

Simulation 3 – Differential to Differential Amp

מגישים:

שחר אדרמוני – 206591463

רותם סילם - 206663437

Contents

| | |
|---|----|
| 3.1 – SELECT LOAD: (30 pts)..... | 2 |
| 3.2 – INPUT COMMON MODE (30 pts)..... | 4 |
| 3.3 - EVALUATE Av (40)..... | 6 |
| EXPLANATIONS AND DISCUSSION: up to 2 pts bonus for very good and insightful discussion..... | 10 |

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

Diff Amp Gm-R Stages

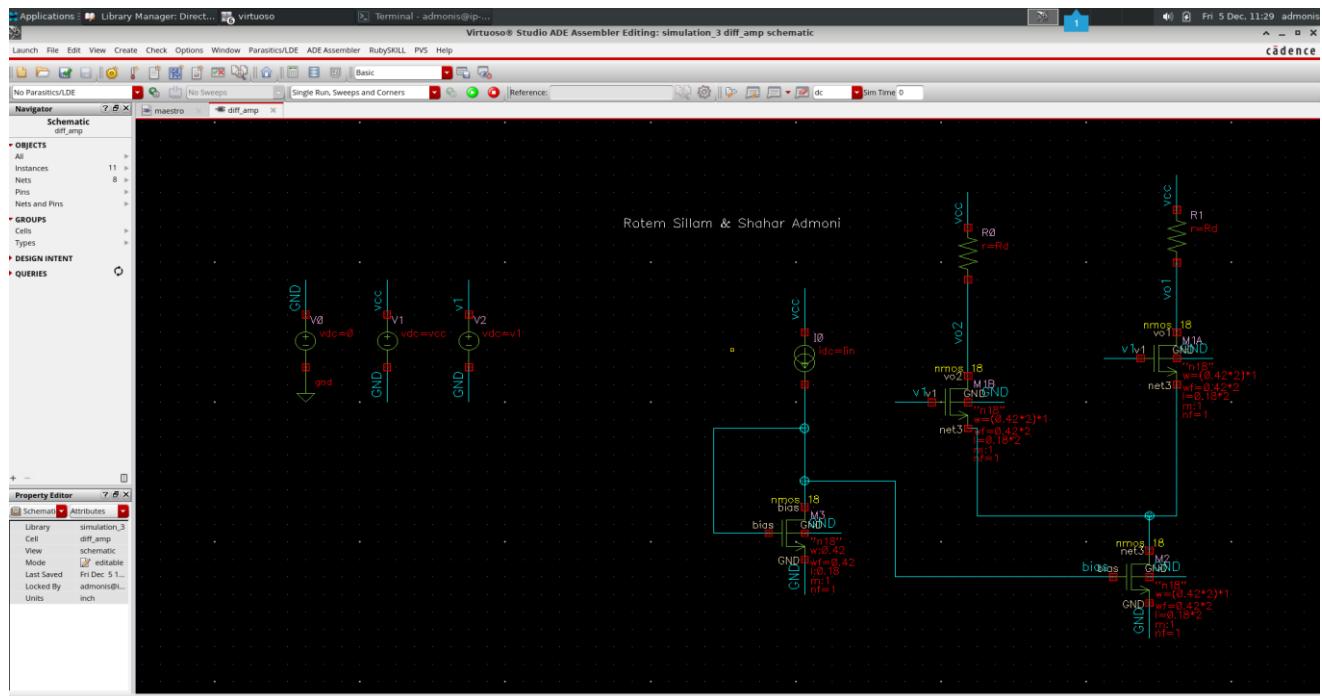
3.1 – SELECT LOAD: (30 pts)

בחלק הראשון בנינו את המודול כפי שנראה בציור. הגדרנו את החיבורים ואת הגדלים של הרכיבים על פי ההנחיות.

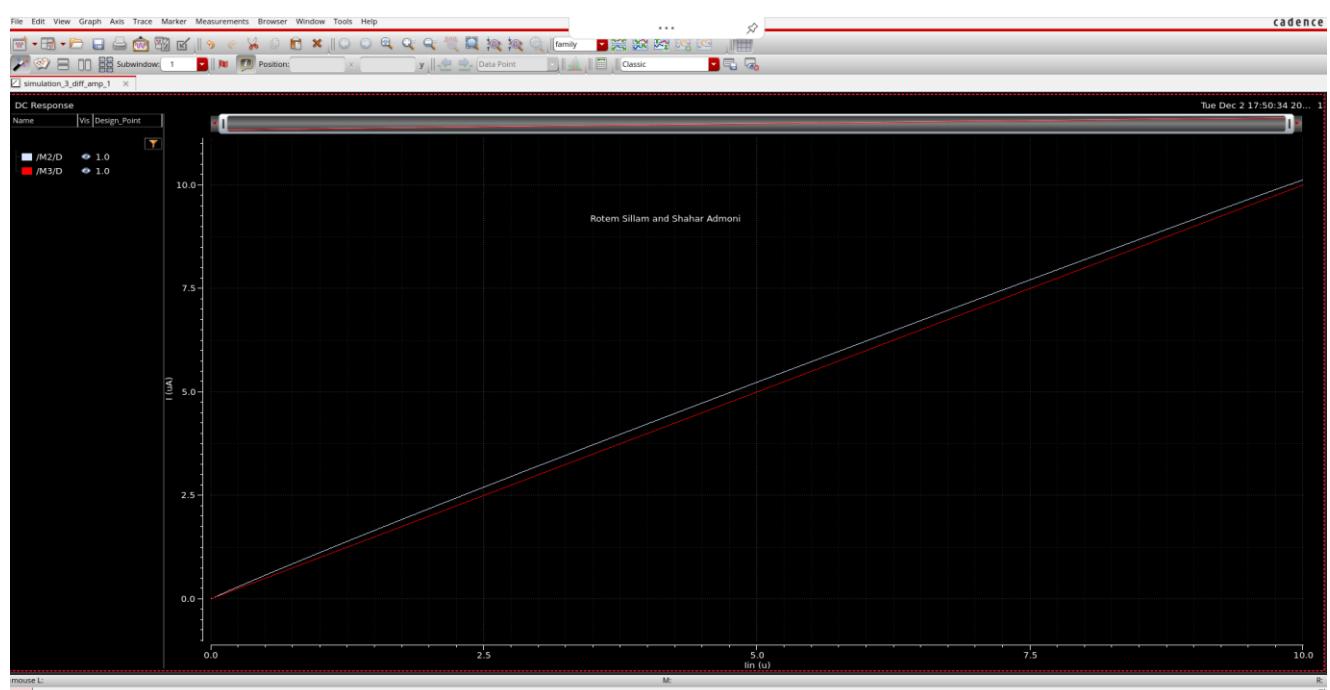
$$L = 2 \cdot 0.18 = 0.36, W = 2 \cdot 0.42 = 0.84 \text{, } M1A, M1B, M2$$

שmeno טרנזיסטורים M1, M1A, M1B, M2 והגדנו על פי ההנחיות.

