

Εργασία Τελεστικού Ενισχυτή

Όνομα: Μπεκιάρης Θεοφάνης

AEM:8200

Email:bekiaris95@gmail.com

Το AEM μου είναι 8200 οπότε $\xi=00$ και οι απαιτούμενες προδιαγραφές προκύπτουν:

Προδιαγραφή	Τιμή Συναρτήση Του AEM
CL	2pF
SR	$>18\text{V}/\mu\text{s}$
Vdd	+ 1.8V
Vss	- 1.8V
GB	$>7\text{MHz}$
A	$>20\text{dB}$
P	$<50\text{mW}$

Διαδικασία Υπολογισμών Παραμέτρων Με Βάση Τον Αλγόριθμο

Βήμα 1

Το μήκος κανάλιου L πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το διπλάσιο της τεχνολογίας ώστε να αποθρευχθεί οποιοδήποτε πρόβλημα με τα όρια των ρευμάτων στα τρανζίστορ. Αφού έχουμε τεχνολογία 0,35 θα επιλέξουμε $L=1\mu\text{m}$ για ευκολία και στους υπολογισμούς

Βήμα 2

Υπολογίζεται η ελάχιστη χωρητικότητα Miller C_c . Τοποθετώντας τον πόλο p_2 σε 2.2 φορές υψηλότερη συχνότητα από το GB επιτυγχάνεται περιθώριο φάσης 60° . Άρα από τον τύπο

$$C_c > 0.22CL$$

και με την εισαγωγή των δεδομένων στο Matlab προκύπτει όπως φαίνεται στην εικόνα του **Σχήματος 1** ότι $C_c > 0.44\text{pF}$. Επομένως θα επιλέξουμε μια χωρητικότητα ώστε:

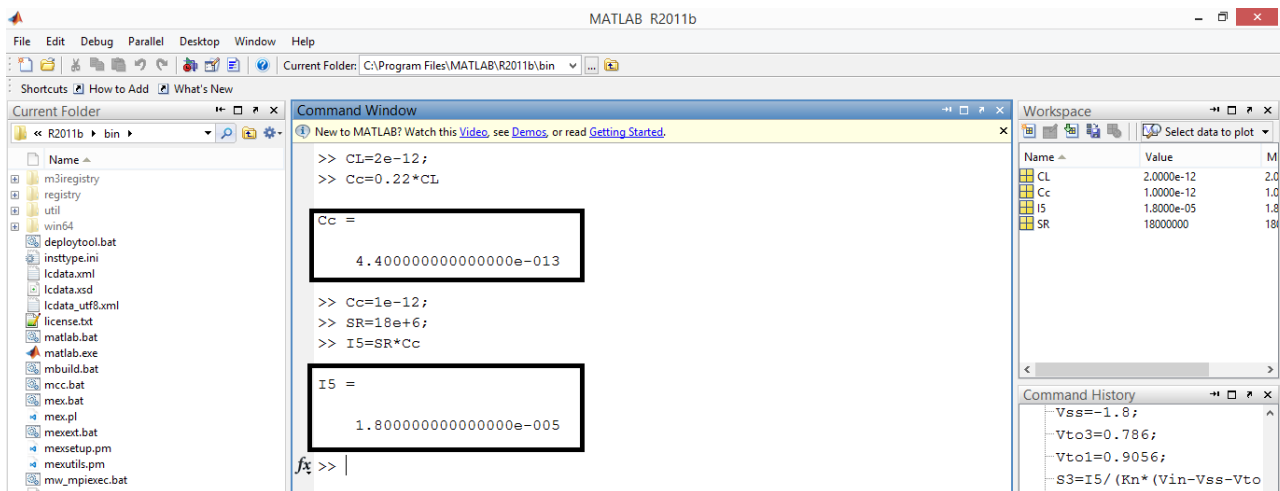
$$C_c = 1\text{pF}$$

Βήμα 3

Θα υπολογίσουμε το ρεύμα από τον τύπο:

$$I_s = SR \cdot C_c$$

με βάση τα δεδομένα και με την βοήθεια του Matlab έχουμε τελικά **$I_5=18\mu A$**



Σχήμα 1

Βήμα 4

Για κύκλωμα με είσοδο P-Mos ξέρουμε ότι για το κάτω όριο της εισόδου ισχύει η σχέση

$$V_{in(min)} = V_{ss} + \sqrt{\left(\frac{I_5}{\beta_3}\right)} + V_{t03(max)} - |V_{t01}|_{(min)}$$

Αρα για τον υπολογισμό του S_3 αφού έχουμε N-Mos transistor ισχύει επιπλέον ότι

$$\beta_3 = K_n \cdot \left(\frac{W_3}{L_3}\right) = K_n \cdot S_3$$

Αρα καταλήγουμε στο ότι

$$V_{in(min)} = V_{ss} + \sqrt{\left(\frac{I_5}{(K_n \cdot S_3)}\right)} + V_{t03(max)} - |V_{t01}|_{(min)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S_3 = \frac{I_5}{(K_n \cdot [V_{in(min)} - V_{ss} - V_{t03(max)} + |V_{t01}|_{(min)}]^2)}$$

θεωρούμε ότι τα όρια στην τάση εισόδου πρέπει να είναι κοντά στην ονομαστική V_{ss} αρα $V_{in(min)} = -1.5V$

Απο τα δεδομένα του μοντέλου παίρνουμε

$$K_n = 96.379\mu A / V^2$$

$$V_{ss} = -1.8V$$

$$V_{in(min)} = -1.5V$$

$$V_{t03(max)} = V_{t03} = 0.786V$$

$$V_{t01(min)} = V_{t01} = -0.9056V$$

Μετά από πράξεις στο Matlab προκύπτει $S_3=1.06>1$

The screenshot shows the MATLAB R2011b interface. The Command Window contains the following code:

```
>> I5=18e-6;
Kn=96.379e-6;
Vin=-1.5;
Vss=-1.8;
Vto3=0.786;
Vto1=0.9056;
S3=I5/(Kn*(Vin-Vss-Vto3+Vto1)^2)
```

The result of the calculation is displayed in a box:

```
S3 =
1.060764874104239
```

The Workspace window shows the following variables and their values:

Name	Value	M
I5	1.8000e-05	1.8
Kn	9.6379e-05	9.6
S3	1.0608	1.0
Vin	-1.5000	-1.
Vss	-1.8000	-1.
Vto1	0.9056	0.9
Vto3	0.7860	0.7

The Command History window shows the following commands:

```
Vto3=0.786;
Vto1=0.9056;
S3=I5/(Kn*(Vin-Vss-Vto3+Vto1)^2)
```

Και ισχύει ότι $S_4=S_3=1.06$

Βήμα 5

Έλεγχος για $p_3>10GB$ χρησιμοποιώντας τους γνωστούς τύπος προκύπτει ότι $p_3=1.153e+10$ rad/sec ή ($=1.83GHz$) $>>10GB=70MHz$ αρα όντως ισχύει.

