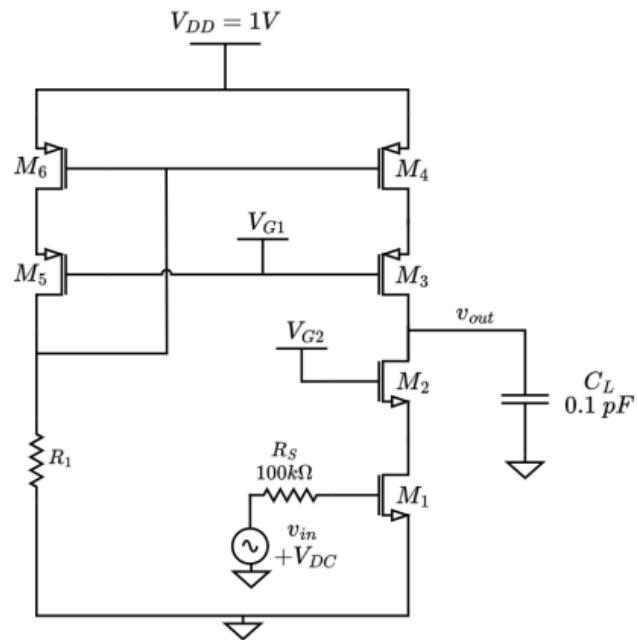


# Design Exercise 2

## Low Power Sensor Amplifier



The design specifications are:

	DC Gain	3-dB BW	Max Power consumption
Value	40 dB	2 MHz	20 $\mu$ W

המעגל הבא מתאר חישון הספק נמוך, נממש המעגל המצורף למעלה תורן קירית תכונות שלו. המעגל מורכב מקאסקודה, וראי זרם .

פרמטרי המודול:

- טרנזיסטורים 'nfet' ו-'pfet' מסדרית 'hfet'.'bicmos8hp'.
- נגד ('res') מסדרית 'analoglib'.'analoglib'.
- מקור DC (VG1 & VG2) - (VDD ו-VG1 & VG2) מסדרית 'analoglib'.'analoglib'.
- ארקה ('gnd') מסדרית 'analoglib'.'analoglib'.
- 0.1 'cap' pF Load capacitor - 'cap' 0.1.
- מקור מתח כניסה סינוסואידי - 'sin' מסדרית 'analoglib'. רמת DC של 'sin' ניתן להגדיר את המקור לכל מתח בין 0 ל-VDD.

נתכנת את המוגבר בשלושה שלבים:

1) שלב ראשון: קביעת הגבר ורוחב סרט של המוגבר על ידי ה cascode.

2) קביעת זרם של החלק הימני של ראי הזרם.

3) קביעת ערך הנגד R שנוטן את זרם בענף הימני.

שלב ראשון:

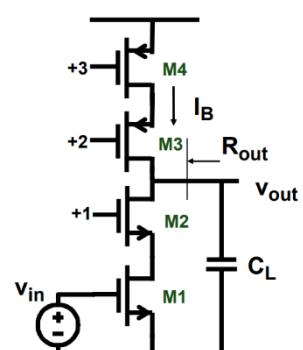
בהתחלת נחילק את המודול ונחקור כל שלב בלבד, נתחילה עם ה cascode וنبין את הפונקציונליות שלו.

לפי מה שלמדנו בהרצאה נרשום את המשוואות של ה Telescope cascode :

$$A_v = g_{m1} * R_{out}$$

$$R_{out} = (g_{m2} * r_{ds2} * r_{ds1}) || (g_{m3} * r_{ds3} * r_{ds4})$$

$$BW = \frac{1}{2\pi * R_{out} * C_L}$$



אפשר לראות במשוואת ה  $T$  של ROUT של Telescope cascod שהתנגדות של  $M3$  ו  $M4$  במקביל להתנגדות החלק התחתון, لكن המטרה שלנו להגיא לתנגדות גדולה של החלק העליון לפחות רמת הקושי של המגבר והתחמיך בחלק התחתון של ה cascode, וזה יותר נוח מבחינתי האגרר ורוחב סרט התלוים בהרבה פרמטרים.

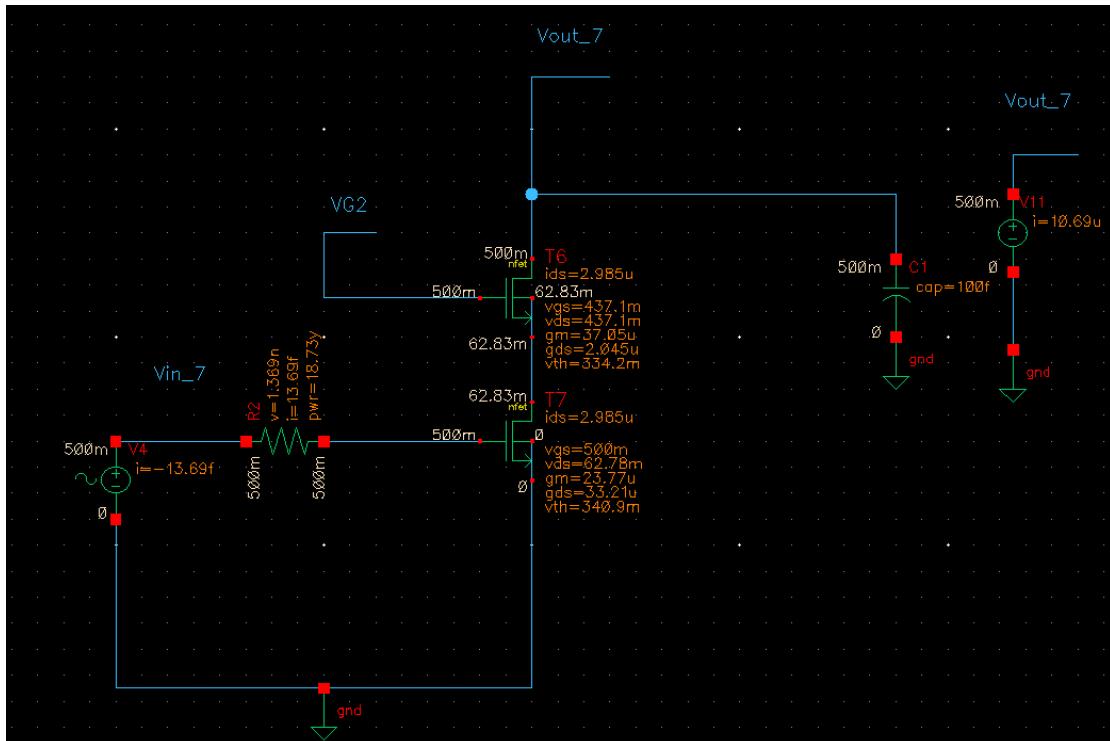
כדי שייהי לנו טעינה ופරיקה טוביה של הקבל במצב המגבר, נבחר שהפרש המתחים בין החלק העליון והתחתון של ה cascode יהיה שווה. לכן הפרש המתח על החלק התחתון יהיה  $0.5[V]$ .

