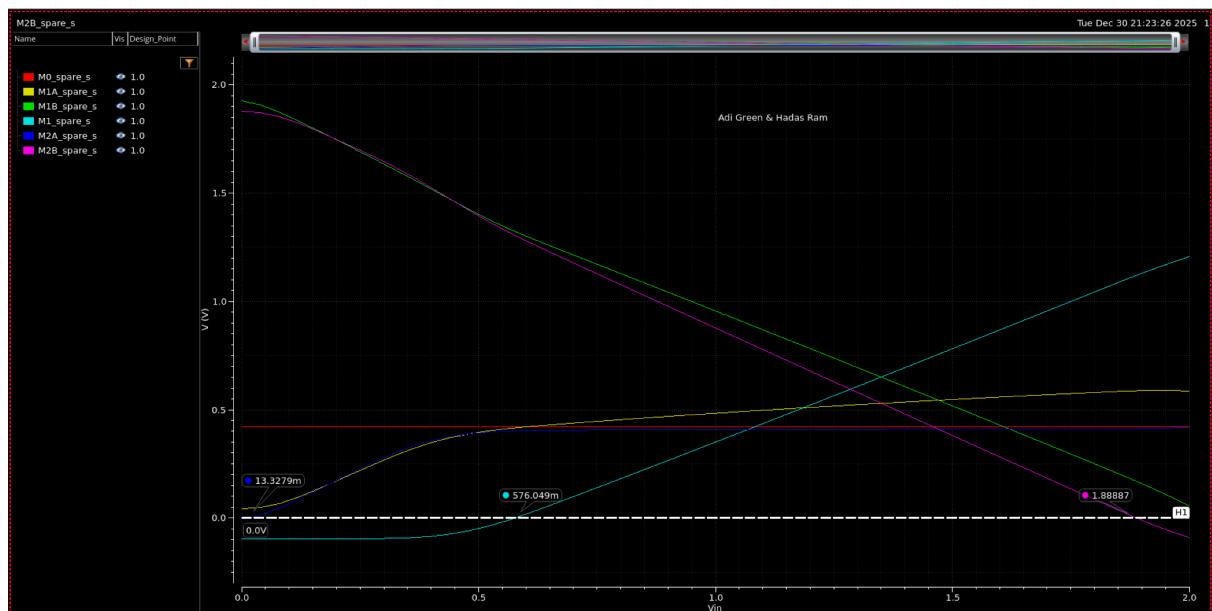


את החיבור של מתח המוצא OUT חיבורו ל-gate של טרנזיסטור M1A על מנת ליצור חיבור UGB בחיבור UGB מתח המוצא מחובר להדק השילוי של המגבר (משוב שלילי), וכן לבדוק אם יש היפוכים במעגל.

מה-gate של טרנזיסטור M1B (כניסה +V) ל-drain שלו (N1) נקלט היפוך, ובטרנזיסטור M2B (שהוא PMOS) יש היפוך נוסף בין ה-gate (שהוא N1) לבין ה-drain (היציאה OUT), לכן בסה"כ נקלט שבין הכניסה +V לבין היציאה OUT אין היפוכים, ולכן זה הדק חיובי. לעומת זאת, בין הבדיקה של gate של M1A (OUT) לבין ה-gate של M1B (N1) נקלט שיש היפוך ולכן זה הדק השלילי ואליו לחבר את היציאה OUT.

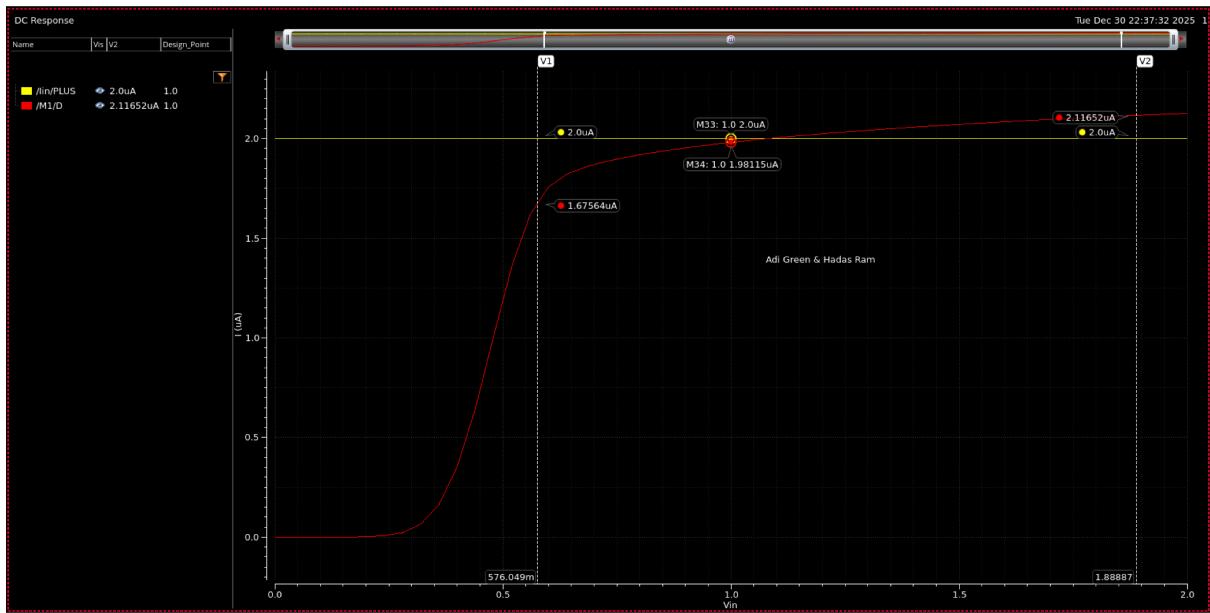
הרצינו סימולציה DC כתלות ב Vin | שරץ מ-0 עד ל- VDD=2V |. הגדרנו $i_{lin}=2\mu A$. נמצא תחילה את ה-headroom של כל המוגלים, כלומר את הטווח שכל הטרנזיסטורים בסטורציה - כאשר spare חיובי.

גרף ה-spare של הטרנזיסטורים כתלות ב Vin |:



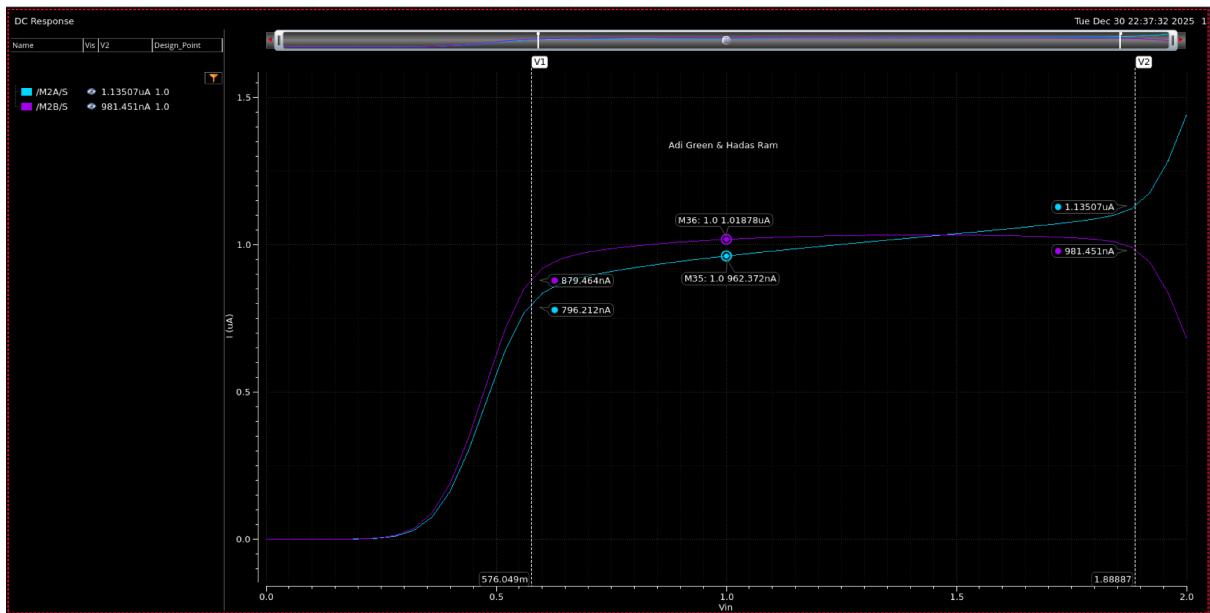
נשים לב כי לקחנו את הפונקציה של ה-spare שמחשבת $v_{ds}-v_{dsat}$ בערך מוחלט, וכך קיבלנו שה-spare של PMOSים הוא חיובי למגוון שהוא שלילי. ניתן לראות שהטווח הוא מ- $-576.094m$ עד $1.8887V$.

נראה שacky מראת הזרם מתקיימת בין הזרמים של טרנזיסטורים M0 ל-M1:



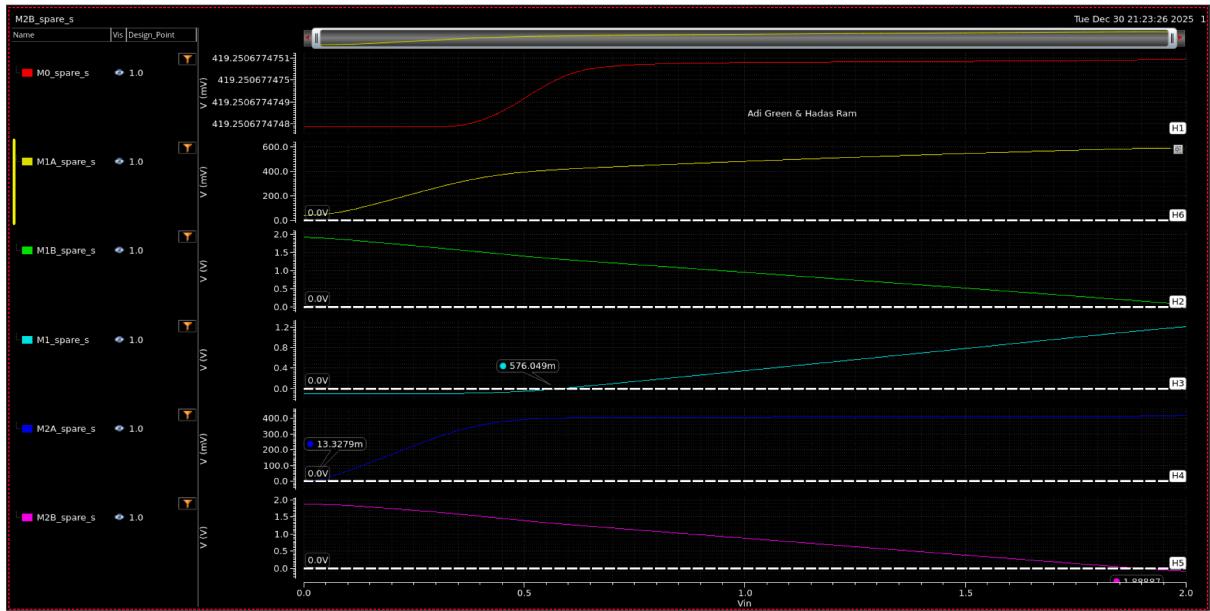
ניתן לראות כי הזרם על טרנזיסטור M1 מנסה להתחיקות אחרי הזרם בו שהוא הזרם על טרנזיסטור M0, בטוויה headroom, (הוא לא מצליח לבדוק בגלל אפקט התקוצרות התעללה).

נראה שacky מראת הזרם מתקיימת בין הזרמים של טרנזיסטורים M2A ל-M2B:



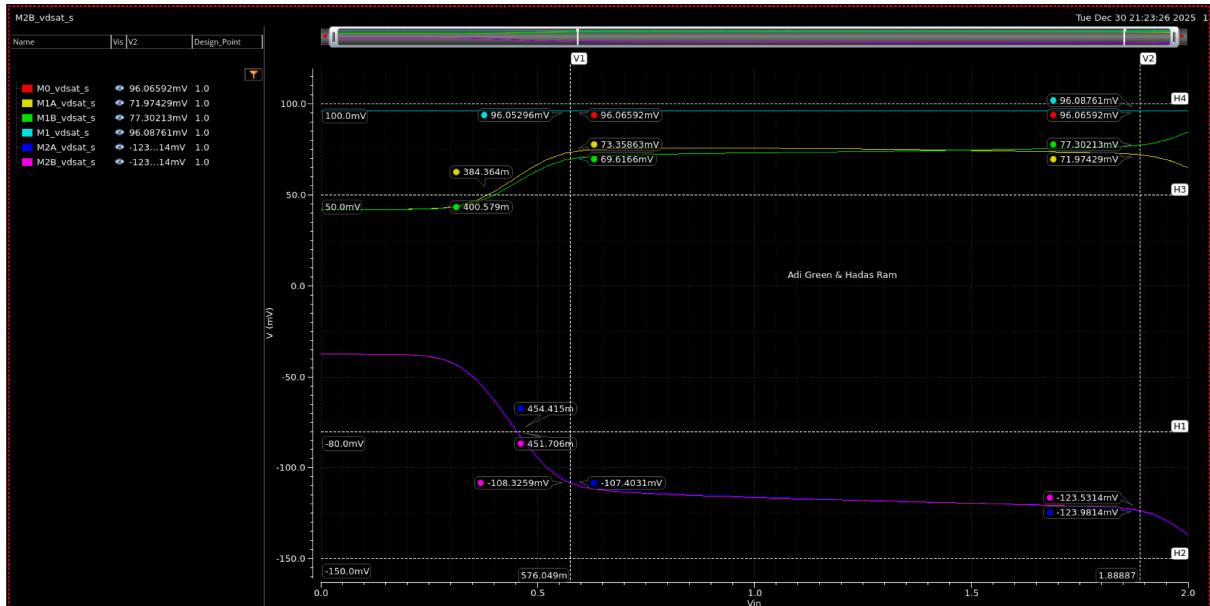
ניתן לראות כי הזרם על טרנזיסטור M2B מנסה להתחיקות אחרי הזרם של טרנזיסטור M2A, בטוויה headroom, (הוא לא מצליח לבדוק בגלל אפקט התקוצרות התעללה).