The screenshot shows the MATLAB R2011b interface. The Command Window contains the following code:

```
>> Kn=96.379e-6;
>> S3=1.06;
>> I5=18e-6;
>> W2L2=1.06e-12;
>> Cox=2.63e-3;
>> p3=(sqrt(I5*Kn*S3))/(2*0.667*W2L2*Cox)
```

The result of the calculation is displayed in a box:

```
p3 =
1.153089320261987e+010
```

The Command Window contains the following code:

```
>> f=p3/(2*3.14)
```

The result of the calculation is displayed in a box:

```
f =
1.836129490863036e+009
```

The Workspace window shows the following variables and their values:

Name	Value	M
Cox	0.0026	0.0
I5	1.8000e-05	1.8
Kn	9.6379e-05	9.6
S3	1.0600	1.0
W2L2	1.0600e-12	1.0
f	1.8361e+09	1.8
p3	1.1531e+10	1.1

The Command History window shows the following commands:

```
SR=18e+6;
I5=SR*Cc
clear
clc
Kn=96.379e-6;
S3=1.06;
```

Βήμα 6

Απο τις παρακάτω σχέσεις έχουμε

$$gm_1 = GB \cdot Cc$$

$$S_1 = S_2 = (gm_1)^2 / Kp \cdot I_3$$

$gm_1=4.396e-05$

$S_1=S_2=3.658$ Βλέπε παρακάτω σχήμα

Αρα θεωρούμε $S1=S2=3.7$

The screenshot shows the MATLAB R2011b interface. The Command Window contains the following code and results:

```
>> GB=7e+6;
Cc=1e-12;
gm1=GB*Cc*6.28

gm1 =
    4.396000000000000e-005

>> Kp=29.352e-6;
I5=18e-6;
S1=((gm1)^2)/(Kp*I5)

S1 =
    3.657675418672965
```

The Workspace window shows the following variables:

Name	Value	Memory
Cc	1.0000e-12	1.0
GB	7000000	70
I5	1.8000e-05	1.8
Kp	2.9352e-05	2.9
S1	3.6577	3.6
gm1	4.3960e-05	4.3

The Command History window shows the following commands:

```
gm1=GB*Cc*6.28;
Kp=29.352e-6;
I5=18e-6;
S1=((gm1)^2)/(Kp*I5);
clear
```

Βήμα 7

θα θεωρήσουμε ότι $V_{in(max)}=1$ Volt και με βάση την αντίστοιχη σχέση για p-Mos $V_{sd(sat)}=V_{in(max)}-V_{dd}+\sqrt{I_5/(K_p*S1)}+V_{to1}$ και την σχέση $S5=(2*I_5)/(K_p*(V_{sd})^2)$ έχουμε τελικά ότι $S5=4.7$ και επίσης πρέπει $S8=4.7$

The screenshot shows the MATLAB R2011b interface. The Command Window contains the following code and results:

```
>> Kp=29.352e-6;
S1=3.7;
Vin=1;
Vdd=1.8;
I5=18e-6;
Vto1=0.9056;

Vsd=Vin-Vdd+sqrt(I5/(Kp*S1))+Vto1

Vsd =
    0.512714472283514

>> S5=(2*I5)/(Kp*(Vsd)^2)

S5 =
    4.665666037463328
```

The Workspace window shows the following variables:

Name	Value	Memory
I5	1.8000e-05	1.8
Kp	2.9352e-05	2.9
S1	3.7000	3.7
S5	4.6657	4.6
Vdd	1.8000	1.8
Vin	1	1
Vsd	0.5127	0.5
Vto1	0.9056	0.9

The Command History window shows the following commands:

```
Vsd=Vin-Vdd+sqrt(I5/(Kp*S1))+Vto1;
clear
clc
Kp=29.352e-6;
S1=3.7;
Vin=1;
Vdd=1.8;
I5=18e-6;
```

Βήμα 8

Για το καθορισμό λόγου $(W/L)_3$ πρέπει

$gm_6 > 10gm_1$ όπου $gm_1=4.396e-05$ αρα **$gm_6 > 4.396e-04$**

Έχουμε τελικά **$gm_6=439.6\mu S$**

Για το gm_4 προκύπτει

$gm_4=\sqrt{K_n*S_4*I_5}$ όπου $(K_n=96.379e-6 A/V^2)$ ($S_4=1.06$) ($I_5=18e-6 A$)

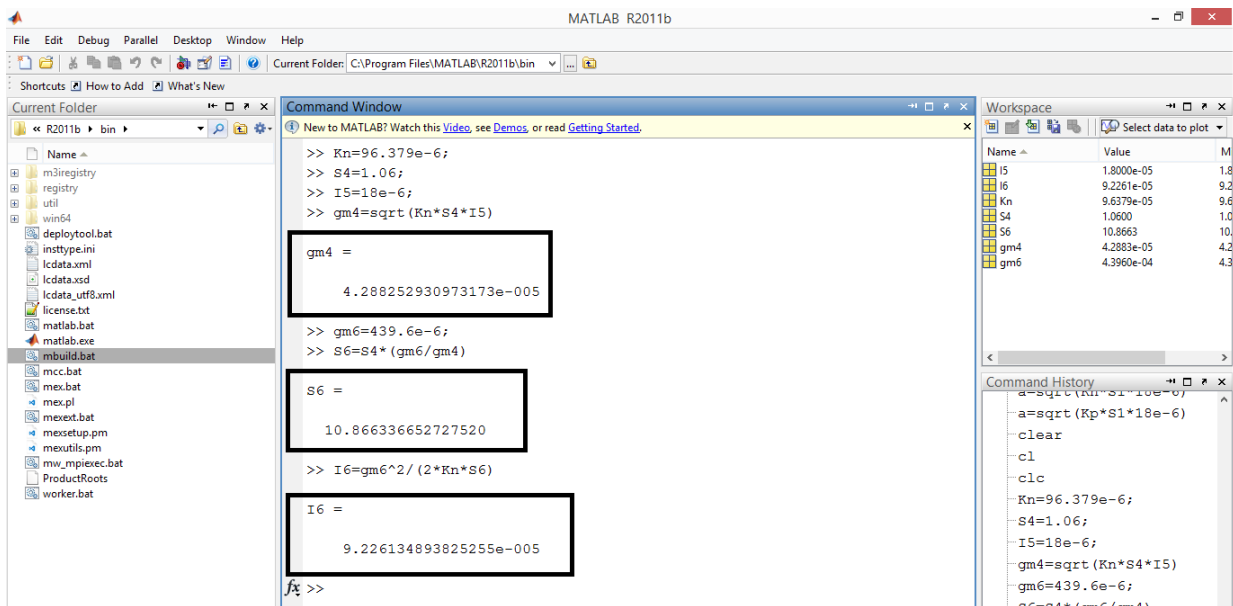
και αρα **$gm_4=42.9 \mu S$** . Έχουμε επιπλέον $S_6=S_4*(gm_6/gm_4)$ και προκύπτει