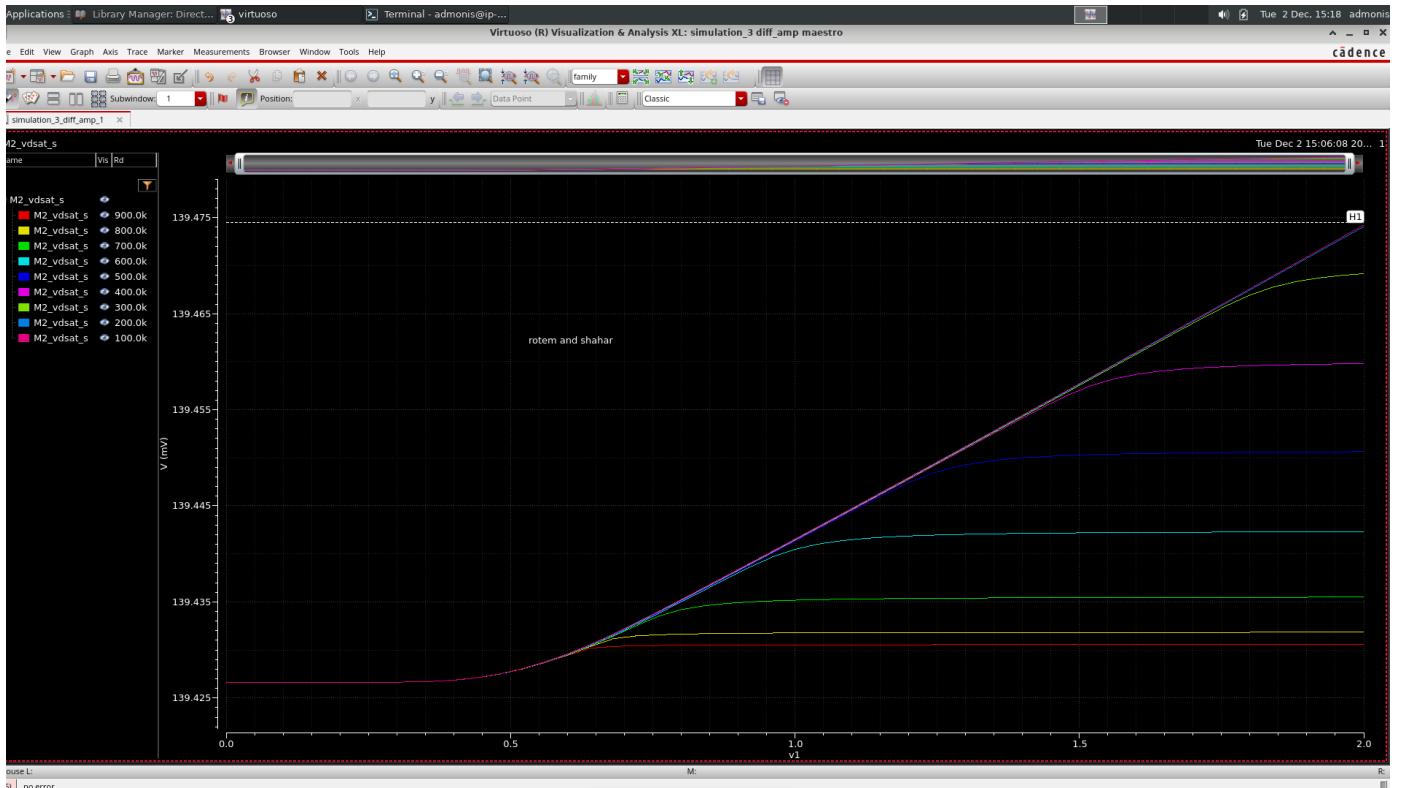
טרנזיסטור M3, של אפקט המראה, הוגדר לפי הדיפולט.



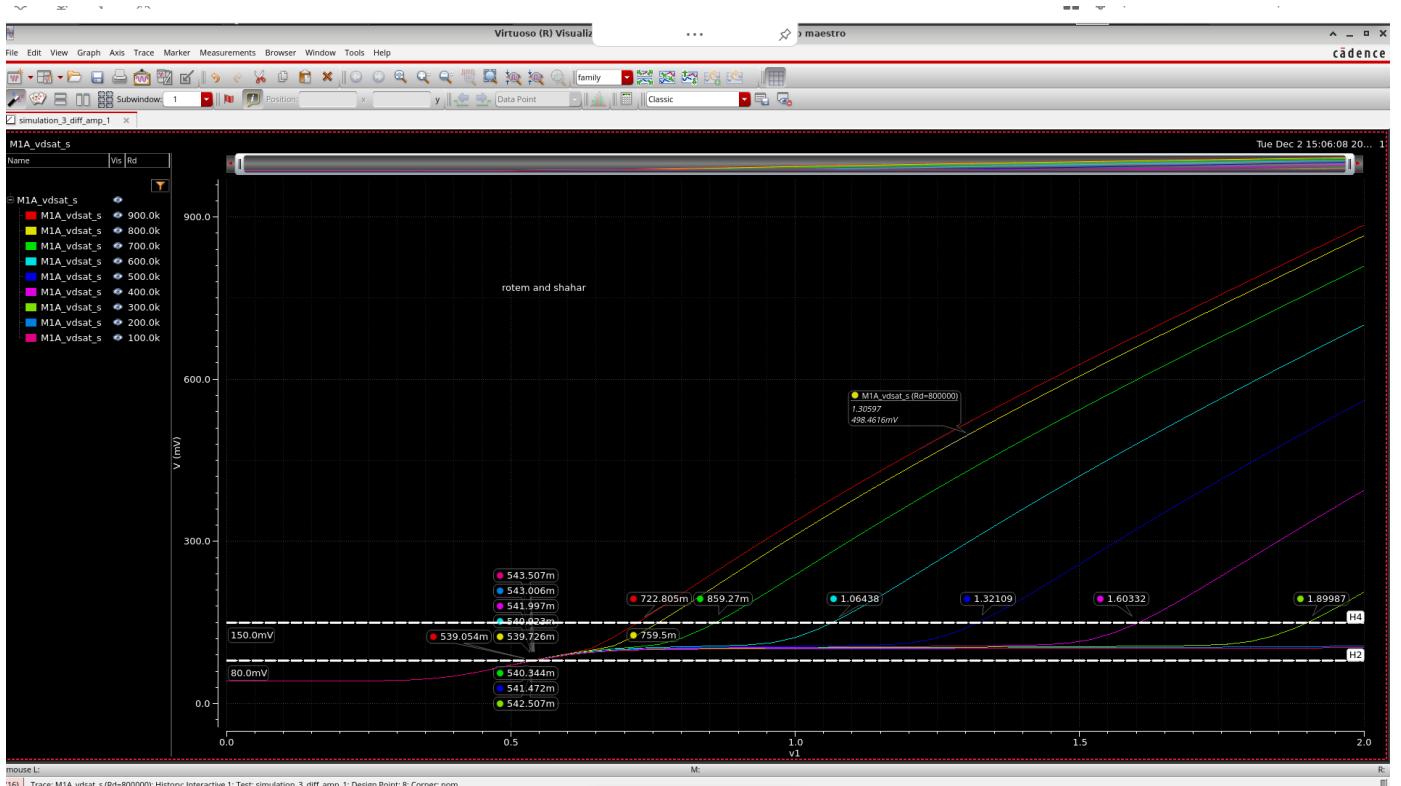
נראה שאפקט המראה עובד:



נגדיר מקור זרם A_n5 , נבצע סימולציה DC על מתח הכניסה מ 0 עד VDD. בנוספּ נבדוק ערכיו נגד עומו בין $100K$ ל $900K$. ניתן לראות כי ברכיב $M2$ המתח סף סטורציה שלו הוא בין $80mV$ ל $150mV$ כנדרש – קלומר תמיד בסטורציה עבור מתחים אלו:



נראה תחום סף סטורציה הוא בין $80mV$ ל $150mV$ ברכיב $M1A$:



נראה מתח סף סטורציה בין הוא בין $V = 80mV$ ל $V = 150mV$ ברכיב M1B :



3.2 – INPUT COMMON MODE (30 pts)

הסבר על V_{common} : זהו הטווח שבו כל הטרנזיסטים בסאטורציה.

יש trade-off בין גודל הנגד, לטוווח שבו מקבל את כל הטרנזיסטים בסאטורציה. ככל שהנגד יותר גדול, מקבל headroom יותר קטן, נסבירות:

הכו שמעל הנגד קבוע. זרם שעובר בכל ענף קבוע - והוא מתפצל לשני הענפים (שהם סימטריים לכונת התפלגות סימטרית). במקרה שלנו בחרנו $n=5$, כלומר בכל ענף יזרום זרם של $2.5nA$.

$$\text{כזכור המשווהה שנעבוד אותה היא } 2 - V_{out} = 2.5nA \cdot R_d$$

נראה (בסאטורציה) שעבור R_d גדול יותר מקבל V_{out} קטן יותר - כלומר headroom קטן יותר:

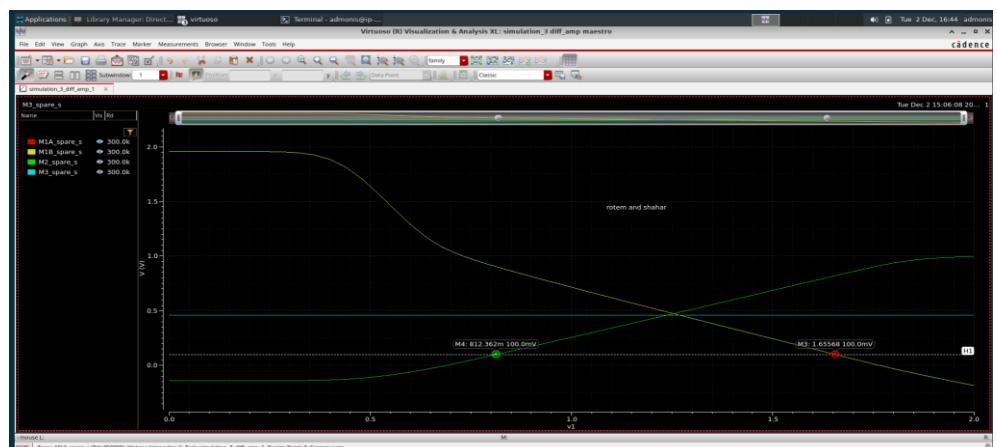
$$V_{ds} > V_{dsat}$$

$$v_{o2} - V_s > V_{gs} - V_t$$

$$v_{o2} > V_{gs} - V_t + V_s$$

כזכור קיילנו תנאי שכלל $v_{o2} = 2V$ קטן, הטווח מתחים עבורי נועד בסאטורציה קטנה, כזכור ה $headroom$ קטן.

בחרנו נגד בגודל $K = 300A$, נציג את הטווח שבו כל הטרנזיסטים נמצאים בסאטורציה:



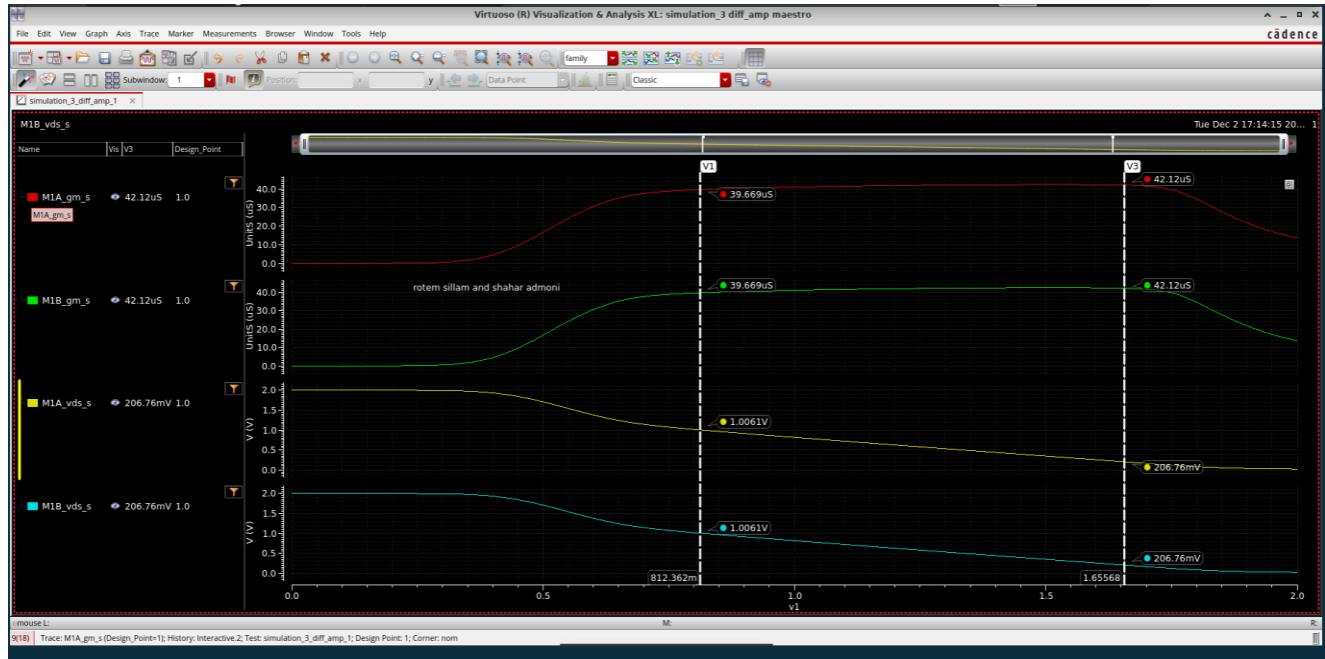
נראה כי כולם בתחום הסאטורציה כאשר התייחסנו לסקפ של $V_{ds} = 100mV$ – $v_{dsat} = 812.362mV$ עבור סאטורציה, דבר התואם לדרישת שהיתה קודם עבור ערך SAT.

קיבלנו טווח מתחים עבור headroom: $1.655V < v_1 < 0.812362mV$

ניתן לראות כי יש מספיק מרוח עבודה בסאטורציה לטרנזיסטורים.

עלות תועלות של הגבר כאשר הדרישת היא הגבר $B = 20 - 15$: נראתה בהמשך שהגדלת הנגד מעלה את ההגבר אך מצמצמת את תחום הסאטורציה (headroom), ולכן מגבילה את מרחב העבודה.

כעת לפיה בקשה, נראה את המוליכות s_{ds} , g_m של רכיב M1A ו M1B :



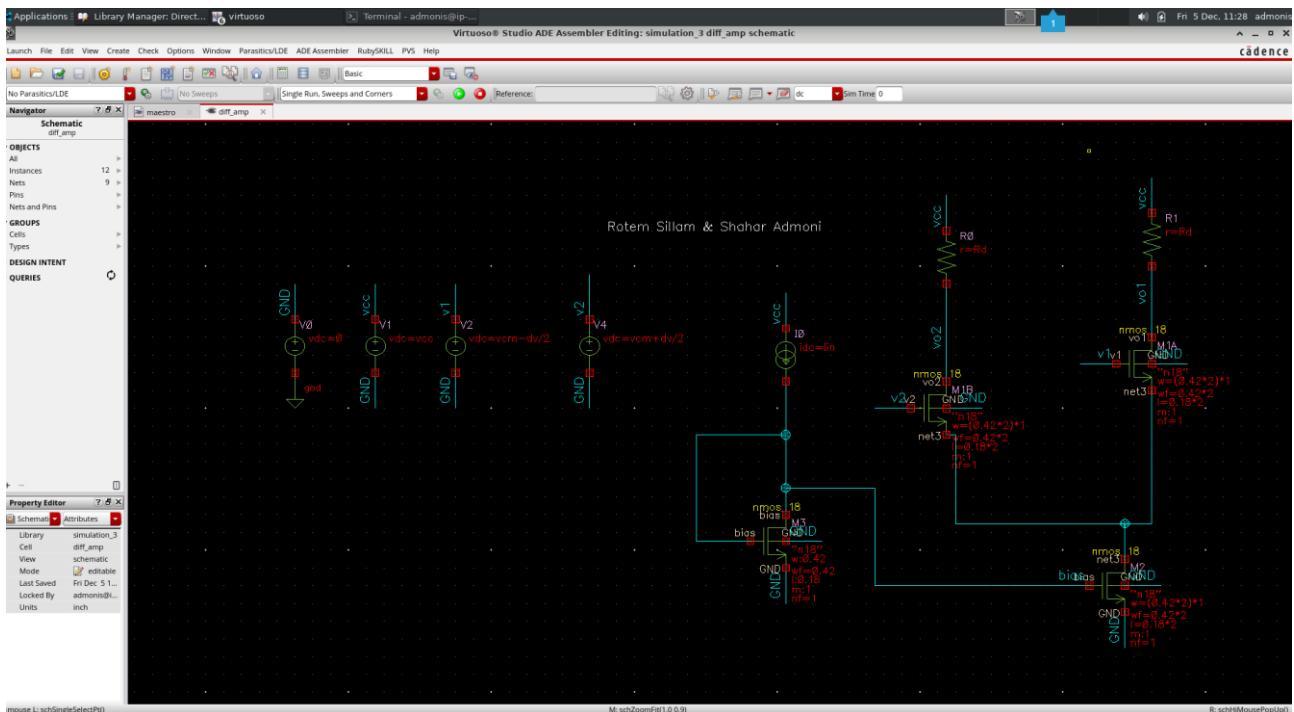
נראה כי בטוווח ערכיהם שהגדרנו קודם לכך, מוליכות הרכיבים בטוווח הגבוי ביוטר, מה שיוביל להגבר טוב יותר.

כמו כן, ניתן לראות כי SAT של כל רכיב נמצא בירידה, וזאת משום שכך שנגדיל את מתח הכניסה בשער, נגיע לפחות לה- headroom ועל כן לאחר מכן הרכיב יצא מסטורציה.

ה- $V_{DS} - V_{dsat}$ הימן הגרף שהציגנו קודם לכך. לא שינוינו דבר במעגל מלבד הוצאה של נתונים נוספים וכן אין שינוי במסווהה זו. הדבר תקין גם לגבי SAT.

