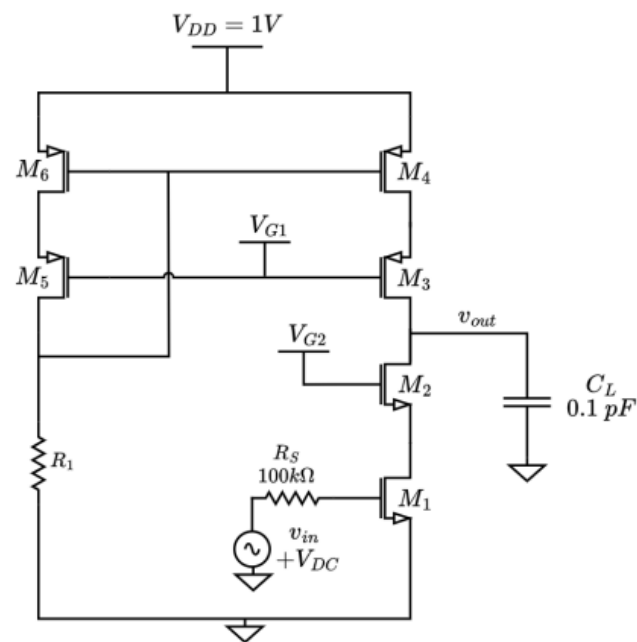


Design Exercise 2

Low Power Sensor Amplifier



The design specifications are:

	DC Gain	3-dB BW	Max Power consumption
Value	40 dB	2 MHz	20 μ W

המעגל הבא מתאר חיישן הספק נמוך, נממש המעגל המצורף למעלה תוך חקירת תכונות שלו. המעגל מורכב מ קאסקוד, וראי זרם .

פרמטרי המעגל :

- טרנזיסטורים 'nfet' ו-'pfet' מספריית 'bicmos8hp'.
 - נגד ('res') מספריית 'analoglib'.
 - מקור DC (VG1 & VG2 ו-VDD) - 'vdc' מספריית 'analoglib'.
 - ארקה ('gnd') מספריית 'analoglib'.
 - 'cap 0.1' - pF Load capacitor מספריית 'analoglib'.
 - מקור מתח כניסה סינוסואידי - 'vsin' מספריית 'analoglib'. רמת DC של vsin
- ניתן להגדיר את המקור לכל מתח בין V0 ל-VDD.

נתכנת את המגבר בשלושה שלבים :

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

2) קביעת הזרם של החלק הימני של ראי הזרם .

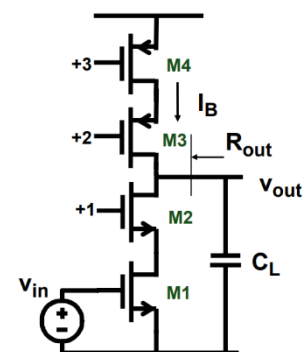
3) קביעת ערך הנגד R שנותן את הזרם בענף הימני .

שלב ראשון :

בהתחלה נחלק את המעגל ונחקור כל שלב לבד, נתחיל עם ה cascode ונבין את הפונקציונליות שלו .

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

$$A_v = g_{m1} * R_{out}$$
$$R_{out} = (g_{m2} * r_{ds2} * r_{ds1}) || (g_{m3} * r_{ds3} * r_{ds4})$$
$$BW = \frac{1}{2\pi * R_{out} * C_L}$$



אפשר לראות במשוואת ה ROUT של Telescope cascod שההתנגדות של M4 ו M3 במקביל להתנגדות החלק התחתון, לכן המטרה שלנו להגיע להתנגדות גדולה של החלק העליון לפשט רמת הקושי של המגבר ולהתמקד בחלק התחתון של ה cascode, וזה יותר נוח מבחינת הגבר ורוחב סרט התלויים בהרבה פרמטרים .

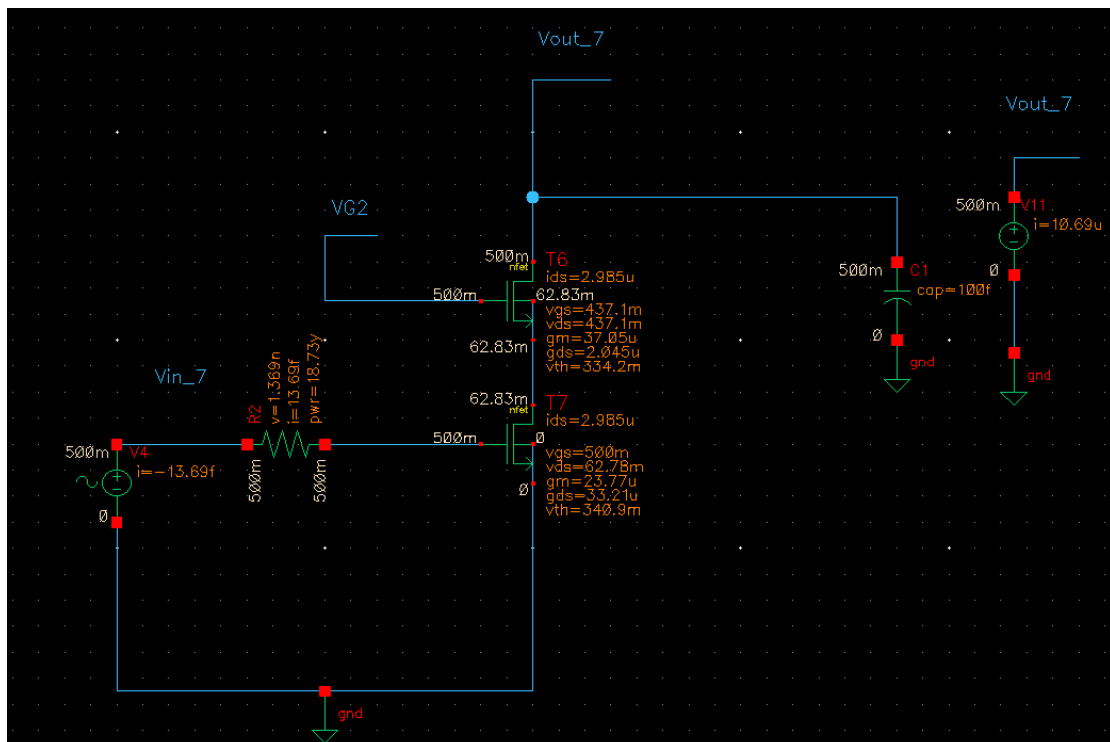
כדי שיהיה לנו טעינה ופריקה טובה של הקבל במוצא של המגבר, נבחר שהפרש המתחים בין החלק העליון והתחתון של ה cascode יהיה שווה . לכן הפרש המתח על החלק התחתון יהיה 0.5[V] .

