

# **ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΙΙΙ**

## **ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΥ ΕΝΙΣΧΥΤΗ**

Σιταρίδης Παναγιώτης  
ΑΕΜ: 10249

Προδιαγραφή	Τιμή συναρτήσεως του AEM
CL	2,49pF
SR	18,49V/μs
Vdd	1,947V
Vss	-1,947V
GB	7,49MHz
A	20,49dB
P	50,49mW

### Αλγόριθμος στο MATLAB:

Στην σχεδίαση τα τρανζίστορ M1, M2, M5, M7, M8 είναι τύπου n-MOS και τα M3, M4, M6 τύπου p-MOS. Αρχικά πρέπει να υπολογισθούν ορισμένες τιμές με θεωρητική ανάλυση:

**1.** Επιλογή του μήκους καναλιού  $L = 1\mu\text{m}$  για να διατηρεί το  $\lambda$  σταθερό και δίνει ικανοποιητικό ταίριασμα στους καθρέπτες. Για το  $\lambda$  θεωρούμε ότι είναι 0.15 και μεγαλύτερο από  $\lambda_n = 0.05$ .

**2.** Υπολογισμός της χωρητικότητας Miller  $C_c$ . Ξέρουμε ότι  $C_c = 0.22 \cdot C_L = 0.548\text{pF}$ . Η ελάχιστη τιμή για την χωρητικότητα  $C_c$  ώστε να έχουμε και περιθώριο φάσης  $60^\circ$  είναι για  $C_c > 0.548\text{pF}$ . Για να εξασφαλίσουμε την ανισότητα προσθέτουμε στην ελάχιστη τιμή και  $0.1\text{pF}$  και έτσι  $C_c = 0.648\text{pF}$ .

**3.** Η τιμή του ρεύματος πόλωσης  $I_5$  από τον τύπο  $I_5 = SR \cdot C_c$ . Παίρνουμε το  $SR = 18.49\text{V}/\mu\text{s}$  και προκύπτει :  $I_5 = 18.49 \cdot 0.648 = 11.98\mu\text{A}$ .

**4.** Υπολογισμός του λόγου  $(W/L)_3$  με τη χρήση της προδιαγραφής για την θετική περιοχή κοινού σήματος εισόδου (είσοδος με n-MOS):  
 $S_3 = (W/L)_3 = I_5 / K_3' \cdot [V_{DD} - V_{in(max)} - |V_{TO3}|(max) + V_{T1}(min)]^2$  και πρέπει το  $S_3 \geq 1$ .

Από μοντέλα των τρανζίστορ έχω:

$V_{T03} = -0.9056$ ,  $V_{T01} = 0.7860$ ,  $V_{DD} = 1,947$ ,  $k_n = 9.6379e-05$ ,  $k_p = 2.9352e-05$ .

Από την ερώτηση νούμερο 6 της εκφώνησης παίρνω:

$V_{in(max)} = 100e-3$

$$V_{in(min)} = -100e - 3$$

$$k_3 = k_p$$

Άρα  $S_3 = 0.1368$  Αλλά πρέπει  $S_3 \geq 1$ . Για αυτό ορίζουμε την τιμή του  $S_3$  ίση με 1. Ο λόγος  $(W/L)_4$  ισούται επίσης με τον λόγο  $S_3$ .

5. Τα ρεύματα που διαρρέουν τα τρανζίστορ  $M_1, M_2, M_3, M_4$  είναι ίσα και ισούνται με  $I_5/2$

6. Καθορισμός των λόγων  $(W/L)_1$  και  $(W/L)_2$ .

$$g_{m1} = 2 * \pi * GB * C_c = 30,4955 \mu S. \text{ Άρα } S_1 = S_2 = g_{m2}^2 / K_2' * I_5 = 0,805.$$

Προκύπτει ότι το  $S_1$ , που είναι ίδιο με το  $S_2$ , είναι ίσα με . Επομένως έχουμε και ότι  $W_1 = W_2 = 1.0016 \mu m$ .