3.3 - EVALUATE Av (40)

עבור חלק זה נרוצ' עם הפרמטרים הבאים: $I_{in} = 5\mu A$, $R_d = 300K\Omega$, $V_{cc} = 2V$

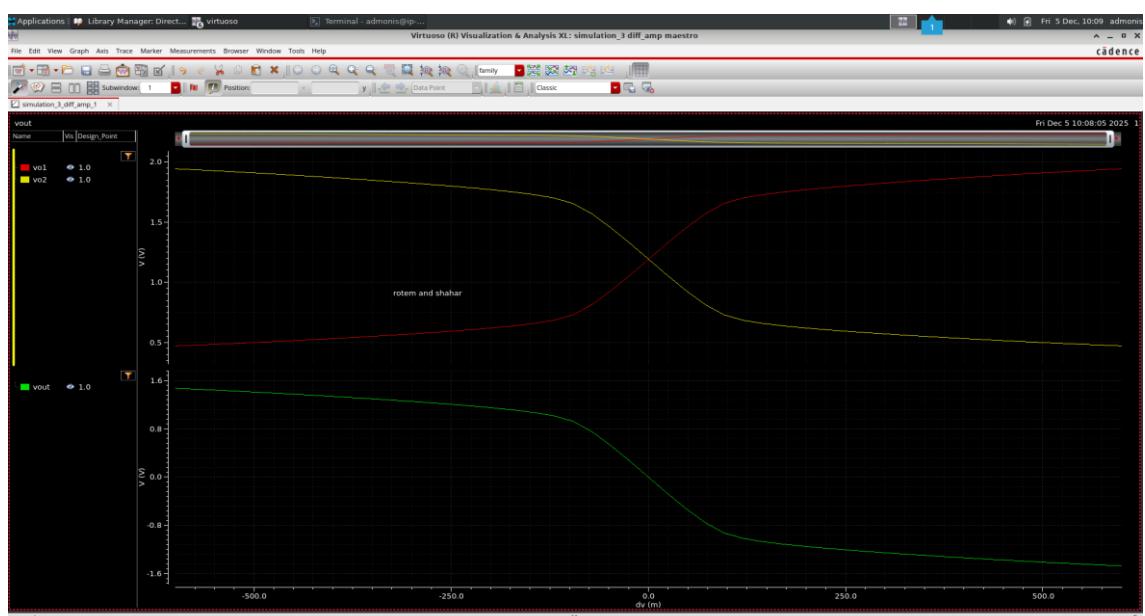


על פי הנתונים, נגדיר בכניסות לטרנזיסטורים $V_1 = V_{cm} - \frac{dv}{2}$ ובקבינה $V_2 = V_{cm} + \frac{dv}{2}$. זאת על מנת שכנגדיר את V_{IN} נקבל ΔV : $\Delta V = V_2 - V_1 = \left(V_{cm} + \frac{dv}{2}\right) - \left(V_{cm} - \frac{dv}{2}\right) = dv$.

כפי שלמדנו V_{cm} זה מתח *common mode* על מנת שכניסת מתח שעולה ווירדת לא תזוז סיבוב מתח 0 כי אז אין למעגל מספיק מתח כדי להיות בסאטורציה. נגדיר אותו כממוצע בין הכניסות V_{IN} שמצאנו קודם לכן (תחילה ובסוף האיזור בו הטרנזיסטורים בסאטורציה): $V_{cm} = \frac{1.65568 + 812.362}{2} = 1.23V$

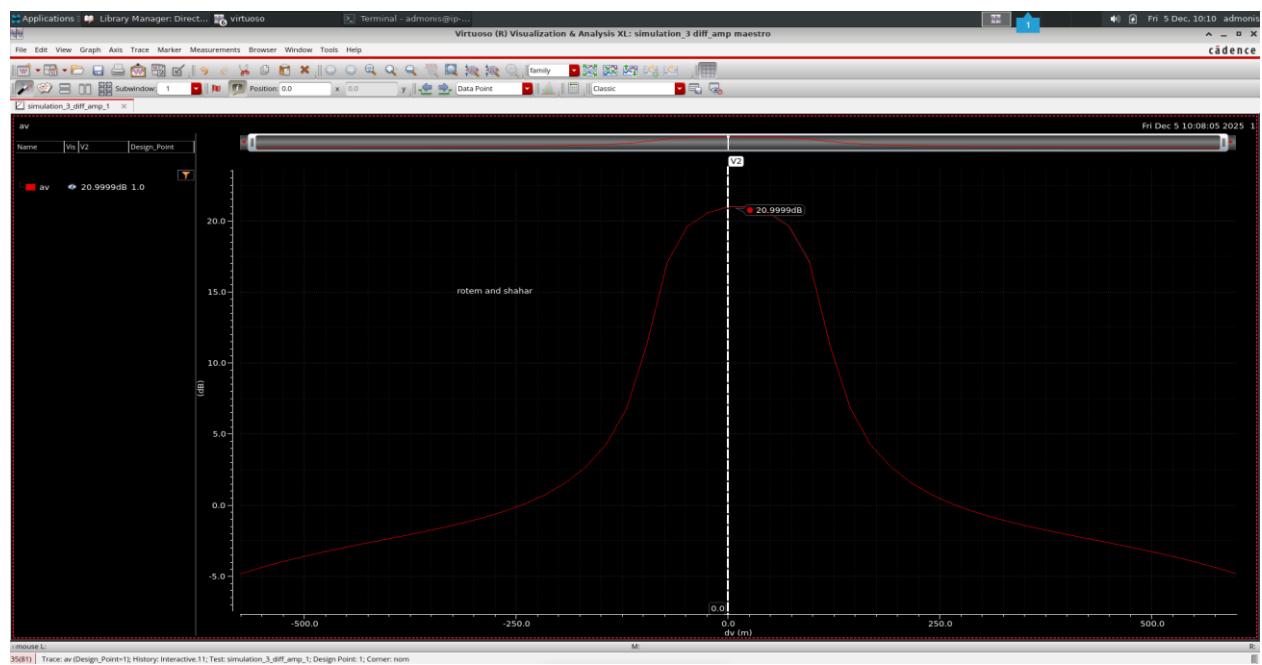
מתוך ΔV הוא מתח *differential mode* אותו נרצה להגביר. נרץ' כעת בדיקה למציאת הגבר על ערכי v_{o1} ו- v_{o2} בין 600mV - 600mV.