$S_6=10.86$

Επιπλέον το ρεύμα I_6 είναι $I_6=gm_6^2/(2*K_n*S_6)$ και τελικά προκύπτει

$I_6=9.226134893825255e-005$

Βλέπε ακόλουθο σχήμα



Βήμα 9

Θα υπολογίσουμε το S7 οπου είναι

$$S7=(I6/I5)*S5 \Rightarrow S7 = 24.1$$

Εχουμε

$$V_{out(min)} = -\sqrt{2 \cdot 92.2\mu / 29,352\mu \cdot 24} + 0.9056 = -0.51 + 0.9056 = 0.39V$$

Βήμα 10

Για τον ελεγχο του κέρδους και της ισχύς εχουμε

```
gm1=4.396e-05;
gm6=4.396e-04;
I5=18e-6;
I6 =9.226134893825255e-005;
I1=0.05;
I7=0.05;
I3=0.04;
I6=0.04;
```

Και απο την σχέση

$$A_n = (2 \cdot gm1 \cdot gm6) / (I5 \cdot I6 \cdot (I6 + I7) \cdot (I1 + I3))$$

προκύπτει οτι:

$$A_n = 2.873214431421744e+003 \text{ ή σε Decibel } 69.16 \text{ dB}$$

$$V_{dd} = 1.8;$$

$$V_{ss} = -1.8;$$

$$P_{diss} = (I5 + I6) \cdot (V_{dd} + \text{abs}(V_{ss}))$$

και τελικά η κατανάλωση είναι

$$P_{diss} = 0.39mW$$

Η επίλυση στο Matlab φαίνεται στο παρακάτω σχήμα

```

>> gm1=4.396e-05;
gm6=4.396e-04;
I5=18e-6;
I6=9.226134893825255e-005;
I1=0.05;
I7=0.05;
I3=0.04;
I6=0.04;
An=(2*gm1*gm6)/(I5*I6*(16+17)*(11+13))

An =

    2.873214431421744e+003

>> Vdd=1.8;
>> Vss=-1.8;
>> Pdiss=(I5+I6)*(Vdd+abs(Vss))

Pdiss =

    3.969408561777092e-004
    
```

Value	Min	Max
2.8732e+03	2.8732...	2.8732...
1.8000e-05	1.8000...	1.8000...
9.2261e-05	9.2261...	9.2261...
3.9694e-04	3.9694...	3.9694...
1.8000	1.8000	1.8000
-1.8000	-1.8000	-1.8000
4.3960e-05	4.3960...	4.3960...
4.3960e-04	4.3960...	4.3960...
0.0500	0.0500	0.0500
0.0400	0.0400	0.0400
0.0400	0.0400	0.0400
0.0500	0.0500	0.0500

Τελικά έχουμε συνολικά τα ακόλουθα αποτελέσματα

L	Cc	I5	S1=S2	S3=S4	S5=S8	S6	S7	I6
1μm	1pF	18μA	3,7μm	1,06μm	4,7μm	10,86μm	24,1μm	92,2μA

Μετά από την διαδικασία του turing προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα που όπως θα δούμε στην συνέχεια ικανοποιούν τις προδιαγραφές,εχουμε:

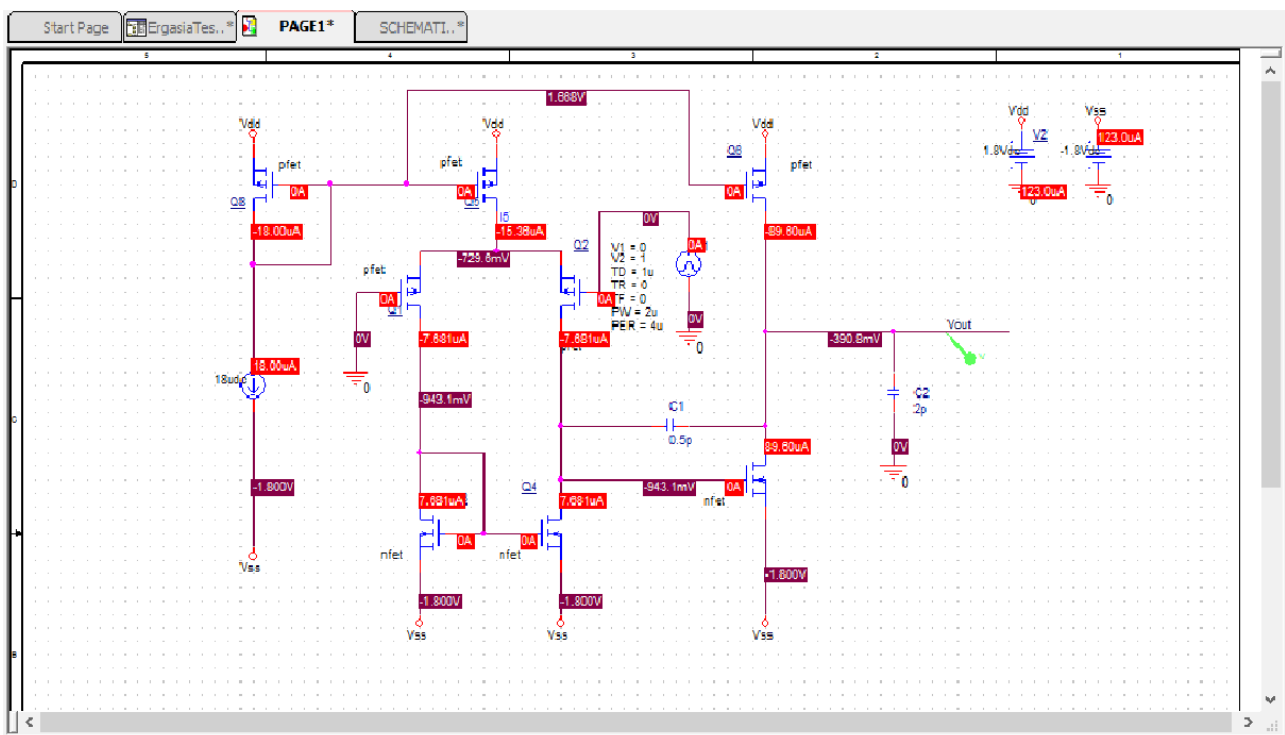
L	Cc	I5	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	I6
1μm	0.5pF	14.75μA	10μm	10μm	2.3μm	2.3μm	1μm	5μm	15μm	5μm	83.66μm