7. Καθορισμός του λόγου  $(W/L)_5$ . Υπολογίζουμε την τάση κόρου του  $M_5$ , από τον

$$\text{τύπο: } V_{ds5(sat)} = V_{min} - V_{ss} - \sqrt{I_5 / b_1} - V_{T1max}$$

$$[\text{με } (b_1 = k_n * S_1 = 7,758 * 10^{-5})] \text{ και βγαίνει } 0,661V.$$

Η τιμή μας δεν είναι μικρότερη από  $100mV$ , άρα δεχόμαστε τον λόγο  $(W/L)_5 = 0,5689$

8. Καθορισμός του λόγου  $(W/L)_6$ . Εξισώνοντας τον  $p_2$  με  $2.2GB$  προκύπτει:

$$g_{m6} = 2.2 * g_{m2} * (C_L / C_c) = 257.8 \mu S$$

$$g_{m4} = \sqrt{2KN'(W/L)_4 I_4} = 8.886 mS.$$

$$\text{Θεωρώντας ότι } V_{SG4} = V_{SG6} \text{ έχουμε: } S_6 = S_4 * g_{m6} / g_{m4} = 13.7486$$

Έτσι έχουμε  $I_6 = 18,3877 \mu A$ . Ισχύει παράλληλα ότι  $g_{m6} \geq g_{m1}$ .

9. Καθορισμός του λόγου  $(W/L)_7$ .

$$S_7 = (I_6 / I_5) * S_5 \text{ που προκύπτει ίσος με } 0,8731.$$

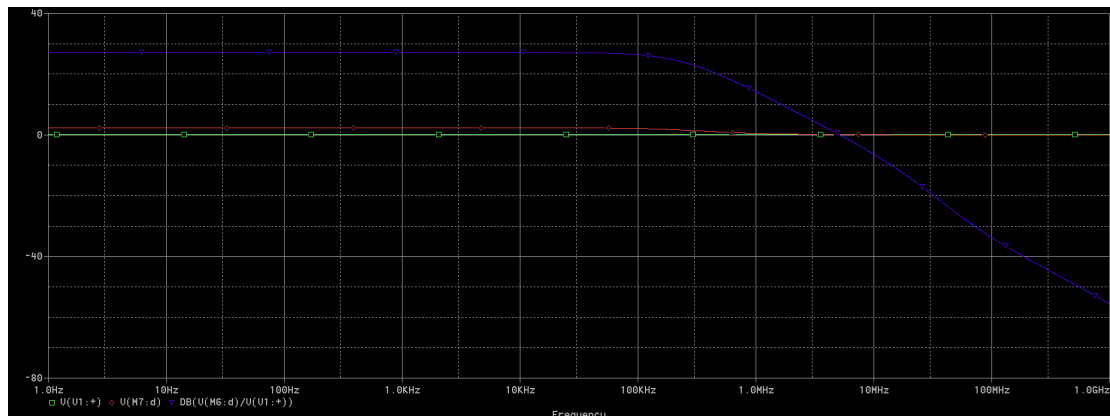
10. Υπολογισμός του κέρδους τάσης και των προδιαγραφών κατανάλωσης.

$$A_v = (2 * g_{m2} * g_{m6}) / (I_5 * (\lambda_n + \lambda_p) * I_6 * (\lambda_p + \lambda_n)) \text{ Το κέρδος προκύπτει}$$

$65.0278dB$  που είναι πολύ μεγαλύτερο από την προδιαγραφή μας και η κατανάλωση ισχύος  $P_{diss} = (I_5 + I_6) * (V_{dd} + |V_{ss}|)$  προκύπτει  $0.118mW$ , που είναι σαφώς μικρότερη από την προδιαγραφή των  $50.85 mW$ .

