

# Simulation #2 Template:

## Source Follower and Cascode

מגישים:

שחר אדמוני – 206591463

רותם סילם – 206663437

2A SOURCE FOLLOWER (40 pts) .....	2
2B – Cascode DC : (30 pts) .....	8
2C – Cascode AC (30 pts) .....	14
EXPLANATIONS AND DISCUSSION: .....	19

## 2A SOURCE FOLLOWER (40 pts)

### Simulation #2 Template: Source Follower and Cascode:

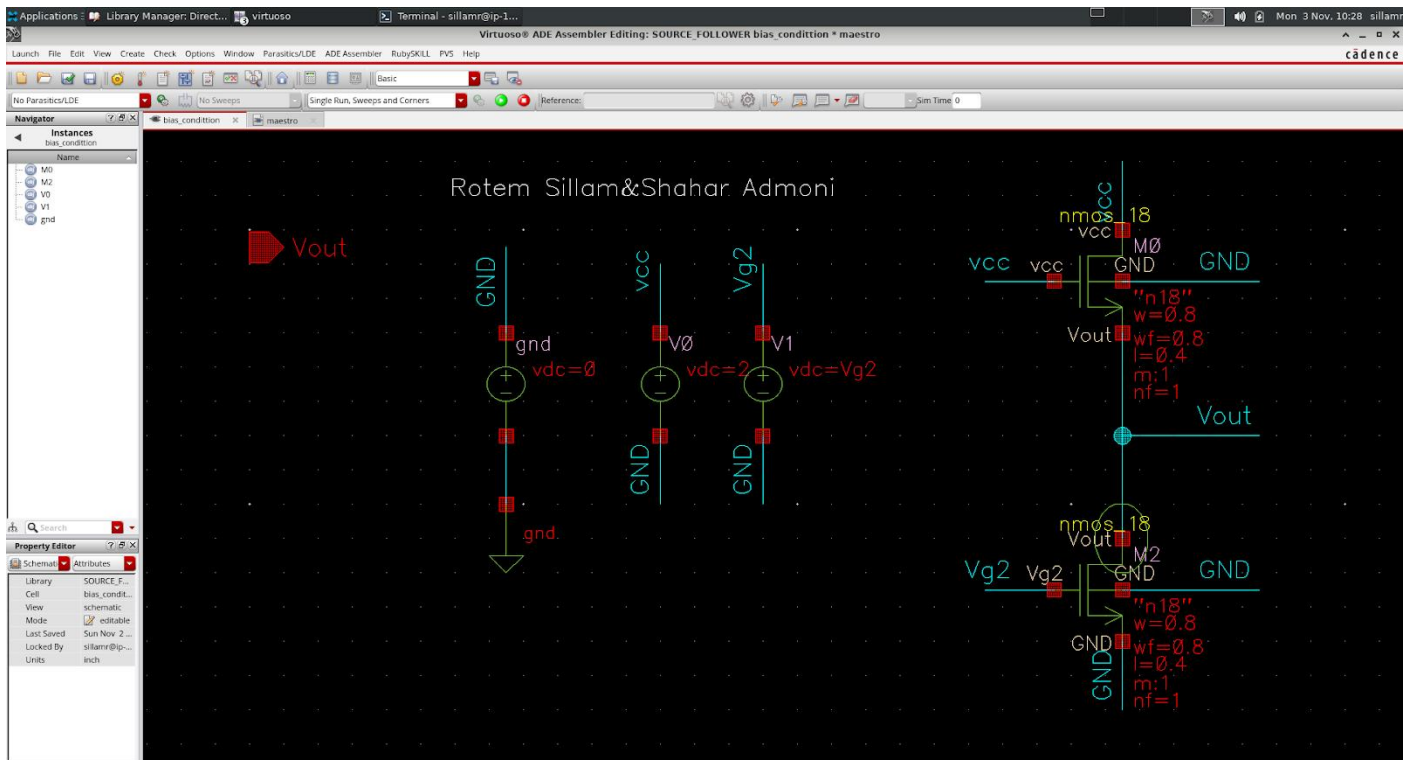
Please place all schematics, graphs, and explanations under the relevant subsection. It is OK to add some discussion at the end of the sections.

## 2A SOURCE FOLLOWER (40 pts)

### 2A.1 - BIAS CONDITIONS(10)

הטכנולוגיה  $L=0.18$  ← נבחר  $L=0.4$  כך שיהיה לפחות פי 2 מהטכנולוגיה כנדרש.

נבחר  $W=0.8$  על מנת ש-  $W/L$  יהיה בטווח בין 4-1. אצלנו  $\frac{W}{L} = 2$ .



### EXPLANATIONS AND DISCUSSION:

זהו מעגל מגבר מסוג Source Follower, כלומר Source עוקב אחרי  $V_{in}$ . במקרה שלנו  $V_{out}$  עוקב אחרי  $V_{in}$ .

M2 משמש כמקור זרם (כעומס) – ממה שלמדנו עד עכשיו המקור זרם הכי טוב הוא טרנזיסטור בסאטורציה. הוא נשלט ע"י

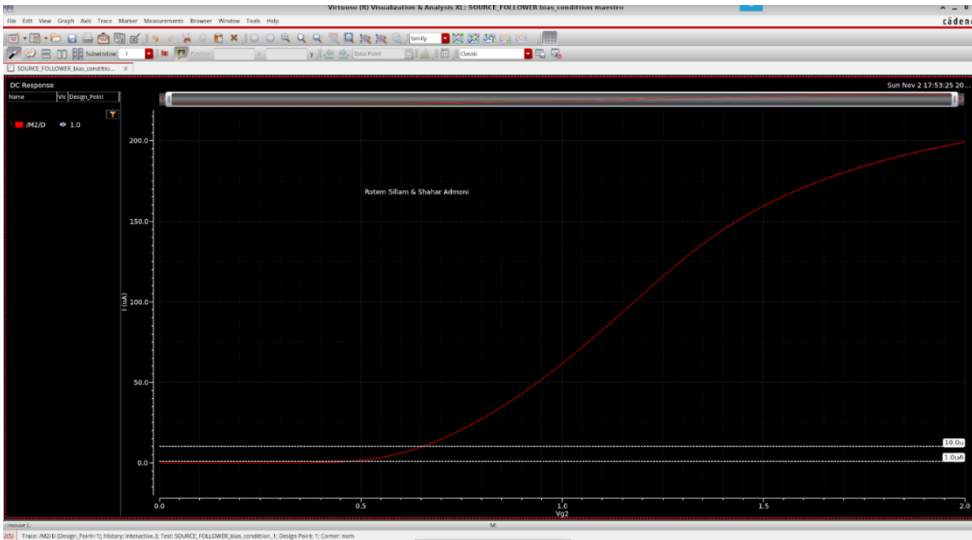
$V_{g2}$ , וקובע את הזרם שזורם דרך M1. אם הזרם  $I_D$  קבוע אז גם  $V_{gs1}$  קבוע לפי הנוסחה:  $V_{gs1} = V_{th} + \sqrt{\frac{2I_D}{k' \frac{W}{L}}}$ . אם

$V_{gs1}$  קבוע אז נקבל ש  $V_{OUT}$  משתנה בהתאם לשינוי ב  $V_{IN}$  לפי הנוסחה  $V_{gs1} = V_{IN} - V_{OUT}$ . כאשר  $V_{in}$  יעלה, גם  $V_{OUT}$  יעלה באותו ערך על מנת לשמור על  $V_{gs1}$  קבוע. ולכן נקרא מעגל עוקב מקור.

## סימולציית DC – בדיקה עבור אילו ערכי $V_{g2}$ נקבל זרם בתחום $10\mu-1\mu$ :

ניתן יהיה לראות את תחום זרמים זה ע"פ הקווים הלבנים שהוספנו.

נצפה לראות עליה בגודל הזרם בעקבות עליה במתח. בשלב מסוים, הרכיב נכנס למצב סאטורציה והזרם על סף הגודל המקסימלי. להלן הגרף:



Nmos תחתון:

Nmos עליון:

$$V_{gs} = V_{g2}$$

$$V_{gs} = V_{cc} - V_{out}$$

$$V_{ds} = V_{out}$$

$$V_{ds} = V_{cc} - V_{out}$$

$$V_{bs} = 0$$

$$V_{bs} = -V_{out}$$

נבחר לעבוד בסעיפים הבאים עם  $V_{g2}=6\text{mv}$  שמפיק זרם  $I_{ds}\sim 6\mu\text{A}$

$$I_d = \frac{\mu C_{ox}}{2} \frac{W}{L} (V_{gs} - V_t)^2 \quad \text{נוסחה למצב סאטורציה:}$$

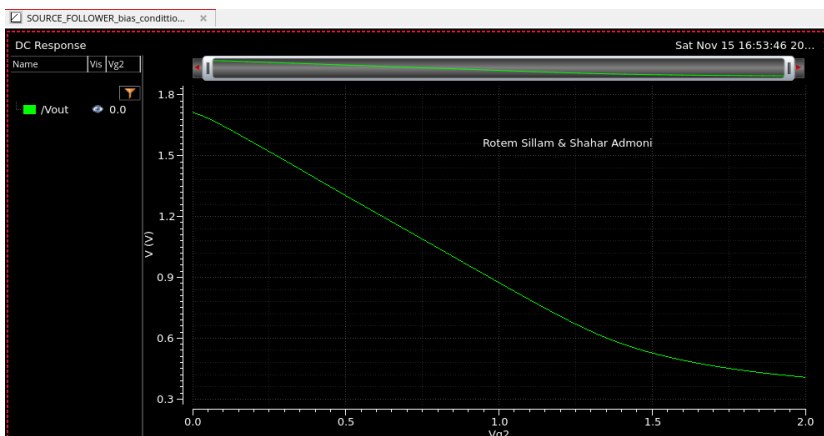
נשווה בין הזרם שמגיע מהsource של nmos העליון והdrain של nmos התחתון (אותו ענף לכן אותו זרם):

$$I_d = \frac{\mu C_{ox}}{2} 2(V_{g2} - V_t)^2 = \frac{\mu C_{ox}}{2} 2(V_{cc} - V_{out} - V_t)^2$$

$$V_{g2} = V_{cc} - V_{out}$$

$$V_{out} = 2 - V_{g2}$$

לכן נצפה כי ככל ש  $V_{g2}$  עולה, כך גם  $V_{out}$  יורד בהתאמה. נמחיש בגרף:



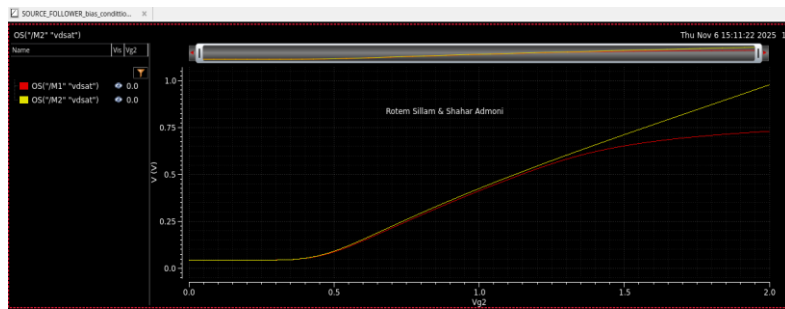
הסבר -

בשלב זה  $V_{in}$  הוא ערך קבוע ( $v_{in}=v_{cc}$ ).

כאשר  $v_{g2}$  עולה, ה  $Nmos$  התחתון ( $M2$ ) מקבל מתח שער גדול יותר, וכתוצאה מכך הזרם דרכו עולה. דבר זה מאלץ את  $M1$  להעביר זרם גדול יותר, וכדי שזה יקרה  $V_{gs1}$  צריך לעלות.

$$V_{GS1} = V_{in} - V_{out} = 2 - V_{out} \quad \text{כלומר על מנת ש } V_{GS1} \text{ יעלה, } V_{out} \text{ חייב לרדת.}$$

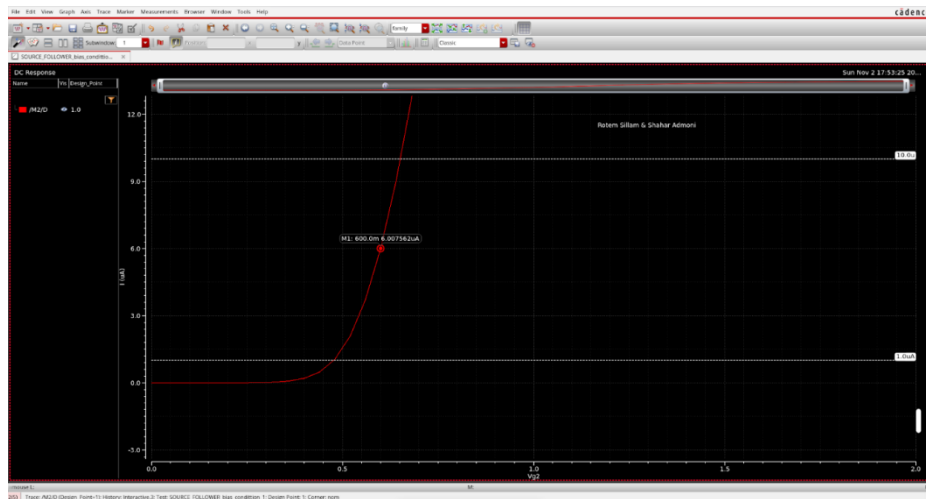
זה מה שאנחנו רואים פה.



בגרף הנ"ל ניתן לראות את מתח הסף כתלות במתח שער  $V_{g2}$  עבור 2 הטרנזיסטורים. בהמשך לנוסחה שצינו קודם נראה כי:

רכיב M1:  $V_{dsat} = V_{gs} - V_{th} = V_{in} - V_{out} - V_{th}$   
ניתן לראות שהקטנת  $V_{OUT}$  תגדיל את  $V_{dsat}$ .