	A	B	C	D	E	F	G	H
	SCHEMATIC1 : PAGE1 : Q1	SCHEMATIC1 : PAGE1 : Q2	SCHEMATIC1 : PAGE1 : Q3	SCHEMATIC1 : PAGE1 : Q4	SCHEMATIC1 : PAGE1 : Q5	SCHEMATIC1 : PAGE1 : Q6	SCHEMATIC1 : PAGE1 : Q7	SCHEMATIC1 : PAGE1 : Q8
ID								
Implementation	pfet	pfet	nfet	nfet	pfet	pfet	nfet	pfet
Implementation Path	PSpice Model	PSpice Model	PSpice Model	PSpice Model	PSpice Model	PSpice Model	PSpice Model	PSpice Model
L	1u	1u	1u	1u	1u	1u	1u	1u
Location X-Coordinate	300	450	320	430	370	570	590	200
Location Y-Coordinate	370	360	480	480	270	280	480	270
M								
Name	INS3211	INS3551	INS3187	INS3502	INS3709	INS3585	INS3567	INS3733
NRB								
NRD								
NRG								
NR3								
Part Reference	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
PCB Footprint								
PD								
Power Pins Visible								
Primitive	DEFAULT	DEFAULT	DEFAULT	DEFAULT	DEFAULT	DEFAULT	DEFAULT	DEFAULT
PS	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
PSpiceTemplate	M@REFDES %d %g %s %s @MODEL %u %s	M@REFDES %d %g %s %s @MODEL %u %s	M@REFDES %d %g %s %s @MODEL %u %s	M@REFDES %d %g %s %s @MODEL %u %s	M@REFDES %d %g %s %s @MODEL %u %s	M@REFDES %d %g %s %s @MODEL %u %s	M@REFDES %d %g %s %s @MODEL %u %s	M@REFDES %d %g %s %s @MODEL %u %s
Reference	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
Source Library	C:\ORCAD\ORCAD_16.6\LIB\TOOLS\CAPT	C:\ORCAD\ORCAD_16.6\LIB\TOOLS\CAPT	C:\ORCAD\ORCAD_16.6\LIB\TOOLS\CAPT	C:\ORCAD\ORCAD_16.6\LIB\TOOLS\CAPT	C:\ORCAD\ORCAD_16.6\LIB\TOOLS\CAPT	C:\ORCAD\ORCAD_16.6\LIB\TOOLS\CAPT	C:\ORCAD\ORCAD_16.6\LIB\TOOLS\CAPT	C:\ORCAD\ORCAD_16.6\LIB\TOOLS\CAPT
Source Part	MbreakP3	MbreakP3	MbreakN3	MbreakN3	MbreakP3	MbreakP3	MbreakN3	MbreakP3
Value	10u	10u	2.3u	2.3u	1u	5u	15u	5u
W								

Τώρα θα δούμε ότι όντως έχουμε καλύψει τις επιθυμητές προδιαγραφές

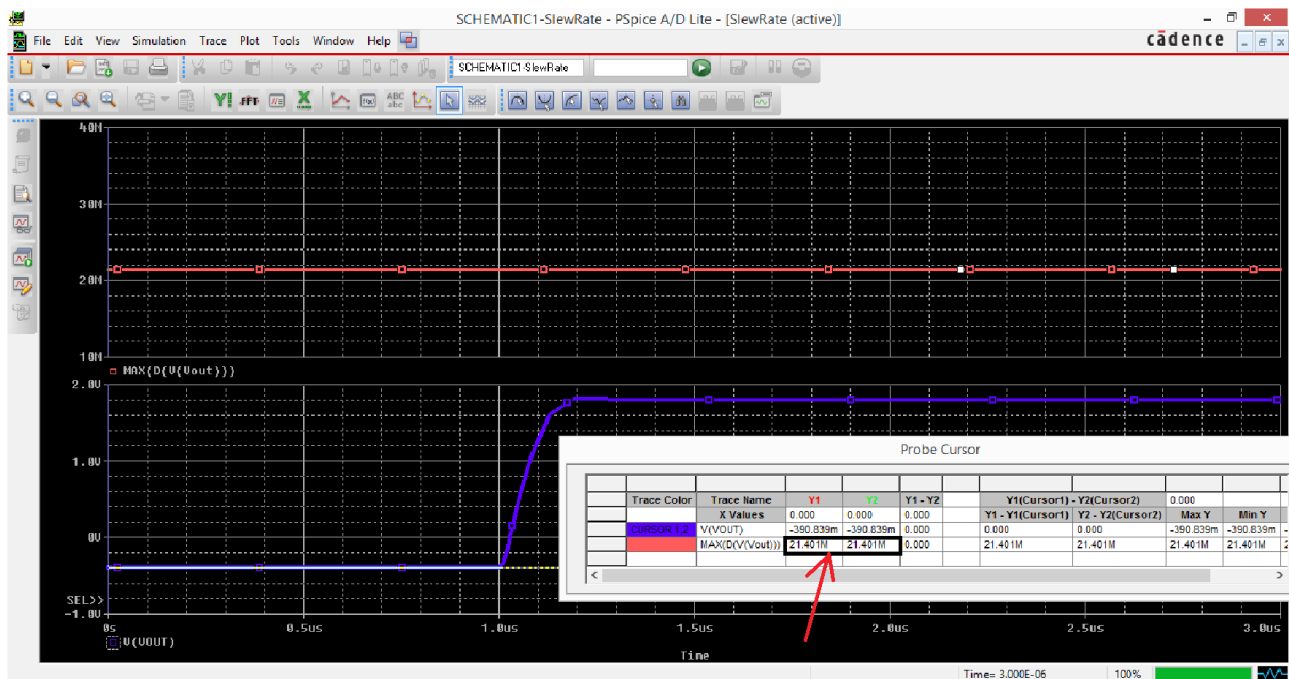
Έλεγχος του Slew Rate:

Για να μετρήσουμε το SR του τελεστικού ενισχυτή γειώνουμε την μια είσοδο του τελεστικού και εφαρμόζουμε στην άλλη είσοδο τετραγωνικό παλμό πλάτους 1V και πολύ μικρής χρονικής διάρκειας. Έπειτα, το SR υπολογίζεται κάνοντας time domain(transient) ανάλυση και βρίσκοντας τη μέγιστη κλίση του σήματος εξόδου. Το κύκλωμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα μαζί με το αποτέλεσμα της ανάλυσης.

