



---

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Ηλεκτρονική III

## Εργασία Τελεστικού Ενισχυτή

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Γιαννόπουλος Νικόλαος

A.E.M.: **9629**

Email: **ngiannop@ece.auth.gr**

ακαδημαϊκό έτος 2021 -2022

Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστεί η μελέτη της σχεδίασης ενός τελεστικού ενισχυτή με τη χρήση τρανζίστορ MOSFET, δοθέντων ορισμένων προδιαγραφών.

## Προδιαγραφές και σταθερές

Πρώτα από όλα πρέπει να υπολογίσουμε τις τιμές του παρακάτω πίνακα όπου το AEM μου είναι 9629 αρά  $\xi = 29$ .

Στην παρούσα εργασία ζητείται ο σχεδιασμός ενός τελεστικού ενισχυτή σε τεχνολογία MOS 0.35  $\mu\text{m}$ , σύμφωνα με τις παρακάτω προδιαγραφές

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ	ΤΙΜΕΣ
CL	2.29 pF
SR	>18.29 V/ $\mu\text{s}$
V <sub>DD</sub>	1.887 V
V <sub>SS</sub>	-1.887 V
GB	>7.29 MHz
A	>20.29 dB
P	<50.29 mW

Δίνεται επίσης ότι θα χρησιμοποιηθεί τεχνολογία MOSFET 0.35, χρησιμοποιούνται όμως transistor με μήκος  $L = 1 \mu\text{m}$ .

Χρησιμοποιούνται επιπλέον οι παρακάτω σταθερές:

$K'_P$	$60 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}$
$V_t \text{ (PMOS)}$	-0.6 V
$\lambda_P$	$0.15 \frac{1}{\text{V}}$
$V_t \text{ (NMOS)}$	0.5
$K'_N$	$175 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}$
$\lambda_N$	$0.05 \frac{1}{\text{V}}$
$C_{ox}$	$\frac{4.6 \text{ fF}}{\mu\text{m}^2}$
$V_{in(max)}$	0.1 V
$V_{in(min)}$	-0.1 V

## Αρχική Φάση

Θα εισαγάγουμε στο script calculator.m τις παραπάνω προδιαγραφές για να μας δώσει τα απαιτούμενα μεγέθη για κάθε ένα τρανζίστορ ξεχωριστά.

[illegible]

```

gm6 = 2.2 * gm2 * (C1/Cc)
S6 = 2*S4
I6 = gm6^2 / (2*kn*S6)
S7 = S5
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% The final W
W1 = S1*L
W2 = S2*L
W3 = S3*L
W4 = S4*L
W5 = S5*L
W6 = S6*L
W7 = S7 * L
W8 = S8 *L
A = (2 * gm2 * gm6) / ((I5 * (lamda_n + lamda_p) * I6 * (lamda_n + lamda_p)))
PDISS = (I5 + I6) * (VDD + abs(VSS))