המטרה שלנו שנגיע לערך קרוב מהערך ההגבר ורוחב סרט שרצוים ממש, כי בסוף השבעת החלק העליון לא תהיה ממש זניחה וזה יהיה קרוב ל:

$$A_v = g_{m1} * (g_{m2} * r_{ds2} * r_{ds1}) || (g_{m3} * r_{ds3} * r_{ds4})$$

$$A_v \approx 0.9 * g_{m1} * (g_{m2} * r_{ds2} * r_{ds1})$$

בהתחלת נקבע את הערכים של הטרנזיסטורים 6, 7, להיות הערכים הći קטנים, אך  $L6=L7=120[\mu m]$ ,  $W6=W7=160[\mu m]$ .

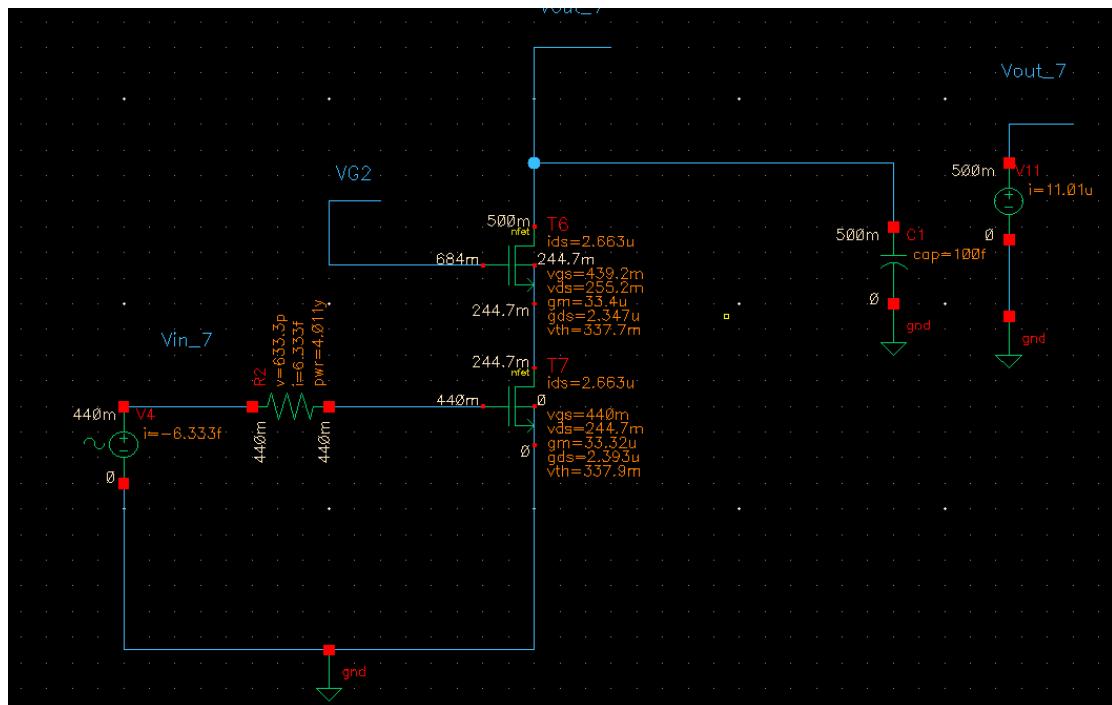


בשביל להגיא להגבר 40db נחפש על ערך  $V_{ov}$  שומר על מצב העבודה רוויה לכל הטרנזיסטורים .

אפשר לראות ש :

$$V_{th7}=340.9m, V_{th6}=334.2m .$$

לכן נבחר ש  $V_{in\_7}$  להיות שווה ל  $V_{G2} = 440m$  ו  $V_{G2} = 684m$  בשביל לקבל  $V_{ov}=100m$ , ואחר כך נעשה sweep מהערכים אלו לו ו נבחר הערכים הכי טובים שנדרשים לנו להגבר הדורש ושומרים על מצב עבודה.



התוצאות של ה sweep :