רכיב M2:  $V_{dsat} = V_{gs} - V_{th} = V_{g2} - V_{th}$   
ניתן לראות שהגדלת מתח  $V_{g2}$  תגדיל את  $V_{dsat}$ .



מצאנו קודם לכן כי עבור  $V_{g2} = 600mV$ , כפי שנראה בתמונה אנחנו במצב סאטורציה. את המתח הנ"ל בחרנו כקבוע, וכעת נראה את הזרם שזורם בטרנזיסטורים. כמו כן, ניתן לראות כי הזרם עומד בתנאים שנאמרו לנו.

כעת ניתן לראות את הגרף של הזרם בכל אחד מהטרנזיסטורים (אותו הזרם בכיוון מנוגד).



הזרם במעגל זורם מהdrain של M2 לsource של M1, ולכן ניתן לראות בגרף האדום שהזרם עולה ככל ש  $V_{g2}$  עולה – בהתאם לנוסחה של זרם במצב סאטורציה:

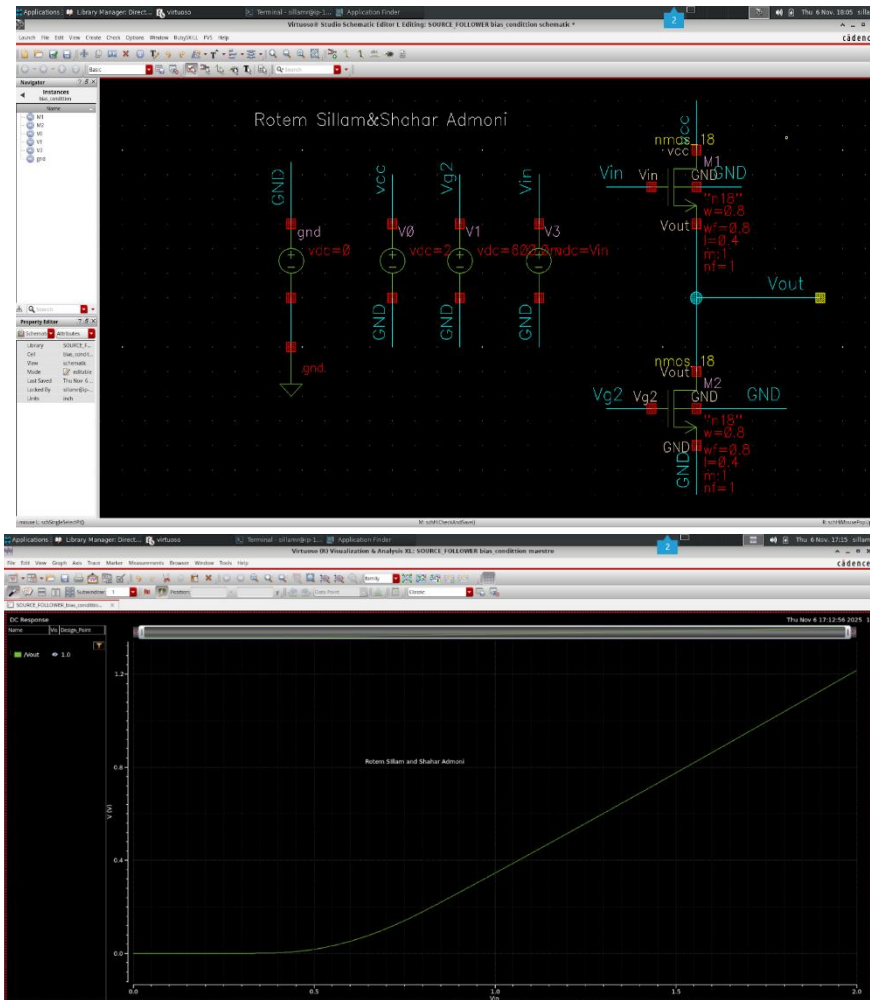
$$I_d = k'(V_{g2} - V_t)^2$$

הגרף הירוק זה אותו זרם בכיוון הפוך.

נציין עוד כי בסעיף זה יש BULK Effect משום שהוא מחובר ל-  $GND$  ואז נקבל:  $V_{bs} = 0 - V_{out} = -V_{out}$

כלומר מתח שלילי, לכן הוא ימשוך אליו חורים. כעת יהיו פחות חורים באזור התעלה. ב- Nmos עוברים בתעלה אלקטרונים, כלומר אפקט המצע בעל המתח השלילי מקשה יותר על המעבר, כלומר  $V_t$  גדול יותר מאשר שאין אפקט מצע.

## 2A.2 – DC SIM (15 pts)

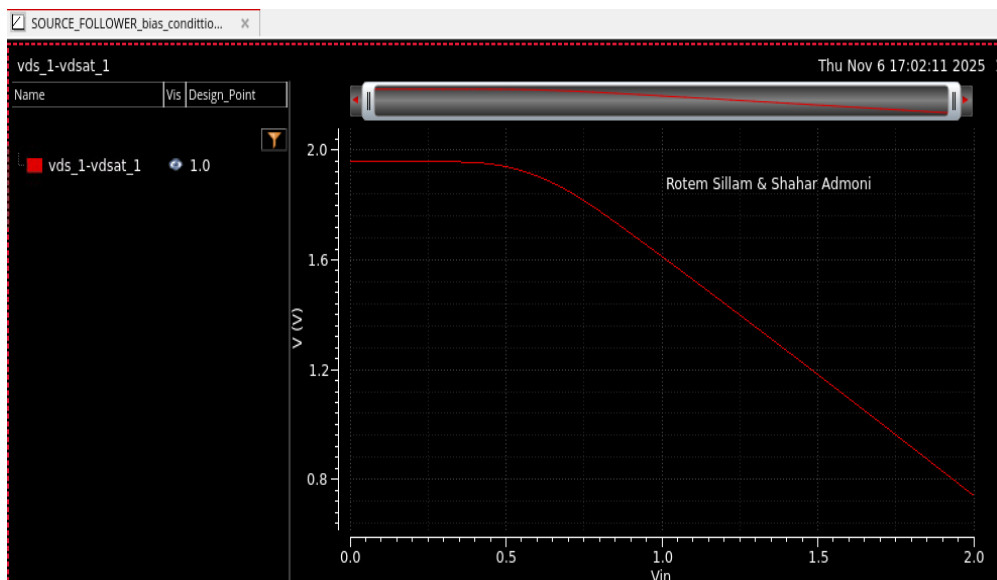


כעת נבצע סימולציה ונבדוק את שינוי מתח המוצא כתלות בשינוי מתח הכניסה.

נגדיר  $0 \leq V_{in} \leq 2V$

הגדרנו בנוסף  $V_{g2} = 0.6V$

ניתן לראות כי מתח המוצא עולה בהתאם לעליה במתח הכניסה. בנוסף הטרנזיסטור פועל בשני מצבים – קיטעון או סאטורציה.



נכתוב את התנאים לכל רכיב:

Nmos עליון – M1 תנאי סאטורציה:

$$V_{ds} > V_{dsat}$$

$$V_{ds} - V_{dsat} > 0$$

$$V_{cc} - V_{out} - (V_{gs1} - V_t) > 0$$

$$V_{cc} - V_{out} - (V_{in} - V_{out} - V_t) > 0$$

$$V_{cc} - V_{in} + V_t > 0$$

$$2 - V_{in} + V_t > 0$$

כלומר ככל ש  $V_{in}$  גדל נקבל ש  $V_{ds} - V_{dsat}$  קטן והתנאי לסטורציה יהיה יותר "קשה". הערך המקסימלי של  $V_{in}$  הוא 2V, ולכן נראה מהמשוואה שבגלל שיש  $V_t$  חיובי (Nmos כלומר אלקטרונים עוברים בתעלה ולכן  $V_t$  חיובי כדי למשוך אותם) נהיה תמיד בסאטורציה או בcutoff. נראה כי הערכים של ה spare מתמיד חיוביים.

## Nmos תחתון – M2 – תנאי סטורציה:

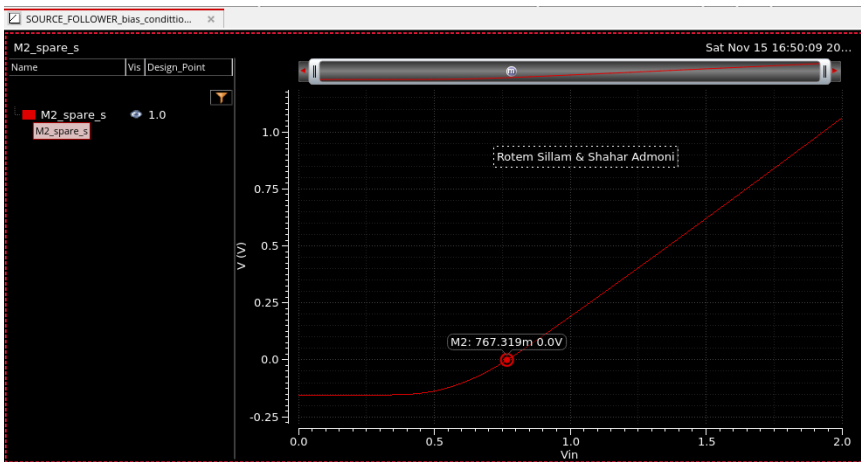
$$V_{ds} > V_{dsat}$$

$$V_{ds} - V_{dsat} > 0$$

$$V_{out} - 0 - (V_{g2} - V_t) > 0$$

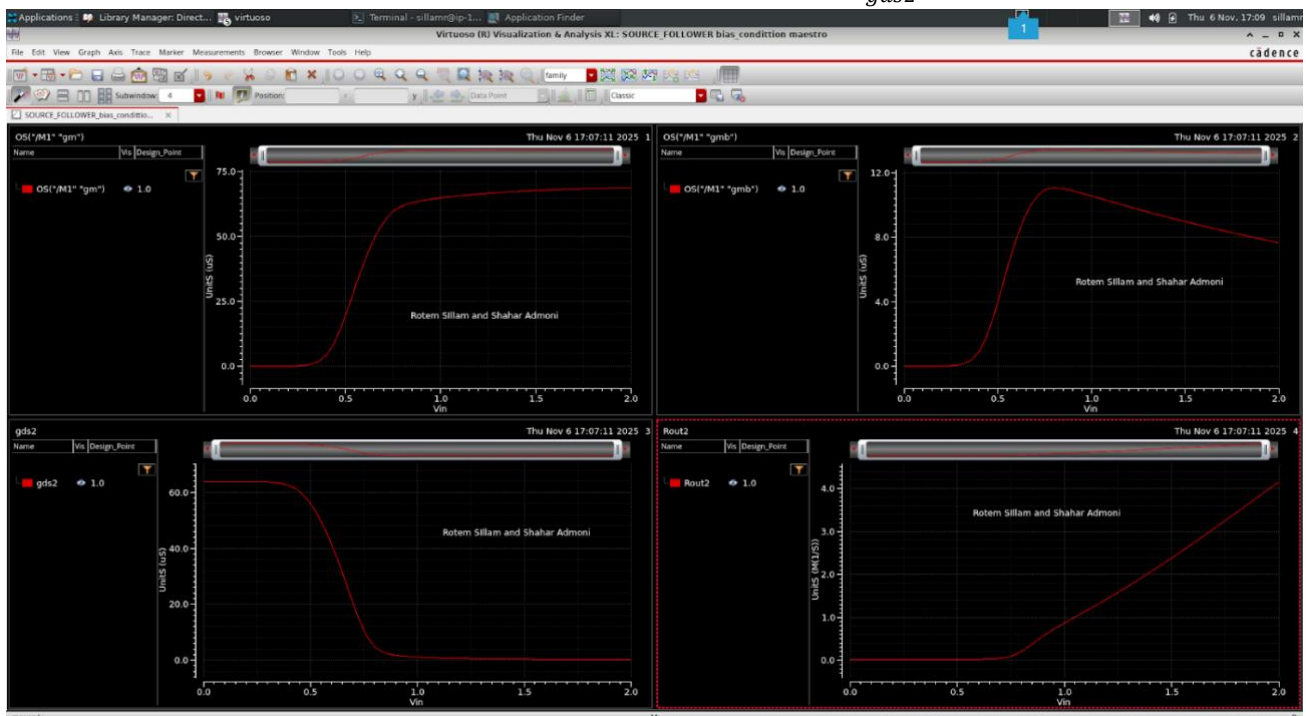
$$V_{out} - V_{g2} + V_t > 0$$

$$V_{out} - 0.6 + V_t > 0$$



ניתן לראות כי יש לנו מתח מוצא ממנו נחסר ערך קבוע (0.6V). החל מהנק' בה הגרף חוצה את ציר X, כלומר ערך משוואת החיסור חיובית ( $V_{ds} - V_{dsat} > 0$ ), אנחנו במצב רוויה (טרם לכן אנחנו במצב ליניארי). ערך זה כאמור על פי הוצאה מהגרף הינו:  $V_{in} = 737.482mV$

כעת ניתן לראות את הגרפים של:  $gm1, gmb1, Rout2 (= \frac{1}{gds2})$ :



- מכיוון שיש לנו אפקט מצע, יש לנו פלט לביטוי  $gm1 = \frac{\partial I_{D1}}{\partial V_{bs1}}$ , כלומר גרף של שינוי הזרם כתלות במתח המצוין. ניתן לראות כי בהתחלה הטרנזיסטור כבוי (השינוי בזרם שווה 0). לאחר מכן יש עליה חדה, כלומר שינוי חד בזרם.

- עבור ביטוי  $gm1 = \frac{\partial I_{D1}}{\partial V_{gs1}}$ :

כשהטרנזיסטור כבוי, הוא שווה לאפס כי אין זרם. לאחר מכן, הוא עולה בחדות לאחר הדלקת הרכיב, כי ככל שאנחנו נגדיל את מתח הכניסה גודל השינוי יגדל. בסטורציה למדנו כי  $gm \sim \sqrt{I}$  לאחר מכן, כאשר הרכיב נכנס לאיזור הליניארי, הוא פחות רגיש לשינויים, על כן הרגישות פוחתת ומתייצבת.