```

Και προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

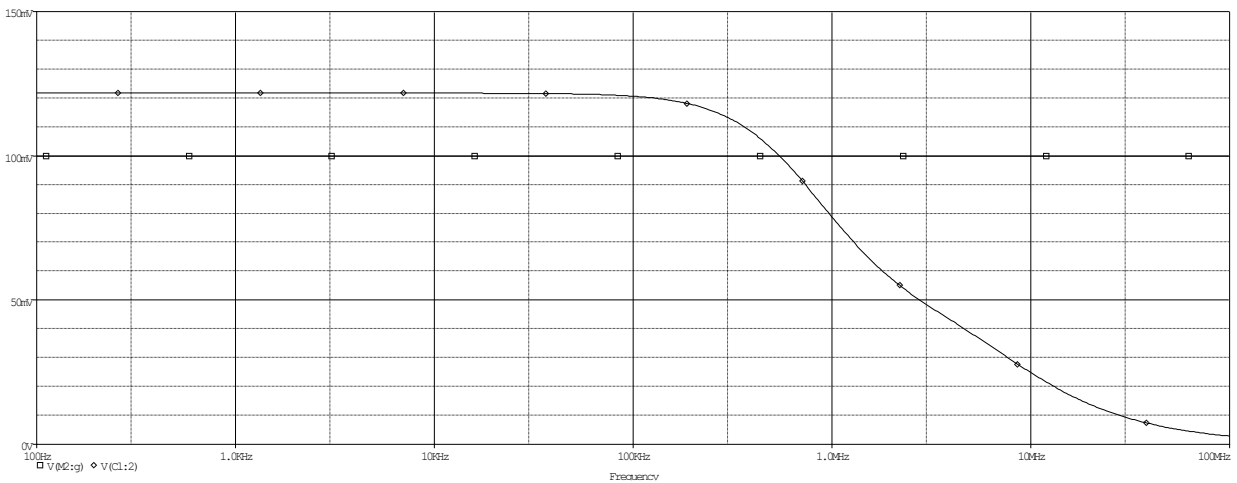
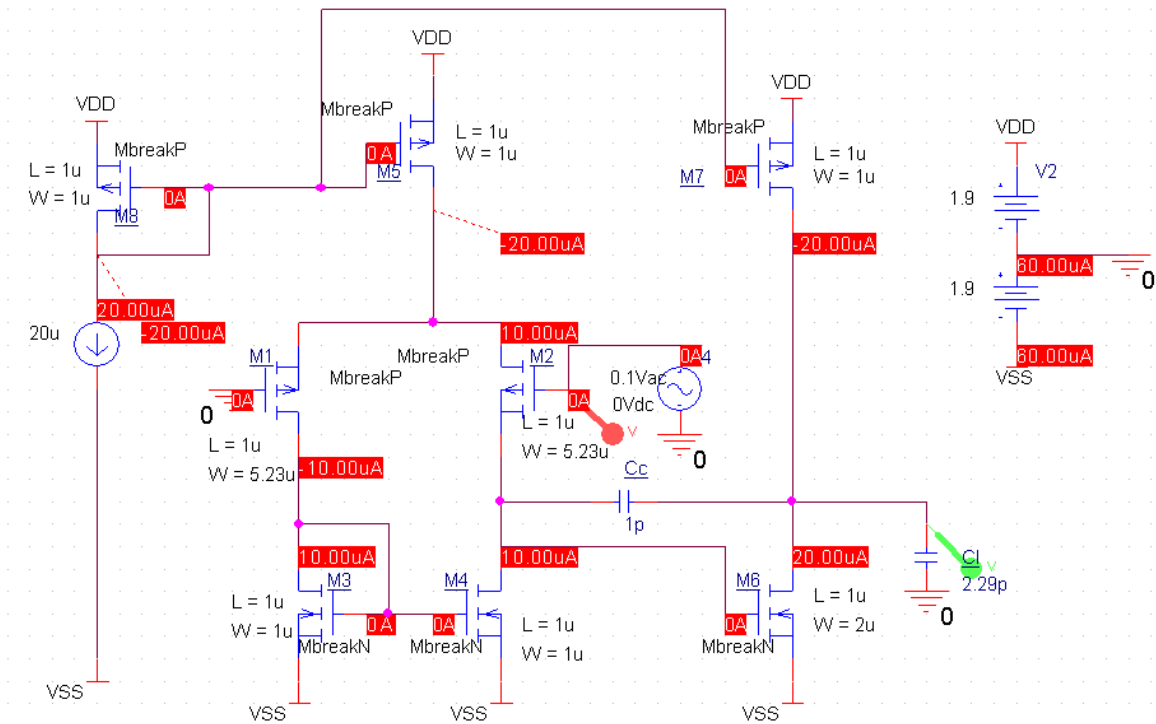
$I_5$	20 $\mu$ A
$S_1$	5.23
$S_2$	5.23
$S_3$	1
$S_4$	1
$S_5$	1
$S_6$	2
$S_7$	1
$S_8$	1

Όπου  $L = 1 \mu\text{m}$ :

$W_1$	5.23 $\mu\text{m}$
$W_2$	5.23 $\mu\text{m}$
$W_3$	1 $\mu\text{m}$
$W_4$	1 $\mu\text{m}$
$W_5$	1 $\mu\text{m}$
$W_6$	2 $\mu\text{m}$
$W_7$	1 $\mu\text{m}$
$W_8$	1 $\mu\text{m}$
$A_v$	50 dB
$P_{DISS}$	6.4 mW