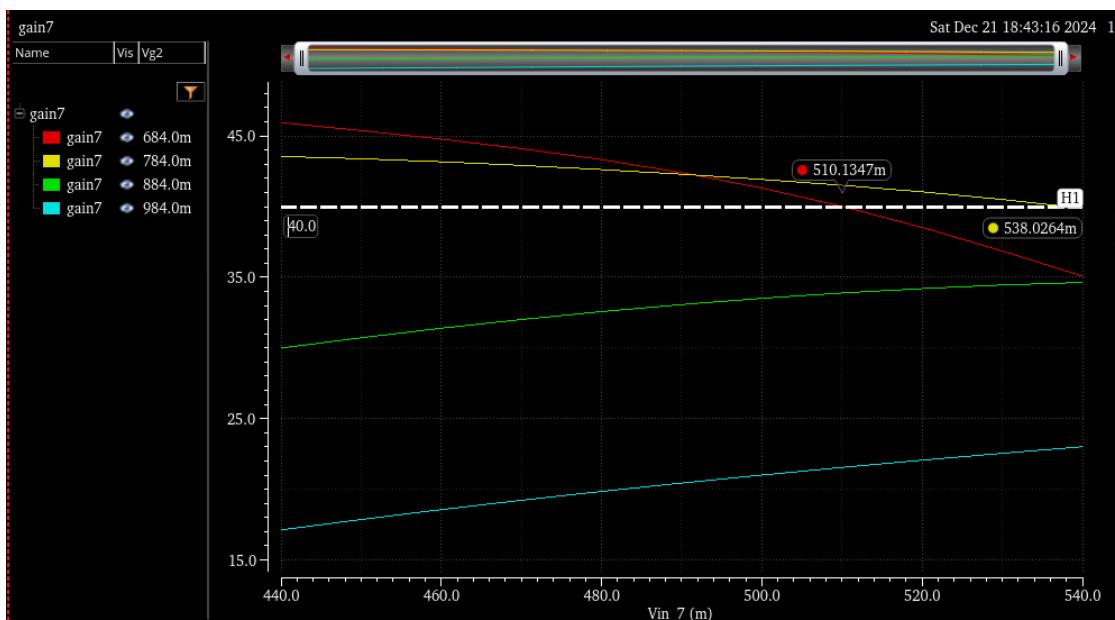
Point	Test	Output	Nominal	Spec
1	Filter	Filter	Filter	Filter
Parameters: $Vg2=684m, Vin_7=440m$				
1	Analog_Projects... gain7	45.94		
1	Analog_Projects... BW_7	267.5K		
Parameters: $Vg2=684m, Vin_7=540m$				
2	Analog_Projects... gain7	35.08		
2	Analog_Projects... BW_7	1.458M		
Parameters: $Vg2=684m, Vin_7=640m$				
3	Analog_Projects... gain7	20.05		
3	Analog_Projects... BW_7	7.421M		
Parameters: $Vg2=684m, Vin_7=740m$				
4	Analog_Projects... gain7	11.65		
4	Analog_Projects... BW_7	14.89M		
Parameters: $Vg2=684m, Vin_7=840m$				
5	Analog_Projects... gain7	5.939		
5	Analog_Projects... BW_7	21.6M		
Parameters: $Vg2=684m, Vin_7=940m$				
6	Analog_Projects... gain7	1.526		
6	Analog_Projects... BW_7	27.29M		
Parameters: $Vg2=784m, Vin_7=440m$				
7	Analog_Projects... gain7	43.55		
7	Analog_Projects... BW_7	375.5K		
Parameters: $Vg2=784m, Vin_7=540m$				
8	Analog_Projects... gain7	39.88		
8	Analog_Projects... BW_7	948.9K		
Parameters: $Vg2=784m, Vin_7=640m$				
9	Analog_Projects... gain7	27.14		
9	Analog_Projects... BW_7	4.543M		
Parameters: $Vg2=784m, Vin_7=740m$				
10	Analog_Projects... gain7	15.97		
10	Analog_Projects... BW_7	13.28M		
Parameters: $Vg2=784m, Vin_7=840m$				
11	Analog_Projects... gain7	9.147		
11	Analog_Projects... BW_7	22.15M		
Parameters: $Vg2=784m, Vin_7=940m$				
12	Analog_Projects... gain7	4.228		
12	Analog_Projects... BW_7	29.76M		

wireopt	211
Vg1	Vg11
Vg2	684m:100m:1
Vin_7	440m:100m:1
R1	1K
W2	W10
W3	W11

R1 : "1K"  
To sweep, s

אפשר לראות שערך ההגבר נמצא בין  $V_{in\_7} = 540m$  ל  $V_{in\_7} = 440m$ , וכך  
נעשה עוד sweep בין הערכים אלו.

Point	Test	Output	Nominal
Filter	Filter	Filter	Filter
Parameters: $V_{g2}=684m, V_{in\_7}=440m$			
1	Analog_Projects... gain7	45.94	
1	Analog_Projects... BW_7	267.5K	
Parameters: $V_{g2}=684m, V_{in\_7}=450m$			
2	Analog_Projects... gain7	45.38	
2	Analog_Projects... BW_7	305.8K	
Parameters: $V_{g2}=684m, V_{in\_7}=460m$			
3	Analog_Projects... gain7	44.77	
3	Analog_Projects... BW_7	349.6K	
Parameters: $V_{g2}=684m, V_{in\_7}=470m$			
4	Analog_Projects... gain7	44.1	
4	Analog_Projects... BW_7	400.7K	
Parameters: $V_{g2}=684m, V_{in\_7}=480m$			
5	Analog_Projects... gain7	43.32	
5	Analog_Projects... BW_7	462.3K	
Parameters: $V_{g2}=684m, V_{in\_7}=490m$			
6	Analog_Projects... gain7	42.41	
6	Analog_Projects... BW_7	539.3K	
Parameters: $V_{g2}=684m, V_{in\_7}=500m$			
7	Analog_Projects... gain7	41.31	
7	Analog_Projects... BW_7	638.6K	
Parameters: $V_{g2}=684m, V_{in\_7}=510m$			
8	Analog_Projects... gain7	40.02	
8	Analog_Projects... BW_7	769.2K	
Parameters: $V_{g2}=684m, V_{in\_7}=520m$			
9	Analog_Projects... gain7	38.53	
9	Analog_Projects... BW_7	942.2K	
Parameters: $V_{g2}=684m, V_{in\_7}=530m$			
10	Analog_Projects... gain7	36.86	
10	Analog_Projects... BW_7	1.169M	
Parameters: $V_{g2}=684m, V_{in\_7}=540m$			
11	Analog_Projects... gain7	35.08	
11	Analog_Projects... BW_7	1.458M	
Parameters: $V_{g2}=784m, V_{in\_7}=440m$			
12	Analog_Projects... gain7	43.55	
12	Analog_Projects... BW_7	375.5K	



נבחר ערך הגבר שווה ל 40db

.  $Vg2=684mV$  ו  $Vin_7 = 510mV$

והערכים אלו נתונים הגבר רוחב סרט :

Analog_Projects...	gain7	40.02
Analog_Projects...	BW_7	769.2K

עכשו רוצים להגדיל רוחב סרט, ולעשות זאת זה נגדיל את  $W_6, W_7$  ונעשה את זה על ידי sweep ונבחר את הערך הcy מתאים .



: והוצאות הן :

