

40/10/173

# گزارش پژوهه‌ای الکترونیک ۲

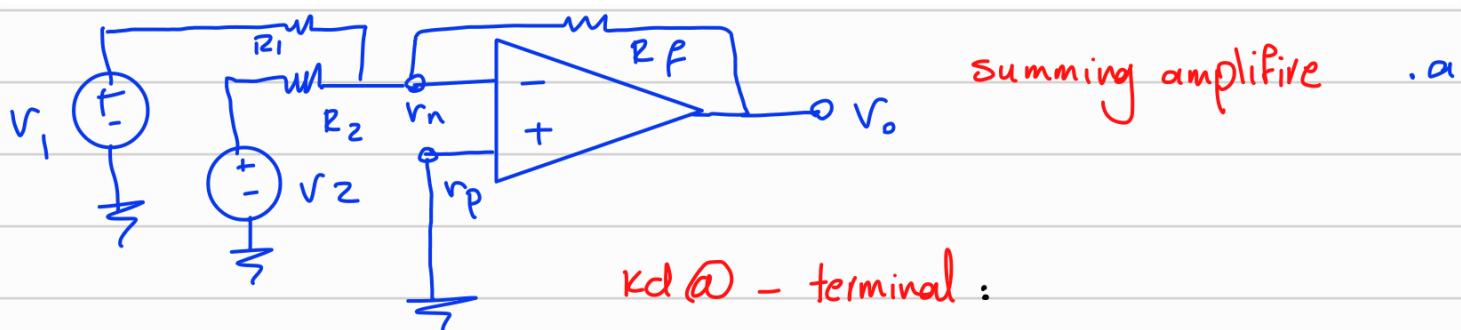
۱. در ادامه برخی از کاربردهای تقویت‌کننده عملیاتی آورده شده است. برای هر کدام با ارائه توضیح مختصر، مداری پیشنهاد دهید.

a. جمع‌کننده و تفرقی‌کننده

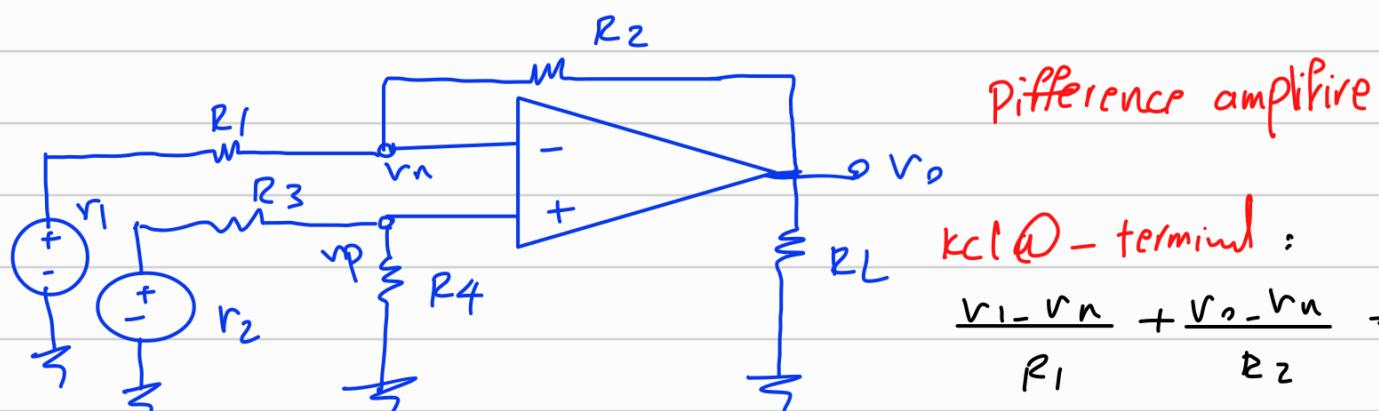
b. محاسبه  $\log$  یک سیگنال

c. تولید موج مربعی و مثلثی

d. اشمیت تریگر



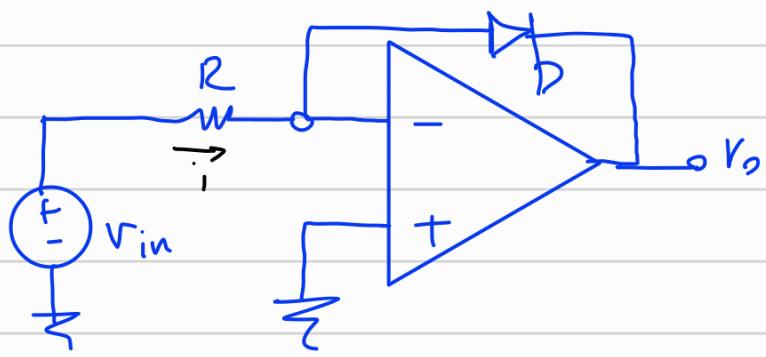
$$\frac{V_1 - 0}{R_1} + \frac{V_2 - 0}{R_2} + \frac{V_o - 0}{R_F} = 0 \Rightarrow V_o = - \left( \frac{R_F}{R_1} V_1 + \frac{R_F}{R_2} V_2 \right)$$



KCL @ + terminal :

$$\frac{V_P}{R_4} + \frac{V_P - V_2}{R_3} = 0 \quad V_P = \frac{V_2 \times (R_3 R_4)}{|R_3 + R_4|} = \frac{R_4 V_2}{R_3 + R_4}$$

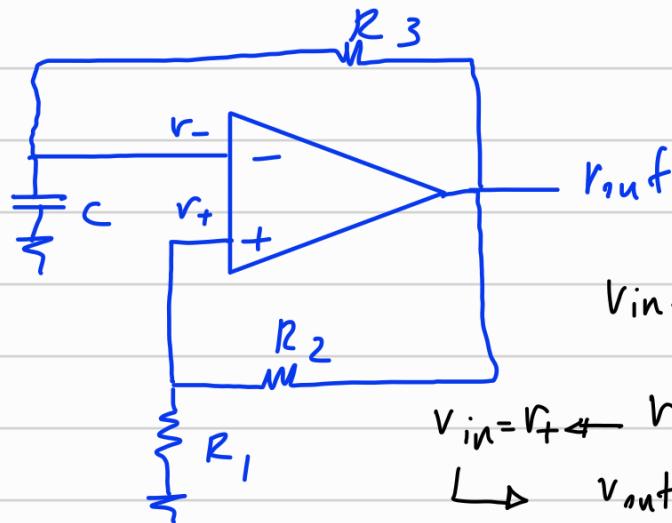
$$V_n = V_P \Rightarrow V_o = \frac{R_4}{R_1} \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1$$



log amplifier

$$i = \frac{V_{in}}{R} \quad i_D = I_S (e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1) \approx I_S e^{\frac{V_D}{V_T}}$$

$$V_{out} = -V_D = -V_T \ln \left( \frac{V_i}{R I_S} \right)$$

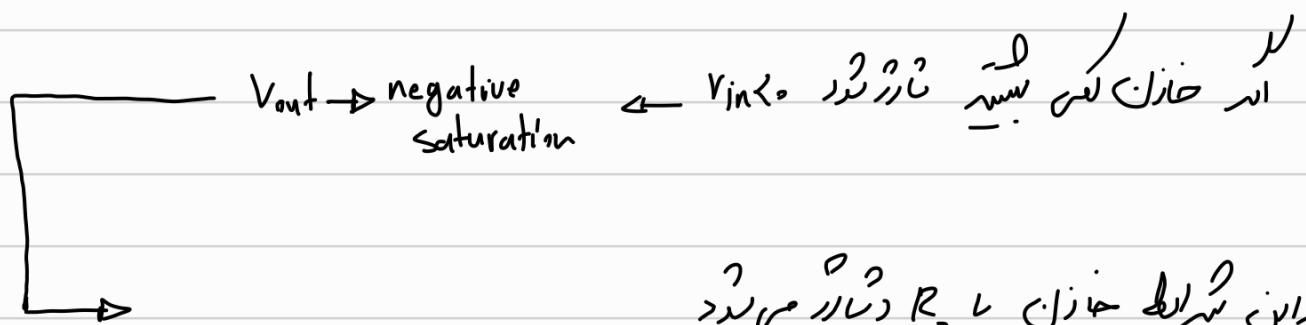


Square wave generator

$$V_{in} = V_+ - V_-$$

$V_{in} = V_+ \rightarrow V_- = 0 \Rightarrow V_{out} = 0$   $\rightarrow$   $V_{out} \rightarrow$  positive saturation  $\Rightarrow V_{out} = V_C$

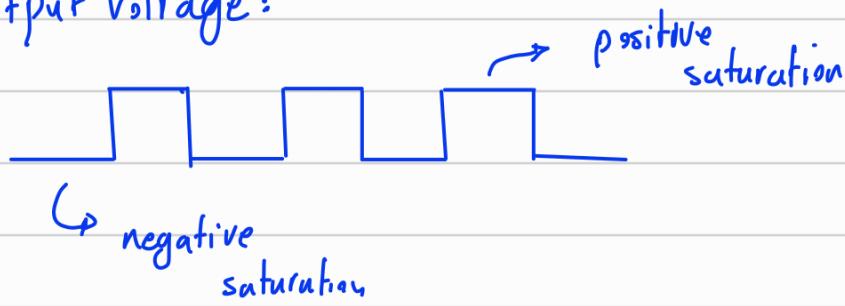
$$V_P = V_C / \text{زمان حریض}$$



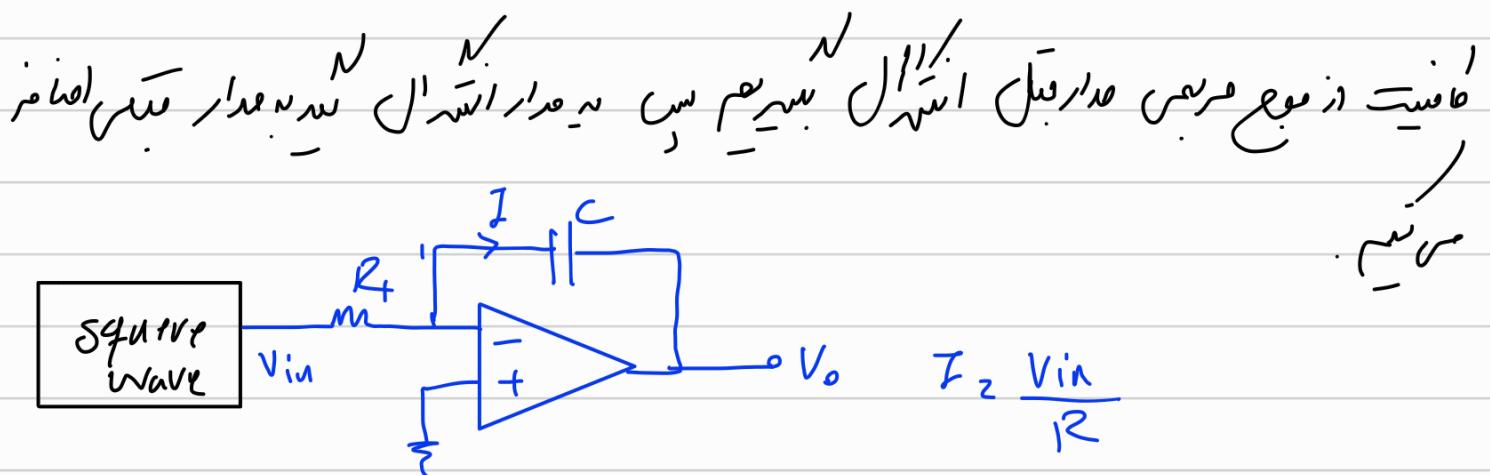
درین میله را در میان  $R_2$  و  $r_+$  قرار دهید

$r_- < r_+$  میشه  $\rightarrow$   $r_- < r_+$  میشه  $\rightarrow$   $r_- < r_+$  میشه  $\rightarrow$

output voltage:



## Triangular Wave generator circuit :



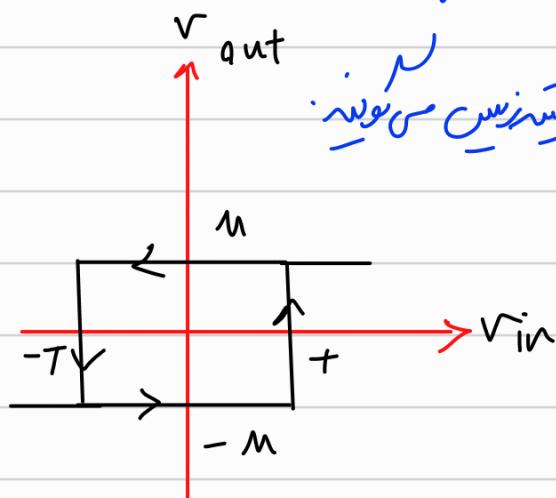
$$V_o = -V_c - \frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(t) dt \quad \Leftarrow \quad V_c = V_o + \frac{1}{C} \int_0^t i(c) dt$$

د. استینت‌تریگر مدار مقايسه کننده است و دال از پیش شب استینت‌تریگر در میانه معمولی و میانه از پیش معمولی است.

