

Simulation #2

Source Follower and Cascode

מגישות:

עדי גרין 324965946

הדס רם 214068843

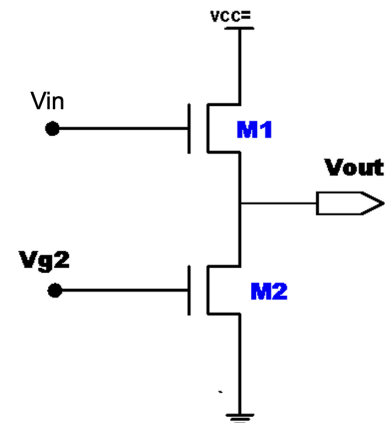
תאריך הגשה:

27.11.2025

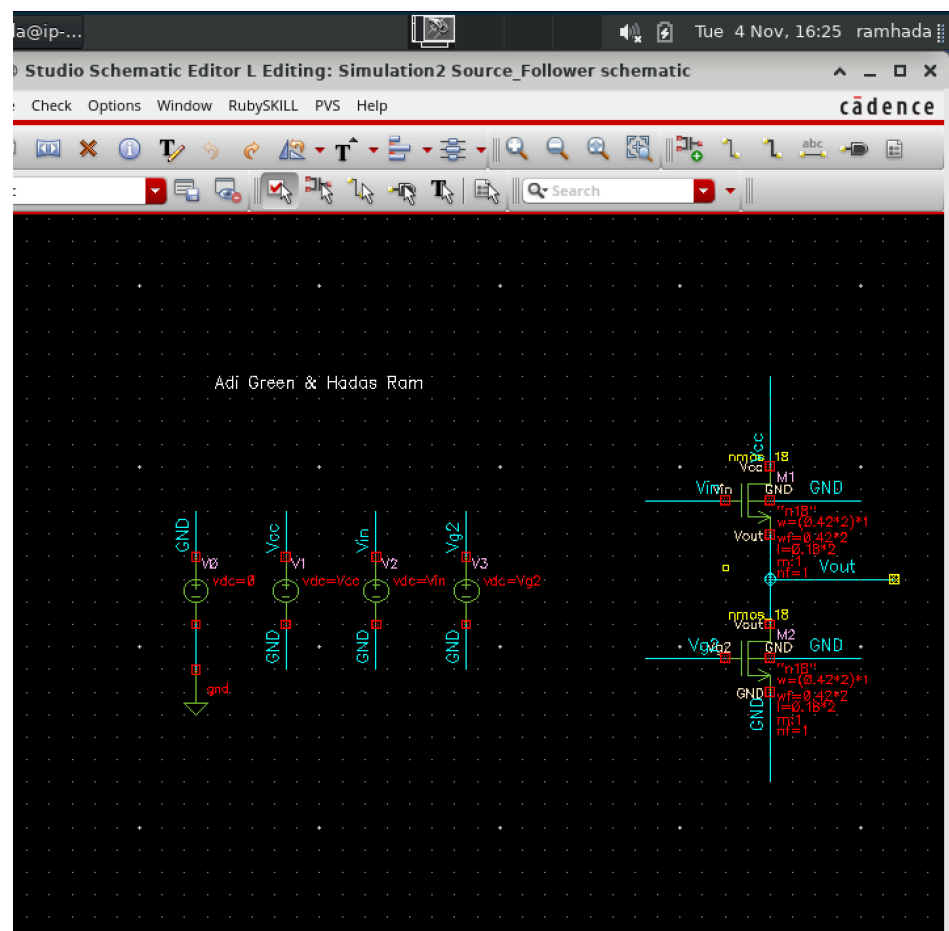
2A SOURCE FOLLOWER

2A.1 - BIAS CONDITIONS:

התבונשנו ליצור מעגל Source Follower כך:

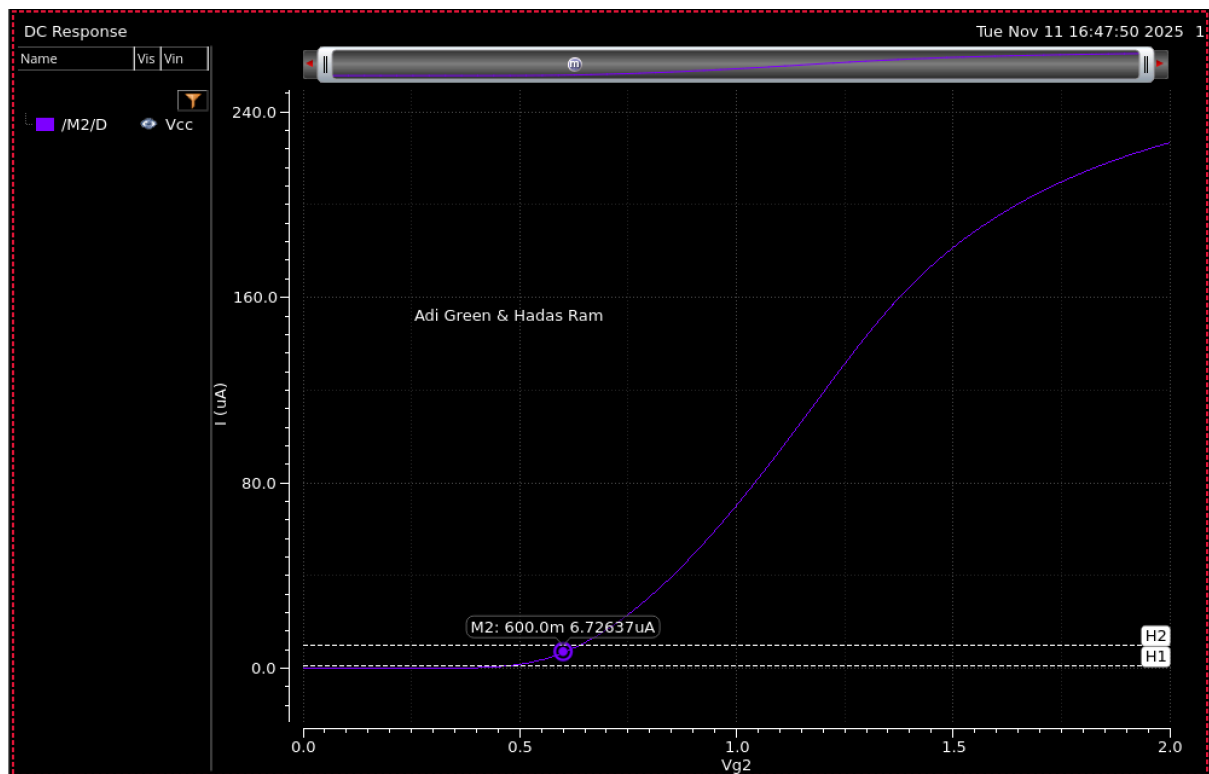


הגדרנו $W/L=2.333$, כפי שביקשו בהוראות. כלומר, $L = 0.18 \times 2 = 0.36$, $W = 0.46 \times 2 = 0.92$. המעגל מורכב מ-NMOS ולכן חיברנו את האולטים ל-GND.



הרצנו סימלוציית DC כאשר V_{g2} נע מ-0 עד V_{cc} , והגדרנו: $V_{in} = V_{cc}$ ו $V_{cc} = 2v$.

גרף של הזרם I_{ds} כתלות ב V_{g2} :



כפי שהתבקשנו, מצאנו שעבור $V_{g2} = 0.6v$ נקבל שהזרם הינו כ $6.7uA$, כלומר נמצא בין $10uA$ - $1uA$. ניתן לראות מהגרף שככל ש V_{g2} גדל הזרם גדל.

טרנזיסטור M1 נמצא תמיד בסטורציה, כיוון ש $V_{ds} > V_{dsat} = V_{gs} - V_{th}$ ולכן $V_{gs} = V_{in}$ - תמיד מתקיים.

טרנזיסטור M2:

- כאשר V_{g2} קטן מ V_{th} , הטרנזיסטור Cut-off, ולכן לא זורם זרם במעגל ולכן $V_{out} = V_{cc}$.
- כאשר V_{g2} גדול יותר מ V_{th} , $V_{out} = V_{ds} > V_{dsat} = V_{g2} - V_{th}$, הטרנזיסטור M2 במצב סטורציה, ולכן V_{out} הולך וקטן, והזרם יגדל בצורה של זרם במצב רוויה.
- הזרם גדל מאחר ש- $V_{gs} = V_{g2}$ גדל, וכאשר הזרם גדל- אפשר לראות מהנוסחה של הזרם במצב

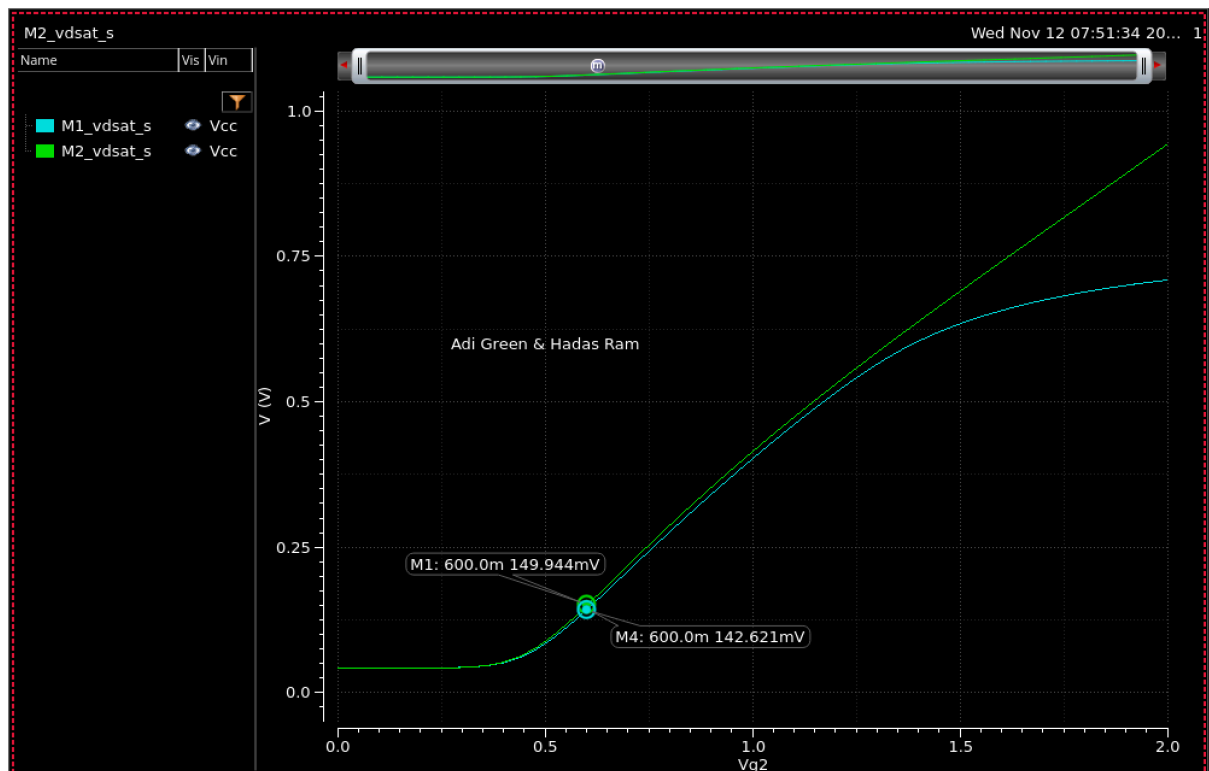
סאטורציה על רכיב M1, $I_d = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{gs} - V_{th})^2$ ש- $V_{gs} = V_{in} - V_{out}$ צריך לגדול, V_{in} קבוע ולכן V_{out} קטן.

נשים לב כי ברכיב M1 יש bulk effect, ולפי $V_{TH} = V_{TH0} + \gamma (\sqrt{2\Phi_F + V_{SB}} - \sqrt{2\Phi_F})$

כלומר $V_{sb} = V_{out}$, ולכן כאשר V_{out} קטן אז גם V_{th} קטן- דבר נוסף שגורם לזרם לגדול (פחות משפיע מאשר V_{gs})

- כאשר V_{g2} גדול יותר מ V_{th} , $V_{out} = V_{ds} < V_{dsat} = V_{g2} - V_{th}$, הטרנזיסטור במצב לינארי, ו V_{out} ימשיך לקטון, והזרם יגדל בצורה של זרם במצב לינארי.

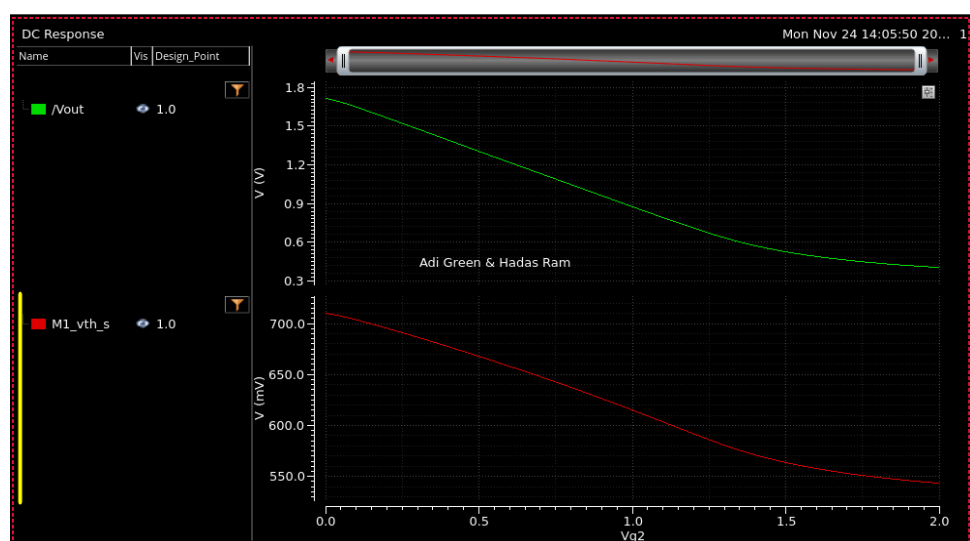
גרף של V_{dsat} ים של M1 וM2 כתלות ב V_{g2} :



ניתן לראות שיש עקיבה בין הטרנזיסטורים, ורואים מהגרפים ש- V_{dsat} ים גדלים ככל ש V_{g2} גדל.