נראה את גרפי V_{dsat} בנפרד כתלות ב- V_{in} :



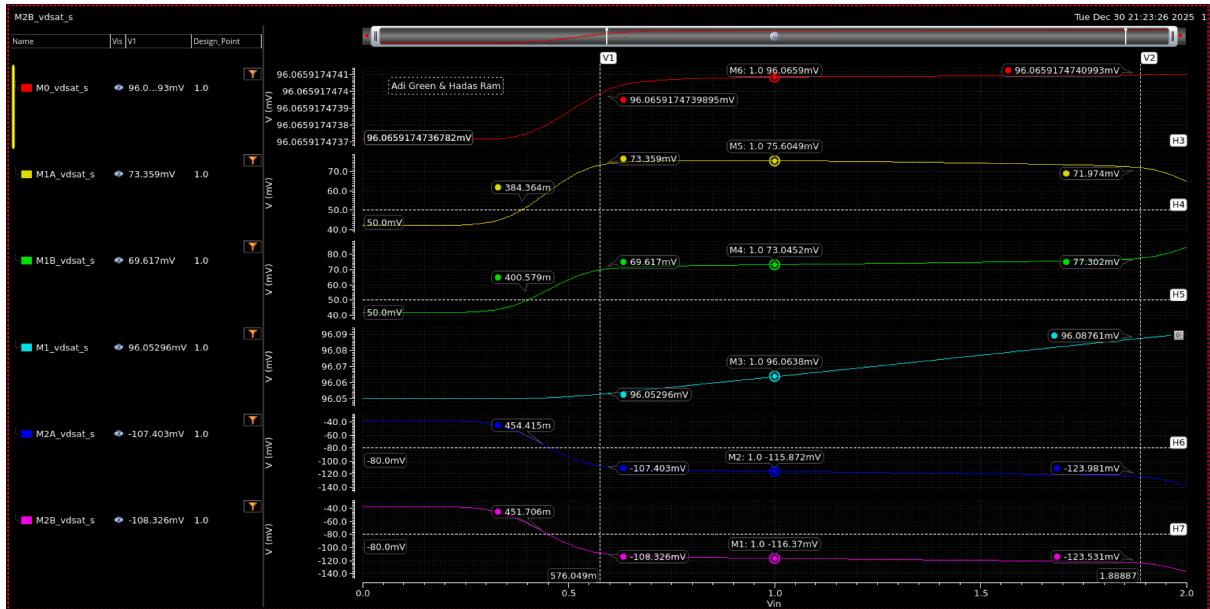
התבקשנו שערci V_{dsat} של pair diff M1A,M1B יהו בין $50-100\text{mV}$
ושערci V_{dsat} של current mirror M2A,M2B יהו בין $80-150\text{mV}$

גרף של V_{dsat} של טרנזיסטורי M1A,M1B,M2A,M2B כתלות ב- V_{in} :



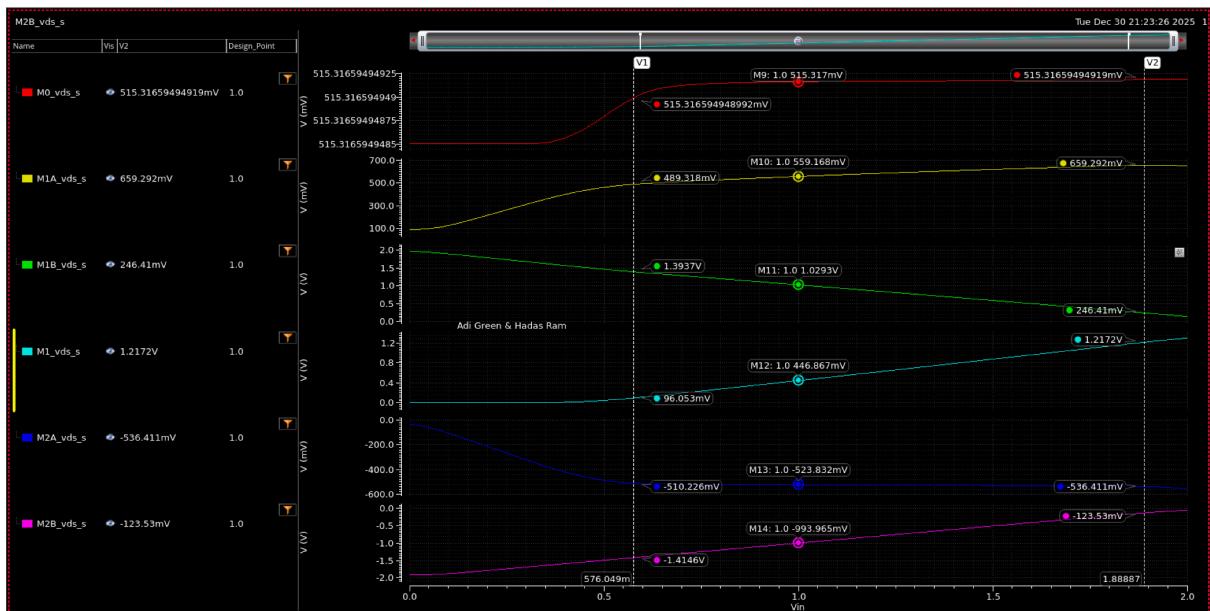
הווסףנו בגרף גם את התוחם של headroom.
ניתן לראות כי הטווח של headroom נמצא בתחום הרצויים, ולכן כפוי
שאמרנו התוחם הוא- -576.094mV עד $V_{in} = 1.8887$.

הגרפים של ה-VDSAT בನפרד כתלות בחוויה:



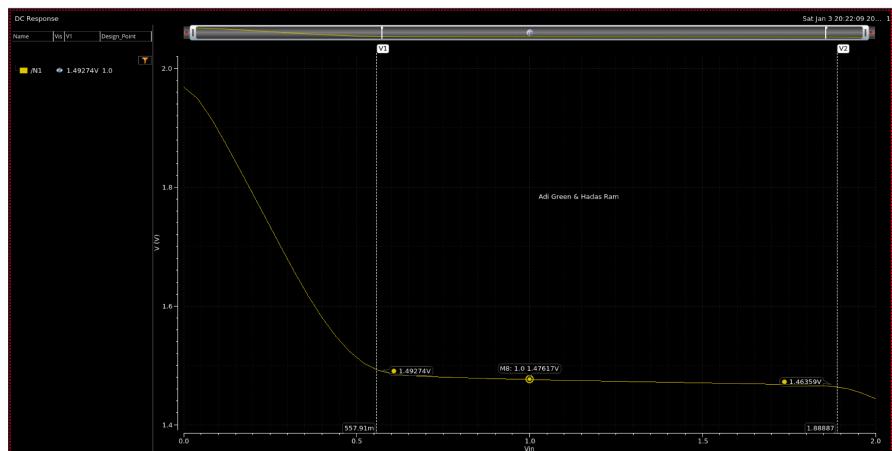
ניתן לראות כי ערכי ה-VDSAT של רוב הטרנזיסטורים יחסית קבוע בטוחה headroom. ניתן לראות כי ערכי VDSAT של טרנזיסטורים M2A,M2B מתנהגים בצורה קצת זהה, וגם הטרנזיסטורים M1A,M1B, כיוון שהזרמים בשני הענפים שוים. נשים לב כי כאשר ימין מז'ן של ה-headroom הם מתנהגים בצורה הפוכה - אחד יורך והשני עולה. ערכי ה-VDSAT של M0,M1 נשארים כמעט על ערך קבוע, $V_{th} = V_{ds}$, המתחים האלה קבועים כיוון שאין bulk effect וbulk V_{th} קבוע, וכך של טרנזיסטור M0 קבוע אחר שטרנזיסטור זה נמצא בסטרודיזה וכן רק h_{on} משפיע על הערך V_{ds} שלו. ה-gate של הטרנזיסטורים זהה וכן גם V_g של M1 כמעט קבוע.

ערכי V_d של הטרנזיסטורים כתלות ב- V_{in} :



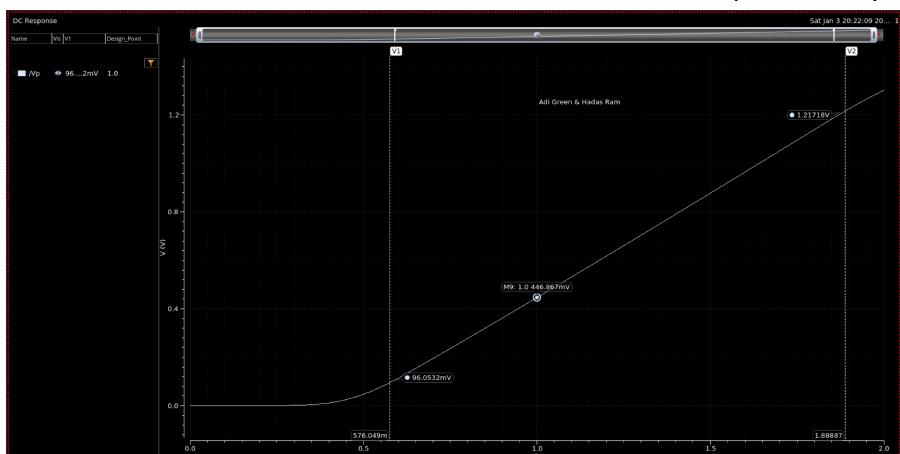
נסביר בוטוח headroom שלנו:
 עבור A1- מתקיים $V_{ds} = V_{out}$ ולכן כאשר V_{out} עולה כתלות החילוף (כפי שראינו) אז V_{ds} עולה (גם V_{out} עולה לינארית- כתובנו למטה), אך V_{out} עוקב אחרי V_{in} וקצת לא עוקב אחרי V_{in} ולכן יש הפרש חיובי בינויהם.
 עבור M2B- מתקיים $V_{ds} = V_{out} - V_{DD}$, וכך כאשר V_{out} עולה כתלות החילוף (כפי שראינו) אז V_{ds} עולה.
 עבור M1B- מתקיים $V_{ds} = V_{in} - V_{N1}$, ככל שנגדיל את V_{in} , נקבל $N1$ הוא בערך קבוע (כתובנו למטה) וקצת גדול (כפי שכתבנו למטה) ולכן ה- V_{ds} קטן.
 עבור A2- מתקיים $V_{ds} = N1 - V_{DD}$, ניתן לראות שהוא יחסית קבוע כיוון ש- $N1$ יחסית קבוע ו- V_{DD} - ערך קבוע.

גרף של מתח N1 כתלות בחילוף:



ניתן לראות שבוטוח headroom נקבל $N1$ כמעט קבוע כיון שהנקודה זו צריכה לשמר על כניסה קבועה בטרנזיסטורים של M2B, M2A, על מנת ש- V_{ds} יהיה קבוע (V_{DD} - קבוע), וכך נקבל זרם קבוע בשני הענפים.

גרף של מתח Vp כתלות בחילוף:



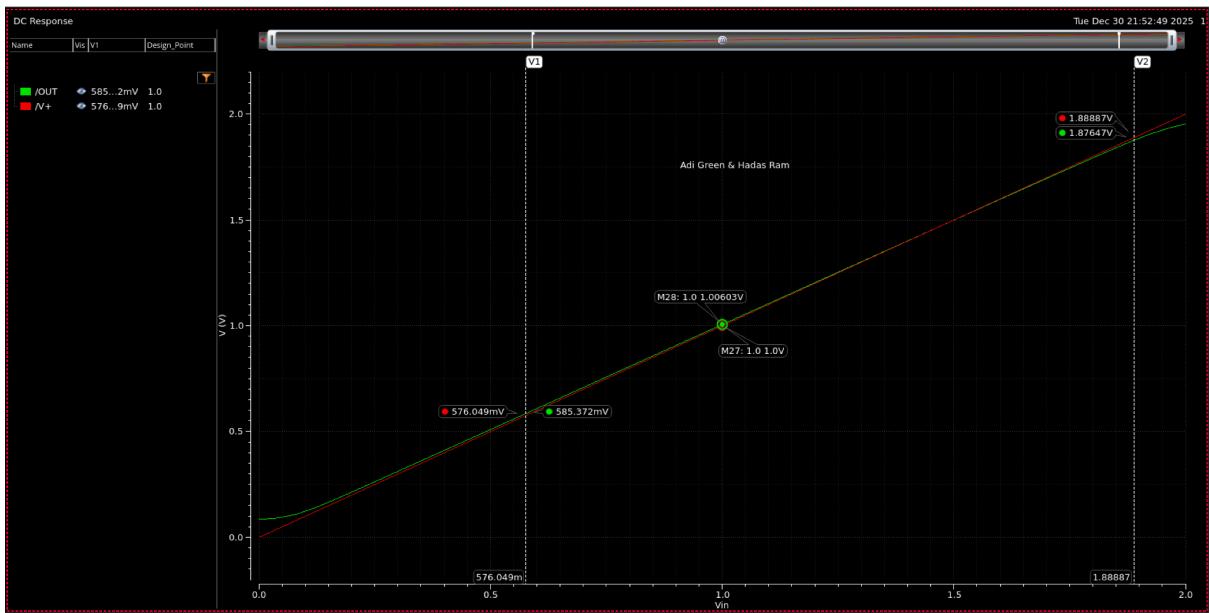
כפי שראינו יש בוטוח headroom זרם כמעט זהה בין שני הענפים גם כאשר V_{in} משתנה. כאשר V_{in} משתנה (כלומר V_p של טרנזיסטור B (M1B)) אז המתח על source של טרנזיסטור זה צריך לעלות

כדי לשמר על זרם זהה. ניתן לראות זאת בנוסחה של זרם בסטרודיז'ה:

$$I_d = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} W (V_{gs} - V_{th})^2$$

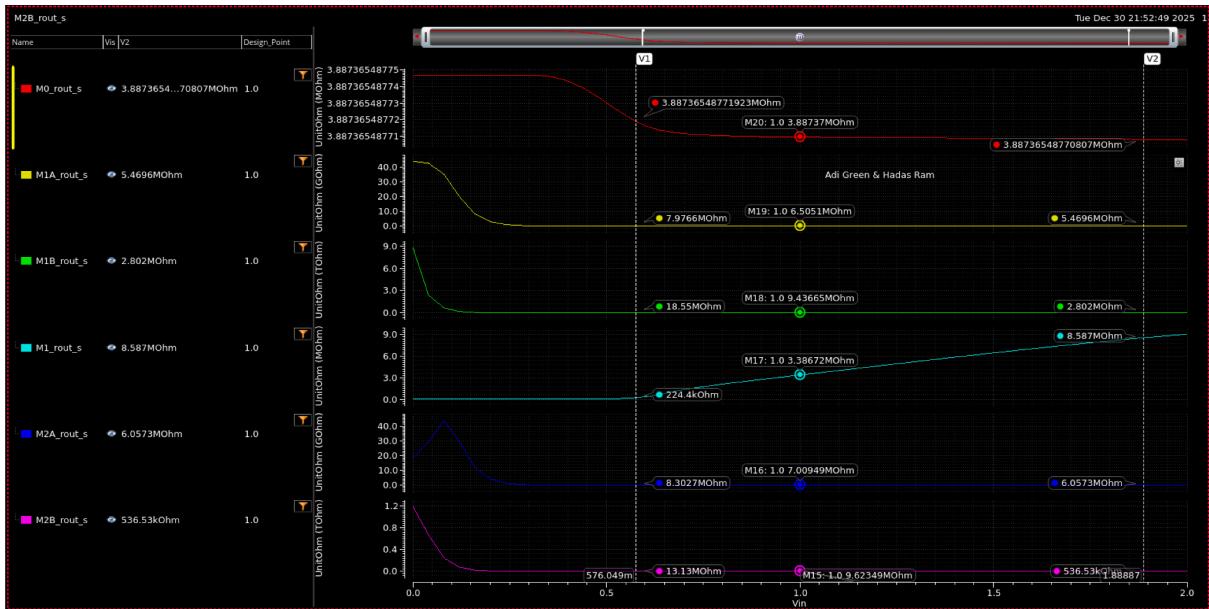
 כדי לשמר על זרם זהה. ניתן לראות זאת בנוסחה של זרם בסטרודיז'ה:
 כי יש bulk effect אך זניח (לכן המתח בנקודה V_p DC גדול).

גרף של V_{out} כתלות ב- V_{in} :



ניתן לראות כי יש עקבה בין V_{out} ל- V_{in} , הערכים כמעט זהים (במיוחד בטוויה של ה-headroom), הסיבה לשוני הקטן נובע מAFXט התקוצרות התעללה.
 זה קורה כי כאשר אנחנו מעלים את V_{in} אך נוצר אפשר חינוי בין V_{in} (כניסת V_{in}) ובין $-V_{out}$ שמחובר ל- V_{in} . ההפרש הזה מוגבר ע"י הדיפרנציאלי וגורם למתח V_{out} לעלות. בכלל שהמתוך $-V_{out}$ מחובר ל- V_{in} אך גם $-V_{out}$ עולה בעקבותיו והוא ימשיך לעלות עד שהוא יהיה שווה כמעט ל- V_{in} .
 כך שההפרש ביניהם יהיה בדיק מה שנדרש על מנת להחזיק את V_{out} בערכו החדש.