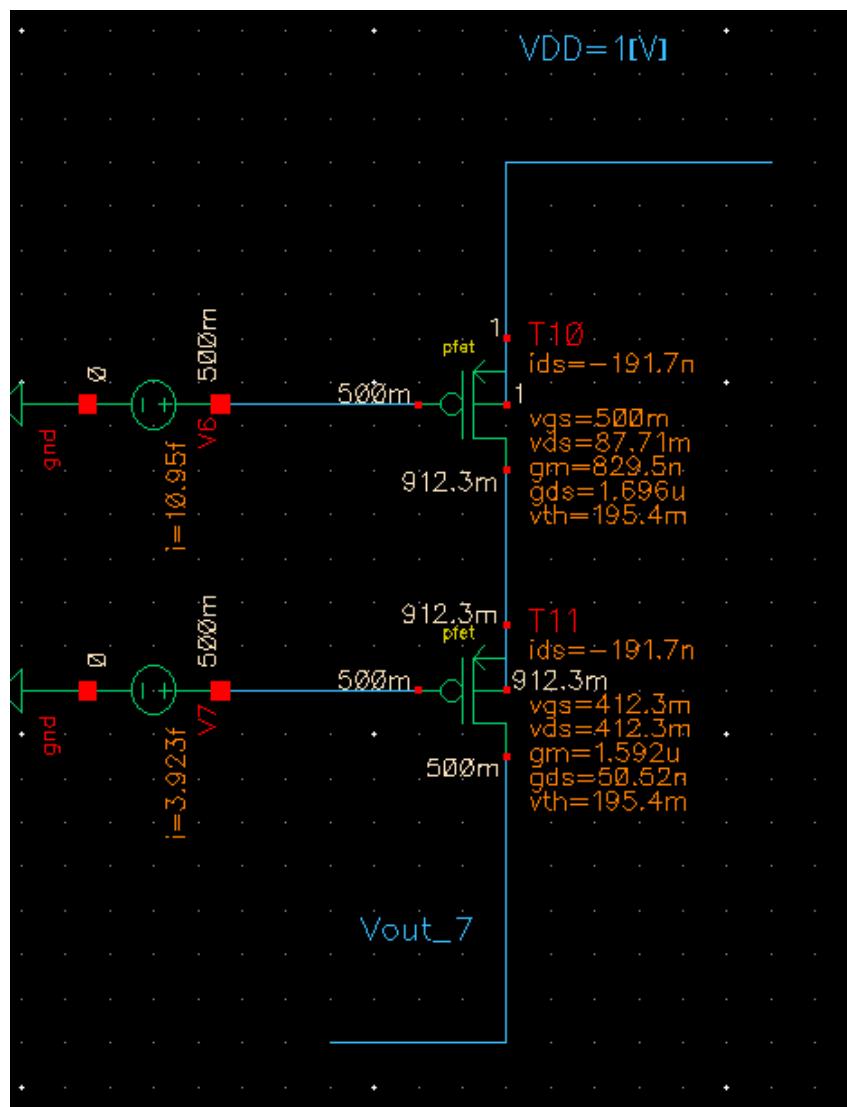
Parameters: $W_7=200n$			
1	Analog_Projects...	gain7	40.74
1	Analog_Projects...	BW_7	819.5K
Parameters: $W_7=300n$			
2	Analog_Projects...	gain7	41.57
2	Analog_Projects...	BW_7	979.8K
Parameters: $W_7=400n$			
3	Analog_Projects...	gain7	41.92
3	Analog_Projects...	BW_7	1.172M
Parameters: $W_7=500n$			
4	Analog_Projects...	gain7	42.1
4	Analog_Projects...	BW_7	1.379M
Parameters: $W_7=600n$			
5	Analog_Projects...	gain7	42.21
5	Analog_Projects...	BW_7	1.595M
Parameters: $W_7=700n$			
6	Analog_Projects...	gain7	42.28
6	Analog_Projects...	BW_7	1.817M
Parameters: $W_7=800n$			
7	Analog_Projects...	gain7	42.33
7	Analog_Projects...	BW_7	2.042M
Parameters: $W_7=900n$			
8	Analog_Projects...	gain7	42.36
8	Analog_Projects...	BW_7	2.271M
Parameters: $W_7=1u$			
9	Analog_Projects...	gain7	42.39
9	Analog_Projects...	BW_7	2.501M

לכן נבחר את  $W_7=W_6=900$

זה מותן :

Test	Output	Nominal
Filter	Filter	Filter
Analog_Projects...	gain7	42.36
Analog_Projects...	BW_7	2.271M

עכשו נתחילה עם שלב 2 :  
בשלב זה רוצים לקבל התוצאות מוצא של החלק העליון גדולה, ונקבל אותו זרם שעובר בחלק התיכון .



בשביל שנקבל התנגדות מוצא גדולה נקבע את הערך של  $L = 1.5 \mu\text{H}$ . זה נכון כי :

$$R_{out,up} = g_{m11} * r_{ds11} * r_{ds10}$$

$$r_{ds} = \frac{1}{\lambda * I_{DS}} = \frac{V_E * L}{I_{DS}}$$

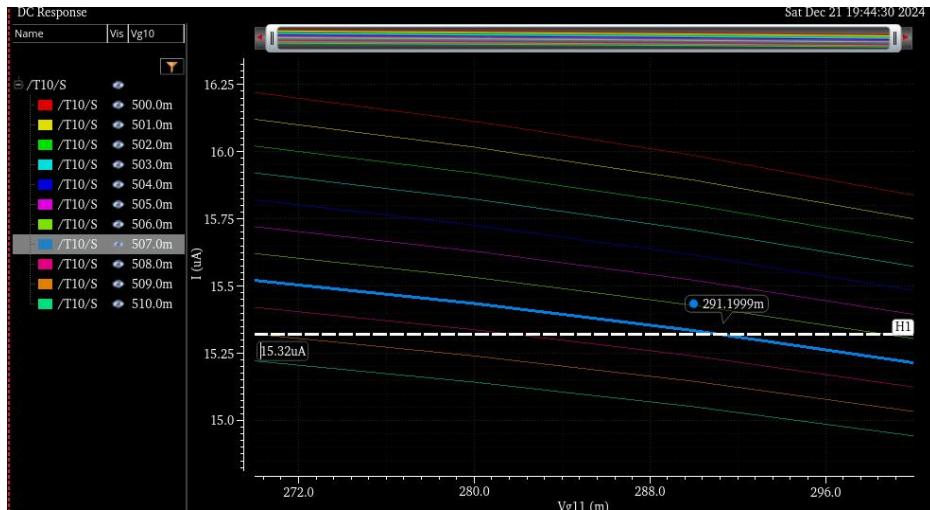
אפשר לראות שהגדלת ה  $L$  תגדיל את  $s_{ds}$  באופן לינארי.

קבענו את הערך של  $s_{ds} = 10 \mu\text{H}$ , וזה בשביל להגעה לערכים גדולים של הזרם, בשביל שנשווה הזרם בין החלק העליון והחלק התיכון.