עבור M1 נקבל:

$V_{dsat} = V_{gs} - V_{th} = V_{in} - V_{out} - V_{th}$, המתח V_{in} נשאר קבוע, ולכן כאשר המתחים V_{out} ו- V_{th} קטנים, לכן ככל ש- V_{g2} גדל, אז V_{dsat} גדל.
כפי שניתן לראות מהגרפים:



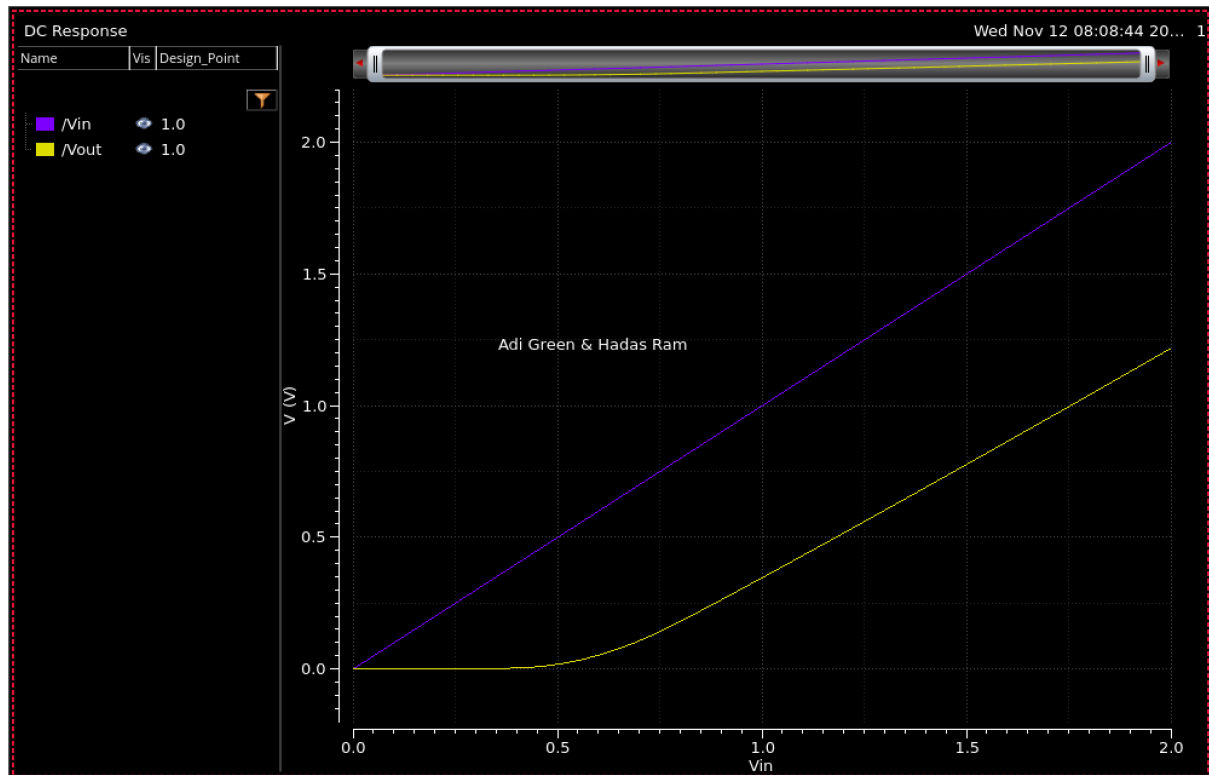
עבור M2 נקבל:

$V_{dsat} = V_{gs} - V_{th} = V_{g2} - V_{th}$, שמאחר ש- V_{th} קבוע, ו- V_{g2} גדל אז V_{dsat} גדל.

2A.2 – DC SIM

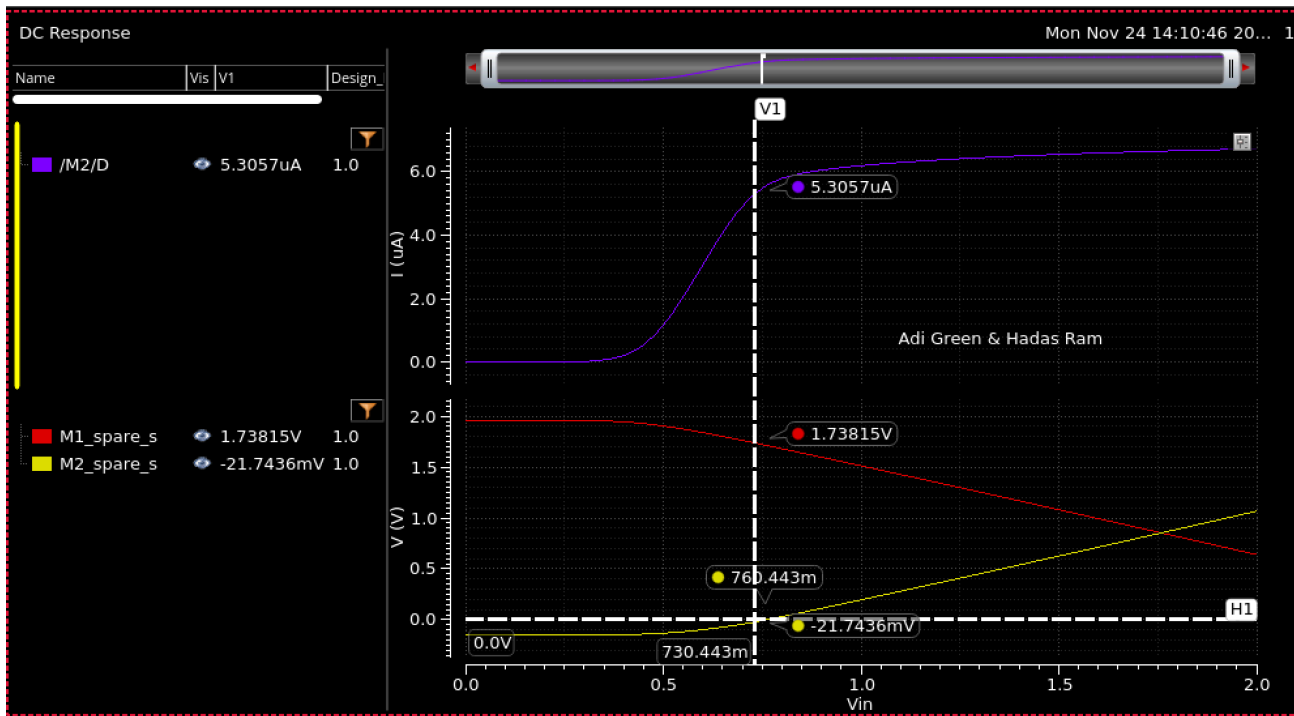
כפי שאמרנו בסעיף הקודם, קבענו ש- $V_{g2} = 0.6V$. הרצנו סימולציה כך שהמתח V_{in} רץ בין $0V$ ל- $V_{CC}=2V$.

גרף של V_{out} כתלות ב- V_{in} :



ניתן לראות שבערכי V_{in} קטנים $V_{out}=0V$, וזה מאחר ש- $V_{in} < V_{th}$ ולכן הטרנזיסטור M1 נמצא ב-Cut-off ואין זרם במעגל. בנוסף, ככל ש- V_{in} עולה אז V_{out} עולה בצורה לינארית וזהו אזור הפעולה של ה-Source Follower, ניתן לראות שהוא נהיה כמו הגרף של V_{in} , מנסה לעקוב אחריו בהפרש מסוים.

גרף של הזרם I_d , V_{ds} - V_{dsat} של M1 וM2 כתלות ב-Vin:



- הגרף של I_{ds} של M1 חיובי תמיד ולכן M1 נמצא תמיד בסטורציה.

$$V_{ds1} = V_{cc} - V_{out}, \quad V_{dsat1} = V_{gs} - V_{th} = V_{in} - V_{out} - V_{th}$$

$$V_{ds1} - V_{dsat1} = V_{cc} - V_{out} - (V_{in} - V_{out} - V_{th}) = V_{cc} - V_{in} + V_{th} > 0$$

הביטוי חיובי מאחר ש- V_{in} רץ מ-0V ל- V_{cc} , ו- V_{th} של nmos הינו ערך חיובי. נשים לב כי ככל שהמתח V_{in} גדל אז הביטוי $V_{ds1} - V_{dsat1}$ קטן ואכן קבלנו ירידה.
- הגרף של I_{ds} של M2 חיובי החל מכ $V_{in} = 760\text{mV}$, ולכן החל מערך זה V_{in} שני הטרנזיסטורים נמצאים בסטורציה.

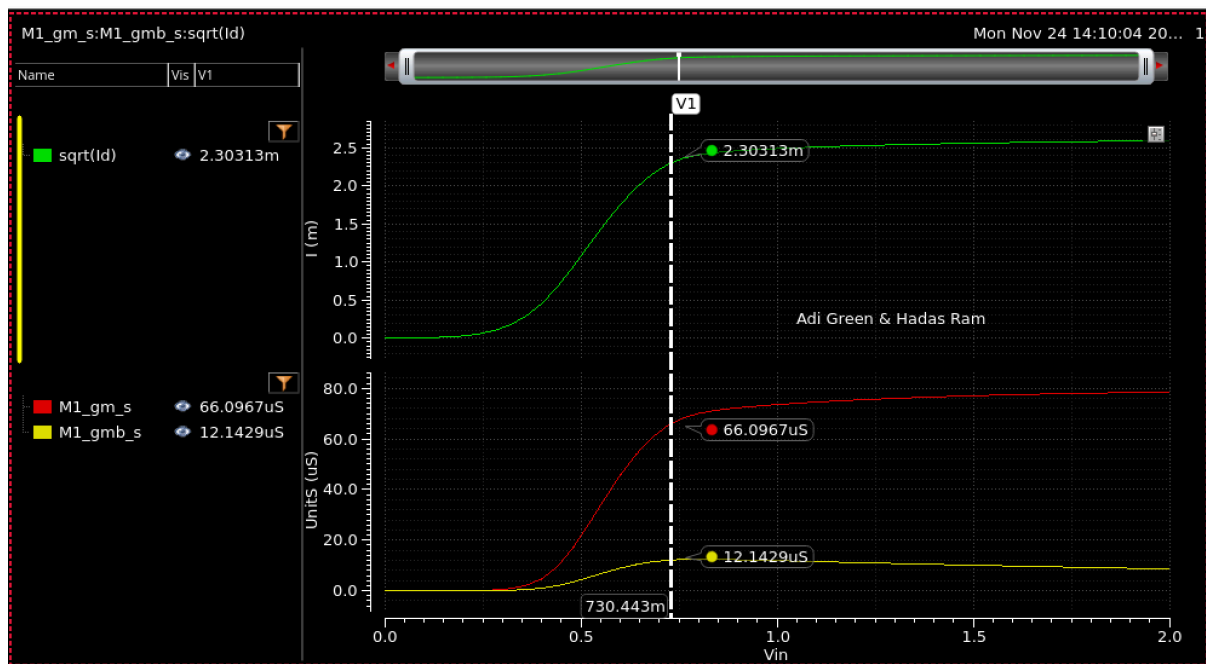
$$V_{ds2} = V_{out}, \quad V_{dsat2} = V_{gs} - V_{th} = V_{g2} - V_{th} = 0.6 - V_{th}$$

$$V_{ds2} - V_{dsat2} = V_{out} - 0.6 + V_{th} > 0$$

על מנת להיות בסטורציה אז הביטוי צריך להיות חיובי.

ראינו לפי הגרף הקודם שכל שהמתח V_{in} גדל כך המתח V_{out} גדל, ולכן גם הביטוי $V_{ds2} - V_{dsat2}$ גדל, ולכן קבלנו עלייה.
- בגרף של הזרם ניתן לראות שהחל מהחל V_{in} שסימנו הוא נכנס לסטורציה ולפני זה הוא נמצא במצב של זרם במצב לינארי ובערכים ש V_{in} קטנים הוא נמצא ב-Cut-off. (הזרם שמדדנו הוא בנקודת ה-Drain של M2).
- כאשר 2 הטרנזיסטורים נמצאים בסטורציה, אז כפי שלמדנו בהרצאה רכיב M2 מתפקד כמקור זרם קבוע כאשר $I_{ds2} \sim (V_{g2} - V_{th})^2$, מאחר שהמתח V_{g2} הינו קבוע, וגם V_{th} של רכיב זה.
- הזרמים בשני הטרנזיסטורים שווים ולכן צריך להתקיים $V_{g2} - V_{th2} = V_{in} - V_{out} - V_{th1}$. מאחר שיש bulk effect, אז V_{th1} אינו קבוע ומשתנה כתלות ב- V_{out} . ולכן המתח V_{out} אינו עוקב בצורה מדויקת אחרי המתח V_{in} אלא בקירוב.

גרף של gm1, gmb1 כתלות בVin: (הוצאנו גרף נוסף של שורש הזרם כתלות בVin)



סימנו בקו לבן את המתח שהחל ממנו עבור Vin גדולים יותר שני הטרנזיסטורים נמצאים בסטורציה (מצאנו מסעיפים קודמים).

gm1:

לאחר מכן הטרנזיסטור נפתח ונמצא במצב לינארי. $gm1 = 0$ ולכן M1 Cut-off בהתחלה הטרנזיסטור ב של הקו הלבן הוא נמצא בסטורציה. כפי שאנחנו יודעים בסטורציה $gm \sim \sqrt{I}$, ניתן Vin ומימין לערכים של . לראות שזה מה שקיבלנו

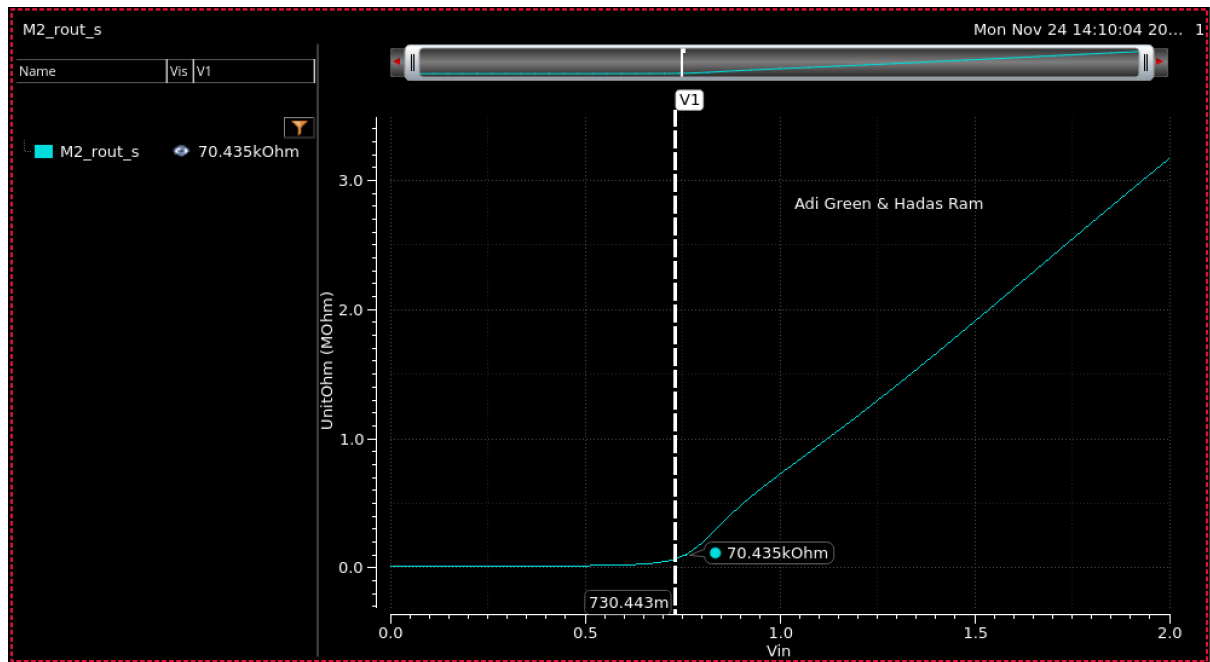
gmb1:

ה bulk של טרנזיסטור M1 מחובר לאדמה, והSource שלו מחובר לVout. ולכן אנחנו מתקבלים מתח Vbs שונה מ-0 יש לנו Bulk Effect. ניתן לראות שהוא הולך כמעט כמו gm בהתנגדויות נמוכות יותר.

הגדרה: $gmb = dId/dVbs$, השינוי בזרם Drain כתוצאה משינוי במתח Vbs.

