

# Simulation #2 Template:

## Source Follower and Cascode

מגישים:

שחר אדמוני – 206591463

רותם סילם – 206663437

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

## 2A SOURCE FOLLOWER (40 pts)

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

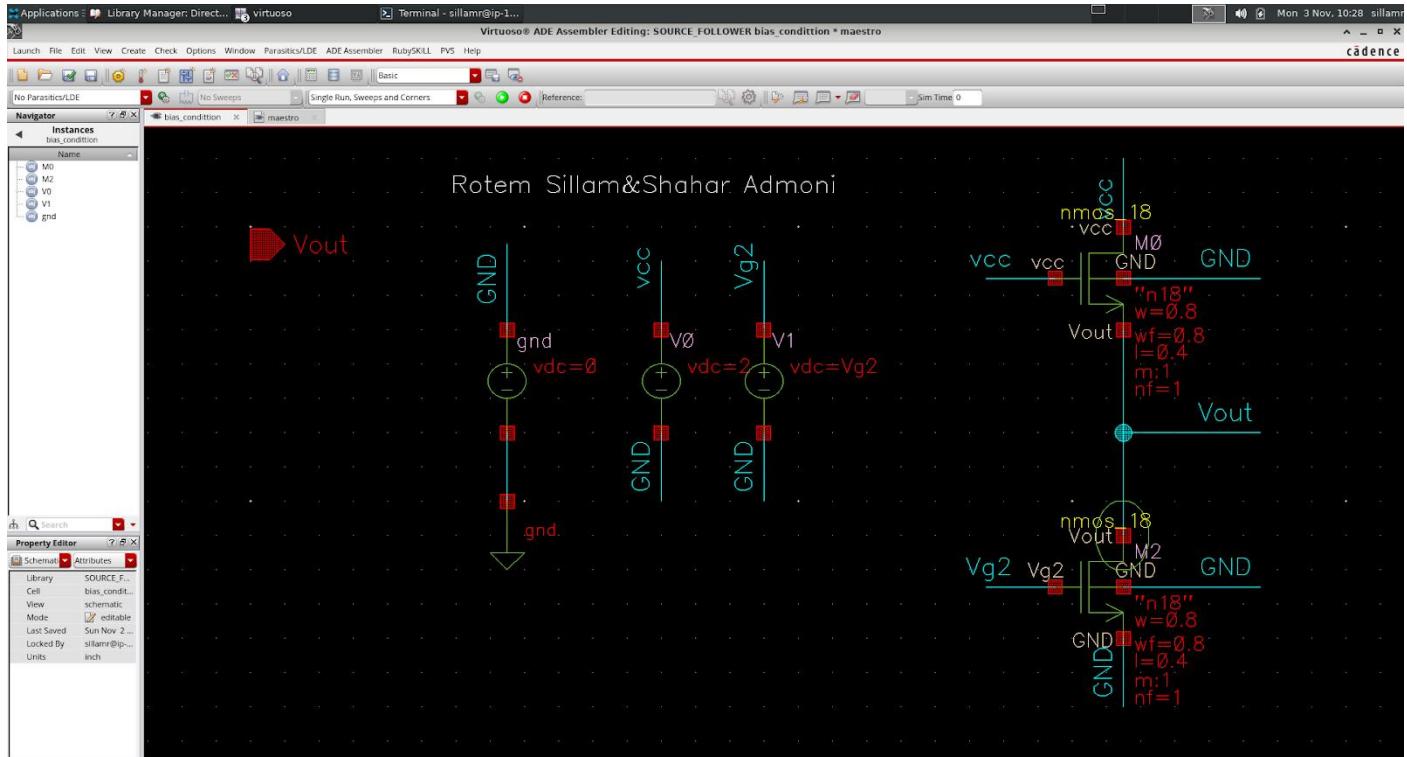
Please place all schematics, graphs, and explanations under the relevant subsection .It is OK to add some discussion at the end of the sections.

### 2A SOURCE FOLLOWER (40 pts)

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

הטכנולוגיה  $L=0.18 \leftarrow$  נבחר  $0.4 = L$  ← נבחר שיהי לפחות פי 2 מהטכנולוגיה כנדרש.

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



#### EXPLANATIONS AND DISCUSSION:

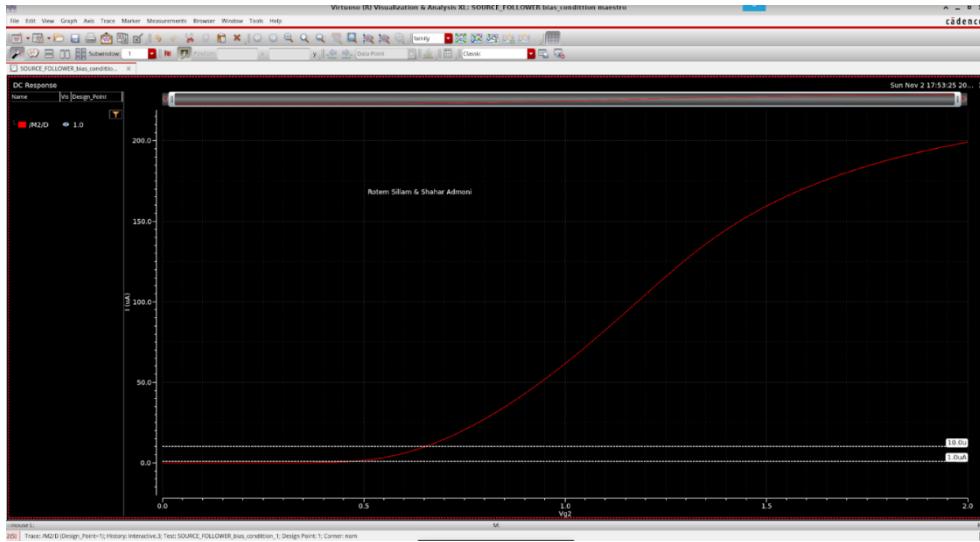
זהו מעגל מגבר מסווג Source Follower , כלומר העוקב אחריו ה *gate*. במקרה שלנו *Vout* עוקב אחריו *Vin*.

M2 משמש כמקור זרם (כעומס) – ממה שלמדנו עד עכשיו המקור זרם הכי טוב הוא טרנזיסטור בסאטורי. הוא נשלט ע"י  $Vg2$  , קבוע את הזרם שזורם דרך M1. אם הזרם  $I_D$  קבוע אז גם  $V_{gs1} = V_{th} + \sqrt{\frac{2I_D}{k'W}}$  קבוע לפי הנוסחה: . אם  $V_{gs1} = V_{IN} - V_{OUT}$  יעלה, גם  $V_{OUT}$  יעלתה אז נקבל  $V_{OUT}$  משתנה בהתאם לשינוי  $V_{IN}$  לפי הנוסחה  $V_{gs1} = V_{IN} - V_{OUT}$ . כאשר  $V_{IN}$  יעלה, גם  $V_{OUT}$  יעלתה ערך על מנת לשמור על  $V_{gs1}$  קבוע. וכך נקבע מעגל עוקב מקור.

## סימולציה DC – בדיקה עבור אילו ערכי $V_{g2}$ נקבל זרם בתחום $10\text{mA}$ :

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

נזכה לראות עליה בגודל הזרם בעקבות עליה במתה. בשלב מסוים, הרכיב נכנס למצב אטורייה והזרם על סף הגדיל המקסימלי. להלן הגרף:



Nmos תחתון: Nmos עליון:

$$V_{gs} = V_{g2} \quad V_{gs} = V_{cc} - V_{out}$$

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

$$V_{bs} = 0 \quad V_{bs} = -V_{out}$$

נבחר לעבוד בסעיפים הבאים עם  $V_{g2}=6\text{mV}$  שمائיך זרם  $A=6\text{mA}$

$$I_d = \frac{\mu C_{ox} w}{2L} (V_{gs} - V_t)^2$$

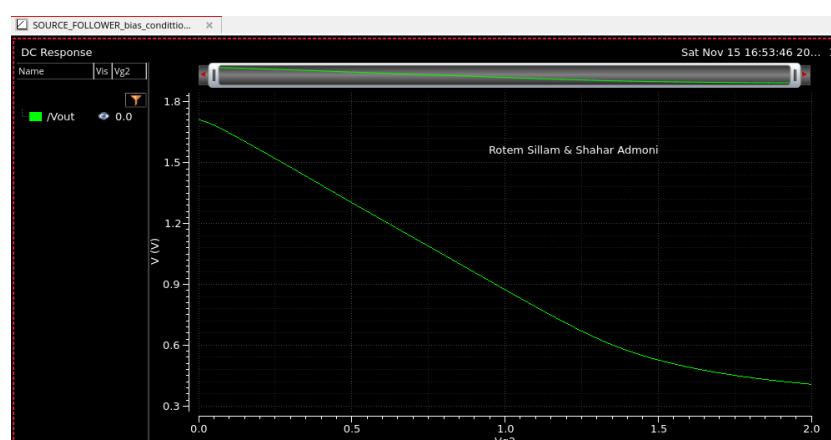
נשווה בין הזרם שmagiu מהsource של הסומוך העליון והחוט drain של הסומוך התחתון (אותו ענף لكن אותו זרם):

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

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

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

לכן נזכה כי ככל ש- $V_{g2}$  עולה, כך גם  $V_{out}$  יורד בהתאם. נמבחן בגרף:



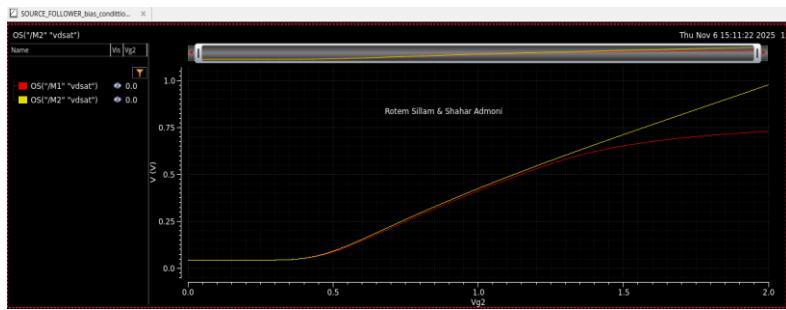
הסביר -

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

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

כלומר על מנת  $V_{GS1} = V_{in} - V_{out} = 2 - V_{out}$ ,  $V_{out}$  עליה,  $V_{GS1}$  חייב לזרום.

זה מה שאנו רואים פה.



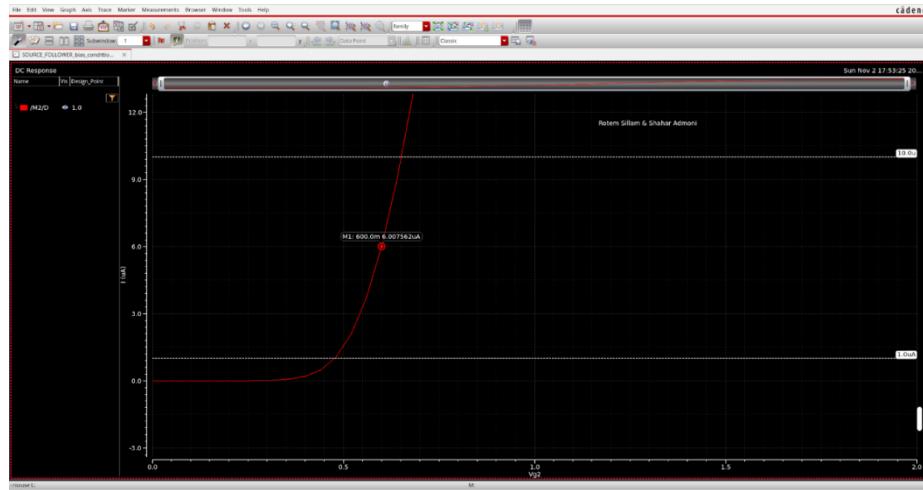
בגרף הנ"ל ניתן לראות את מתכז הסופ כתלות במתכז שער  $V_{g2}$  עבור 2 הטרנזיסטורים. בהמשך לנוסחה שציינו קודם נראת כ' :

$$\text{רכיב M1: } V_{dsat} = V_{gs} - V_{th} = V_{in} - V_{out} - V_{th}$$

ניתן לראות שהקטנת  $V_{out}$  תגדיל את  $V_{dsat}$

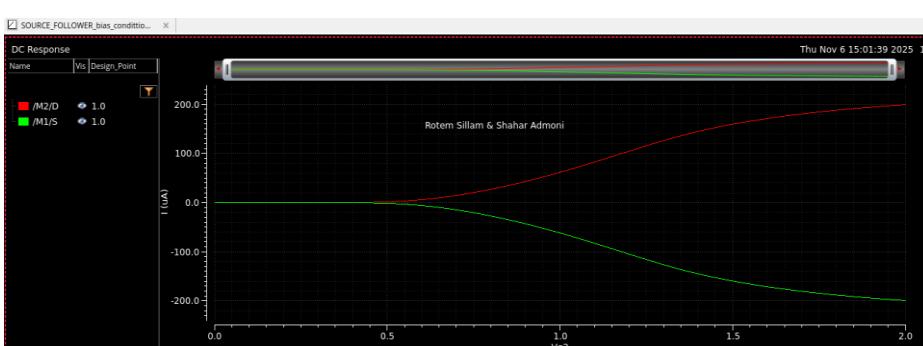
$$\text{רכיב M2: } V_{dsat} = V_{gs} - V_{th} = V_{g2} - V_{th}$$

ניתן לראות שהגדלת מתכז  $V_{g2}$  תגדיל את  $V_{dsat}$



מצאו קודם لكن כי עבור  $V_{g2} = 600mV$ , כפי שנראה בתמונה אנחנו במצב סטורי. את המתכז הנ"ל בחרנו קבוע, וicut נראה את הזרם שזורם בטרנזיסטורים. כמו כן, ניתן לראות כי הזרם עומד בתנאים שנאמרו לנו.