גרפים של rout של הטרנזיסטורים כתלות ב- V_{in} :



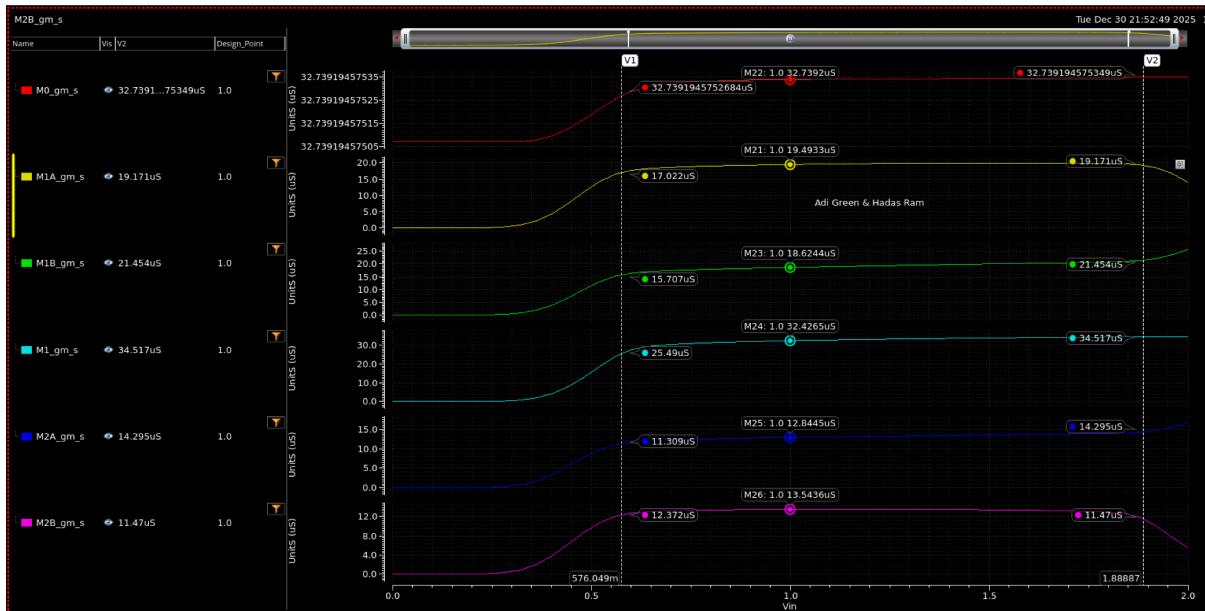
ניתן לראות כי בערכי V_{in} קטנים אנחנו במצב cutoff (חוז מ-0 Shmitt-point) ולכן ההתנגדות גדולה. כאשר הזרם נפתח, ההתנגדות קטנה. בטוויה ה-headroom, הזרם קבוע ולכן ההתנגדות קבועה אף

היא. נשים לב כי בטוווח זה ההתנגדות עדין מאד גדולה (בסדר גודל של M), מאחר שבסתורציה אנחנו

$$R_{ds} \sim \frac{1}{\lambda I}$$

ב-*order* *high*. נשים לב כי ההתנגדות בטוווח ה-*headroom* היא *impedance*

גרפים של gm של הטרנזיסטורים כתלות בחו"ן:



כפי שאמרנו, בטוווח ה-*headroom*, הזרם בשני הענפים יחסית קבוע (יש הבדל בגל אפקט התקוצרות התעלה). אנו יודעים כי מתקי"ם $gm \sim \frac{I}{V_{in}}$, ולכן gm בטוווח זה יחסית קבוע. נשים לב כי gm של הזוגות M1A,M1B ו-M2A,M2B ייחסית בגודל זהה.

נרצה לחשב את ההגבר של המעגל מגבר "Differential to Single-Ended Amp".

$$A_v = gm_{M1A/M1B} * (Rds_{M1A} || Rds_{M2B})$$

כפי שראינו בהרצאה נקבל כי ההגבר הוא:
הערכים שקיבלנו עבור $V_{in} = 1V$:

- עבור טרנזיסטור M1A קיבלנו: $gm = 19.4933uS$, $Rds = 6.5051M \Omega$
- עבור טרנזיסטור M1B קיבלנו: $gm = 18.6244uS$
- עבור טרנזיסטור M2B קיבלנו: $Rds = 9.62349M \Omega$

קיים לנו כי ערכי gm של M1A,M1B אינם זהים ולכן נעשה ממוצע ביניהם כדי לחשב את ההגבר.

$$gm_average = (19.4933 + 18.6244)/2 = 19.05885uS$$

נחשב את ההגבר ידנית:

$$Av = gm_average * (Rds_M1A || Rds_M2B) = 19.05885uS * (6.5051M || 9.62349M) = 73.9753$$

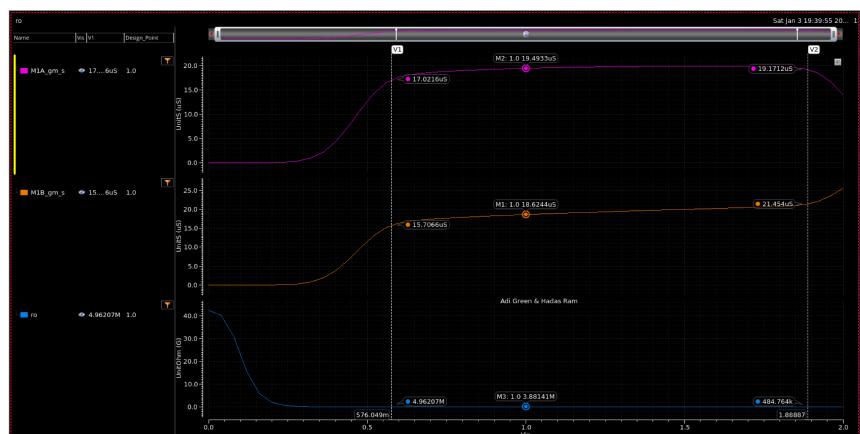
נעביר לדציבלים:

$$Av_dB = 20\log(73.9753) = 37.3817dB$$

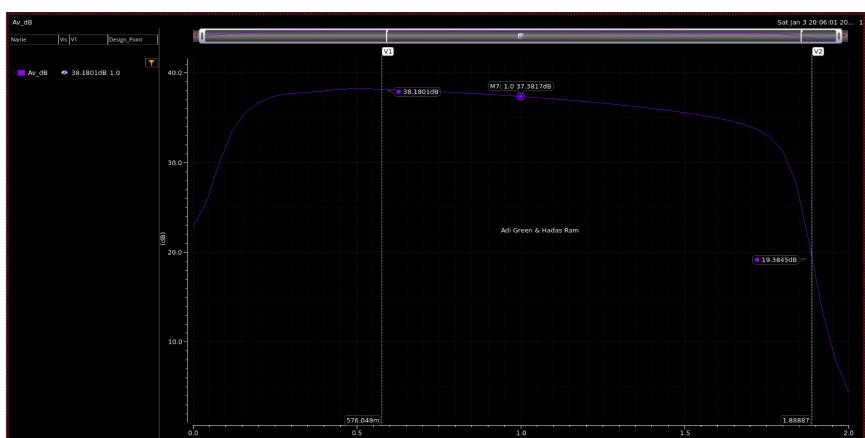
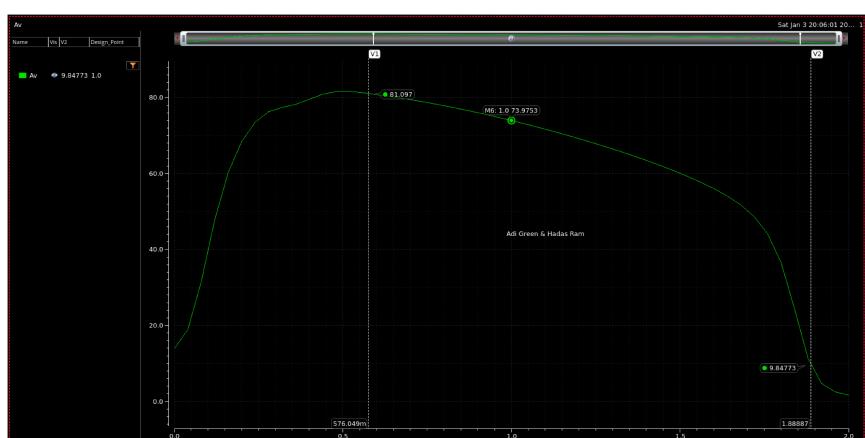
נחשב גם בסימולציה ע"י הנוסחאות:

ro	expr	$((M1A_rout_s * M2B_rout_s) / (M1A_rout_s + M2B_rout_s))$
----	------	---

Av	expr	$((M1B_gm_s + M1A_gm_s) * ro) / 2$
Av_dB	expr	$dB20(Av)$



גרפים של הגבר Av כתלות בח Vin:

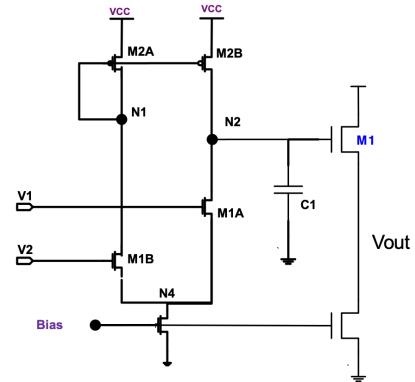


ניתן לראות שקיבלנו את אותו הגבר עבור $Vin = 1$.
ניתן לראות שבאזור headroom שלנו הגבר נשאר קבוע.

4B: Single stage OPAMP driving source follower:

4B.1 – OPAMP SCHEMATIC:

התבקשנו למש את המעגל:

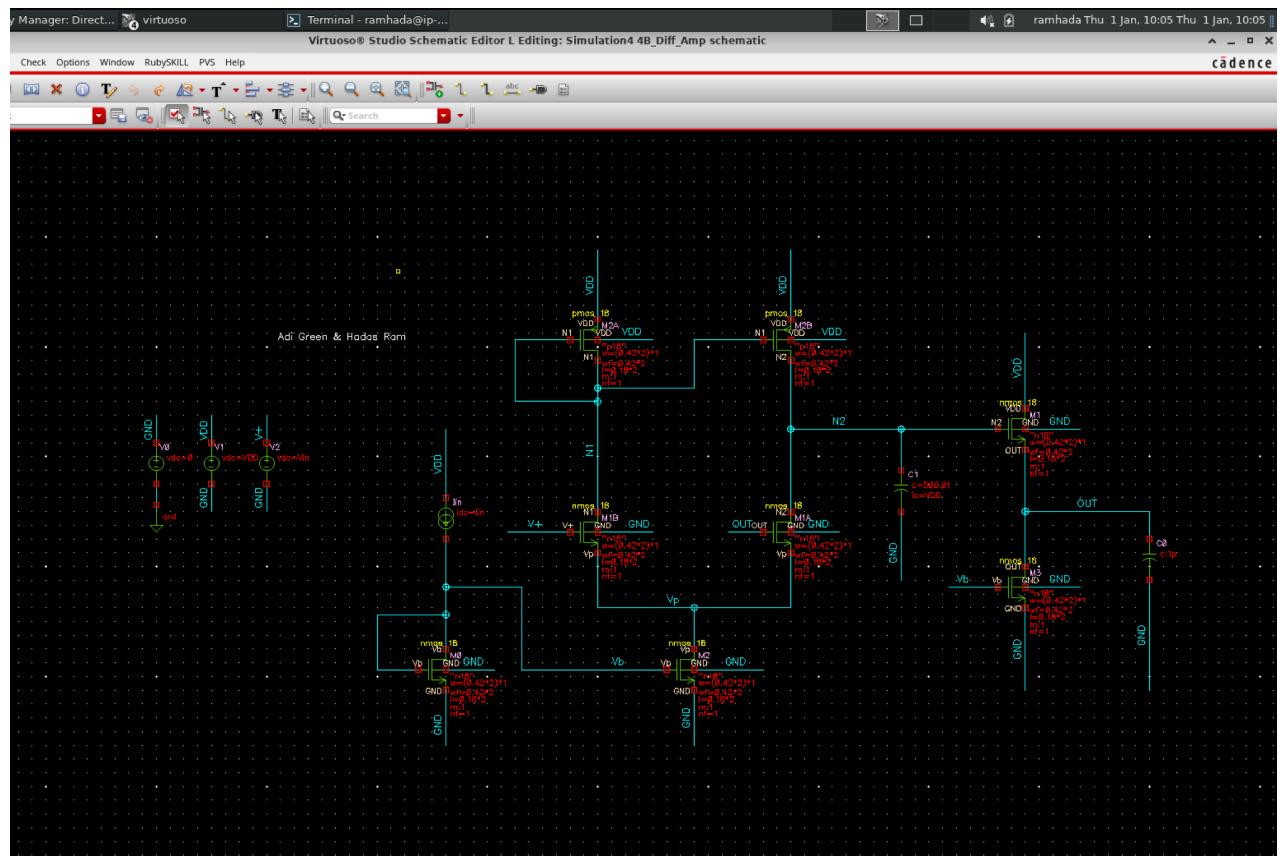


מעגל זה הוא מעגל הగבר "Differential to Single-Ended" שעשינו בסעיף קודם, ולמוצא שלנו חיבורנו מעגל "Source Follower".

כasher הוא מחובר כ-GB-UGB כפי שהסבירנו בסעיף למעלה. החיבור למעגל Source Follower לא משנה את החישוב כיון שאין שם היפוך.

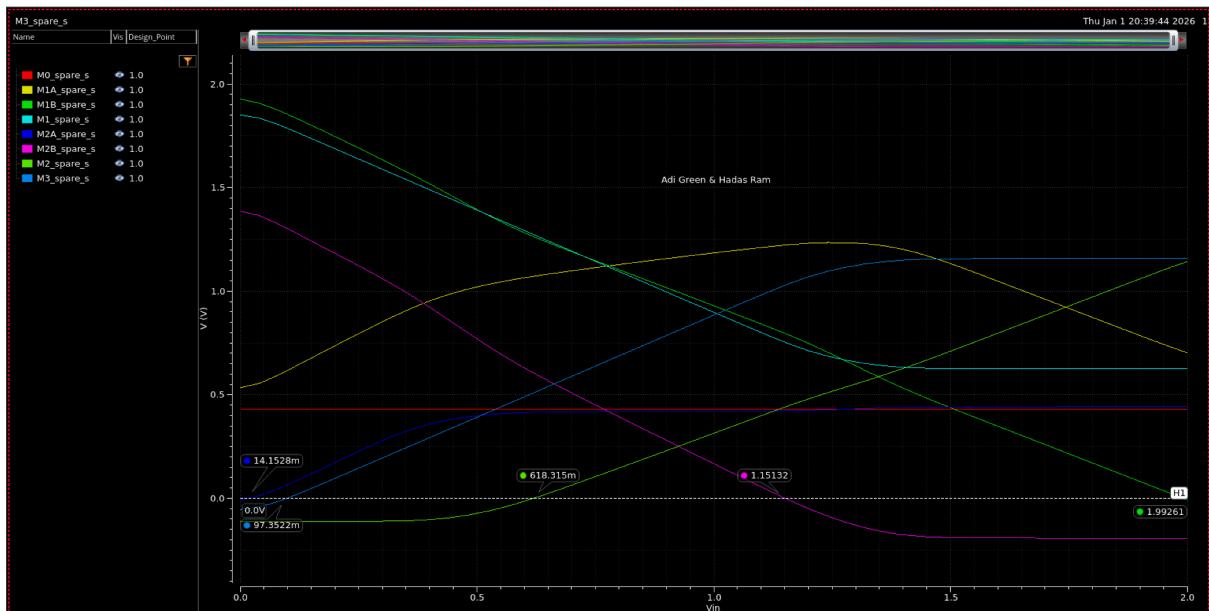
חברנו את ה-gate של טרנזיסטור M3 למתח Vb שזהו המתח מה-current mirror. current mirror. בנוספף, התבקשנו להגדיר C1=0.5pF ואיתחולנו אותו למתח VDD, וחיבורנו קבל במושך אשר קיבולו הוא 1pF.

הגדכנו בדומה לסכמה הקודמת: $L=2 \times 0.18 = 0.36$, $W=2 \times 0.42 = 0.84$



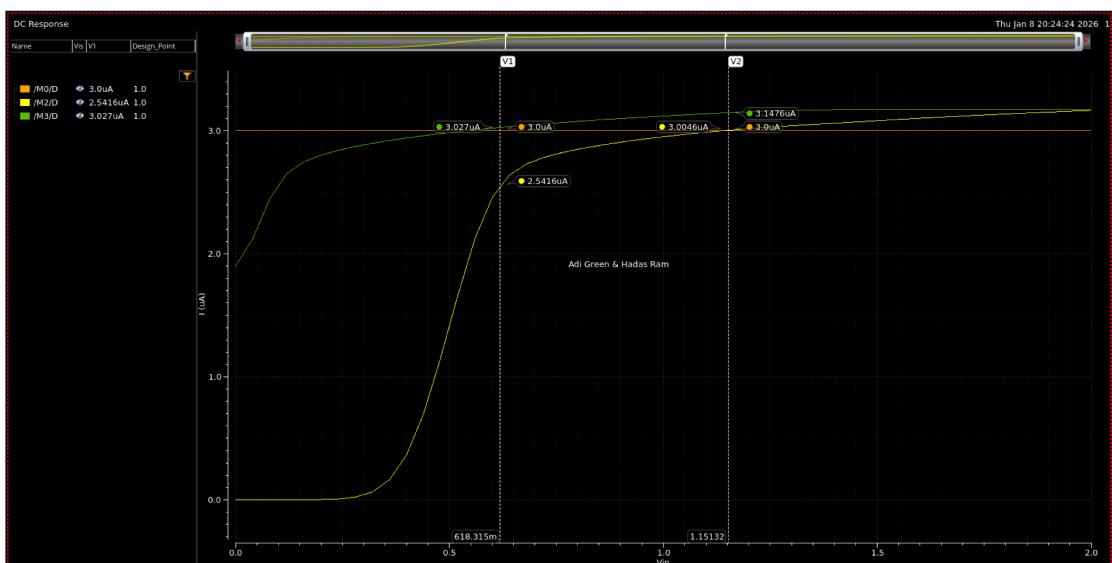
הרצנו סימולציה DC, כתלות בח_{in} שranges מ-0 עד VDD. הגדרנו A.headroom תחילת נבדוק את תחום המרחב.