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

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

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

בהתחלה נקבע את הערכים של הטרנזיסטורים 6,7 , להיות הערכים הכי קטנים, לכן $W7=W6=160[nm], L7=L6=120[nm]$.

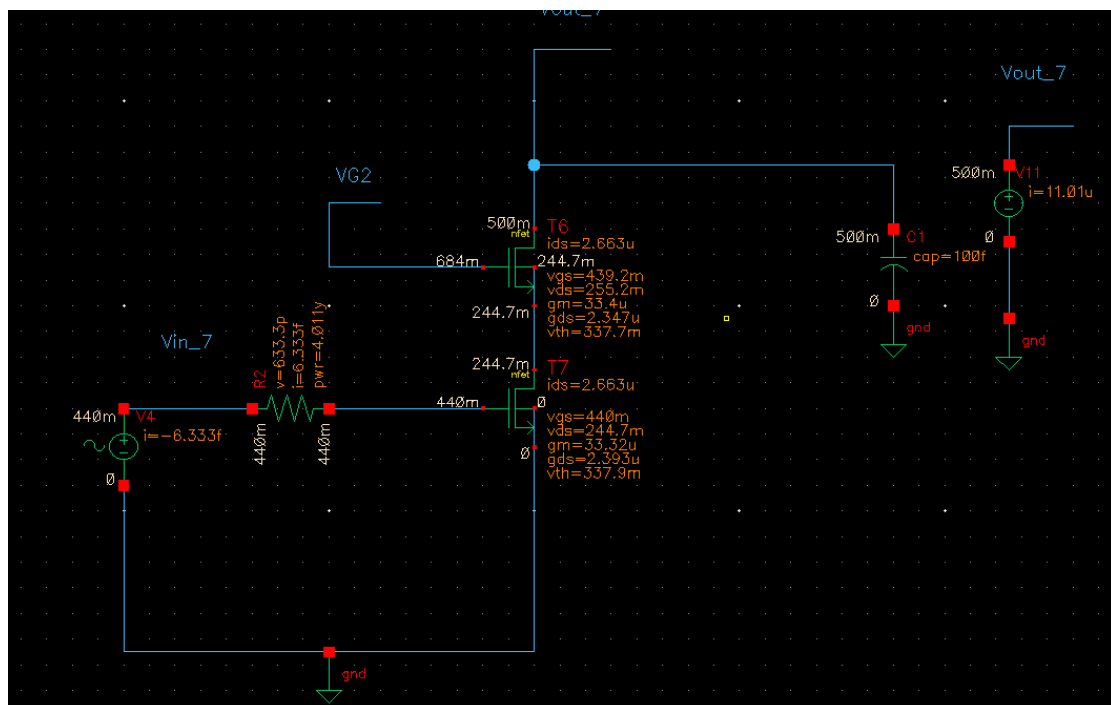


בשביל להגיע להגבר 40db נחפש על ערך V_{ov} ששומר על מצב העבודה רוויה לכל הטרנזיסטורים .

אפשר לראות ש :

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

לכן נבחר ש V_{in_7} להיות שווה ל 440mV ו V_{G2} להיות שווה 684mV בשביל לקבל $V_{ov}=100mV$, ואחר כך נעשה sweep מהערכים אלו ל 1V ונבחר הערכים הכי טובים שנותנים לנו ההגבר הדרוש ושומרים על מצב עבודה.



התוצאות של ה sweep :