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



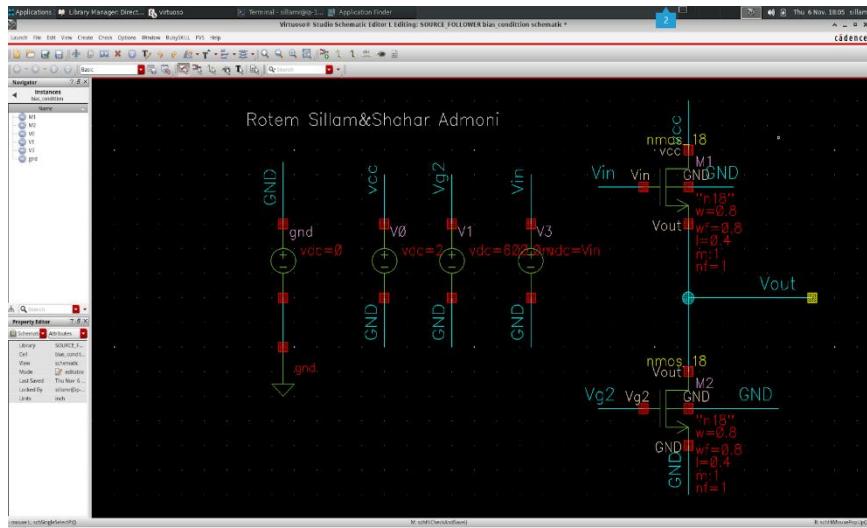
הזרם בمعالג זורם מהחוט של M2 של M1, וכן ניתן לראות כי האודום שהזרם עולה ככל  $V_{g2}$  עולה – בהתאם לנוסחה של זרם במצב סטורי:

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

הגרף הירוק זה אותו זרם בכיוון הפוך.

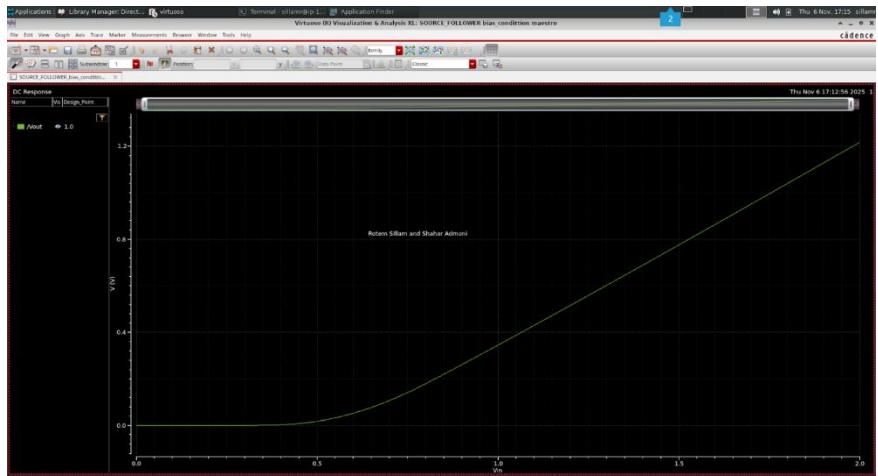
נזכיר עוד כי בסעיף זה יש BULK Effect משומש שהוא מחובר ל- GND ואז נקבל:  $V_{bs} = 0 - V_{out} = -V_{out}$   
כלומר מתכז שלילי, אך הוא ימשוך אליו חורים.icut יהיו פחות חורים באזורי התעללה. ב- mosN עוברים בתעללה אלקטרונים, כלומר אפקט המצע בעל המתכז השלילי מקשה יותר על המעבר, כלומר  $\frac{1}{t}$  גדול יותר מאשר שאין אפקט מצע.

## 2A.2 – DC SIM (15 pts)

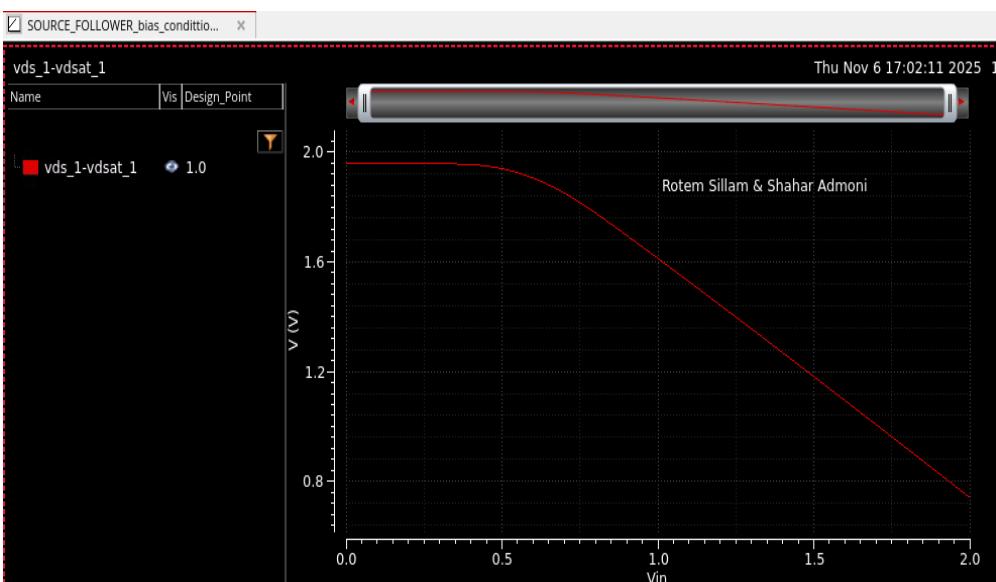


icut נבצע סימולציה ונבדוק את שינוי מתח המוצא כתלות בשינוי מתח הכניסה.  
 $0 \leq V_{in} \leq 2V$

$$\text{הגדreno בונוס } V = 0.6V$$



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



נכתב את התנאים לכל רכיב:

$NMOS$  עלין –  $M_1$  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 לסתורציה יהיה יותר "קשה". הערך המקסימלי של  $V_{in}$  הוא  $2V$ , ולכן מהמשווה שבגאל שיש  $V_t$  חיובי ( $NMOS$  כלומר אלקטرونים עוברים בתעלת ולק  $V_t$  חיובי כדי למשוך אותם) נהיה תמיד בסטורציה או cutoff. נראה כי הערכים של  $V_{in}$  הנטמנים ייחווים.

NMOS תחנות – M2 – תנאי אוטורציה:

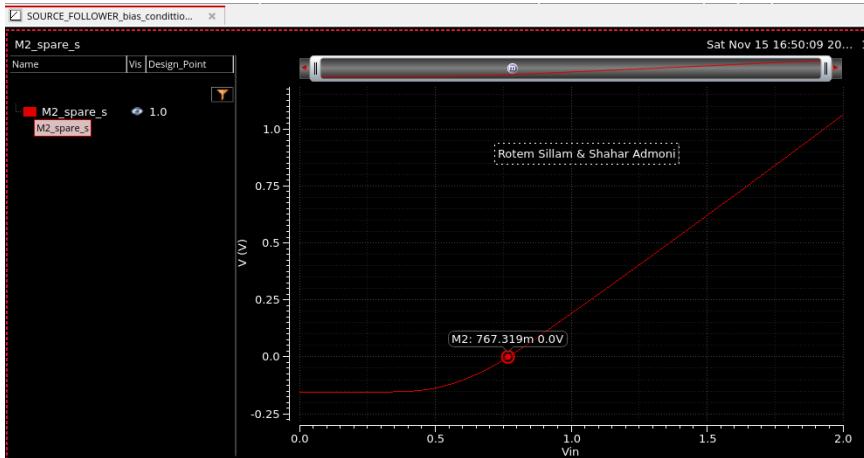
$$V_{ds} > V_{dsat}$$

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

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

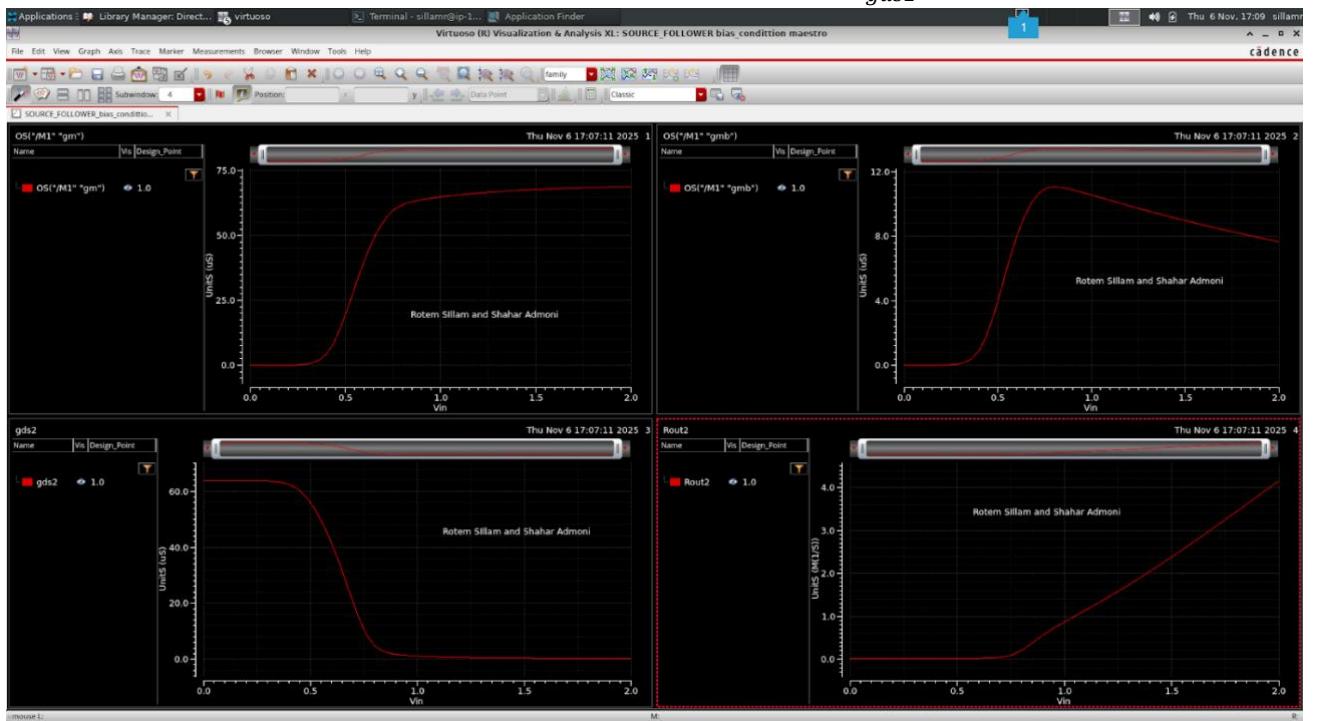
$$V_{out} - V_{g2} + V_t > 0$$

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



ניתן לראות כי יש לנו מתח מוצא מנוס נחסר ערך קבוע ( $0.6V$ ). החול מהנק' בה הגראף חוצה את ציר X, כלומר ערך משווהת החיסור חיובית ( $0 < V_{ds} - V_{dsat}$ ), אנחנו במצב רויה (טרם לנו אנחנו במצב ליניארי). ערך זה כאמור על פי הוצאה מהגראף הינו:  $V_{in} = 737.482mV$

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



- מכיוון שיש לנו אפקט מצע, יש לנו פולט לביטוי  $gmb1 = \frac{\partial I_{D1}}{\partial V_{BS1}}$ , כלומר גראף של שינוי הזרם כתלות במתוך המזיוין. ניתן לראות כי בהתחלה הטרנזיסטור כבוי (השינוי בזרם שווה 0). לאחר מכן יש עליה חדה, כלומר שינוי חד בזרם.

$$\text{עבור ביטוי } \frac{\partial I_{D1}}{\partial V_{GS1}} : gm1 = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS1}}$$

כשהטרנזיסטור כבוי, הוא שווה לאפס כי אין זרם. לאחר מכן, הוא עולה בחודות לאחר הדלקת הרכיב, כי ככל שאנו נגדיל את מתוח הכניסה גודל השינוי יגדל. בסටורציה למzdנו כי  $I \sim gm$  לאחר מכן, כאשר הרכיב נכנס לאיזור הלינארי, הוא פחות רגיש לשינויים, על כן הריגשות פוחתת ומתיצבת.

