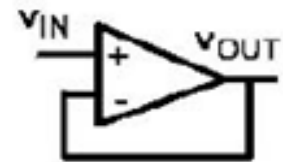
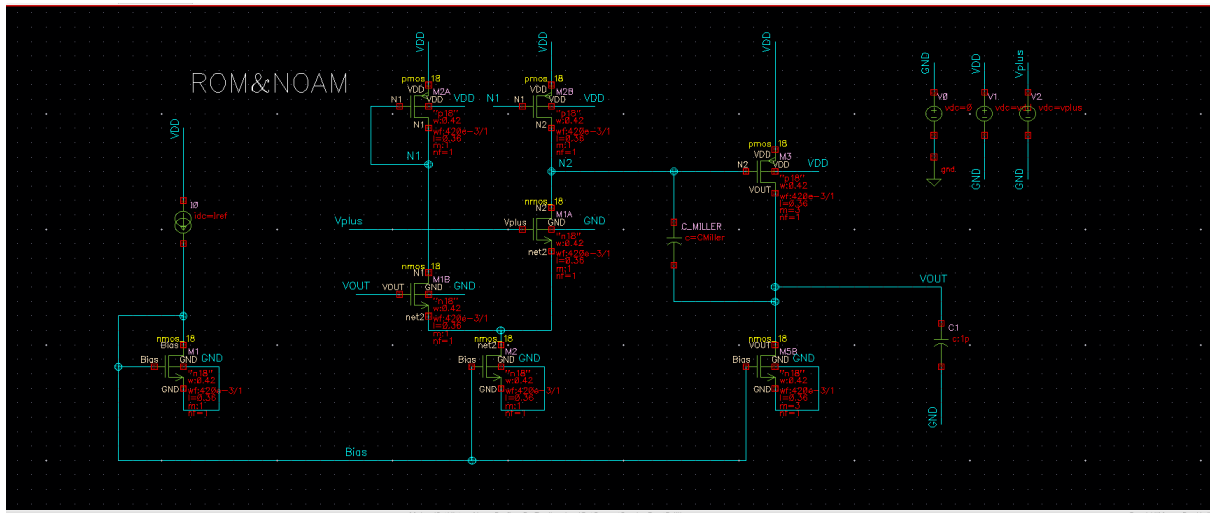


Simulation #5 Template: Two stage Miller Amp

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

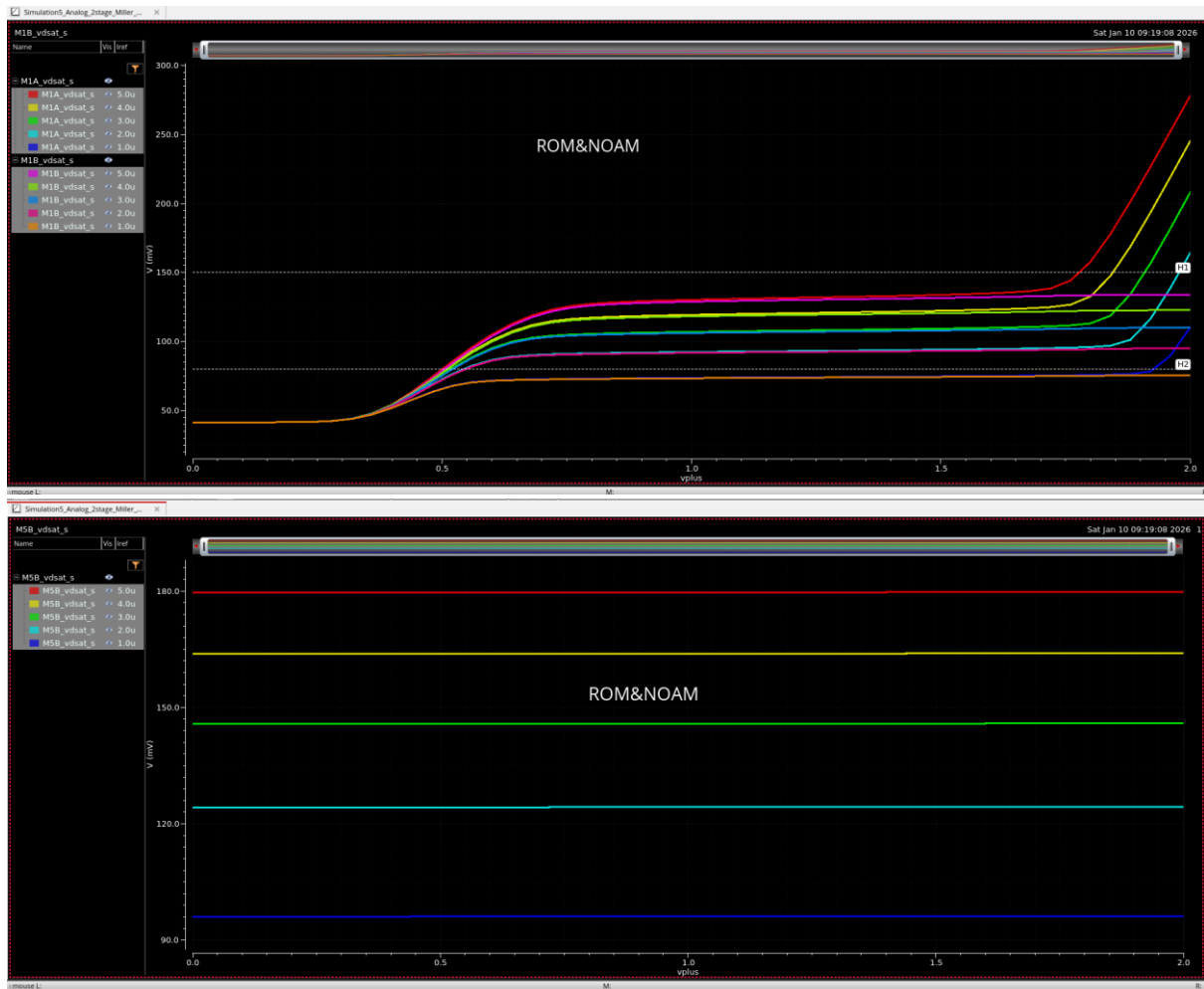
Two stage Miller Amp

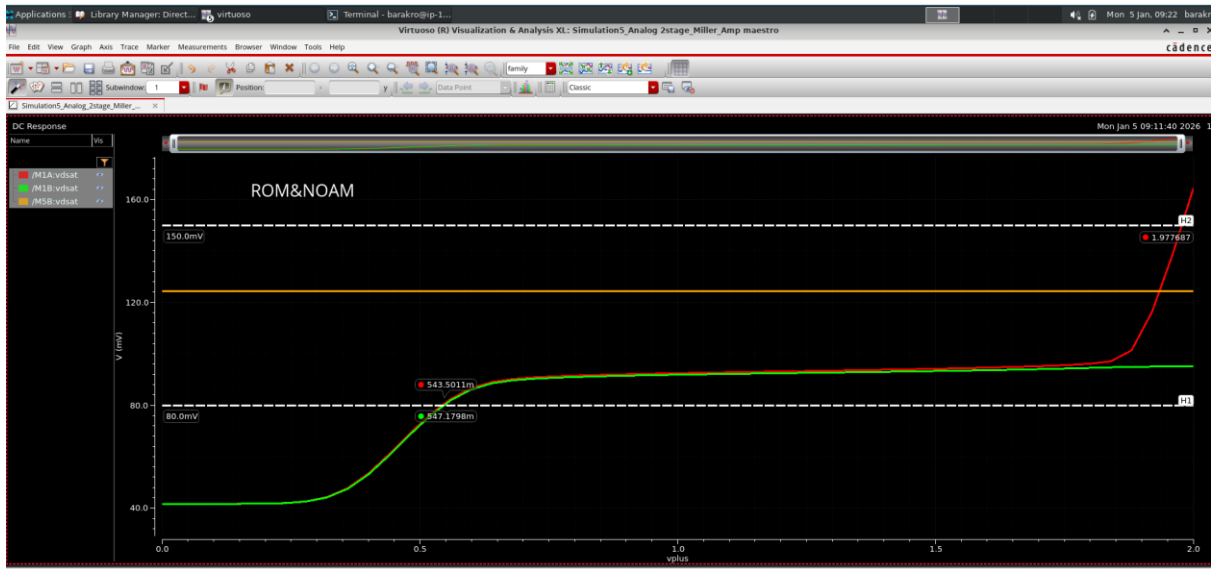
5.1 –SCHEMATIC: (10 pts)