# Προσομοίωση

Για κάθε τρανζίστορ, κάνοντας τώρα την ανάλυση στο PSPICE να δούμε αν οι προδιαγραφές τηρούνται

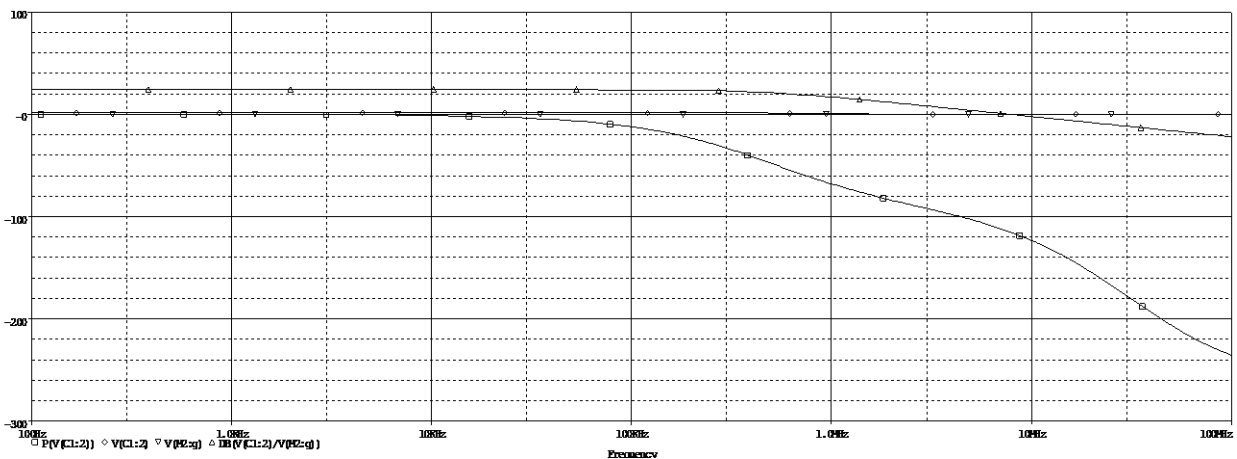


Κάνοντας την ανάλυση για να δούμε αν ισχύουν οι προδιαγραφές κάποια από αυτές δεν πληροί καμία από τις αναφερόμενες αλλά τα ρεύματα είναι κοντά στα επιθυμητά και για αυτό συνεχίζουμε την ανάλυση

## Μικρορυθμίσεις

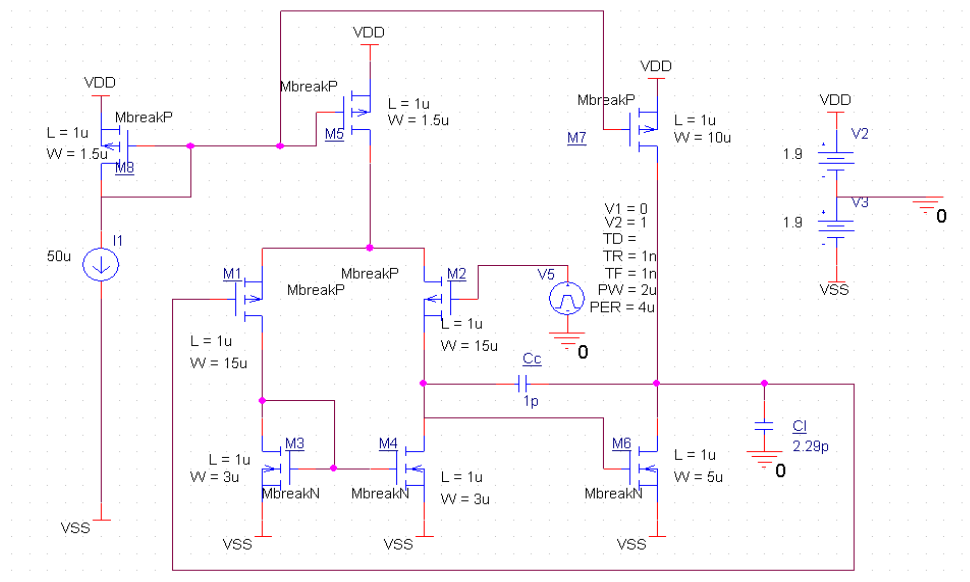
Αυξάνουμε το ρεύμα από  $I_{REF} = 20 \mu A$  σε  $I_{REF} = 50 \mu A$  και αλλάζουμε τα