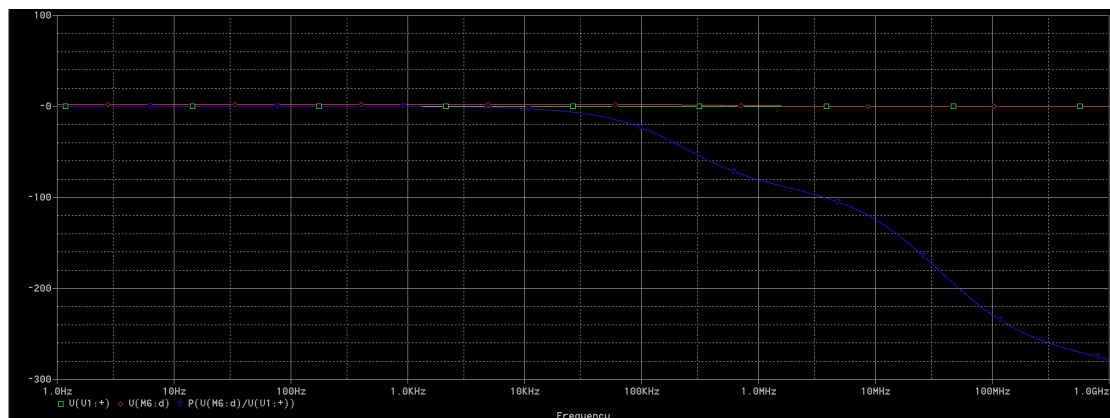
W	Τιμή
$W_1$	$1 \mu m$
$W_2$	$1 \mu m$
$W_3$	$1 \mu m$
$W_4$	$1 \mu m$
$W_5$	$1 \mu m$
$W_6$	$14 \mu m$
$W_7$	$4 \mu m$
$W_8$	$1 \mu m$

Για να βρούμε το κέρδος τρέχουμε την προσομοίωση AC Sweep λογαριθμικά. Προκειμένου να προκύψει η παρακάτω κυματομορφή επιλέχθηκε το trace  $DB(V(M6:d)/V(V1:))$  και αρχική τιμή 1Hz και τελική 100MHz.



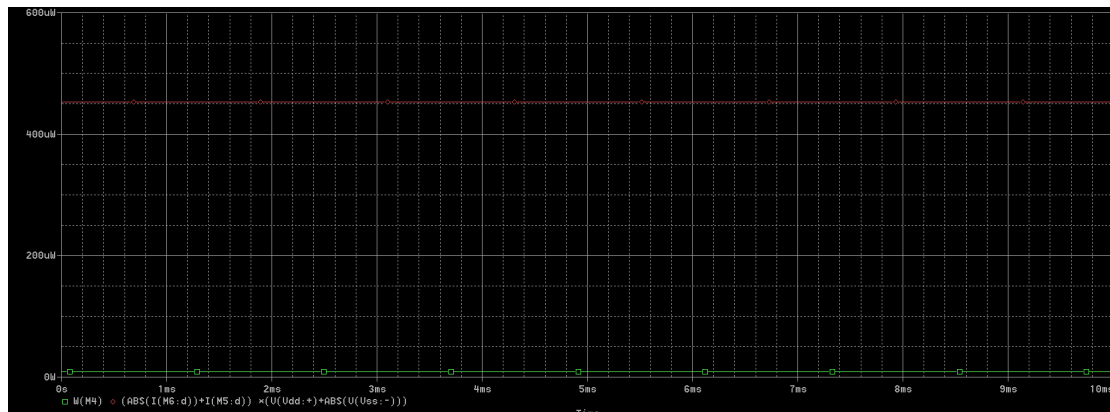
Από εδώ παρατηρούμε ότι το κέρδος  $A_v = 27.114$  dB. Το GB βρίσκεται στην συχνότητα στην οποία έχουμε  $A_v = 0$  και η τιμή του είναι 7.0007 MHz. Άρα παρατηρούμε πως η προδιαγραφή για το A καλύπτεται ενώ για το GB όχι.

Για το περιθώριο φάσης που ακολουθεί χρησιμοποιήθηκε το trace  $P(V(M6:d)/V(V1:))$ .



Χρησιμοποιώντας την συχνότητα που μας μηδένισε το κέρδος από το προηγούμενο σχήμα (6.9329 MHz) παίρνουμε  $-113.774^\circ$ . Και έχουμε περιθώριο φάσης  $PM = 180^\circ - 113.774^\circ = 66.226^\circ$  που καλύπτεται.