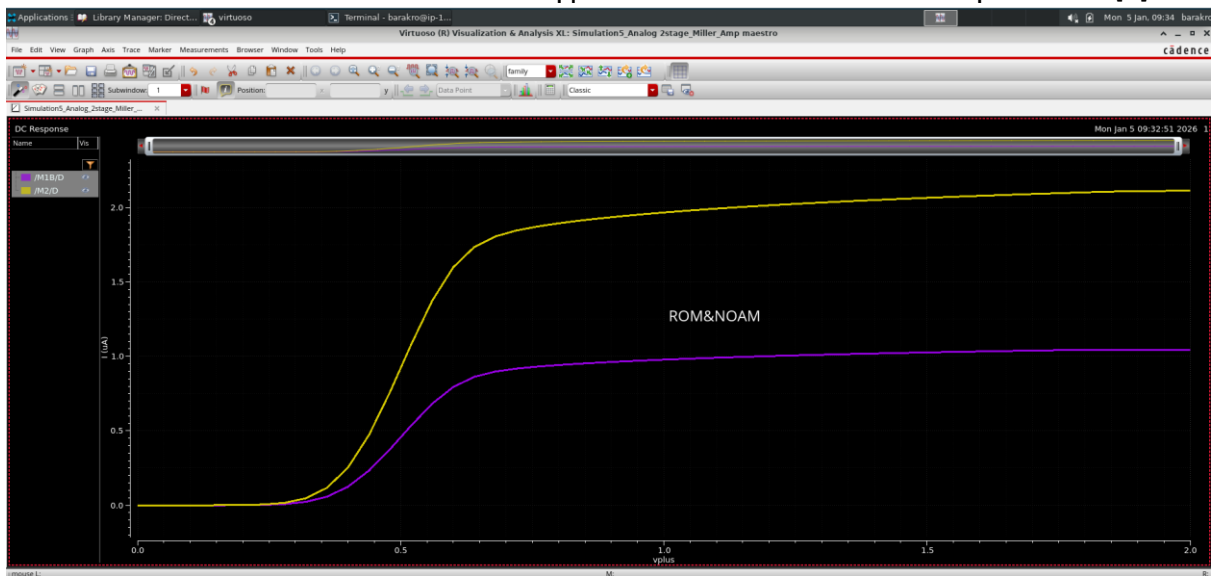
1. כאן בנינו את two stage miller Ampה במבוקש במטלה, UGB הוא חיבור כמתואר בתמונה למעלה – נרצה שהכניסה שהופכת את היציאה היא תיהיה כמשוב בחזרה לכניסה ולכן נבדוק מי מהכניסות נמצאת בהיפוך ליציאה. ניתן לראות ישר כי עבור הכניסה V- נוצר היפוך בטרנזיסטור M3 בין gaten לבין drain כמו שראינו בהרצאות ולכן נחבר אותה כמשוב לכניסה.
2. חיברנו קבל בגודל של 1 פיקו פאראד ביציאה כמבוקש. נרצה למצוא את הגדלים המבוקשים וניעזר באנליזה שראינו בהרצאה של Sansen 5 שהיא : $\frac{gm2}{gm1} \triangleq \frac{4CL}{CMiller}$ ולכן נרצה בהתחלה לבדוק גדלים שונים של קבל מילר. מצד אחד ראינו בהרצאה כי הגדלת קבל מילר תיתן לנו יציבות למערכת אך יש טווח מסוים שבו המערכת באמת תהיה יציבה כמבוקש. לכן נרצה גם להגדיל את gm כדי לבטל את ההשפעה של האפס וככה נקבל יותר ויותר יציבות. לכן בסופו של דבר אנחנו נשנה את הגדלים של שניהם ונמצא את tradeoff המתאים ביניהם כדי מצד אחד- לקבל קיבולים לא גדולים מדי על מנת לא לקבל הספק גבוה ומצד שני- לקבל מערכת יציבה.

3. בסעיף זה רצינו לבחור את זרם הכניסה, על מנת לעמוד בתנאים המבוקשים עבור Vdsat של הטרנזיסטורים של diff pair והcurrent source לשם כך הרצנו סימולציית dc על v_+ מ 0 עד 2 וולט. החלטנו לקחת זרם של $2\mu A$ שיתן לנו את headroom המיטבי. אפשרי לראות שאכן זרם זה אנו עומדים בטווח מתחים של VDSAT המבוקש.



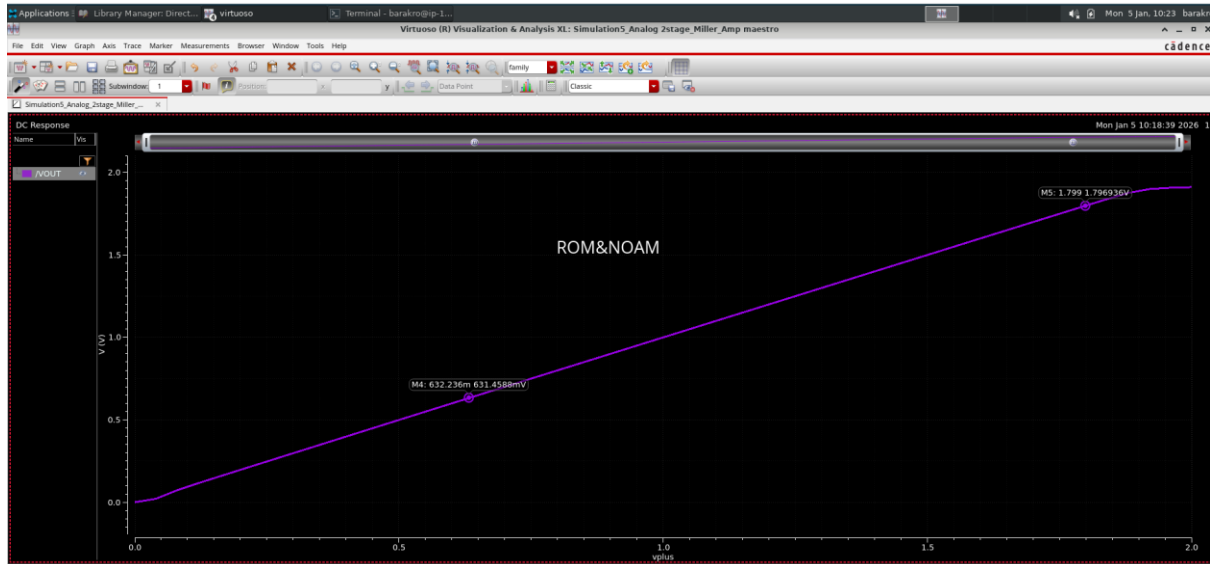


עבור $I_{ref}=2\mu[A]$ ניתן לראות גם שמראת הזרם עובדת תקין



5.2 – DC SWEEP (30 pts)