הערך gmb1 מתחיל מ-0 כיוון שהטרנזיסטור M1 סגור בהתחלה. כשהוא מגיע ל V_{th} , הוא עולה בצורה חדה כיוון שנוצר Vbs גדול ולכן ה body effect מורגש. כאשר Vin ממשיך לעלות Vbs קטן ולכן gmb1 קטן גם הוא.

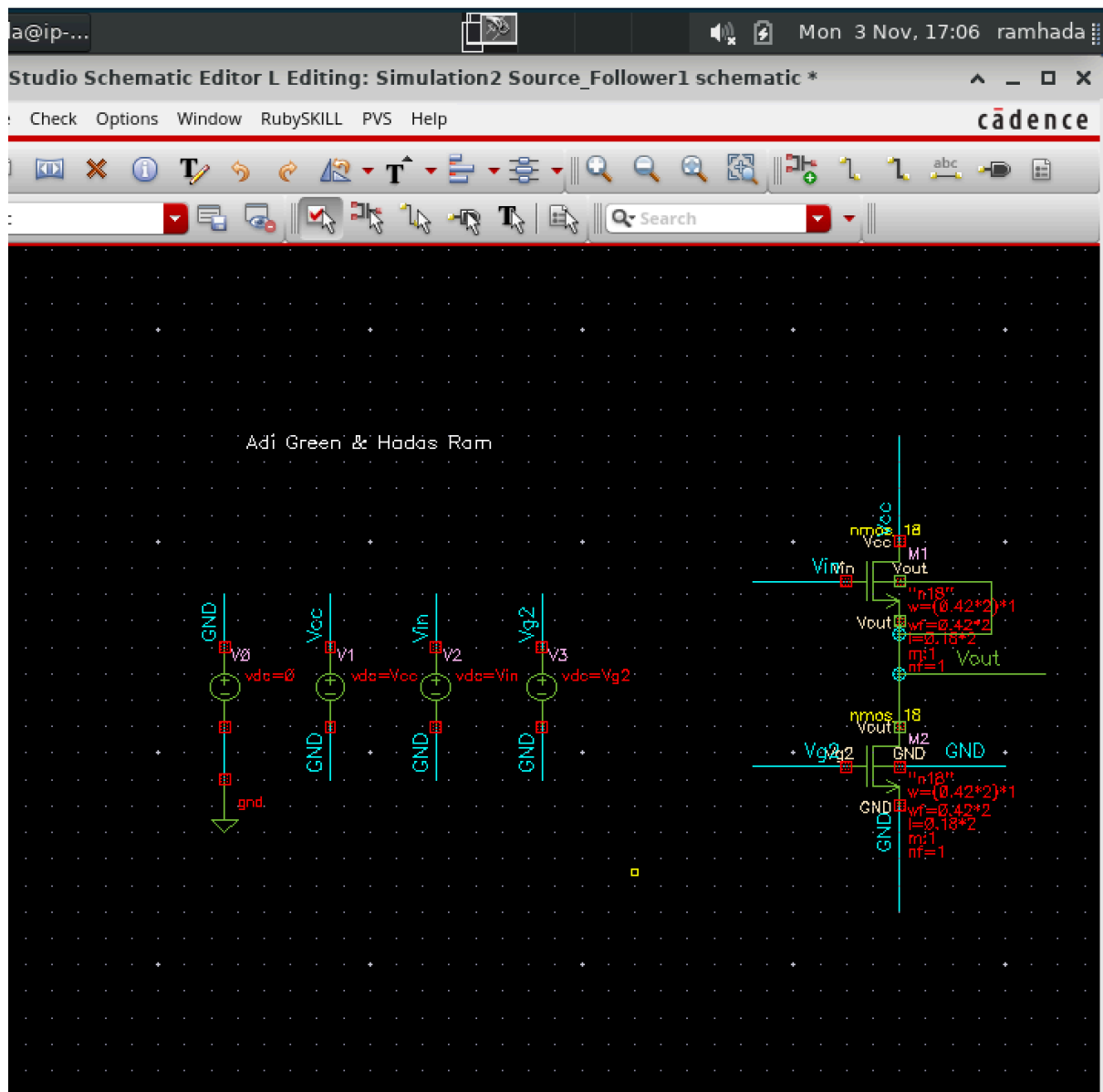
גרף של rout2 כתלות בVin:



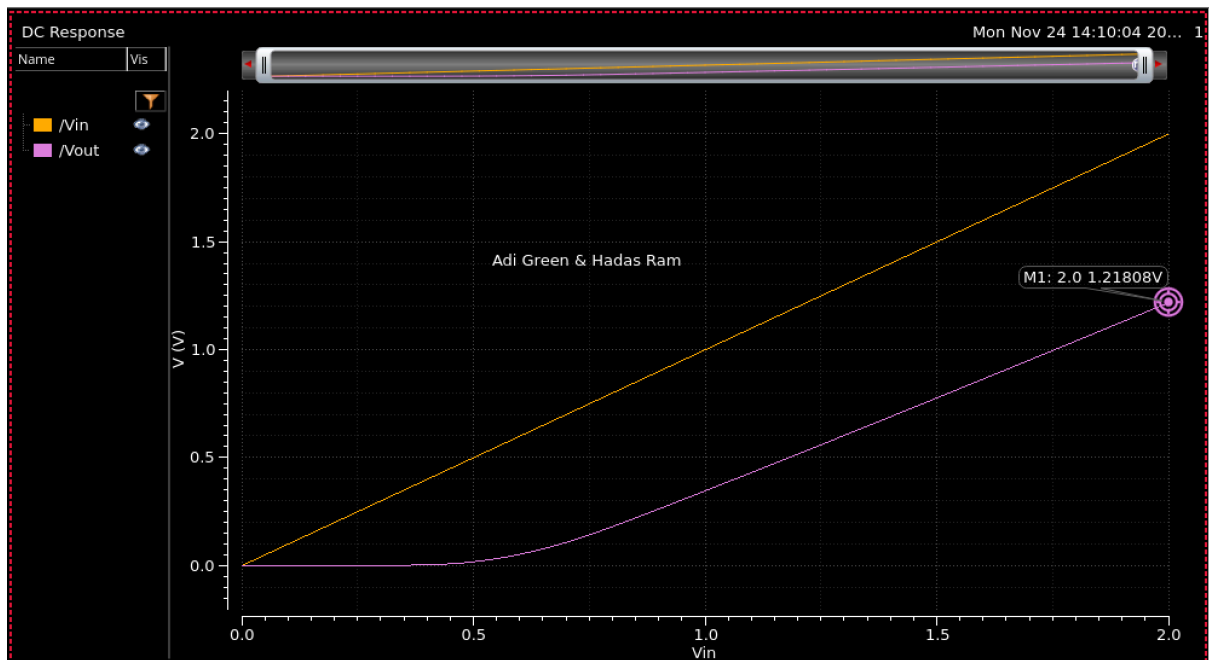
לפי חוק אוהם, ההתנגדות היא שינוי של המתח חלקי השינוי בזרם. כאשר המעגל בסטורציה שינוי גדול במתח מוביל לשינוי קטן בזרם ולכן ההתנגדות היא גדולה (High-Impedance).
 לכן בסטורציה $R_{out} = 1/(\lambda \cdot I_{ds})$.
 ניתן לראות בגרף שכאשר אנחנו משמאל לקו הלבן אנחנו לא בסטורציה והתנגדות נמוכה ויחסית קבועה, לעומת זאת כאשר אנחנו בסטורציה ההתנגדות גדולה.

2A.3 - DC SIM WITHOUT BULK EFFECT:

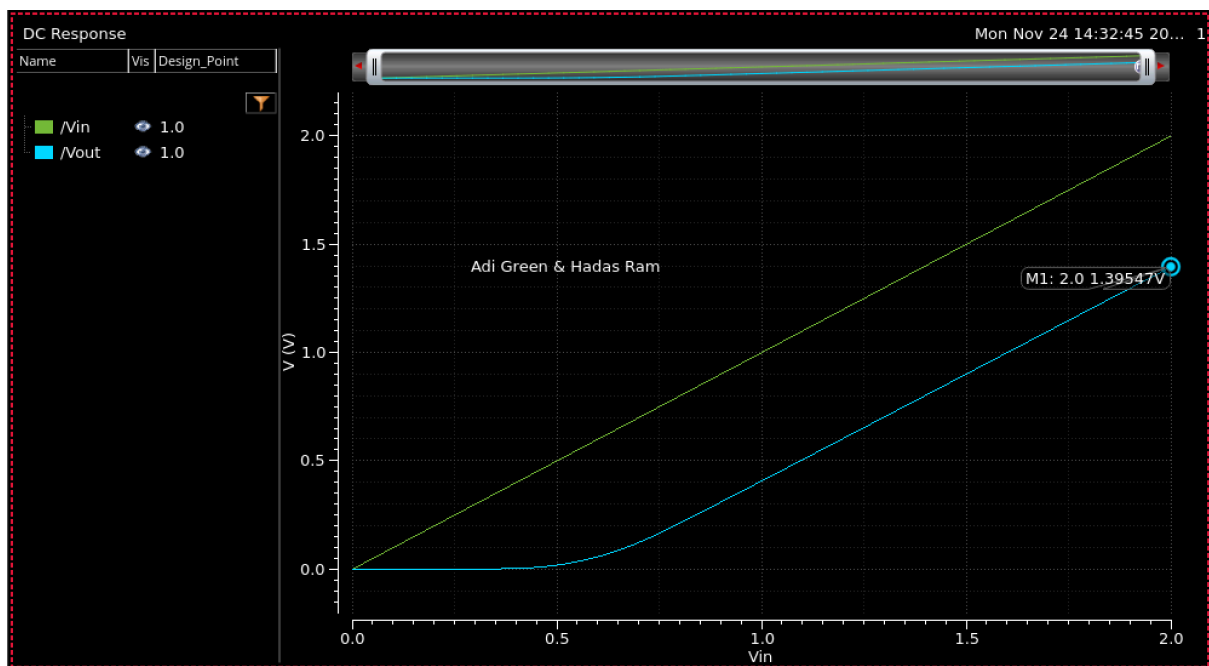
חיברנו בטרנזיסטור M1 את האת Bulk לSource, כדי לבטל את הBulk Effect.



גרפים של V_{out} כתלות ב- V_{in} :
עם Bulk Effect



בלי Bulk Effect:



ניתן לראות שהגרף בלי bulk effect מגיע למתחים V_{out} גבוהים יותר מאשר בגרף עם Bulk Effect. כשאין bulk effect, V_{th} קטן יותר ולכן המעגל הוא Source Follower אידיאלי יותר.

$$V_{TH} = V_{TH0} + \gamma (\sqrt{2\Phi_F + V_{SB}} - \sqrt{2\Phi_F})$$

מאחר שהמתח V_{th} עם bulk effect הינו

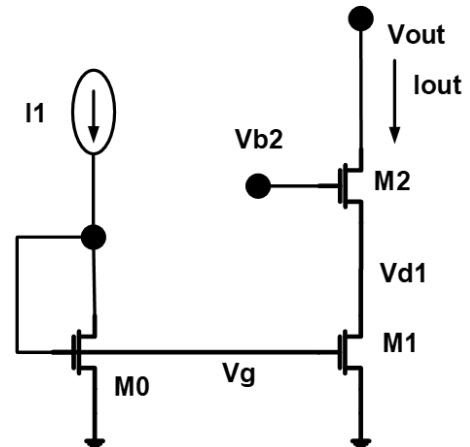
בנוסף, אפשר לראות שעבור הגרף בלי הbulk effect - ההפרש בין $V_{in}-V_{out}=2-1.395=0.60453$ שזה בקירוב המתח V_{g2} שבחרנו. מאחר שכפי שהסברנו בסעיפים הקודמים מתקיים בגלל שהזרמים שווים- $V_{g2} - V_{th2} = V_{in} - V_{out} - V_{th1}$, וכאשר אין bulk effect אז $V_{th2} = V_{th1}$, ולכן $V_{g2} = V_{in} - V_{out}$, כפי שאכן יצא לנו.

EXPLANATIONS AND DISCUSSION:

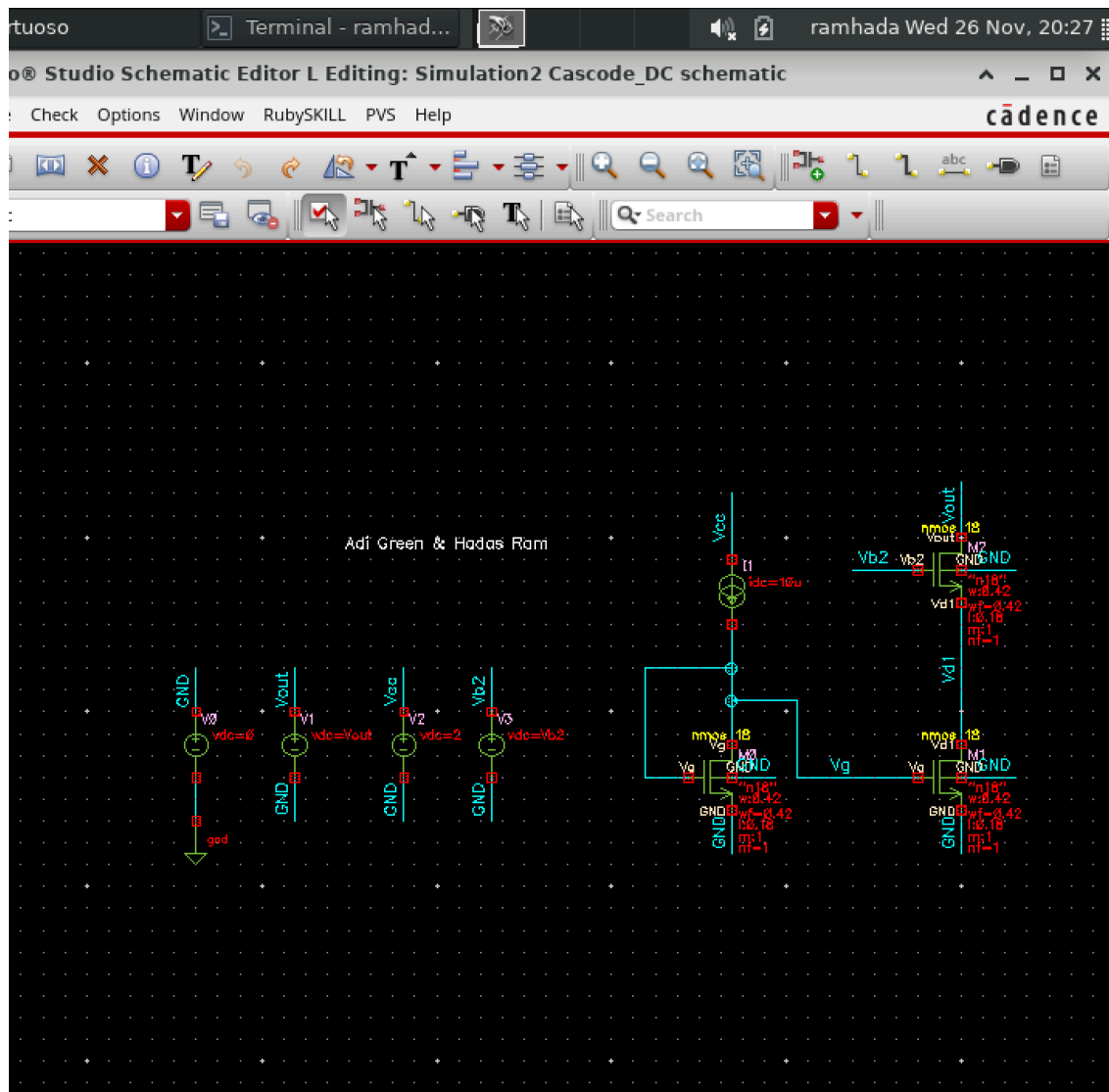
למדנו על Source Follower, כאשר שני הטרנזיסטורים בסטורציה, ראינו שהמתח במוצא עוקב אחרי המתח בכניסה. העקיבה הזו מתקבלת בזכות הזרם במעגל שחייב להיות קבוע. ההגבר של רכיב זה הינו 1, מאחר שהמוצא עוקב אחרי המתח בכניסה אך שונה רק בהזזה אחת, וכמו שראינו עדיף שלא יהיה Bulk Effect על מנת ההפרש יהיה אכן זהה ומדויק. מאחר ש-Source Follower יכול להניע זרמים גבוהים בלי לשנות את ההגבר אז הוא current buffer מאד טוב.