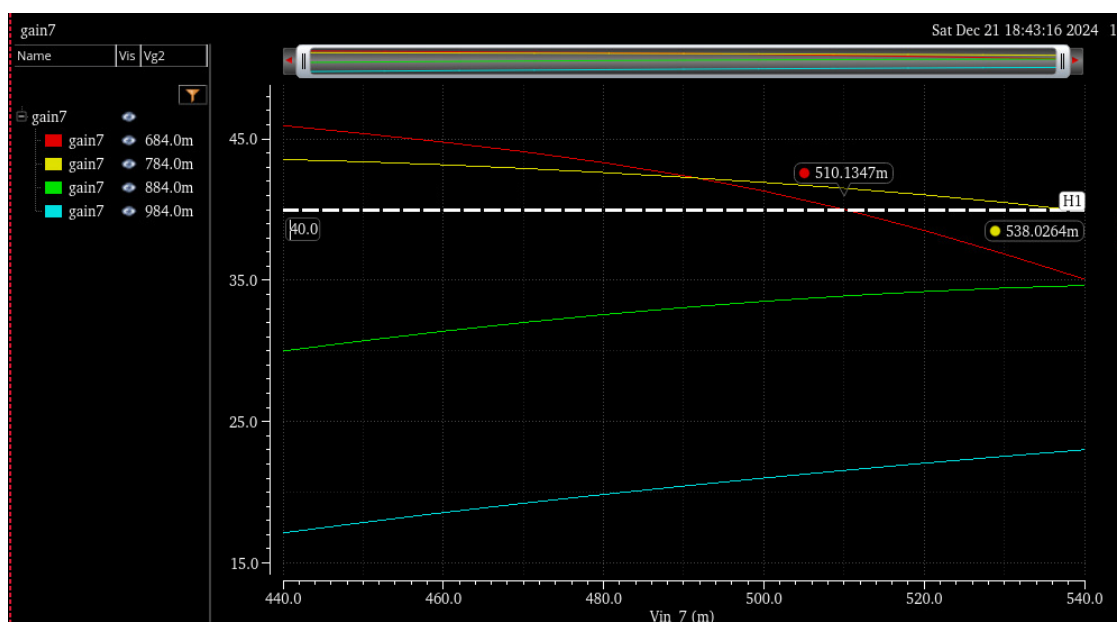
Point	Test	Output	Nominal	Spec
Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
Parameters: Vp2=684m, Vin_7=440m				
1	Analog_Proj...	gain7	45.94	
1	Analog_Proj...	BW_7	267.5K	
Parameters: Vp2=684m, Vin_7=540m				
2	Analog_Proj...	gain7	35.08	
2	Analog_Proj...	BW_7	1.458M	
Parameters: Vp2=684m, Vin_7=640m				
3	Analog_Proj...	gain7	20.05	
3	Analog_Proj...	BW_7	7.421M	
Parameters: Vp2=684m, Vin_7=740m				
4	Analog_Proj...	gain7	11.65	
4	Analog_Proj...	BW_7	14.89M	
Parameters: Vp2=684m, Vin_7=840m				
5	Analog_Proj...	gain7	5.939	
5	Analog_Proj...	BW_7	21.6M	
Parameters: Vp2=684m, Vin_7=940m				
6	Analog_Proj...	gain7	1.526	
6	Analog_Proj...	BW_7	27.29M	
Parameters: Vp2=784m, Vin_7=440m				
7	Analog_Proj...	gain7	43.55	
7	Analog_Proj...	BW_7	375.5K	
Parameters: Vp2=784m, Vin_7=540m				
8	Analog_Proj...	gain7	39.88	
8	Analog_Proj...	BW_7	948.9K	
Parameters: Vp2=784m, Vin_7=640m				
9	Analog_Proj...	gain7	27.14	
9	Analog_Proj...	BW_7	4.543M	
Parameters: Vp2=784m, Vin_7=740m				
10	Analog_Proj...	gain7	15.97	
10	Analog_Proj...	BW_7	13.28M	
Parameters: Vp2=784m, Vin_7=840m				
11	Analog_Proj...	gain7	9.147	
11	Analog_Proj...	BW_7	22.15M	
Parameters: Vp2=784m, Vin_7=940m				
12	Analog_Proj...	gain7	4.228	
12	Analog_Proj...	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 $V_{in_7} = 440m$ ל $V_{in_7} = 540m$, לכן 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 .

נבחר $V_{g2}=684mV$ ו $V_{in_7} = 510mV$.

והערכים אלו נותנים הגבר ורוחב סרט :

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

עכשיו רוצים להגדיל רוחב סרט, ולעשות את זה נגדיל את W7,W6 ונעשה את זה על ידי sweep ונבחר את הערך הכי מתאים .

wireopt	211
Vg1	Vg11
Vg2	684m
Vin_7	510m
R1	1K
W2	W10
W3	W11
W4	W6
W5	W7
W6	W7
W7	200n:100n:1u

והתוצאות הן :

Parameters: W7=200n			
1	Analog_Projects...	gain7	40.74
1	Analog_Projects...	BW_7	819.5K
Parameters: W7=300n			
2	Analog_Projects...	gain7	41.57
2	Analog_Projects...	BW_7	979.8K
Parameters: W7=400n			
3	Analog_Projects...	gain7	41.92
3	Analog_Projects...	BW_7	1.172M
Parameters: W7=500n			
4	Analog_Projects...	gain7	42.1
4	Analog_Projects...	BW_7	1.379M
Parameters: W7=600n			
5	Analog_Projects...	gain7	42.21
5	Analog_Projects...	BW_7	1.595M
Parameters: W7=700n			
6	Analog_Projects...	gain7	42.28
6	Analog_Projects...	BW_7	1.817M
Parameters: W7=800n			
7	Analog_Projects...	gain7	42.33
7	Analog_Projects...	BW_7	2.042M
Parameters: W7=900n			
8	Analog_Projects...	gain7	42.36
8	Analog_Projects...	BW_7	2.271M
Parameters: W7=1u			
9	Analog_Projects...	gain7	42.39
9	Analog_Projects...	BW_7	2.501M

לכן נבחר את $W7=W6=900n$.