התנגדות המוצא מתנהגת כמו  $R_{out} \sim \frac{1}{\lambda I_D}$ , כלומר ביחס הפוך לזרם ולפיכך ככל שהזרם קטן, ההתנגדות שואפת לאינסוף. לכן, בהתחלה כשהטרנזיסטורים במצב ליניארי יש לנו עליה הדרגתית מאוד. לאחר מכן, בכניסה לאזור הסטורציה השינוי בזרם הוא קטן ועל כן התנגדות המוצא גדלה משמעותית. לבסוף, כשאנחנו כבר עמוק בתוך רוויה, השינוי בזרם הוא אפסי.

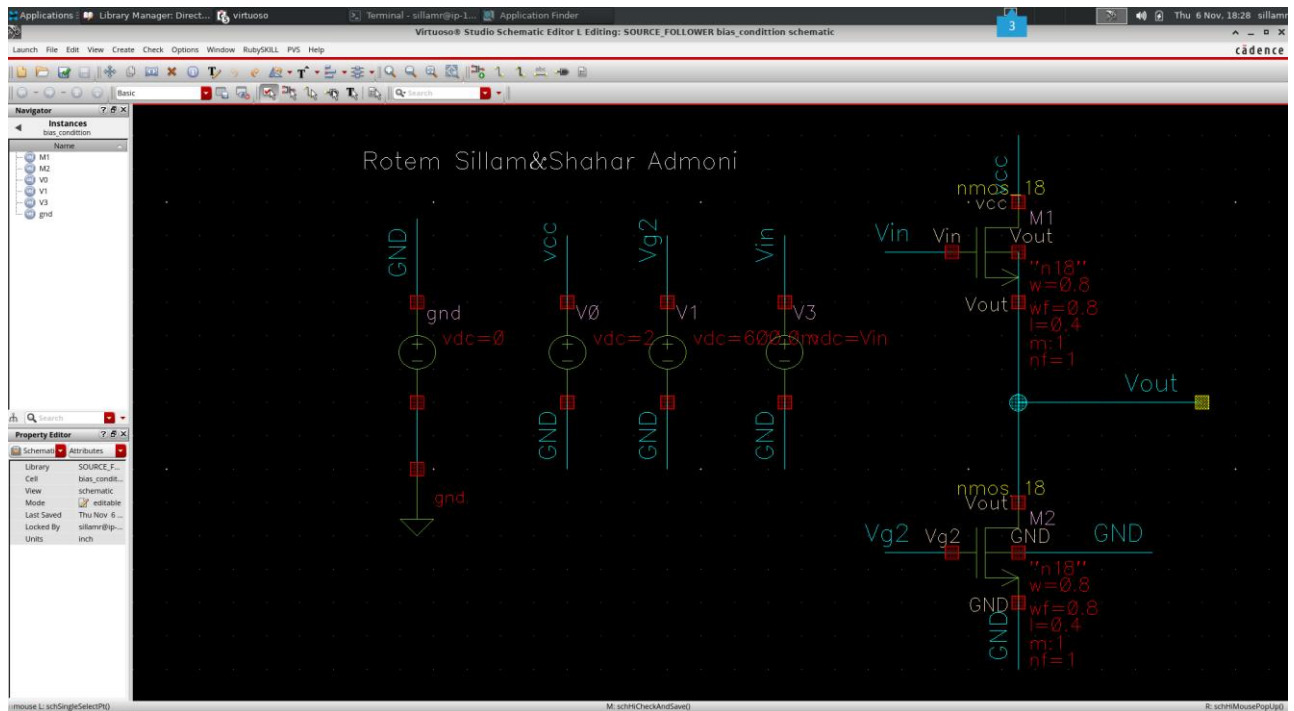
בגרף החישוב בוצע על ידי הסקריפט של שאנון אשר ניתן לראות גם את גרף gds.

## 2A.3 - DC SIM WITHOUT BULK EFFECT (15 pts)

בחלק זה ביטלנו את אפקט המצע על ידי חיבור ה-Bulk של טרנזיסטור M1 לחיבור מתח המקור.

$$V_{BS} = V_B - V_S = V_{OUT} - V_{OUT} = 0$$

כך נקבל  $V_{BS} = 0$



כפי שניתן לראות מהגרף, ערך מתח המוצא עבור מתח כניסה 2 וולט הינו גבוה יותר. זאת מפני שעבור ביטול אפקט המצע, מתח הסף שלנו קטן ולכן מתח המוצא גבוה יותר. הסבר ממשוואות:

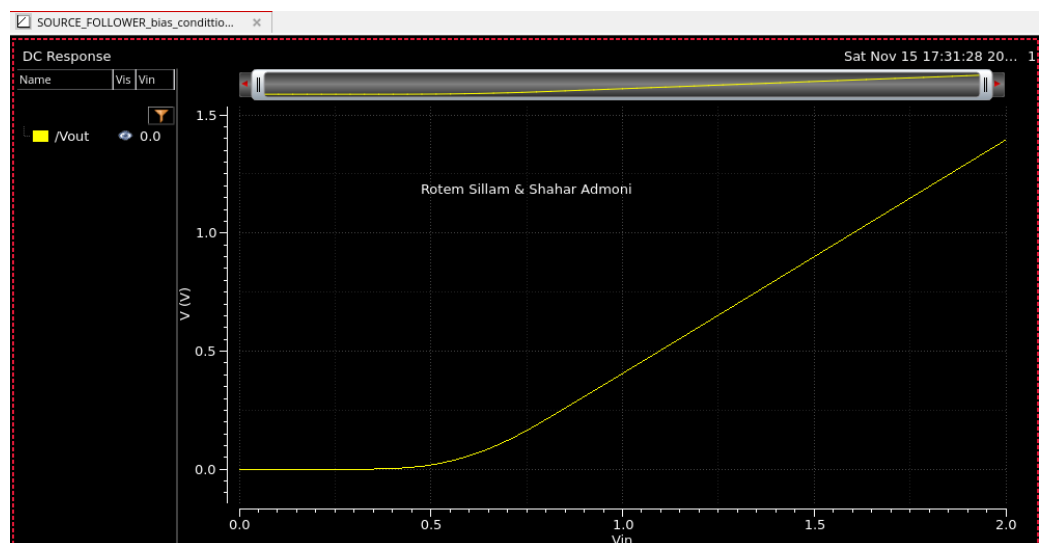
$$V_{GS1} = V_{in} - V_{out} \quad \text{במקרה שלנו } V_{GS} > V_{th} \text{ יותר "קל" יותר}$$

נקבל כתנאי להולכת זרם במעגל:

$$V_{in} - V_{out} > V_{th}$$

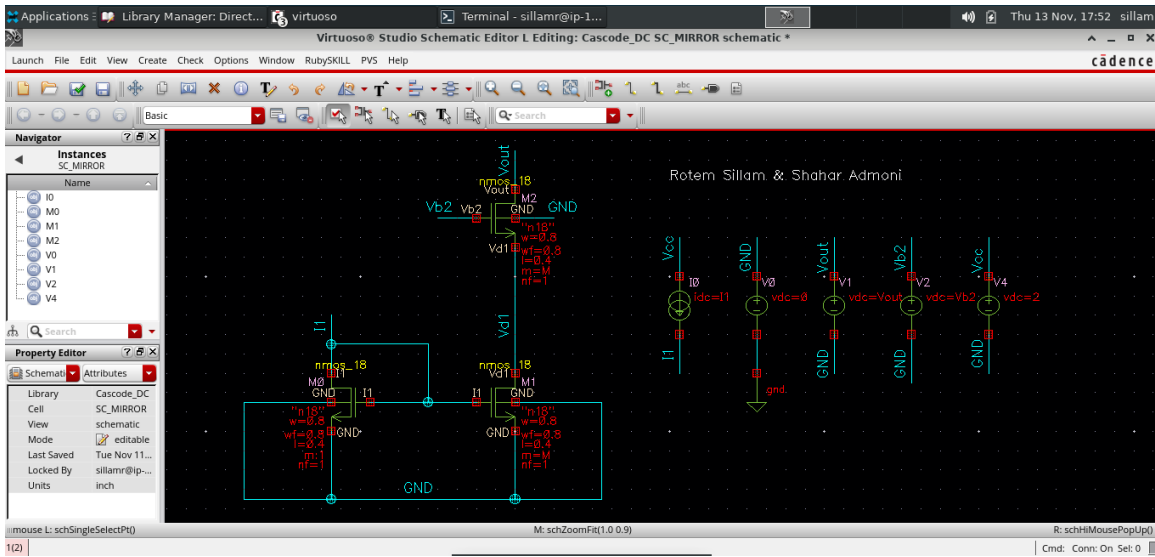
$$V_{in} - V_{th} > V_{out}$$

כלומר עבור  $V_{th}$  קטן יותר (ביטול אפקט המצע מקטין אותו), נקבל "תקרה" יותר גבוהה עבור מתח  $V_{out}$  ולכן הוא יוכל להיות גדול יותר.

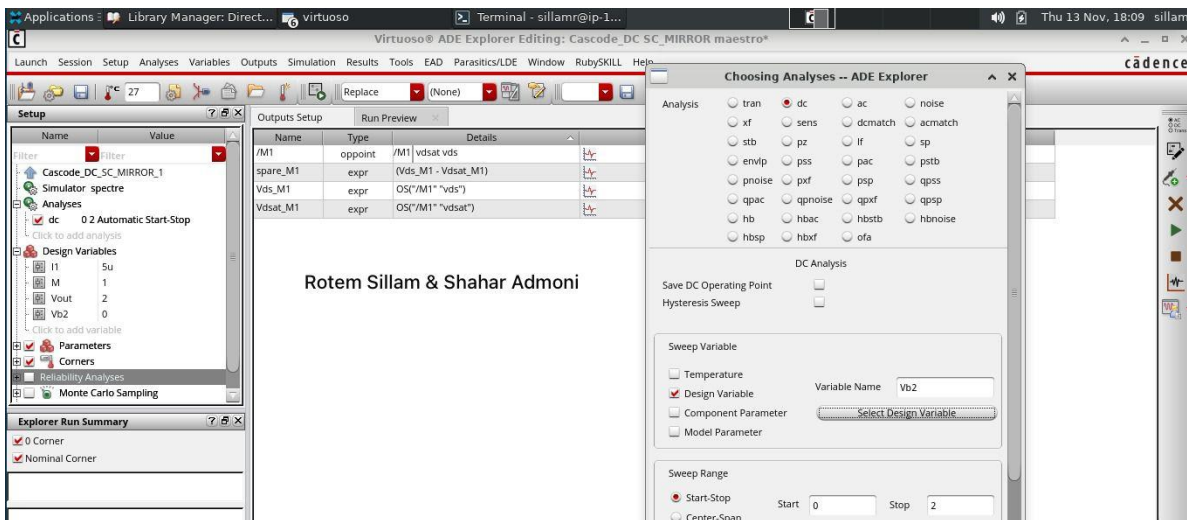




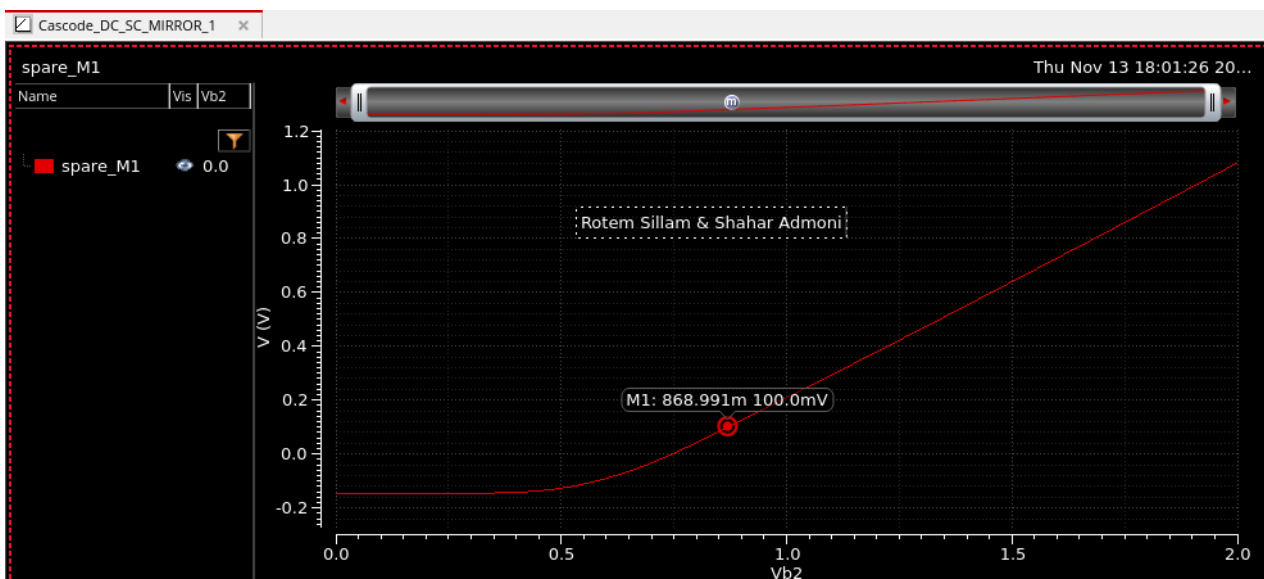
## 2B – Cascode DC : (30 pts)