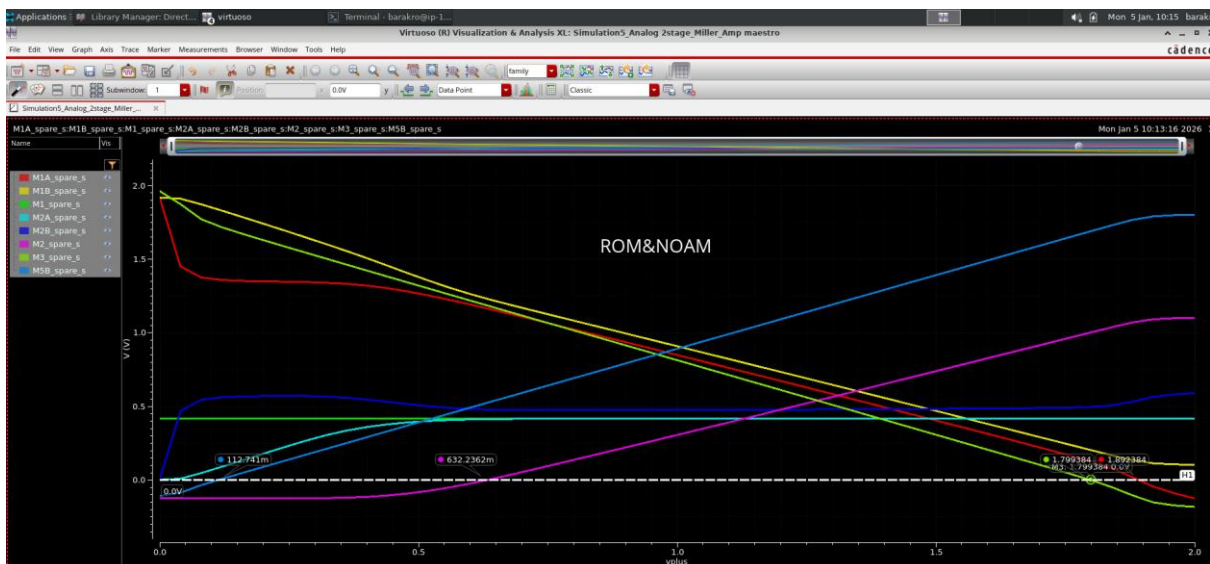
1.



הרצנו סימולציית dc על מתח הכניסה ובדקנו מהו מתח היציאה מ0 עד 2 וולט. הצבנו את טווח הערכים המתאים בו כל המערכת בסטורציה. ניתן לראות שהיציאה עוקבת אחרי הכניסה – כמו שציפינו.

2.

תחילה נבדוק מהו טווח הסטורציה,

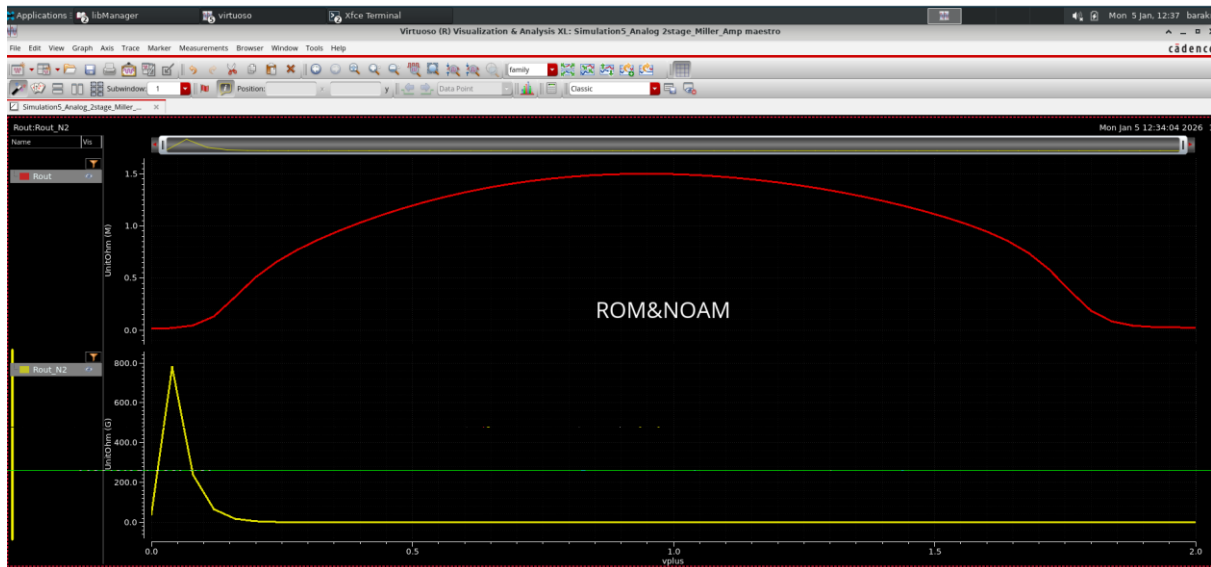


ניתן לראות שכל הטרנזיסטורים במעגל נמצאים בסטורציה בין 632.38 מילי וולט וזה טווח הסטורציה שלנו.

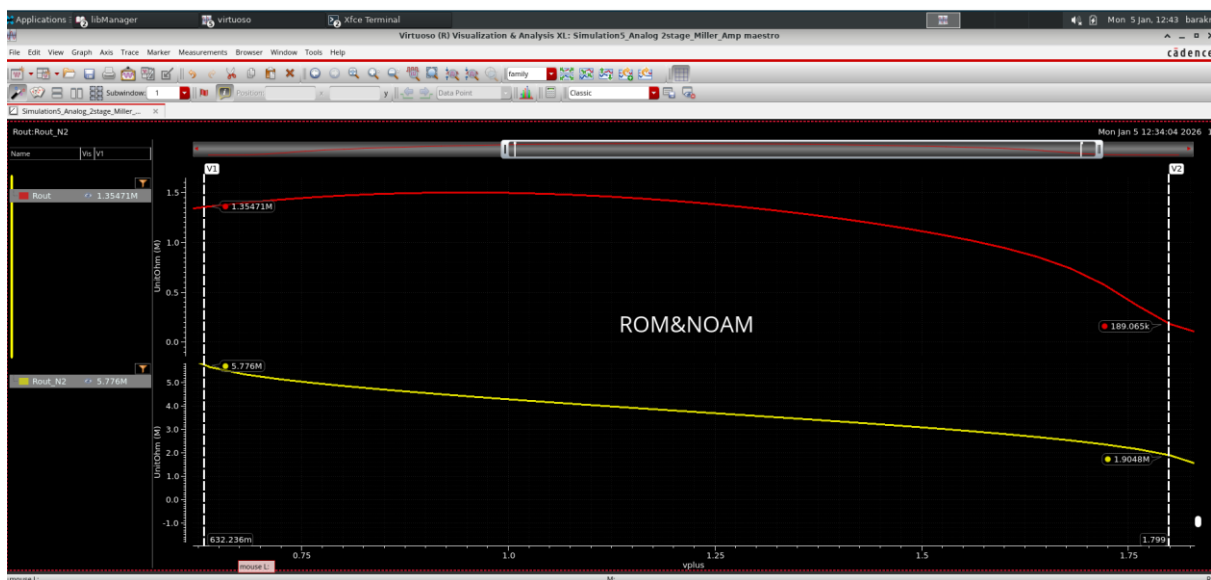
כדי לחשב את הROUT בנקודות high impedance שהן בצומת N2 ובצומת של vout מאחר ולמדנו כי צומת שבה שינוי גדול במתח לא משנה את הזרם. נשים לב כי אלו אותן צמתים שהן חיבור בין הdrain לdrain לחישוב ההתנגדויות נגדיר את הביטויים הבאים:

Rout_N2	expr	$((M2B_rout_s * M1A_rout_s) / (M2B_rout_s + M1A_rout_s))$	התנגדות
Rout	expr	$((M5B_rout_s * M3_rout_s) / (M5B_rout_s + M3_rout_s))$	התנגדות