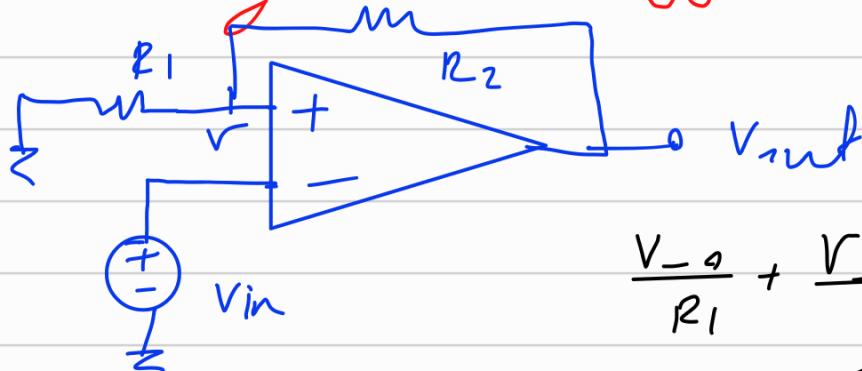
عنوان این اتفاق سمت خود را high و از سایر میانه دیگرها low نمایند. این این دنبال

حالت خود را محقق کنند. از این مدار در دروس IC های باعث بروج با الهام این خطا نمایند.

بنویس و از طریق آن درست شوید. سه دروغ این استینت‌تریگر را بخوبی خواهید.



### Inverting schmitt trigger

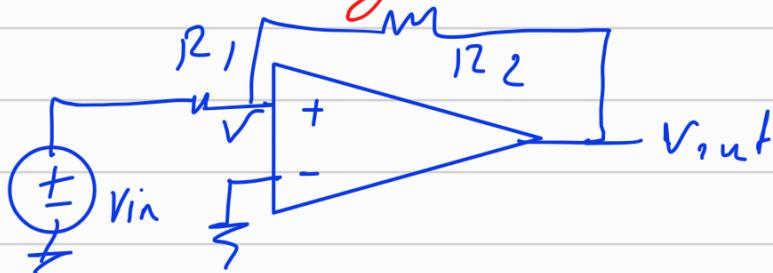


$$\frac{V_{-}}{R_1} + \frac{V}{R_2} = 0$$

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V \quad V = V_{in}$$

$$\Rightarrow V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{in}$$

### Non-Inverting schmitt trigger



$$\frac{V - V_{in}}{R_1} + \frac{V - V_{out}}{R_2} = 0$$

$$V_{out} = V_{in} \frac{R^2}{R_1}$$

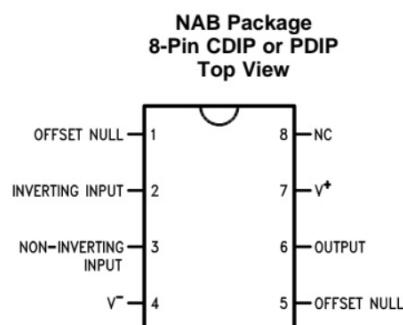
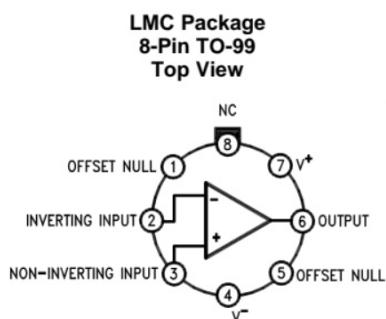
۲. با دانلود برگه‌داده (Datasheet) آپ‌امپ LM741 و مطالعه آن، به خواسته‌های زیر پاسخ دهید.

a. شماره پایه‌های این IC به همراه عملکرد هر یک را ذکر کنید.

b. ولتاژ کاری، توان مصرفی و محدوده دمای عملکرد این IC را بیان کنید.

c. جریان بایاس ورودی، مقاومت ورودی، بهره، سوینینگ ولتاژ خروجی، CMRR و توان مصرفی را گزارش کنید.

## 5 Pin Configuration and Functions



LM741H is available per JM38510/10101

### Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
INVERTING INPUT	2	I	Inverting signal input
NC	8	N/A	No Connect, should be left floating
NONINVERTING INPUT	3	I	Noninverting signal input
OFFSET NULL	1, 5	I	Offset null pin used to eliminate the offset voltage and balance the input voltages.
OUTPUT	6	O	Amplified signal output
V+	7	I	Positive supply voltage
V-	4	I	Negative supply voltage

→ *Opamp فضه*  
 → *-V*  
 → *V* *Opamp*  
 ↓ *بایاس*

بالایه ولایه سبک داشت نسبت نسبت تغذیه فعلی دراز. طبقه این ۵ و ۱۸ و لایه  
 بایاس بالایه داشت نسبت تغذیه فعلی دراز. طبقه این ۵ و ۱۸  
 دارای ورودی و خروجی است و در این دستگاه دارای میانی را بازگشایی نمود.  
 بایاس بالایه داشت نسبت تغذیه فعلی دراز. طبقه این ۵ و ۱۸

Power dissipation <sup>(4)</sup>	→ <i>توان مصرفی</i>	500	mW	
Differential input voltage	?	±30	V	
Input voltage <sup>(5)</sup>	{ <i>وینگ</i> } <i>وینگ</i>	±15	V	
Operating temperature <i>محدوده حرارت</i>	LM741, LM741A	-50	125	°C
	LM741C	0	70	

. b

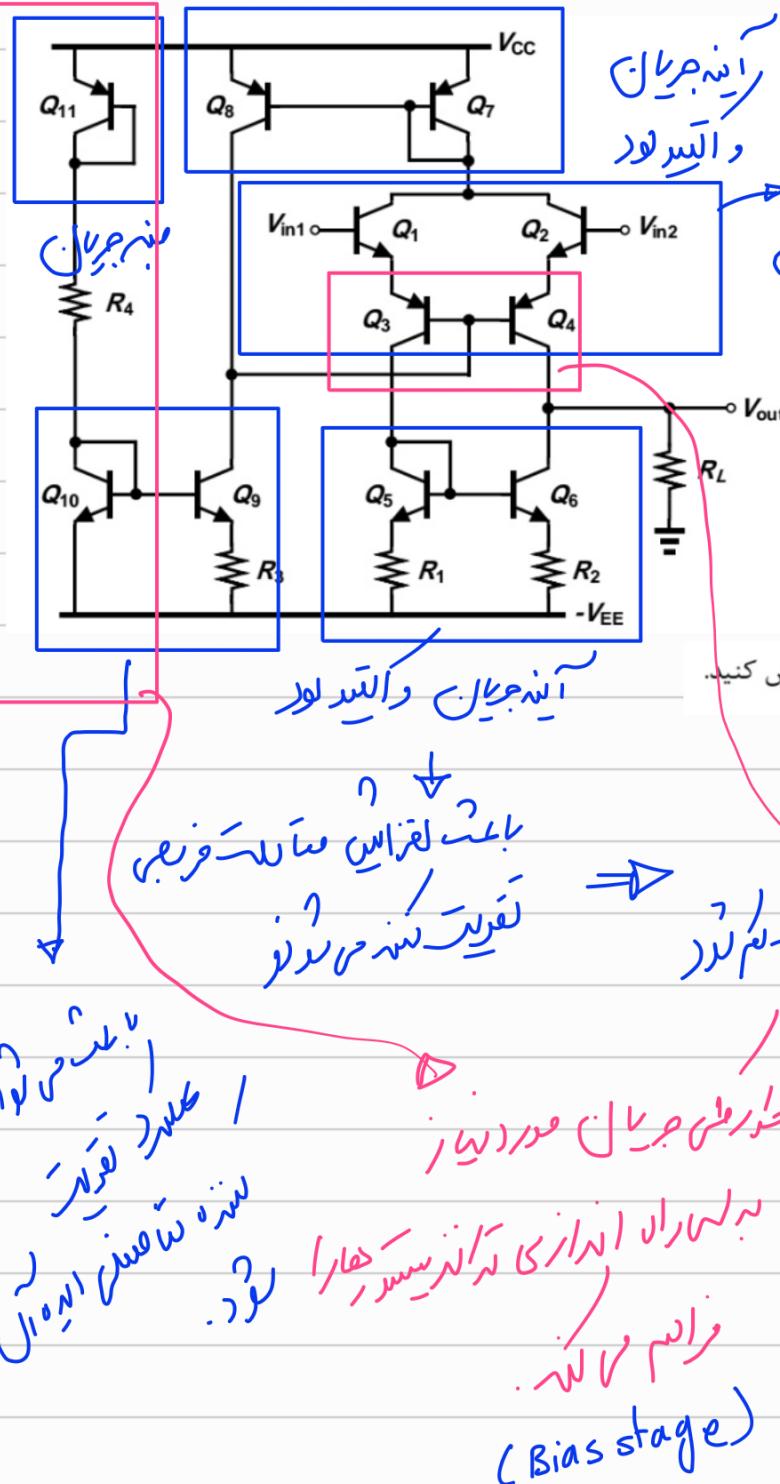
Input bias current <i>جالبیات بیاس</i>	T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>A</sub> <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>A</sub> <sub>MAX</sub>	80	500	nA
			1.5	µA
Input resistance <i> مقاومت بیاس</i>	T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>S</sub> = ±20 V	0.3	2	MΩ
Large signal voltage gain <i>حرف</i>	V <sub>S</sub> = ±15 V, V <sub>O</sub> = ±10 V, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ	T <sub>A</sub> = 25°C	50	200
		T <sub>A</sub> <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>A</sub> <sub>MAX</sub>	25	V/mV
Output voltage swing <i>محدوده ولتاژ خروجی</i>	V <sub>S</sub> = ±15 V	R <sub>L</sub> ≥ 10 kΩ	±12	±14
		R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ	±10	±13

. c

CMRR

Common-mode rejection ratio	$R_S \leq 10 \Omega$ , $V_{CM} = \pm 12 V$ , $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	80	95	dB
Power consumption	$V_S = \pm 15 V$	$T_A = 25^\circ C$	50	85
		$T_A = T_{AMIN}$	60	100
		$T_A = T_{AMAX}$	45	75

توان مصرفی



## ۲- طراحی مدار تقویت‌کننده

جدول ۱: مشخصات ترانزیستورهای شکل ۱

Parameter	NPN	PNP
$I_S (10^{-15} A)$	1	3
$\beta$	200	100
$r_b (\Omega)$	650	500
$r_c (\Omega)$	300	150
$V_A (V)$	200	50
$\tau_f (ns)$	1.1	27
$C_{je0} (pF)$	0.65	0.1
$C_{je0} (pF)$	0.35	1

۱. قسمت‌های مختلف این مدار را تفکیک کرده و وظیفه هر قسمت را مشخص کنید.