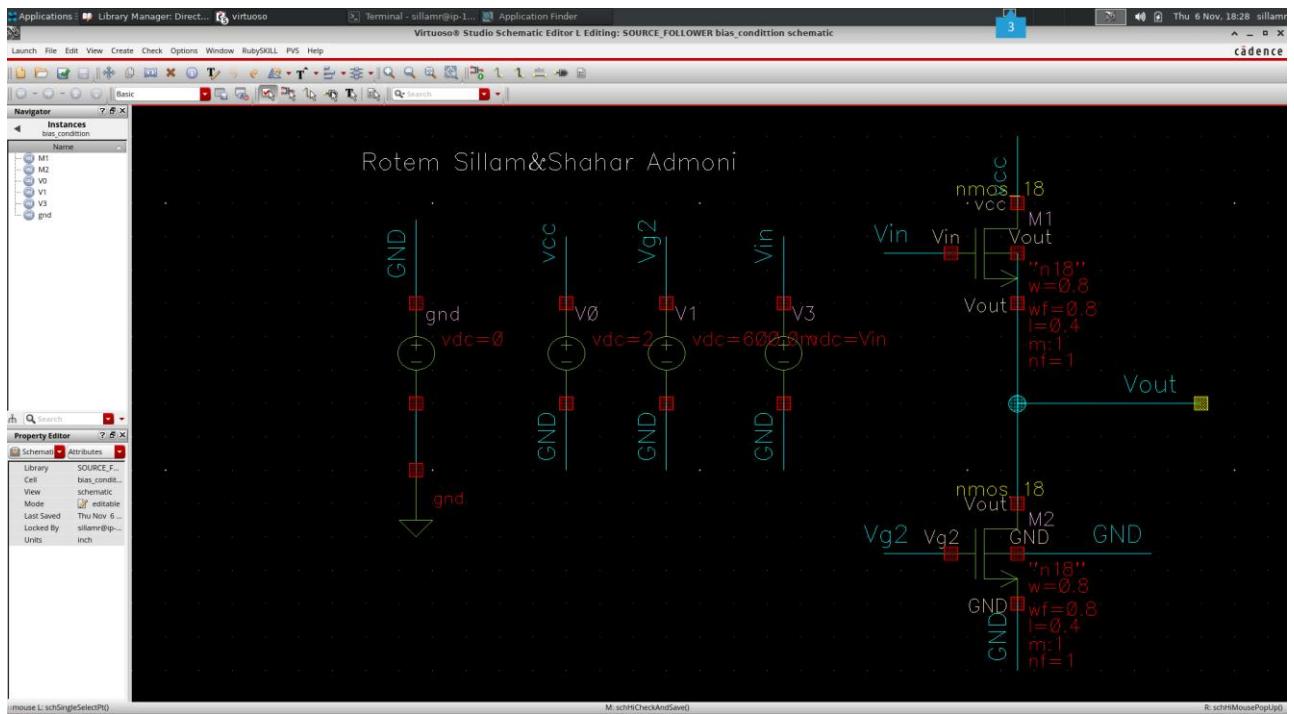
התנוגדות המוצא מתנהגת כמו  $\frac{1}{R_{out} \sim \lambda I_D}$ , כלומר ביחס הפוך לזרם ולפיך ככל שהזרם קטן, ההתנגדות שואפת לאינסוף. לכן בהתחלה כשהטרנזיסטורים במצב ליניארי יש לנו עליה הדרגתית מאד. לאחר מכן, בכניסה לאיזור הסטורציה השינוי בזרם הוא קטן ועל כן התנוגדות המוצא גדלה משמעותית. לבסוף, כאשרנו כבר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

בראף החישוב בוצע על ידי הסקריפט של שanon אשר ניתן לראות גם את גראף 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 המזקו.

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



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

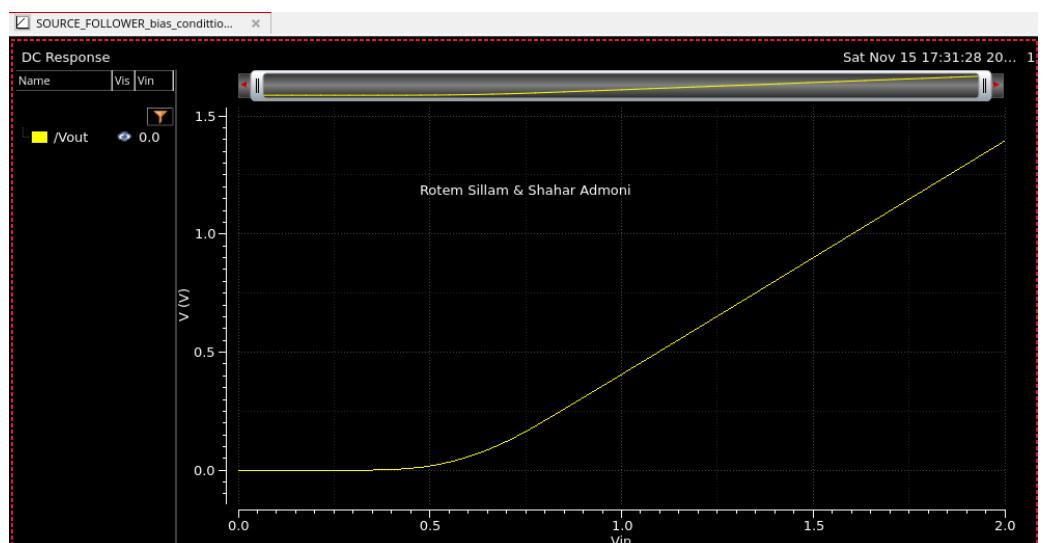
$$V_{GS1} = V_{in} - V_{out} > V_{th}$$

נקבל תנאי להולכת זרם במעהל:

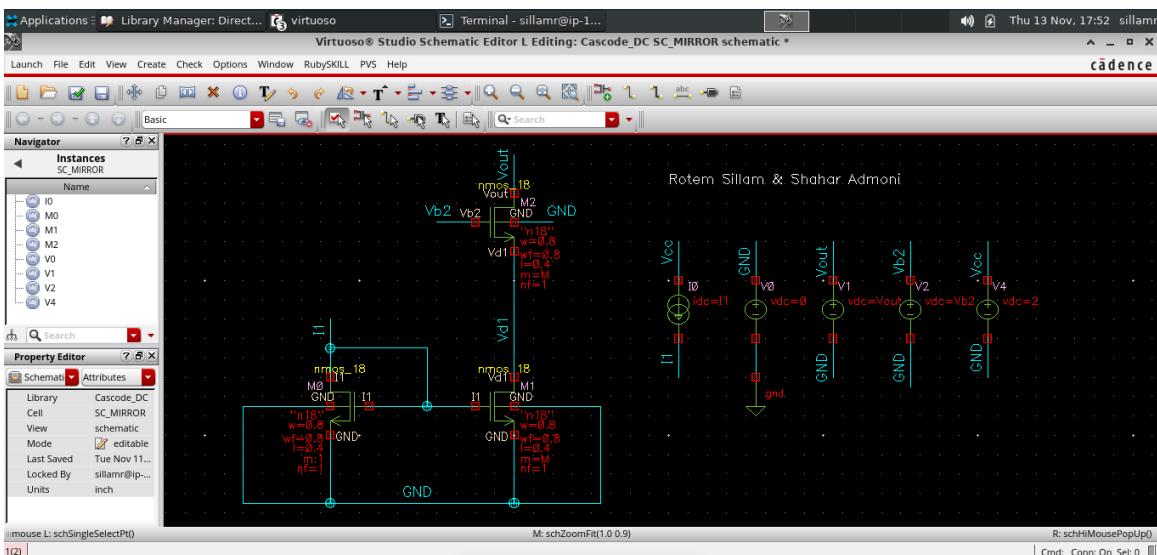
$$V_{in} - V_{out} > V_{th}$$

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

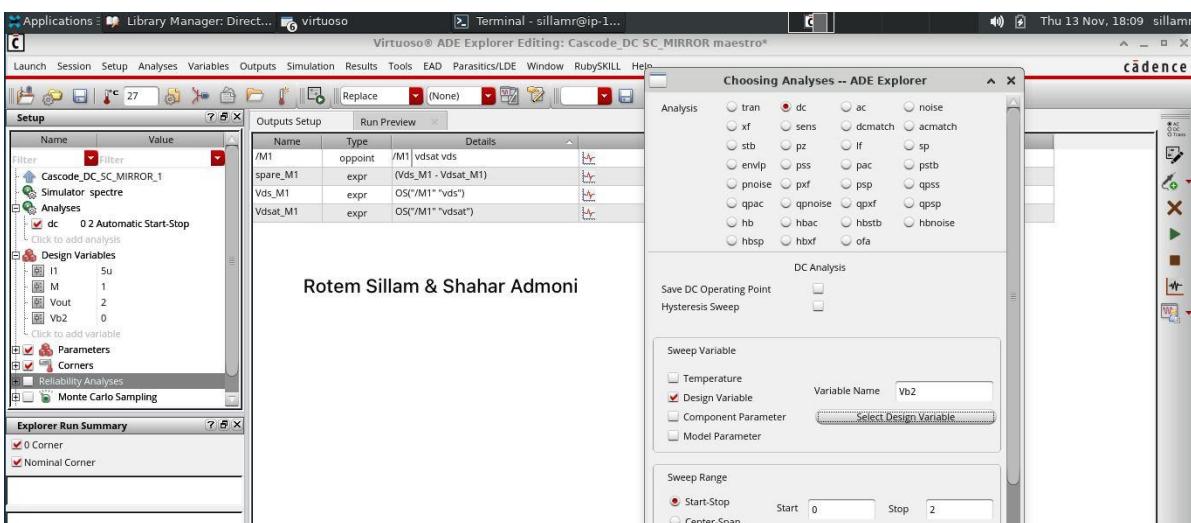
כולם עבור  $V_{th}$  קטן יותר (ביטול אפקט המצע מקטין אותו), נקבל "תקראה" יותר גבוהה עבור מתח  $V_{out}$  ולכן הוא יכול להיות גדול יותר.



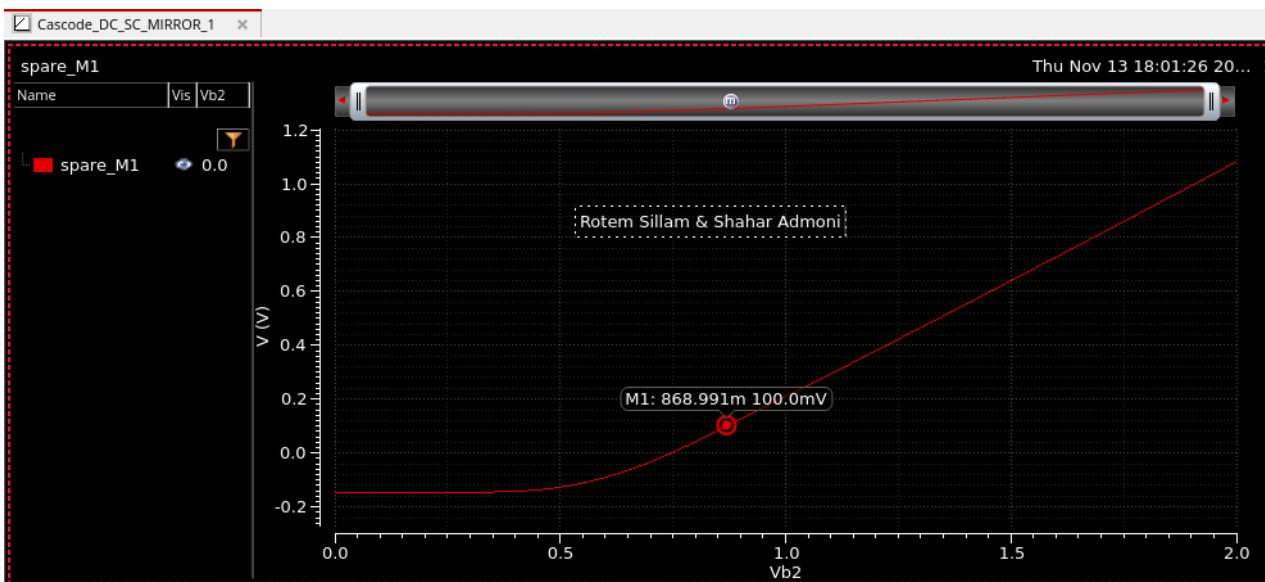
## 2B – Cascode DC : (30 pts)