2B Cascode DC

התבוננו ליצור מעגל כך:



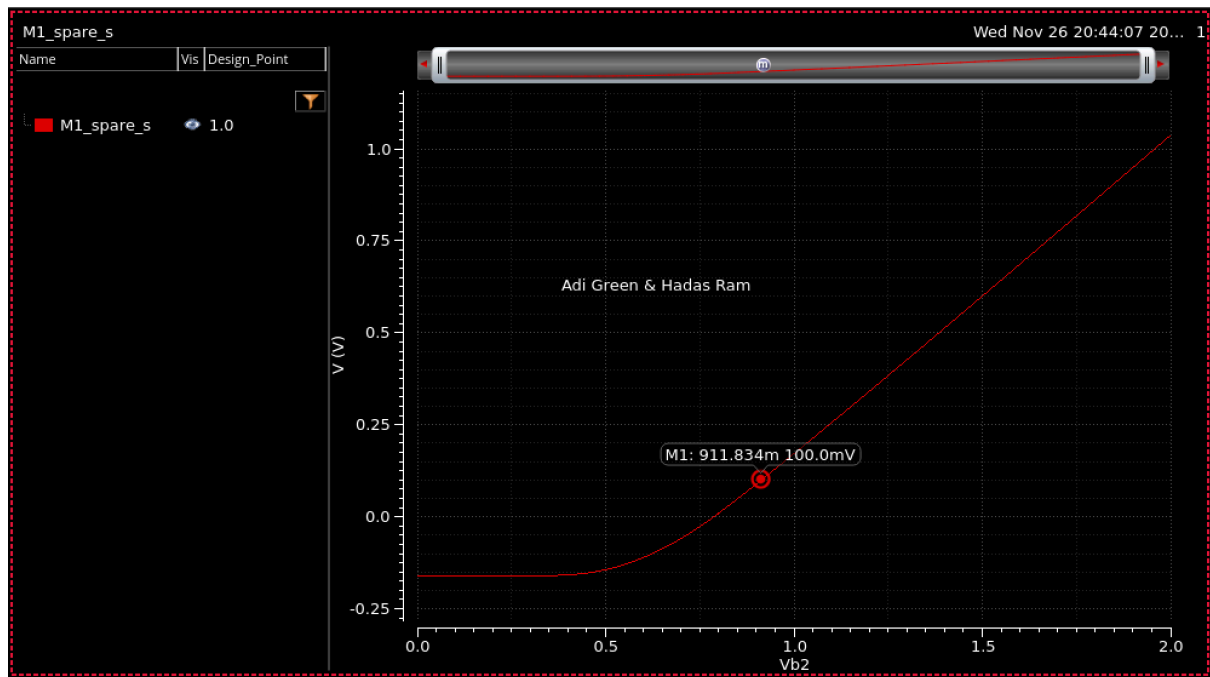
קבענו את מקור הזרם כך ש- $I_1 = 10\mu A$:



B. 2 – Voltage Bias

כפי שהתבקשנו, קבענו $V_{out} = V_{cc} = 2V$, והרצנו אנליזת DC של $V_{ds}(m1) - V_{dsat}(m1)$ כתלות ב- V_{b2} , כאשר המתח V_{b2} רץ בין 0V ל-2V.

גרף של ה Spare של M1 כתלות ב V_{b2} :

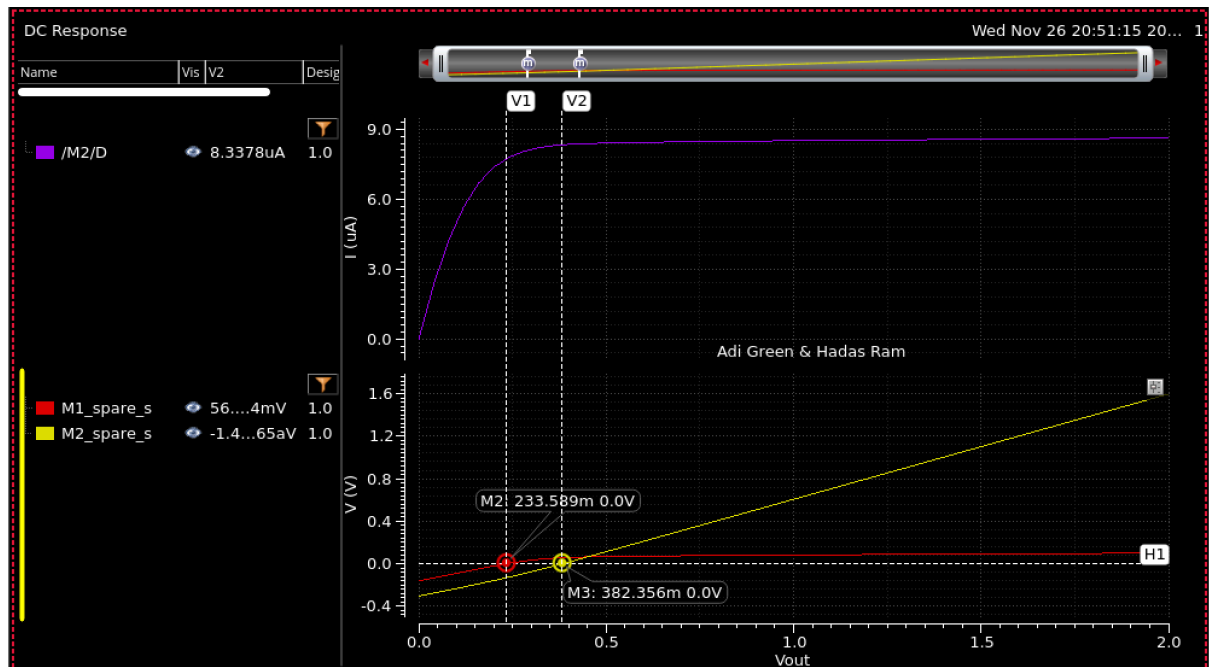


מצאנו שעבור המתח $V_{b2} = 911.834mV$ נקבל שה $Spare = V_{ds} - V_{dsat} = 100mV$.
M1 נמצא בסטורציה בערך זה כיוון שה $Spare > 0$.

2B. 3 to 5 – Iout vs. Vout

קבענו את Vb2 למתח שמצאנו מסעיף קודם, ורצנו בסימלציית DC על Vout מ-0 עד ל $V_{cc} = 2V$.

גרף של הזרם Iout כתלות בVout וגרפים של sparen של M1 וM2 כתלות בVout:



סימנו את הנקודה בכל אחד מהגרפים של sparen בה כל אחד מהטרנזיסטור נכנס לסטורציה (כאשר Sparen חיובי).

כאשר $V_{out} < 233.589\text{mV}$, שני הטרנזיסטורים נמצאים במצב לינארי, וההתנגדות קטנה. נקבל שעבור שינוי קטן במתח נקבל שינוי גדול בזרם.

כאשר $233.589\text{mV} < V_{out} < 382.356\text{mV}$, נקבל שטרנזיסטור M1 בסטורציה וM2 בלינארי, ולכן ניתן לראות שינוי בצורת הגרף של הזרם.

כאשר $V_{out} > 382.356\text{mV}$, שני הטרנזיסטורים נמצאים בסטורציה, והתנגדות גדולה. שינוי גדול במתח גורם לשינוי קטן בזרם.

נשים לב שבאיזור הסטורציה הזרם מגיע לכ $9\mu\text{A}$, כלומר קיבלנו בקירוב מראת זרם.

עבור Sparen של M1, ניתן לראות שהוא בהתחלה עולה ולאחר מכן נשאר יחסית קבוע.

$$\text{Spare} = V_{ds} - V_{dsat} = V_{d1} - (V_g - V_{th}) = V_{d1} - V_g - V_{th}$$

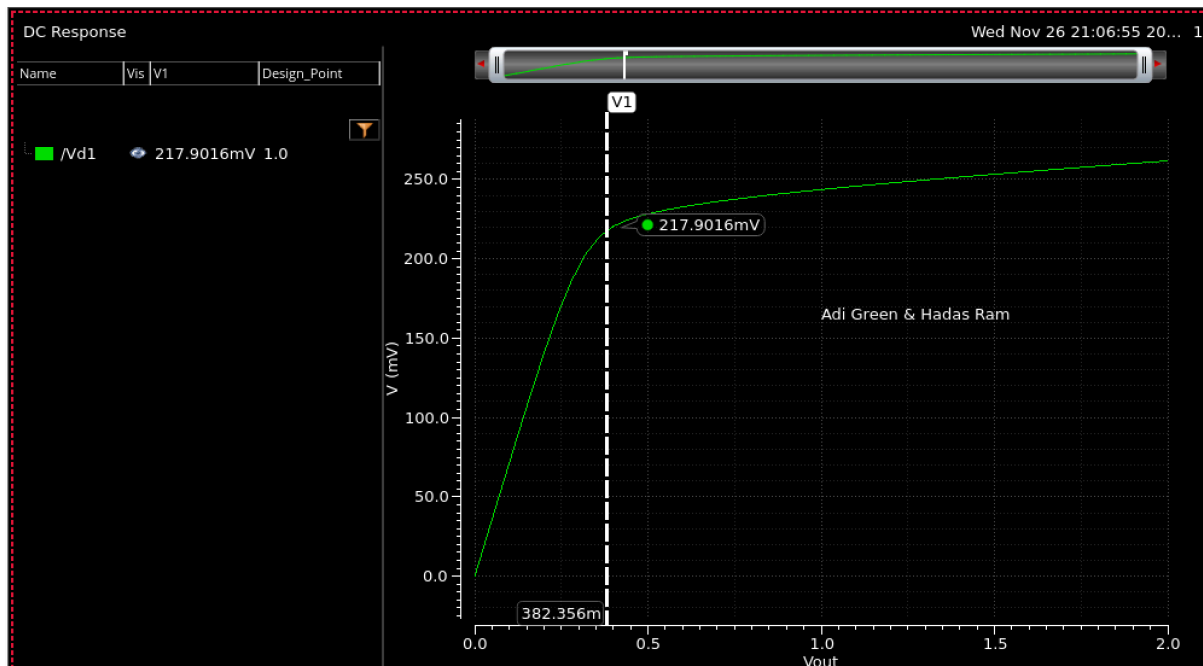
(המתחים V_{th} ו V_g קבועים, והמתח V_{d1} ניהיה יחסית קבוע כאשר אנחנו בסטורציה - ניתן לראות את זה בגרף המצורף למטה).

עבור Sparen של M2, קיבלנו עלייה לינארית. לפי הנוסחאות ניתן לראות כי,

$$\text{Spare} = V_{ds} - V_{dsat} = V_{out} - V_{d1} - (V_{b2} - V_{d1} - V_{th}) = V_{out} - V_{b2} + V_{th}$$

(המתחים V_{th} ו V_{b2} קבועים, ולכן קיבלנו תלות לינארית ב V_{out} , ככל שהוא עולה אז גם הגרף עולה).

גרף של Vd1 כתלות בVout:



ניתן לראות שהוא מתייבב יחסית כאשר שני הטרנזיסטורים בסטורציה (מימין לקו הלבן), זה כמעט מתייבב בגלל אפקט התקצרות התעלה.

נסביר מה שקורה במעגל:

המעגל הזה הוא מראת זרם. ברכיב M0 יש חיבור דיודי ולכן הוא תמיד בסטורציה. מקור הזרם קובע את

$$I_{ds2} \sim (V_{gs} - V_{th})^2 \text{ - מתח הכניסה שלו מאחר ש-}$$

מתח הכניסה של רכיב M1 מחובר למתח הכניסה של רכיב M0 ולכן כאשר רכיב M1 נמצא בסטורציה אז הזרם שעובר דרכו שווה לזרם I1.

אנחנו צריכים שהמתח vd1 לא ישתנה על מנת שהרכיבים M1, M2 ישארו בסטורציה.

מי שומר על מתח זה הוא רכיב M2 מאחר שכאשר הוא נמצא בסטורציה אז מתקיים

$$I_d = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2L} (V_{b2} - V_{d1} - V_{th})^2$$

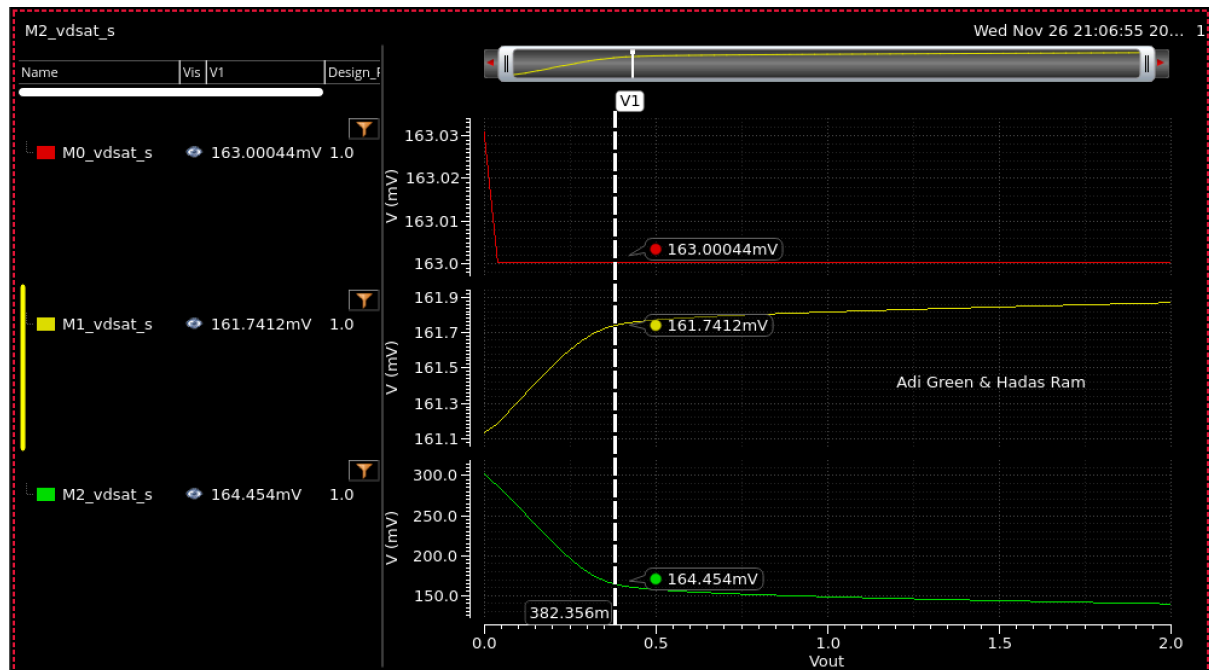
הזרם נשאר קבוע כי הוא מראת הזרם של I1, ובנוסף המתח V_{b2} נשאר קבוע, המתח V_{th} משתנה בצורה מזערית בגלל באלק אפקט ולכן המתח V_{d1} צריך להיות בקירוב קבוע.