دستگاه افزایشی بجهه را در این بدل (اندیشه) نویسید  
لهم لدر

باعث شدن  
کلیه G<sub>1</sub> و G<sub>2</sub> باشد

emitter base junction

breakdown

in circuit

. منEmitter  $I_{out} = R_{in} \rightarrow G_1, G_2$   
from power

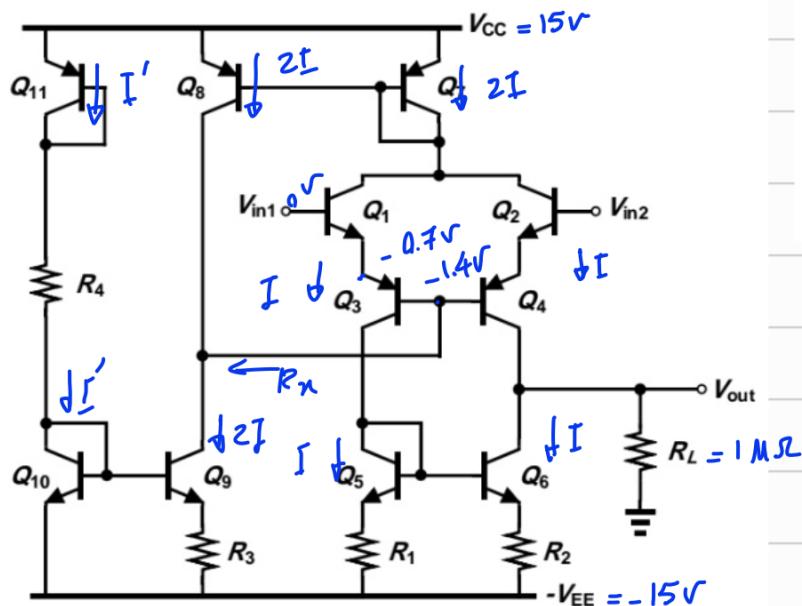
۲. با در نظر گرفتن مشخصات زیر برای تقویت کننده آن را به صورت تئوری طراحی کنید.

$$V_{CC} = -V_{EE} = 15V$$

Voltage gain = 50dB (for  $R_L = 1M\Omega$ )

Maximum Power Consumption = 12mW

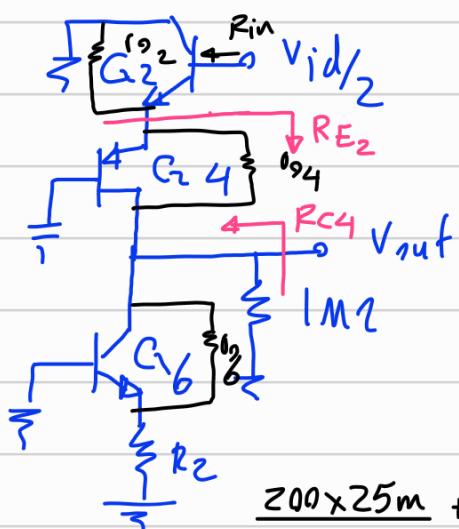
Input impedance >  $2M\Omega$



جدول ۱: مشخصات ترانزیستورهای شکل ۱

Parameter	NPN	PNP
$I_S (10^{-15}A)$	1	3
$\beta$	200	100
$r_b (\Omega)$	650	500
$r_c (\Omega)$	300	150
$V_A (V)$	200	50
$\tau_f (ns)$	1.1	27
$C_{je0} (pF)$	0.65	0.1
$C_{jc0} (pF)$	0.35	1

مشخصات ترانزیستورها:



$$R_{in} = 2R_{in} \gg 2M\Omega \quad r_{\pi 1} = \frac{\beta_{npn} V_T}{I} \quad r_{\pi 3} = \frac{\beta_{pnp} V_T}{I}$$

$$R_{in} = r_{\pi 1} + (1+\beta) \frac{r_{\pi 3}}{1+\beta} \gg 1M\Omega$$

$$\frac{\beta_{npn} V_T}{I} + \frac{(\beta_{npn} + 1)}{(\beta_{pnp} + 1)} \times \frac{\beta_{pnp} V_T}{I} \gg 1M\Omega$$

$$\frac{200 \times 25m}{I} + \frac{200 \times 25m}{I} = \frac{10}{I} \gg 1M\Omega \quad I \leq 0.01mA$$

س 2mA

$$\text{if } I = 8mA \quad 2I = 16mA \quad 30 \times (4I + I') \leq 12mW \quad 4I + I' \leq 400mA$$

$$I' \leq 368\mu A \rightarrow I' = 300\mu A = 0.3mA$$

$$A_V = \frac{R_{E2} \| r_{\pi 2}}{\frac{r_{\pi 2}}{\beta_{npn}} + (R_{E2} \| r_{\pi 2})} \times g_m 4 \quad R_{E2} = \frac{r_{\pi 4}}{\beta_{pnp}}$$

$$R_{C4} = 1M \parallel \left( r_{\pi 4} \times \frac{1+g_m 4 \frac{r_{\pi 2}}{\beta_{npn}}}{1+g_m 4 \frac{r_{\pi 2}}{\beta_{npn}}} \right) \parallel \left( r_{\pi 6} \times \frac{1+g_m 6 R_2}{1+g_m 6 R_2 / \beta_{pnp}} \right) = P_{out}$$

$$r_{\pi_1} = r_{\pi_2} = \frac{249 \times 25m}{8\mu} = 625K \quad V_{\pi_4} = \frac{100 \times 25m}{8\mu} = 312.5K$$

$$g_{m_2} = g_{m_4} = g_{m_6} = \frac{8\mu}{25m} = 0.32mV \quad r_o = \frac{249}{8\mu} = 25M \quad r_{o4} = \frac{50}{8\mu} = 6.25M$$

$$R_E = \frac{312.5K}{100} = 3.125K \quad R_C = 1M \parallel \left( \frac{6.25 \times 1 + 0.32m \times 625K}{200} \right) \parallel \left( 20M \times \frac{1 + 0.32m \times R_2}{1 + 0.32m \times R_2} \right)$$

$$\approx 3.125K \quad \approx 0.93M \quad \chi$$

$$Av = \frac{3.125K \parallel 25M}{\frac{625K}{200} + (3.125K \parallel 25M)} = 0.16 \times (0.93 \parallel \chi)$$

$$\approx 1/2 \quad \Rightarrow (0.93 \parallel \chi) \leq 1.6M \quad \chi = 0.93M \Rightarrow \chi \text{ is valid}$$

$$50dB = 20 \log Av \quad 2.5$$

$$Av \leq 316.2$$

if  $R_2 = 4K$  → swiney  
 $\chi = 51.6M$  ✓  $\rightarrow$  not pos.

$$\Rightarrow \text{Max } Av = 143.8 \rightarrow \text{gain} \approx 43.45dB$$

$$R_{out} \approx 0.93M\Omega$$

$$\Rightarrow R_1 = R_2 = 4K\Omega$$

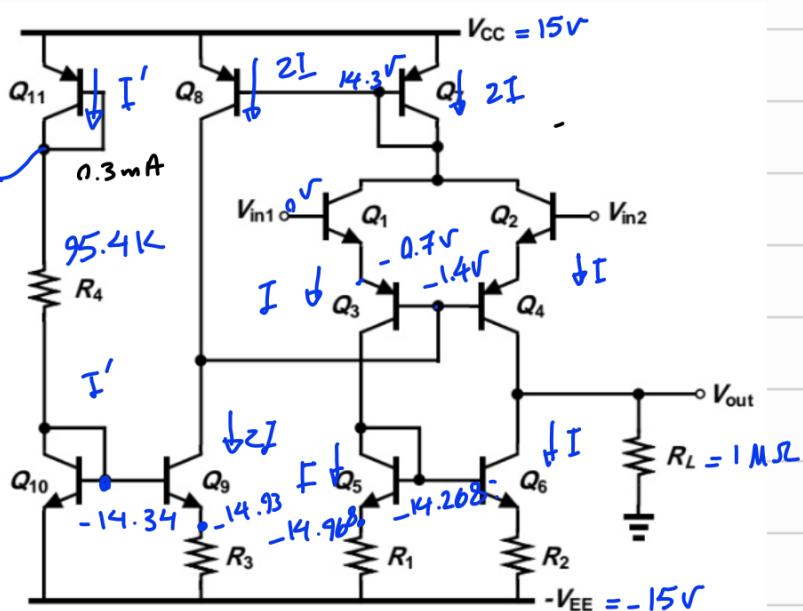
$$V_{BEQ10} = V_{BEQ9} + R_3 \times 2I \quad 14.3V$$

$$r_T / \ln \frac{I'}{2I} \approx R_3 \times 2I$$

$$25m \ln \left( \frac{0.3m}{16\mu} \right) \quad R_3 \approx 458K$$

$$V_{BEQ10} = V_T \ln \frac{I'}{I_S} \approx 25m \times \ln 3 \times 10^{-11} = 0.66V$$

$$R_4 = \frac{28.64}{0.3m} = 95.4K$$

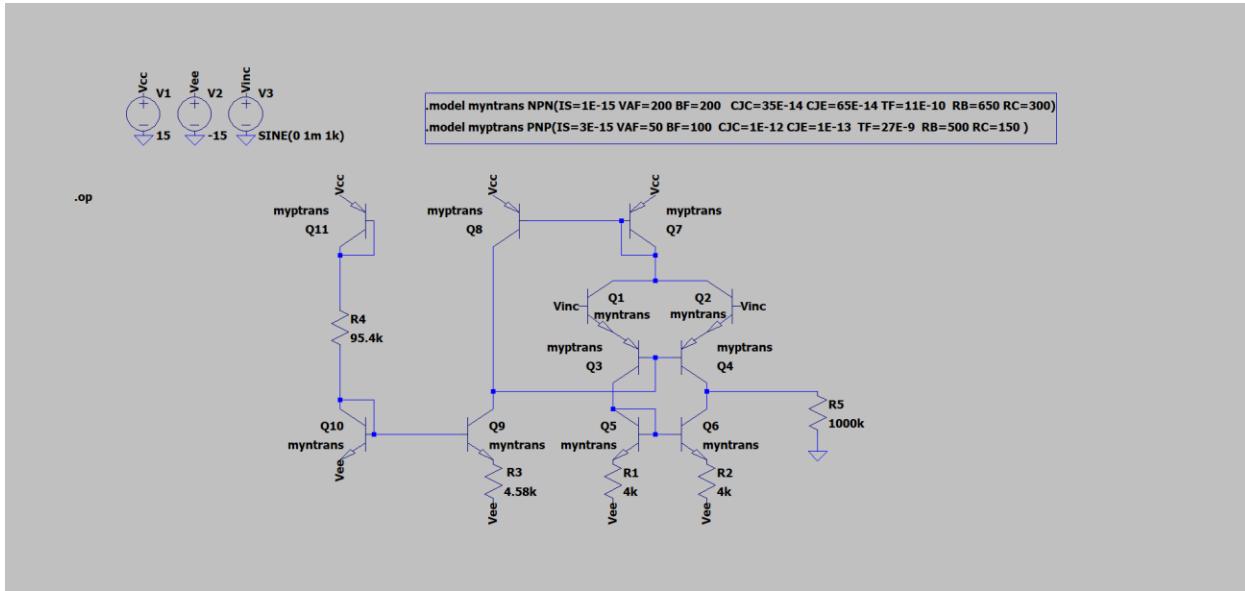


۳. با انجام شبیه‌سازی DC، نقطه کار ترانزیستورها به همراه پارامترهای  $ac$ ,  $g_m$  و  $r_o$  را در یک جدول مشخص کرده و با مقدار ثئوری مقایسه کنید.

Trans	$I_C$	$ r_{CE} $	$g_m$	$r_{II}$	$r_o$	Trans	$I_C$	$ r_{CE} $	$g_m$	$r_{II}$	$r_o$
G <sub>1</sub>	$8\mu$	14.3	0.32m	625K	25M	G <sub>7</sub>	$16\mu$	0.7	0.64m	156.25K	3.125M
G <sub>2</sub>	$8\mu$	14.3	0.32m	625K	25M	G <sub>8</sub>	$16\mu$	16.4	0.64m	156.25K	3.125M
G <sub>3</sub>	$8\mu$	13.6	0.32m	312.5K	6.25 M	G <sub>9</sub>	$16\mu$	13.5	0.64m	312.5K	12.5M
G <sub>4</sub>	$8\mu$	(?)	0.32m	312.5K	6.25 M	G <sub>10</sub>	0.3m	0.66	12m	16.67K	666.6K
G <sub>5</sub>	$8\mu$	0.7	0.32m	625K	25M	G <sub>11</sub>	0.3m	0.7	12m	8.33K	166.6K
G <sub>6</sub>	$8\mu$	(?)	0.32m	625K	25M						

High Impedance Current / (?)

۳. با انجام شبیه‌سازی DC، نقطه کار ترانزیستورها به همراه پارامترهای ac ( $r_o$ ,  $r_{\pi}$ ,  $g_m$ ) را در یک جدول مشخص کرده و با مقدار تئوری مقایسه کنید.