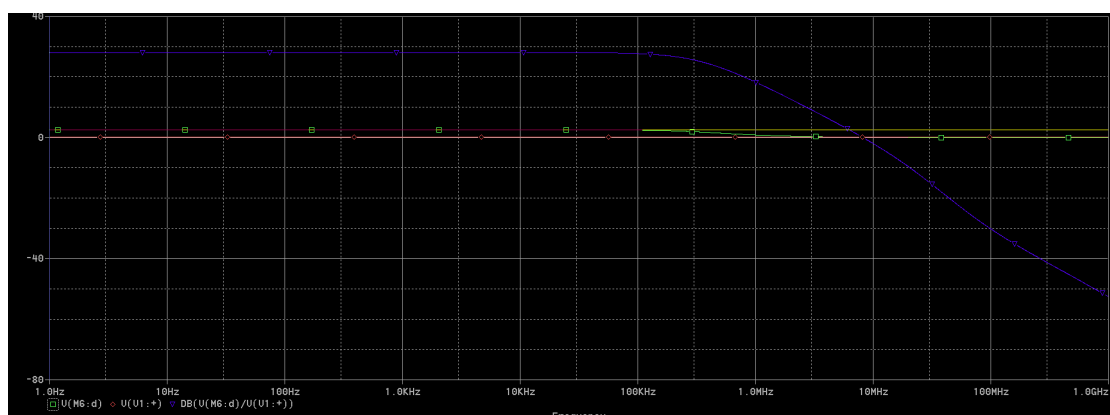
Για να βρούμε τι απώλειες ισχύος  $P_{diss}$  χρησιμοποιήθηκε το trace  $(ABS(I(M6:d))+I(M5:d)) * (V(Vdd:+) + ABS(V(Vss:-)))$ .



Παρατηρούμε ότι  $P_{diss} = 453.379 \mu W$  που καλύπτεται.

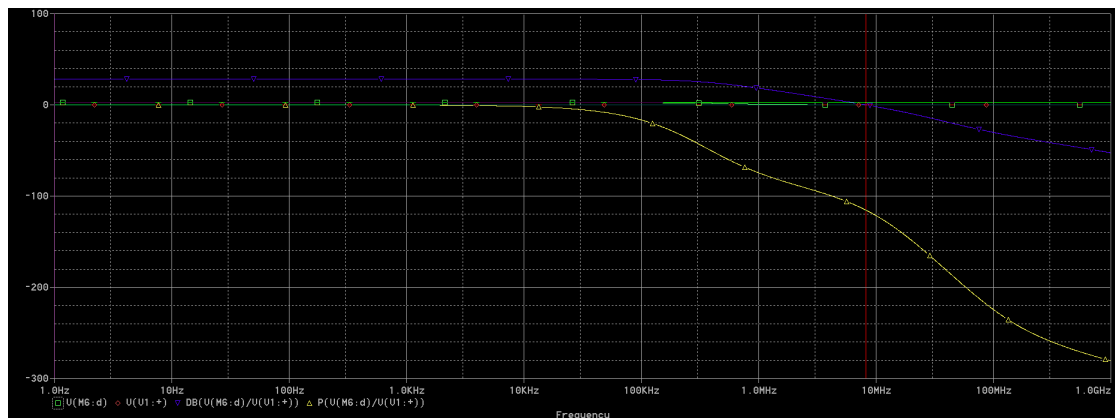
## Tuning

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε πως οι προδιαγραφές που θέλαμε για το κέρδος και τις απώλειες του κυκλώματος τις πετύχαμε όμως δεν πετύχαμε προδιαγραφές για το GB. Για να μπορέσουμε να μετακινήσουμε το GB πιο δεξιά πρέπει να αλλάξουμε τις τιμές  $W1$  και  $W2$  στα transistor  $M1$  και  $M2$  αντίστοιχα καθώς και να μειώσουμε την τιμή του πυκνωτή  $C_c$ . Έτσι τα  $W1$  και  $W2$  τα πηγαίνουμε από 1 σε 2 και τον πυκνωτή  $C_c$  από 0.648 σε 0.55pF ώστε να συνεχίσει να ισχύει η ανισότητα  $C_c > 0.548pF$ .