גרפים של השוואדים כתלות בח_{in}:



נשים לב כי לקחנו את הפונקציה של ה-spare שמחשבת $i_{dsat} = v_{dsat} / (2 \cdot m)$ בערך מוחלט, וכן קיבלנו שה-
spare PMOSים הוא חיובי למרות שהוא שלילי.
ניתן לראות כי טווח headroom שלו הוא V 618.315m עד 1.15132. נבחר במתוך 920m על מנת לחשב את ההגבר של המעגל בהמשך.

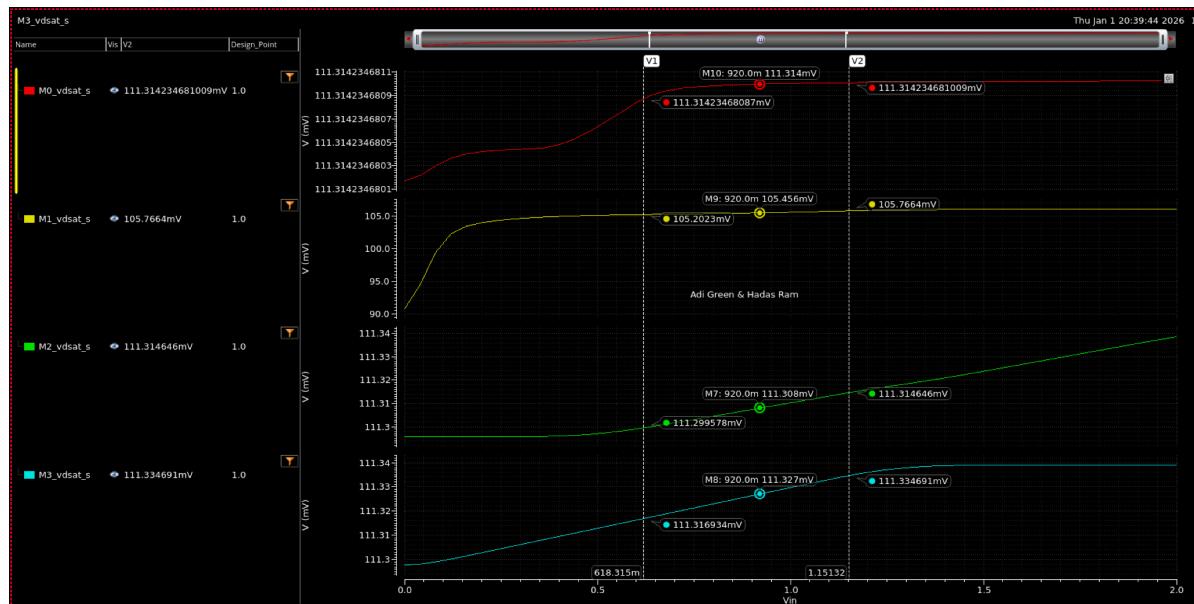
:Source Follower של טרנזיסטור M3 מחוברת ל- V_b , וכן נבדוק כי אכן מתקיימת מרעת זרם ב- V_b .



ניתן לראות כי בטוווח ה-headroom, הזרמים של הטרנזיסטורים M2,M3 שכך נסitem מחוברת למתח V_b , אכן מנסים לעקוב אחרי הזרם של ה-Current Mirror. ההבדל נובע מאפקט התקצחות התעלה.

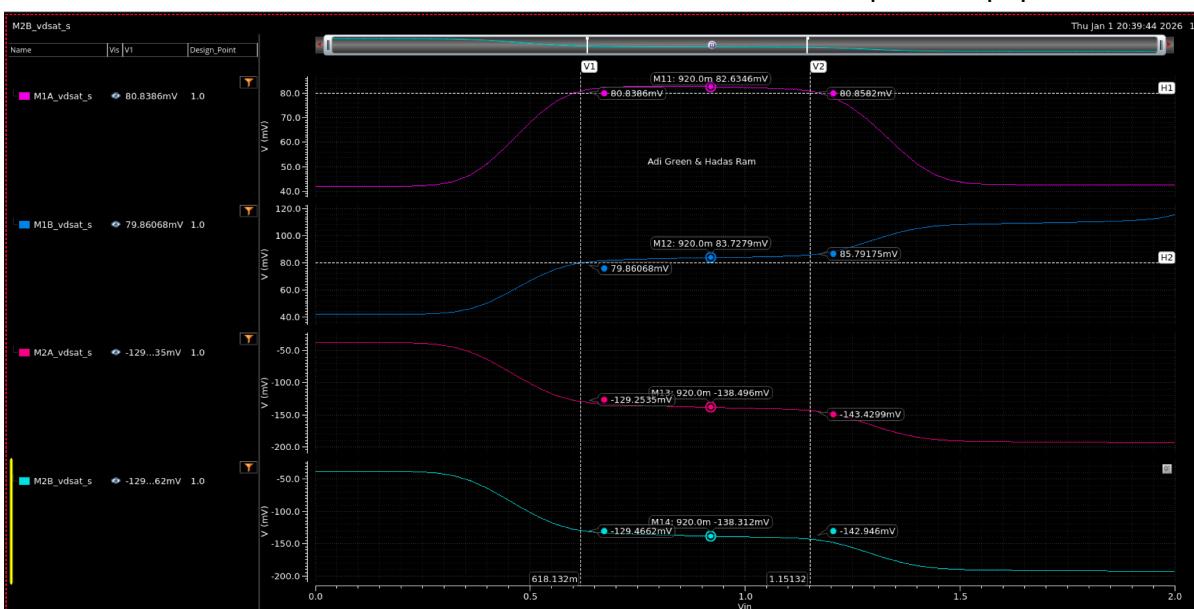
התבוננו שה-VDSAT של הטרנזיסטורים "Current Source" כלומר M2,M3 יהיו בטוחה V_{80-150m}.

גרפים של ה-VDSATים כתלות בחוויה:



ניתן לראות שאנו נמצאים בטוחה הרצוי בתחום של headroom. ניתן לראות כי ערכי VDSAT של טרנזיסטורים M0,M2,M3 בקרוב קבועים, כי כפי שהסבירנו בסכמה הקודמת- $V_{ds} = V_{gs} - V_{th}$, המתח ב-gate של כל הטרנזיסטורים הללו הינו הינו V_b . כאשר V_b קבוע כאשר הזרם של Current Mirror קבוע (כפי שהסבירנו), ובנוסף אין bulk effect קבוע. $V_{ds} \sim \sqrt{I}$ בטוחה headroom גם בטרנזיסטור M1 ה-VDSAT קבוע, כיוון שהזרם יחסית קבוע בטוחה זהה.

התבוננו שה-VDSAT של הטרנזיסטורים "diff pair" כלומר M1A,M1B יהיו בטוחה V_{80-150m}. נשים לב שבסעיף קודם התבוננו הטרנזיסטורים של "Current Mirror" יהיו גם בטוחה של V_{80-150m}.

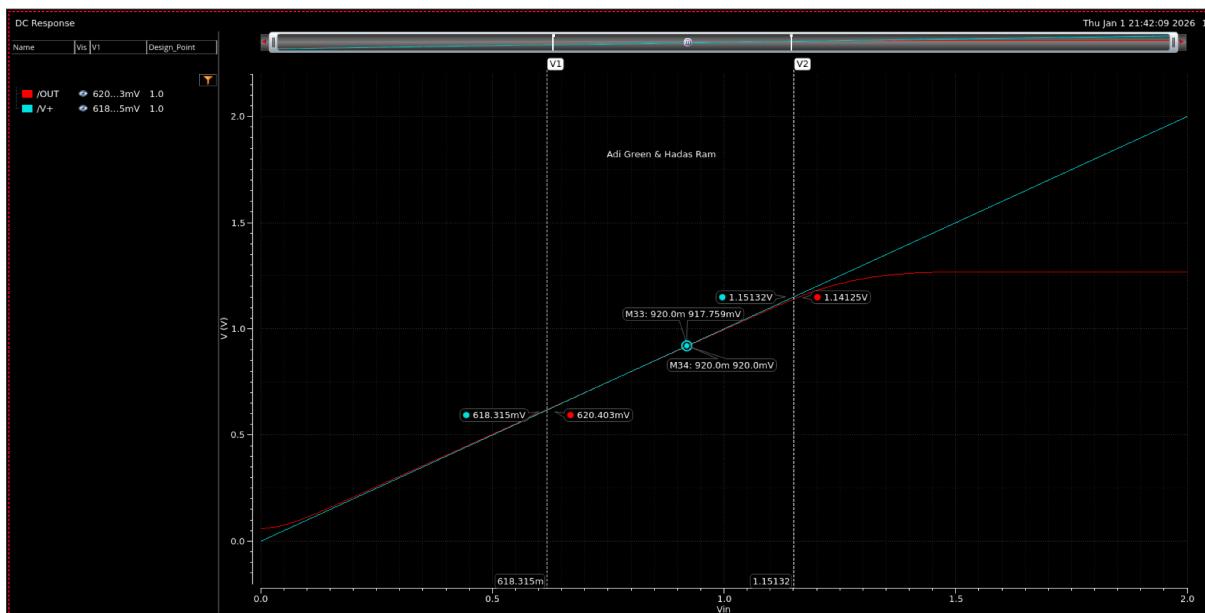


ניתן לראות שאנו נמצאים בטוחה הרצוי בתחום של headroom. ערכי ה-VDSAT בקרוב קבועים, כפי שראינו גם בחלק 4A.

4B.2 – DC SWEEP:

סעיף a:

התבקשנו להוציא גרפ של V_{out} ו- V_{in} כתלות ב- V_{in} :



ניתן לראות כי בטוחה headroom נקבע עקיבה בין V_{out} ל- V_{in} , כפי שהסבירנו בסעיף הקודם.
גם בمعالג של ה- Source Follower המוצא עוקב אחריו כניסה.

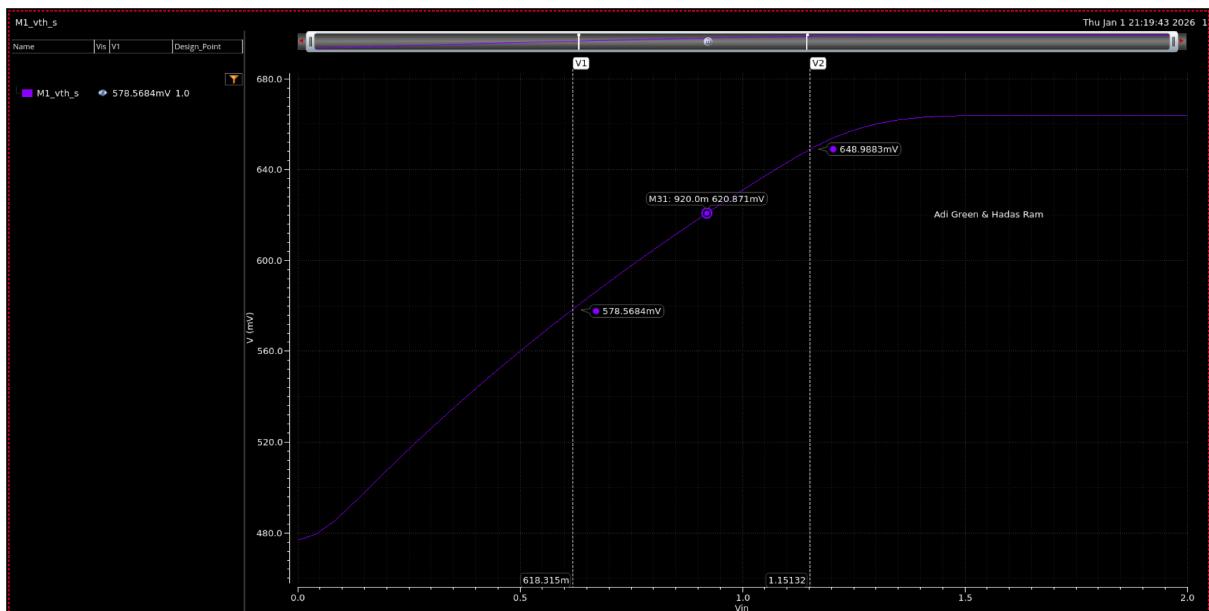
ניתן לראות שיש עקיבה יחסית טוביה במתחים הנמוכים יותר מטוחה headroom שלנו כיוון שבאייזור זה הטרנזיסטור M2 יוצא מסטורציה ובמקרה לשמש מקור זרם (טרנזיסטור בסטורציה) הוא מתנהג כמו נגד, שהמתח עליו קבוע וכן הזרם עליו קבוע גם כן לפיק חוק אולם, אך גם בערכיו V_{in} קטנים מטוחה headroom שלמו ניתן לראות שמתקובלת יחסית עקיבה טוביה בין V_{in} ל- V_{out} .

בנוסף לכך, יש חסם עליון על V_{out} . על מנת שטרנזיסטור M2B יהיה בסטורציה נרצה שמתוך $|V_{ds}|$ שלו יהיה לפחות V_{dsat} , שכן המתח בנקודה N2 הוא $V_{dsat} - V_{DD}$. המתח N2 נכנס לgate של טרנזיסטור M1 ועל מנת להدليل את הטרנזיסטור ולשמור עליו בסטורציה נרצה שה- $V_{ds} + V_{th}$ יהיה לפחות V_{dsat} . וכך נקבל חסם עליון על V_{out} שהוא

$$V_{out} < V_{DD} - V_{DSAT}_{M2B} - V_{DSAT}_{M1} - V_{th}$$

ונוציא גם את הערך של V_{th} על מנת לחשב את החסם.