شکل ۱: مدار طراحی شده

جدول ۱: نقطه کار ترانزیستورها و پارامترهای ac (شبیه‌سازی)

Name:	q11	q8	q7	q4	q3	q10	q9	q5	q6	q2	q1
Model:	myptrans	myptrans	myptrans	myptrans	myptrans	myptrans	myptrans	myptrans	myptrans	myptrans	myptrans
Ib:	-2.98e-06	-1.27e-07	-1.27e-07	-6.08e-08	-5.40e-08	1.49e-06	7.86e-08	3.38e-08	3.27e-08	2.84e-08	3.20e-08
Ic:	-2.97e-04	-1.66e-05	-1.27e-05	-6.06e-06	-6.83e-06	2.99e-04	1.68e-05	6.77e-06	6.98e-06	6.09e-06	6.86e-06
Vbe:	-6.56e-01	-5.73e-01	-5.73e-01	-5.54e-01	-5.51e-01	6.84e-01	6.07e-01	5.85e-01	5.85e-01	5.81e-01	5.84e-01
Vbc:	0.00e+00	1.56e+01	0.00e+00	-2.07e-01	1.33e+01	0.00e+00	-1.32e+01	0.00e+00	-1.35e+01	-1.44e+01	-1.44e+01
Vce:	-6.56e-01	-1.61e+01	-5.73e-01	-3.47e-01	-1.38e+01	6.84e-01	1.38e+01	5.85e-01	1.40e+01	1.50e+01	1.50e+01
BetaDC:	9.99e+01	1.31e+02	1.00e+02	9.96e+01	1.27e+02	2.00e+02	2.13e+02	2.00e+02	2.14e+02	2.15e+02	2.15e+02
Gm:	1.15e-02	6.43e-04	4.90e-04	2.34e-04	2.64e-04	1.16e-02	6.48e-04	2.62e-04	2.70e-04	2.35e-04	2.65e-04
Rpi:	8.69e+03	2.04e+05	2.04e+05	4.25e+05	4.79e+05	1.73e+04	3.29e+05	7.64e+05	7.90e+05	9.11e+05	8.09e+05
Rx:	5.00e+02	5.00e+02	5.00e+02	5.00e+02	5.00e+02	6.50e+02	6.50e+02	6.50e+02	6.50e+02	6.50e+02	6.50e+02
Ro:	1.68e+05	3.94e+06	3.94e+06	8.20e+06	9.26e+06	6.69e+05	1.27e+07	2.96e+07	3.06e+07	3.52e+07	3.13e+07
Cbe:	3.11e-10	1.75e-11	1.34e-11	6.47e-12	7.28e-12	1.37e-11	1.70e-12	1.26e-12	1.26e-12	1.22e-12	1.26e-12
Cbc:	1.02e-12	3.62e-13	1.00e-12	1.11e-12	3.81e-13	3.65e-13	1.33e-13	3.50e-13	1.33e-13	1.30e-13	1.30e-13
Cjs:	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00
BetaAC:	9.99e+01	1.31e+02	9.99e+01	9.95e+01	1.26e+02	2.00e+02	2.13e+02	2.00e+02	2.13e+02	2.14e+02	2.14e+02
Cbx:	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00
Ft:	5.87e+06	5.72e+06	5.42e+06	4.91e+06	5.49e+06	1.30e+08	5.63e+07	2.59e+07	3.08e+07	2.77e+07	3.04e+07

جدول ۲: نقطه کار ترانزیستورها و پارامترهای ac (تئوری)

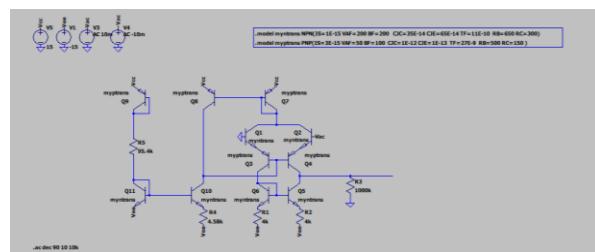
Trans	$I_c$	$ r_{ce} $	$g_m$	$r_{\pi}$	$r_o$	Trans	$I_c$	$ r_{ce} $	$g_m$	$r_{\pi}$	$r_o$
G <sub>1</sub>	$8\mu A$	14.3	0.32m	625K	25M	G <sub>7</sub>	$16\mu A$	0.7	0.64m	156.25K	3.125M
G <sub>2</sub> -2	$8\mu A$	14.3	0.32m	625K	25M	G <sub>8</sub>	$16\mu A$	16.4	0.64m	156.25K	3.125M
G <sub>3</sub>	$8\mu A$	13.6	0.32m	312.5K	6.25 M	G <sub>9</sub>	$16\mu A$	13.5	0.64m	312.5K	12.5M
G <sub>4</sub> -1	$8\mu A$	(?)	0.32m	312.5K	6.25 M	G <sub>10</sub>	0.3m	9.66	12m	16.67K	666.6K
G <sub>5</sub>	$8\mu A$	0.7	0.32m	625K	25M	G <sub>11</sub>	0.3m	9.7	12m	8.33K	166.6K
G <sub>6</sub>	$8\mu A$	(?)	0.32m	625K	25M						

↑ High Impedance Current / (?)

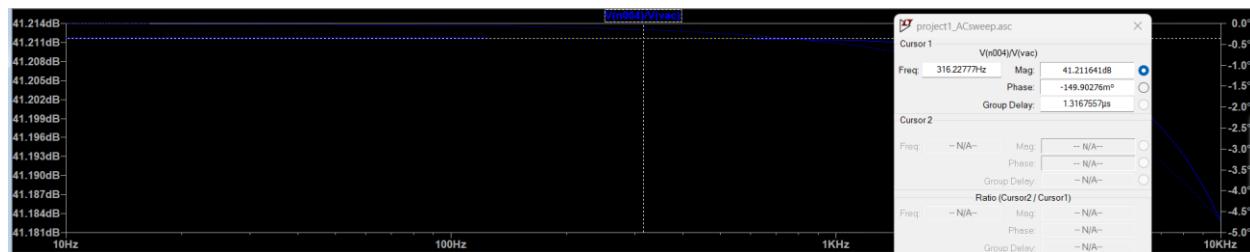
همانطور که در جدول ۱ و ۲ میبینیم مقادیر تئوری به شبیه سازی نزدیک است اما کاملاً منطبق نیستند. زیرا که در تئوری از جریان بیس صرف نظر میشود اما در شبیه سازی دقیق‌تر است. همچنین در تئوری ما بتا را ثابت میگیریم اما در واقعیت متغیر است.

#### ۴. با انجام شبیه سازی:

- a. نمودار دامنه خروجی بر حسب ورودی به ازای فرکانس‌های مختلف بر حسب dB رسم کرده و با مقدار تئوری مقایسه کنید.



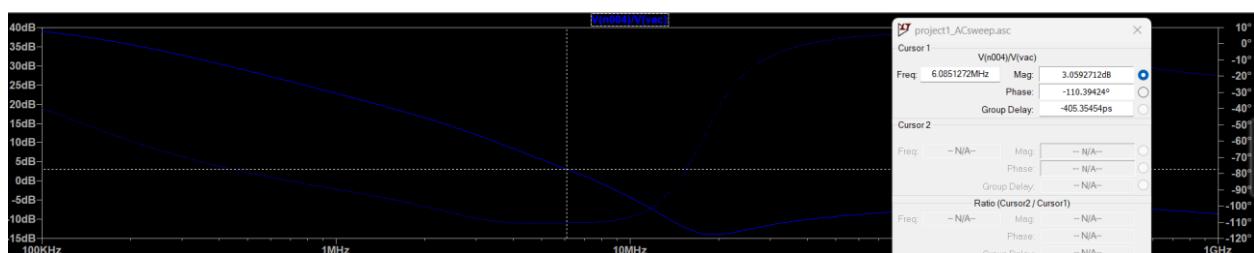
شکل ۲: مدار طراحی شده



شکل ۳: بهره با ac sweep

همانطور که در شکل ۳ میبینیم بهره ما حدود 41.2dB است. در تئوری بهره را حدود 44dB درآوردیم که نزدیک است. مقدار شبیه سازی دقیق‌تر است و این اختلاف به علت تقریب‌هایی است که زده شده در محاسبات تئوری.

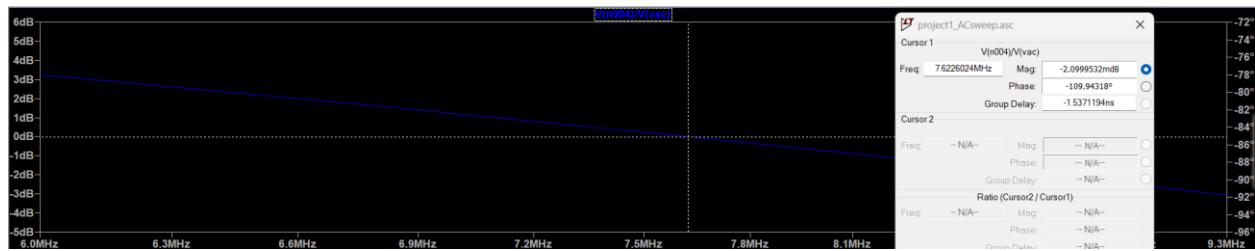
#### b. در چه فرکانسی بهره از 3dB کمتر می‌شود؟



شکل 4: بهره کمتر از 3dB

مطابق شکل 4 یعنی حدود فرکانس 6MHz.

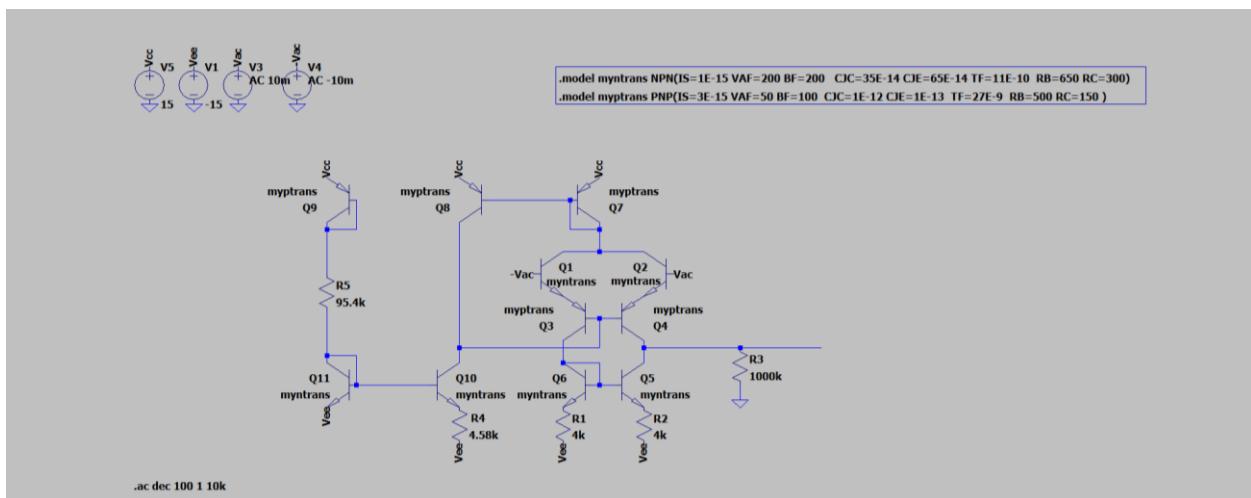
c. فرکانسی که بهره ولتاژ برابر یک (0dB) می‌شود فرکانس بهره واحد (Unity Gain BandWidth) نام دارد. این فرکانس را گزارش کنید.



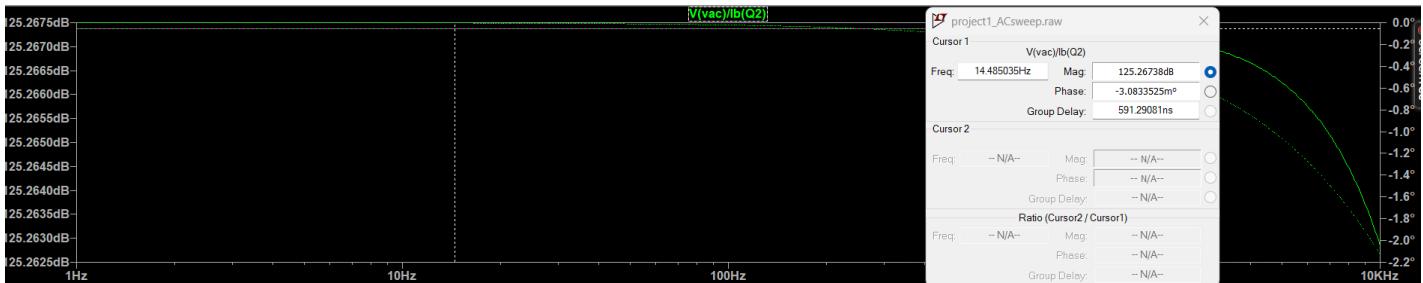
شکل 5: بهره یک یا 0dB

مطابق شکل 5 در فرکانس حدود 7.6MHz

d. مقاومت ورودی و خروجی را به ازای فرکانس‌های مختلف گزارش کرده و با مقدار تغیری مقایسه کنید.