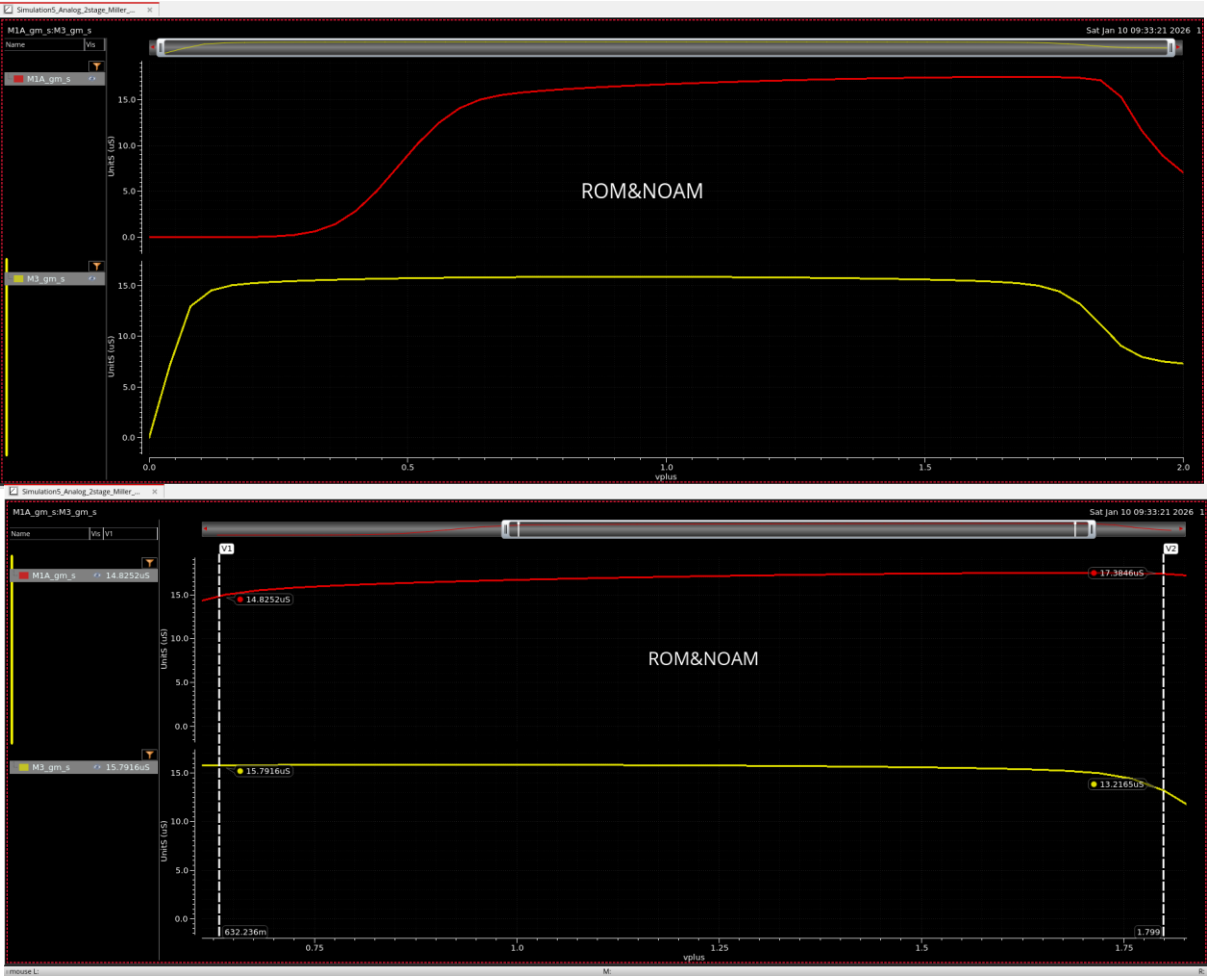
וקיבלנו את הגרפים הנ"ל:



נשים לב שיש שינוי בקנה מידה בין הגרפים כאשר עבור הצומת ביציאה הגרף הוא במגה אוהם ובצומת N2 הגרף הוא ביחידות של גיגה אוהם.
ובטווח הסטורציה:



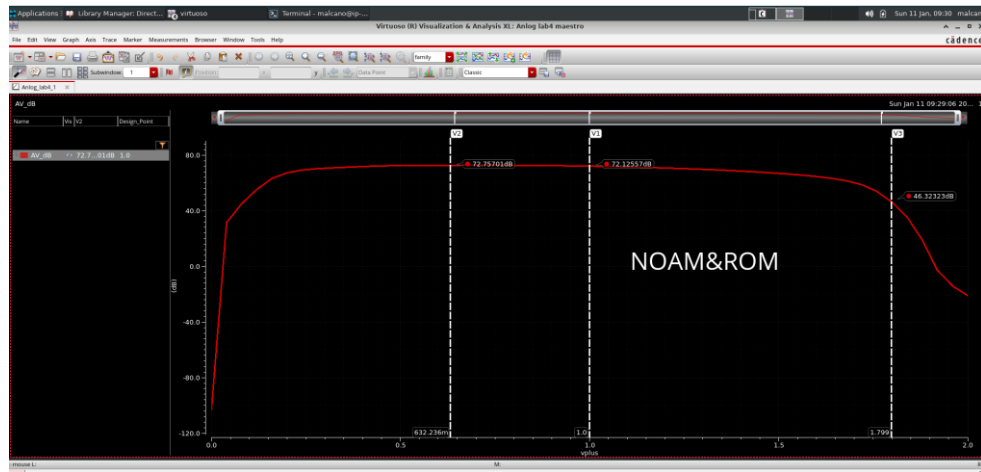
בגרף ניתן לראות את המ'ים של M1A,M3 כמבוקש ובטווח הסטורציה ניתן לראות כי המ'ים גדולים , ובאופן כללי מתנהגים כמו שורש הזרם בטרנזיסטור כמצופה.



על מנת לחשב את ההגבר של המערכת השתמשנו בביטויים הבאים :

Anlog_lab4_1	R1	expr	((M1A_rout_s * M2B_rout_s) / (M1A_rout...
Anlog_lab4_1	R2	expr	((M3_rout_s * M5B_rout_s) / (M3_rout_s ...
Anlog_lab4_1	AV1	expr	(M1A_gm_s * R1)
Anlog_lab4_1	AV2	expr	(M3_gm_s * R2)
Anlog_lab4_1	AV	expr	(AV1 * AV2)
Anlog_lab4_1	AV_dB	expr	dB20(AV)

וקיבלנו את הגרף הבא:



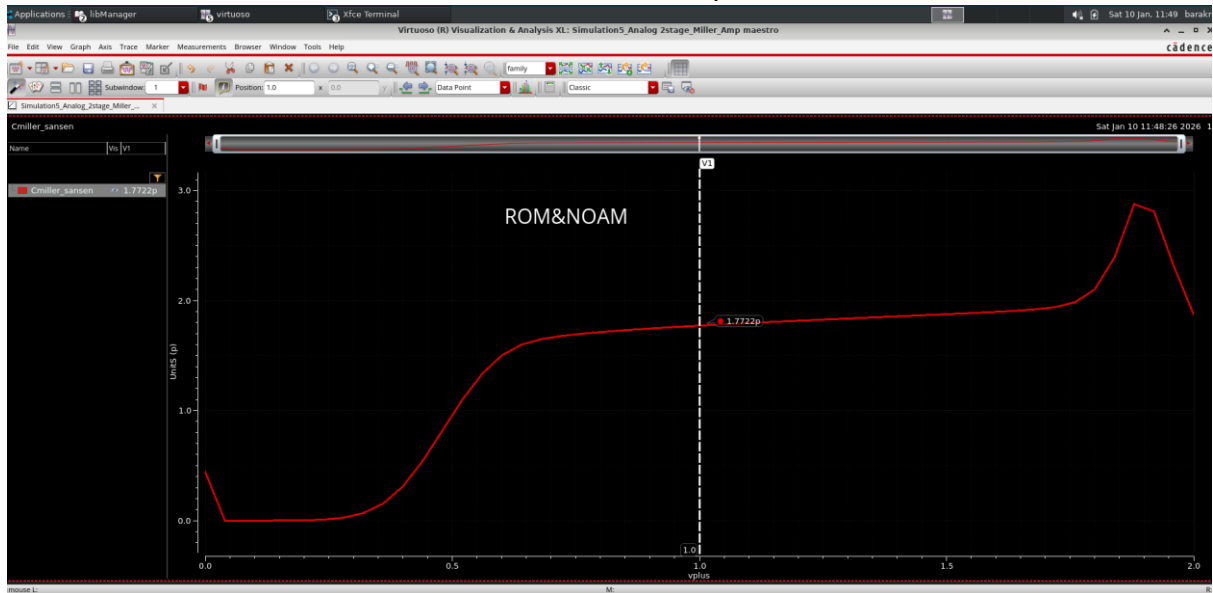
מהגרף אפשר לראות שקיבלנו הגבר של 72.12557dB כאשר המתח בכניסה הוא 1v כמצופה משני מגברים משורשרים זה לזה הקווים בצדדים תוחמים את תחום הסטורציה וניתן לראות שההגבר יורד כאשר יוצאים מסטורציה.