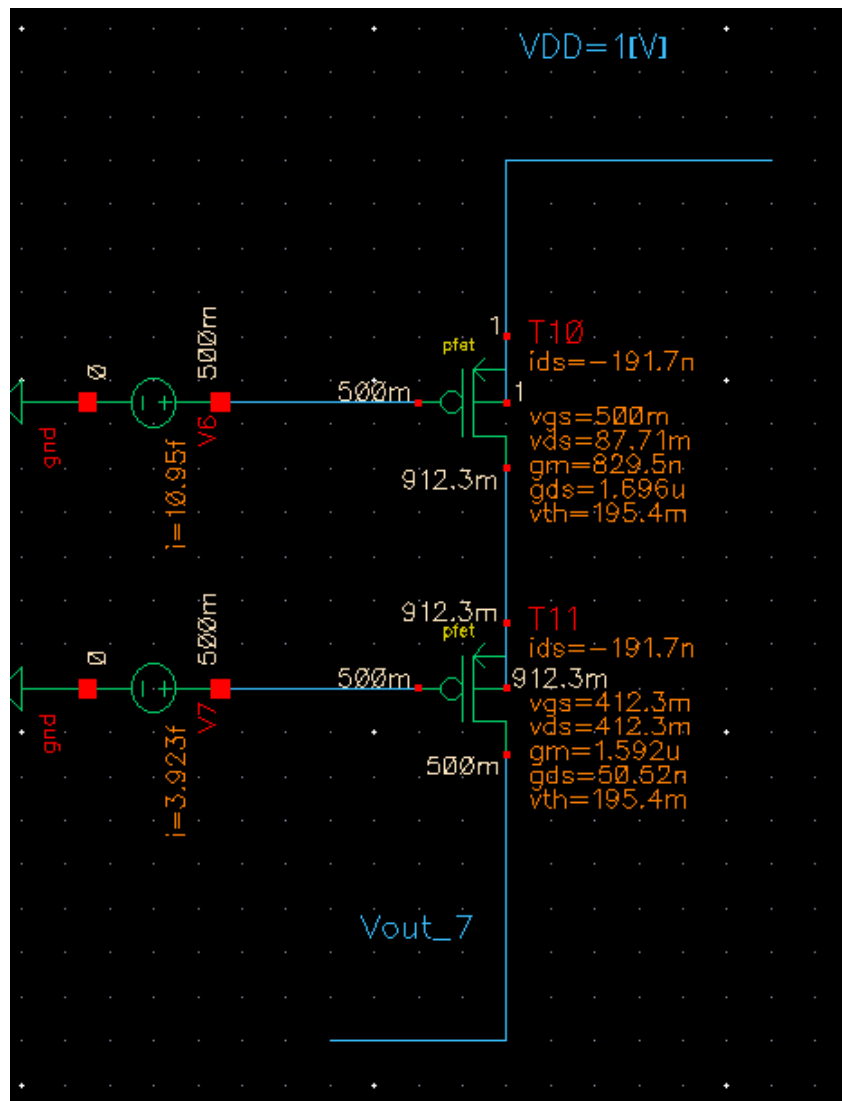
זה נותן :

2 rows

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

עכשיו נתחיל עם שלב 2 :

בשלב הזה רוצים לקבל התנגדות מוצא של החלק העליון גדולה, ונקבל אותו זרם שעובר בחלק התחתון .



בשביל שנקבל התנגדות מוצא גדולה נקבע את הערך של $L_{10}=L_{11}=1.5\mu$.
 וזה נכון כי :

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

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

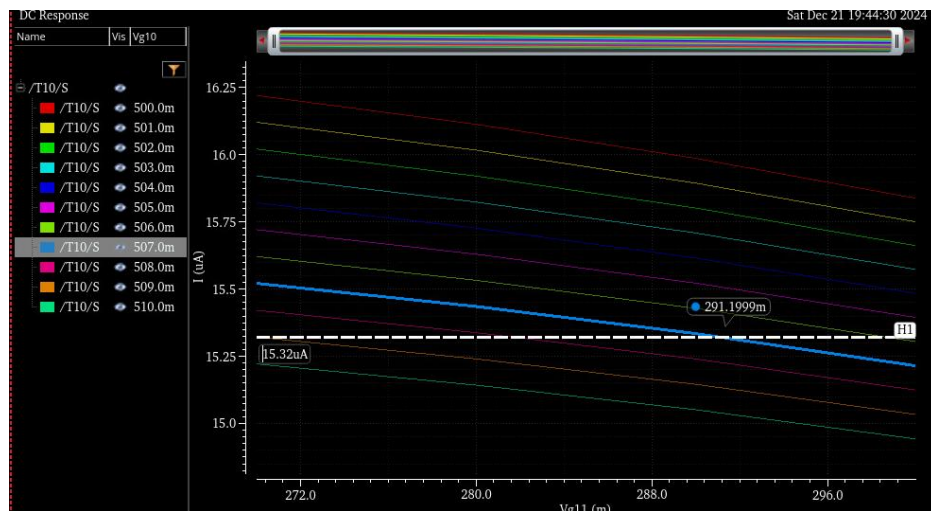
אפשר לראות שהגדלת ה L תגדיל את r_{ds} באופן ליניארי .

קבענו את הערך של $W_{10}=W_{11}=10\mu$, וזה בשביל להגיע לערכים גדולים של הזרם, בשביל שמשווה הזרם בין החלק העליון והחלק התחתון .

$V_{th10,11}$ שווה ל $235mV$ לכן נבחר $V_{g10,11}$ שישמור על נקודות העבודה :
 בחרנו :