- נציג את הגרף של v_{o1} ו- v_{o2} בפurd – ביחס ל: ΔV_{in}



כל שנגידיל את מתח השער כך הזרם שיזרים דרך הטרנזיסטור יגדל. ככל שהזרם דרך הטרנזיסטור גדול, לפי חוק אוהם ($i * R_d = V_{out} = V_{dd} - R_d$) שנבעץ המתח במצב יקטן. כפי שניתן לראות הגרף תואם לציפויות שלנו.

- כעת נציג את הגוף של הగבר שקיבלנו – הרצנו בסימולציה ($AV = dB20(deriv(V_{OUT}))$)

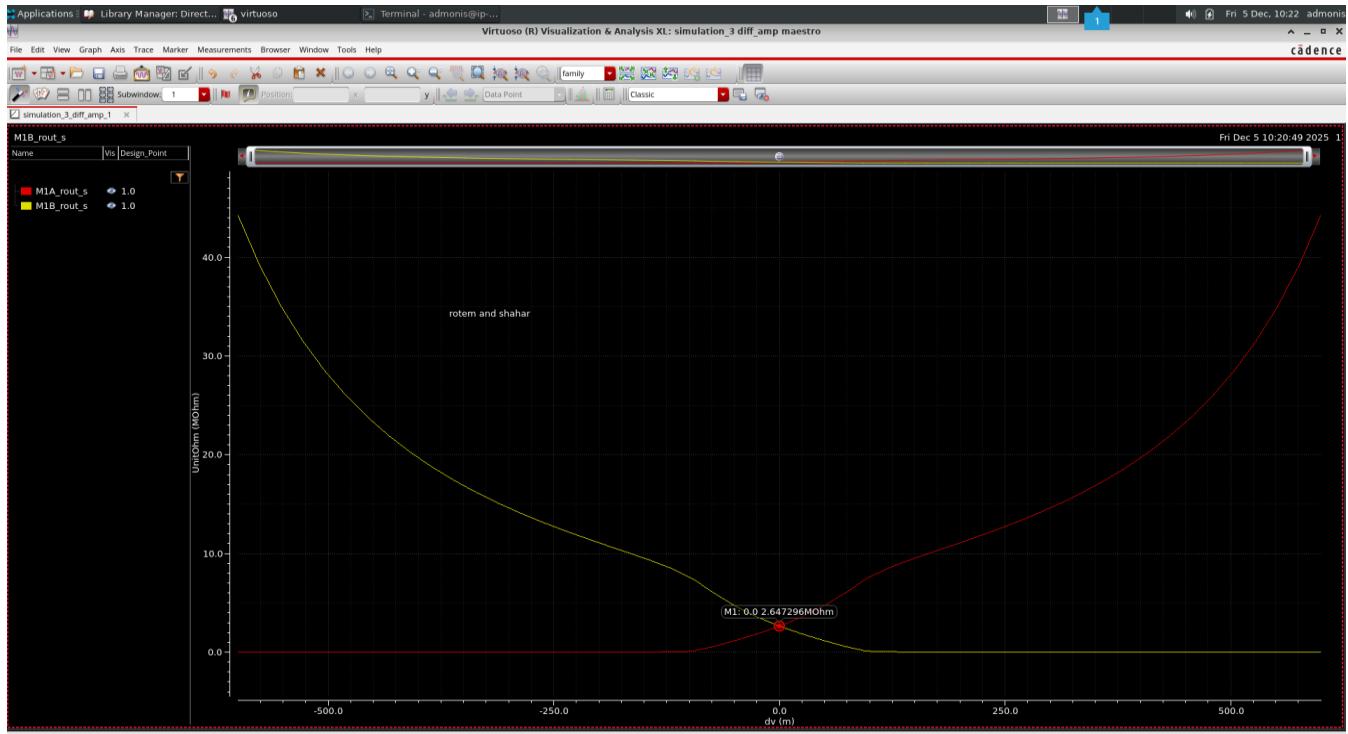


ניתן לראות כי הగבר הינו בקירוב $21dB$ עבור $0 = \Delta V$ (כנדרש) ככלור במצב שיווי משקל בו הזרמים בשני הענפים שוויים.

- כעת נרצה לחשב ידנית את ההגבר על מנת לוודא את התשובה שלנו מהגוף.

נרצה למצוא את ההתנגדות הפנימית של M1B. כאשר נמצא את הגודל הנ"ל, נבצע חיבור נגדים במקביל עם נגד העומס שלו R_d .

במידה (זה מה שנשאף אליו) וההתנגדות הפנימית תהיה גדולה מאוד מהתנגדות נגד העומס, על פי מה שלמדנו, בחיבור מקבילי, ניקח את ההתנגדות נגד העומס (הנגד הקטן מביניהם).



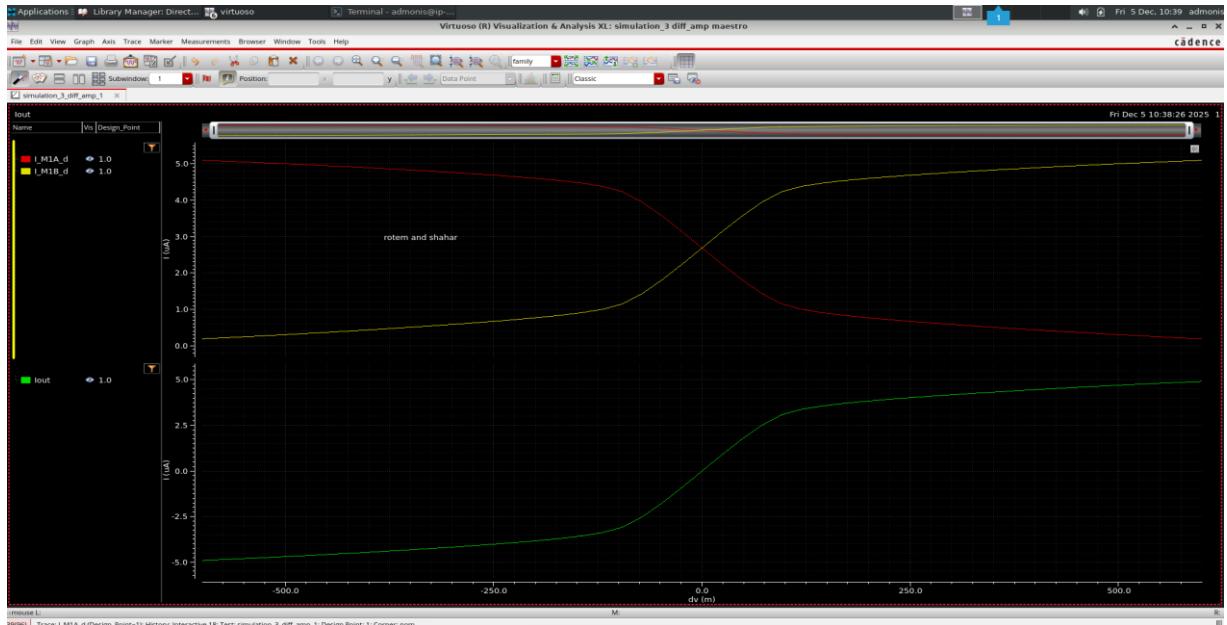
ניתן לראות כי ההתנגדות פנימית של הרכיבים גדולה בסדר גודל ($2.647M\Omega$) מנגד העומס ($300K\Omega$).