5.3 – Transient Step response (for stability) (30 pts)

1.

בסעיף זה נרצה לבחון את יציבות המערכת בהרצת transient נבחר מתח של 1v שנמצא עמוק בתוך טווח הסטורציה ועליו נלביש את המדרגה $\pm 25\text{mV}$.

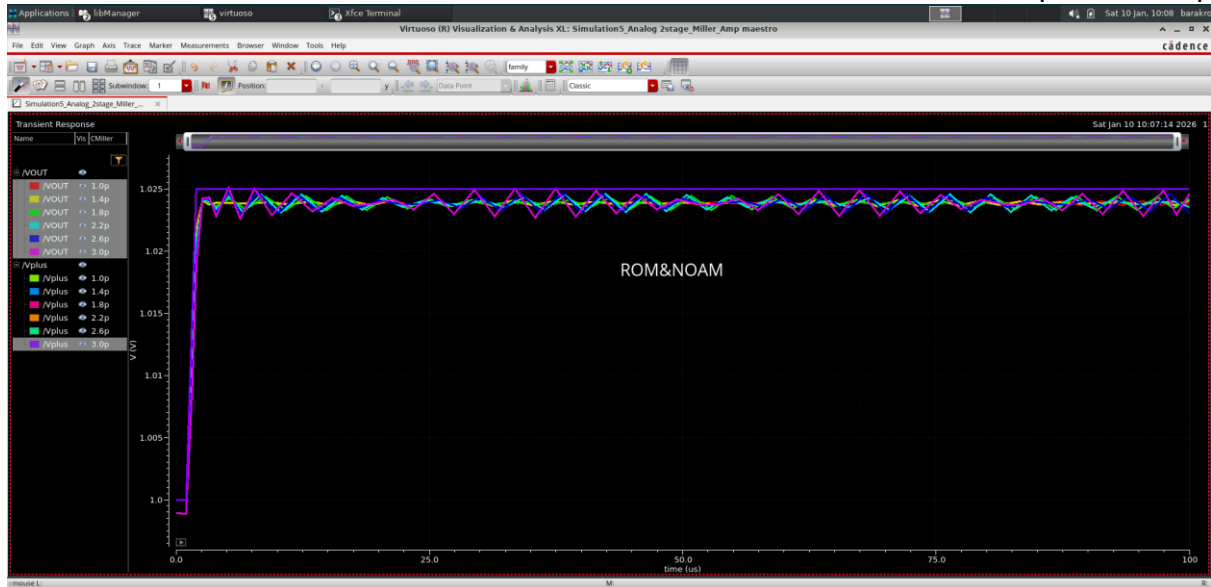
נמצא לפי התאוריה של SANSEN את גודל הקבל מילר הרצוי



לפי SANSEN גודל הקבל אמור להיות 1.7722pF . נבצע הרצה ונבדוק האם אכן זהו הקבל שנותן BW הכי גדול.

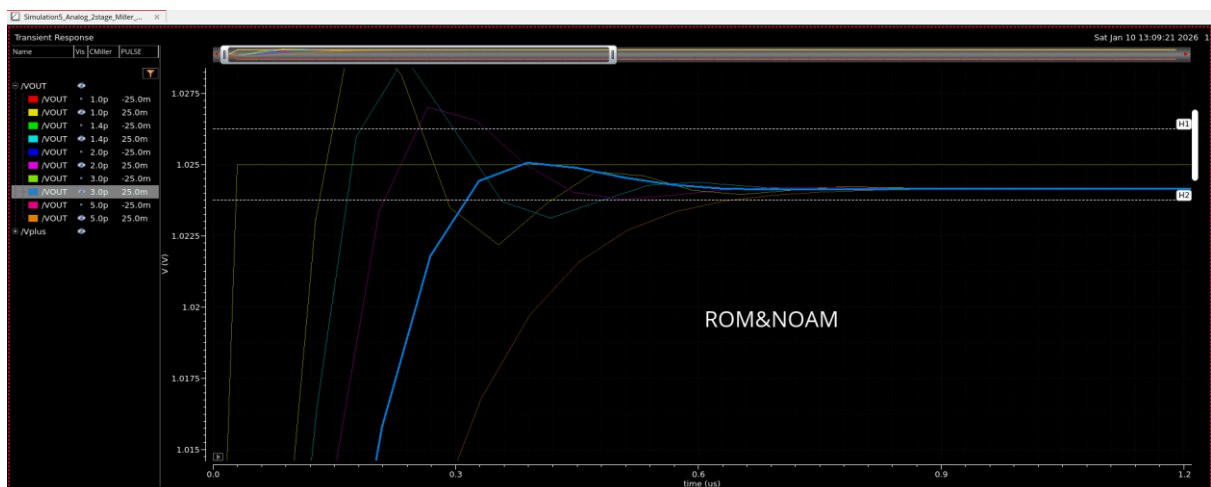
הרצנו סימולציית transient של $100\mu\text{s}$ על גדלים שונים של קבל מילר ובדקנו איך היציאה משתנה כפונקציה של הכניסה. הכנסנו VPULSE עם ההגדרות הבאות ש-maestro pulse $\pm 25\text{mV}$ שהגדרנו:

קיבלנו את הגרף הבא:



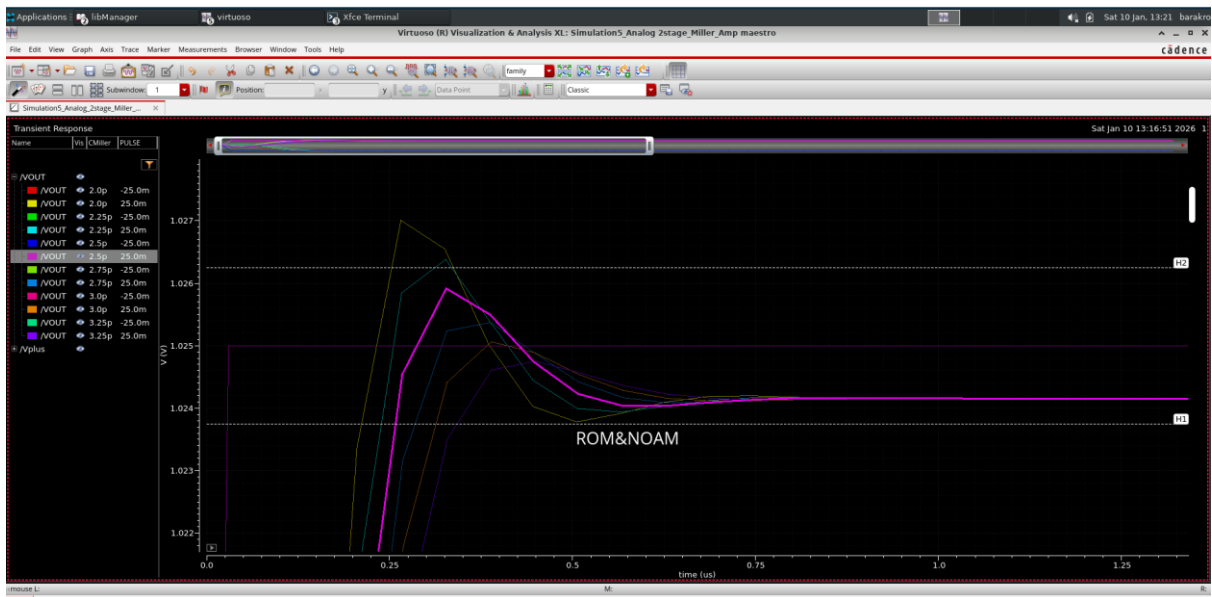
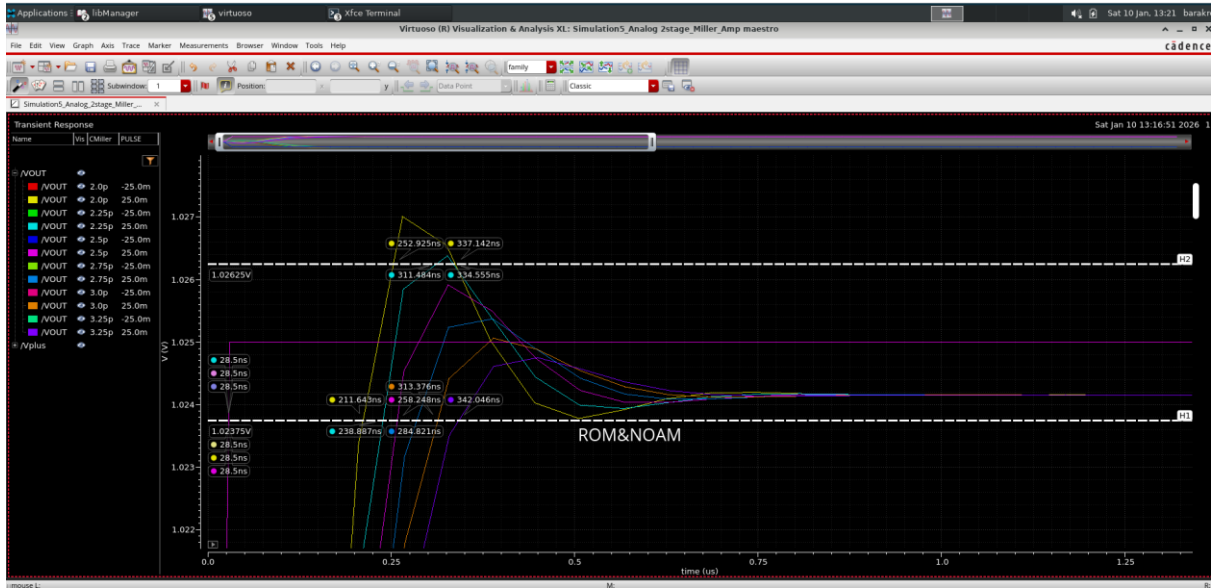
ניתן לראות כי עבור המגים והקבלים שבחרנו קיבלנו מתח יציאה עם אוסילציות. בתור התחלה נבצע שינויים ברוחב הטרנזיסטור כדי למנוע את האוסילציות הנל וקיבלנו את הגרף הבא עבור רוחב $w=1.26$ שמשפיע על היחס בין $gm1$ ל $gm3$. (כמובן שהגרף פה הוא לפני שביצענו אופטימציה ובדיקת יציבות כמבוקש בסעיף 4).

לאחר שמצאנו את הWIDTH שנותן מתח מוצא ללא אוסילציות חוזרות נבדוק מהו הקיבול האופטימלי שנותן BW מיטבי.



הרצנו על מספר קיבולים שונים וקיבלנו שכאשר הקיבול של קבל מילר שווה ל $3pF$ הוא מספק לנו את הBW הכי טוב מבין האופציות שבדקנו.

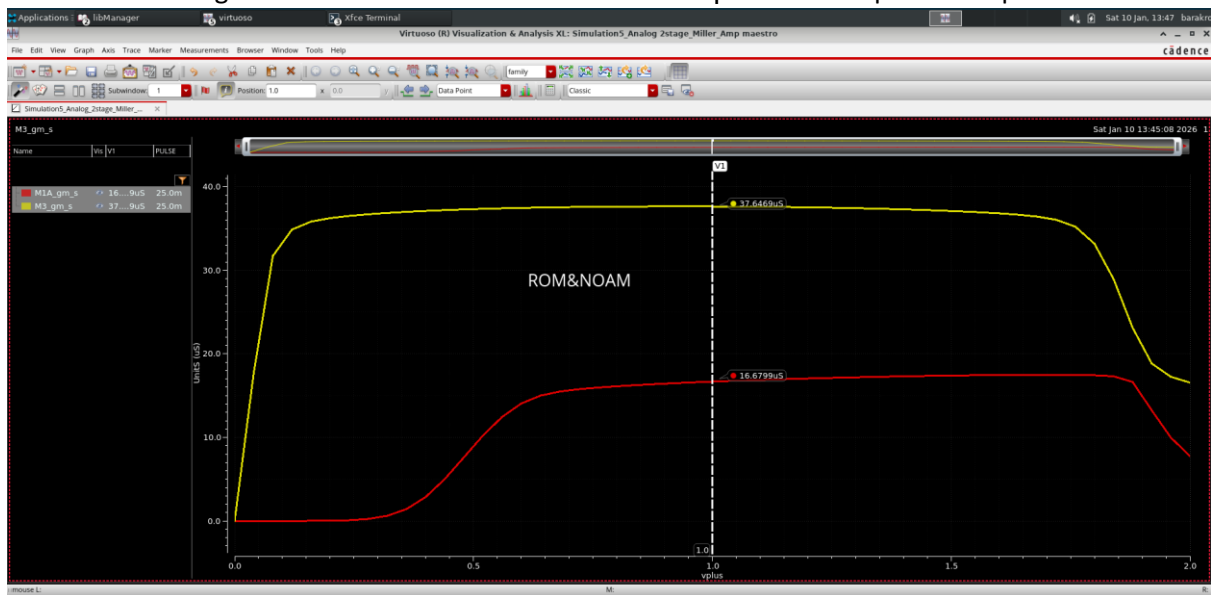
עכשיו נבצע בדיקות סביב הקיבול $3pF$ שנתן את התוצאות הטובות ביותר, הקצנו וקיבלנו:





ניתן לראות בגרפים שכאשר הקבל מילר שווה ל 2.5pF מקבלים את BW המיטבי שהוא שווה ל 2.14Mhz .