נבחרנו  $V_{th,10,11}$  שווה ל  $235\text{mV}$  לנבחר  $V_{g10,11}$  שישמור על נקודות העבודה : בחרנו :

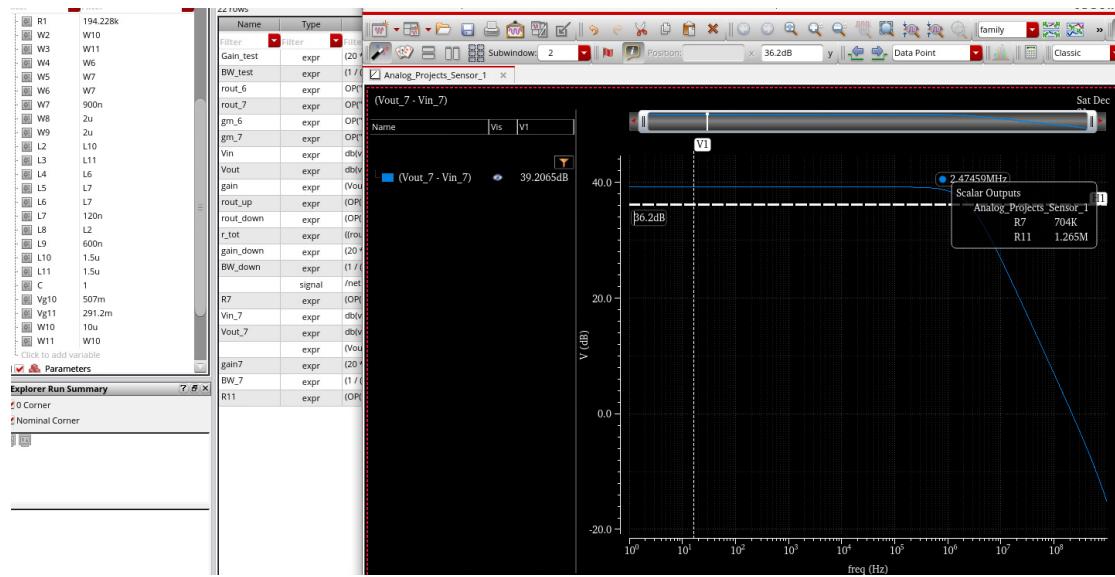
$$V_{g10} = 565\text{mV}, V_{g11} = 315\text{mV}$$

עכשו נעשה sweep ל  $V_{g10,11}$  בשביל שנקבל זרם בענף העליון שווה ל  $15.32\text{mA}$ .



קיבliśmy אותו זרם בענף העליון.

עכשו נחבר שני הענפים ביחד, וקיבלים התנגדות הענף העליון קרובה להtanגדות הענף התיכון.

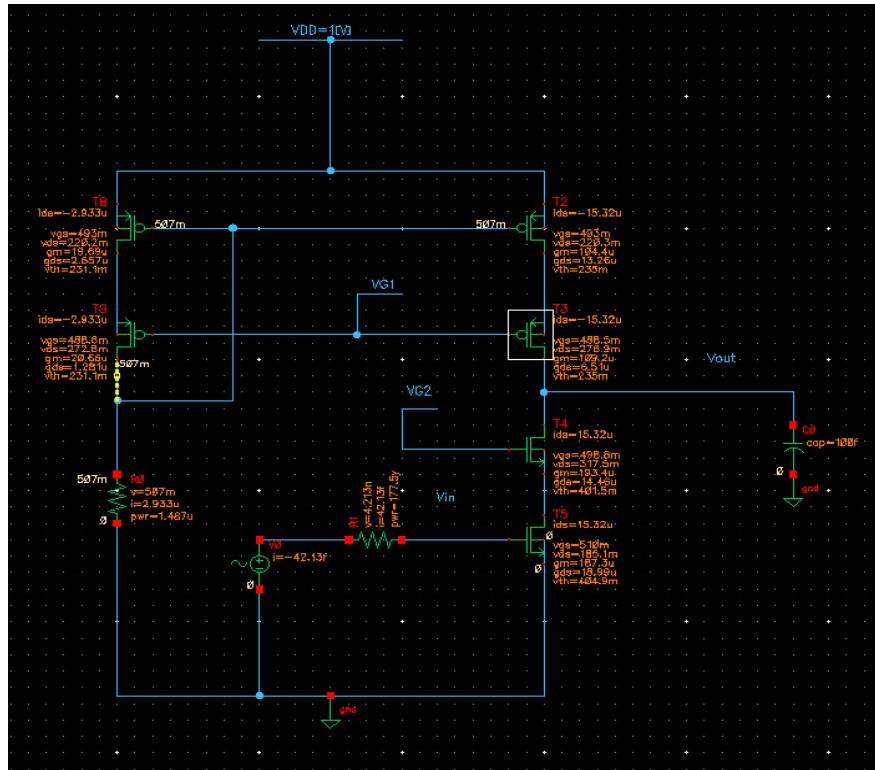


אפשר לראות שקבלנו ערכים קרובים להגבר הדרוש, עכשו נחבר עם הראי הזרם ונבחר.

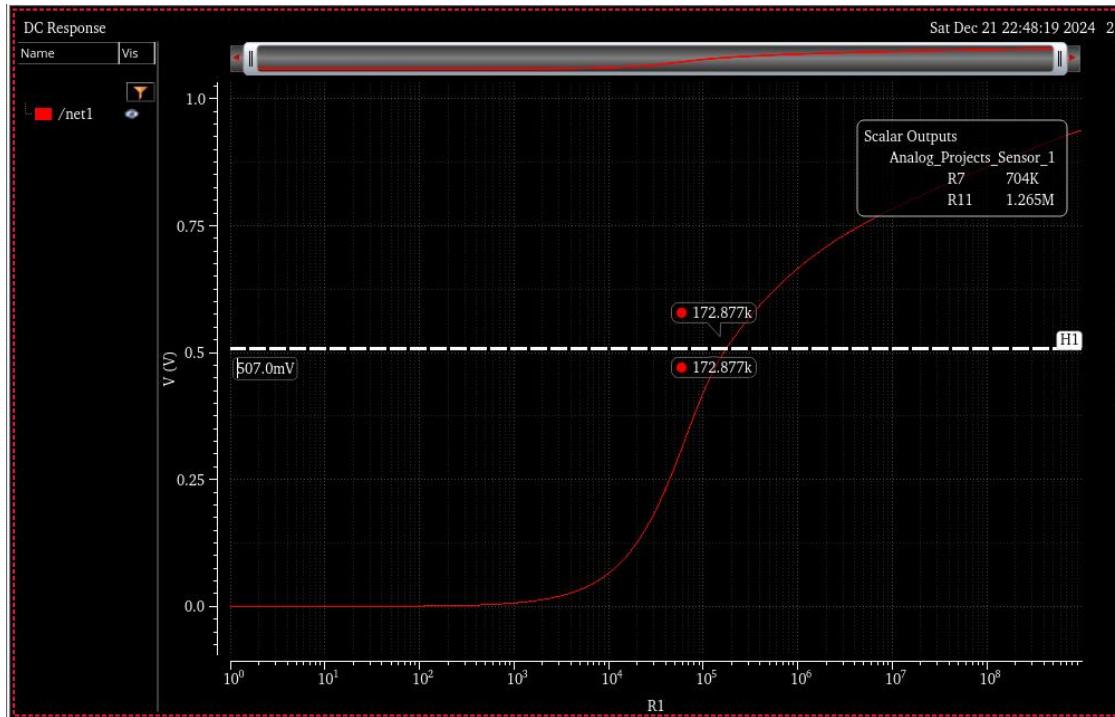
בחרנו  $W8=W9=2u$ , בחרנו בערך זה כי עבור ערכים קטנים זה משפיע על רוחב סרט, ועבור ערכים גדולים צריך הרבה הסקפ.