- $W_1 = W_2 = 15 \mu m$
- $W_3 = W_4 = 3 \mu m$
- $W_5 = 1.5 \mu m$
- $W_6 = 5 \mu m$
- $W_7 = 10 \mu m$
- $W_8 = 1.5 \mu m$
- $\rightarrow A_V \approx 25 dB$
- $GB = 9 MHz > 7.29 MHz$

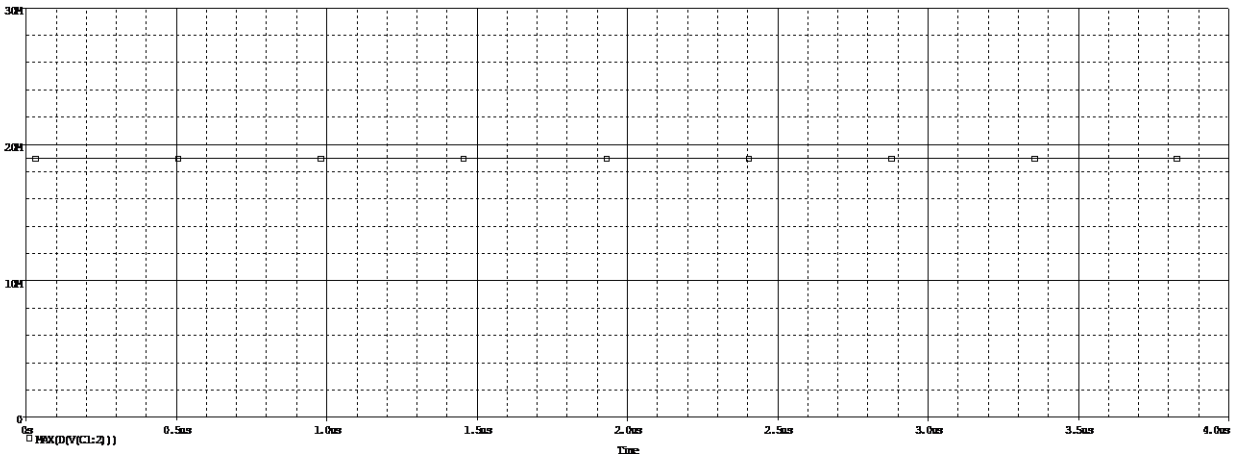


Περιθώριο Φάσης  $\Phi_M = 65^\circ$

Για το SR έχουμε



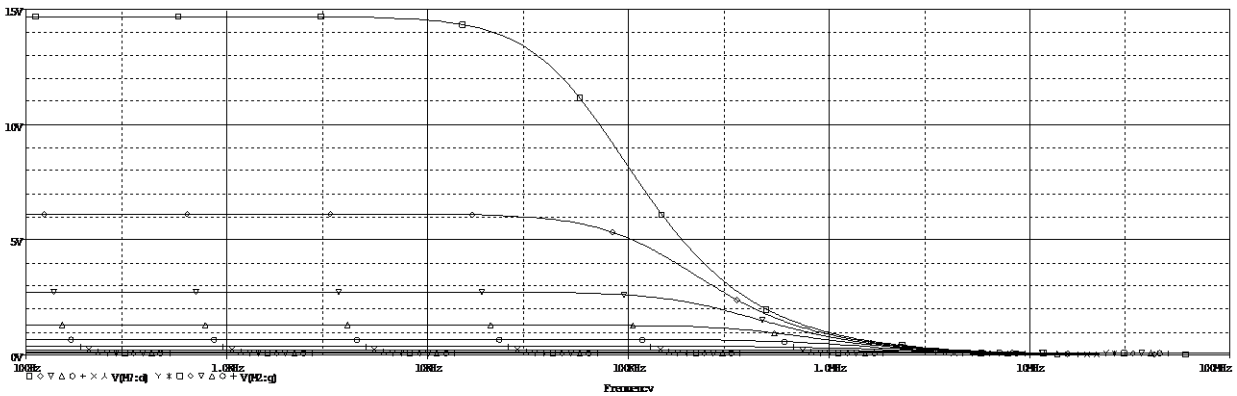
SR $\approx$ 19 V/ $\mu$ S



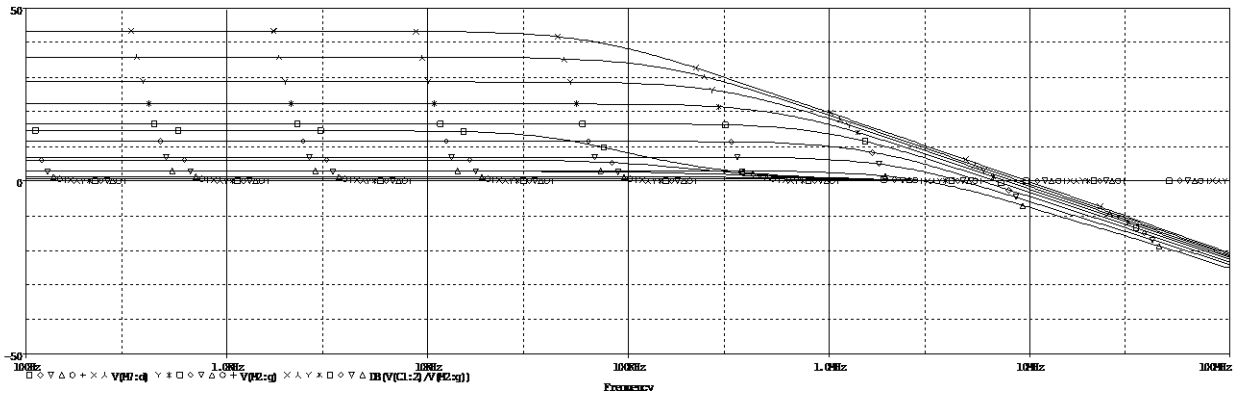
$I_5 = 42.93 \mu\text{A}$  και  $I_6 = 323.8 \mu\text{A}$