גרף של V_{th} של טרנזיסטור M1 כתלות בחוו:



נבדוק שאכן מתקיים החסם העליון:

$$VDD = 2V, V_{dsat,M2B} = |-142.946|mV, V_{dsat,M1} = 105.7664mV, V_{th} = 648.9883mV$$

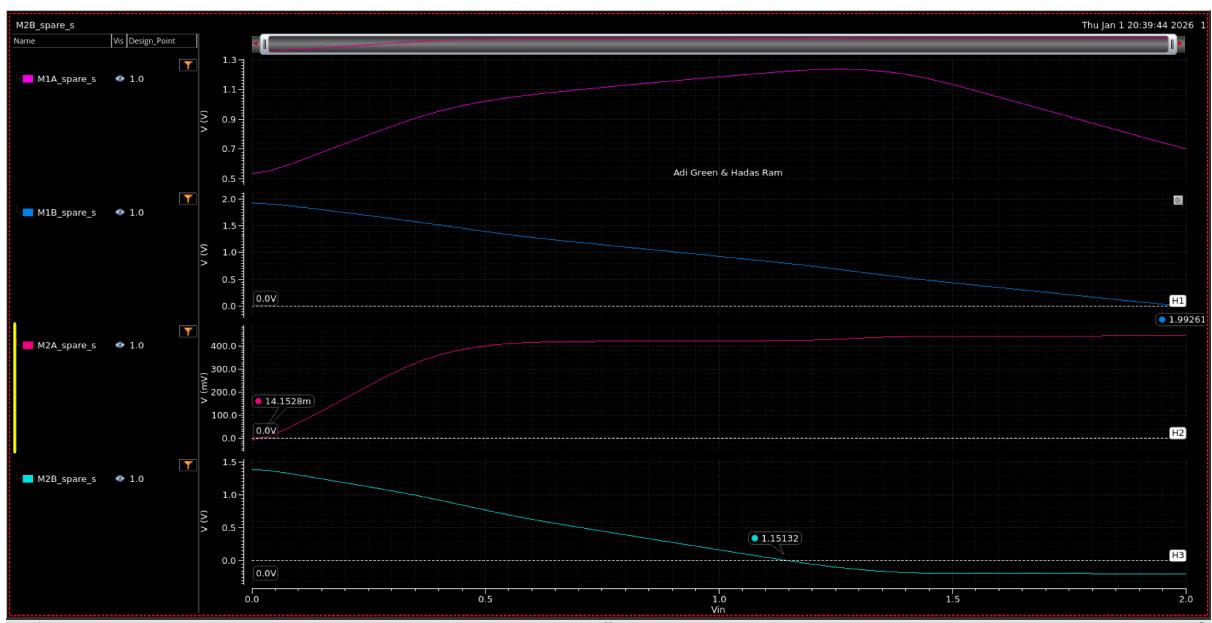
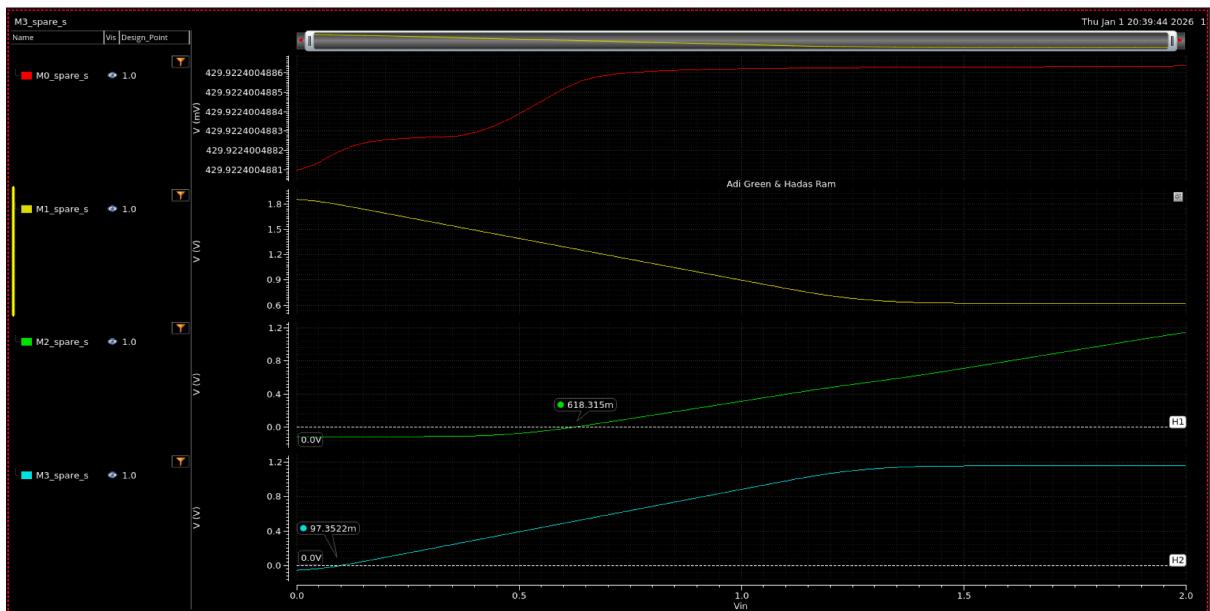
נחשב ונקבל:

$$V_{out} < 2 - 142.946m - 105.7664m - 648.9883m = 1.1022993V$$

כלומר $V_{out} < 1.1022993V$, וזה די קרוב למה שקיבלנו - שהחסם העליון של V_{out} הוא $1.14125V$.

סעיף b:

גרפים של הש�דים בנפרד:



הטרנזיסטור שחוסם את הטעו מלמטה הוא M2, כיוון שהמתה הכניסה Vin לא מספיק גובה על מנת לגרום לטרנזיסטור להיות בסטורציה.
הטרנזיסטור שחוסם את הטעו מלמעלה הוא M2B, כיוון שהמתה בזווית עובר את מתה השיא האפשרי, כפי שהסבירנו בסעיף 5.

סעיף C:

נרצה למצוא את הגבר של המעגל. על מנת לחשב זאת, נחשב את הגבר של המעגל "Differential to Single-Ended" ואת הגבר של המעגל "Source Follower", ולאחר מכן נכפול בין הגברים, כיון שהוא המעגל הראשון נכנס לכינסה של המעגל השני.

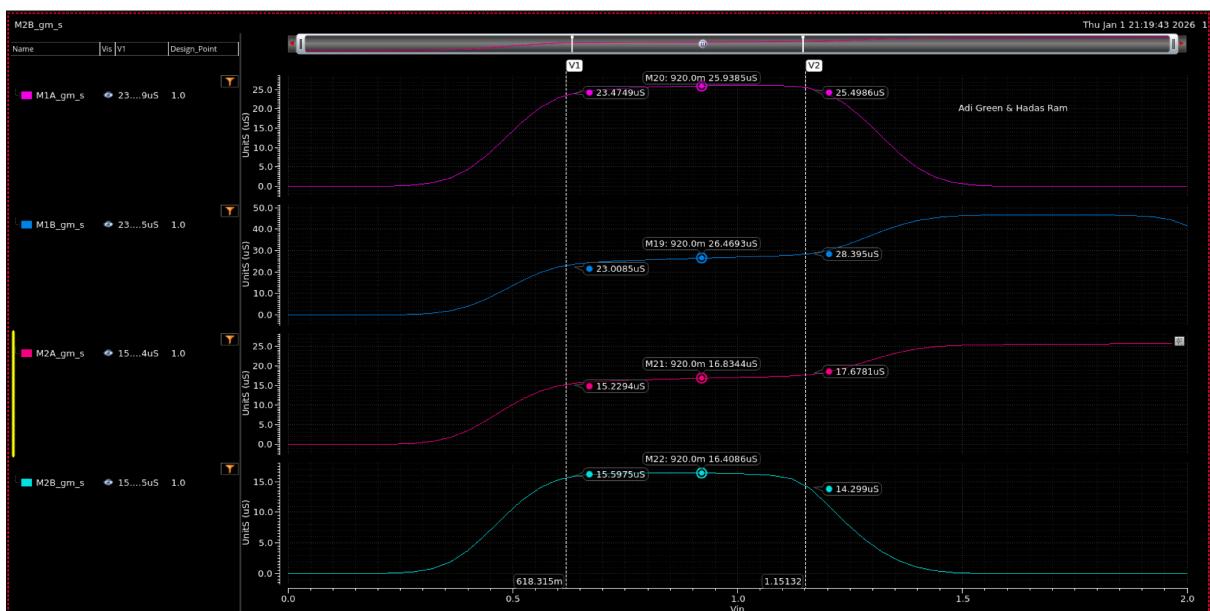
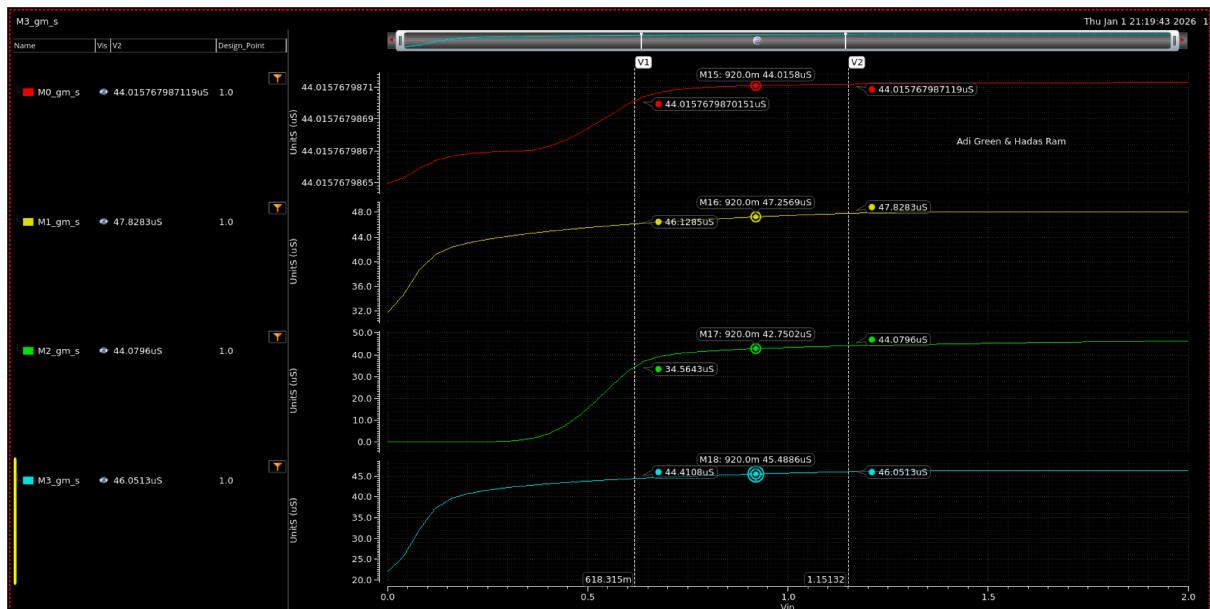
$$\text{כליום נחשב: } A_v = A_1 * A_2$$

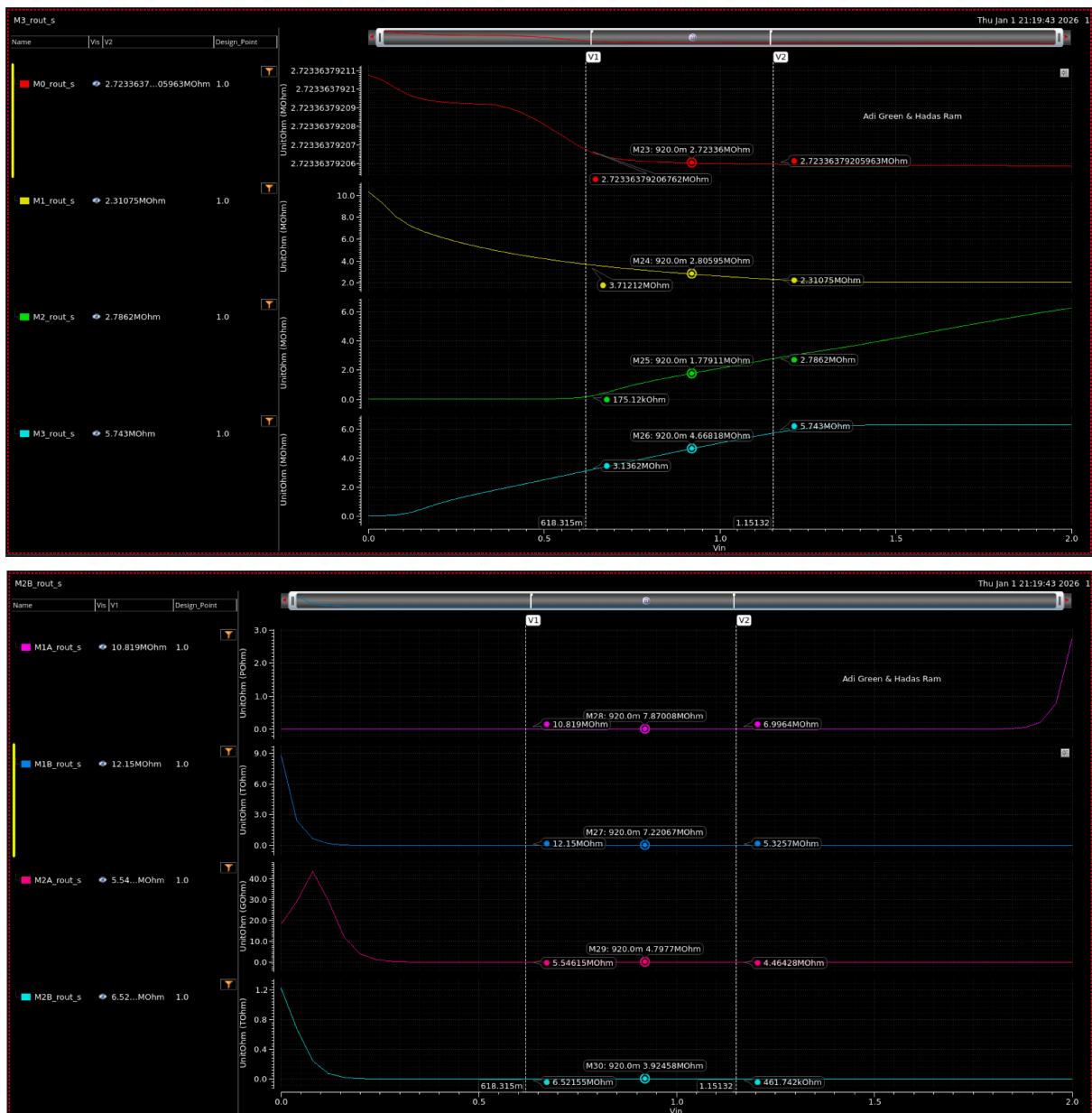
$A_1 = gm_{M1A/M1B} * (Rds_{M1A} || Rds_{M2B})$ כאשר הגבר המעגל "Differential to Single-Ended" הוא:

$$A_2 = \frac{gm_{M1}}{gm_{M1} + gmb_{M1}}$$

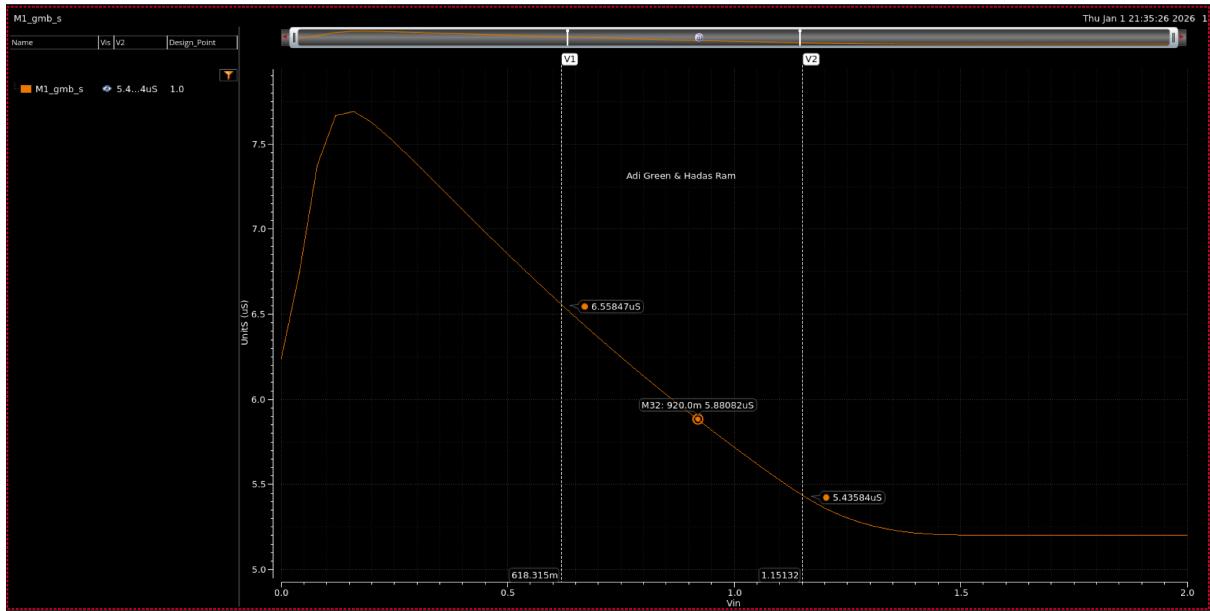
והגבר ה-"Source Follower" הוא: $Vin = 920mV$ על מנת לחושוב נוציא את הגרפים המתאימים עם הערכות המתאימים, נחשב עבור המתח V (מתוך כינסה שנמצא בטוויה ה-*headroom*).