$$R_{out} = R_d = 300K\Omega \text{ ב } Av = GM \cdot R_{out}$$

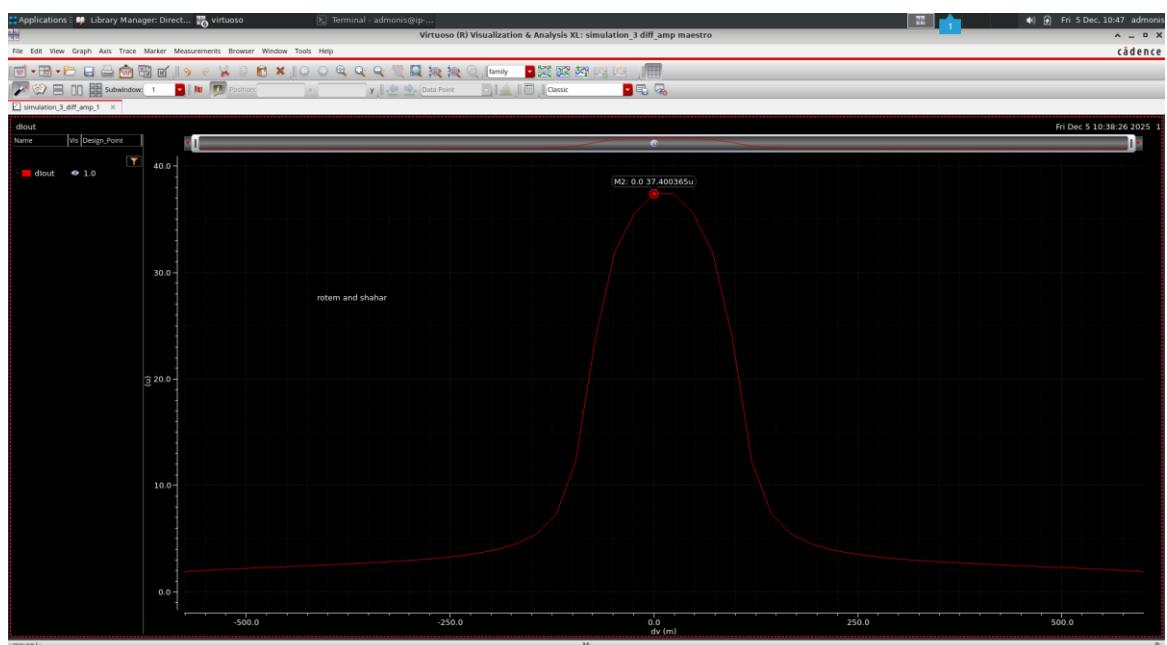
- על מנת להשלים את החישוב על פי הנוסחה של הגבר, נרצה למצוא את GM של המעגל.

זכור כי בסימולציה זו כל הטרנזיסטורים בסאטורציה, אך חלוקת הזרמים בכל ענף שונה בעקבות מתח שער שונה בכל טרנזיסטור. נצפה לקבל זרמים הופכיים כיון שיש שינוי במתוך השער על כל אחד מהם באופן הופכי ($V_{in} \rightarrow V_{cm}$) לעומת מתח שער של $M1A$ עולה, ומתח שער של $M1B$ יורדת בהתאם.

ראשית נחשב את הזרם של המעגל על פי מה שראינו בהרצאה, כאשר $I_{out} = I_{M1B} - I_{M1A}$. ניתן לראות שבגלל שהזרם בטרנזיסטור $M1B$ עולה, וב $M1A$ יורדת ככל ש ΔV גדול (בהתאם למתח שער שהכנסנו), נקבל באמצעות עליה בזרם I_{out} .



- כעת נרצה לחשב את $GM = \frac{dI_{out}}{d\Delta v}$, שכן נציג גраф של נגזרת הזרם שהчисלנו:



ניתן לראות כי בנקודת $dV = 0$ (מצב שוויי משקל בו הזרמים בשני הענפים שוים) - נקבל $GM = 37.4 \mu s$.

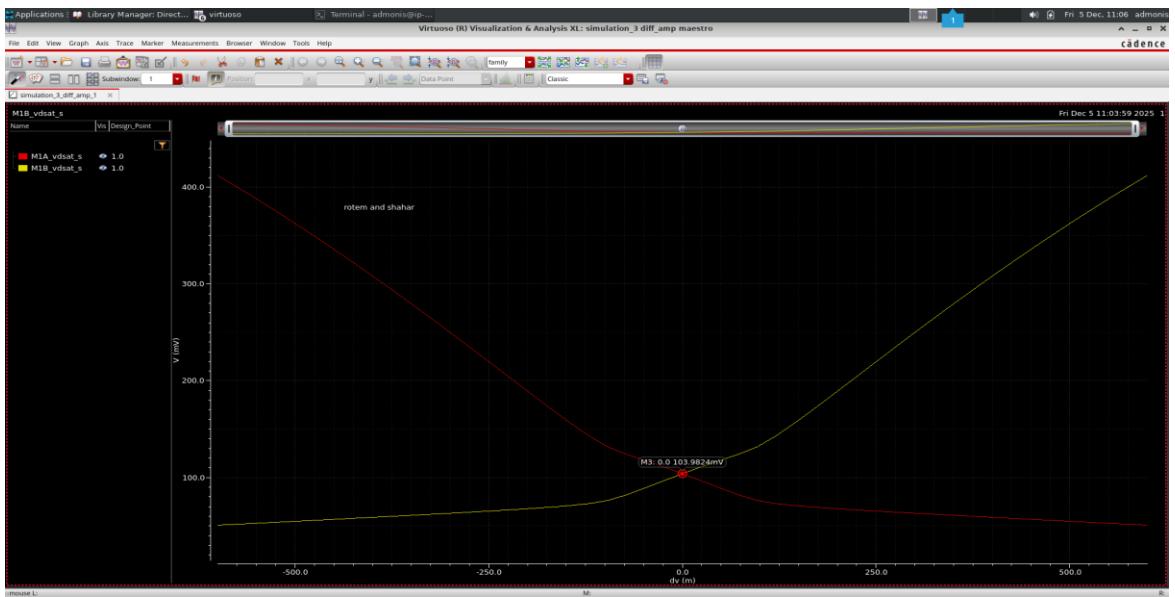
- כעת נרצה לחשב את ההגבר בצורה ידנית כשייש לנו את כל הפרמטרים:

$$AV = -GM * Rout = -37.4 \mu s * 300K = 11.22 \rightarrow 20\log(11.22) = 20.999dB$$