מכיוון שרכיב M2 מחובר בתצורה של *common gate* כי הכניסה קבועה, אז עכבת הכניסה שלו בנקודה

$\frac{1}{gm2}$, ולכן העקבה הזאת בולעת את רוב שינויי המתח שהיו יכולים להגיע מ-VOUT. V_{d1} היא נמוכה מאד- בקירוב $\frac{1}{gm2}$, ולכן העקבה הזאת בולעת את רוב שינויי המתח שהיו יכולים להגיע מ-VOUT.

בנוסף, כפי שלמדנו, רכיב M1 בסטורציה הוא כמו נגד r_d מתחת לרכיב M2, ולכן יש ROUT מאד גדול. וכך בנינו מגבר עם ROUT מאד גבוה, ולכן A_v גדול. רכיב M2 זהו הרכיב הקאסקוד ורכיב M1 זהו רכיב הכניסה.

גרף של V_{dsat} של הטרנזיסטורים M0, M1, M2:



הגדרה: $V_{dsat} = V_{gs} - V_{th}$

עבור M0, נקבל $V_{dsat} = V_g - V_{th}$, שני המתחים האלו קבועים כאשר הטרנזיסטור דולק ולכן נקבל ערך קבוע ל V_{dsat} .

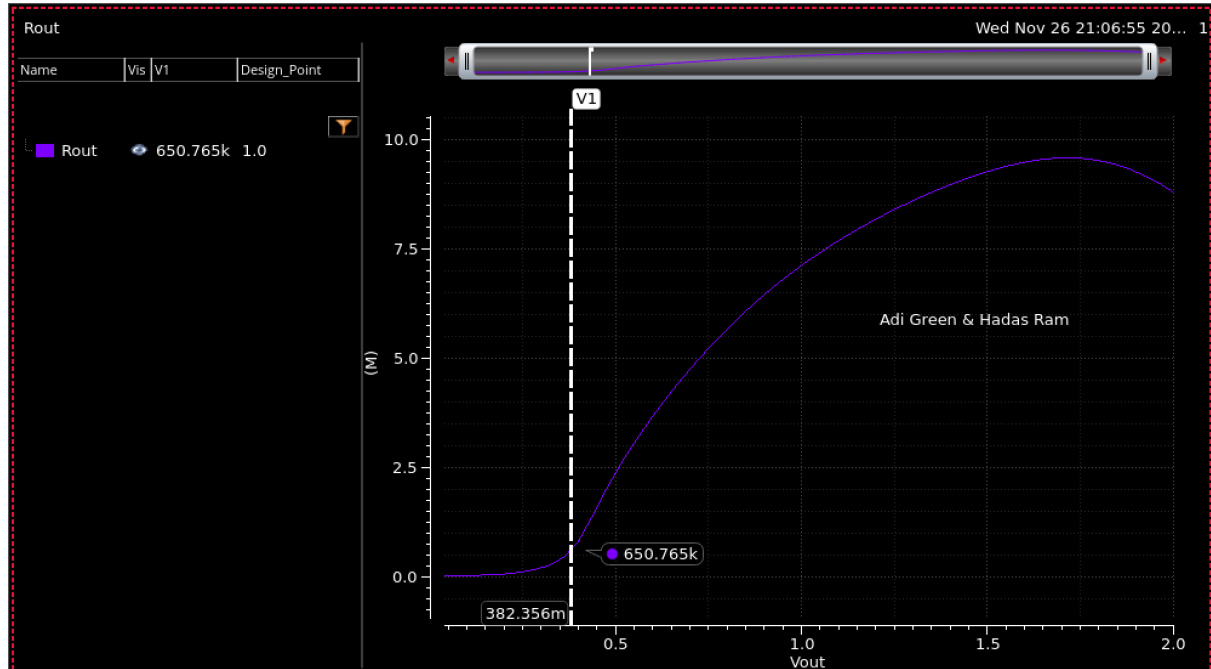
עבור M1, נקבל $V_{dsat} = V_g - V_{th}$, אותו הסבר כמו טרנזיסטור M0.

עבור M2, נקבל $V_{dsat} = V_{b1} - V_{d1} - V_{th}$, הראנו ש V_{d1} יחסית מתייצב כאשר אנחנו בסטורציה, V_{th} קבוע, V_{b1} הוא ערך קבוע, לכן נקבל ש V_{dsat} יחסית מתייצב על ערך קבוע כאשר נכנסים לסטורציה.

$$R_{out} = \frac{1}{\left(\frac{\partial I_{out}}{\partial V_{out}}\right)}$$

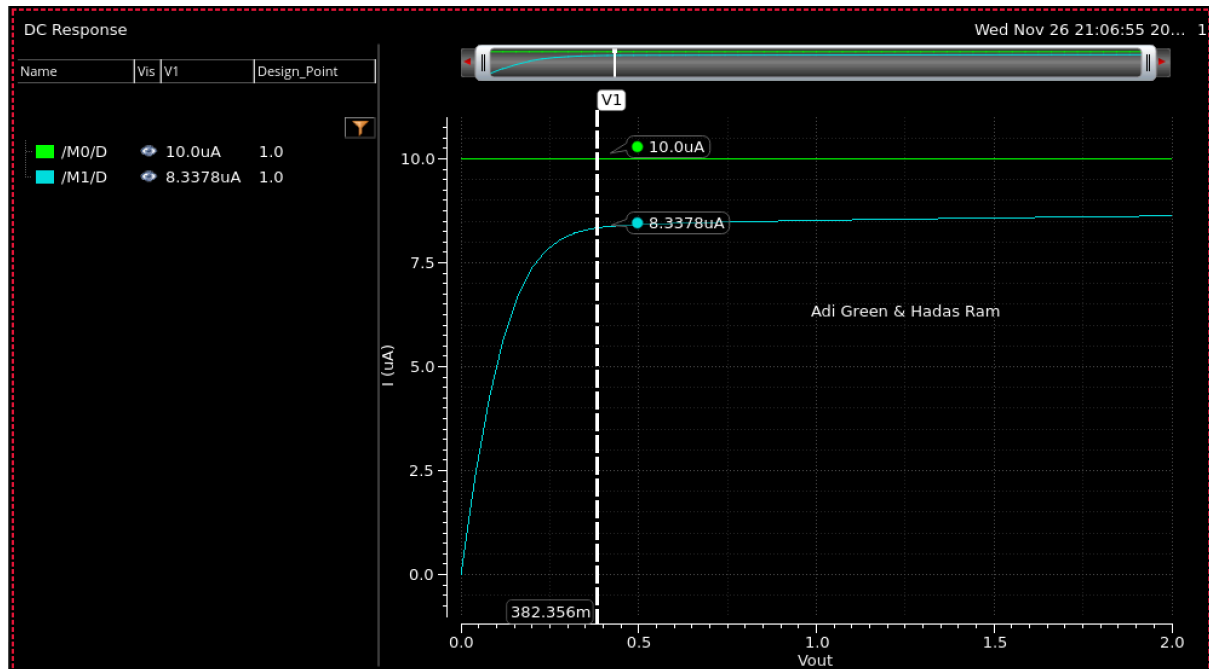
נחשב את ההתנגדות לפי הנוסחה

גרף של R_{out} כתלות ב V_{out} :



עד הקו הלבן הטרנזיסטורים במצב לינארי וההתנגדות קטנה. משמאל לקו הלבן שני הטרנזיסטורים נכנסים לסטורציה ולכן נקבל התנגדות גדולה, כי שינוי גדול במתח יגרום לשינוי מאד קטן בזרם ולכן R_{out} יהיה מאד גדול.

גרף של הזרמים כתלות ב-Vout:



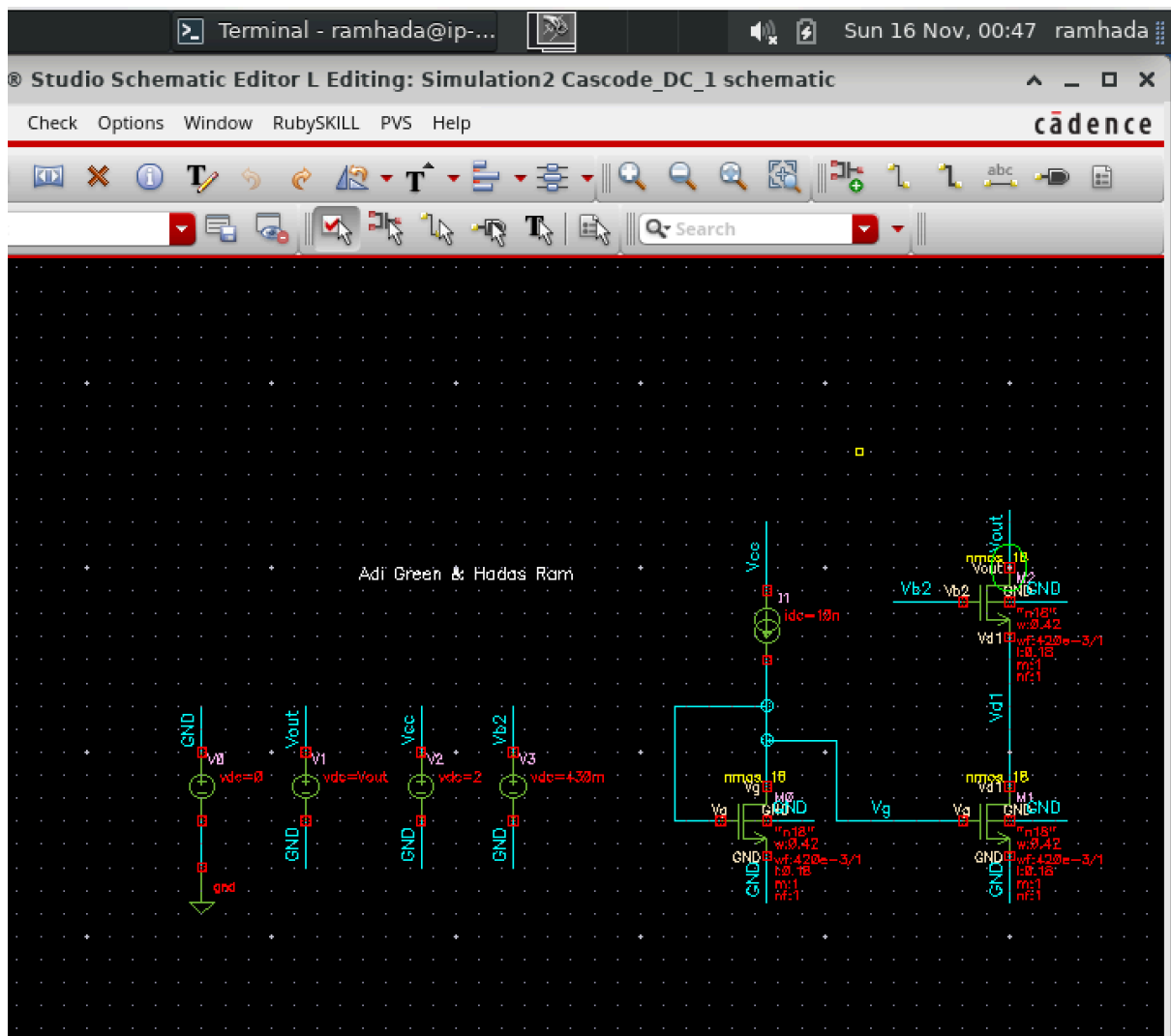
הזרם של רכיב M0 אכן על 10uA כפי שהגדרנו את מקור המתח. ניתן לראות שכאשר הטרנזיסטור M1 בסטורציה הזרם בו כמעט עוקב אחרי הזרם בטרנזיסטור M0. ההבדל

$$I_{ds} = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2L} (V_{gs} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{ds})$$

נובע מאפקט התקצרות התעלה-

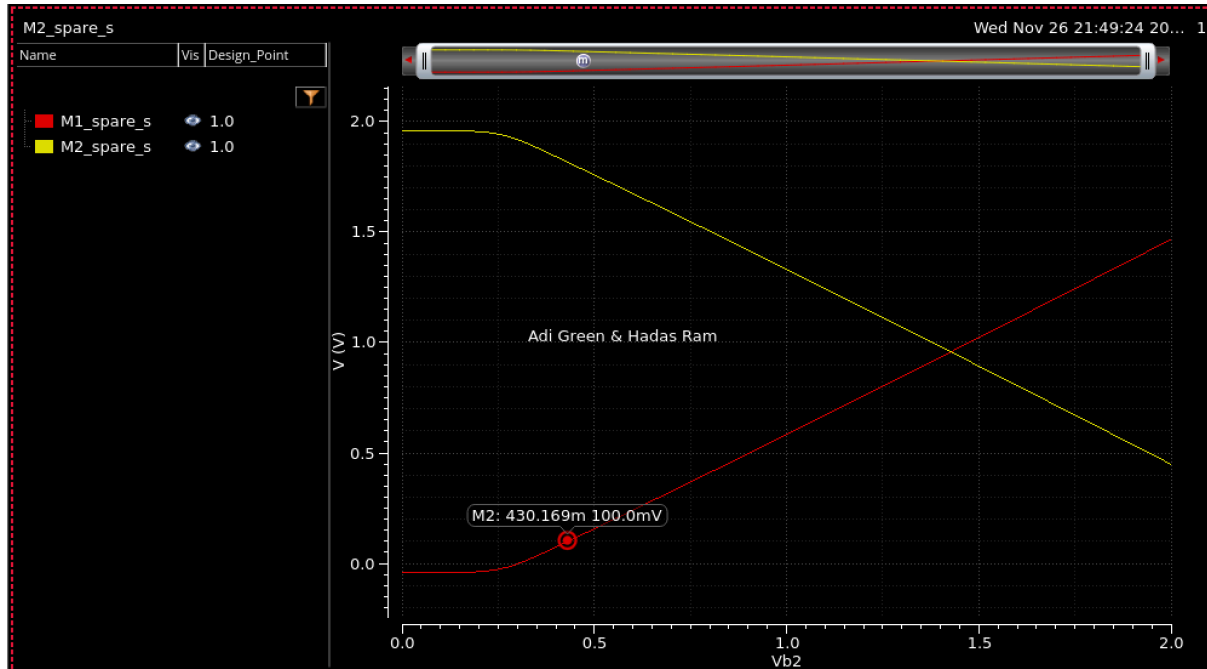
2B.6 – Low current

הגדרנו את הזרם $I_D = 10\text{nA}$.