To  $P_{\text{DISS}} = (I_5 + I_6) * 3.774 = 366.73 * 3.774 \mu\text{W} = 1384.032 * 10^{-3} \text{ mW} = 1.38 \text{ mW} < 50 \text{ mW}$ .

## Τώρα θα κάνουμε θερμοκρασιακή ανάλυση

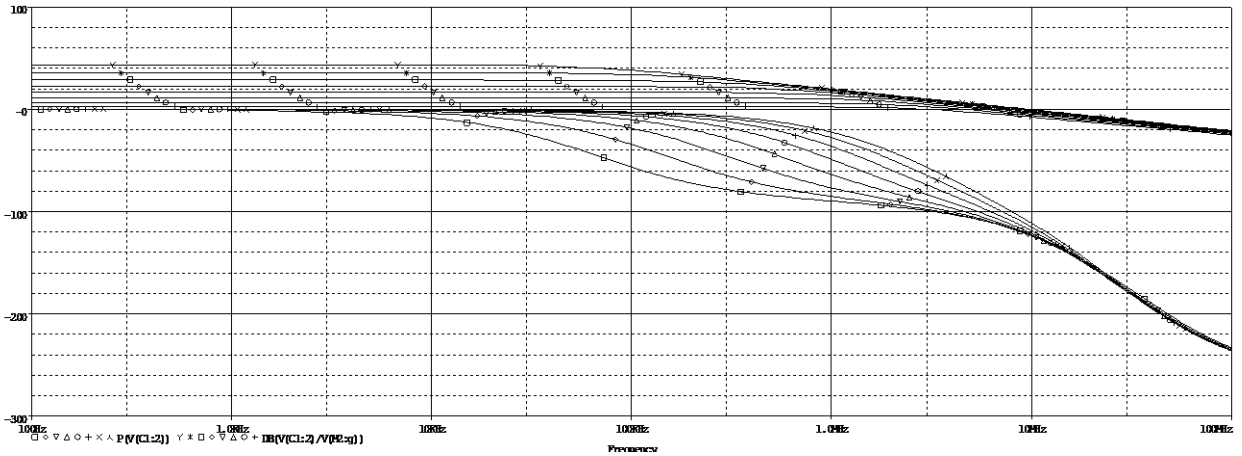


Όσον αφορά το κέρδος Αν παρατηρούμε ότι από την θερμοκρασία των  $0^{\circ}\text{C}$  έως  $30^{\circ}\text{C}$  οι τιμές του κέρδους είναι μεταξύ των τιμών 44dB έως 23 dB έπειτα πέφτει καθώς αυξάνει η θερμοκρασία έως και  $70^{\circ}\text{C}$ .