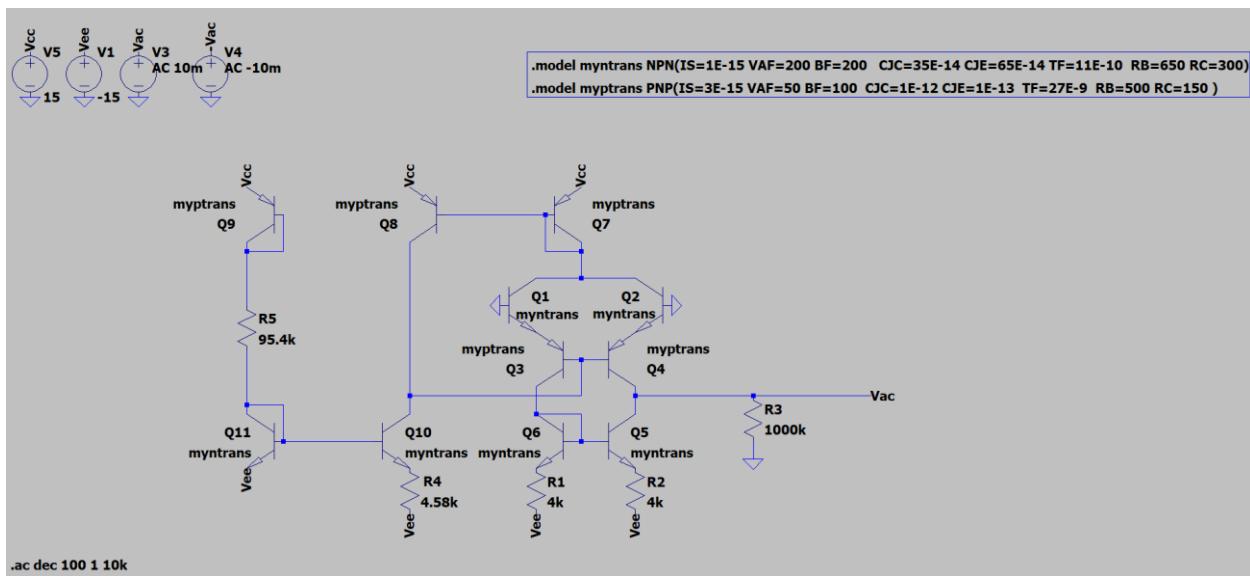


شکل 6: مدار طراحی شده

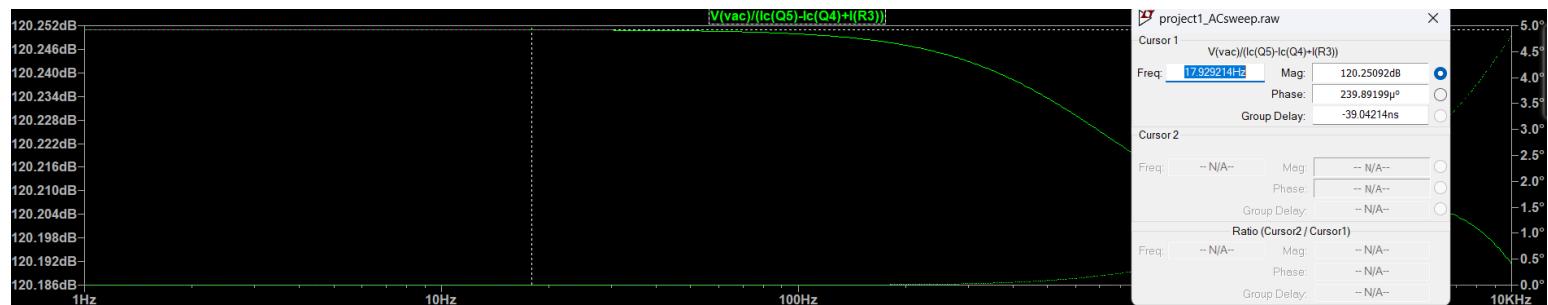


شکل 7: مقاومت ورودی

مطابق شکل 7 مقاومت ورودی دیفرانسیلی ما حدود 125.26dB میباشد که یعنی حدود  $1.83M\Omega$  اهم که با دو برابر کردن آن مقاومت ورودی کل ما بدست می آید که میشود چیزی حدود  $3.66M\Omega$  اهم که بیشتر از  $2M\Omega$  است پس به خواسته امان رسیدیم اما در تئوری این مقدار  $2.5M\Omega$  اهم درمی آید. علت این اختلاف تفاوت های در حد 1 میکرو جریان در بایاس و همچنین متغیر بودن بتا میباشد که باعث اختلاف فاحش در  $r_{pi}$  ها شده و درنتیجه مقاومت ورودی بسیار بزرگ تر از تئوری در آمده است.

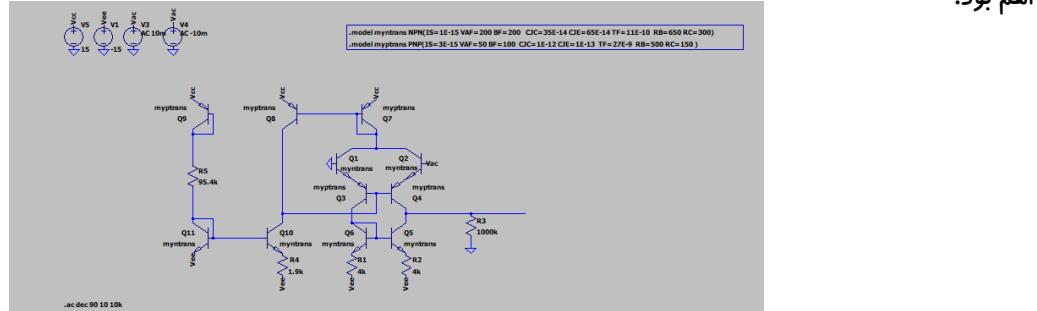


شکل 8: مدار طراحی شده

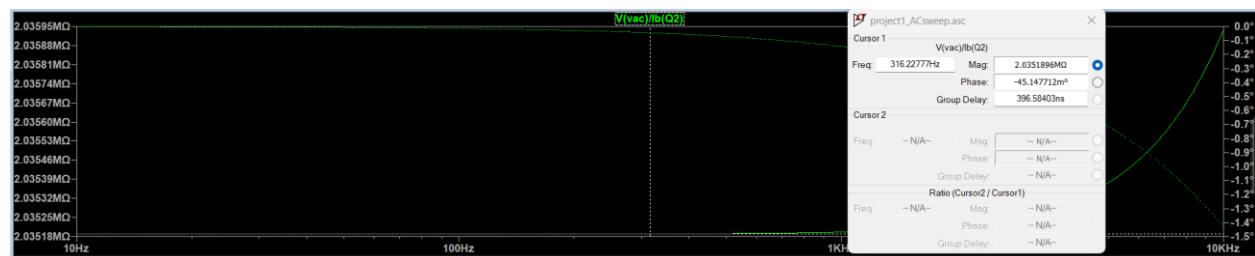


شکل 9: مقاومت خروجی

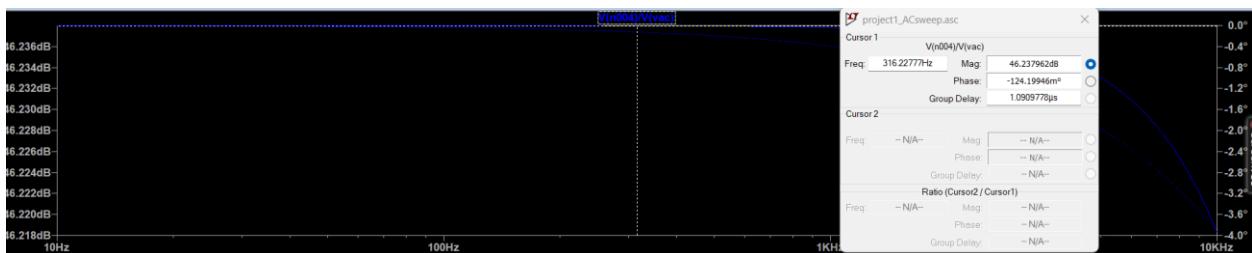
طبق شکل 9 مقاومت خروجی حدود 120Db میباشد که یعنی حدود 1M اهم که با تقریب خوبی برابر مقدار تئوریست که 0.93M اهم بود.



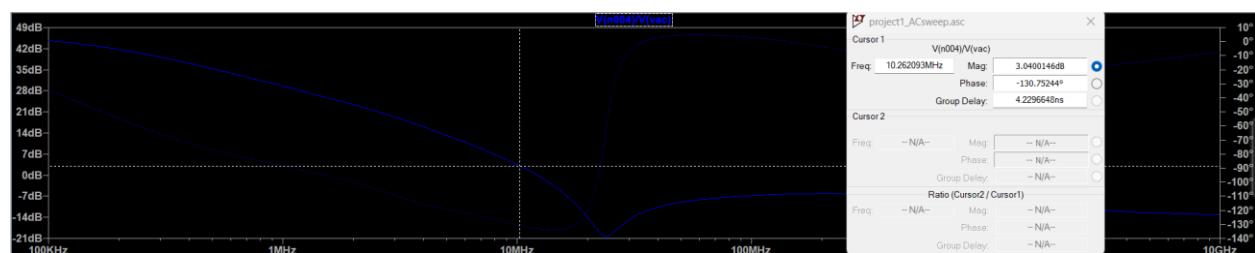
شکل 10: مدار اصلاح شده



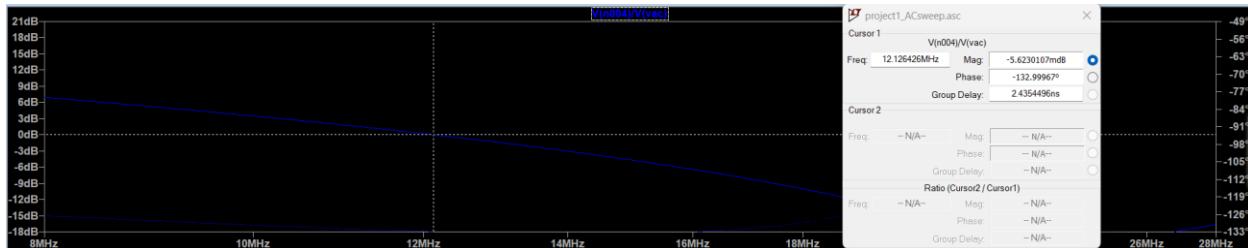
شکل 11: مقاومت ورودی جدید



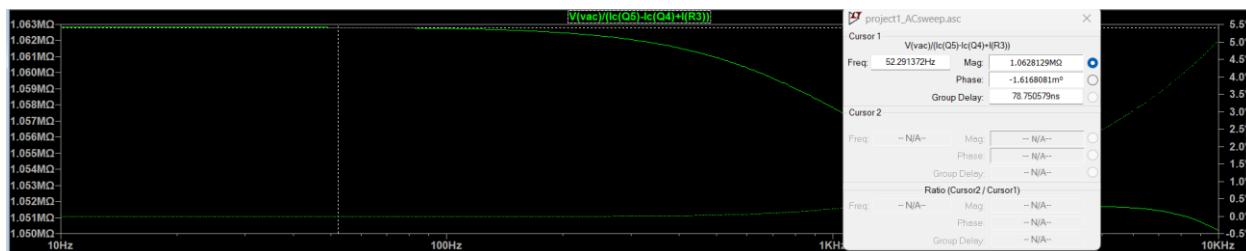
شکل 12: بهره جدید



شکل 13: بهره کمتر از 3Db جدید



شکل 14: بهره یک یا 0dB جدید



شکل 15: مقاومت خروجی جدید

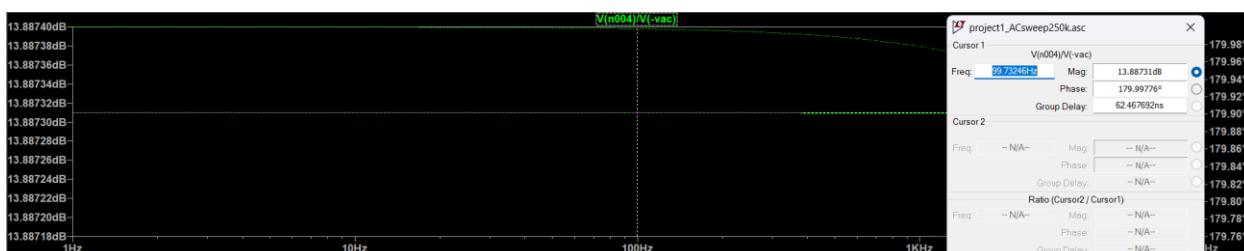
در این قسمت با اصلاح مدار شبیه سازی شده ام توانستم طبق شکل 11 به مقاومت ورودی 2M اهم برسم و همچنین بهره طبق شکل 12 چیزی حدود 46.23Db که بسیار نزدیک تر مقداریست که میخواستیم شد.