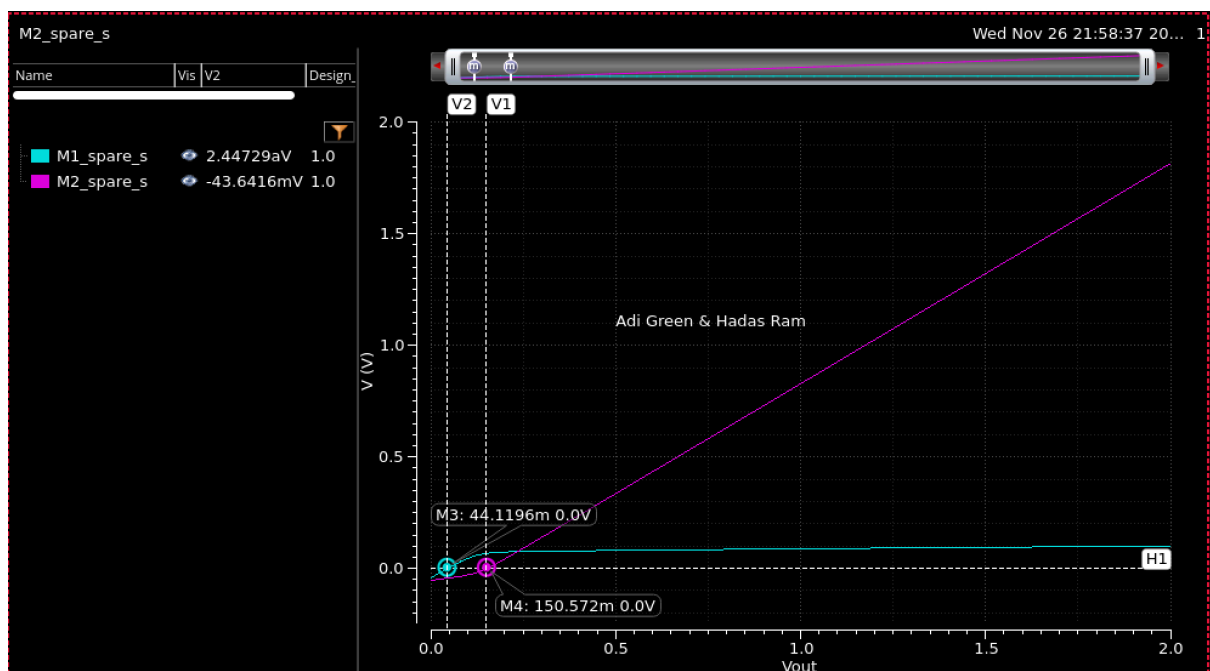
הרצנו סימולציית DC על Vb2, ובחרנו ערך שבו שני הטרנזיסטורים בסטורציה, והו Sparen של M1 נמצא ב-100mV כפי שהתבקשנו בסעיף הראשון.

גרף של Sparenים כתלות בVb2:



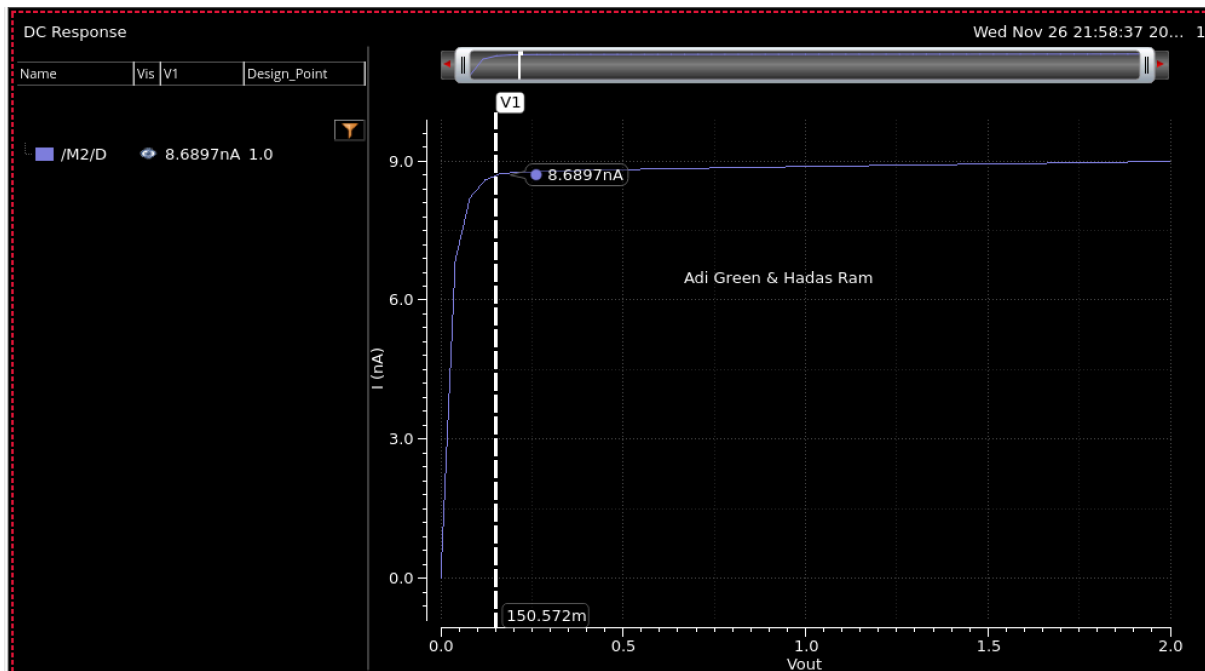
הערך $V_{b1} = 430.169mV$, בחרנו בערך בזה להמשיך המעבדה.

גרף של Sparenים של M1 וM2 כתלות בVout:



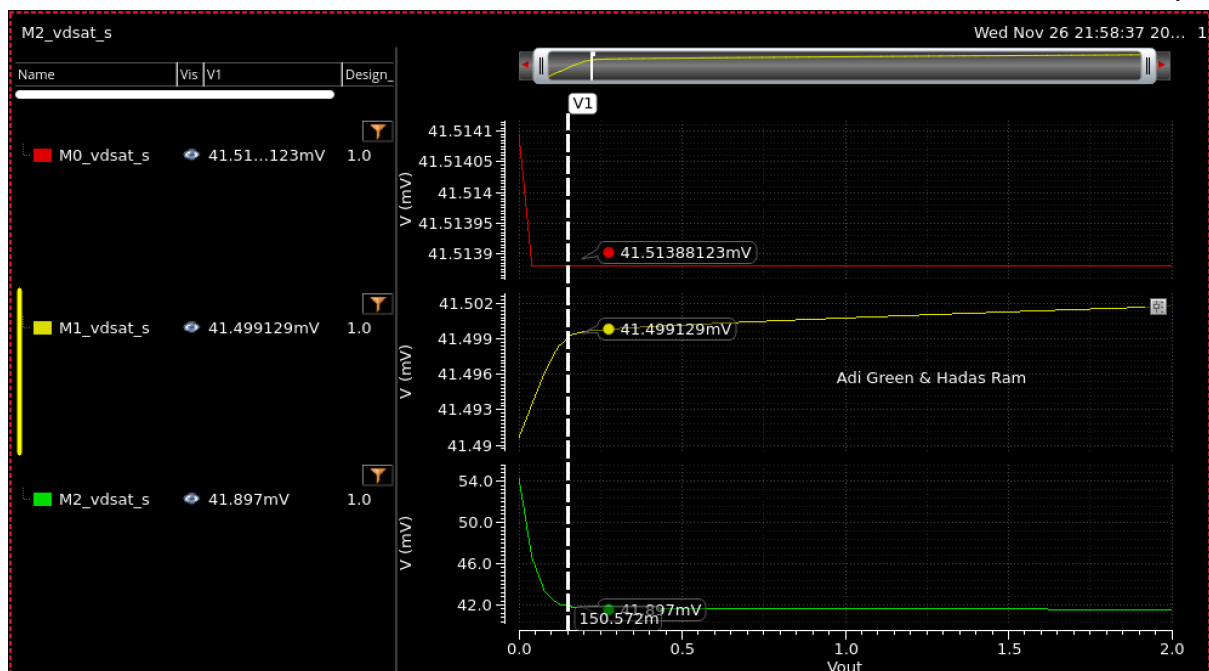
ניתן לראות הטרנזיסטורים נכנסים לסטורציה עבור ערך V_{out} נמוך יותר.

גרף של V_{out} כתלות ב I_{out} :



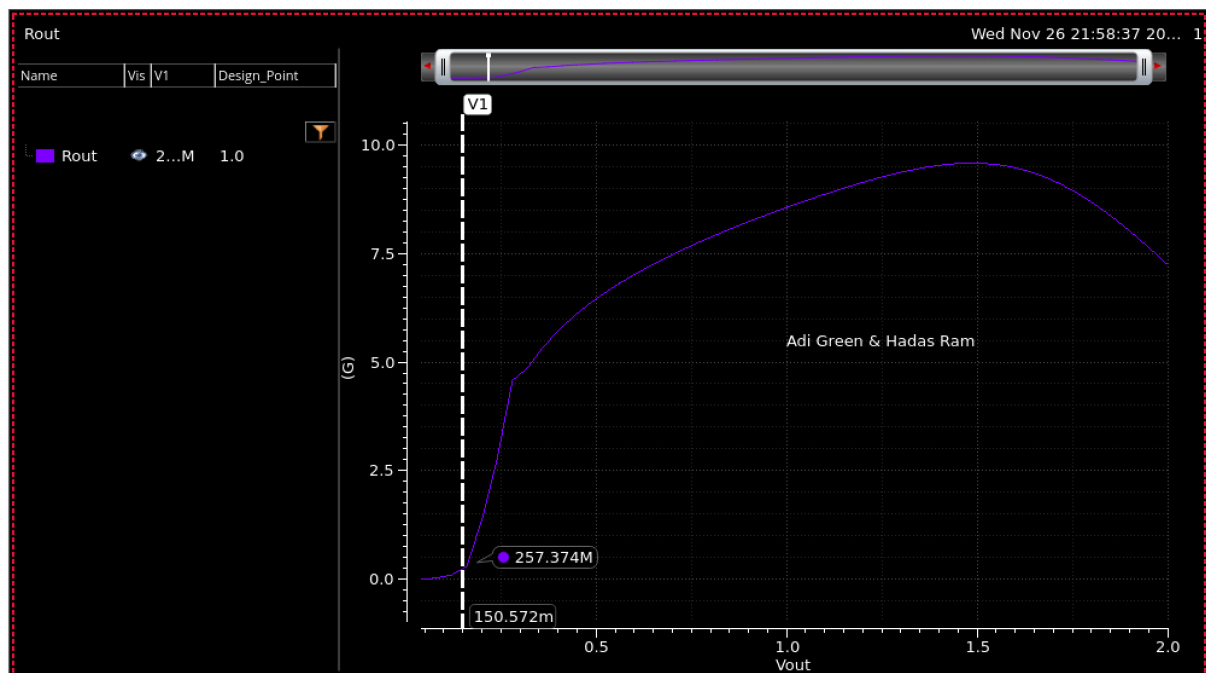
ניתן לראות מהגרף שאנחנו נכנסים לסטורציה עבור אחרים קטנים יותר של V_{out} . כיוון שהזרם קטן יותר והטרנזיסטור M0 מחובר בחיבור דיודי אז הוא נמצא בסטורציה....

גרף של V_{dsat} ים של הטרנזיסטורים M0 M1 M2 כתלות ב V_{out} :



ניתן לראות שערכי V_{dsat} ים שקיבלנו נמוכים יותר משמעותית עבור כל הטרנזיסטורים. הם קטנים יותר כיוון ש $V_{dsat} = V_{gs} - V_{th}$, כיוון שהזרם קטן יותר ובסטורציה הוא הולך כמו V_{gs} בריבוע, אזי V_{gs} קטן יותר מה שמקטין גם את V_{dsat} ים.

גרף Rout כתלות בVout:



ניתן לראות שההתנגדות עדיין גדולה ככל שנכנסים לסטורציה, אך הפעם העלייה של ההתנגדות מתחילה עבור ערך Vout נמוך יותר. ובנוסף, קבלנו כי ההתנגדות גדולה יותר בכמה סדרי גודל מאשר ההתנגדות כשמקור הזרם יותר גבוה, כי כפי

$$R_{out} = \frac{1}{\left(\frac{\partial I_{out}}{\partial V_{out}}\right)}$$

שהסברנו- אנחנו מחשבים את הזרם לפי הנוסחה: $\left(\frac{\partial I_{out}}{\partial V_{out}}\right)$ וכאשר Iout קטן ו-Vout נשאר קבוע (כי הגרף רץ על ערכים קבועים) אז ROUT גדל, כפי שקבלנו.

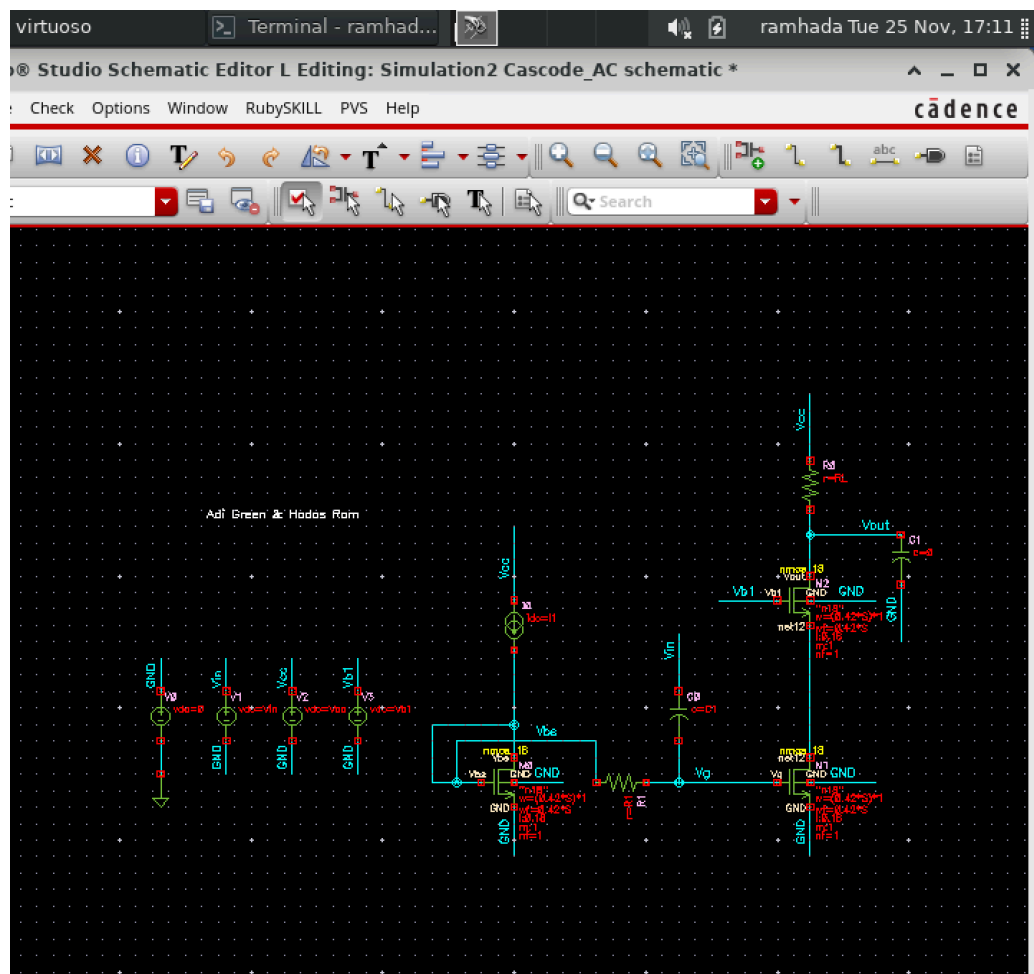
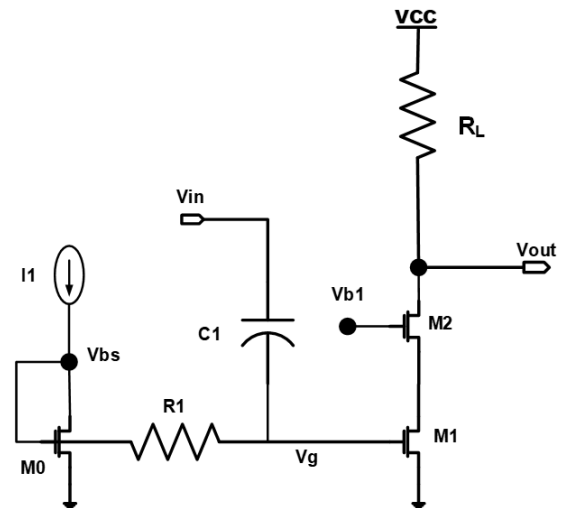
EXPLANATIONS AND DISCUSSION:

יצרנו מעגל Cascode, על מנת שמעגל זה יעבוד כרצוי נרצה שכל הטרנזיסטורים יהיו בסטורציה. כאשר אנחנו נמצאי בסטורציה ראינו שהתנגדות של cascode היא התנגדות גדולה מאוד. ראינו שעבור זרם קטן יותר שני הטרנזיסטורים נכנסים לסטורציה עבור מתח Vout קטן יותר, וכי ההתנגדות ROUT גדולה יותר.