נשים לב שכאשר $C_{\text{miller}}=2.5\text{pF}$ ו $C_{\text{load}}=1\text{pF}$ קיבלנו את התוצאות המיטביות ואלו ערכי המגים :



לסיכום נעשה השוואה עם הקבל שחישבנו באמצעות נוסחאות SENSE:

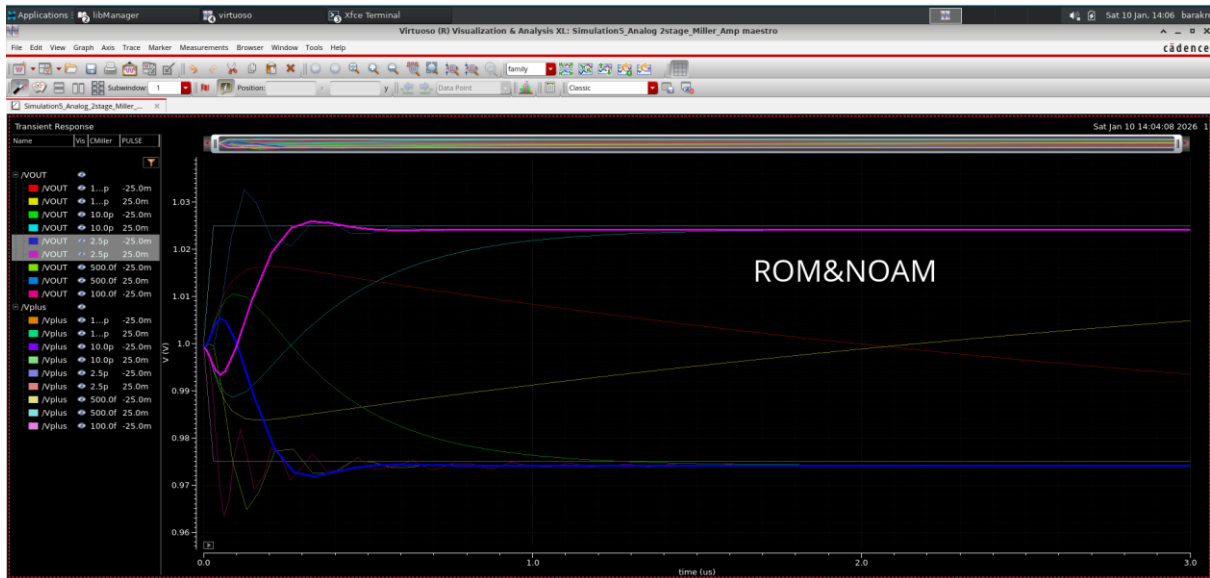


ניתן לראות בגרפים שזמן ההתייצבות של קבל שמקבלים על ידי החישוב של SENSE ארוך יותר ומביא BW ששווה ל 1.93Mhz ולכן השגנו שיפור משמעותי.

הסיבה לכך שהחישוב של קבל מילר על פי SANSEN לא מדוייק זה מכיוון שככל הנראה שן SANSEN ביצע את החישובים הוא השתמש בהזנחות שפוגעות בדיוק התוצאה. בנוסף סיבה נוספת שעלולה לגרום לאי דיוק בחישוב SANSEN היא השוני בגודל של הטרגזיסטורים כלומר כיום אנו עובדים עם טרגזיסטורים מאוד קטנים ביחס לתקפותו של SANSEN.

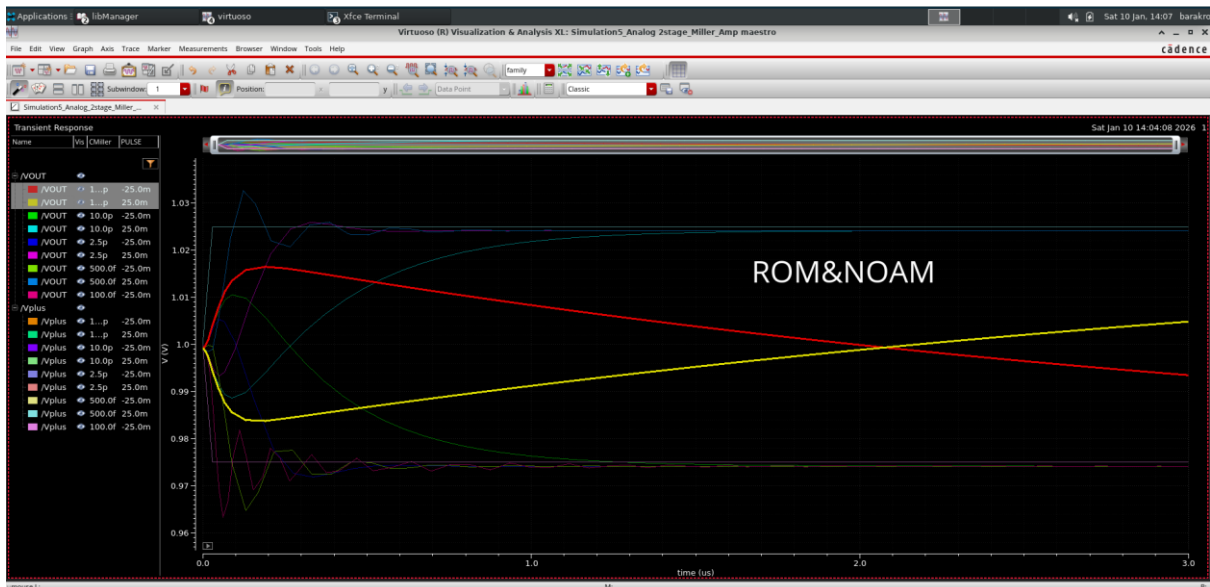
2.

כעת נבדוק את ההשפעה של ערכי קיבול שונים על קבל מילר עבור ערכים גדולים מאוד ועבור ערכים קטנים מאוד בהשוואה לקבל מילר האידיאלי שמצאנו. נרצה לבדוק באיזה טווח המערכת יציבה. נצפה לראות שעבור קיבולים נמוכים נקבל Underdamped ומנגד עבור קיבולים גדולים נקבל מערכת Overdamped.

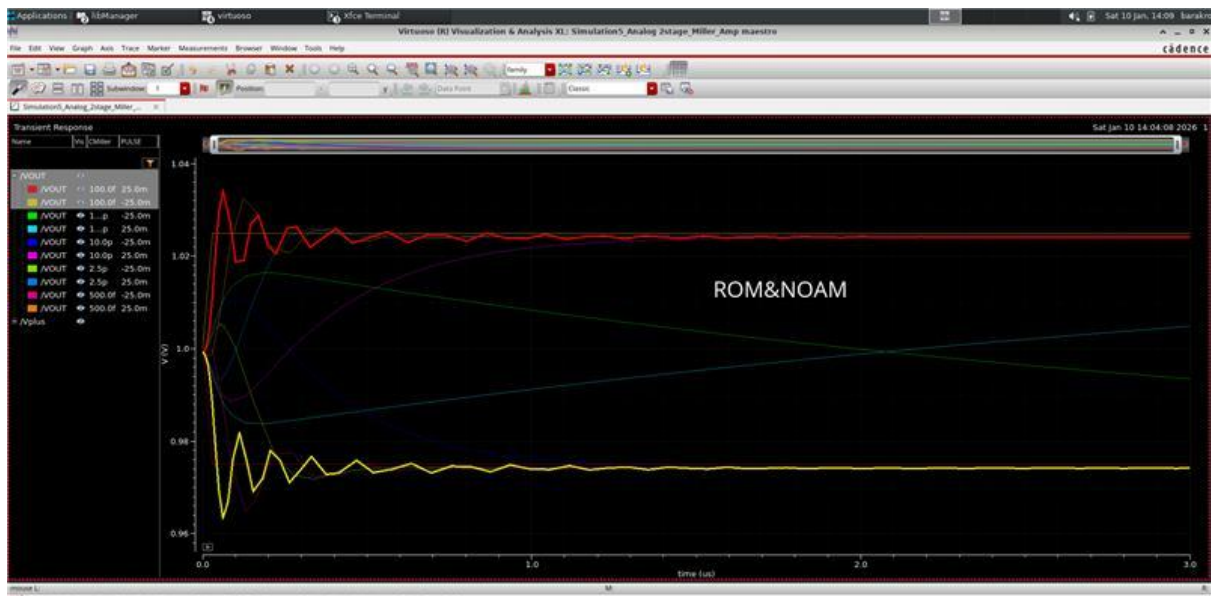


הדגשנו את הגרף של $C_{MILLER} = 2.5 pF$ ואכן רואים בבירור את מה שציפינו לראות, כאשר $C_{MILLER} = 0.1 pF$ אנחנו מקבלים מערכת עם Overshoot ואוסצילציות ומנגד $C_{MILLER} = 100 pF$ נקבל מערכת איטית מאוד.