### 2B.2 – Voltage Bias

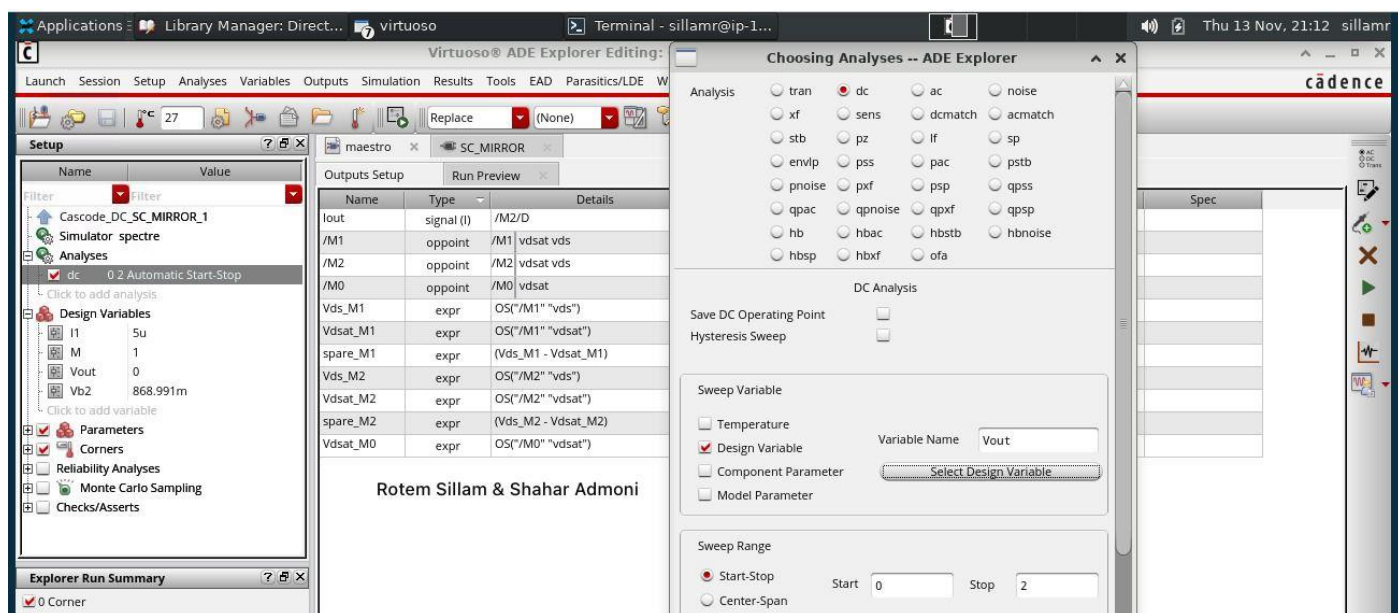


עבור מתח  $V_{ds_{M1}} - V_{dsat_{M1}} = 100mV$  נקבל שטרנזיסטור M1 בסאטורציה. נבחר  $V_{b2}$  בהתאם על מנת לעבוד באזור הסאטורציה. נראה בגרף שנקבל  $V_{b2} = 868.991mV$ .





## 2B. 3 to 5 – Iout vs. Vout



גרף Spare:

$$\text{Spare} = V_{ds} - V_{dsat}$$

עבור  $\text{Spare} < 0$  הטרנזיסטור במצב ליניארי (כי  $v_{ds} < v_{dsat}$ ).

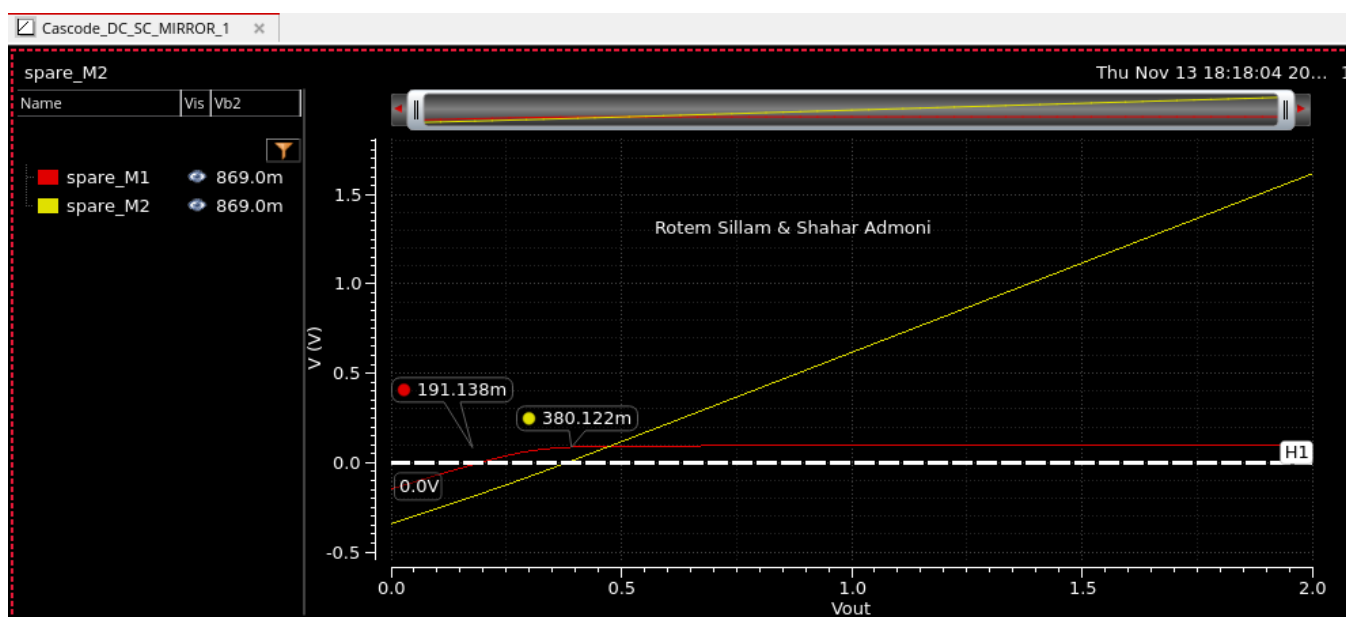
עבור  $\text{Spare} > 0$  הטרנזיסטור במצב סאטורציה.

M2	M1	
$V_{out} < 380.122mV$	$V_{out} < 191.138mV$	ליניארי
$V_{out} > 380.122mV$	$V_{out} > 191.138mV$	סאטורציה

Spare M2 – גרף ליניארי. הוכחה:

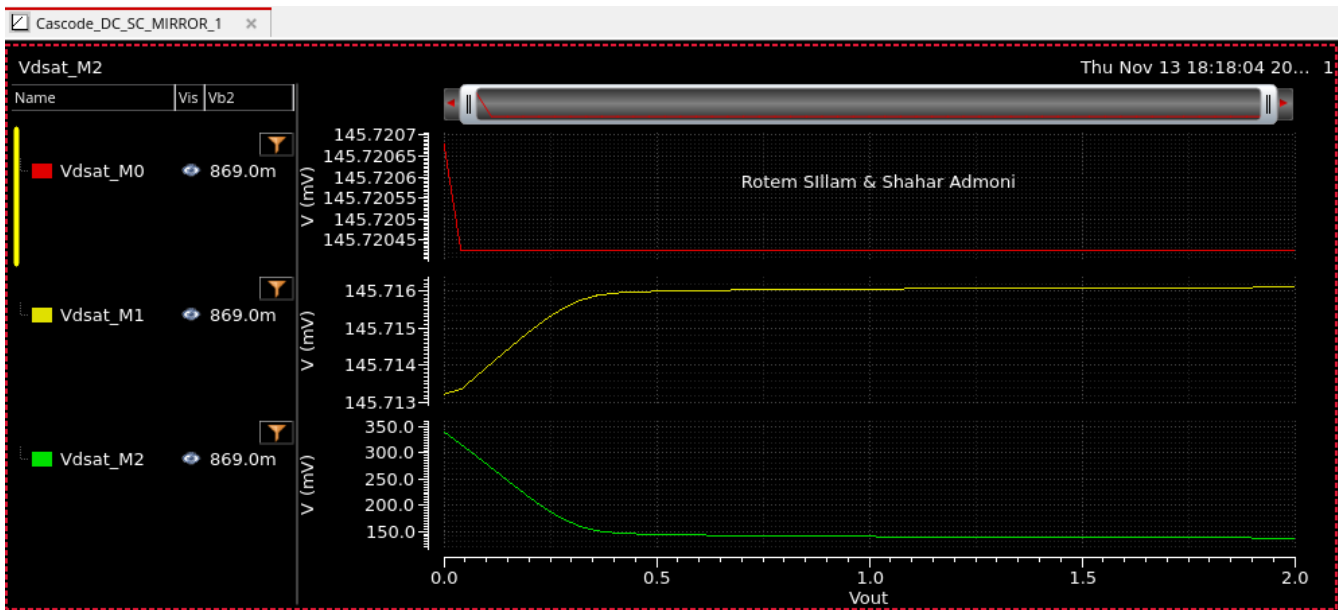
$$V_{ds2} - V_{dsat2} = V_{out} - V_{d1} - (V_{gs2} - V_{t2}) = V_{out} - V_{d1} - V_{b2} + V_{d1} + V_{t2} = V_{out} \frac{-V_{b2} + V_{t2}}{const}$$

$$V_{ds1} - V_{dsat1} = V_{d1} - V_{gs1} + V_t : \text{Spare M1}$$



## גרף Vdsat:

אפשר לראות שעבור M0, M1 vdsatn כמעט קבוע בגלל שהזרם דרכם לא משתנה, המתח בשער קבוע. M1, M2 הם היפוך אחד של השני.



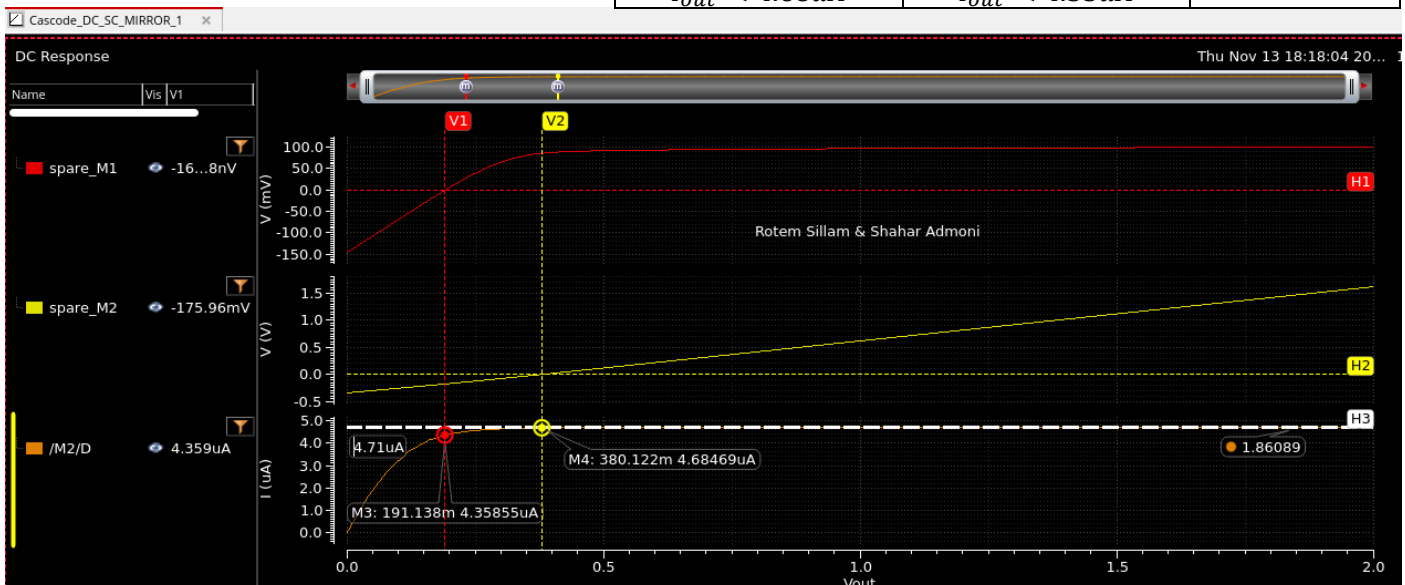
## גרף spare vs Iout:

חיתוך קווים אדומים – נקודת הכניסה לסאטורציה של M1

חיתוך קווים צהובים – נקודת הכניסה לסאטורציה של M2

מצבים עבור הזרם:

M2	M1	
$V_{out} < 380.122mV$	$V_{out} < 191.138mV$	ליניארי
$V_{out} > 380.122mV$	$V_{out} > 191.138mV$	סאטורציה
סאטורציה: $I_{out} > 4.68\mu A$ ליניארי: $I_{out} < 4.68\mu A$	סאטורציה: $I_{out} > 4.35\mu A$ ליניארי: $I_{out} < 4.35\mu A$	$I_{out}$ (גרף כתום תחתון)



תחילה שני הטרנזיסטורים במצב ליניארי.

החל מ  $V_{out} = 191.138mV$  טרנזיסטור M1 נכנס לסאטורציה. M2 עדיין במצב ליניארי.