ובחרנו  $L10=L11=L9=L8$ , בחרנו באותו ערכים של הטרנזיסטורים שמקבילים לטרנזיסטורים אלו.

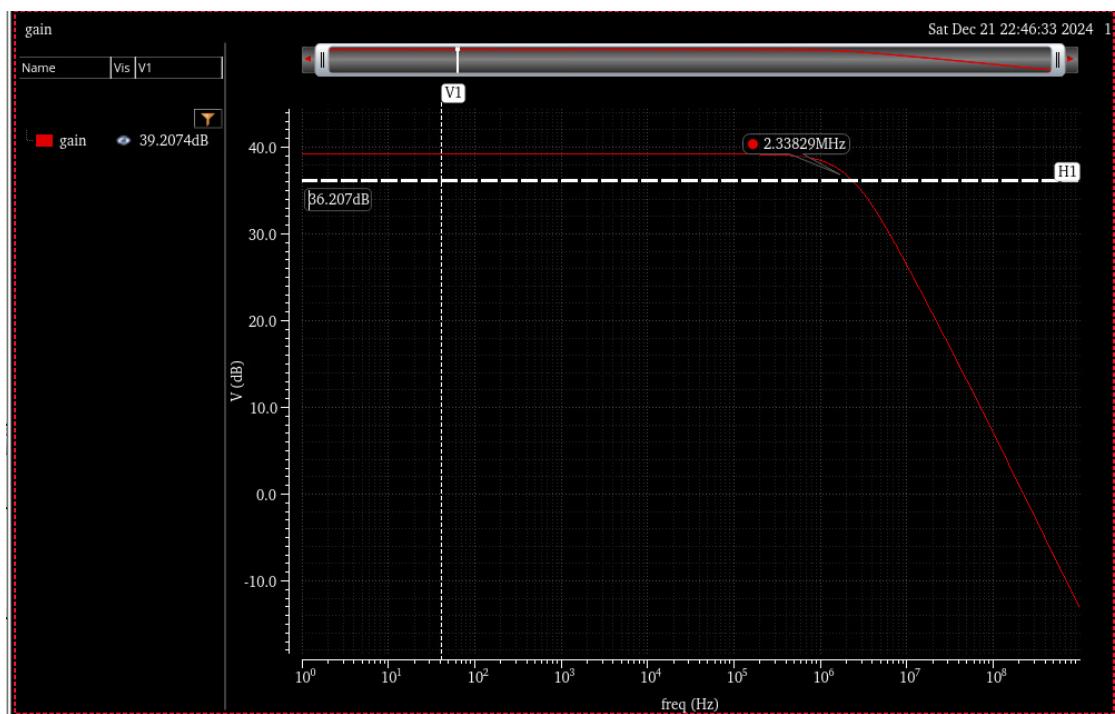
נעתיק כל הערכים מהשלבים הקודמים למעגל הסופי.



קבענו את הערך של הנגד R על ידי sweep שנutan לנו אותו מתח בענף הימני .



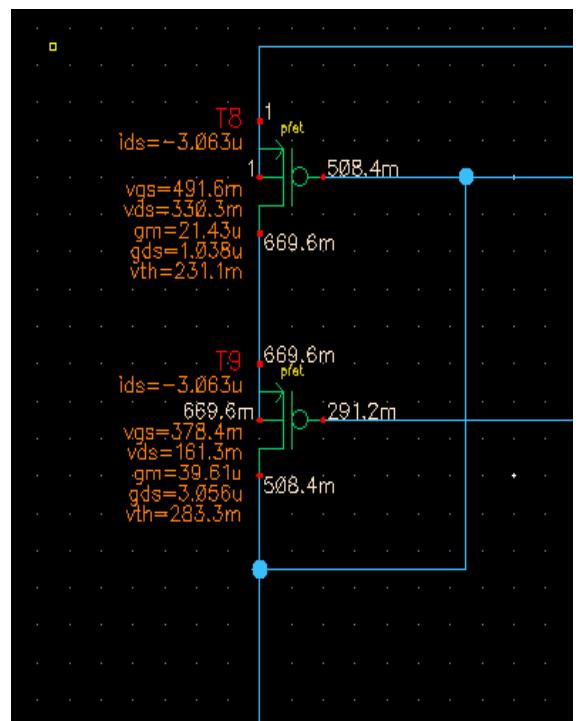
ונקבל כתוצאה להגבר כל המעגל הגרף הבא :