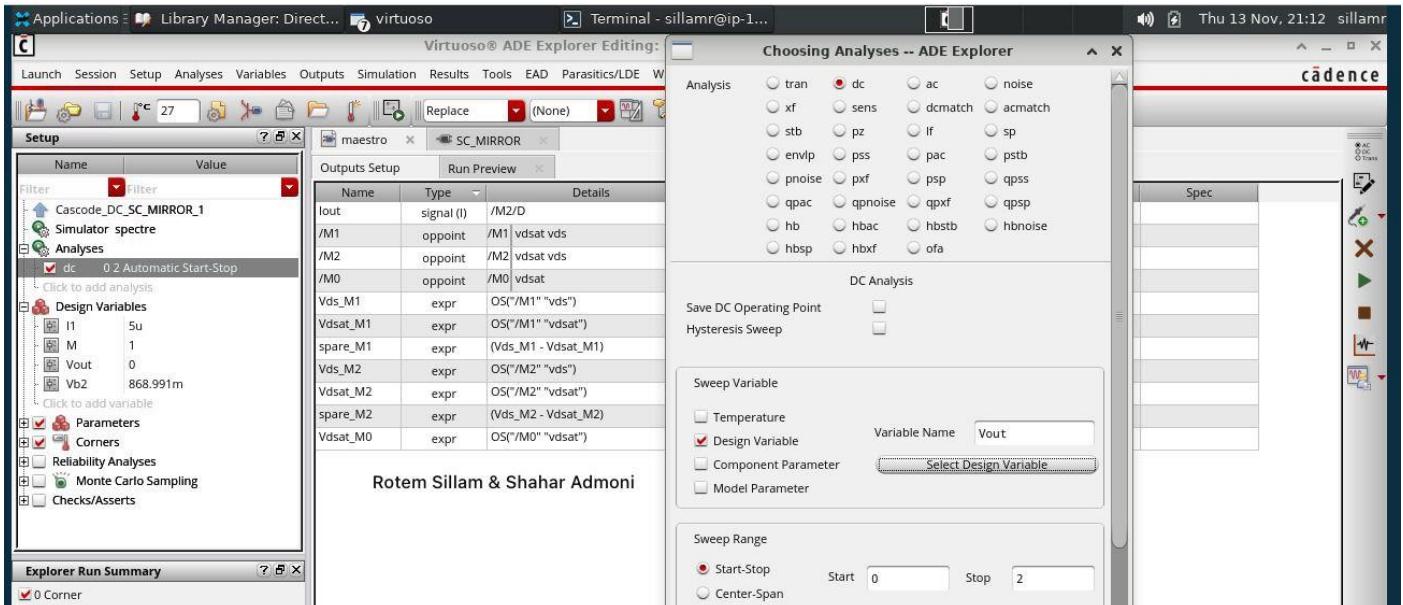
## 2B. 2 – Voltage Bias



עבור מתח  $V_{dsat_{M1}} - V_{dsat_{M2}} = 100mV$  נקבל שטרנץיסטור M1 בסאטורציה. נבחר  $Vb_2$  בהתאם על מנת לעבוד באזורי הסאטורציה. נראה בגרף שנמצא  $Vb_2 = 868.991mV$ .



## 2B. 3 to 5 – Iout vs. Vout



:Spare גרפ

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

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

$M_2$	$M_1$	
$V_{out} < 380.122mV$	$V_{out} < 191.138mV$	ליניארי
$V_{out} > 380.122mV$	$V_{out} > 191.138mV$	סaturated

:Spare M2 – גרפ ליניארי. הוכחה:

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

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



## גרף $V_{dsat}$

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



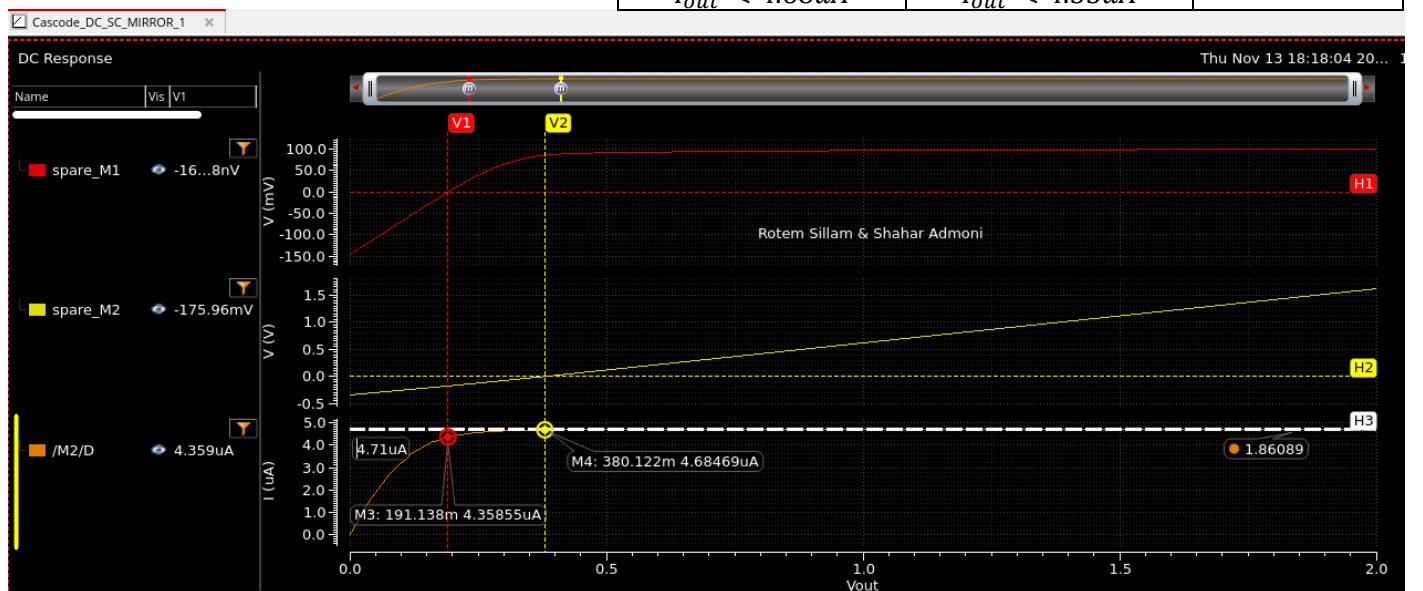
## גרף spare vs $I_{out}$

חיתוך קוים אדומיים – נקודת הכניסה לסתורציה של  $M1$

חיתוך קוים צהובים – נקודת הכניסה לסתורציה 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 (תוחטן))



תחילת שני הטרנזיסטורים במצב ליניארי.

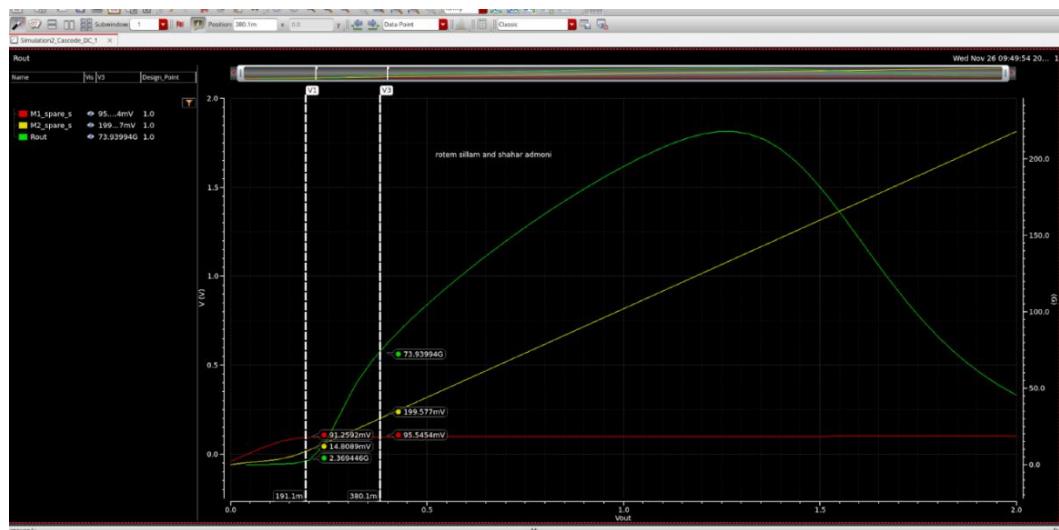
החל מ  $V_{out} = 191.138mV$  טרנזיסטור M1 נכנס לשאטורציה. M2 עדין במצב ליניארי. בכניסה לשאטורציה ההתנגדות גדלה על מנת לשמור על זרם קבוע, אך בגלל שM2 עדין לעומת M1, נראה עדין עליה קטנה בזרם ( $191.138mV < V_{out} < 380.122mV$ ).

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

ניתן לראות שהזרם בסאטורציה מתיצב בערך על  $A_{in} = 4.71nA$ , שהוא כמעט כפונקציית המערכות ( $I_{in} = 5nA$ ) של מירר קיבלנו מראת זרם.

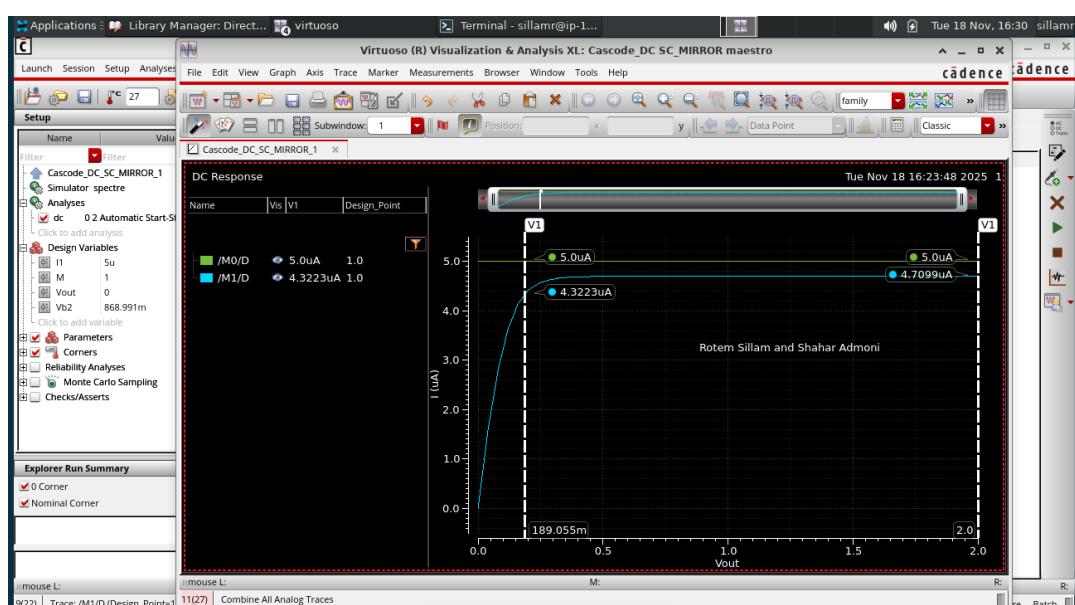
$$\text{గרפ } R_{out} = \frac{dV_{out}}{dI_{out}} : \text{Rout}$$

בהתחלת הטרנזיסטורים פועלים באזורי הליניארי, שבו הזרם משתנה ממשמעותית עבור שינוי קטן במתוך ולכן הגיוני שמתתקבלת התנגדות יציאה נמוכה יחסית. ככל שמתהה ה  $V_{out}$  עולה, שני הטרנזיסטורים נכנסים לאזור הסאטורציה, שבו שינוי קטן מאוד במתוך גורם לשינוי מינורי בזרם - כלומר ההתנגדות גדלה ממשמעותית.