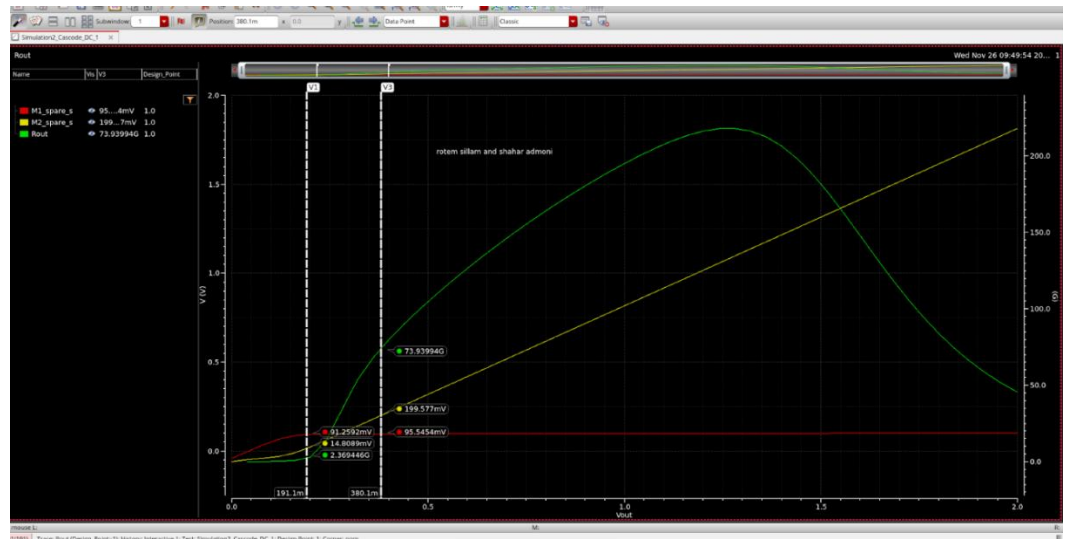
בכניסה לסאטורציה ההתנגדות גדלה על מנת לשמור על זרם קבוע, אך בגלל ש M2 עדיין במצב ליניארי, נראה עדיין עליה קטנה בזרם  $191.138mV < V_{out} < 380.122mV$

החל מ  $V_{out} = 380.122mV$  גם טרנזיסטור M2 יהיה בסאטורציה, כלומר ההתנגדות עכשיו גדולה מאוד, ולכן אנחנו רואים עלייה מאוד מינורית בזרם.

ניתן לראות שהזרם בסאטורציה מתייצב בערך על  $4.71\mu A$ , שזה כמעט הזרם שהכנסנו למערכת ( $I_{in} = 5\mu A$ ) כלומר קיבלנו מראת זרם.

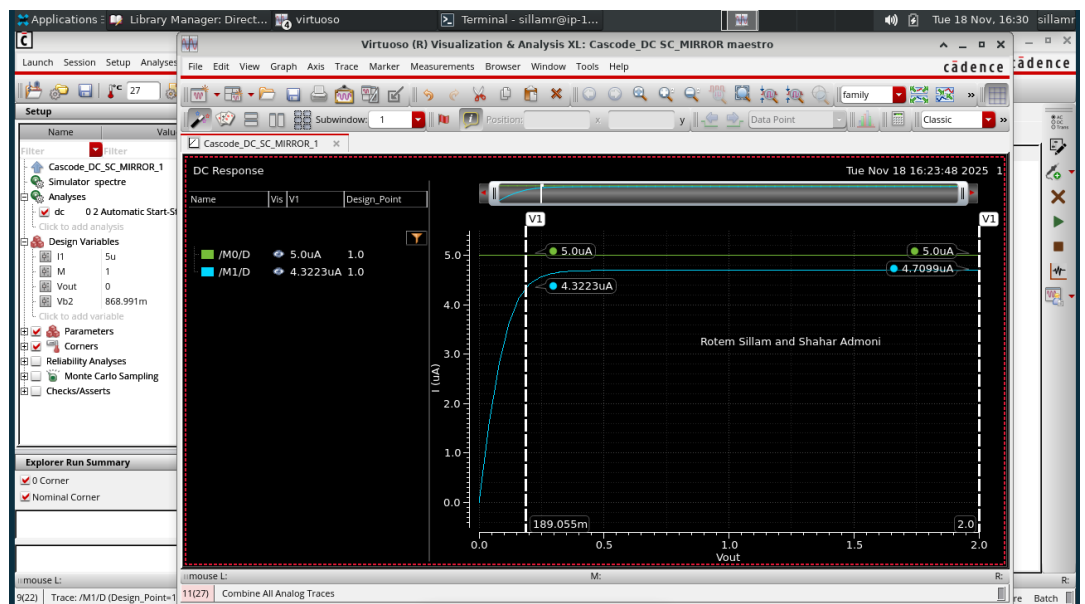
גרף  $R_{out} = \frac{dV_{out}}{dI_{out}}$

בהתחלה הטרנזיסטורים פועלים באזור הליניארי, שבו הזרם משתנה משמעותית עבור שינוי קטן במתח ולכן הגיוני שמתקבלת התנגדות יציאה נמוכה יחסית. ככל שמתח ה  $V_{out}$  עולה, שני הטרנזיסטורים נכנסים לאזור הסאטורציה, שבו שינוי קטן מאוד במתח גורם לשינוי מינורי בזרם - כלומר ההתנגדות גדלה משמעותית.



• זרמים מהdrain של M0 ושל M1:

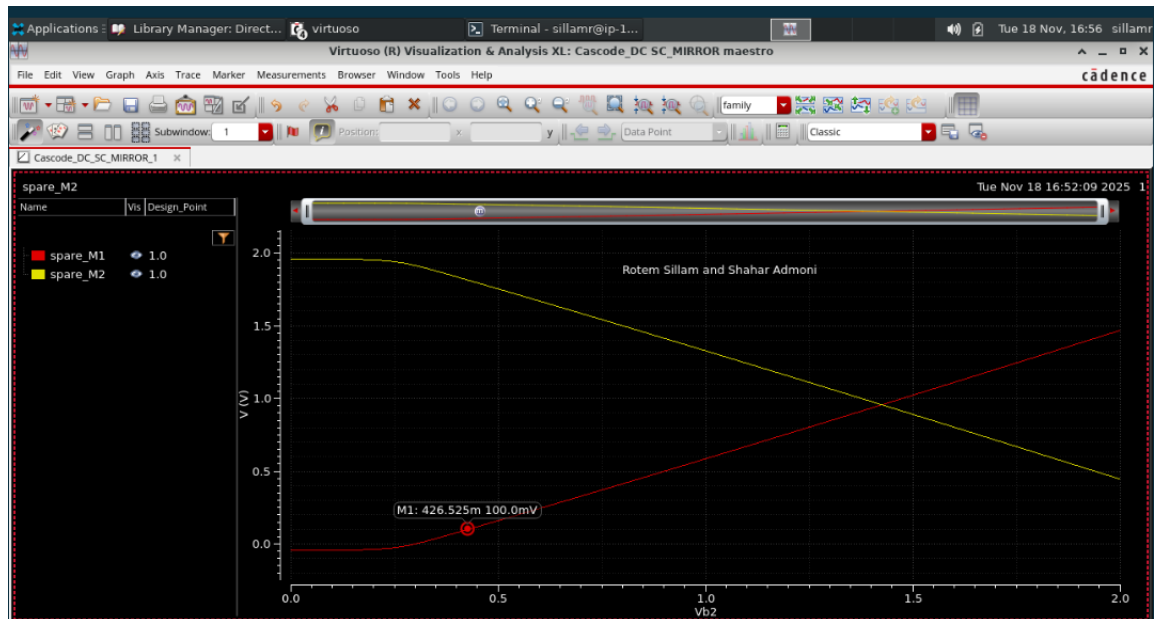
ניתן לראות שהזרם M1 מגיע בסאטורציה כמעט עד הזרם של המקור המזין של המעגל ( $I_0 = 5\mu A$ ) כמו שהסברנו עבור מראת זרם. מגיע רק כמעט לזרם  $5\mu A$  בגלל אפקט התקצרות התעלה (התנהגות כמו חוק אוהם, כלומר ישנה התנגדות מסויימת).



## 2B.6 – Low current

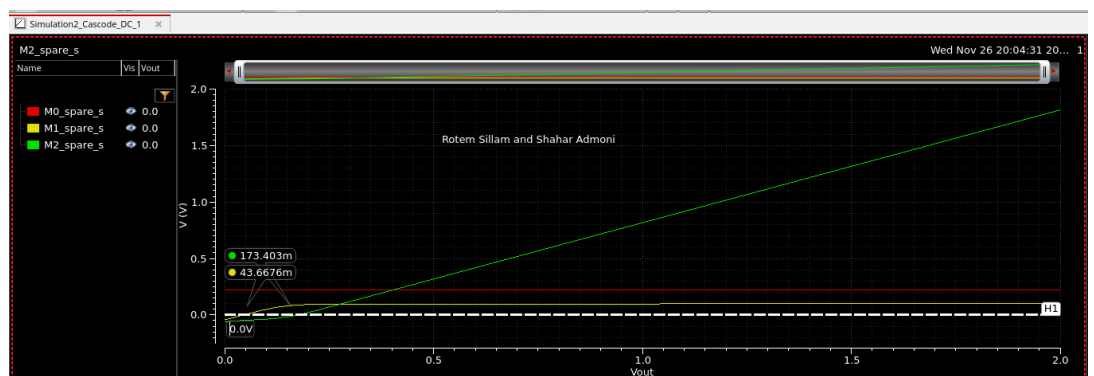
הרצנו סימולציית DC על מתח השער,  $V_{b2}$ , עם זרם  $I_1$  של 5nA.

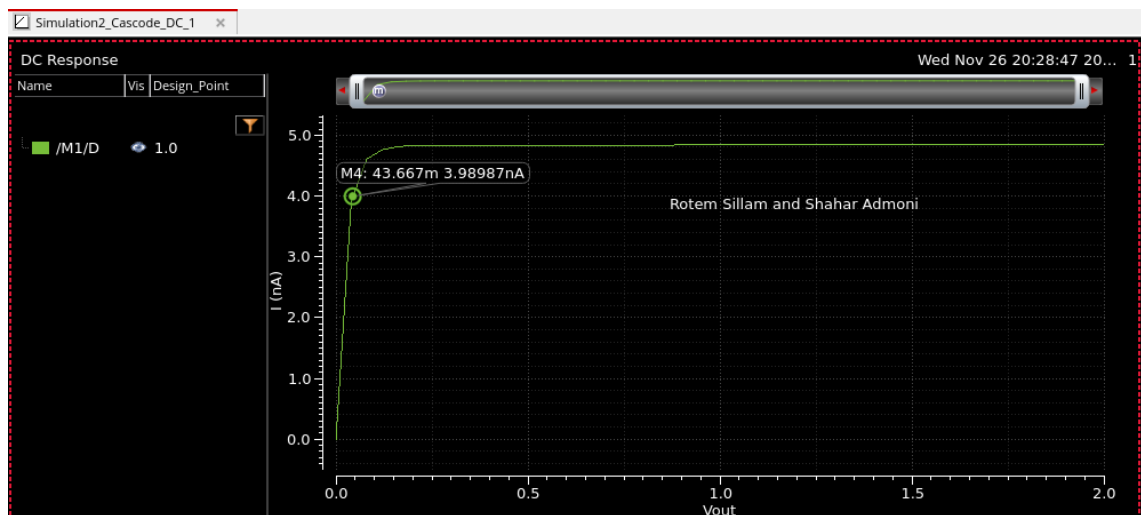
כפי שעשינו בסעיף 2, נחפש את הנקודה שבה  $V_{DS} - V_{DSAT} = 100\text{mV} \leftarrow$  מתח שער מתאים  $V_{b2} = 426.525\text{mV}$ .



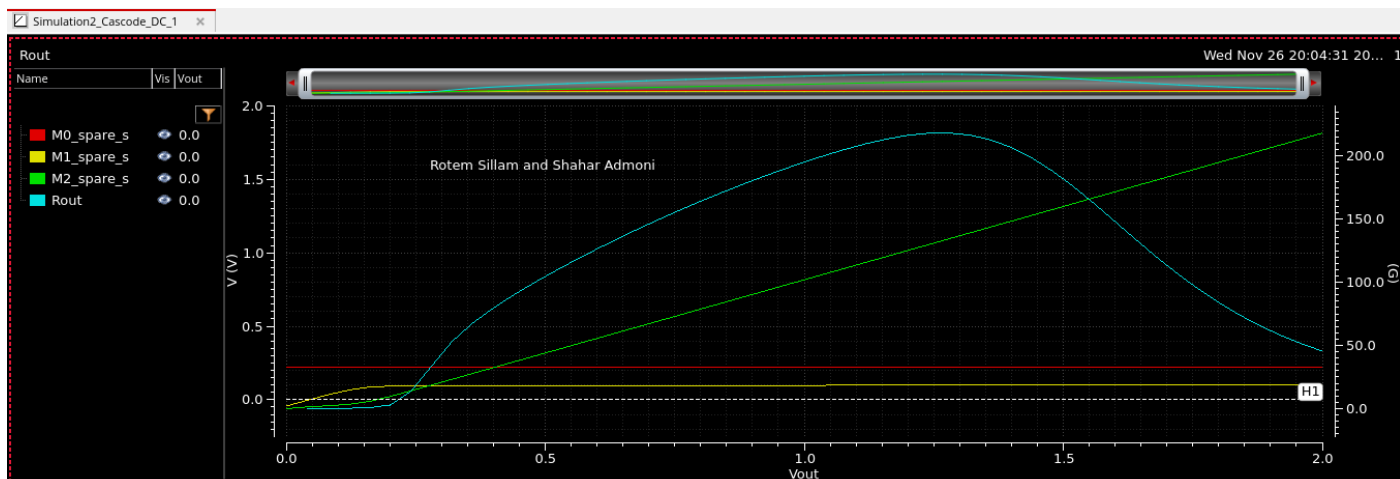
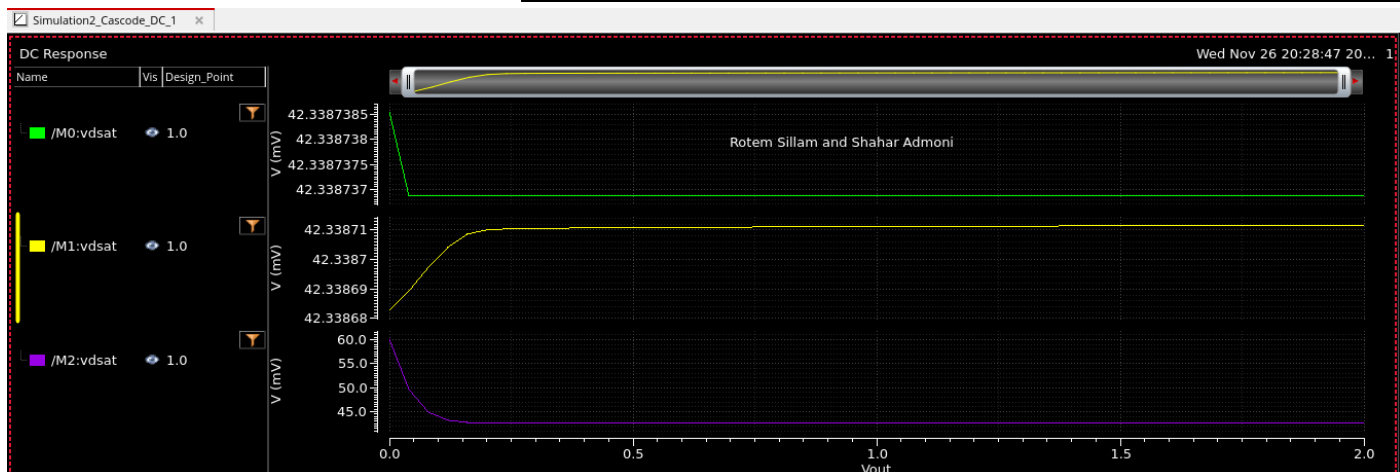
ביצענו סימולציית DC על מתח המוצא. מאחר שהקטנו את הזרם, גם המתח  $V_{b2}$  שנדרש כדי להכניס את הטרנזיסטור לסאטורציה קטן בהתאם. לכן מתקבל גם מתח סאטורציה נמוך יותר. למרות זאת, הדיוק היחסי בין המקרים כמעט לא השתנה, משום שהשינוי שביצענו היה הקטנה אחידה.