גרפים של זמנים כתלויים ב- Vin :



גרפים של routים כתלות ב Vin |:

גרף של gm של טרנזיסטור A M1 כתלות ב Vin |:



נחשב את ההגבר A_v של המעגל מגבר ":"Differential to Single-Ended Amp"
 עבור טרנזיסטור M1A קיבלנו: $gm = 25.9385\mu S$, $R_{ds} = 7.87008M \Omega$
 עבור טרנזיסטור M1B קיבלנו: $gm = 26.469\mu S$
 עבור טרנזיסטור M2B קיבלנו: $gm = 3.92458M \Omega$
 קיבלנו כי ערכי gm של M1A, M1B אינם זהים ולכן נעשה ממוצע ביניהם כדי לחשב את ההגבר.

$$gm_{average} = (25.9385\mu S + 26.469\mu S) / 2 = 26.20375\mu S$$

נחשב את ההגבר ידנית:

$$Av_1 = gm_{average} * (R_{ds_M1A} || R_{ds_M2B}) = 26.20375\mu S * (7.87008M \Omega || 3.92458M \Omega) = 68.6199$$

נעביר לדציבלים:

$$A_{1_dB} = 20 \log(68.6199) = 36.729dB$$

נחשב את ההגבר Av_2 של מעגל **Source Follower**:
 עבור טרנזיסטור M1 קיבלנו: $gm = 47.2569\mu S$, $gmb = 5.88082\mu S$
 נחשב את ההגבר ידנית:

$$A_2 = \frac{gm_{M1}}{gm_{M1} + gmb_{M1}} = \frac{47.2569\mu S}{47.2569\mu S + 5.88082\mu S} = 0.8893$$

נעביר לדציבלים:

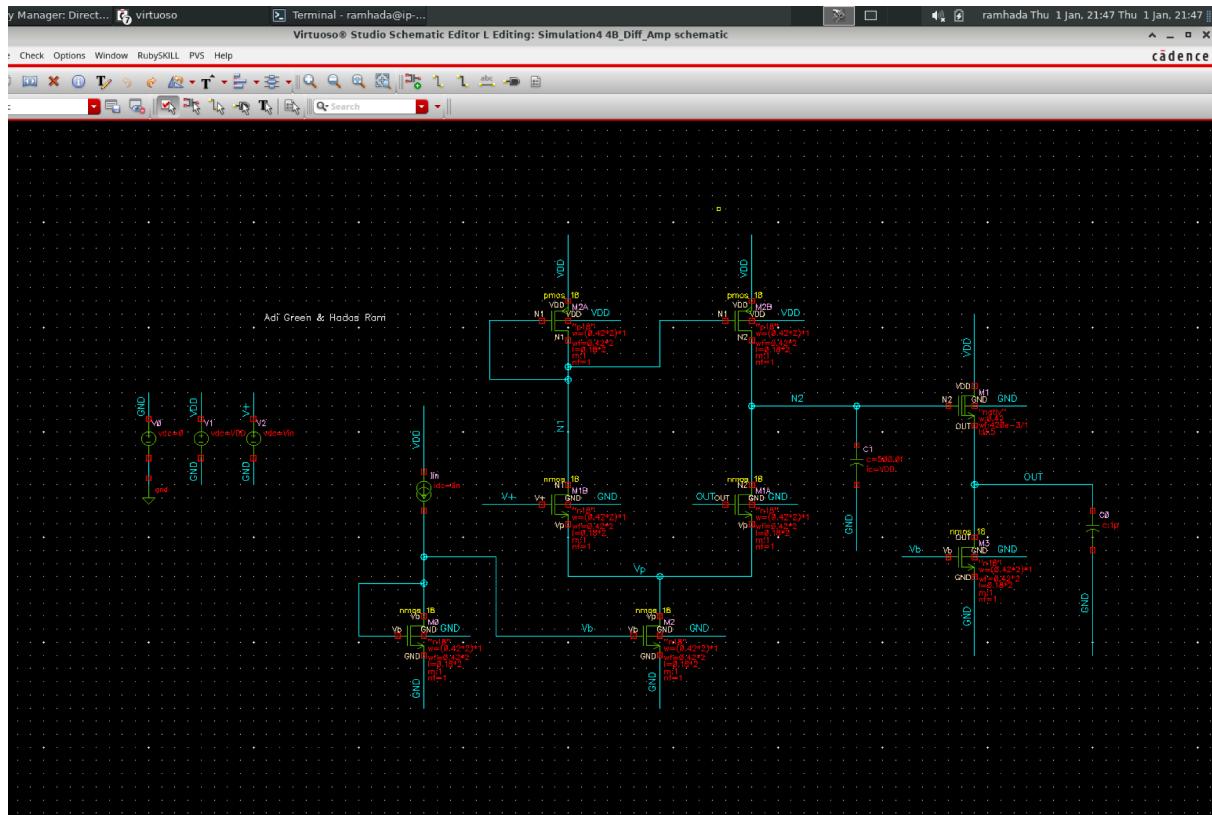
$$A_{2_dB} = 20 \log(0.8893) = -1.0187dB$$

לכן סה"כ קיבלנו הגבר של המעגל $Av = Av_1 * Av_2 = 68.6199 * 0.8893 = 61.0236$
 ובדיוילים: $Av_dB = 20 \log(61.0236) = 35.70996dB$. (שזה חיבור של ההגברים A1, A2 בדיוילים).

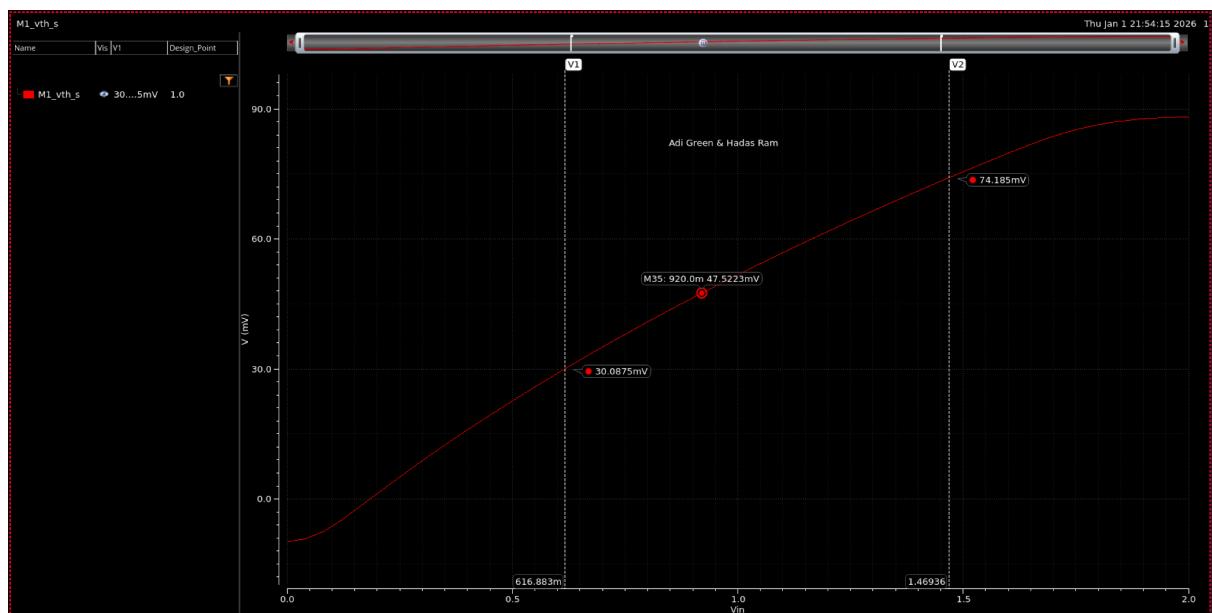
סעיף d:

החלפנו את טרנזיסטור M1 לטרנזיסטור `nmox_native`.

לטרנזיסטור זה ערך V_{th} מינימלי.

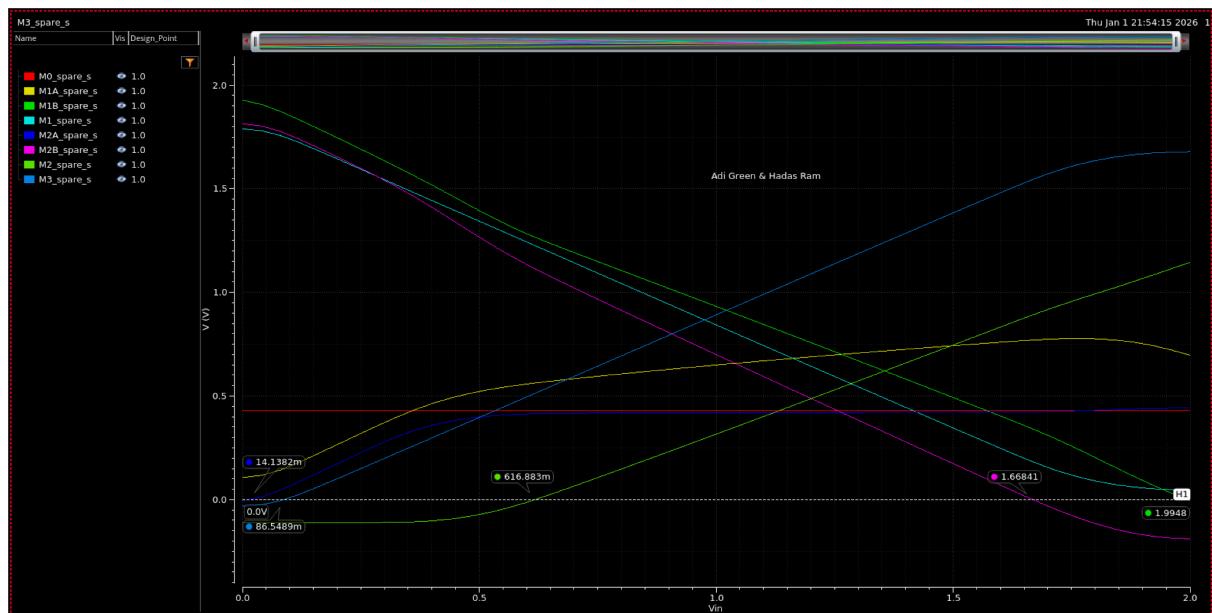


גרף של V_{th} כתלות ב V_i |:



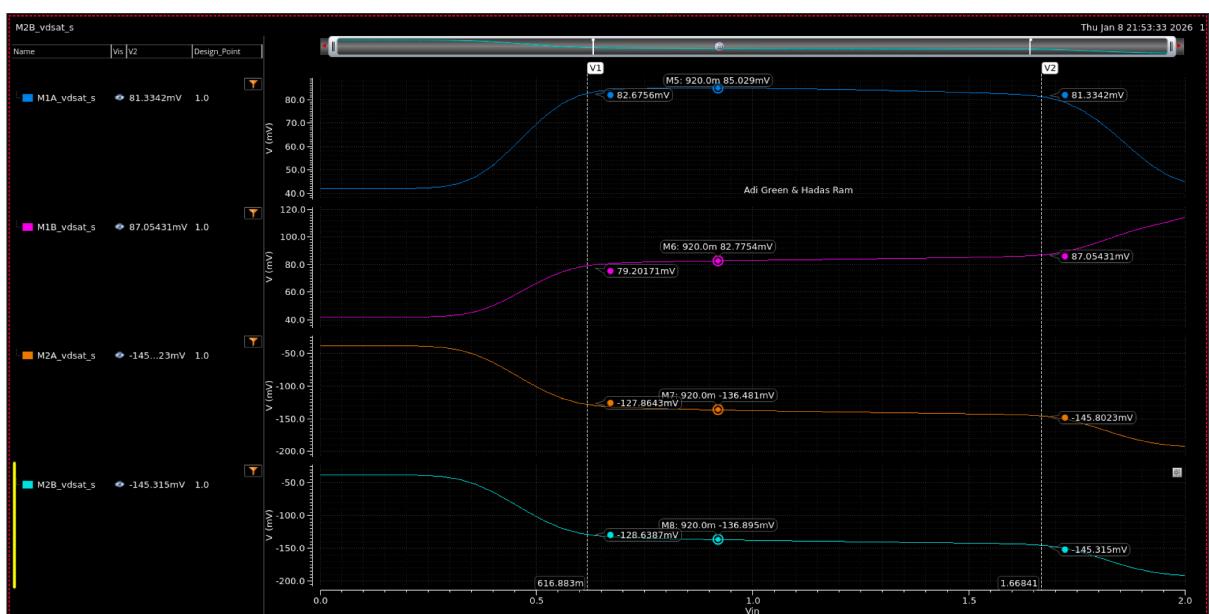
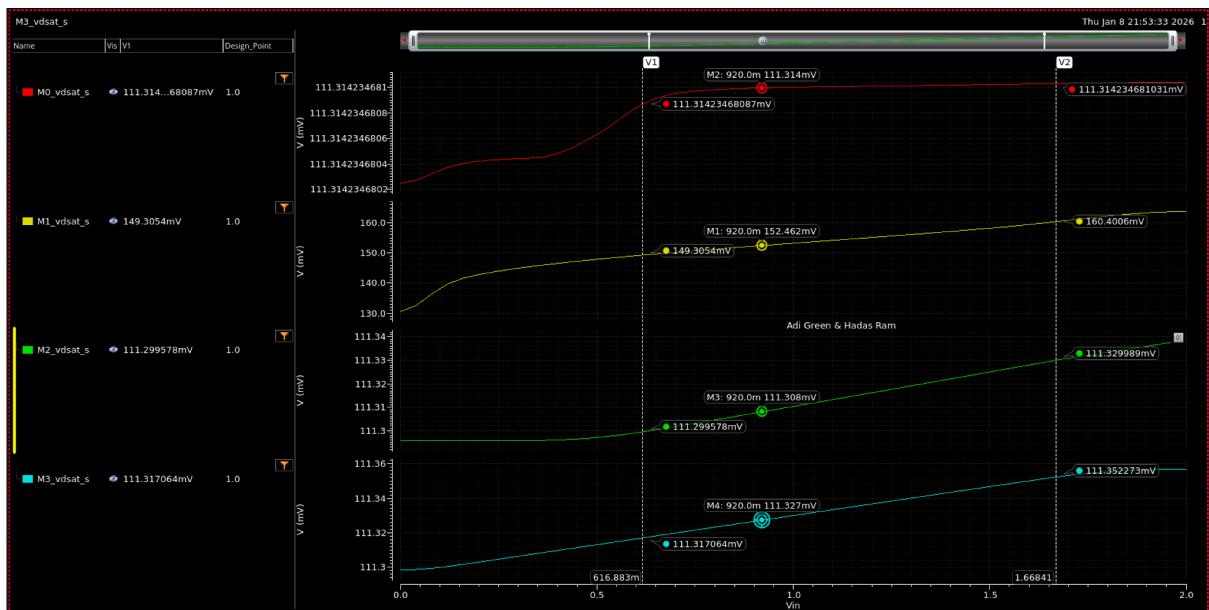
ניתן לראות שקיבלנו ערכים נוספים יותר גבוהים מאשר V_{th} מאשר בסעיף הקודם. בטרנזיסטור ג'יג' עבר מתח כניסה $V_{in} = 920mV$, קיבלנו $V_{th} = 620.871mV$. בטרנזיסטור מטכנולוגית native קיבלנו עבור אותו מתח כניסה $V_{in} = 47.5223mV$. ניתן לראות שקיבלנו צניחה משמעותית של כ- $573.3487mV$.