2C – Cascode AC

2B.1 – DC

התבקשנו ליצור מעגל כר:



בחרנו את הערכים כך:

Click to add analysis	
Design Variables	
C1	1p
I1	10n
R1	10k
RL	1G
Vb1	761.379m
Vin	1
S	4
Vcc	12
Click to add variable	

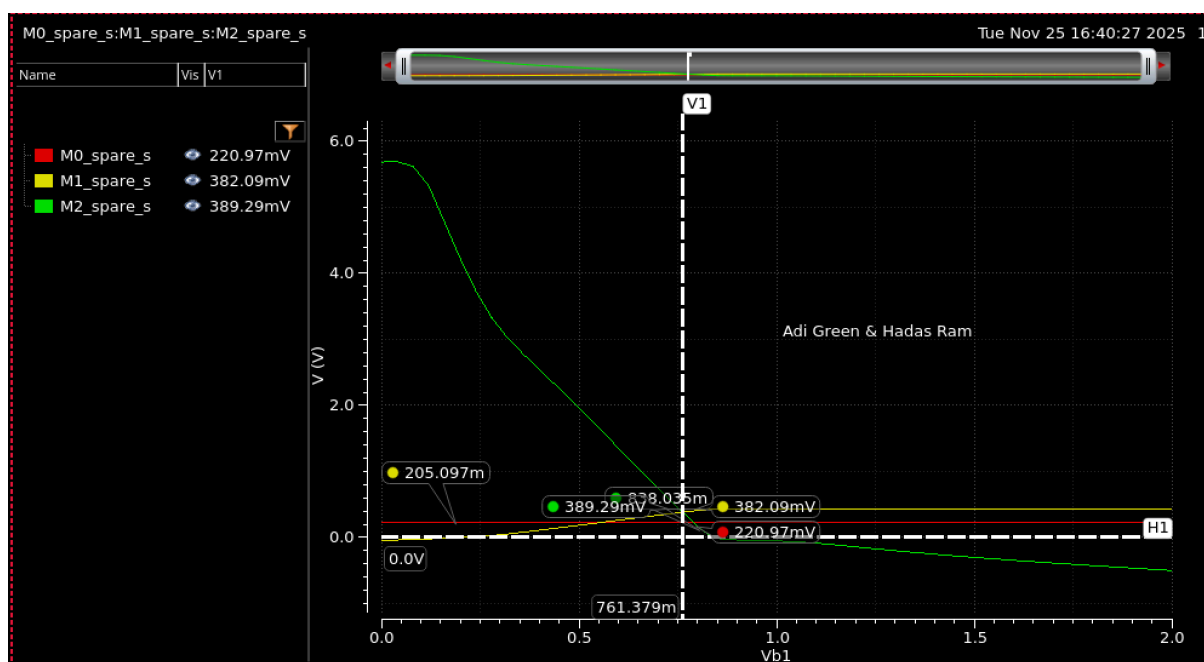
בחרנו בזרם הגדול ביותר לפי הטווח של המטלה שהוא 10nA . נגדיל את W של שלושת הטרנזיסטורים פי 4, וכך נקבל שהזרם יעבור מהר יותר ולכן נקבל התנגדות קטנה יותר עבור התנגדות של ה-cascode, כלומר R_{OUT} קטן יותר כפי שאנו רוצות.

כיוון שהתנגדות ה-cascode גדולה נרצה R_L יהיה באותו סדר גודל כי שנסביר בהמשך, ולכן בחרנו $R_L = 1\text{Gohm}$.

לפי חוק אוהם, נקבל שהמתח יפול על הנגד R_L הוא: $V = IR = (10^{-9}) * (10^9) = 10\text{v}$.
 התבקשנו ש- $V_{out} = 1\text{v}$, ולכן נבחר ש- $V_{CC} = 12\text{v}$ (ולא 11v בגלל הקיבולים הפרזיטים).
 בחרנו $V_{in} = 1\text{v}$, אך ערך זה לא משנה כי בסימולציית dc הקבל הוא נתק.

הרצנו סימולציית DC על V_{b1} .

גרף של Sparen כתלות ב- V_{b1} :



כאשר ה Spare גדול מ- 0v , הטרנזיסטור נמצא בסטורציה.
 בחרנו $V_{b1} = 761.379\text{v}$, שזהו המתח שבו שלושת הטרנזיסטורים נמצאים בסטורציה.

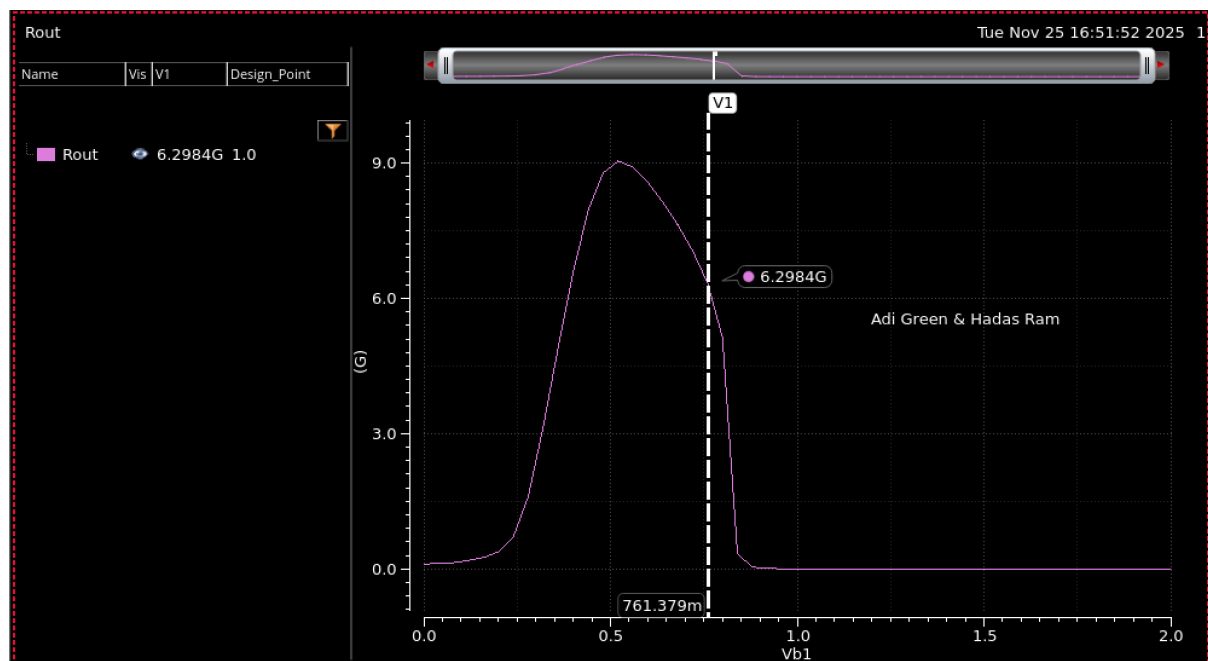
חישובנו את R_{out} באמצעות הנוסחה שלמדנו בהרצאה:

$$R_{out} = [1 + (g_{m2} + g_{mb2})r_{o2}]r_{o1} + r_{o2}$$

$$\approx r_{o1}r_{o2}(g_{m2} + g_{mb2})$$

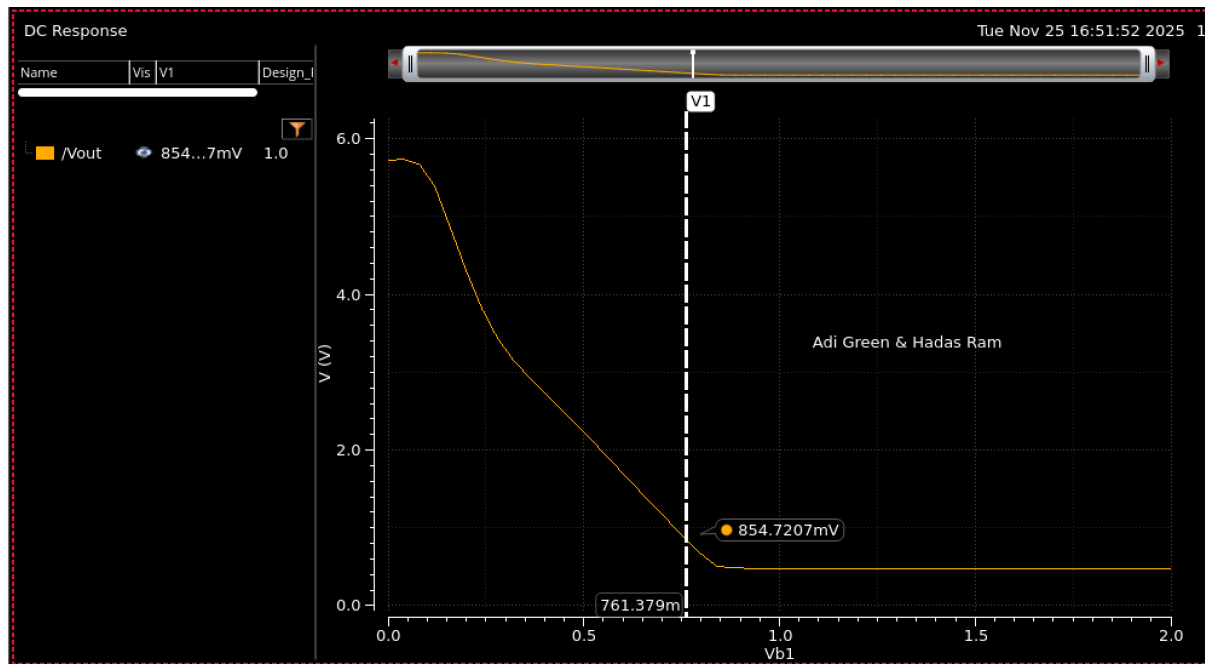
Rout	expr	(M1_rout_s * M2_rout_s * (M2_gm_s + M2_gmb_s))
------	------	--

גרף של R_{out} כתלות ב- V_{b1} :



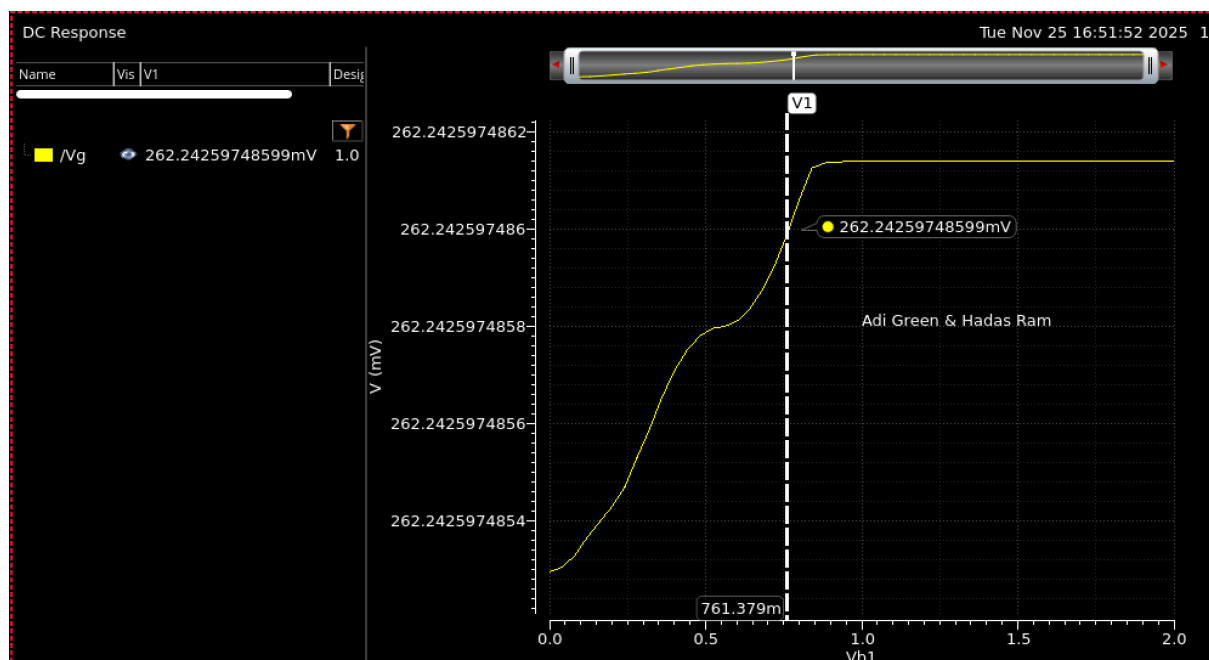
קבלנו שעבור המתח V_{b1} שבחרנו, $R_{out}=6.2984 \text{ GOhm}$. קיבלנו R_{out} הוא מאותו סדר גודל כמו שהגדרנו את $R_L=1\text{GOhm}$. נרצה ששני הנגדים יהיו באותו סדר גודל כי במודל אות קטן שני הנגדים במקביל, ונרצה להתחשב בהתנגדות של R_{out} ולא להזניח אותו, ולכן דאגנו שהוא לא יהיה יותר גדול בסדר גודל מ- R_L . ניתן לראות כי עבור הטווח שכל שלושת הטרנזיסטורים נמצאים בסטורציה כפי שראינו בגרף של ה-spare, ההתנגדות היא גדולה מאחר שמדובר ב-high impedance.