הגרף של  $V_{DS} - V_{DSAT}$  עבור  $M_1$  ו- $M_2$  עם זרם של 5nA, מראה שמתח  $V_{b2}$  מתקבל נמוך יותר.





M2	M1	
$V_{out} < 173.403mV$	$V_{out} < 43.667mV$	ליניארי
$V_{out} > 173.403mV$	$V_{out} > 43.667mV$	סאטורציה
$I_{out} > 4.81nA$ : סאטורציה: $I_{out} < 4.81nA$ : ליניארי	$I_{out} > 3.989nA$ : סאטורציה: $I_{out} < 3.989nA$ : ליניארי	$I_{out}$

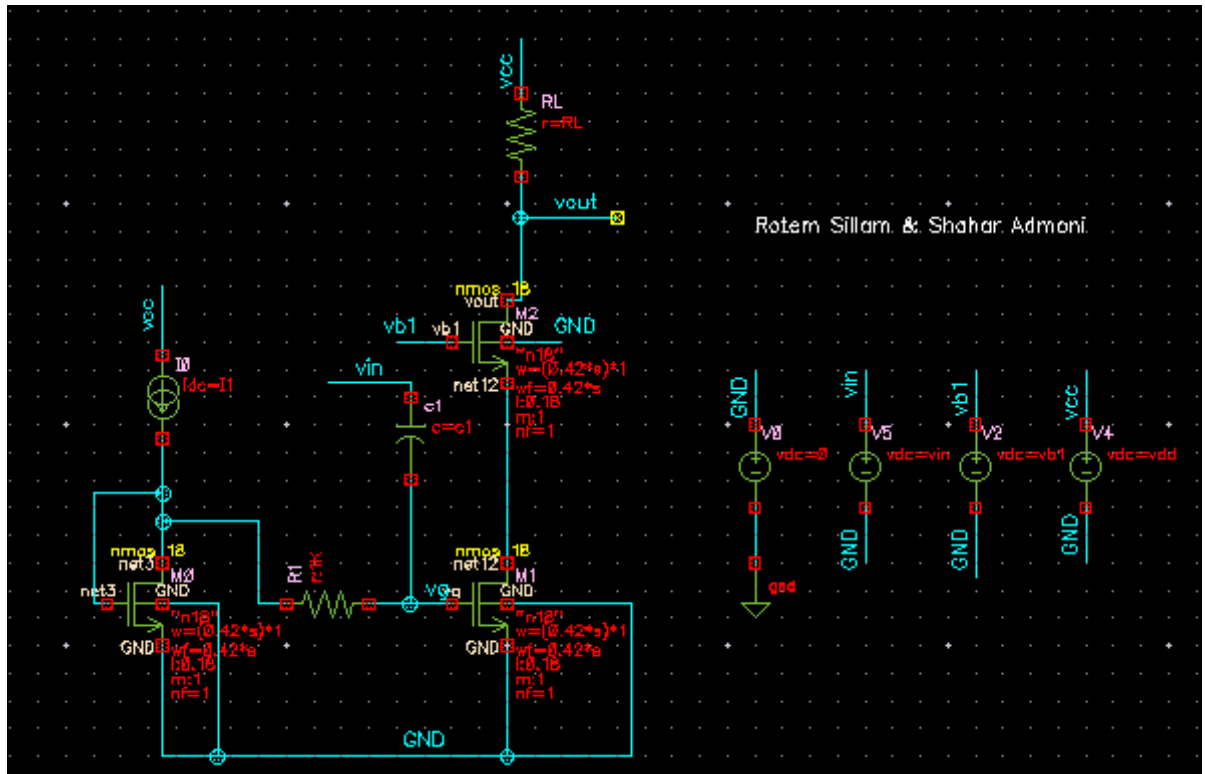


כפי שניתן לראות, ככל שאנו מקטינים את הזרם, התנגדות המוצא גדלה, כיוון שהיא ביחס הפוך לזרם. במבנה של קסקודה, זה מוכפל בגלל שהתנגדות המוצא היא הכפלה של התנגדות פנימית בריבוע במוליכות. כמו כן, הקטנת הזרם גורמת למתח הסטורציה לרדת, עד כדי כך שמתח הסף תלוי במתח התרמי ולא מגיע לאפס, לכן רואים בגרף התייצבות למרות שהזרם נמוך. מכיון שהזרם נמוך, הפרש המתחים בין השער למקור יורד וכך גם מפל המתח על הטרנזיסטור.

## 2C – Cascode AC (30 pts)

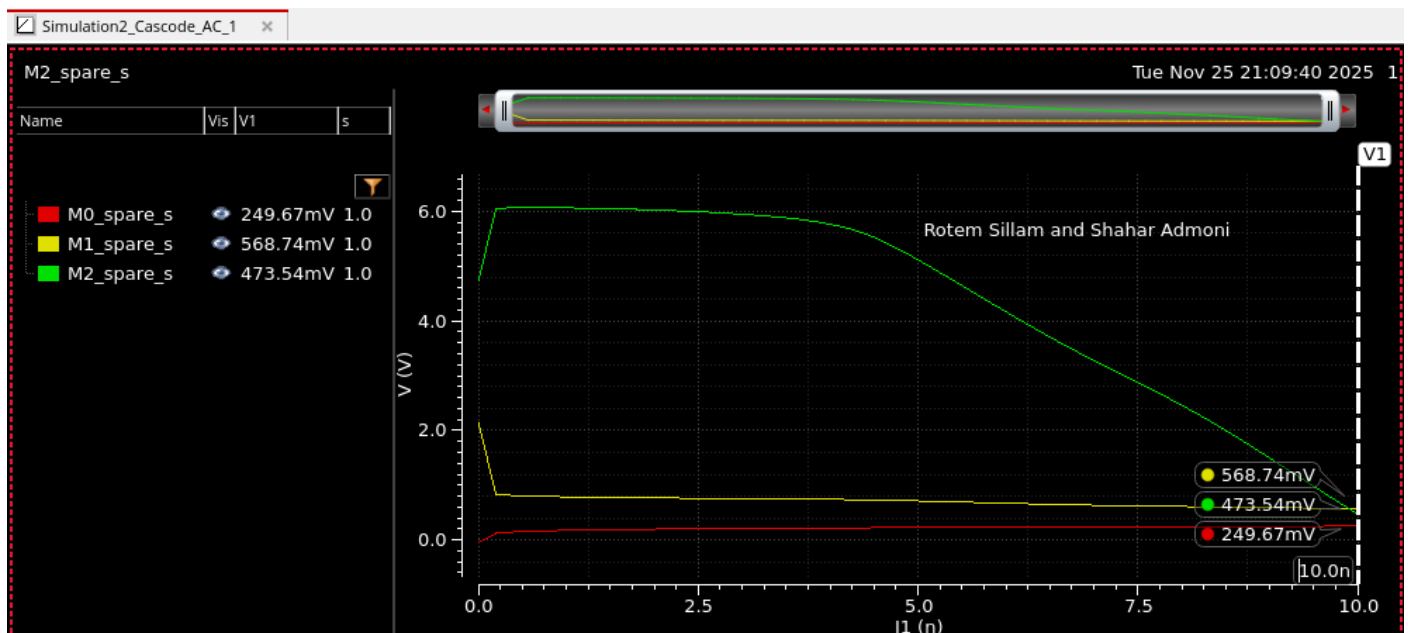
### 2B.1 – DC sim

מטרה: המעגל משמש כמגבר, וכפי שלמדנו ההגבר מושפע מהתנגדות המוצא ביחס ישר. אם נתייחס לחלק של Cascode small signals, ההתנגדות שלו מחוברת במקביל לגוד  $R_L$  כלומר הקטן מביניהם הוא זה שישפיע על ההגבר במוצא. אנחנו רוצים שההתנגדות מה Cascode היא זו שתשפיע, ולשם כך נצטרך שההתנגדות מה Cascode תהיה יותר קטנה מ  $R_L$  (או באותו סדר גודל). זה מה שננסה להשיג פה.

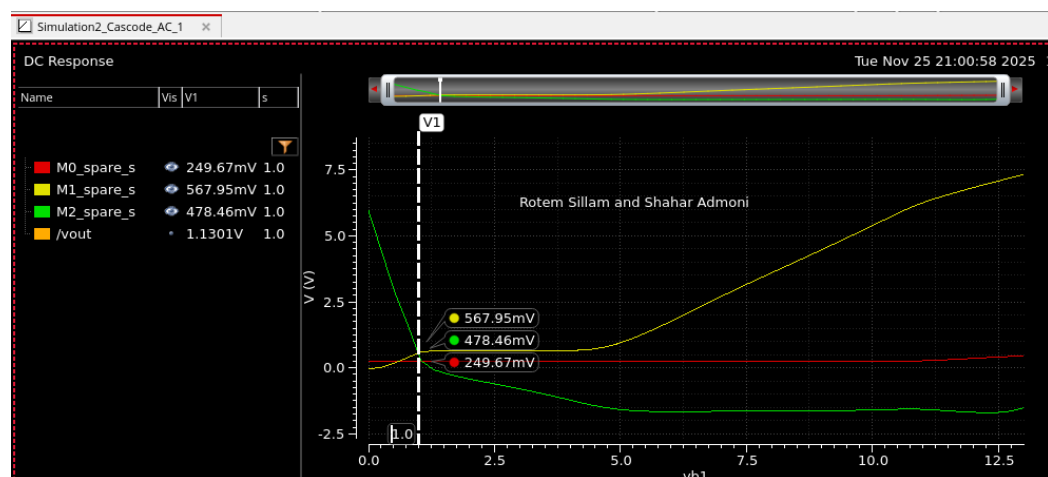


שינינו את  $L, W$  של הטרנזיסטורים לאחר בדיקה עם המתרגלים במעבדה, כך ששמנו אותם על טכנולוגיית המינימום הדיפולטיבית.

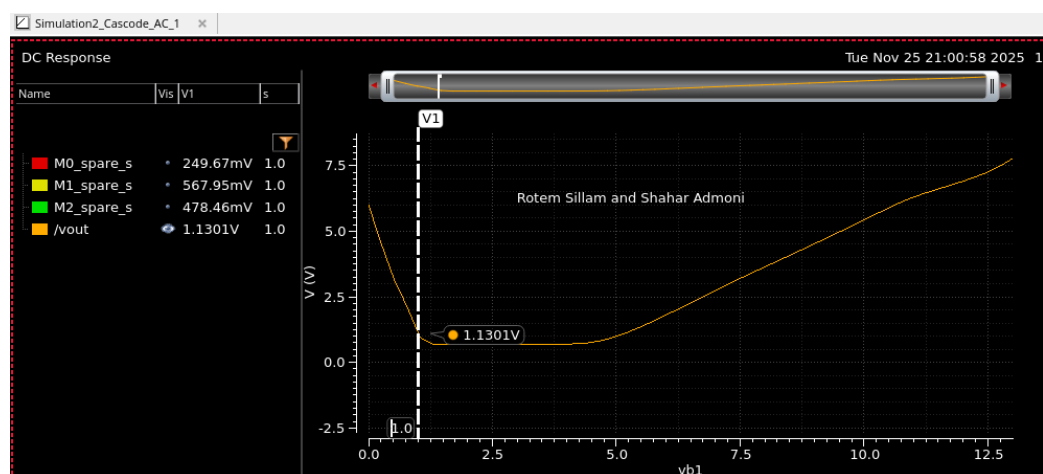
ראשית בדקנו עבור איזה זרם שלושת הטרנזיסטורים בסאטורציה. ניתן לראות שכרגע התחום רחב. אנחנו בחרנו  $I_1 = 10\mu A$ :



הרצנו סימולציית DC על  $v_{b1}$  על מנת לבדוק עבור איזה ערך כל הטרנזיסטורים בסאטורציה. בחרנו  $v_{b1} = 1V$ .