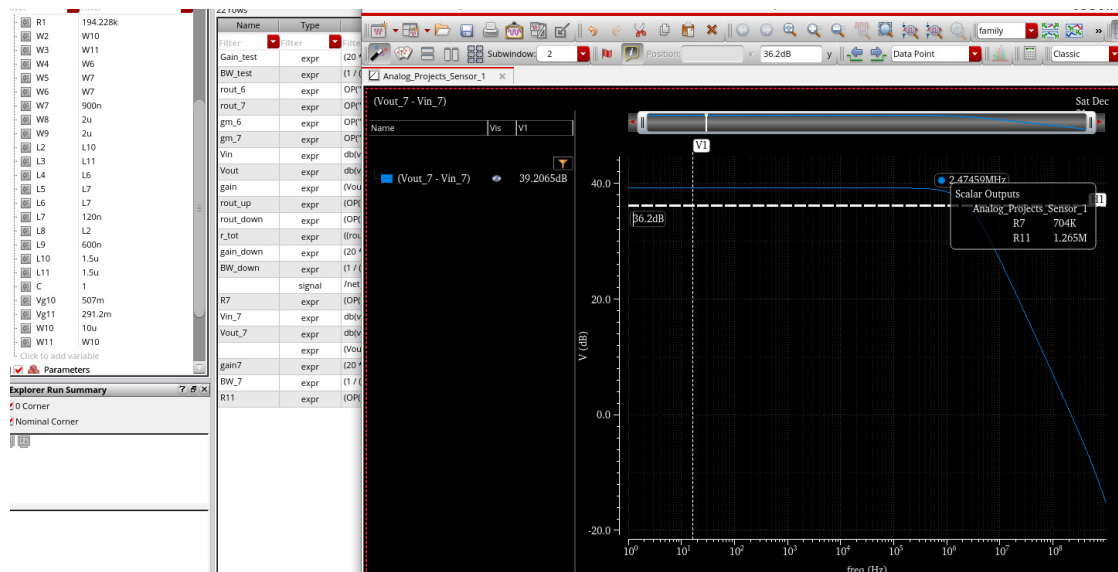
$$V_{g10}=565mV, V_{g11}=315mV$$

עכשיו נעשה sweep ל $V_{g10,11}$ בשביל שנקבל זרם בענף העליון שווה ל 15.32μ .



קבלנו אותו זרם בענף העליון .

עכשיו נחבר שני הענפים ביחד, וקיבלנו התנגדות הענף העליון קרובה להתנגדות הענף התחתון.

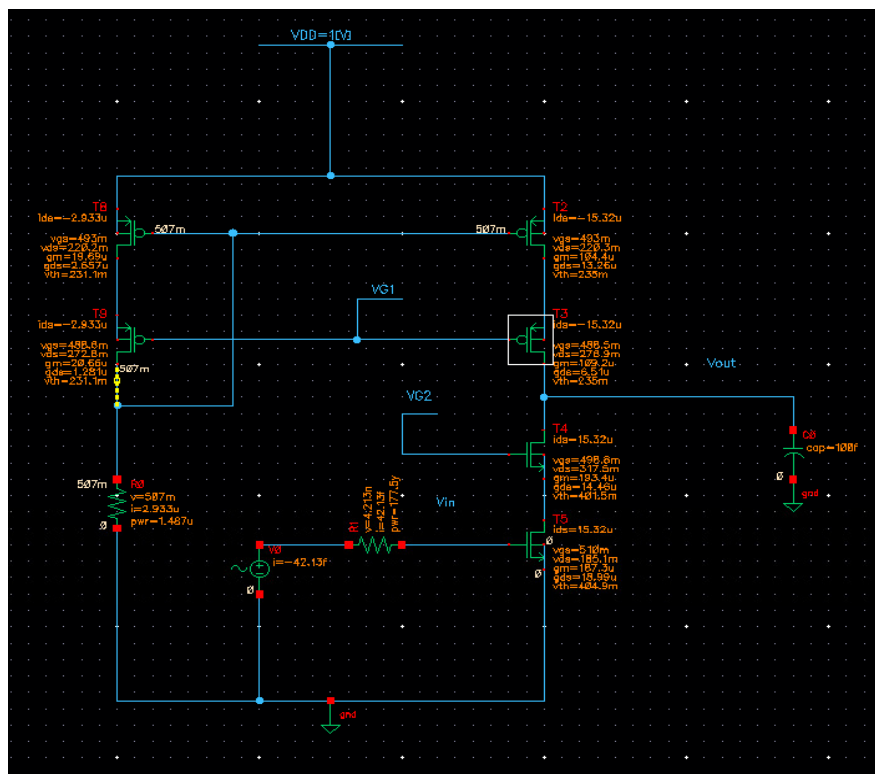


אפשר לראות שקבלנו ערכים קרובים להגבר הדרוש, עכשיו נחבר עם הראי הזרם ונבחר.

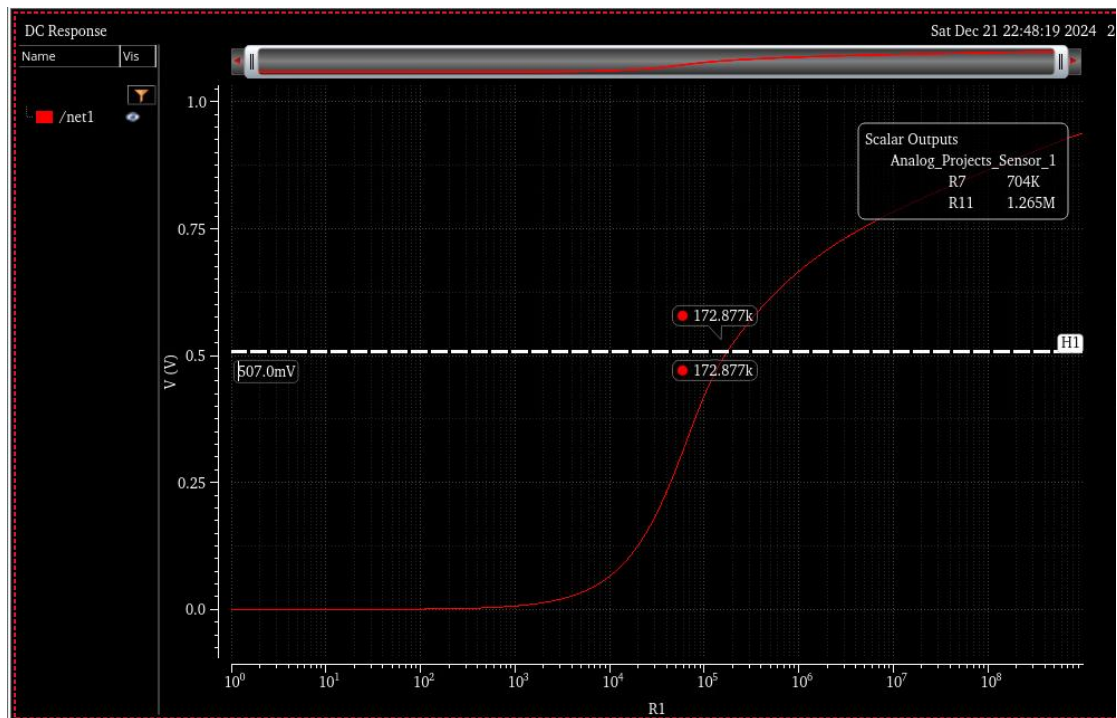
בחרנו $W8=W9=2\mu$, בחרנו בערך זה כי עבור ערכים קטנים זה משפיע על רוחב סרט, ועבור ערכים גדולים צריך הרבה הספק.