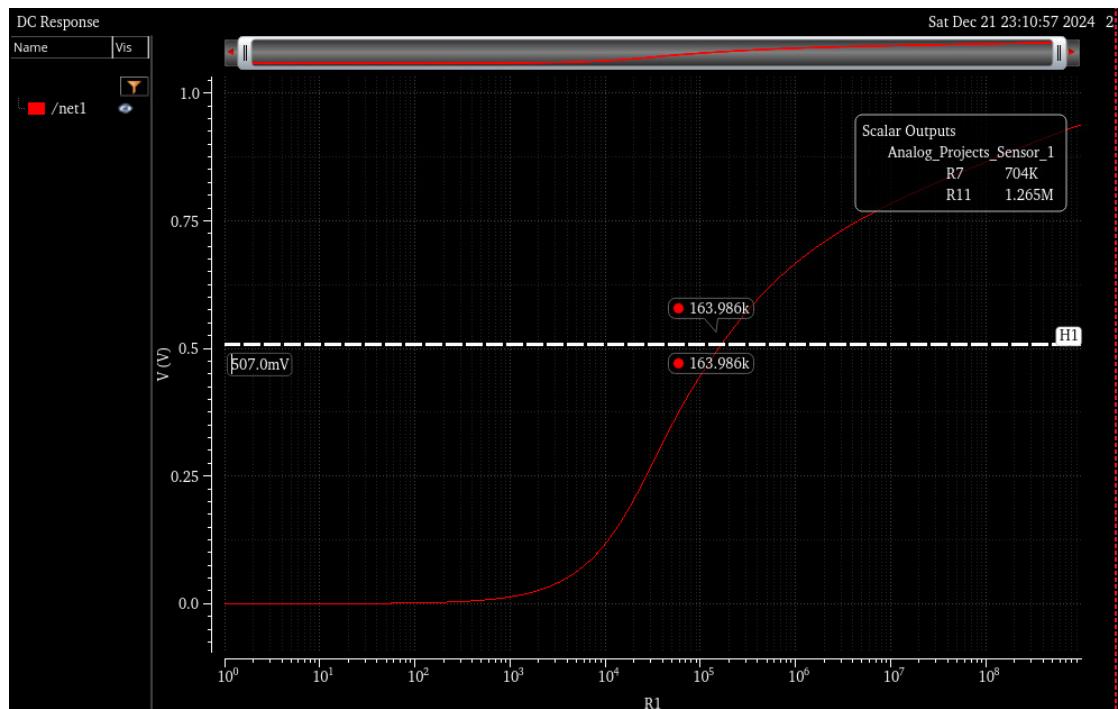
סמן לבי ש הטרנזיסטור 8 לא ברויה איז החלטנו להקטין את L9 בשבייל להקטין את Sd ו עלי, וזה יכנס את 8 לרויה .

בחרנו L9 להיות שווה ל 300n

Parameters: L9=300n			
1	Analog_Projects...	gain	
1	Analog_Projects...	R7	704K
1	Analog_Projects...	R11	1.265M
Parameters: L9=400n			
2	Analog_Projects...	gain	
2	Analog_Projects...	R7	704K
2	Analog_Projects...	R11	1.265M
Parameters: L9=500n			
3	Analog_Projects...	gain	
3	Analog_Projects...	R7	704K
3	Analog_Projects...	R11	1.265M
Parameters: L9=600n			
4	Analog_Projects...	gain	
4	Analog_Projects...	R7	704K
4	Analog_Projects...	R11	1.265M
Parameters: L9=700n			
5	Analog_Projects...	gain	
5	Analog_Projects...	R7	704K
5	Analog_Projects...	R11	1.265M
Parameters: L9=800n			
6	Analog_Projects...	gain	
6	Analog_Projects...	R7	704K
6	Analog_Projects...	R11	1.265M



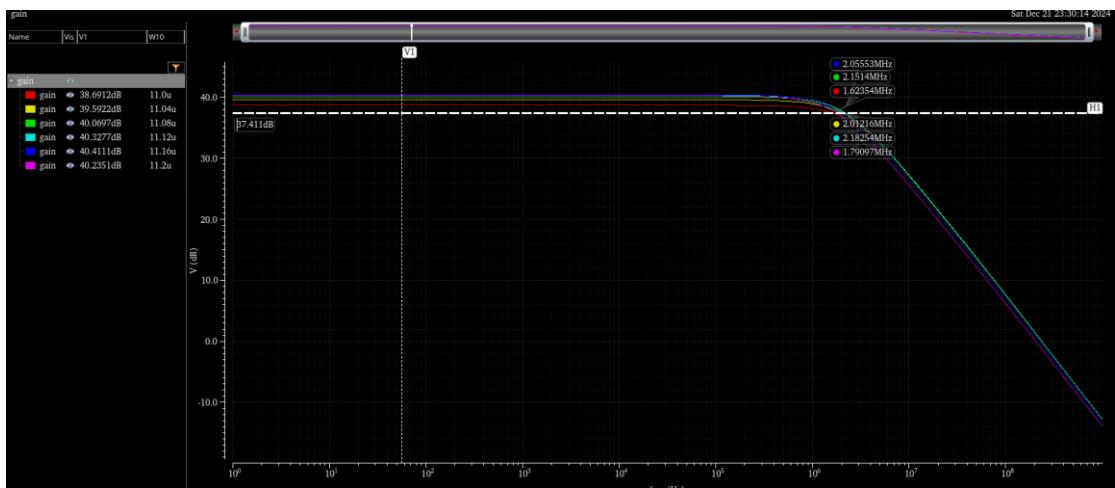
בחרנו R חדש מתאים :



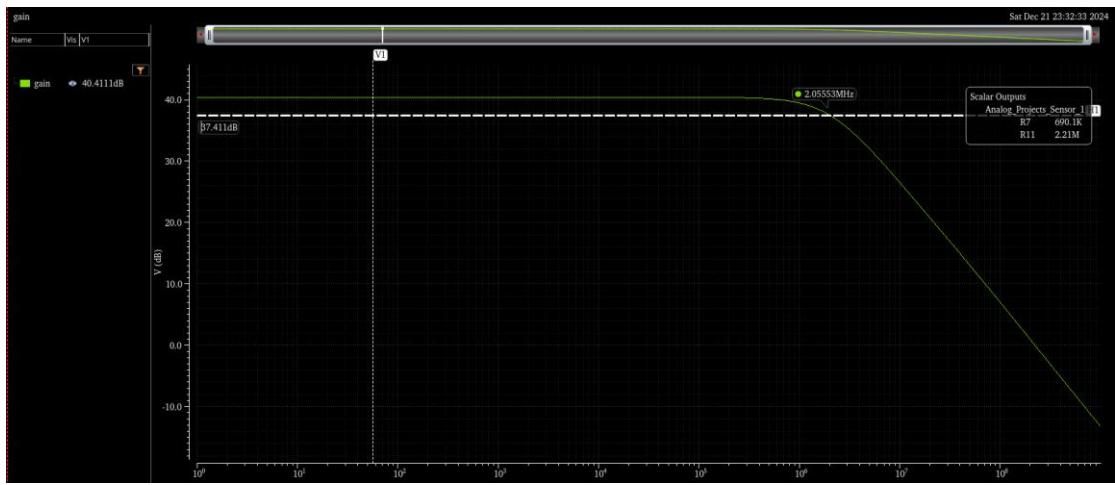
בשביל לשפר את התוצאות ההגבר ורוחב הסרט רוצים להגדיל את R11 שהיא התנגדות החלק העליון של הענף הימני לכך נשנה 3  $V_{g2,3}$ , וזה נכון כי הקטנת הזרם תגדיל את  $s_{dz}$  ונעשה את זה על ידי הקטנת  $V_{gs}-V_{th}$ .