גרף של V_{out} כתלות ב- V_{b1} :



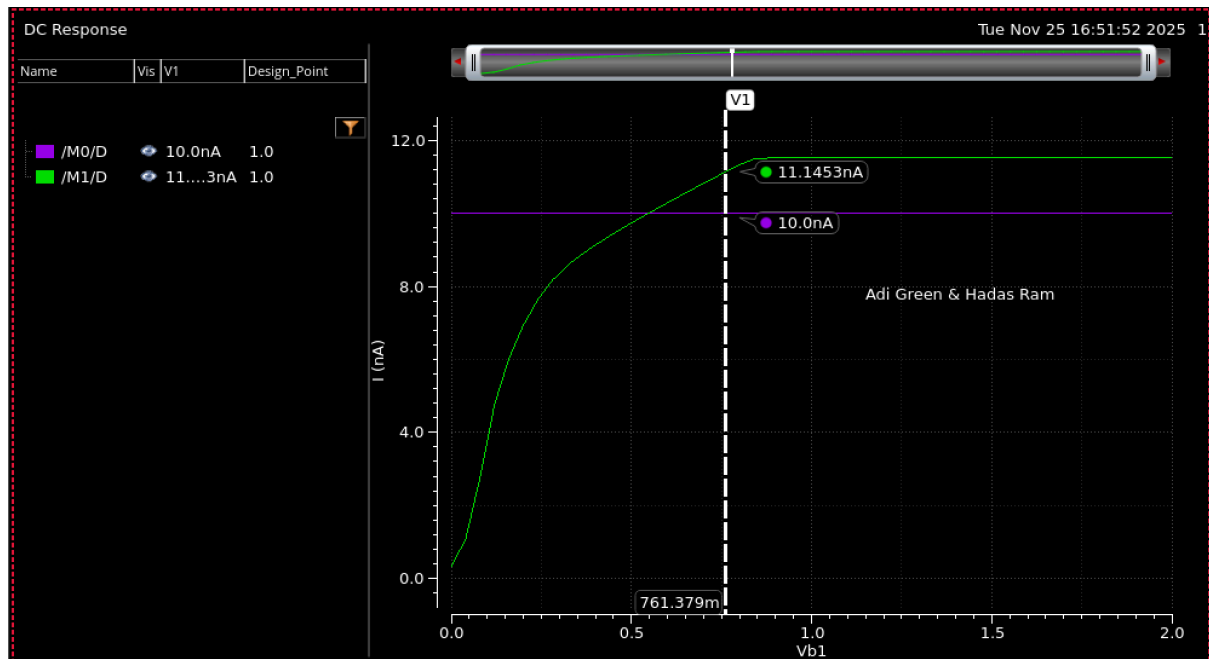
עבור המתח V_{b1} שבחרנו, קבלנו: $V_{out}=854.7207\text{mV}$, כפי שהתבקשנו למצוא ערך ל- V_{out} באזור 1V. ניתן לראות כי יש היפוך בין הכניסה V_{b1} לבין המוצא V_{out} , עד הרגע שבו הטרנזיסטור M2 יוצא מסטורציה.

גרף של V_g כתלות ב- V_{b1} :



עבור המתח V_{b1} שבחרנו, קבלנו כ- $V_g=262.242\text{mV}$, ערך קטן מאד כיוון שהזרם עובר דרך טרנזיסטור M0.

הזרמים של I0, I1 כתלות ב-Vb1:



ניתן לראות שעבור המתח Vb1 שבחרנו, מתקבלת מראת זרם כמעט מדויקת, יש הפרש בין הזרמים. הפרש זה נובע מאפקט התקצרות התעלה.

נרצה לחשב את ההגבר Av של המעגל.
נשתמש בנוסחה שלמדנו בהרצאה:

$$A_V \approx -g_{m1} \{ [r_{o1} r_{o2} (g_{m2} + g_{mb2})] \parallel R_D \}$$

$$R_{out} = \{ [1 + (g_{m2} + g_{mb2}) r_{o2}] r_{o1} + r_{o2} \} \parallel R_D$$

$$\approx [r_{o1} r_{o2} (g_{m2} + g_{mb2})] \parallel R_D$$

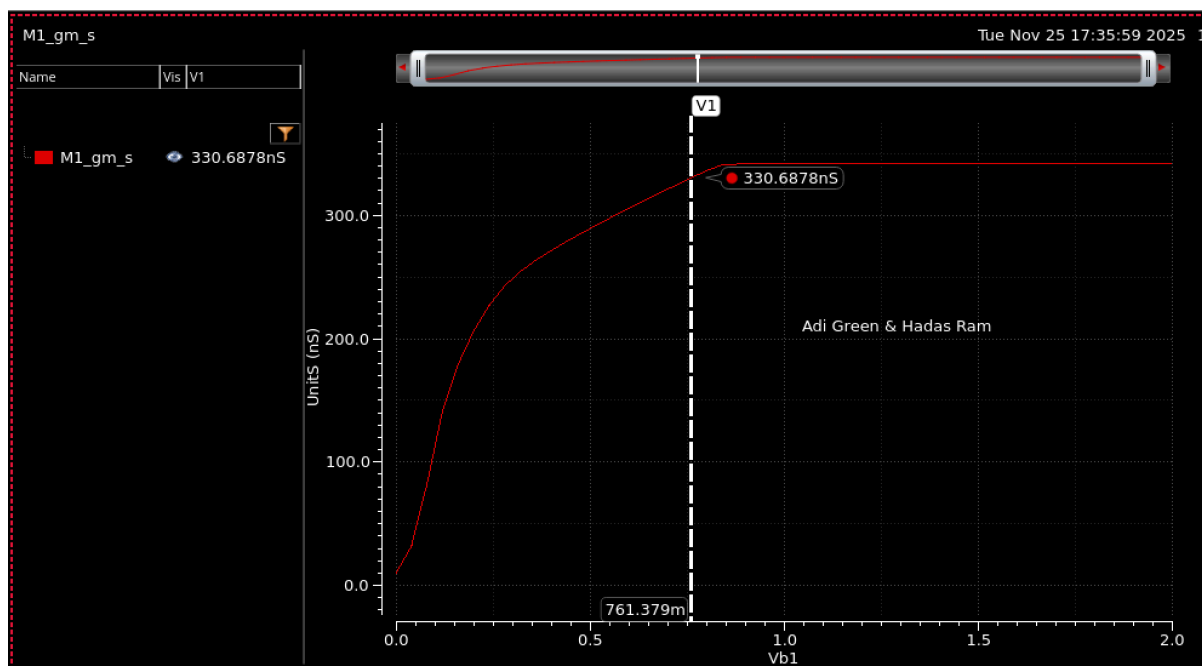
נזכיר כי

$$A_v = -g_{m1} * (R_{out} \parallel R_L) = -g_{m1} * \frac{R_{out} * R_L}{R_{out} + R_L}$$

ולכן:

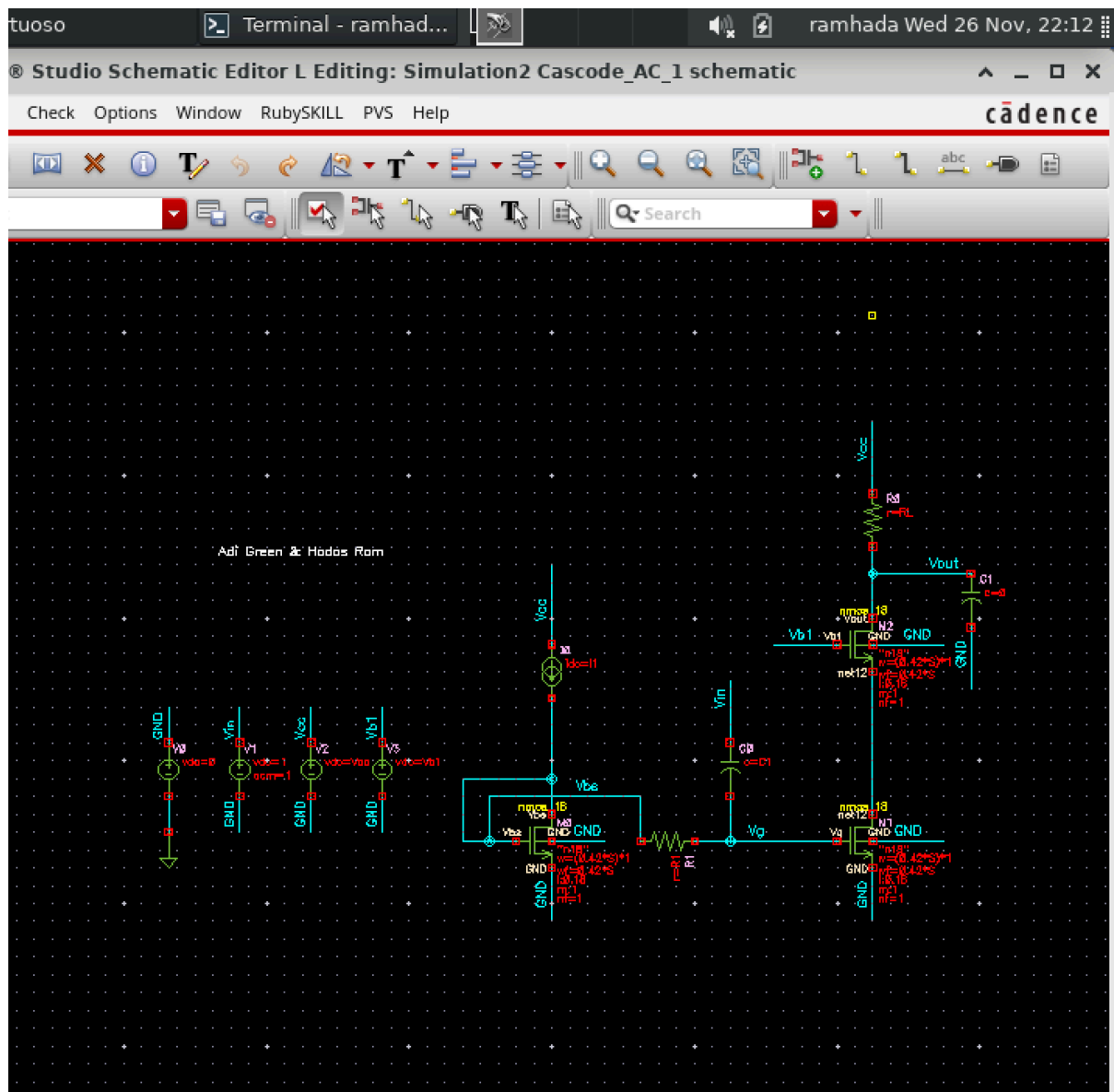
נרצה למצוא את gm1, עבור החישוב.

גרף של gm1 כתלות ב-Vb1:



כלומר מצאנו ש- $gm_1 = 330.6878\text{nS}$
 וכפי שאמרנו: $R_{OUT} = 6.2984\text{ G}\Omega$, $R_L = 1\text{ G}$
 ולאחר שהצבנו בנוסחה קבלנו ש- $A_v = -285.378$
 ובהמרה לדציבלים: $20\log(|A_v|) = 20\log(285.378) = 49.108\text{ dB}$

2B.2 – Ac



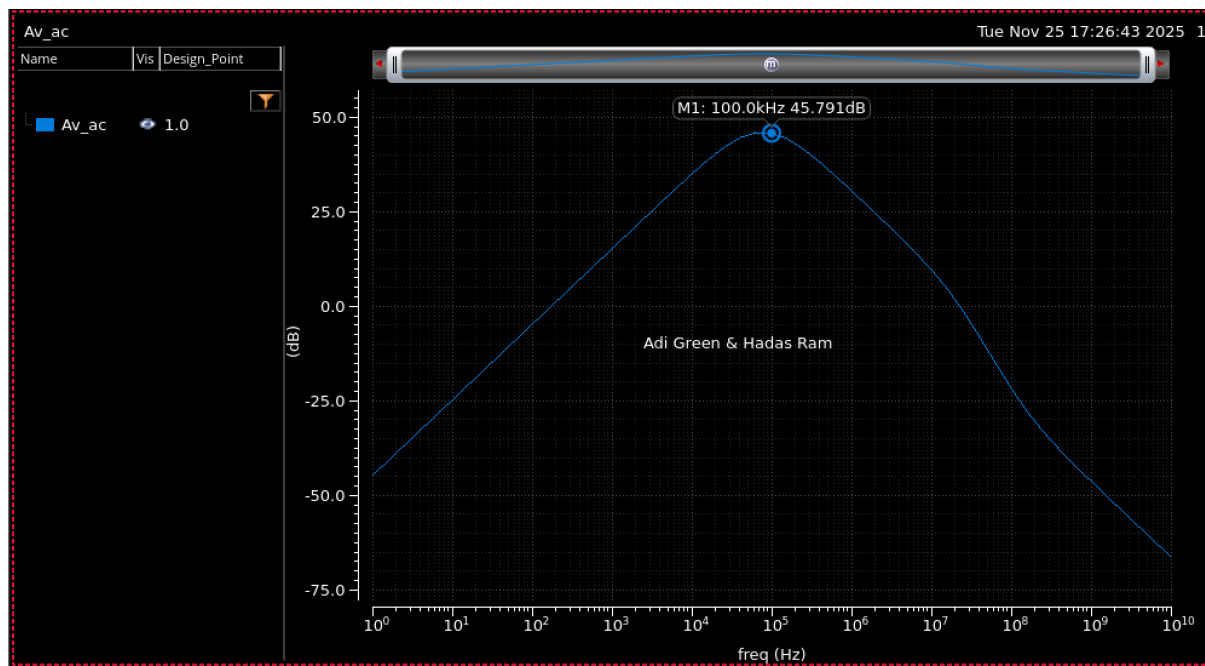
שמו מתח AC עם אמפליטודה של 1v בכניסה.

נרצה לחשב את ההגבר ע"י הנוסחה שלמדנו ונעביר לדציבלים:

$$A_v = V_{out}/V_{in}$$

Av_ac	expr	$\text{dB20}((V_F("/V_{out}")) / V_F("/V_{in}"))$
-------	------	---

גרף של A_v כתלות בתדירות:



ניתן לראות שקיבלנו הגבר סביב התדר של 10^5 .
ניתן לראות שקיבלנו BPF. במסנן BPF יש 2 קטבים, מאחר שהסיגנל עובר דרך הקבל של HPF (מעגל RC), ואז בטרנזיסטור שהוא בעל קבל פרזיטי (קוטב שני שמתקבל מסדר שני).

קיבלנו שההגבר בדציבלים הינו: $A_v = 45.791\text{dB}$.
כפי שהראנו, מהחישוב התיאורטי מהנוסחה קיבלנו ש- $A_v = 49.108\text{dB}$, שאלו ערכים מאד קרובים. ההבדל כנראה נובע מההזנחות של החישוב התיאורטי.

EXPLANATIONS AND DISCUSSION:

גם בסעיף זה יצאנו Cascode, אך כיוון שרצינו לעשות סימלוציית AC ולראות איך המעגל מגיב לאות קטן הוספנו קבל ונגד (מעגל RC).
הזרם במעגל קטן מאוד, ועל מנת שהמעגל יעבוד כמתוכנן נאלצנו למצוא ערכים למתחים ועוד כדי ששני הטרנזיסטורים יהיו בסטורציה. בנוסף לכך על מנת שבאות קטן לא נקבל מקרה מנוון בו ההתנגדות של מעגל Cascode "זניח" לעומת הנגד RL (במודל אות קטן), דאגנו ששני ההתנגדויות יהיו מאותו סדר גודל, שהוא גדול מאוד בגלל ההתנגדות Cascode.
הבנו שהמעגל הוא מעגל שיוצר הגבר גבוה (בזכות ההתנגדות הגדולה של Cascode) ומצאנו אותו, ובנוסף לכך כפי שכתבנו קיבלנו BPF.
בנוסף, גילינו שהנוסחה התאורטית היא לא ממש מדויקת כפי שציפינו ואכן יש הבדל בין התוצאה שלה לבין ההגבר האמיתי של המעגל.