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

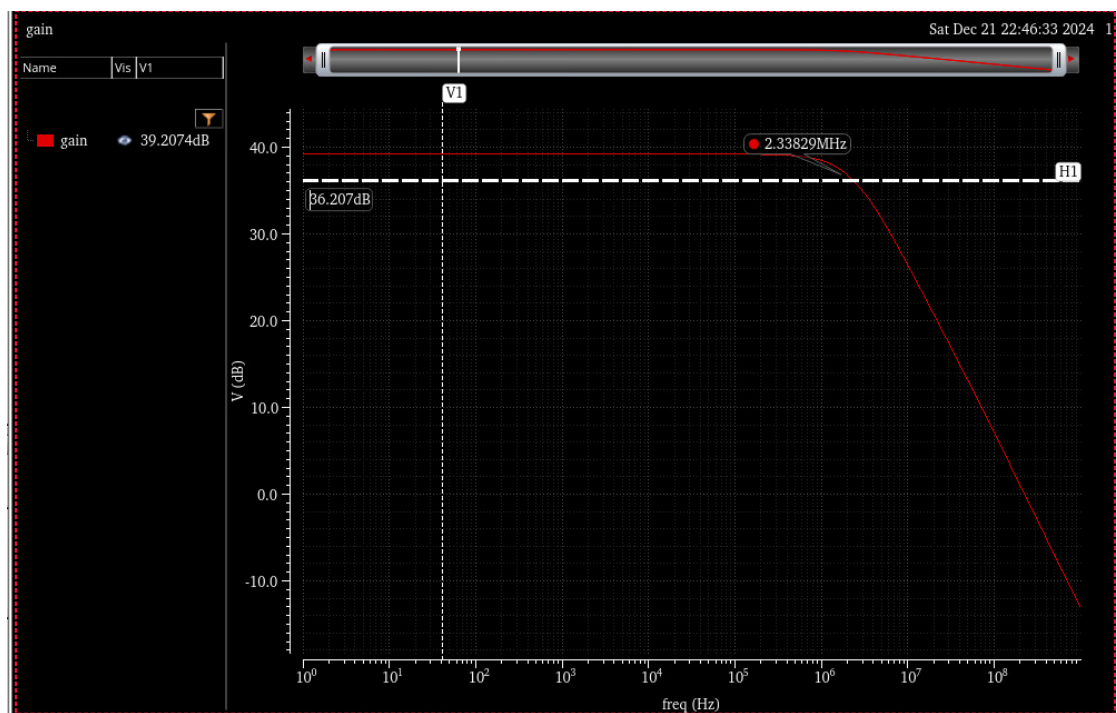
נעתיק כל הערכים מהשלבים הקודמים למעגל הסופי.



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



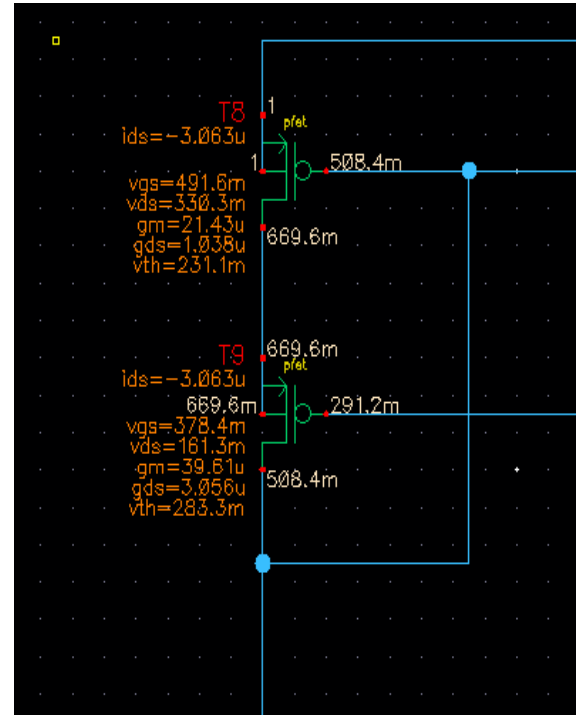
ונקבל כתוצאה להגבר כל המעגל הגרף הבא :