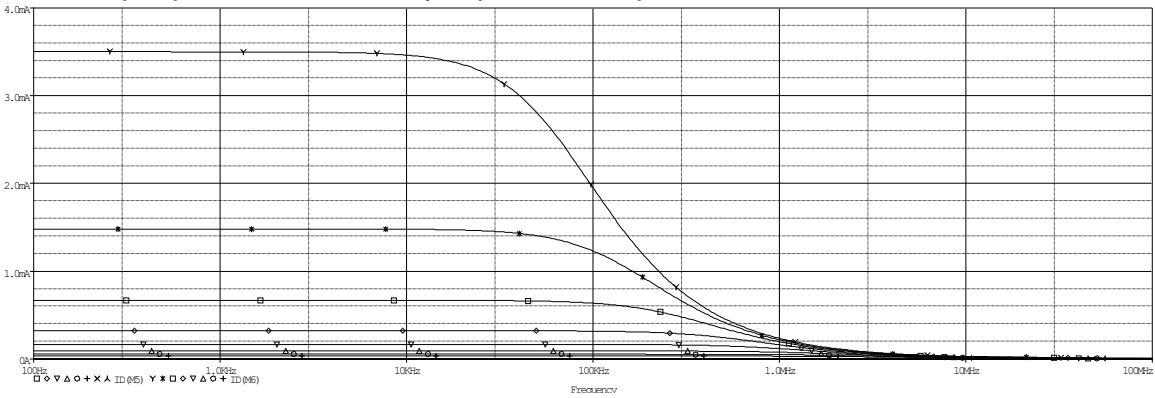


Για το περιθώριο φάσης βλέπουμε ότι για  $70^{\circ}\text{C}$  έχουμε περιθώριο φάση  $48^{\circ}$  και καθώς μειώνεται η θερμοκρασία αυξάνεται το περιθώριο φάσης δηλαδή για  $30^{\circ}\text{C}$  έχουμε περιθώριο φάσης  $71^{\circ}$ .