גרפים של spare'ס כתלות ב- V_{in} :



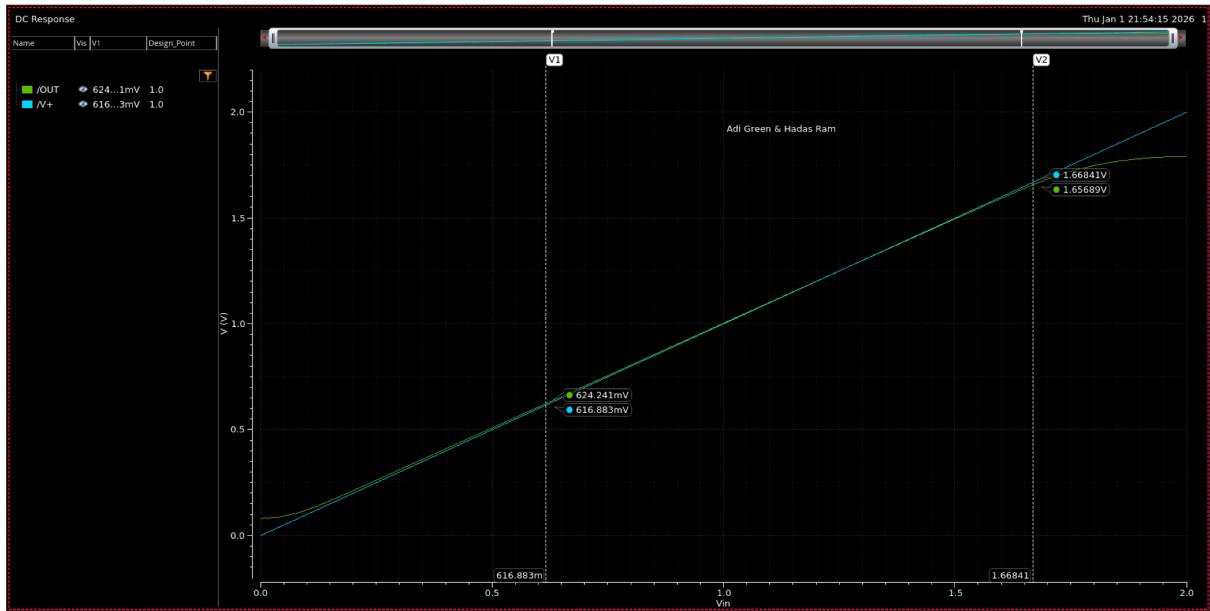
ניתן לראות שקיבלנו טווח headroom גדול יותר. headroom הוא V_{out} עד $V_{in} = 1.66841$ מ- mV לעומת $V_{in} = 616.883mV$ עד V_{out} ה- $1.15132mV$. לעומת זאת, קיבלנו השהה של טרנזיסטור M2B גדול. הוא גדול מכיוון שכאשר המתח V_{th} בטרנזיסטור M1 קטן, לפי הנוסחה על טרנזיסטור זה מתקיים כאשר הוא דלק ובסטרוד (גם בסטרוד כיוון שהוא follower source) כאשר $V_{dsatM1} + V_{thM1} = V_{out} - V_{in}$, ולכן $V_{out} = V_{in} + V_{dsatM1} + V_{thM1}$. לעומת זאת, עבור אותו מתח מוצא נתון, המתח שנדרש ב��ול N2 על מנת שהטרנזיסטור M1 יהיה דלק, יהיה נמוך יותר כאשר $V_{th1} < V_{th2}$.

על מנת שטרנזיסטור M2B ישאר בסטרוד, נדרש להתקיים: $V_{DD} - V_{out} > V_{dsatM2B}$. המתח $V_{dsatM2B}$ יחסית לא השתנה מהסעיף הקודם (לא טרנזיסטור-native), ולכן אם המתח ב��ול N2 קטן, אז הפרש קטן אך נהייה יותר זמן באזורי הסטרוד.

גרף של VDSAT'ים כתלות ב Vin |:

ניתן לראות כי ערכי ה-VDSAT'ים לא השתנו ממשמעותית מסעיף קודם.

גרף של V_{out} ו- V_{in} כתלות בחוויה:



ניתן לראות שככל טווח $headroom$ המוצא עוקב אחריו הייצאה.

ניתן לראות כי העקבה טובה אך לא מדויקת מאחר שהענפים אינם סימטריים במדוק, כיוון שבצד אחד יש חיבור דיזוד ובסידר השני אין.

קיים חסם עליון גדול יותר ל- V_{out} , כיוון שכי שראינו נקלט V_{out} גדול יותר עברו V_{th} קטן יותר.

ניתן לראות זאת גם לפי הנוסחה $V_{out} < V_{DD} - V_{DSAT_{M2B}} - V_{DSAT_{M1}} - V_{th}$

חישוב של החסם העליון עבור $V_{in}=920\text{mV}$:

$$V_{DD} = 2\text{V}, |V_{dsatM2B}| = |-136.895\text{mV}|, V_{dsatM1} = 152.462\text{mV}, V_{th} = 47.5223\text{mV}$$

$$V_{out} < 2 - 136.895\text{mV} - 152.462\text{mV} - 47.5223\text{mV} = 1.9369\text{V} = 1.6631207\text{V}.$$

כמו החסם העליון שקיבלנו בגרף.

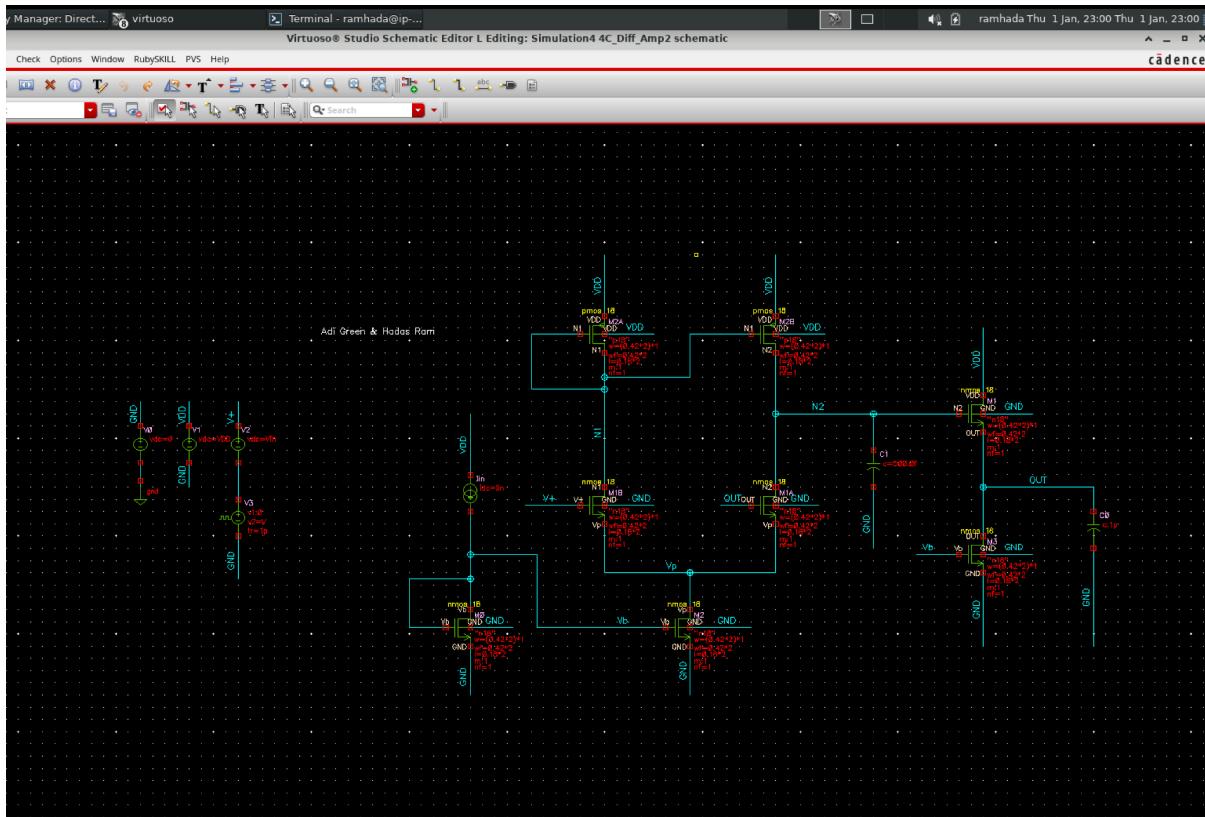
נשים לב כי ההפרש בין V_{out} של הסעיף הקודם לבין הטעינה של הסעיף זהה הוא:

$$\Delta V_{out} = 1.6631207\text{V} - 1.1022993\text{V} = 560.8214\text{mV}$$

זהה בערך כמו ההפרש שקיבלנו של V_{th} .

4B.3 – Transient Step response (for stability)

נבדוק את תגובת המעגל לכינית מדרגה. נכניס מדרגה של $V_{in} = 920mV$ על מתח DC של $V_{DD} = 2V$ שהשתמשנו בו לאורך הסעיף הקודם (במתח DC כל הטרנזיסטורים בסטורציה כפי שראינו).
הזמן לטרנזיסטור 18_smosatch את M1.
נדיר מתח V_{pulse} עם זמן עליה וירידה של $1\mu s$ שעולה מ-0 ל-7 (פרמטר).



הגדרנו כמו בסעיף הקודם $V_{in} = 920mV$, $V_{DD} = 2V$ כיון שמתוך זה אנחנו נמצאים בסטורציה כפי שראינו בסעיף הקודם.
הרצינו סימולציית transient מ-0 עד 600ns.

התבקשנו למצוא את הזמן שבו המוצא מתиיצב על 90% מהערך הסופי.
כליומר (לפי ההסביר של המתרגלים), אנו צריכים למצוא את הזמן שבו OUT נכנס לתוך הטווח של 10% למעלה ולמטה. כאשר 10% הוא מהפרש בין הערך הסופי לערך ההתחלתי.

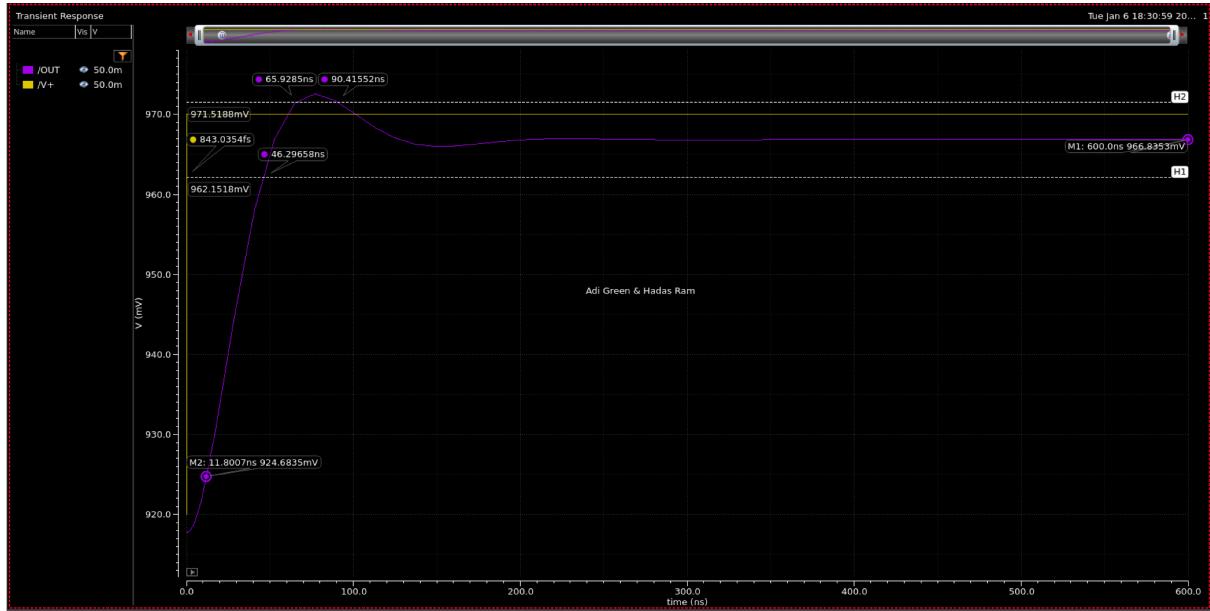
זמן העלייה ($tr=time rise$) זה הזמן שבו לוקח לאות לעלות מ-10% ל-90% מההפרש בין הערך הסופי לערך ההתחלתי.

$$f_{3dB} = \frac{0.35}{tr}$$

התבקשנו למצוא מהו הרוחב פס שזמנו התדר שבו הגבר יורד ב- B^{-3} , והנוסחה שלו היא:

נחשב עבור מדרגת ה-step שעולה ויורדת בנפרד:

גרף של V_{out} כתלות בזמן, עבור $V=50mV$:



כניסת המדרגה מגיעה לערך של $V = 966.8353mV$.
ניתן לראות שמתוך המוצא מתיצב על $V = 924.6835mV$.

ולכן ההפרש בין המתוח של ה-OUT הסופי וההתחלתי הוא: $966.8353mV - 920mV = 46.8353mV$

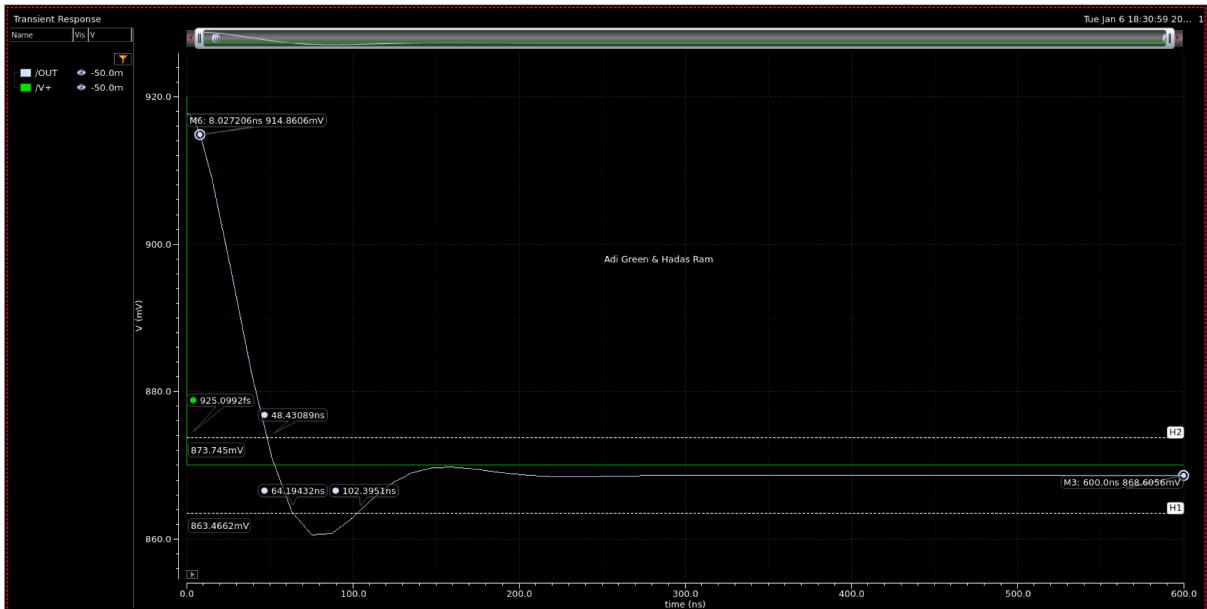
אך זה $46.8353mV * 0.1 = 4.68353mV$. נוריד ונוסף את ערך זה מהערך הסופי, על מנת לשים את הקווים האופקיים ולראות מתי ה-OUT נכנס לטווח זה.
ולכן הקווים האופקיים הם: $V = 962.15177mV$, $971.51883mV$, $970.0mV$.
זמן האחרון שבו הוא נכנס לטווח זה, זה זמן ההתיצבות.
ולכן, קיבלנו שזמן ההתיצבות הוא: $t_s = 90.41552\text{ ns}$

נחשב את t_r על מנת למצוא את רוחב הפס.
זמן בו קיבל ערך 10% מההפרש, כלומר ש-OUT=4.68353mV+920mV=924.68353mV, הוא: $t_r = 11.8007\text{ ns}$.

זמן בו קיבל ערך 90% מההפרש, כלומר ש-OUT=962.15177mV, הוא: $t_r = 46.29658\text{ ns}$.
ההפרש בין זמנים אלו הוא t_r , ולכן $t_r = 34.49588\text{ ns}$.

נחשב את רוחב הסרט: $f = 0.35/t_r = 0.35/34.49588\text{ ns} = 10.146\text{ MHz}$

גרף של Vin ו-Vout כתלות בזמן, עבור $V=-50mV$:



ניתן לראות שמתוך המוצא מתיציב על $V=868.6056mV$.