#### • זרמים מהחדר של M0 ושל M1:

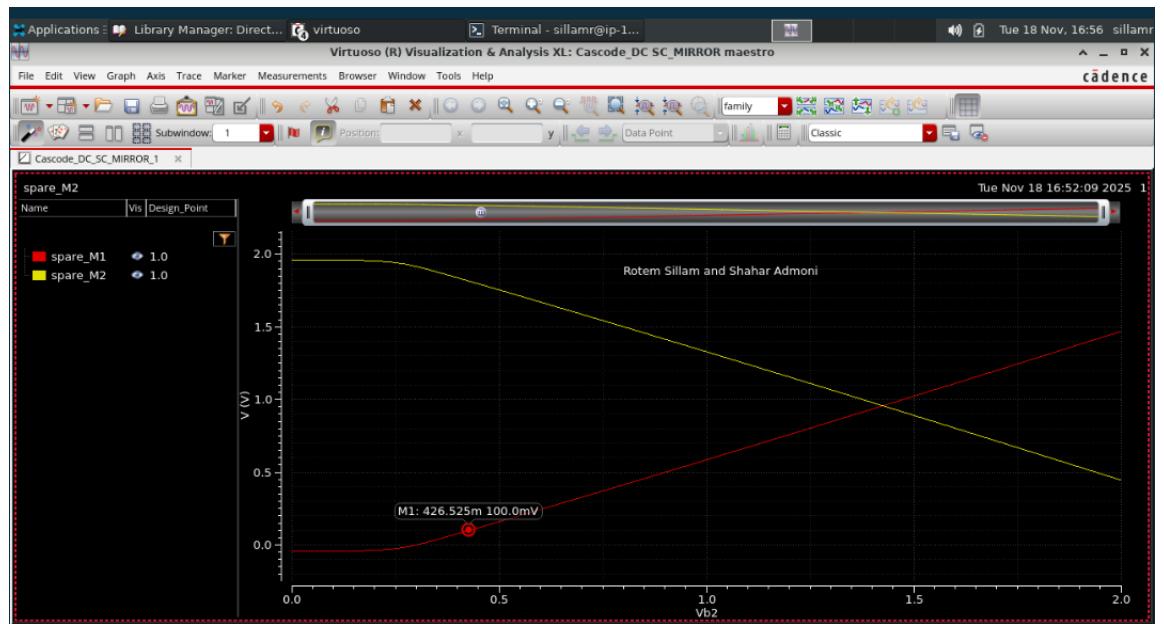
ניתן לראות שהזרם בM1 מגיע בסאטורציה כמעט עד המקור המדין של המעלג ( $V_{in} = 5nA$ ) כמו שהסבירנו בעבר מראת זרם. מגיע רק כמעט לזרם  $5nA$  בגלל אפקט התקוצרות התעללה (התנגדות כמו חוק אוּום, כלומר ישנה התנגדות מסוימת).



## 2B.6 – Low current

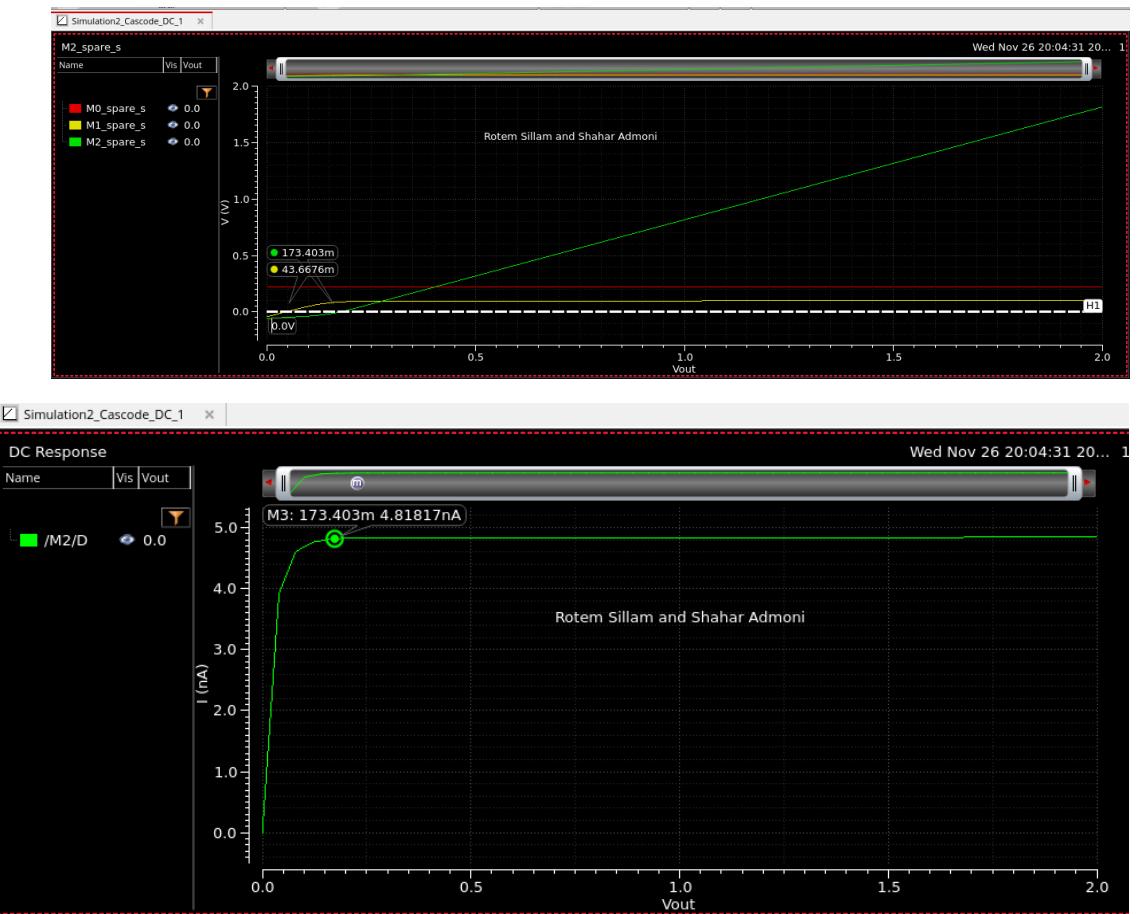
הרצנו סימולציית DC על מתח השער,  $V_{b2}$ , עם זרם 1 של 0.5nA.

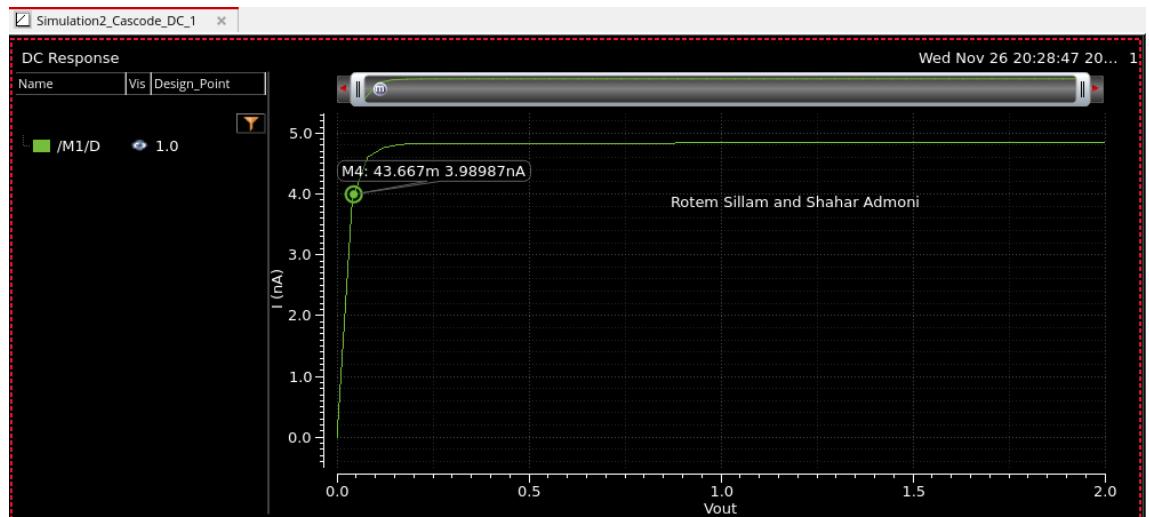
כפי שעשינו בסעיף 2, נחפש את הנקודה שבה  $V_{DS} - V_{DSAT} = 100mV$  ← מתח שער מתאים  $V_{DS} - V_{DSAT} = 100mV$ .



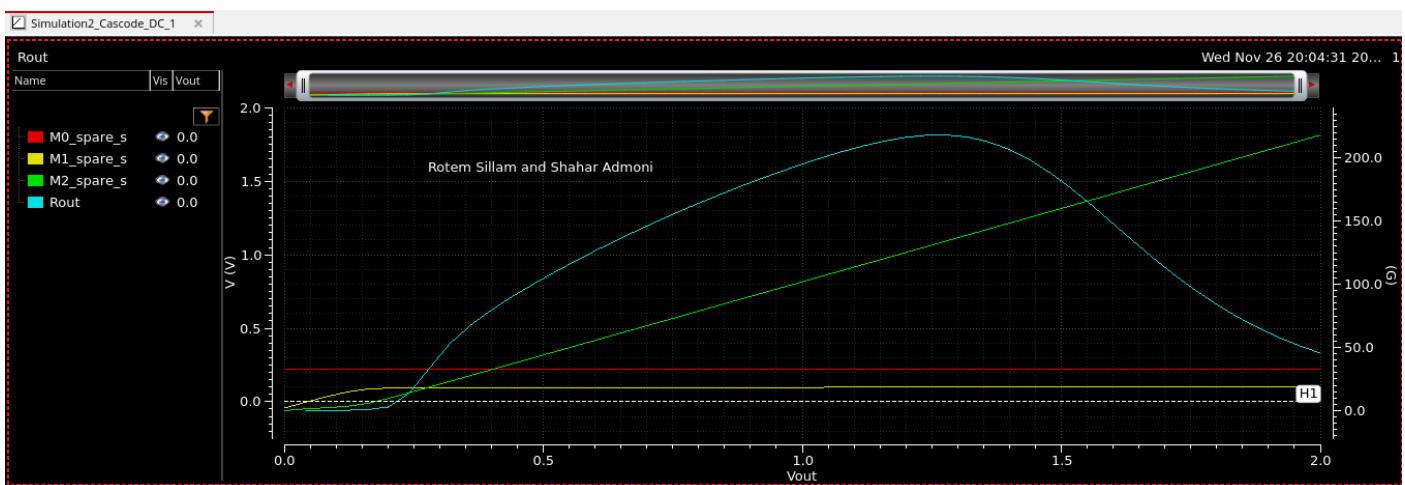
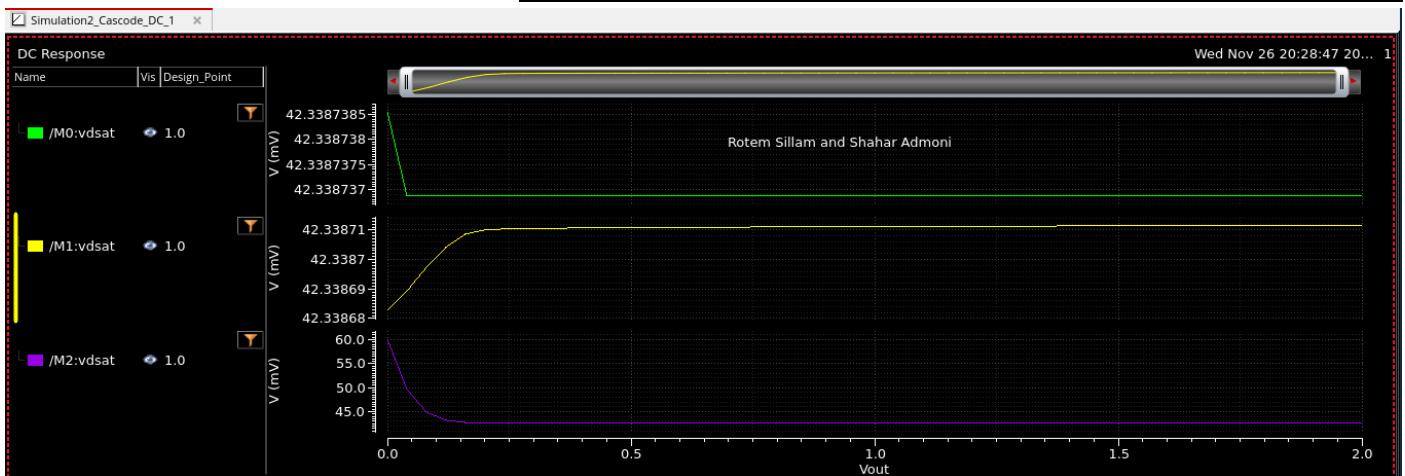
ביצענו סימולציית DC על מתח המוצא. מאחר שהקנוו את הזרם, גם המתח  $V_{b2}$  שנדרש כדי להכניס את הטרנזיסטור לאוטורציה קטן בהתקם. לכן מקבל גם מתח אוטורציה נמוך יותר. למורות זאת, הדיק היחס בין המקרים כמעט לא השתנה, משום שהשינוי שביצענו היה הקטנה אחת.

הגרף של  $V_{DS} - V_{DSAT}$  עבור M1 ו-M2, עם זרם של 0.5nA, מראה שמתוך  $V_{b2}$  מתקבל נמוך יותר.