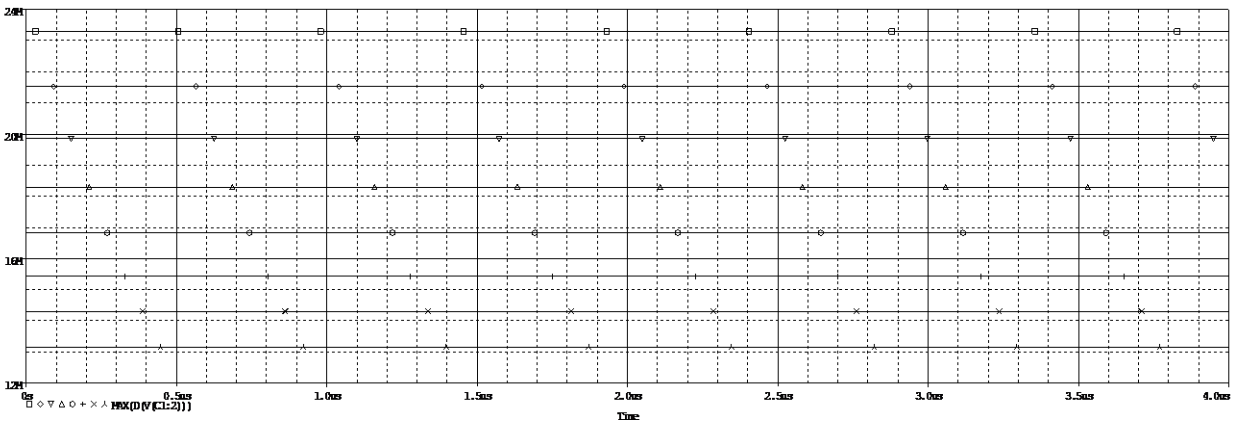




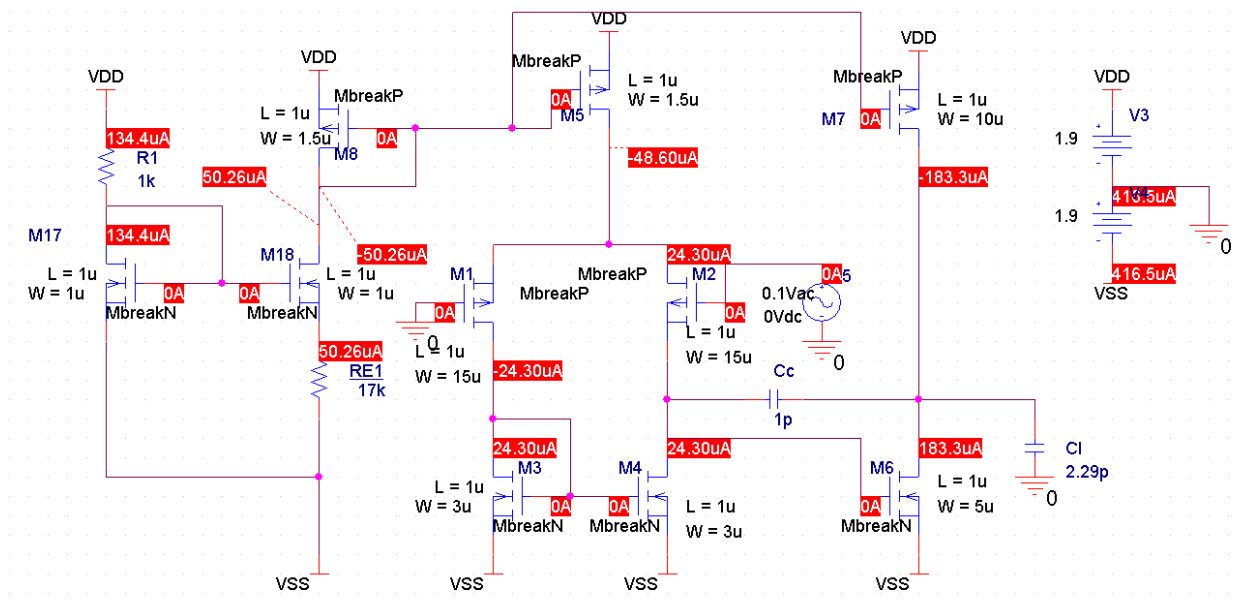
Τώρα παρατηρώντας τα ρεύματα  $I_5$   $I_6$  καθώς οι θερμοκρασίες είναι από 0 °C έως 70 °C τα ρεύματα από κάποια pA γίνονται σε  $\mu A$



Για το SR βλέπουμε ότι από 0 °C έως 20 °C ξεκινάει από 24 V/μs έως 19 V/μs και μετά να μειώνεται περισσότερο φτάνοντας 13 V/μs



## Τελικό κύκλωμα με το κύκλωμα αναφοράς ως πηγή ρεύματος Widlar



## Συμπεράσματα και Παρατηρήσεις

Η διαδικασία σχεδίασης του τελεστικού ενισχυτή και την φιλοσοφία σχεδίασης οποιουδήποτε κυκλώματος θέλει αρκετό χρόνο και υπομονή θεωρητική ανάλυση από αυτή της προσομοίωσης απέχει αρκετά, γιατί καθώς ο αλγόριθμος σχεδίασης σου προτείνει τις διάφορες διαστάσεις με τις ανάλογες προδιαγραφές όμως αυτό απέχει και σχεδόν ποτέ δεν μπορείς να πιάσεις όλες της προδιαγραφές. Χρειάζεται όμως το θεωρητικό υπόβαθρο ώστε να γνωρίζεις με ποια παράμετρο μπορείς να επηρεάσεις το αποτέλεσμα του κυκλώματος. Γενικότερα για την εργασία τώρα ήταν ενδιαφέρουσα και διασκεδαστική.

## Προβλήματα/Δυσκολίες

Δυστυχώς δεν μπόρεσα να κάνω το περιθώριο φάσης μεταξύ των ορίων από 40° έως 60° προσπαθώντας να το κάνω αυτό δίνοντας μεγαλύτερη τιμή στον πυκνωτή Cc αλλά επηρέαζε τα ρεύματα και μετέπειτα το κέρδος για τις διαφορετικές θερμοκρασίες.