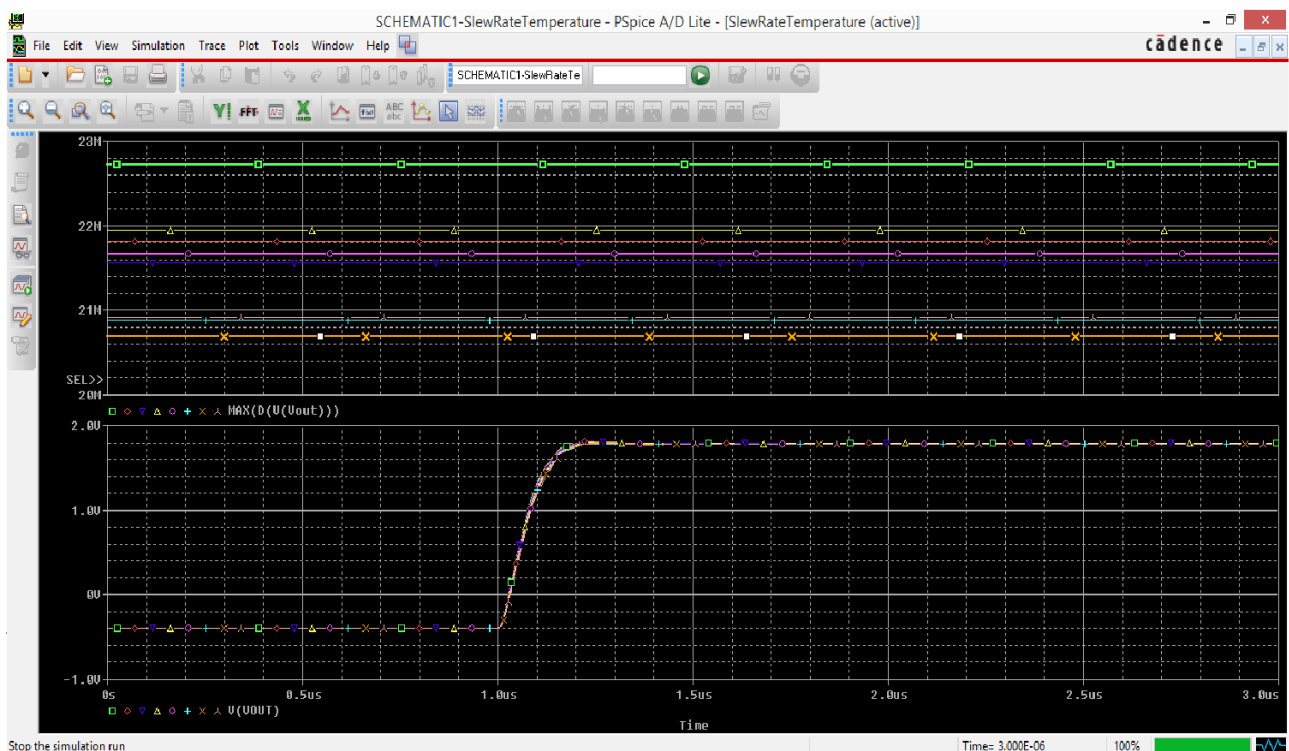


Υπολογίζοντας την μέγιστη κλίση της απόκρισης της εξόδου το Slew rate όπως φαίνεται και στο σχήμα προκύπτει :

$$SR=21.4 \text{ MV/s} = 21.4 \text{ V}/\mu\text{s} > 18 \text{ V}/\mu\text{s} \text{ που απαιτείται}$$



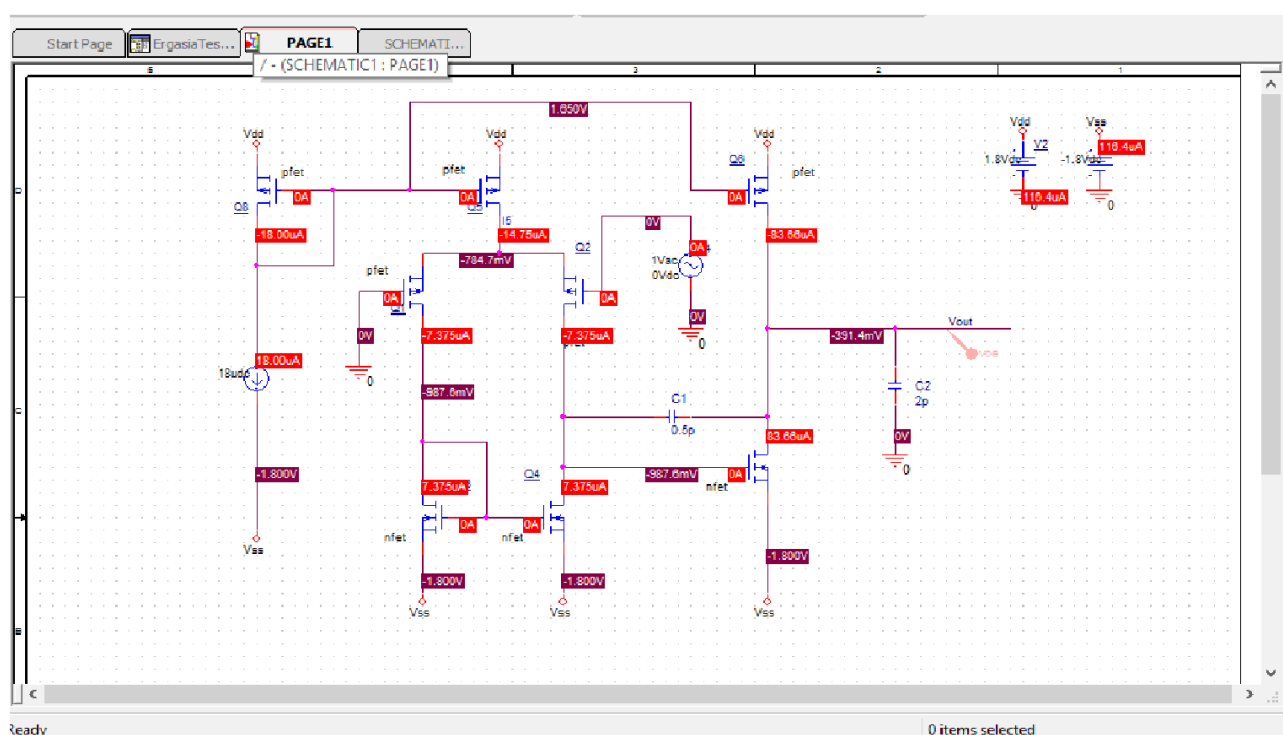
Θα εφαρμόσουμε και θερμοκρασιακή ανάλυση για κάποιες θερμοκρασίες 0-70 Celsius(0 10 20 30 40 50 60 70) ,τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:



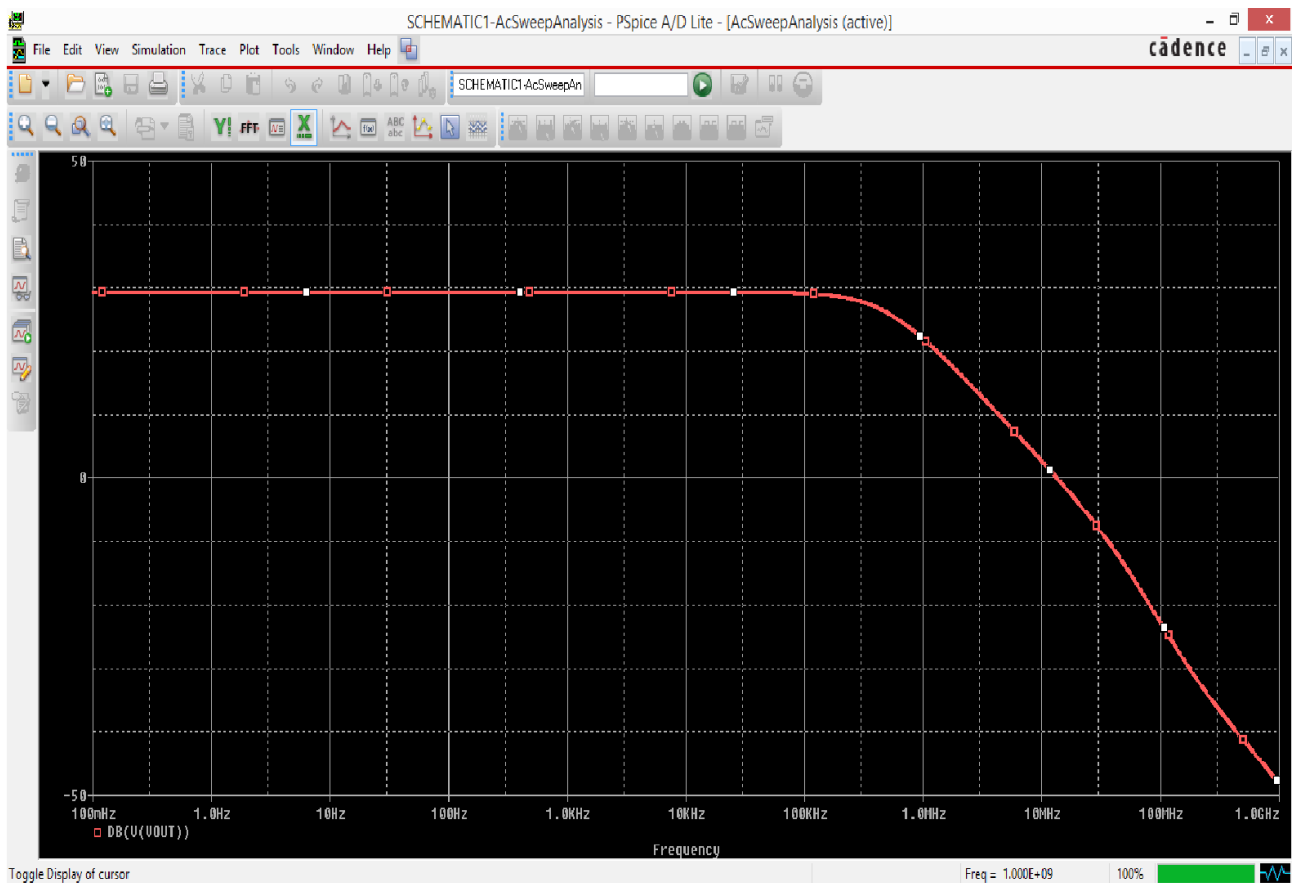
Παρατηρούμε οτι την μικρότερη τιμή Slew rate προκύπτει για 60 celsius και είναι ίση με $20.693 \text{ V}/\mu\text{s} > 18 \text{ V}/\mu\text{s}$

[illegible]