ניתן לראות שעבור  $v_{b1} = 1V$  שבחרנו,  $V_{out} = 1.13V$ :

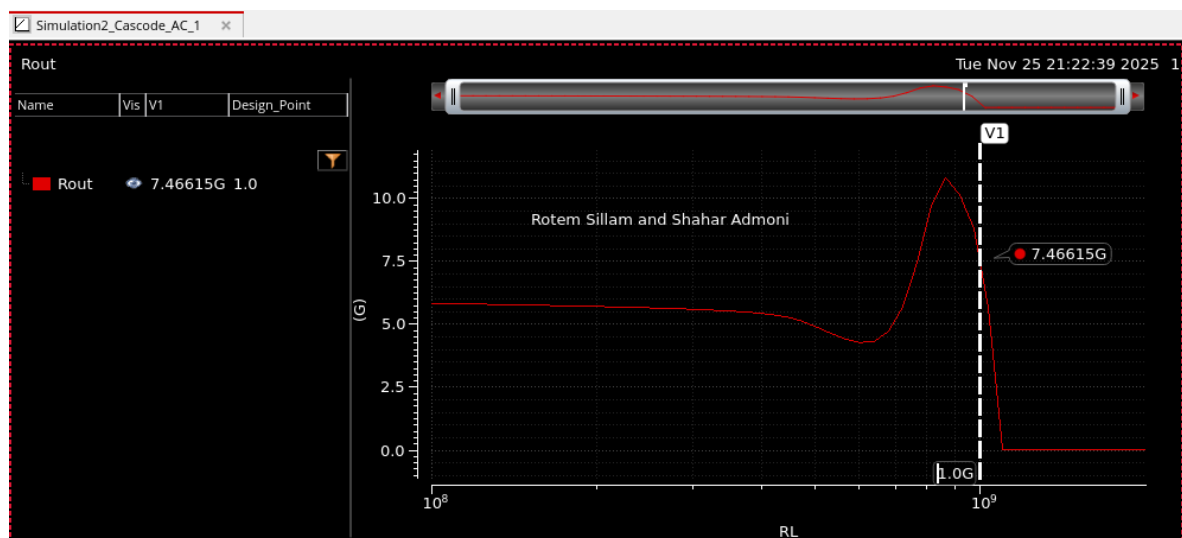


בדקנו עבור איזה ערך נגד  $RL$  נקבל  $R_{out}$  באותו סדר גודל על מנת שהתנגדות המוצא הכללית של cascode תושפע גם מהתנגדות  $RL$  וגם מהתנגדות Cascode.

אם התנגדות אחת הייתה גדולה בכמה סדרי גודל מאחרת, היינו מזניחים אותה בהתאם לנגדים המחוברים במקביל.

ניתן לראות שעבור  $RL = 1G\Omega$  נקבל  $R_{out} \approx 7.4G\Omega$  כלומר הם באותו סדר גודל.

נרצה לציין כי כלל ההרצות שבוצעו היו עם הגדרת גודל נגד  $1G\Omega$ .

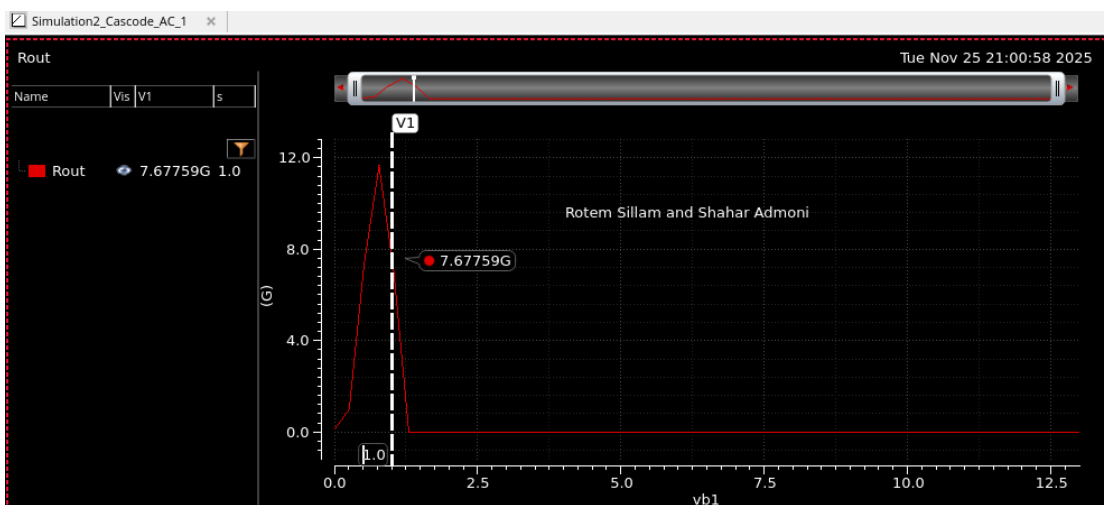




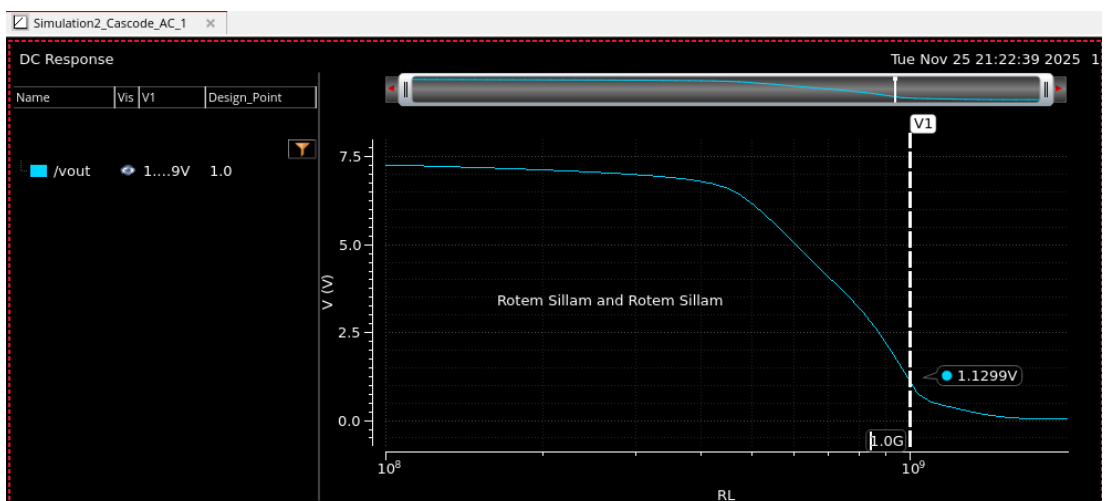
כל הטרנזיסטורים בסאטורציה עבור  $RL = 1G\Omega$ :



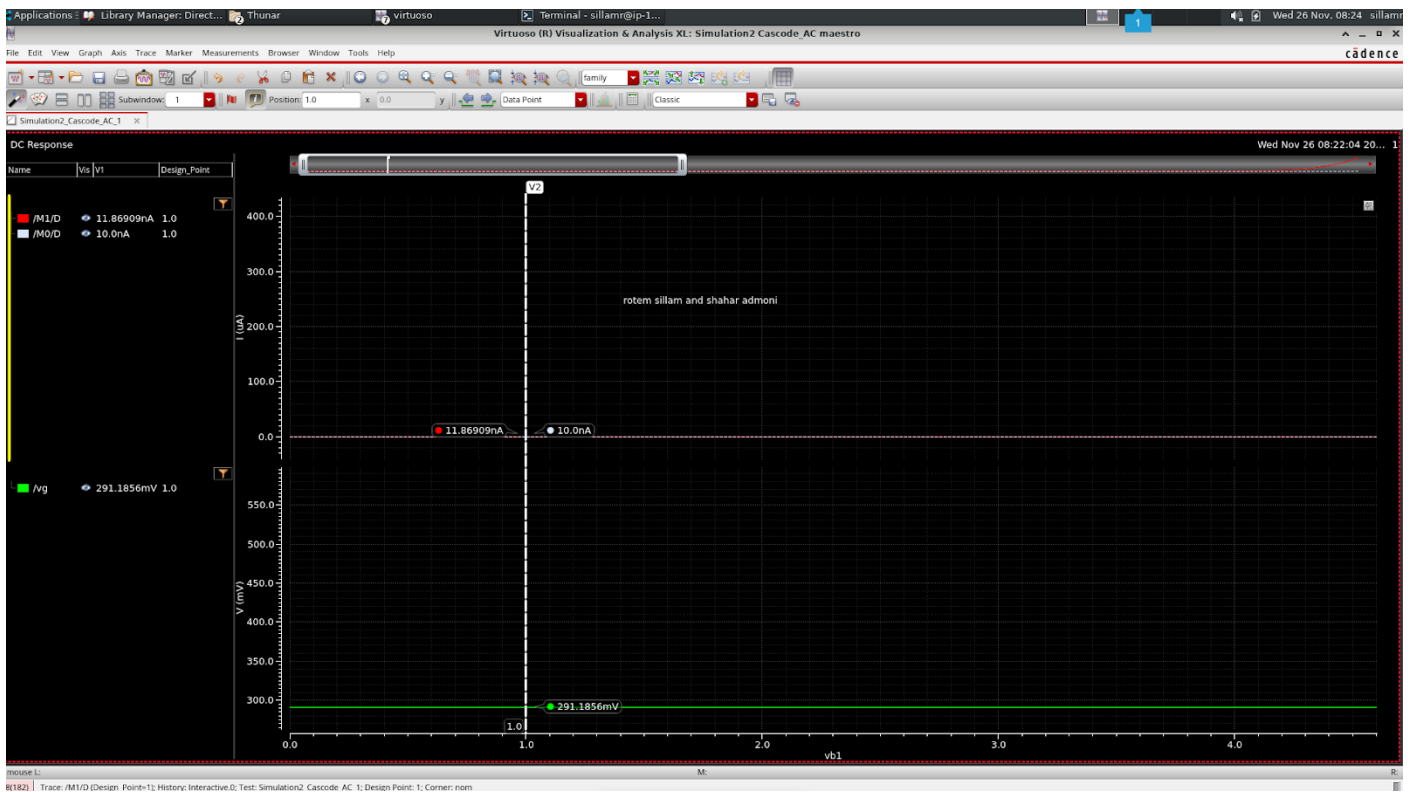
נוודא שיש התאמה בין ה $vb1$  שבחרנו כנקודת עבודה, לבין ההתנגדות  $R_{out}$ :



נוודא גם שיש התאמה במתח  $V_{out}$  הרצוי עבור  $RL = 1G\Omega$ :



ניתן לראות שמראת הזרם מתקיימת עבור  $v_{b1}=1V$ :



בשלב זה נרצה לוודא שהמעגל שלנו פועל כמו מגבר כנדרש. נבצע הרצת DC עם הנתונים שאספנו ונחשב את  $R_{OUT}$  הכולל של המעגל. ניקח בחשבון את שתי ההתנגדויות כיוון שלא ניתן להזניח אחד מהם (אותו סדר גודל).

חישוב לפי הנוסחה – נתונים מהרצת DC עבור נקודת העבודה  $V_{b1} = 1V$ :