از اینجا به بعد با این مدار شبیه سازی شده به سوالات پاسخ میدهم.

e. خواسته های a تا d این بخش را برای وقتی که یک مقاومت بار به اندازه ۲۵۰ کیلو اهم (به جای ۱ مگا اهم) در خروجی قرار داشته باشد تکرار کرده و نتایج را مقایسه کنید. درباره دلایل افت شدید بهره استدلال کنید و راهکاری برای مقابله با آن (بدون تغییر مقدار مقاومت) ارائه دهید. راهکار خود را شبیه سازی کرده و بهره را مجدداً رسم نمایید.

#### ۴. با انجام شبیه سازی ac:

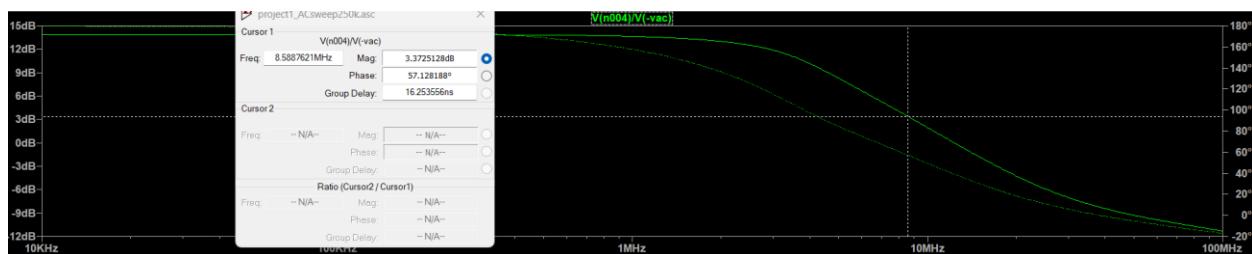
a. نمودار دامنه خروجی بر حسب ورودی به ازای فرکانس های مختلف بر حسب dB رسم کرده و با مقدار تئوری مقایسه کنید.



شکل 16: بهره

مطابق شکل 16 بهره حدود 13.9dB که در مقایسه به بهره ای که در قسمت قبل به دست آورده بسیار کم است.

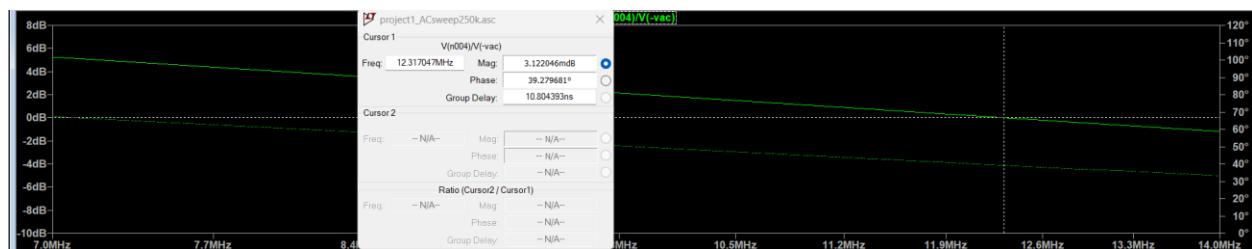
b. در چه فرکانسی بهره از 3dB کمتر می شود؟



شکل 17: بهره 3dB از

مطابق شکل 17 حدود فرکانس 8.6MHz که طبق شکل 13 حدود 1.7MHz با مدار قبلی اختلاف دارد.

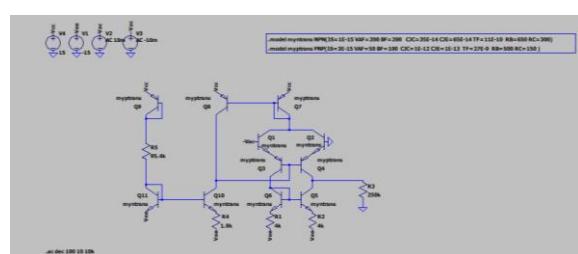
c. فرکانسی که بهره ولتاژ برابر یک (0dB) می شود فرکانس بهره واحد (Unity Gain BandWidth) یا UGBW) نام دارد. این فرکانس را گزارش کنید.

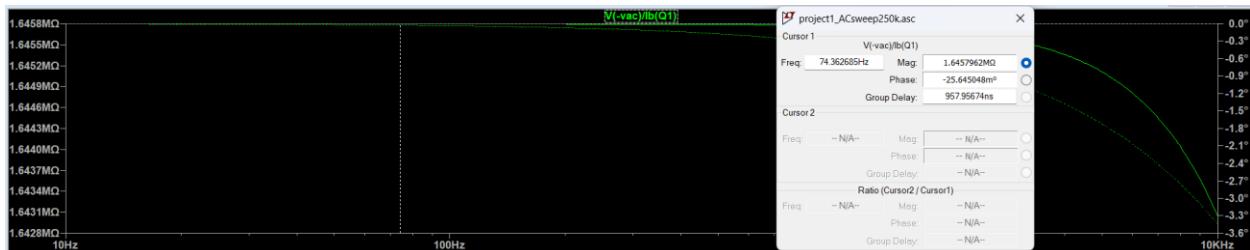


شکل 18: بهره 0dB یا

مطابق شکل 18 در فرکانس حدود 12.32MHz مطابق شکل 14 حدود 0.2MHz با مدار قبلی اختلاف دارد.

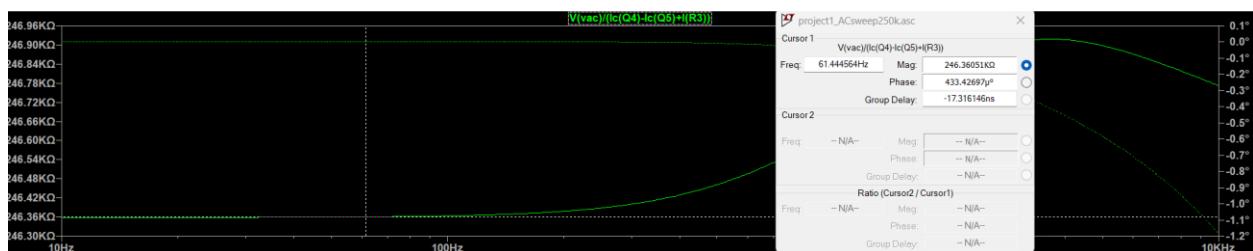
d. مقاومت ورودی و خروجی را به ازای فرکانس‌های مختلف گزارش کرده و با مقدار ثئوری مقایسه کنید.





شکل 20: مقاومت ورودی

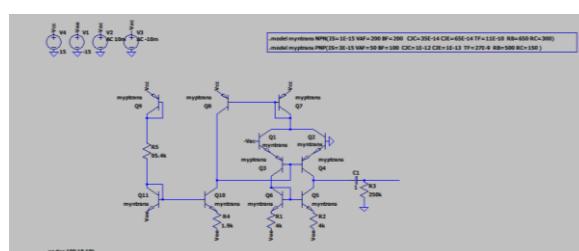
مطابق شکل 20 مقاومت ورودی  $1.65\text{M}\Omega$  اهم میباشد. که در مقایسه با مقاومت ورودی قبلی که  $2\text{M}\Omega$  اهم بود کمتر است که علت آن جریان کشیدن  $\text{RL}$  و کم شدن  $\text{rpi}$  هاست.



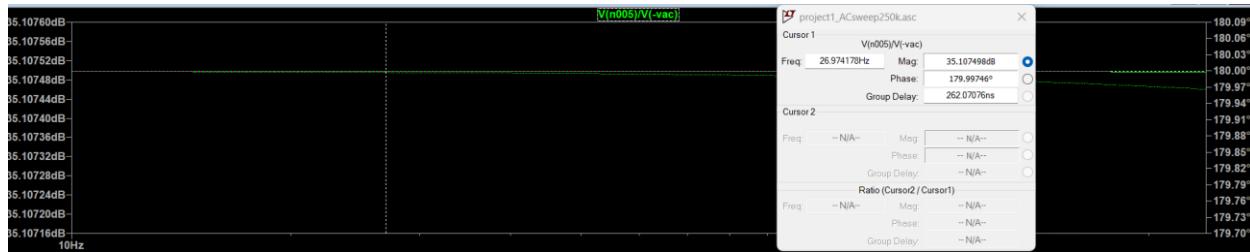
شکل 21: مقاومت خروجی

مطابق شکل 21 مقاومت خروجی حدود  $0.25\text{M}\Omega$  اهم میباشد که در مقایسه با شکل 15 که مقاومتی حدود  $1\text{M}\Omega$  میدهد بسیار کمتر است که دلیلش مقاومت  $250\text{k}$  به جای  $1\text{M}\Omega$  است.

دلیل افت شدید بهره این است که مقاومت کوچک مانند  $250\text{k}$  دیگر مانند  $1\text{M}\Omega$  آنقدری بزرگ نیست که از جریانش صرف نظر شود و باعث یک حلقه در طبقه آخر میشود و جریان میکشد و باعث تقسیم ولتاژ خروجی شده و ولتاژ خروجی کمی به ما میدهد. همچنین مقاومت خروجی را کاهش میدهد و بهره به تبع کاهش می یابد. راهکار مقابله با آن گذاشتن خازن bypass در حلقه خروجیست. که در  $\text{dc}$  مدار باز است و جریانی دیگر کشیده نمیشود توسط این مقاومت.



شکل 22: مدار اصلاح شده

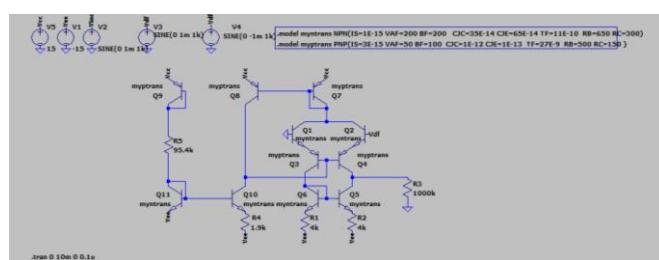


شکل 23: بهره جدید

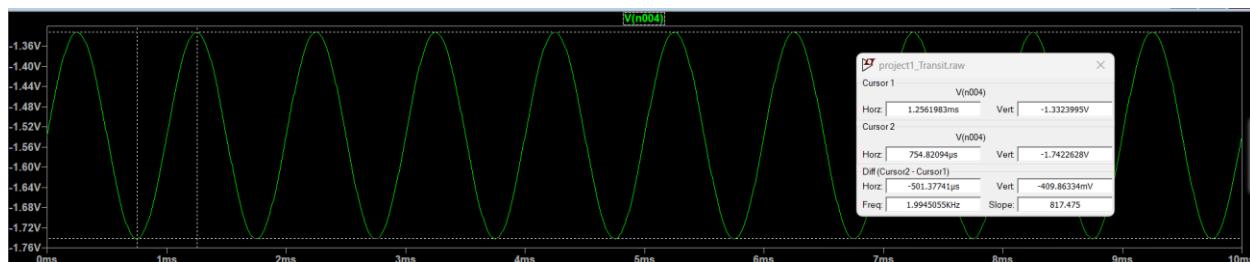
مطابق شکل 23 بهره ما حالا حدود 35.1dB میشود که خیلی بهتر از قبلیست!