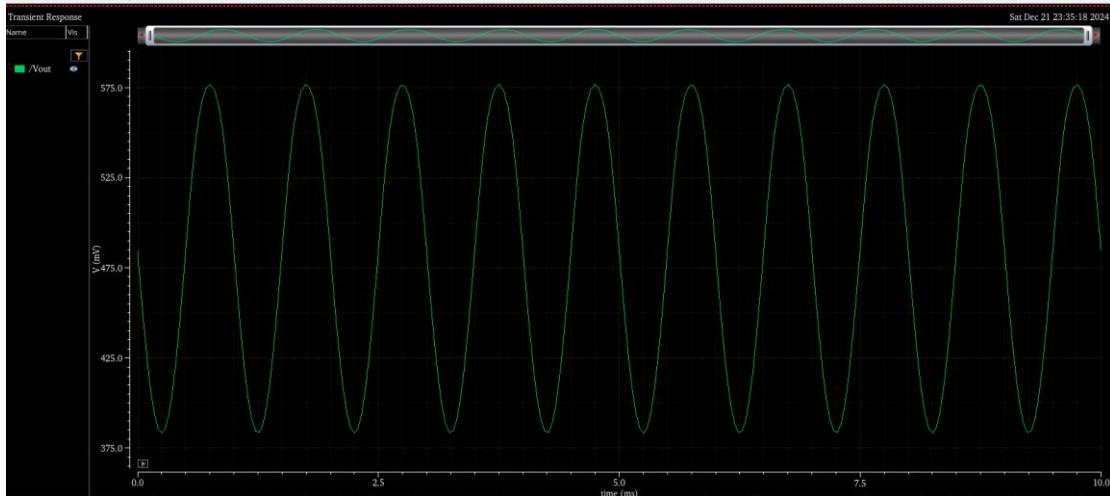
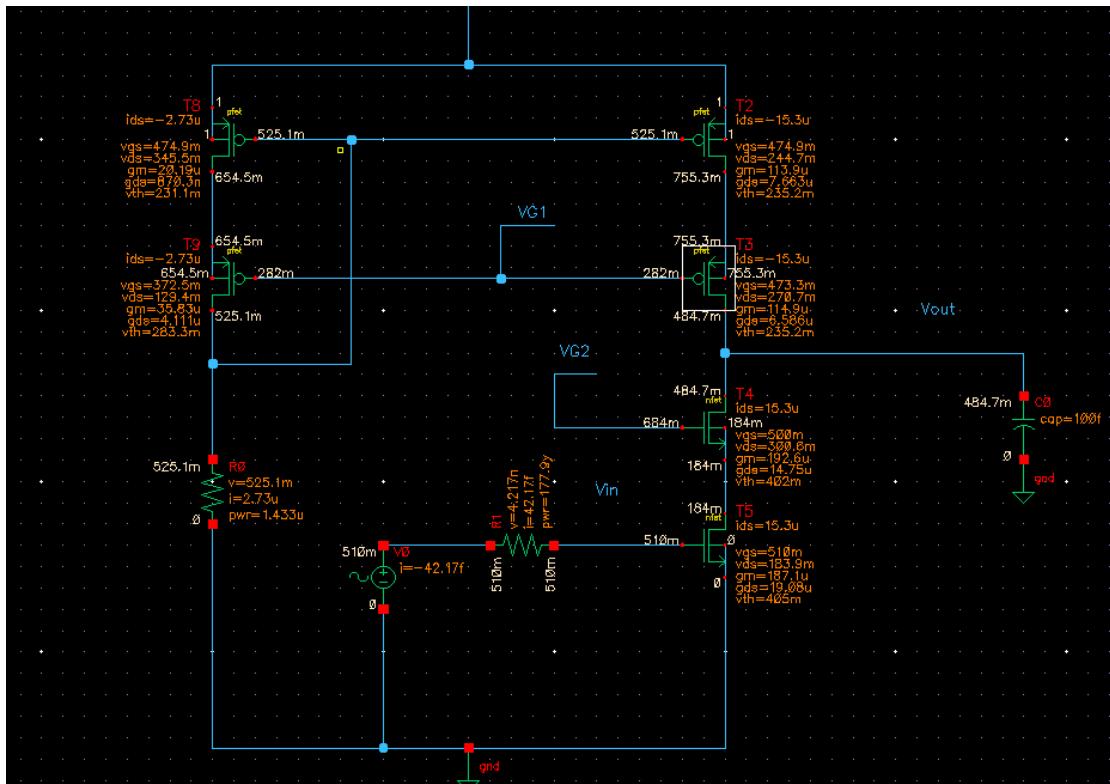
בחרנו בערכים  $m = 282$ ,  $V_{g11} = 282m$ ,  $V_{g10} = 525m$ .

ובשביל לשמר על רווית הטרנזיסטורים נעשה sweep לערבים 11, 10, 11 כדי שנבטיח מצב רוויה.



בסוף בחרנו את  $n = W10=W11=11.16u$   
ההמגלא הסופי הוא:





	$W$	$L(\mu m)$	$V_{GS} (V)$	$V_{TH}(V)$	$V_{DS}(V)$	$g_m(\Omega^{-1})$	$g_{ds}(\Omega^{-1})$	$Resistance (\Omega)$	$Voltage (V)$
$M_1$	900n	120n	510m	405m	183.9m	187.1u	19.08u	N/A	N/A
$M_2$	900n	120n	500m	402m	300.6m	192.6u	14.75u	N/A	N/A
$M_3$	11.16u	1.5u	473.3m	235.2m	270.7m	114.9u	6.586u	N/A	N/A
$M_4$	11.16u	1.5u	474.9m	235.2m	244.7m	113.9u	7.663u	N/A	N/A
$M_5$	900n	300n	372.5m	283.3m	129.4m	35.83u	4.111u	N/A	N/A
$M_6$	900n	1.5u	474.9m	231.1m	345.5m	20.19u	870.3n	N/A	N/A
$R_1$	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	192.35k	N/A
$V_{DC}$	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	510m
$V_{G1}$	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	282m
$V_{G2}$	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	684m

\*\*\*\*\*הערה: בסופו של תהליך התכנון לא הגיעו לערבים מדויקים, שכן בחרנו להשתמש בערכים של הטרנזיסטורים הנמצאים בשימוש בתעשיית היבריד זו מאפשרת לנו להיות קרובים יותר למציאות, שכן מדובר בערכים שנמצאים בשימוש אמיתי בשדה. בנוסף, זאת בהתחשב במוגבלות המרחב של התקנים ובמוגבלות הייצור, כפי שلמדנו בהרצאות ותרגולים.