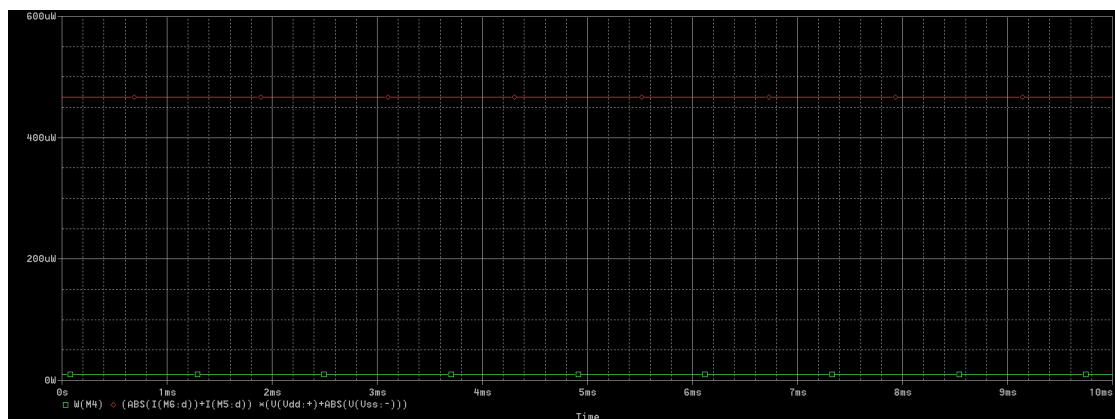


Η κυματομορφή έχει μετατοπιστεί πιο δεξιά και πλέον έχουμε  $A_v = 28.025 \text{ dB}$  και το GB για  $A_v = 0$  είναι τώρα 8.1429 MHz. Επομένως βλέπουμε πως τώρα καλύπτεται και η προδιαγραφή για το GB.

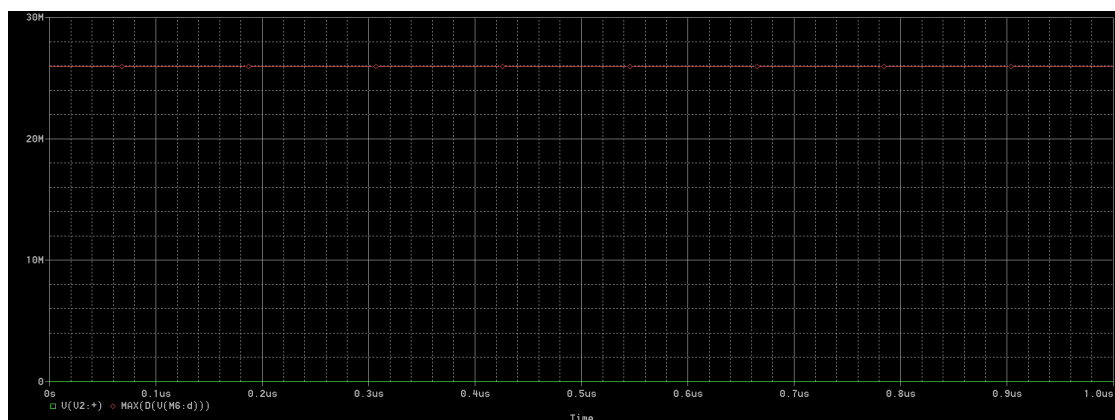
Πάμε τώρα να ελέγξουμε το περιθώριο φάσης.



Χρησιμοποιώντας την συχνότητα που μας μηδένισε το κέρδος από το προηγούμενο σχήμα (9.230 MHz) παίρνουμε -115.132°. Και έχουμε περιθώριο φάσης  $PM = 180^\circ - 115.132^\circ = 64.868^\circ$  και βλέπουμε ότι καλύπτεται και αυτή.



Για τις απώλειες ισχύος έχουμε  $P_{diss} = 466.641 \mu W$  άρα καλύπτεται.