ולכן הפרש בין המתח של ה-OUT הסופי וההתחלתי הוא: $V_{out} - V_{in} = 51.3944mV$

אך זה $V=51.3944mV \cdot 0.1 = 5.13944mV$. נוריד ונוסף את ערך זה מהערך הסופי, על מנת לשים את הקווים האופקיים ולראות מתי ה-OUT נכנס לטווח זה.
ולכן הקווים האופקיים הם: $V_{out} = 863.46616mV$, $V_{in} = 873.74504mV$.
זמן האחרון שבו הוא נכנס לטווח זה, זה זמן ההתיצבות. ולכן, קיבלנו שזמן ההתיצבות הוא: $ts = 102.3951\text{ ns}$.

נחשב את tr על מנת למצוא את רוחב הפס.
זמן בו קיבל ערך 10% מההפרש, כולם ש-OUT = $920mV - 5.13944mV = 914.86056mV$, הוא: 48.43089 ns .
זמן בו קיבל ערך 90% מההפרש, כולם ש-OUT = $863.46616mV$, הוא: 8.027206 ns .
ההפרש בין זמנים אלו הוא tr , ולכן $tr = 40.403684\text{ ns}$.

נחשב את רוחב הסרט: $f = 0.35/tr = 0.35/40.403684\text{ ns} = 8.6625\text{ MHz}$

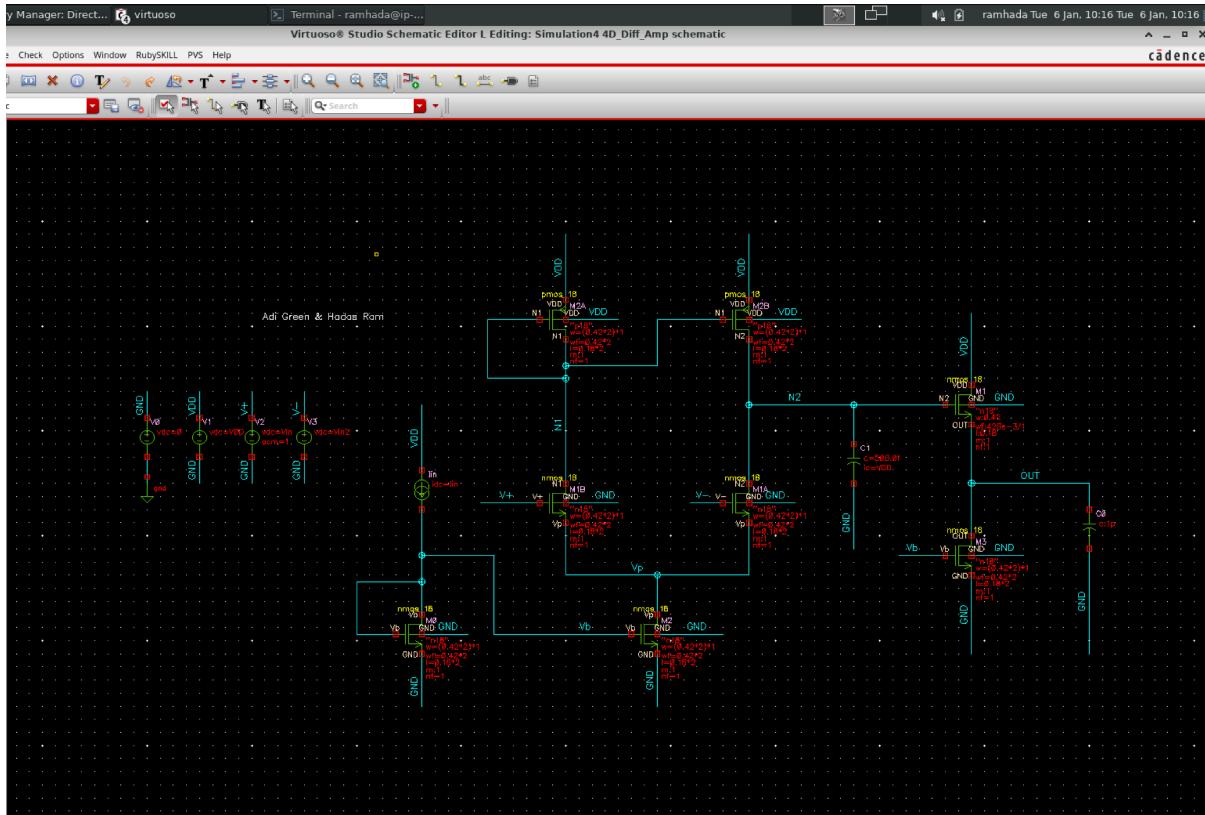
רוחב פס קטן גורר לזמן עלייה גדול שגורר לזמן התיצבות גדול. כלומר, ישיחס הפוך בין תגובת הזמן לתגובה התדר. ואכן ניתן לראות במקראה שלנו, שעבור $V=-50mV$ רוחב הפס קטן יותר ובעקבותיו זמן העלייה וההתיצבות גדולים יותר מ- $V=50mV$.

4B.4 – BODE PLOT

נרצה למצוא את דיאגרמת בודה של המודול באנליזת AC. על מנת לעשות זאת נפתח את הלולאה של ה- UGB.

עבור כניסה הח V_{in} במודול כניסה כניסה קבועה $V_{in} = 920m$, נמצא מהי כניסה DC של 2 חוט V_{in2} לפני העקבות בין ה V_{out} לח V_{in} , כיוון שפתחנו את לולאות המשוב השילדי איזי נוכנס בה את המתח DC שאמור להיות בה באותו הזמן המשוב. כלומר $V_{in2} = V_{out} = 917.759m$.

בנוסף לכך נוכנס כניסה AC של V_1 על גבי כניסה DC של מוקור המתח V_{in} .

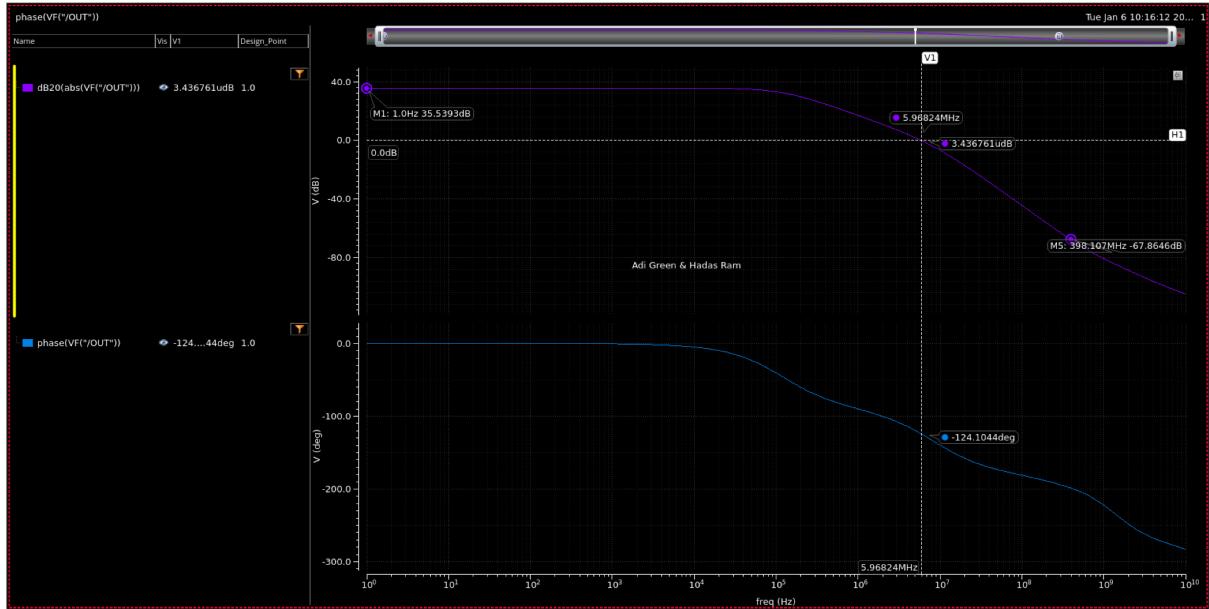


הכנסנו $V_{in} = 2V$, וערך $V_{in2} = 3\mu A$, $V_{DD} = 3uA$, והרצנו סימולציה AC. חישבנו לפי הנוסחאות הבאות:

Name	Value
Filter	Filter
Simulation4_4D_Diff_Amp_1	
Simulator sceptre	
Analyses	
ac 1 10G Automatic Start-Stop	
Design Variables	
lin	3u
VDD	2
Vin	920m
Vin2	917.759m
Parameters	
Corners	

Name	Type	Details	Value	Plot	Plot Target	Save	Spec
	expr	$dB20(\text{abs}(Vf"/OUT"))$		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
	expr	$\text{phase}(Vf"/OUT")$		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

דיagram בודה של האמפליטודה והפaza:



ניתן לראות כי הగבר DC שקיבלו עבור תדר שואף ל-0 הוא 35.5393 ערך המתאים לחישוב שביצענו קודם 35.70996dB.

מצא את החוגר phase: העברנו בגרף האמפליטודה קו אופקי במקומות שבו הగבר הוא 0 (כפי שניתן לראות בגרף), ומצאנו כי עבור תדר זה הפaza היא 124.1042 מעלות.

$$\text{לכן } 55.8958 = 124.1042 - 180 = 180 - 124.1042.$$

התבקשנו להגיע לPM הגדל מ-60 מעלות וכן לשפר את PM שקיבלו. נעשה זאת ע"י הרחקת הקטבים.

במיגל יש לפחות 2 קטבים - בצומת של N2 ובצומת של OUT. בשתי נקודות אלו יש חיבור של קבל ולכל יש שם מעגל RC (התנגדות הטרנזיסטור והקבל), וכך נוצר קווטב.

צומת OUT מחוברת ל-drain של M3 שהתנגדותו היא high impedance, ול-source של M1 שהתנגדותו היא low impedance.

כיוון שני טרנזיסטורים אלו מחוברים במקביל, אז נקבל שיש בצומת OUT התנגדות נמוכה, וכך הקוטב המשמעותי יותר הוא הקוטב בצומת N2 שם יש חיבור במקביל בין שני drains של הטרנזיסטורים M2B, M1A - אז ההתנגדות היא high impedance.

נחשב את שני הקטבים העיקריים שיש לנו המערכת.

התנגדויות:

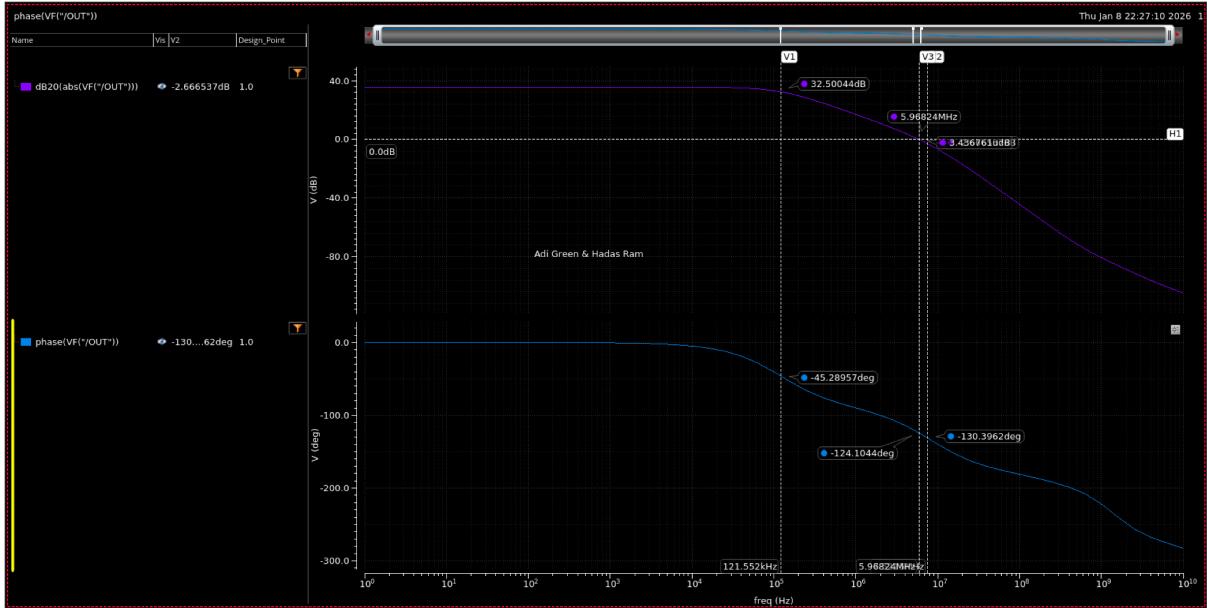
$$R1 = (Rds_{M1A} || Rds_{M2B}) = (7.87008M || 3.92458M) = 2.6187\text{MOhm}$$

$$R2 = 1/gm_{M1} = 1/47.2569\mu\text{Ohm} = 21.160\text{kOhm}$$

$$f1 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi * 2.6187M * 500f} = 121.552\text{kHz}$$

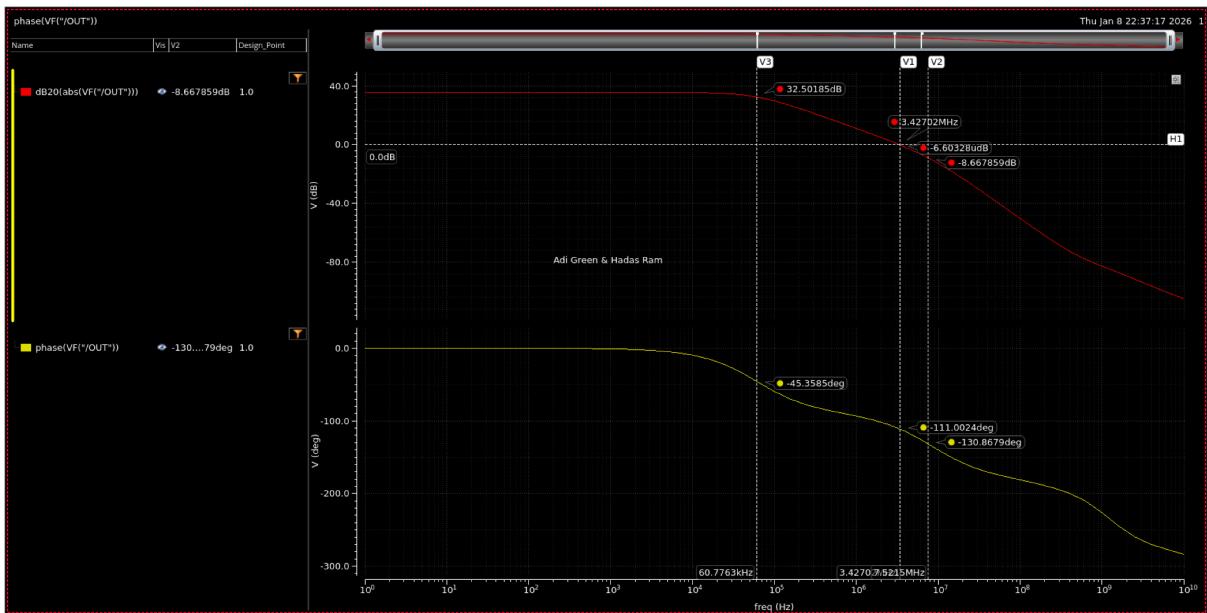
$$f2 = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = \frac{1}{2\pi * 21.160k * 1p} = 7.5215\text{MHz}$$

דיagram בודה של האמפליטודה והפאהה עם הקטבים שמצאנו:



נרצה להציג את הקוטב היוטר דומיננטי שמאליה כדי שהPM יהיה גדול יותר, שכן נרצה f_1 קטן יותר. על מנת לעשות זאת נגדיל את C_1 מ- $500fF$ ל- $1pF$.
נחשב את הקוטב החדש f_1 :

$$f_1 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi * 2.6187M * 1p} = 60.7763kHz$$



נמצא את החזון phase margin: העברנו קו בגרף אופקי האמפליטודה במקום שהוא ההגבר הוא 0 (כפי שניתן לראות בגרף) ומצאנו כי עברו תדר זה הפאהה היא 111.0024 - 111.0024 = 68.9976 PM. קיבלנו PM גדול יותר מ-60 כנדרש.

בסוף נזכיר, כי קיבלנו מסנן LPF שזהו מסנן תדרים נמוכים, הוא התקבל כיוון שיש לנו קטבים במערכת.