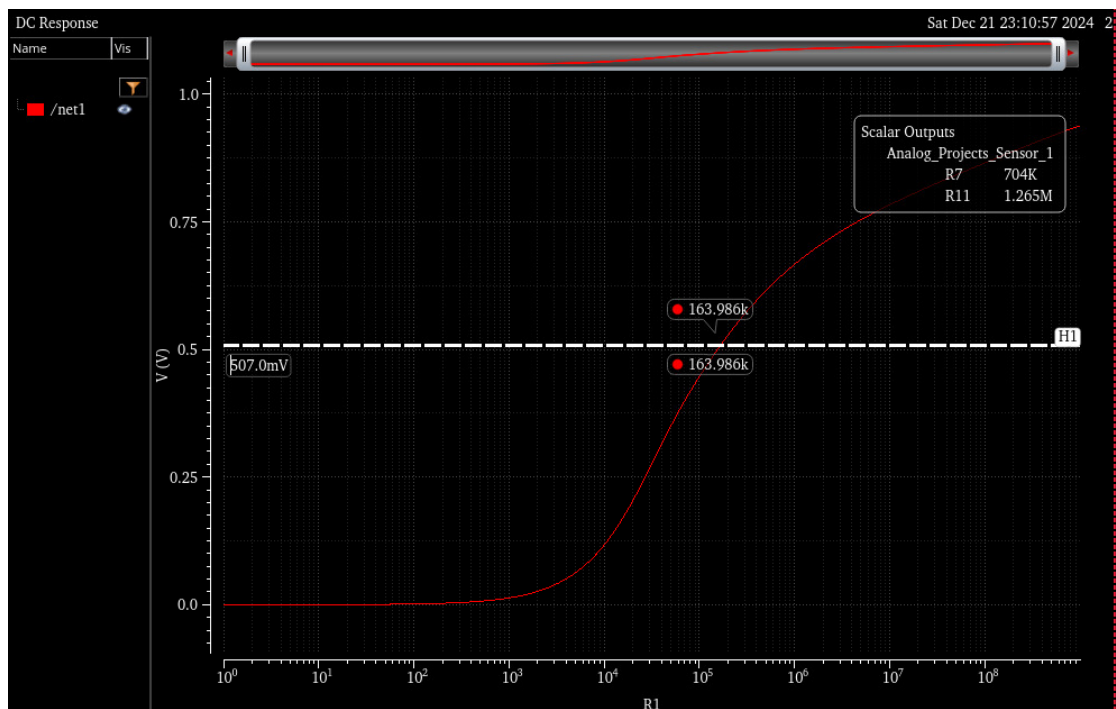
סמנו לב ש התרנזסטור 8 לא ברוויה אז החלטנו להקטין את L9 בשביל להקטין את V_{ds} עלו, וזה יכניס את 8 לרוויה .

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

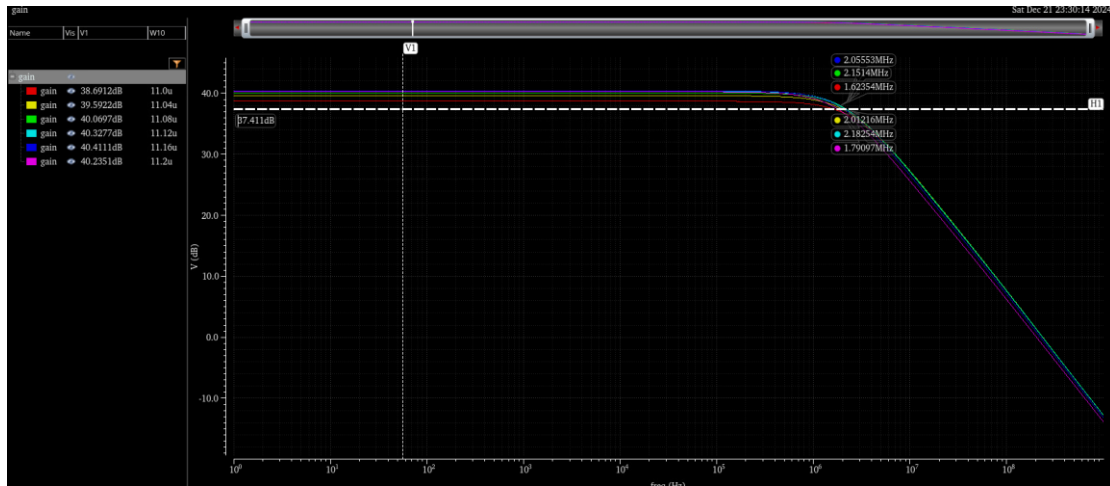


בחרנו R חדש מתאים :