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

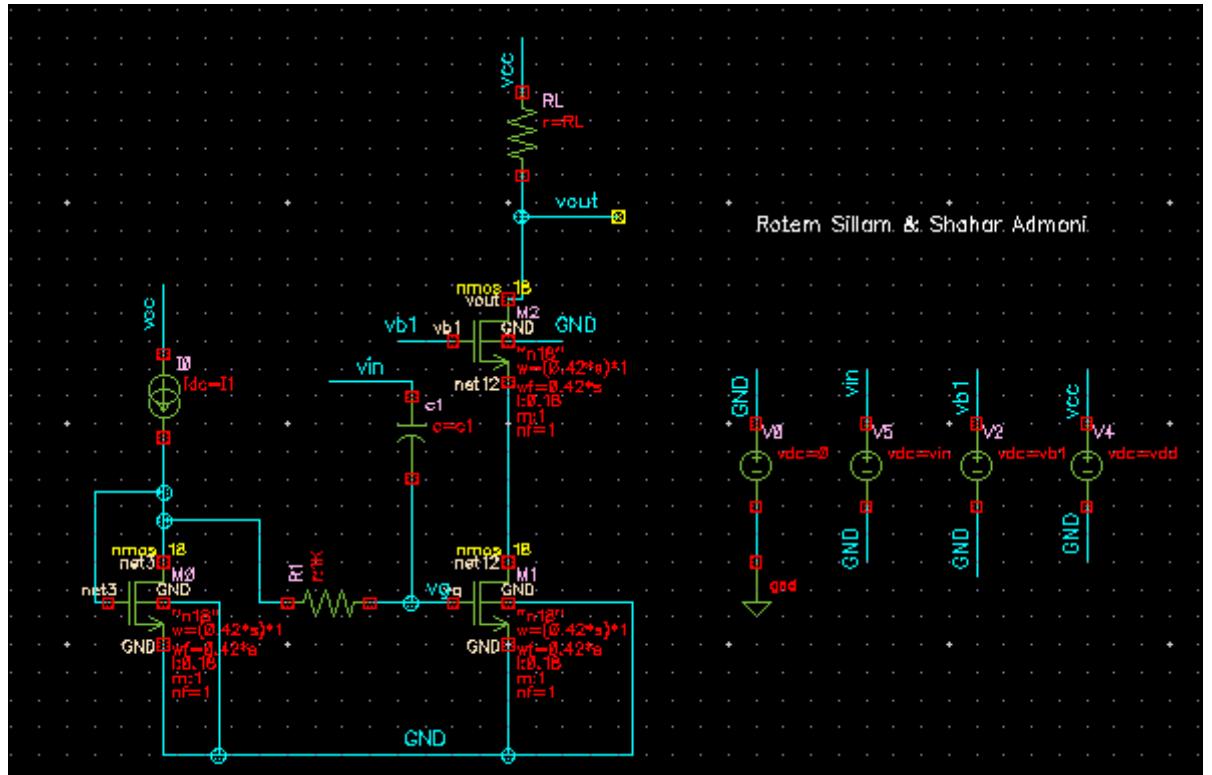


כפי שניתן לראות, ככל שאנו מקטינים את הזרם, התנגדות המוצא גדלה, כיוון שהיא ביחס הפוך לזרם. במבנה של קסקודה, זה מוכפל בגלל שההתנגדות המוצא היא הכפלה של התנגדות פנימית בריבוע במליצות. כמו כן, הקטנות הזרם גורמת למתח הסטורציה לדדרת, עד כדי כך שמתוך הסף תלוי במתוח התרמי ולא מגע לאפס, שכן רואים בגרף התייצבות למרות שהזרם נמוך. מכיוון שהזרם נמוך, הפרש המתחים בין השער למקור יורד וכן גם מפל המתח על הטרנזיסטור.

## 2C – Cascode AC (30 pts)

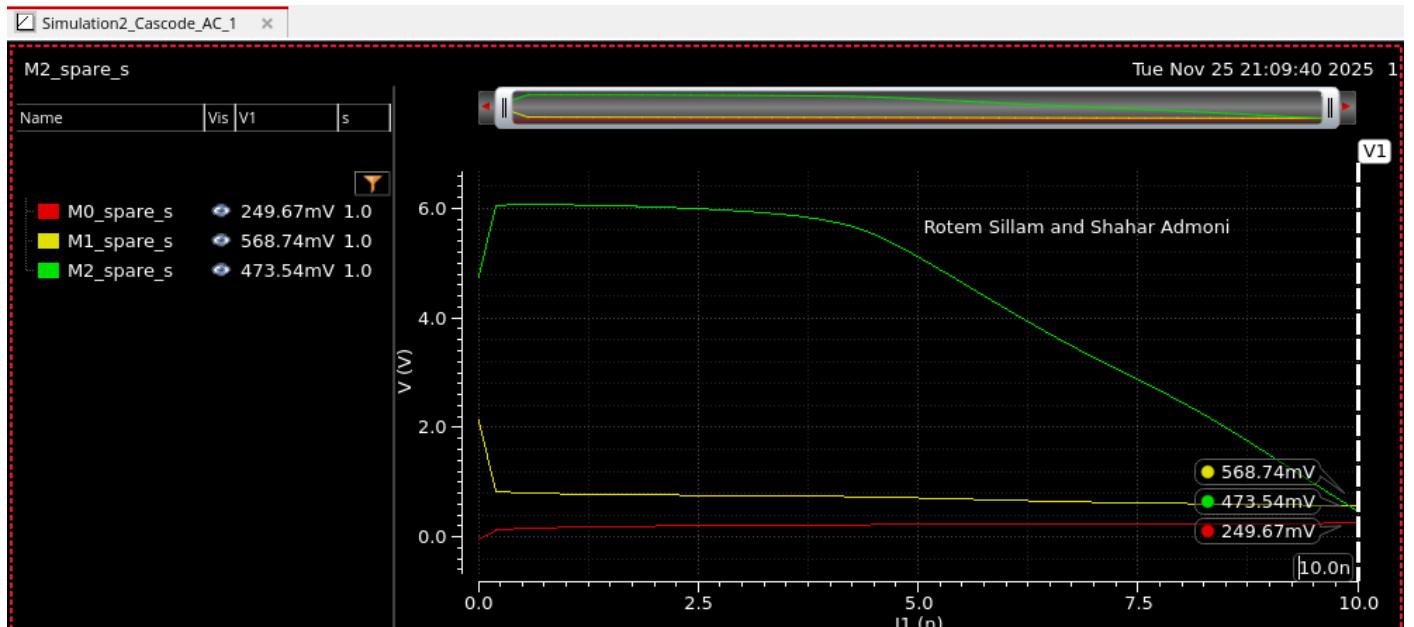
### 2B.1 – DC sim

מטרה: המודול משמש כמגבר, וכך שלמדו הוגבר מושפע מההתנגדות המוצאת ביחס ישר. אם נתיחס לחלק של Cascode, small signal, מתחים שלו מחוברת במקביל לנגד  $R_L$  כזכור הקטן מביניהם הוא זה שיופיע על הוגבר ביחס. אנחנו רוצים שההתנגדות מהcascode היא זו שתופיע, ולשם כך נדרש שההתנגדות מהcascode תהיה יותר קטנה מ- $R_L$  (או באותה סדר גודל). זה מה שננסה להשיג פה.

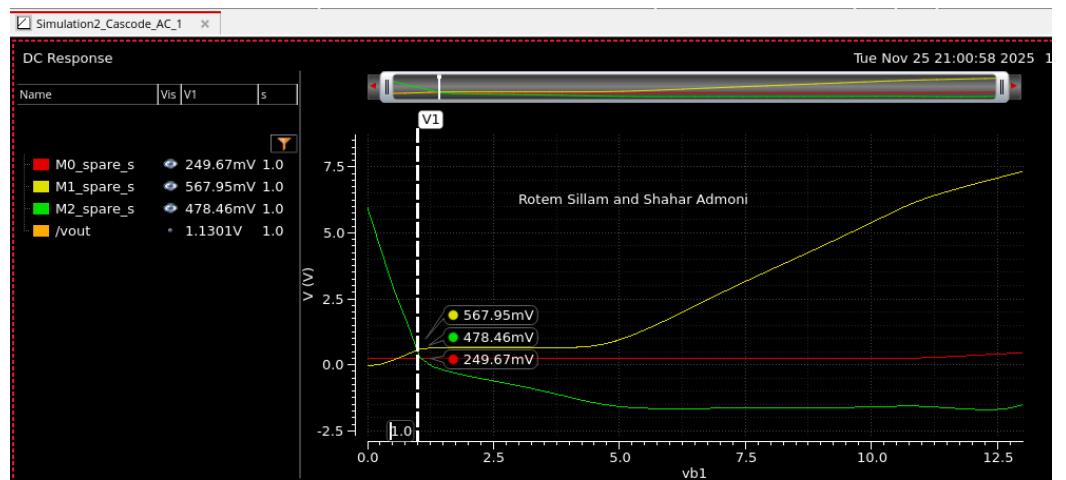


שינו את  $W/L$  של הטרנזיסטורים לאחר בדיקה עם המתרגלים במעבדה, כך ששםנו אותם על טכנולוגיית המינימום הדיפולטיבית.

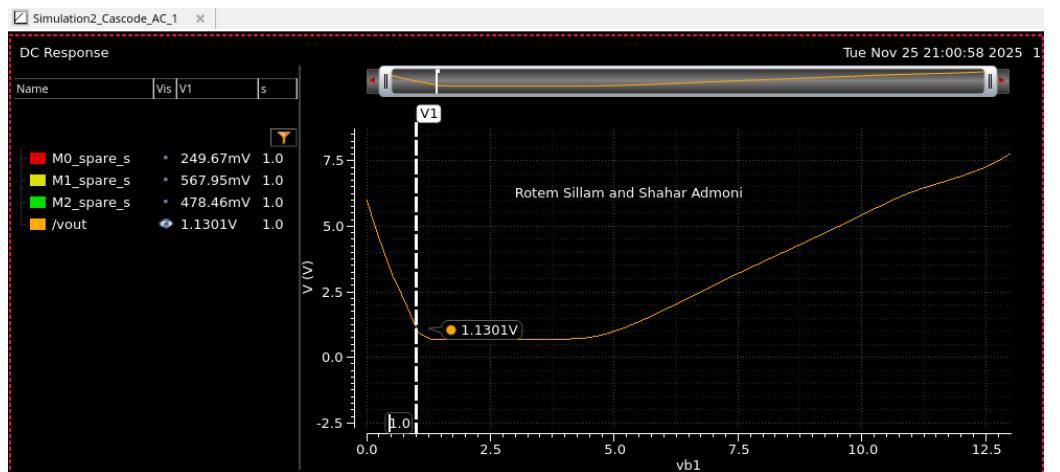
ראשית בדקנו עבור איזה זרם שלושת הטרנזיסטורים בסאטורציה. ניתן לראות שכרגע התחום רחב. אנחנו בחרנו  $A = I_1 = 10nA$ :



הרצינו סימולציית DC על  $vb1$  על מנת לבדוק עבור أيזה ערך כל הטרנזיסטורים בסאטורציה. בחרנו  $V = 1V$ .



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

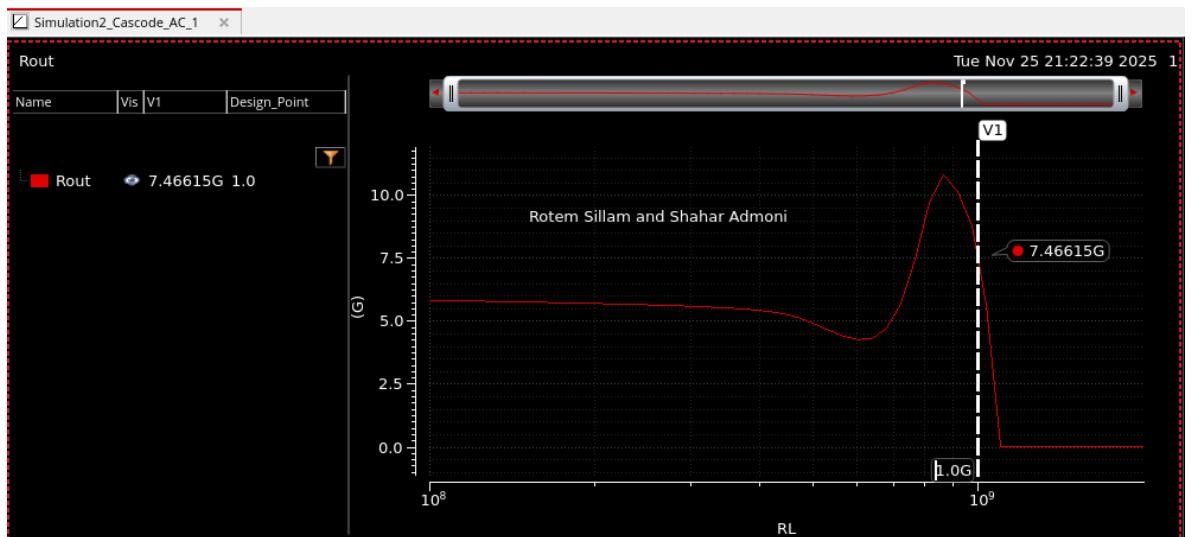


בדקנו עבור أيזה ערך נגד  $RL$  קיבל  $R_{out}$  באותו סדר גודל על מנת שהתנגדות המוצאת הכללית של הcascodeן תושפע גם מההתנגדות  $RL$  וגם מההתנגדות  $h$ .