בדוק כמו ההגבר AV בגраф שהראנו קודם לכן לפי הנגזרת של V_{out} .

• נרצה להראות מתי מתרחשת גניבת זרם.

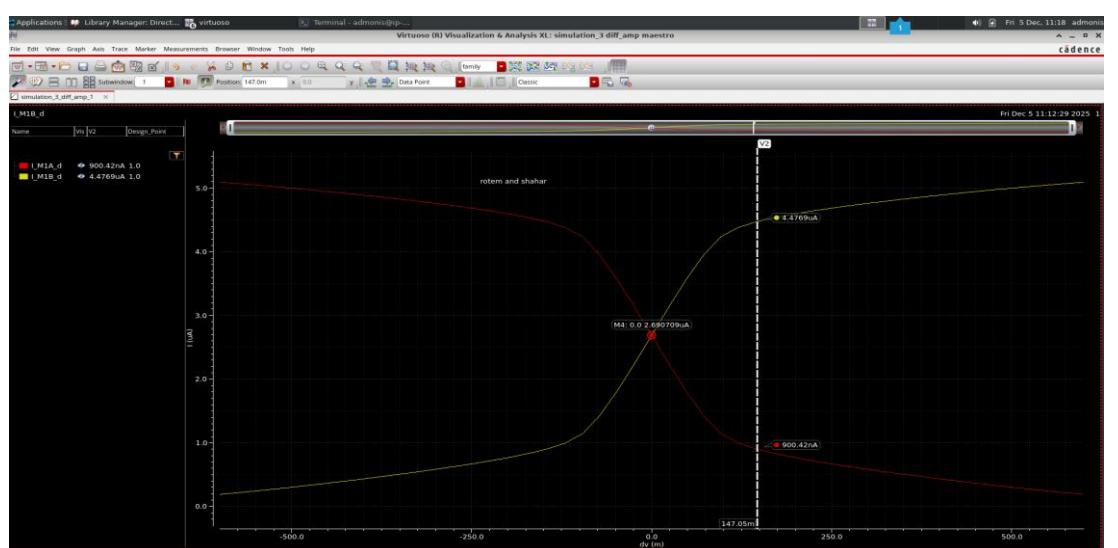
עבור $0 = \Delta V_{in}$ (שווי משקל) נקבל שהזרם מתפצל חצי חצי בשני הענפים כלומר בכל ענף זורם $\frac{I_{ss}}{2}$. אלו יודיעים שהחל מהנקודה בה מתח כניסה זהה בשער לכל אחד מהרכיבים, מתחילה גניבת הזרם כלומר עבור $V_{dsat} = 103.9824mV$.



$$\text{כפי שלמדנו בהרצאה קיבל: } (V_{GS} - V_{TH})_{1,2} = V_{dsat}_{1,2} = \sqrt{\frac{I_{ss}}{2k' \frac{W}{L}}}$$

$$\text{עבור מקסימום overdrive נקבע: } V_{dsat}_{1,2} = \frac{\Delta V_{in}}{\sqrt{2}} \text{ כאשר}$$

$$\Delta V_{in} = \sqrt{2} \cdot 103.9824m = 147.05mV = \Delta V_{dsat}_{1,2} = \Delta V_{in}$$



הזרם המקסימלי שהכנסנו היה A_5 .

ניתן לראות כי הזרם ב $M1B$ הינו $A_5 = 4.4769$ אמ培ר אם נחשב מה אחוז היחסי של הערך זהה מ A_5 נקבל בערך 89%. כלומר, 89% מסך הזרם שאפשרנו לمعالג עבר בענף של $M1B$ - כלומר התרחשה "גניבת זרם" של טרנזיסטור זה.

הדבר הגיוני, שכן ככל שנעלה את ערך Vd , כך המתח בשער של $M1B$ עולה, ובהתאם לזהאת המתח בשער של $M1A$ קטן.

אנו יודעים כי ככל שנגדיל את מתח השער של טרנזיסטור במצב סטטוטריזציה, כך גודל הזרם שהוא יכול להעביר גדול יותר. כמו כן, סך הזרם צריך להיות A_5 (במקרה שלנו) ולכן גודל הזרם עולה בענף אחד, מן הסתם שהוא קטן בענף השני.

EXPLANATIONS AND DISCUSSION: up to 2 pts bonus for very good and insightful discussion

במעבדה הודגמו עקרונות המפתח של מגבר דיפרנציאלי ב-SMOS. נמצא כי בחירת נגד העומס קובעת איזון בין הגבר גובה לבין שמירות טווח הhangroom. הגדלת הנגד מעלה את הגבר אך מצמצמת את תחום הסאטורציה, וכן מוגבילה את מרחב העבודה. ניתוח ה-common-mode מראה כי נדרש מתח ביןוני בשער הטרנזיסטורים כדי לשמר על שני הענפים בסאטורציה ולמקסם את g_m . מדידות הגבר תאמו היבט את החישוב הידני, מה שמאשר כי גודל משמעותית מ- R_D , ולכן העומס הוא שקובע את ההתנגדות בموقع (חיבור במקביל של גדים).

בנוסף, נצפתה תופעת "אגיבת הזרם": ככל שהזרם מתרכז בענף אחד, דבר שמדגיש את תחום העבודה האפשרי של שני הטרנזיסטורים (ששנייהם בסאטורציה), ככלומר של המעל הדיפרנציאלי.

בסקול, יש התאמה מלאה בין המודל התיאורטי, הסימולציות והניסוח המעשיים.