## ۵. با انجام شبیه‌سازی Transient در فرکانس مرکزی (مثلاً 1kHz)

a. مقدار بهره را با مقدار بهره به دست آمده در بخش شبیه‌سازی ac مطابقت دهید.



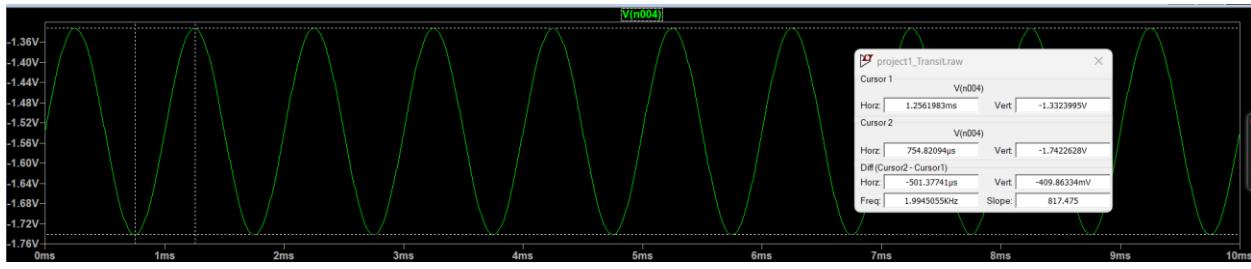
شکل 24: مدار طراحی شده



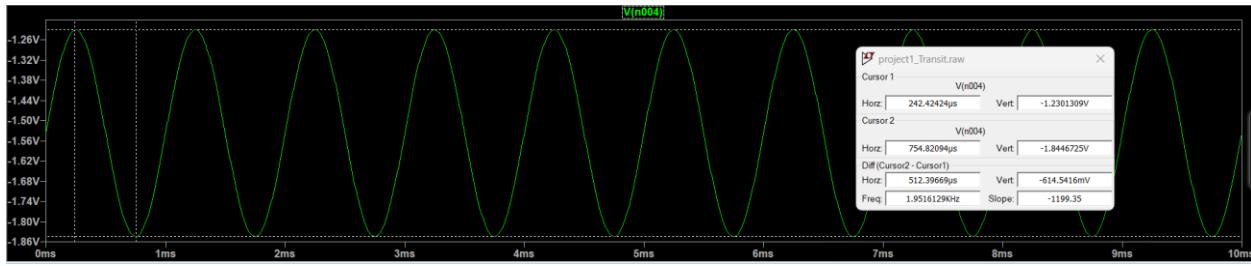
شکل 25: بهره

مطابق شکل 25 پیک تو پیک خروجی چیزی حدود 0.41v است و پیک تو پیک ورودی طبق شکل 24 است که به ما بهره 205 dB میدهد که چیزی حدود 46.2Db است که برابر بهره است که در تحلیل AC بدست آوردیم.

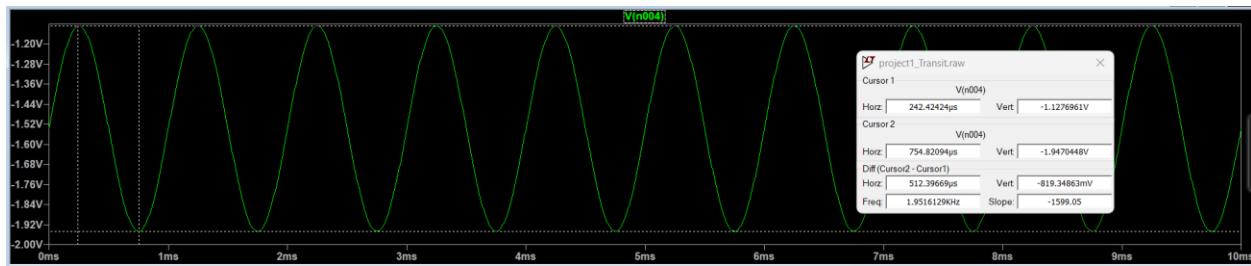
b. حداکثر سوینینگ خروجی را با اعمال ورودی‌های مختلف و مشاهده سیگنال خروجی، به طور تقریبی بیابید.



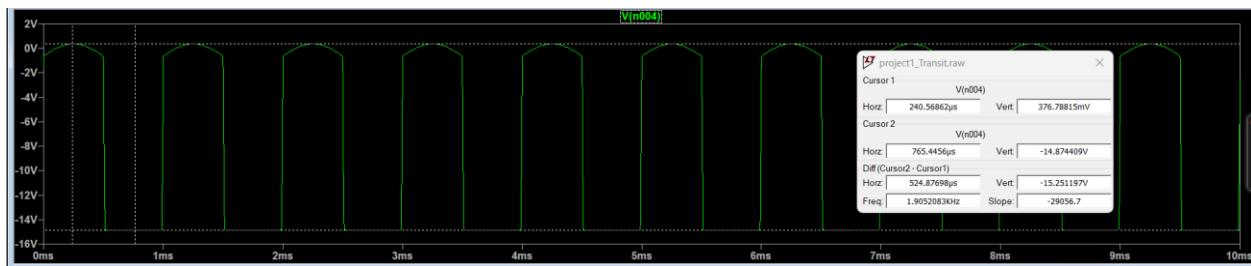
شکل 26: سوینگ با ورودی 1mV



شکل 27: سوینگ با ورودی 1.5mV



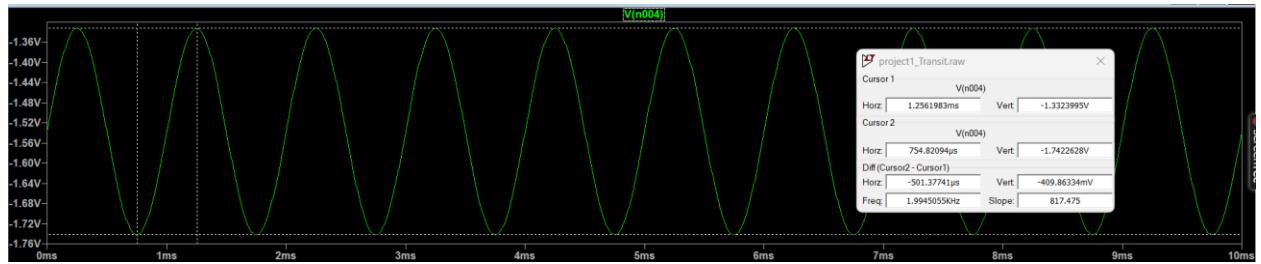
شکل 28: سوینگ با ورودی 2mV



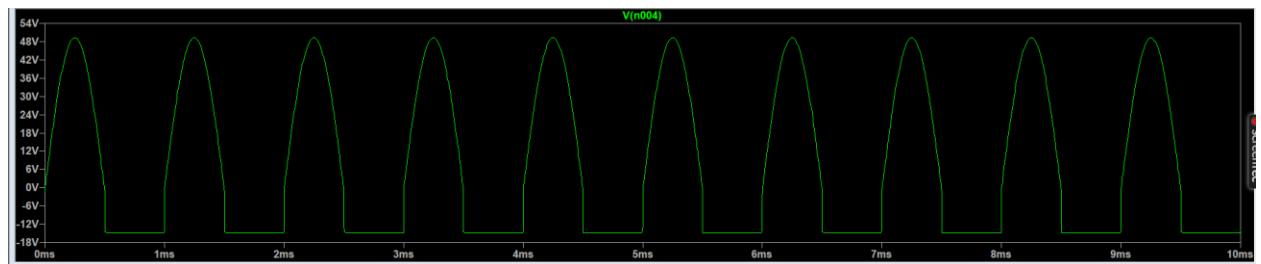
شکل 29: سوینگ با ورودی 1V

مطابق اشکال 25 تا 28 بیشترین سوینگ پیک تو پیک ممکن 15.2V را دارد.

یک بار مدار را به ازای ورودی با دامنه کم (به طوری که عملکرد خطی مدار کاملاً حفظ شود) و یک بار مدار را به ازای ورودی ای که رفتار مدار را غیر خطی می‌کند شبیه‌سازی کرده و شکل موج خروجی را نمایش دهید.

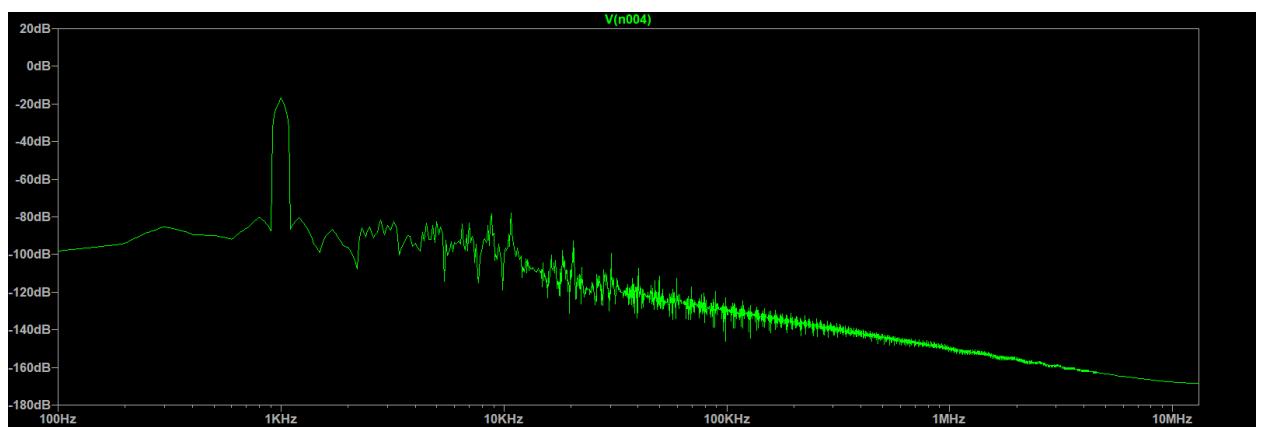


شکل 31: خروجی خطی به ازای ورودی دیفرانسیلی 1mv

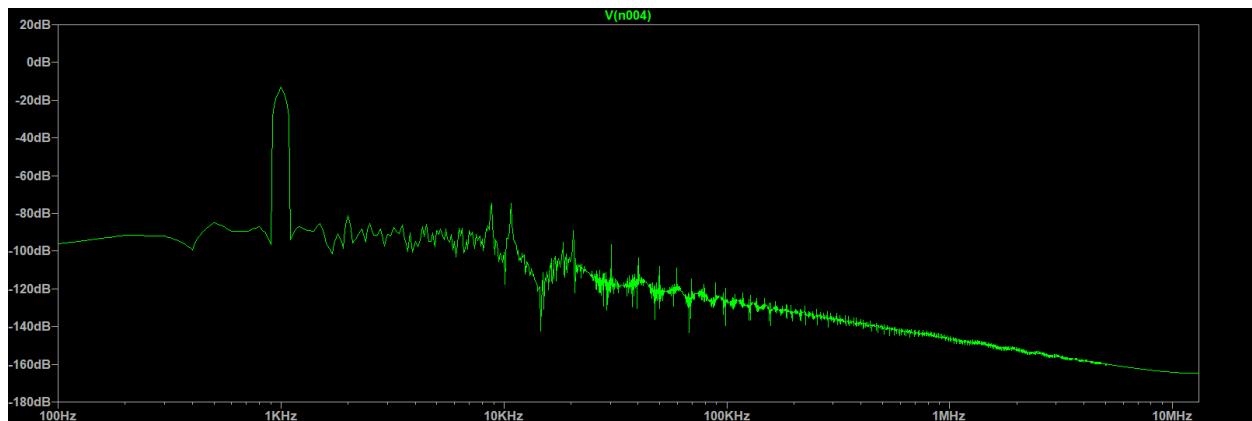


شکل 32: خروجی غیر خطی به ازای ورودی دیفرانسیلی 50v

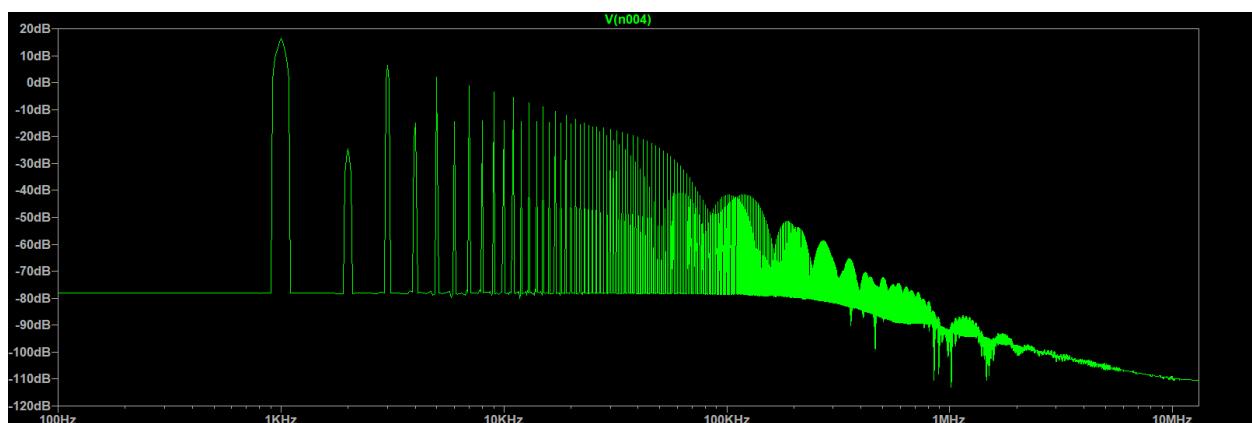
د. تبدیل فوریه دو خروجی قسمت b را رسم کرده و درباره هارمونیک‌های ایجاد شده بحث کنید.