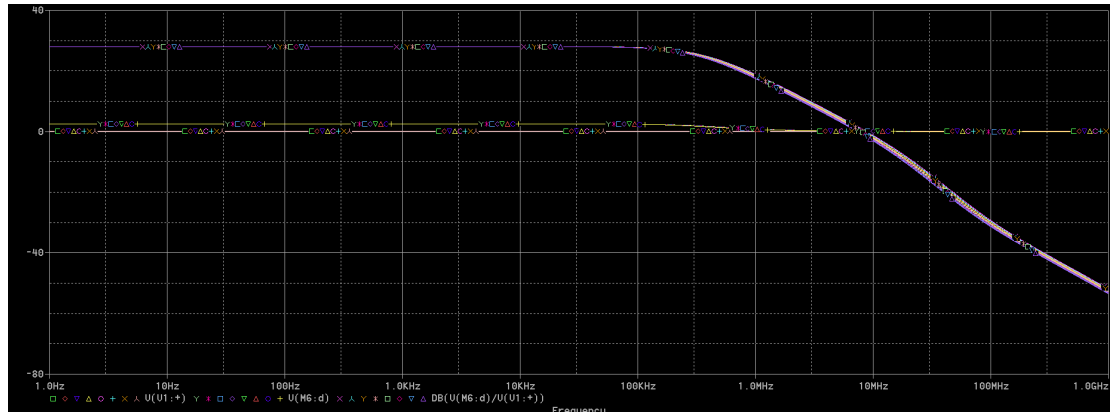


Χρησιμοποιώντας το trace  $MAX(D(V(M6:d)))$  παίρνουμε  $SR = 25.963 V/\mu s$  που καλύπτεται.

## Θερμοκρασιακή Ανάλυση

Όλες οι θερμοκρασιακές αναλύσεις που ακολουθούν έγιναν για τις θερμοκρασίες 0°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C και 70°C.

Θερμοκρασιακή ανάλυση κέρδους:

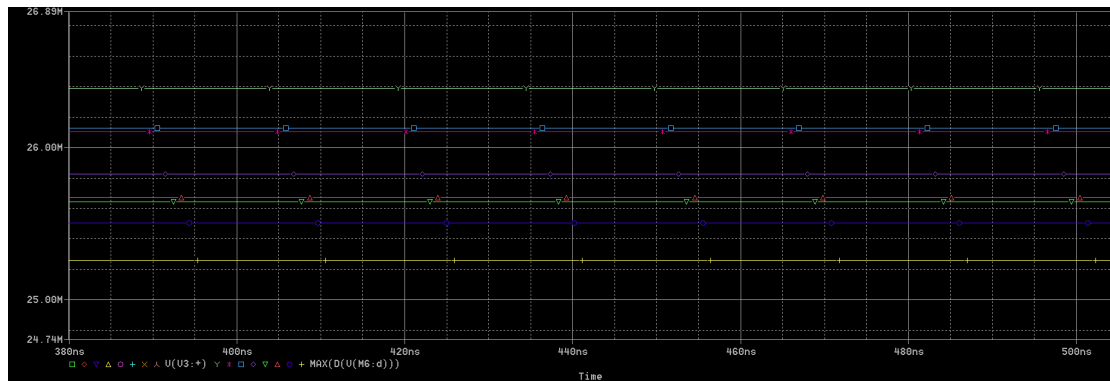


Θερμοκρασία(°C)	GB(MHz)
0	8.7932
10	8.5357
20	8.4721
30	8.3228
40	8.1031
50	7.9234
60	7.6241
70	7.5004

Παρατηρείται πως για συχνότητες έως και 100 kHz το κέρδος είναι σχεδόν ίδιο ενώ για μεγαλύτερες συχνότητες υπάρχουν μικρές μεταβολές. Παρ' όλα αυτά, οι προδιαγραφές που ζητούνται, τηρούνται για όλες τις θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία(°C)	Περιθώριο Φάσης
0	60.663
10	61.391
20	62.698
30	63.968
40	64.607
50	66.106
60	68.041
70	69.279