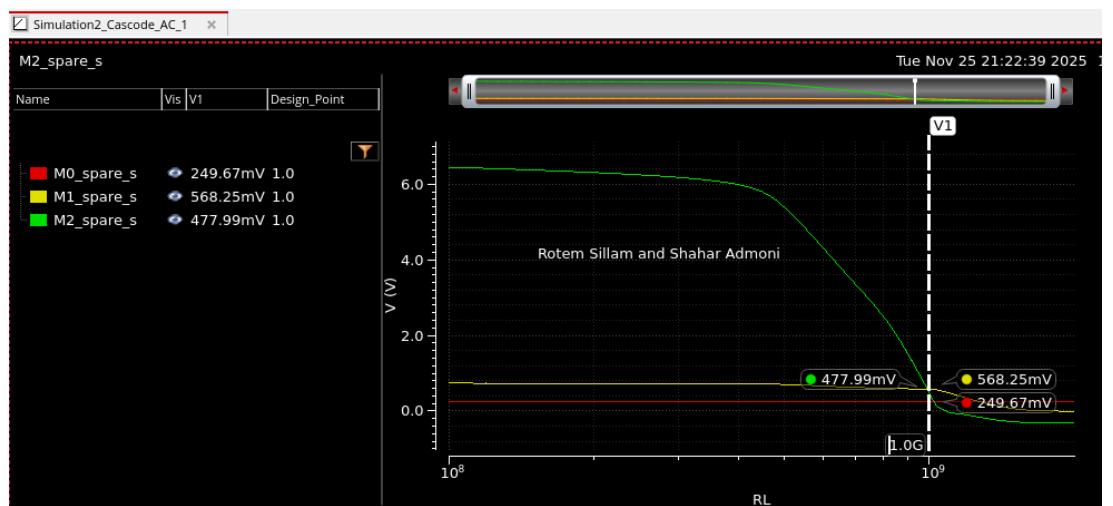
אם התנגדות אחת הייתה גדולה בכמה סדרי גודל מארחת, היינו מזניחים אותה בהתאם לנגדים המוחברים במקביל.

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

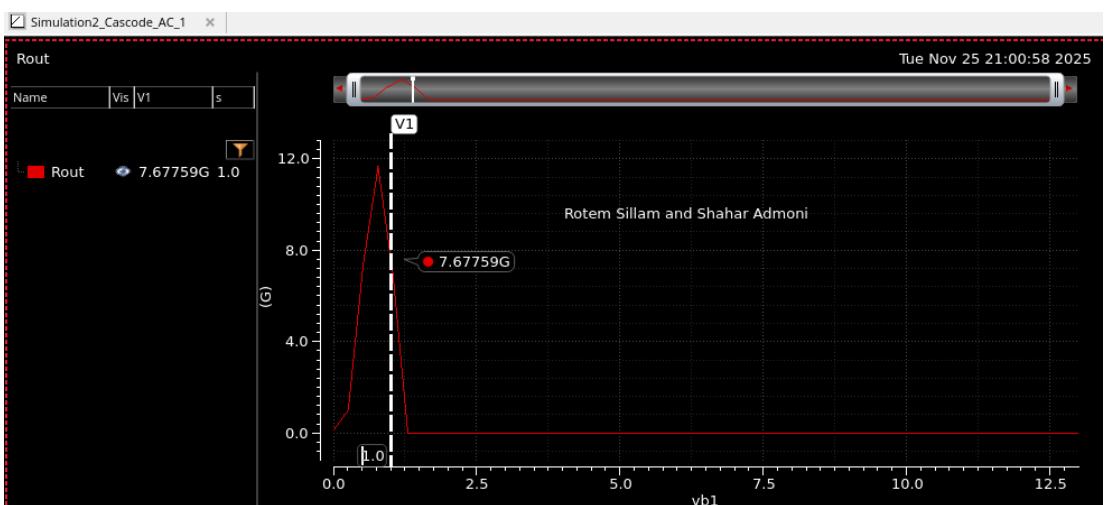
נרצה לציין כי ככל הרצונות שbowcouו היו עם הגדרת גודל נגד  $\Omega$ .



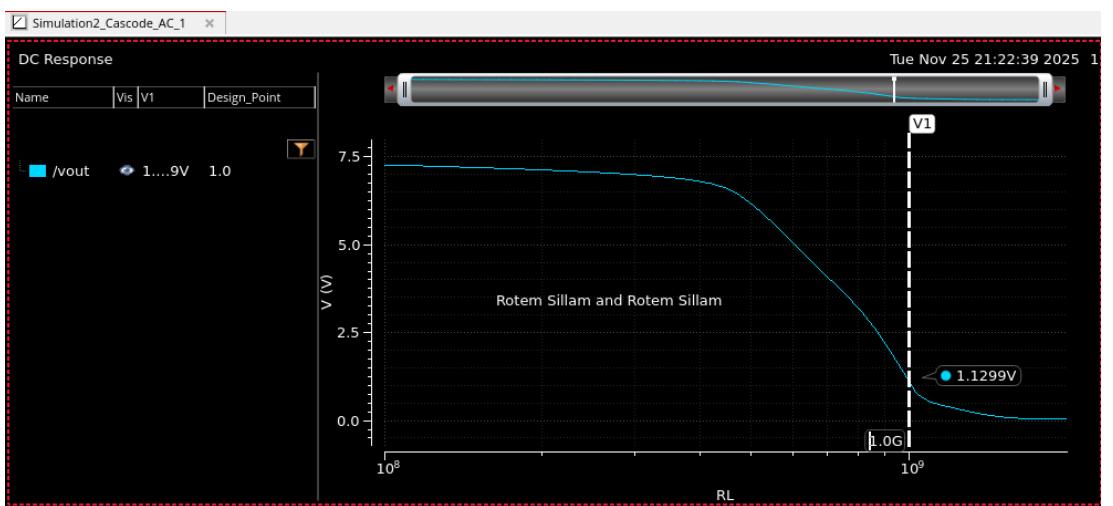
כל הטרנזיסטורים בסאטורציה עברו  $\Omega = 1G$



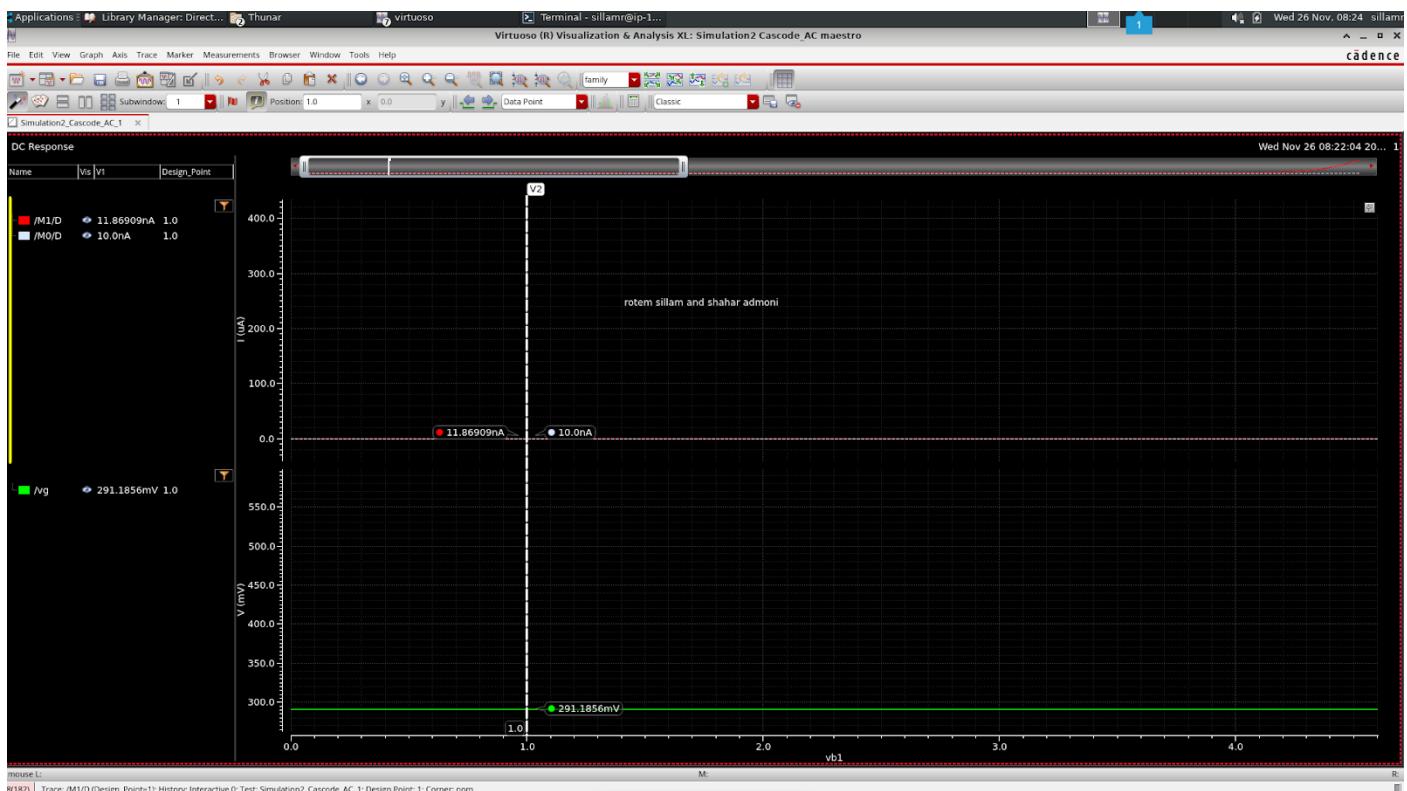
נוידא שיש התאמה בין ה  $v_{b1}$  שבחרנו כנקודת עבודה, לבין התוצאות  $R_{out}$



נוידא גם שיש התאמה במתוך  $V_{out}$  הרצוי עברו  $\Omega = 1G$



ניתן לראות שזרם מתח' ימת עברו  $V_{b1}=1V$ :