شکل 33: فوریه با ورودی 1mv



شکل 34: فوریه با ورودی 1.5mV



شکل 35: فوریه با ورودی 1v

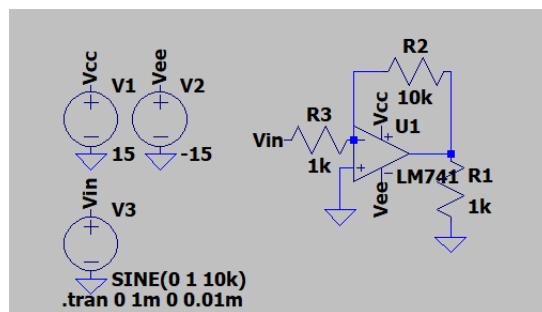
همانطور که مشاهده میشود آنالیز فوریه به ما شهودی از اعوجاج و نا هماهنگی خروجی میدهد و با مقایسه شکل 35 که به ازای ورودی است که مدار را غیر خطی میکند و شکل های 33 و 34 که مدار خطیست متوجه میشویم که هرچه فوریه ما نا هماهنگ تر و اعوجاج بیشتر و دور تر از سینوسی باشد مدار ما غیر خطی تر است و هارمونیک های ناخواسته به خروجی اضافه شده است که باعث شده است که شکل موج خروجی از حالت سینوسی خارج شود.

در شکل های 33 و 34 فرکانس 1k که همان فرکانس ورودیست غالب می باشد و بیشترین دامنه متعاق به این فرکانس است اما در شکل 35 فرکانس های دیگر غالب هم هستند که نتیجه هارمونیک های ناخواسته است.

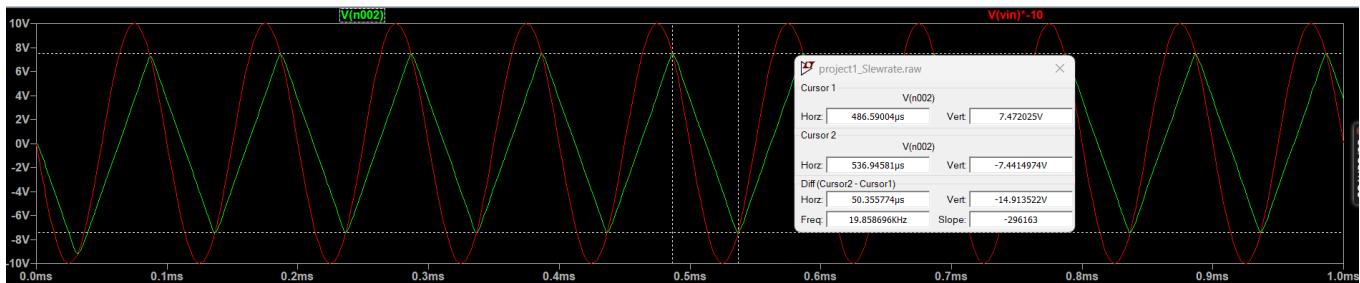
۶. درباره مشخصه Slew Rate تحقیق کرده و آن را برای مدار خود گزارش کنید. مقدار آن با مقدار گزارش شده در برگه داده چقدر تفاوت دارد؟ (امتیازی)

این مشخصه به معنای این است که وقتی ورودی بزرگی به opamp میدهیم . در فرکانس بالا چند ولت را طی چند میکرو ثانیه طی میکند.از آنجایی که خروجی واقعی مانند حالت ایده آل آنی و به بهره ایده آل نمیرسد این مشخصه تعریف شده است.

در واقع به نحوی این مشخصه تاخیر مدار را به ما نشان میدهد.



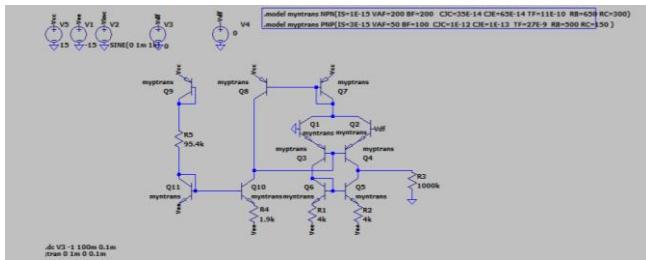
شکل 36: مدار طراحی شده



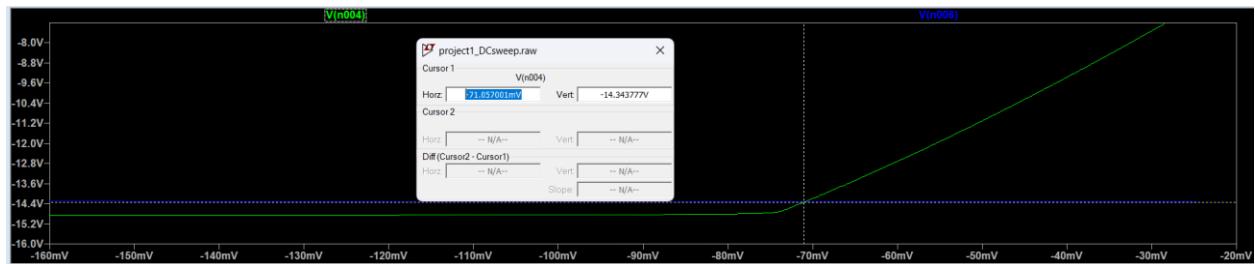
شکل 37: شکل موج ورودی ضرب در بهره ایده آل / شکل موج خروجی

طبق شکل 37 مدار ما حدود slew rate 0.3v/us میباشد اما در datasheet این مشخصه 0.5v/us گزارش شده است که اختلاف را شاهد هستیم.

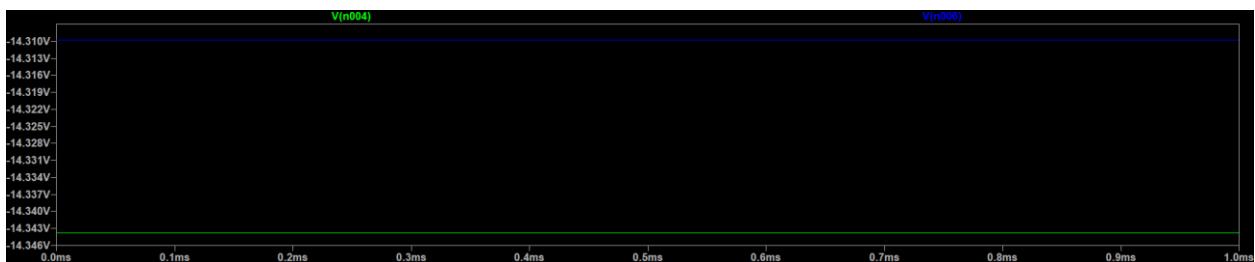
۷. یکی از پدیدهای ناخواسته در تقویت‌کننده‌های عملیاتی، وجود آفست DC است. در واقع انتظار داریم در یک تقویت‌کننده ایده‌آل با تقارن کامل در المان‌ها، با اعمال ورودی دیفرانسیلی در ورودی، مقدار ولتاژ صفر در خروجی مشاهده کنیم. اما اتفاقی که در واقعیت می‌افتد این است که این ولتاژ صفر نیست و یک مقدار ثابتی دارد که درباره علل پدید آمدن آن و راهکارهای مقابله با آن در دروس بعدی الکترونیک پرداخته می‌شود. در شبیه‌سازی به علت ایده‌آل بودن پارامترها هیچ آفست قابل توجهی ملاحظه نمی‌کنید اما در واقعیت این آفست می‌تواند بسیار مخرب باشد. با بررسی برگه‌داده تقویت‌کننده LM741، بررسی کنید که برای کنترل آفست چه تدبیری اندیشیده شده است. سپس این راهکار را در مدار خود اعمال کرده و نتیجه‌ی تغییر آفست DC را گزارش کنید. (امتیازی)



شکل 38: مدار طراحی شده



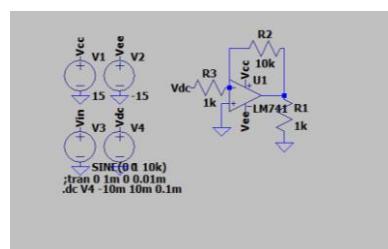
شکل 39: تنظیم آفست با dcanalys



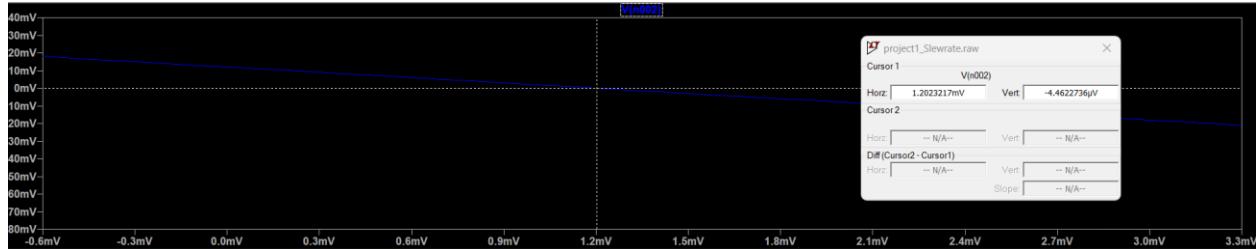
شکل 40: خروجی تنظیم شده

برای تنظیم خروجی به نحوی که تقارن حفظ شود و ولتاژ سمت چپ و راست برابر شود از DCsweep استفاده میکنیم و یک ورودی را سوئیپ میکنیم تا بینیم خروجی در چه اندازه ای از ورودی به ولتاژ دلخواه ما میرسد و به همان اندازه به ورودی آفست میدهیم. طبق شکل 40 خروجی خیلی نزدیک به تقارنش شد و دقیق تر از این هم میتوان انجام داد.

مقدار آفست حدود 71mV شد اما در دیتا شیت داریم حدود max 5mv که این برای کل آپ امپ است و ما فقط طبقه ورودی را در نظر گرفته ایم برای بررسی کل اپ امپ مانند بخش قبلی از بلوک آماده استفاده کردم و نتایج مطابق زیر است.



شکل 41: مدار طراحی شده



شکل 42: تنظیم آفست



شکل 43: خروجی بعد از تنظیم آفست

همانطور که دیدیم بسیار نزدیک به 0 شد و دقیق تر هم میتوان انجام داد. مقدار آفست هم در محدوده دیتا شیت قرار گرفت.

در واقع در این  $\text{C}_0$  دو پایه offset null وجود دارند که دقیقاً به همین منظور استفاده میشوند و روش دقیق این گونه است که از پتانسیومتر کمک گرفته میشود برای تولید این آفست.