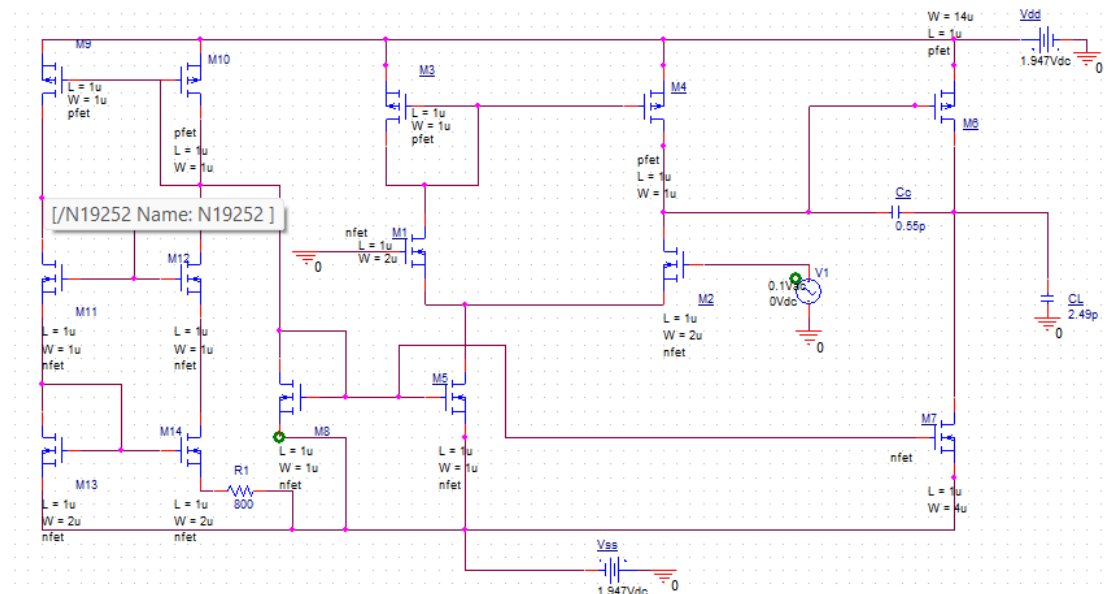
Επομένως διαπιστώνουμε ότι και εδώ για όλες τις θερμοκρασίες τηρείται η προδιαγραφή που μας ζητείται.



Και για το Slew Rate βλέπουμε πως καλύπτεται για όλες τις θερμοκρασίες.

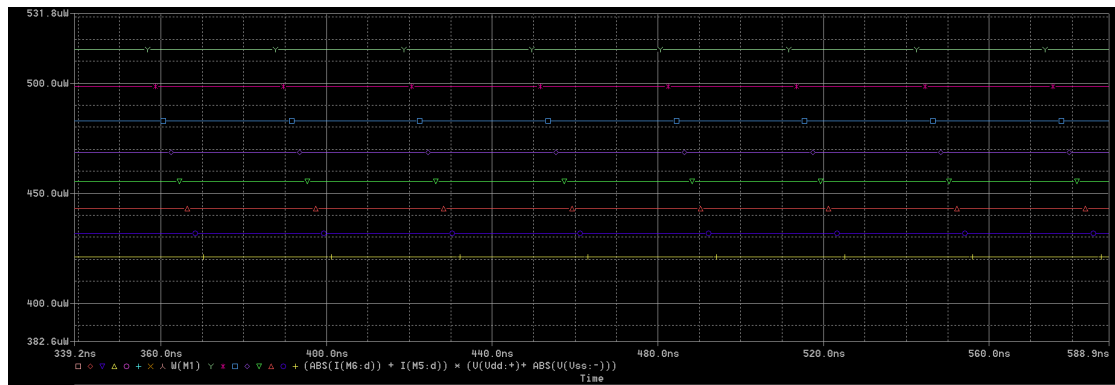
Για τις απώλειες ισχύος έγινε αντικατάσταση της πηγής ρεύματος με μία πηγή Widlar έτσι ώστε να έχω ίδιο ρεύμα με την πηγή ρεύματος. Έπειτα από προσομοιώσεις μέσω Parametric Sweep επιλέχθηκε αντίσταση  $R1 = 800\Omega$  και για τα τρανζίστορ M13, M14  $W = 2\mu\text{m}$ .

Το κύκλωμα φαίνεται παρακάτω:



Με την νέα διάταξη του κυκλώματος προκύπτουν οι παρακάτω τιμές του  $P_{diss}$  για διάφορες θερμοκρασίες.





Θερμοκρασία(°C )	Pdiss(μW)
0	515.258
10	498.410
20	482.903
30	468.596
40	455.364
50	443.097
60	431.694
70	421.068

Συνοψίζοντας παρατηρούμε ότι πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις για τις παραμέτρους.

Προδιαγραφή	Προβλεπόμενη Τιμή	Πραγματική Τιμή
SR	>18,49V/μs	25.963 V/μs
GB	>7,49 MHz	8.1429 MHz
A	>20,49 dB	28.025 dB
P	<50,49 mW	466.641 μW