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

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

$$gm_1 = 336.3ns$$

$$gm_2 = 345.06ns$$

$$gmb_1 = 67.317ns$$

$$gmb_2 = 43.52ns$$

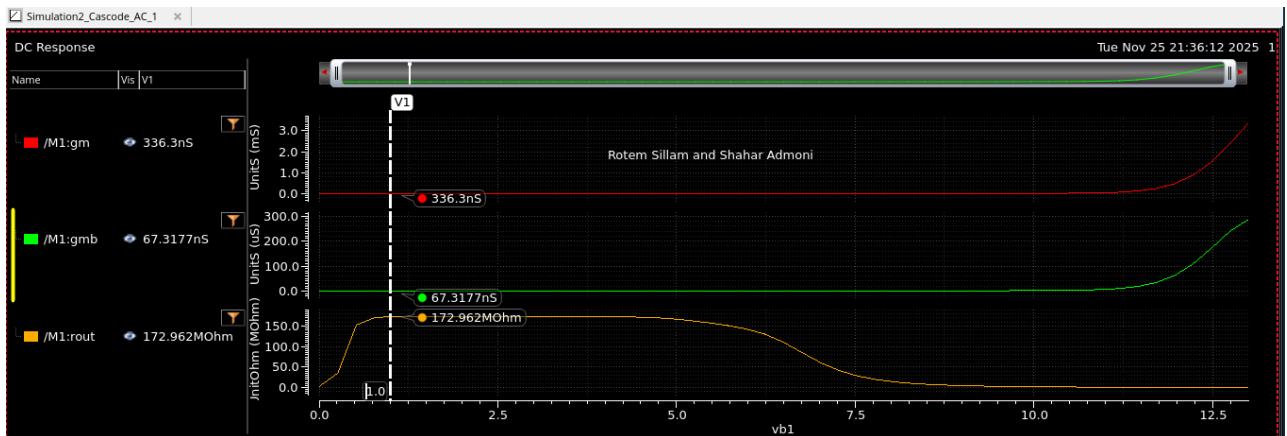
$$ro_1 = 172.96M\Omega$$

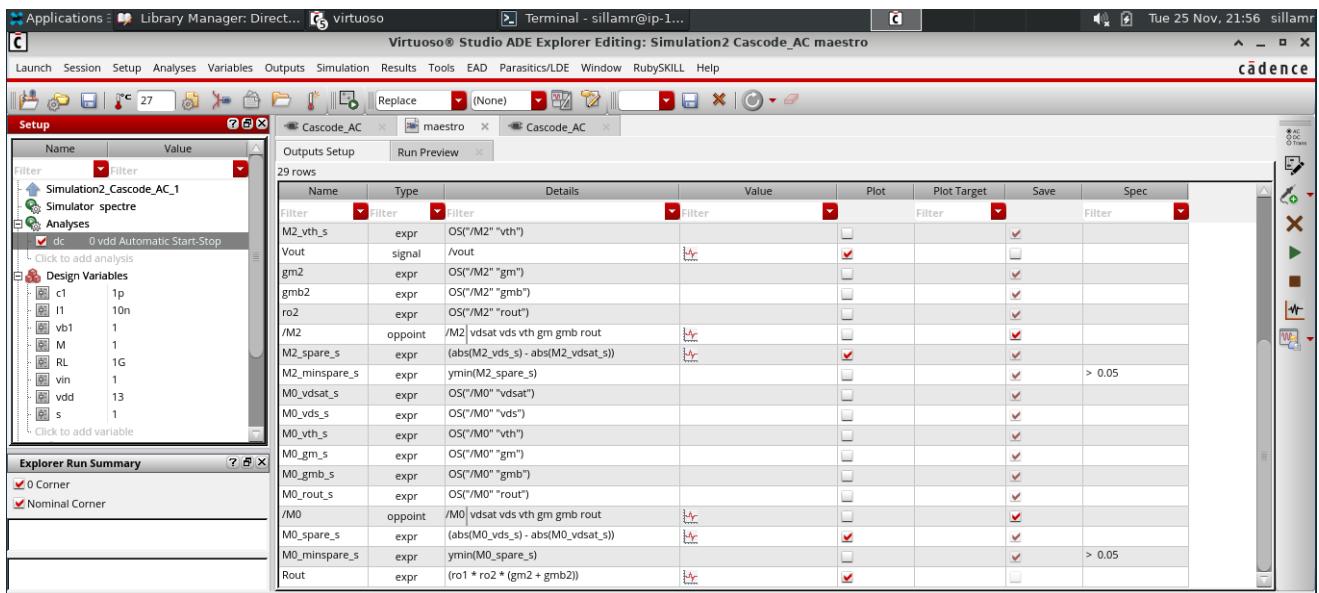
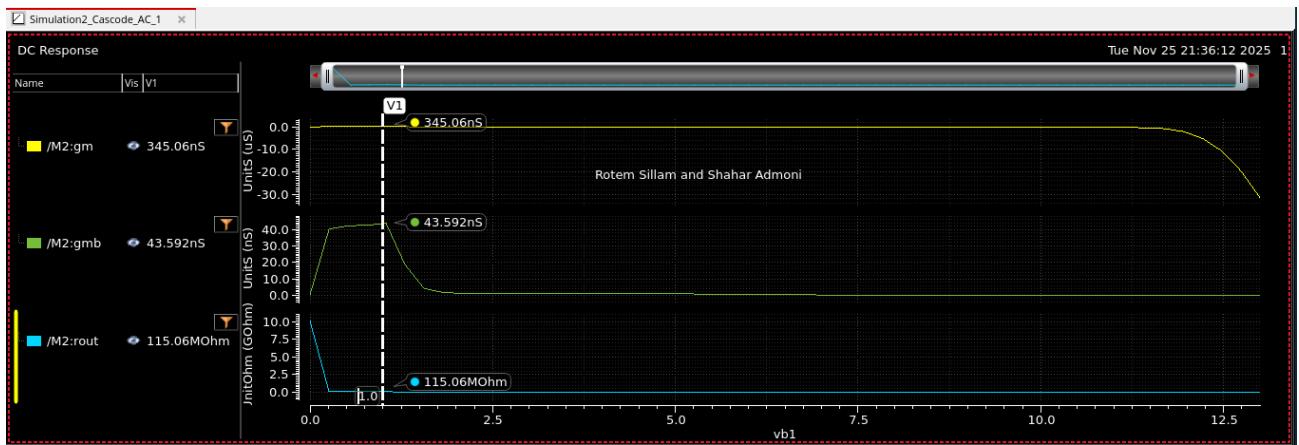
$$ro_2 = 115.06M\Omega$$

$$RL = 1G\Omega$$

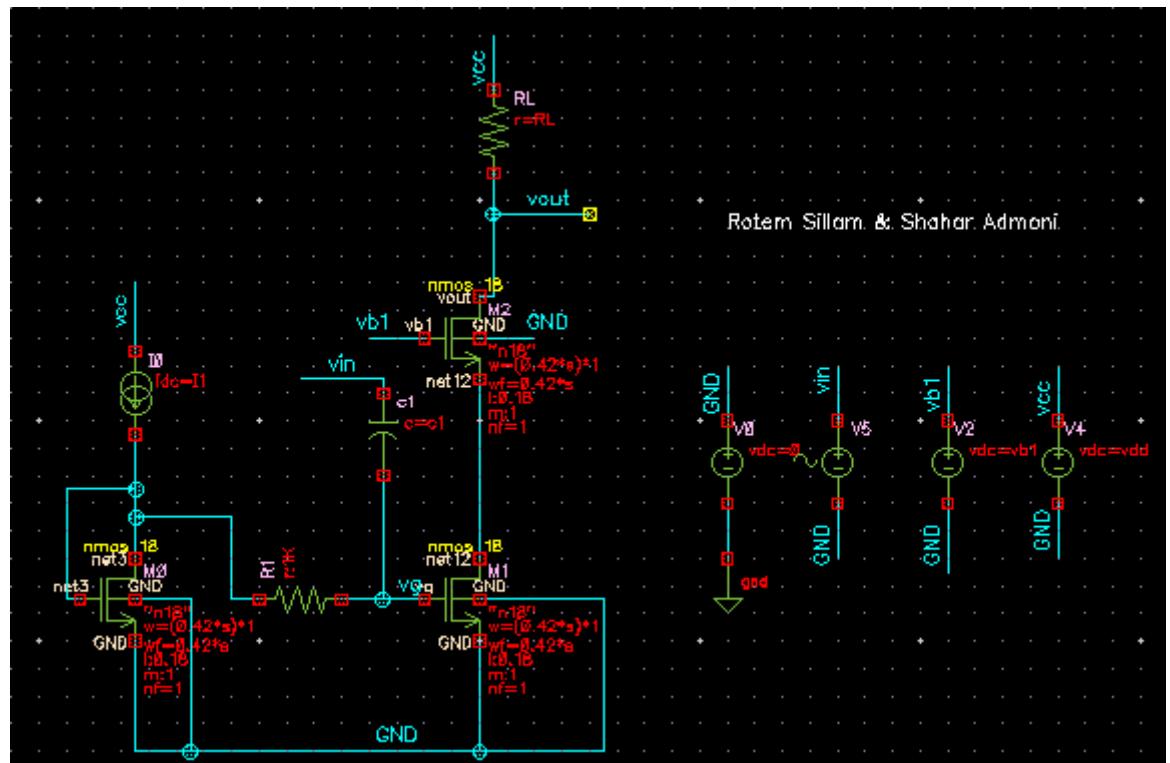
$$Av \approx -g_{m1} \cdot (R_{out} || RL) = -g_{m1} \cdot \{ [r_{o1} \cdot r_{o2} \cdot (gm_2 + gm_{b2})] || RL \} \approx 297.5$$

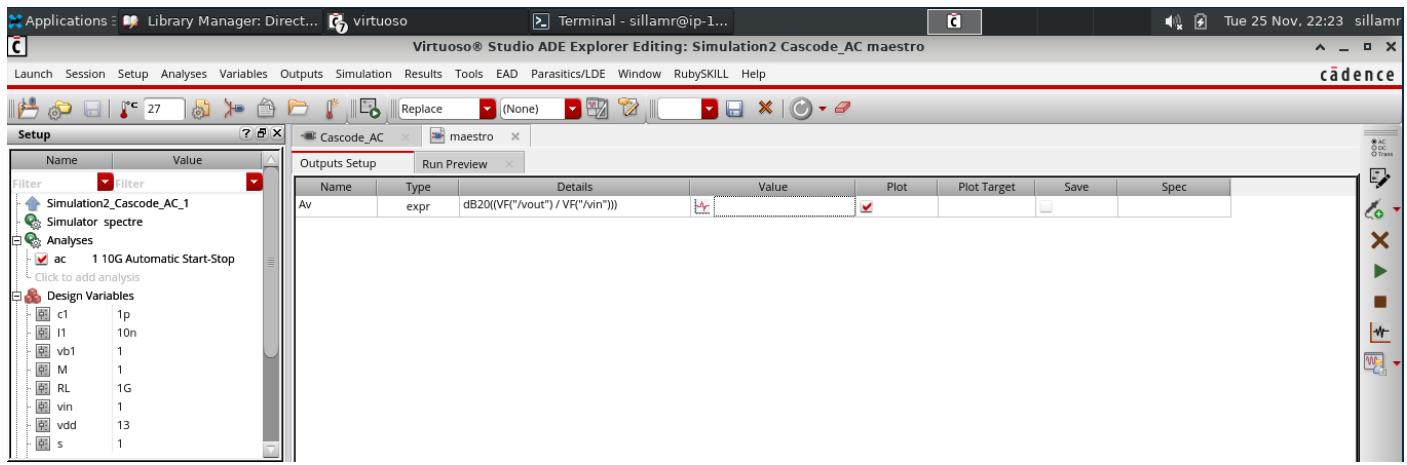
$$20 \log_{10} Av = 20 \log_{10} 297.5 = 49.47dB$$



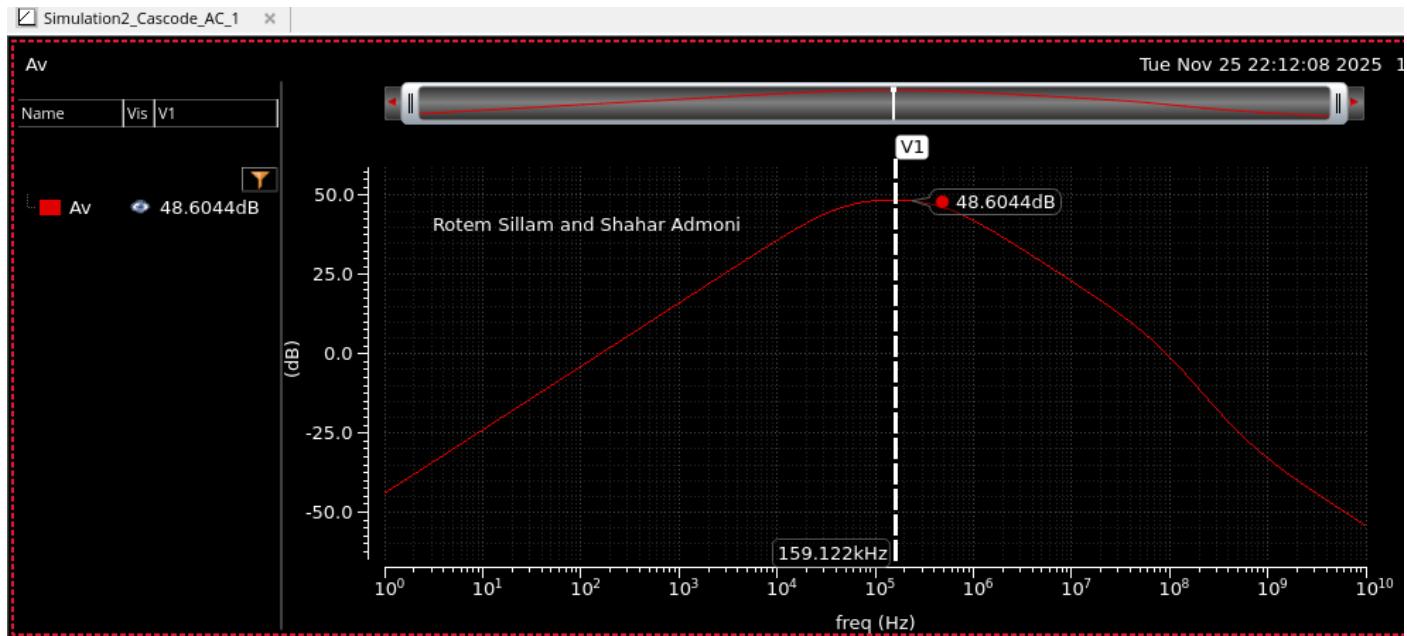


cut ביצענו הריצת AC על מנת לקבל את ההגבר בזרה ישירה:





ניתן לראות שקיבלנו הגבר מקסימלי קרוב מאוד לערך חישבונו 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-הרעיוון הוא לגרום לשני הטרנזיסטורים לעבוד בסטורציה בו-זמןית. כשהזה קורה – כל אחד מהם מתנהג כאילו יש לו התנגדות פנימית ענקית, וככה ביחד הם נוננים הגבר גבוהה. ברגע שההתנגדות נמצא גדולה, ההגבר גדול מאוד, וגם מקבלים אותן נקי יותר ופחות מושפע מרעש.

במיעל הנטען ה  $R_L$  שיושב במקומות זה שקבע מה "רואה" הטרנזיסטור העליון. אם  $R_L$  קטן, אז מבחינת ה- cascode העומס שהוא רואה קטן, ולכן 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 גבוהה, נשאר בסטורציה, ואז גם התחתון מצליח להישאר שם.

אם היינו מחברים את הטרנזיסטור למקור זרם אידיאלי היינו מקבלים הגבר טוב, אבלcascode נתן את אותו אפקט רק בזכות הזרה שבה מחברים את הטרנזיסטורים אחד מעל השני.

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