$$g_{m1} = 336.3ns$$

$$g_{m2} = 345.06ns$$

$$g_{mb1} = 67.31ns$$

$$g_{mb2} = 43.52ns$$

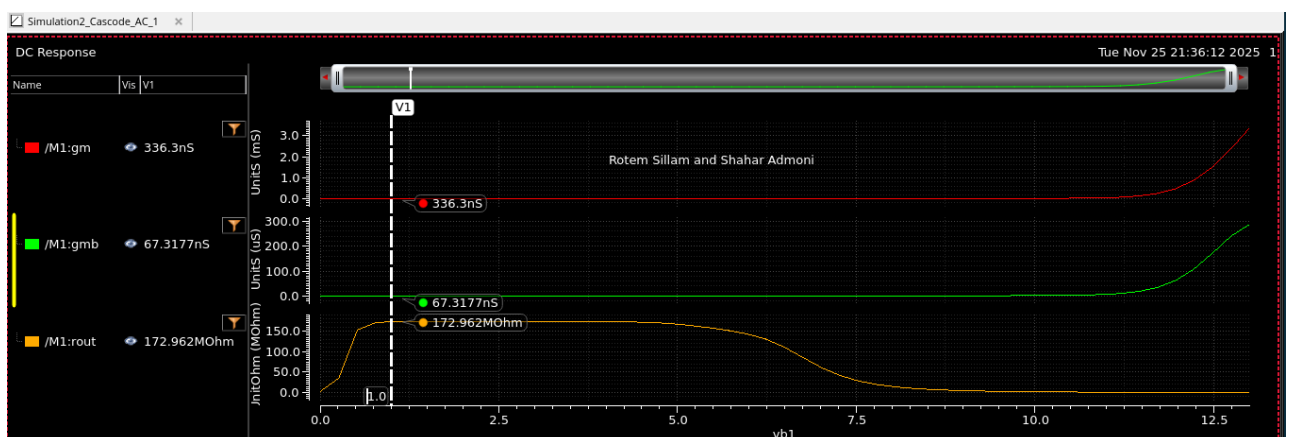
$$r_{o1} = 172.96M\Omega$$

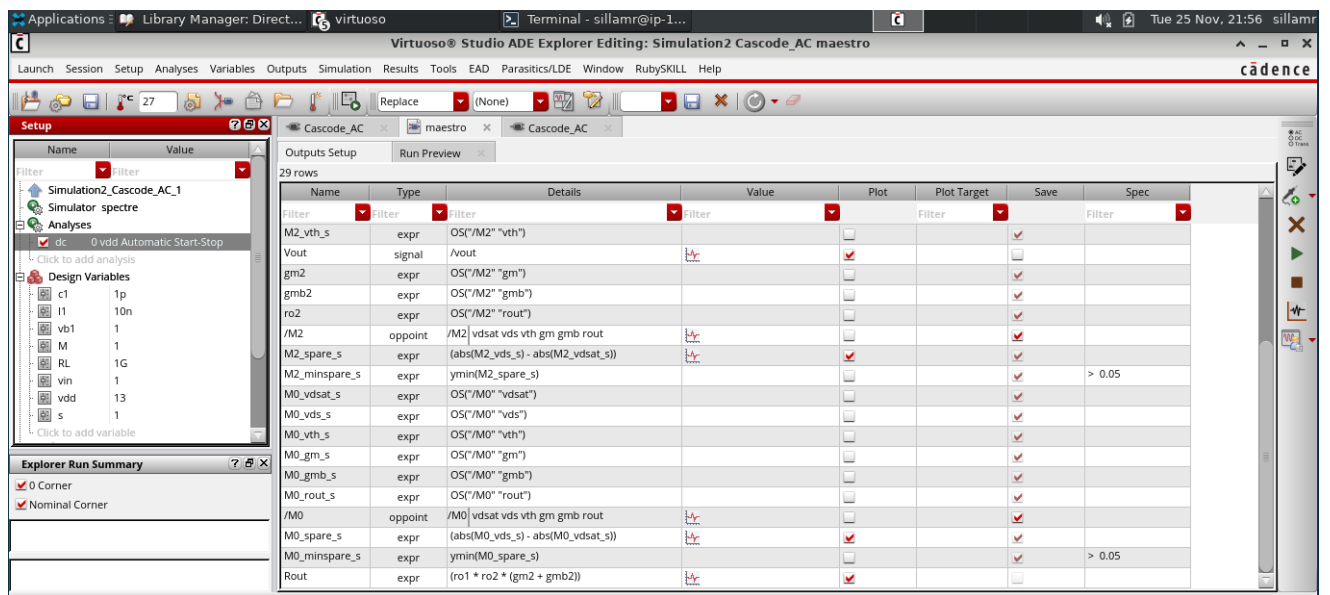
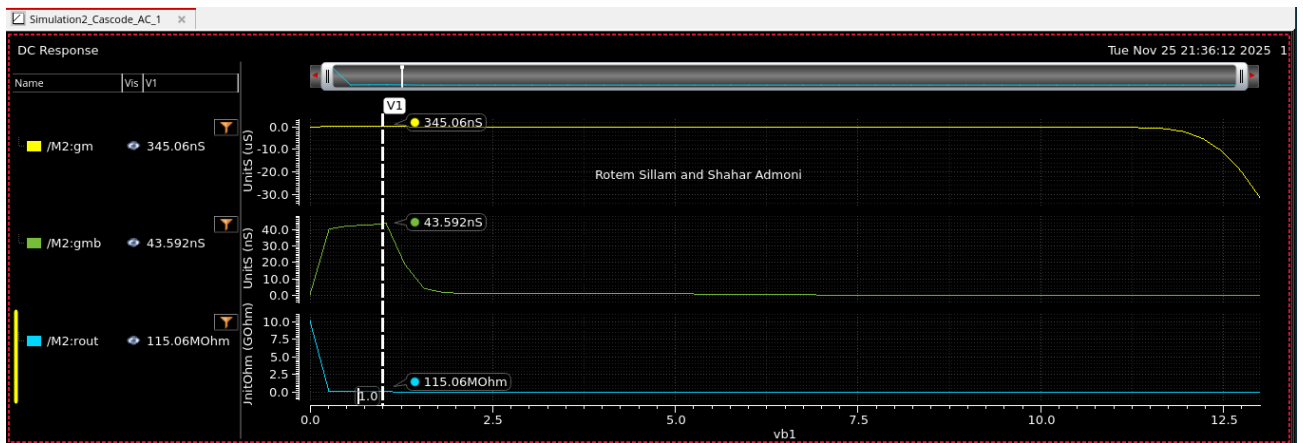
$$r_{o2} = 115.06M\Omega$$

$$R_L = 1G\Omega$$

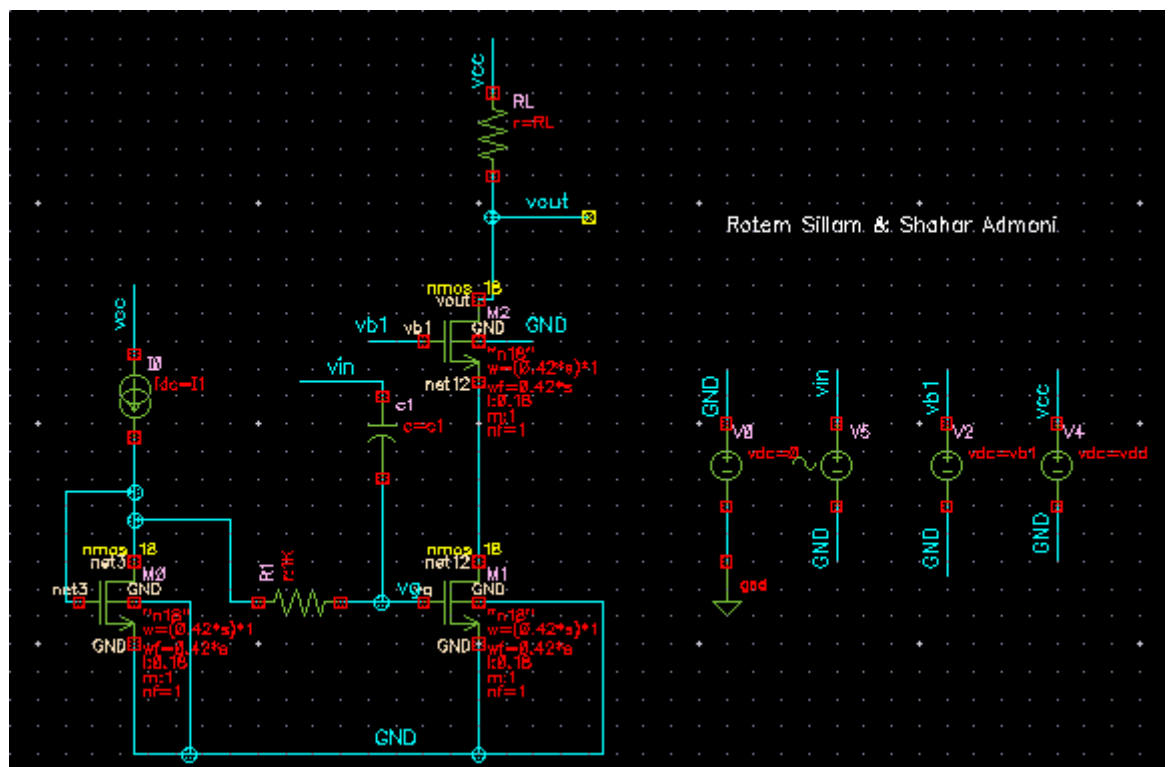
$$A_v \approx -g_{m1} \cdot (R_{out} || R_L) = -g_{m1} \cdot \{[r_{o1} \cdot r_{o2} \cdot (g_{m2} + g_{mb2})] || R_L\} \approx 297.5$$

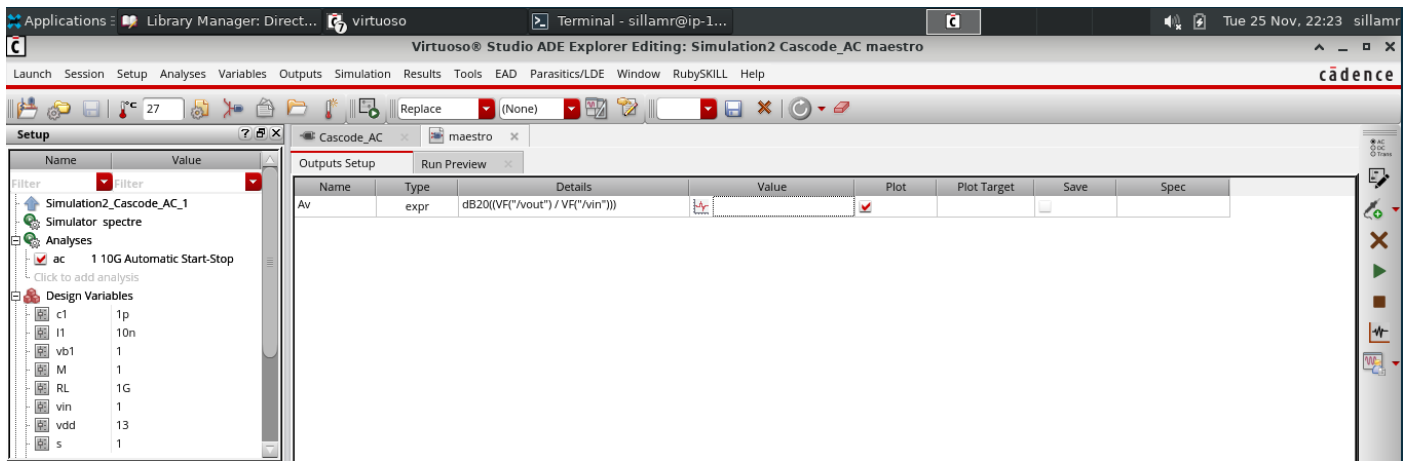
$$20 \log_{10} A_v = 20 \log_{10} 297.5 = 49.47dB$$



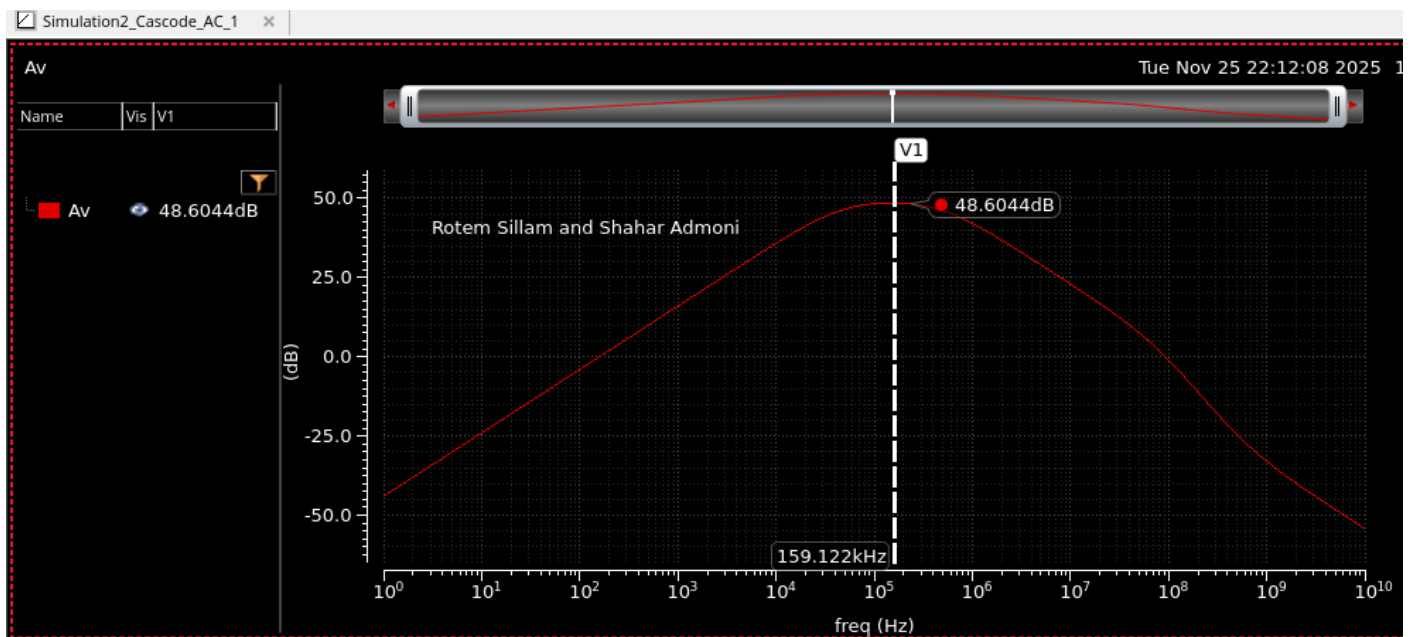


כעת ביצענו הרצת AC על מנת לקבל את ההגבר בצורה ישירה:





ניתן לראות שקיבלנו הגבר מקסימלי קרוב מאוד לערך שחישבנו בנוסחה:



**EXPLANATIONS AND DISCUSSION:** (up to 2 pts bonus for very good and insightful discussion in both 2A and 2B))

Note: to get the bonuses mentioned, one should have a very strong discussion. Just repeating what is in the textbook is insufficient. You would also have to show some creativity and search relevant references.

ב cascode-הרעיון הוא לגרום לשני הטרנזיסטורים לעבוד בסטורציה בו-זמנית. כשזה קורה – כל אחד מהם מתנהג כאילו יש לו התנגדות פנימית ענקית, וככה ביחד הם נותנים הגבר גבוה. ברגע שההתנגדות במוצא גדולה, ההגבר גדל מאוד, וגם מקבלים אות נקי יותר ופחות מושפע מרעש.

במעגל הנתון ה  $R_L$  שיושב במוצא הוא זה שקובע מה "רואה" הטרנזיסטור העליון. אם  $R_L$  קטן, אז מבחינת ה- cascode העומס שהוא רואה קטן, ולכן הוא לא מסוגל להחזיק את עצמו ואת הטרנזיסטור שמתחתיו בסטורציה כמו שצריך. התוצאה היא הגבר נמוך. אבל אם  $R_L$  גדול - הטרנזיסטור העליון מרגיש שהוא מחובר להתנגדות גדולה, נשאר בסטורציה, ואז גם התחתון מצליח להישאר שם.

אם היינו מחברים את הטרנזיסטור למקור זרם אידיאלי היינו מקבלים הגבר טוב, אבל cascode נותן את אותו אפקט רק בזכות הצורה שבה מחברים את הטרנזיסטורים אחד מעל השני.

אם נדבר במונחי small signal, אנחנו קבענו את גודל הנגד  $R_L$  והתנגדות שני הטרנזיסטורים כך שיהיו באותו סדר גודל, כך ששניהם ישפיעו על ההגבר במוצא, ולא נגיד רק הנגד החיצוני  $R_L$  ובכך לאבד את השפעת ה cascode (בחיבור במקביל הנגד הקטן קובע). זה אפשר לנו לקבל התנגדות גדולה יותר, ובכך גם הגבר גבוהה יותר בהתאם לנוסחה  $A_v = g_m \cdot R_{out}$ .