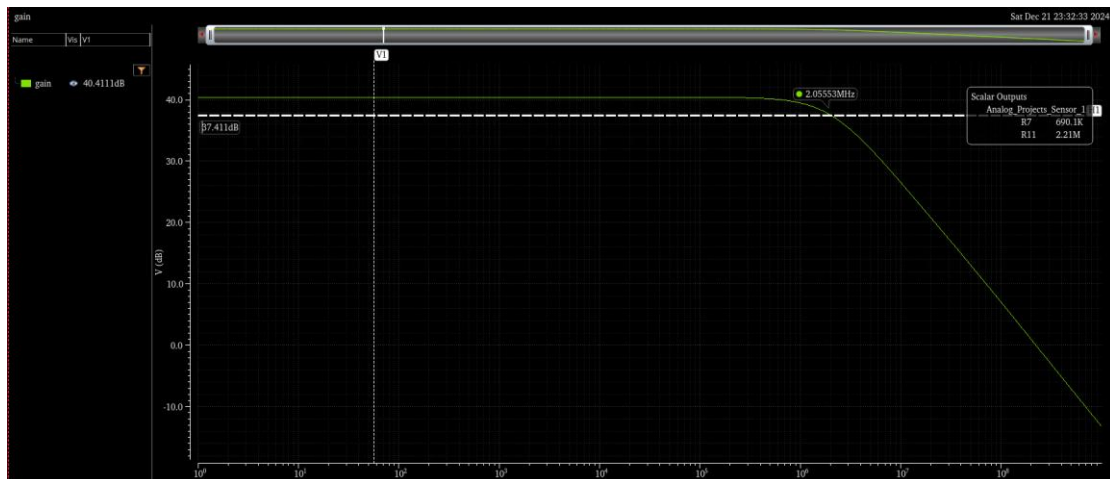


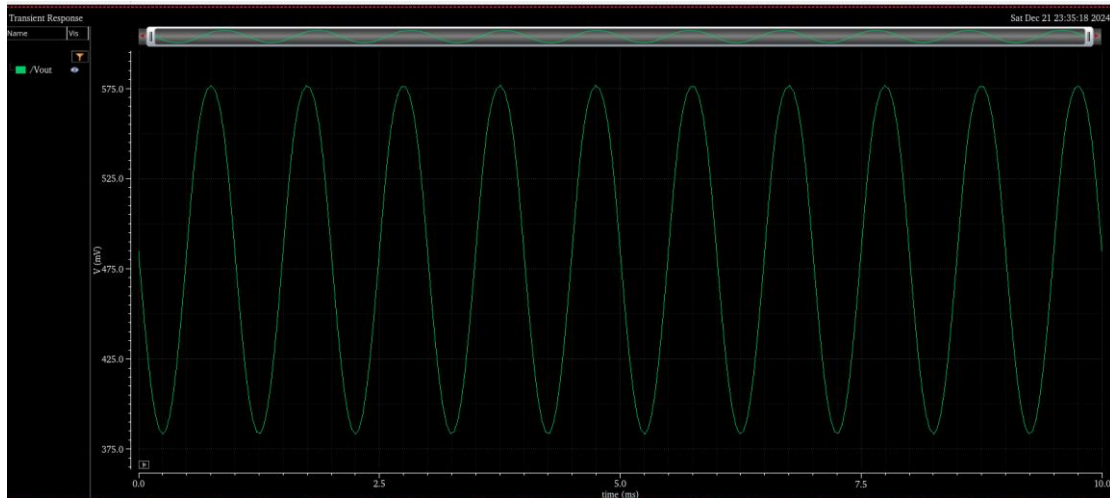
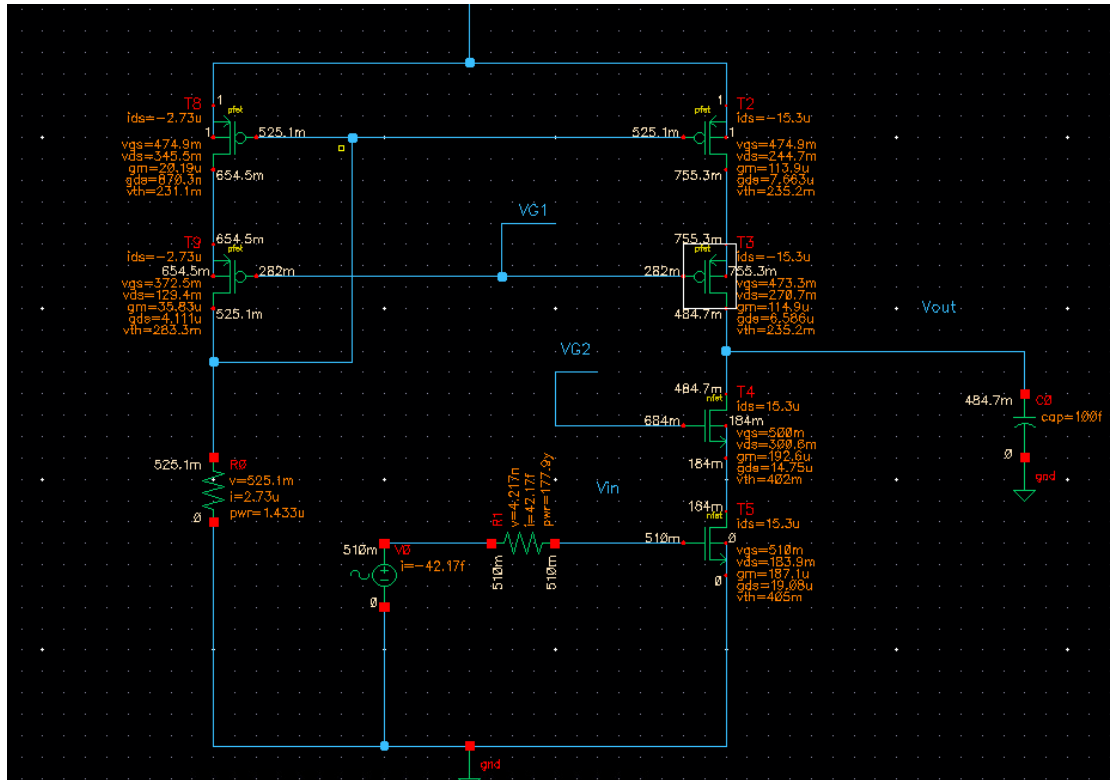
בשביל לשפר את התוצאות ההגבר ורוחב הסרט רוצים להגדיל את R11 שהיא התנגדות החלק העליון של הענף הימני לכן נשנה $V_{g2,3}$, וזה נכון כי הקטנת הזרם תגדיל את r_{ds} ונעשה את זה על ידי הקטנת $V_{gs}-V_{th}$.
 בחרנו בערכים $V_{g10}=525m$, $V_{g11}=282m$.

ובשביל לשמור על רווית הטרנזיסטורים נעשה sweep לערכים W10,11 כדי שנבטיח מצב רוויה.



בסוף בחרנו את $W_{10}=W_{11}=11.16\mu$ והמעגל 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 הגענו לערכים מדויקים, שכן בחרנו להשתמש בערכים של הטרנזיסטורים הנמצאים בשימוש בתעשייה. הבחירה הזו מאפשרת לנו להיות קרובים יותר למציאות, שכן מדובר בערכים שנמצאים בשימוש אמיתי בשדה. בנוסף, זאת בהתחשב במגבלות המרחב של ההתקנים ובמגבלות הייצור, כפי שלמדנו בהרצאות ובתרגולים.