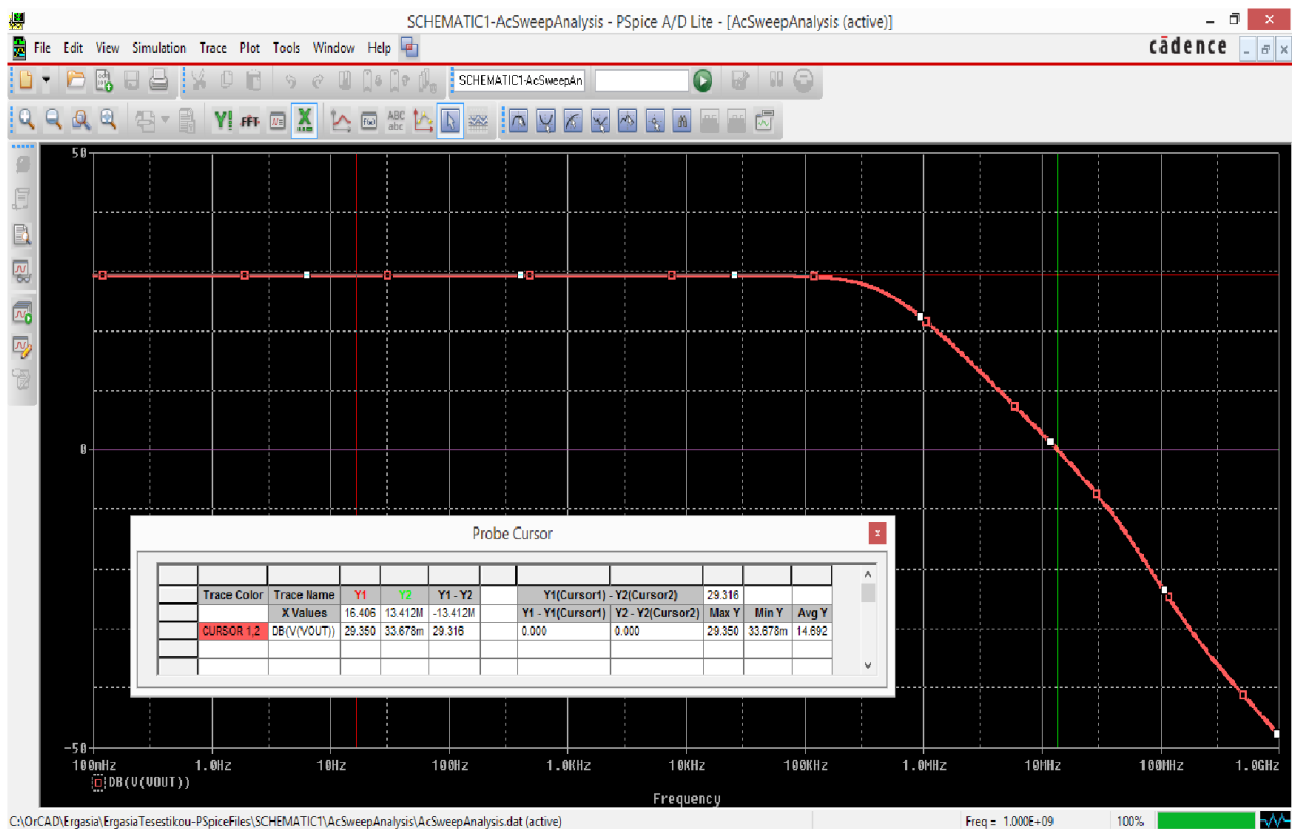
Κέρδος Α ενισχυτή, GB και περιθώριο φάσης:



Για τα παραπάνω μεγέθοι εφαρμόζουμε στην είσοδο πηγή Vac με Vac=1V και Vdc=0V και εκτελούμε ACsweep ανάλυση,εφαρμόζουμε στην έξοδο έναν Marker για μέτρηση κέρδους τάσης σε dB

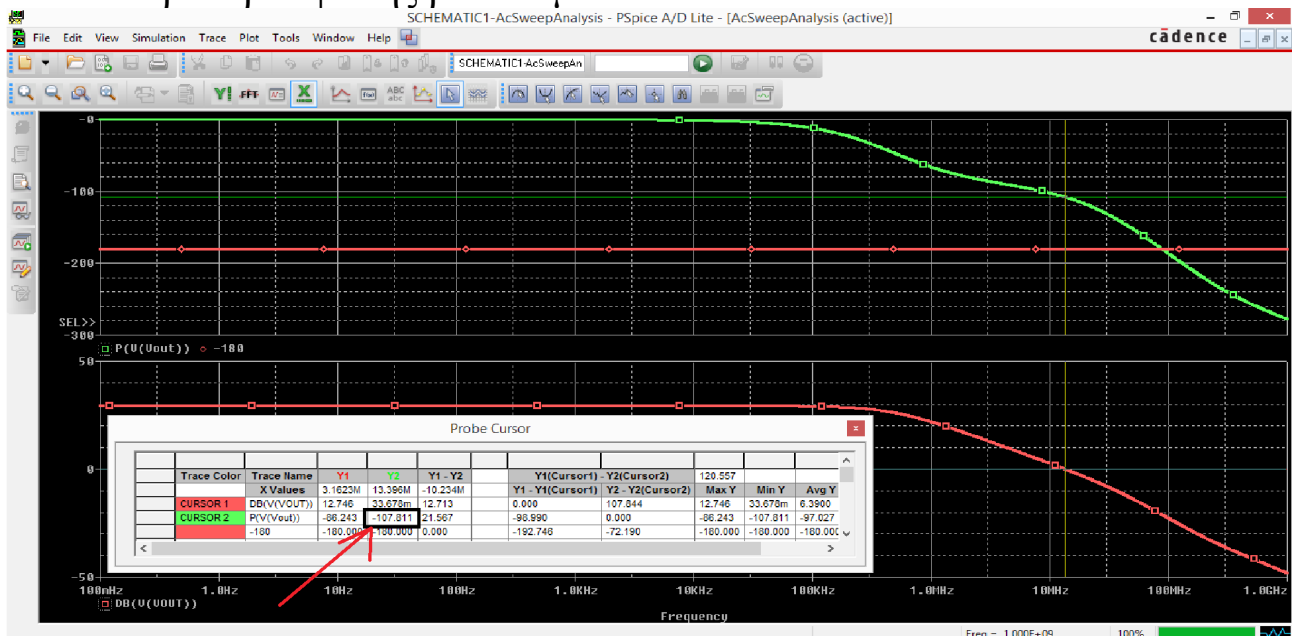


Επιλέγοντας τους κέρσορες(cursor) μπορούμε να δούμε πολύ καλύτερα τις τιμές της ενίσχυσης και του GB παρατηρώντας το ακόλουθο σχήμα:



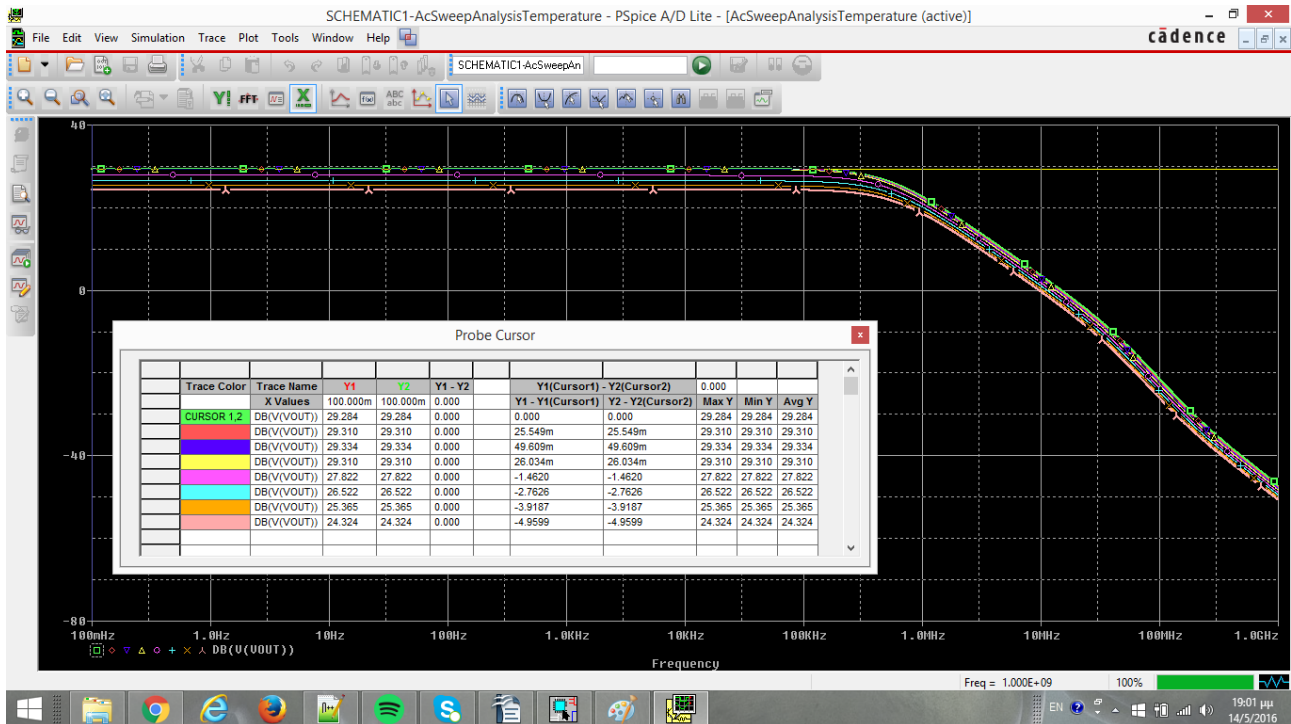
Η ενίσχυση είναι $A=29.35 \text{ dB} > 20\text{dB}$ και $GB=13.412\text{MHz} > 7\text{MHz}$, δηλαδή βλέπουμε ότι όντως ικανοποιούν τις απαιτήσεις

Για το περιθώριο φάσης βλέπουμε:



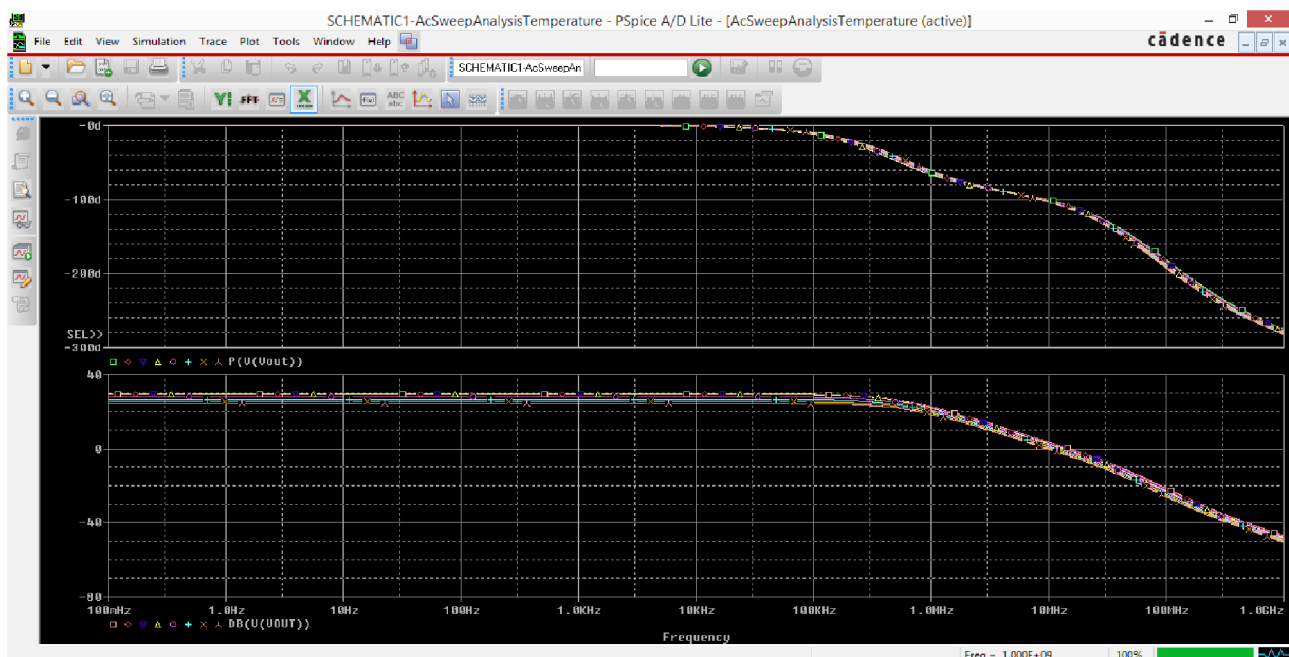
Στο πάνω διάγραμμα βλέπουμε το διάγραμμα φάσης του V_{out} από όπου προκύπτει ότι για $A=0 \text{ dB}$ έχουμε $\text{phase}(V_{out}) = -107.811$, άρα το περιθώριο φάσης είναι $-107.811 - (-180) = 72.189$, αρκετά ικανοποιητικό

Στην συνέχεια θα εκτελέσουμε ακόμα μια θερμοκρασιακή ανάλυση για κάποιες θερμοκρασίες 0-70 Celsius(0 10 20 30 40 50 60 70) ,τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:



Βλέπουμε ότι για θερμοκρασία 70 celsius έχουμε τις περισσότερες ανεπιθύμητες προδιαγραφές οι οποίες όμως καλύπτουν τις προδιαγραφές. Το κέρδος για 70 celsius γίνεται $A=24.324$ dB, όπως βλέπουμε και παραπάνω στην εικόνα, είναι όμως μεγαλύτερο των 20dB και $GB > 7\text{MHz}$

Επιπλέον και το περιθώριο φάσης είναι το επιθυμητό δεν εμφανίζεται κάποιο πρόβλημα



Ισχύς

Τώρα θα ελέγξουμε τις προδιαγραφές για την ισχύ σύμφωνα με τον τύπο :

$$P_{diss} = (I_6 + I_5) \times (V_{DD} + |V_{SS}|)$$

Κάνοντας τις πράξεις για

$$I_6 = 83.66 \mu A$$

$$I_5 = 14.75 \mu A$$

$$V_{DD} = 1.8V$$

$$V_{SS} = -1.8V$$

προκύπτει ότι η ισχύς είναι:

$$P_{diss} = 354.276 \mu Watt = 0.3543 mWatt \ll 50 mWatt \text{ που απαιτείται}$$