עבור מערכת איטית במיוחד קבל מילר ששווה ל $100 pF$:

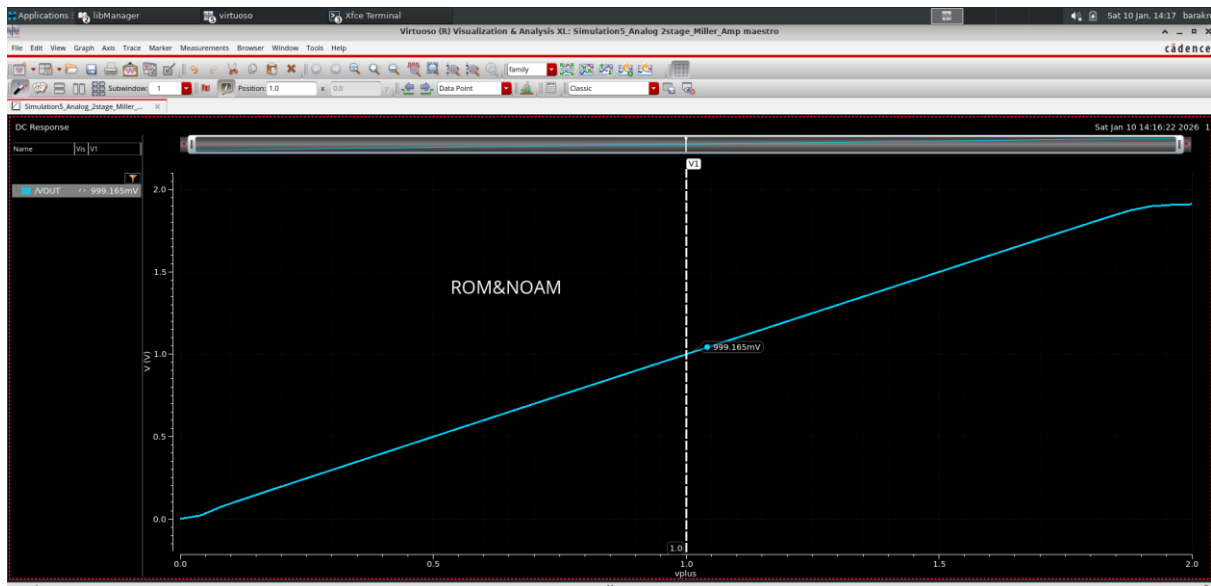


עבור מערכת עם Overshoot ואוסילציות שבה קבל מילר שווה ל 0.1pF :

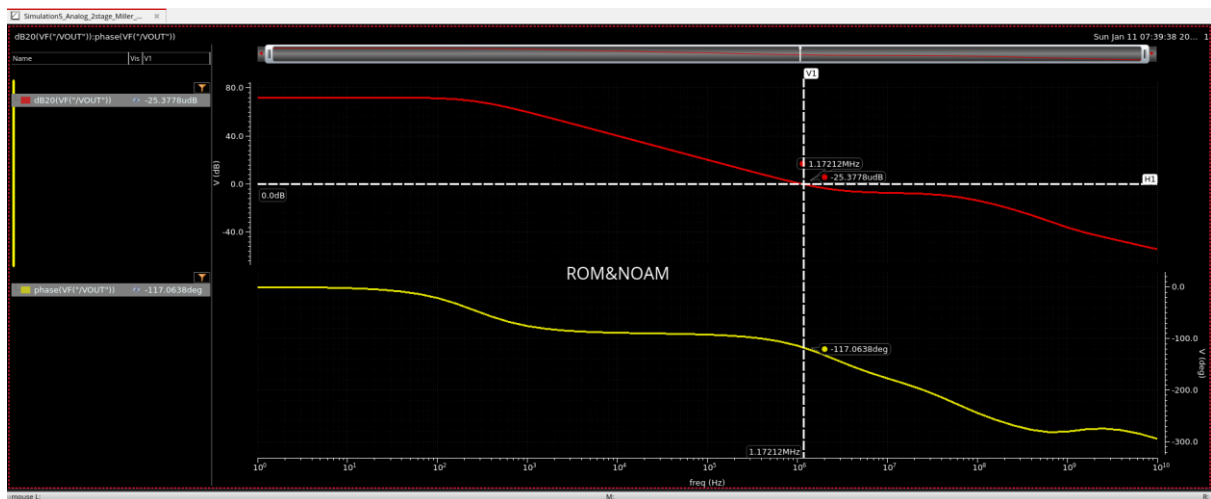


5.4 – BODE PLOT (30 pts)

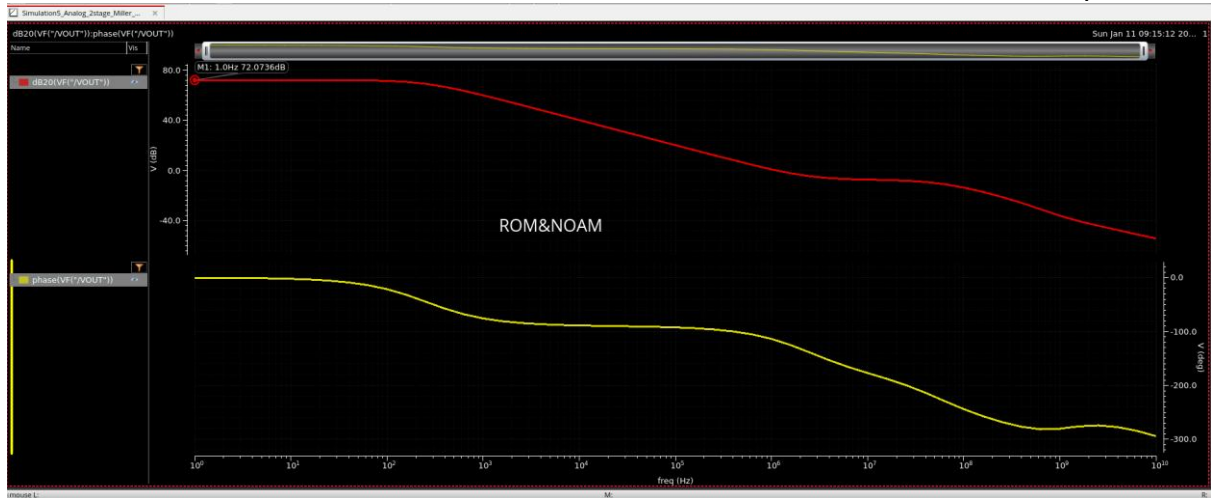
בסעיף זה נרצה לנתח את המערכת במישור התדר כאשר הלולאה פתוחה וכל הטרנזיסטורים במערכת נמצאים עדיין בסטורציה. כדי לפתוח את הלולאה כמבוקש בשאלה הרצה DC SWEEP עם הערכים האופטימליים שמצאנו ומדדנו מהו מתח היציאה כאשר מתח הכניסה הוא 1V שנמצא עמוק בטווח הסטורציה.



קיבלנו שVOUT שווה ל-999.165mV ולכן זהו המתח שנציב על מנת לפתוח את הלולאה בVmin. אנחנו נבדוק את המעגל שלנו עבור $C_{miller}=2.5pF$ שזה הערך שראינו שנותן לנו BW מיטבי. נחפש את הphase margin בעזרת המגניטודה והפאזה בדיאגרמת בודה הצבנו $C_{load}=0.1pF$ כדי להגדיל את הPM ונקבל את הגרף הבא:



נשים לב שקיבלנו $\text{phase margin} = 180 - 117.0638 = 62.9362$ שזה גדול מ-60 כמבוקש ולכן עונה על הדרישות בסעיף זה ונותן מערכת יציבה. ניתן לראות שקיבלנו הגבר open loop של 72.0736dB. קיבלנו הגבר שגדול מ-40 כמבוקש.



בהשוואה להגבר שקיבלנו ב-DC ניתן לראות שקיבלנו הגבר כמעט זהה וההבדל הוא בערך 0.1db ונובע מההזנחות שעושים בחישוב הגבר DC.