

به نام خدا

ارسلان فیروزی

۹۷۱۰۲۲۲۵

گزارش آزمایش ۴

۱. الف) فیدبک از نوع سری در ورودی و موازی در خروجی است. چون در خروجی ولتاژ را می‌سنجد و مستقیم به آن وصل شده است و در ورودی یک طبقه دیفرانسیل داریم که بیس یکی از زوج‌ها افزایش یا کاهش می‌دهد که این به معنی سری در ورودی است.

ب) مدار استفاده شده در این سوال در پایان پاسخ این سوال آورده شده است.

lab4 - arsalan firoozi 97102225

```
***** operating point information tnom= 25.000 temp= 25.000 *****
***** operating point status is all simulation time is 0.
node    =voltage    node    =voltage    node    =voltage
+0:1     =-269.8360u  0:2      =-753.4729m  0:3      = 0.
+0:4     = 774.0308m  0:5      = -7.1630m  0:6      = -34.4894m
+0:100   = 10.0000   0:200    = -10.0000
```

```
subckt
element  0:q1      0:q2      0:q3
model    0:mynpn   0:mynpn   0:mynpn
ib        5.3967u   4.1268u   46.4740u
ic        575.6520u 414.8245u 4.9332m
vbe       753.2030m 746.3099m 808.5201m
vce       10.7535   1.5275    10.0345
vbc       -10.0003 -781.1938m -9.2260
vs        -10.0000 -774.0308m -10.0000
power     6.1943m   636.7257u 49.5402m
betad     106.6668   100.5208   106.1506
gm        22.4024m   16.1434m   191.9850m
rpi       4.7606k    6.2257k    552.8219
rx        0.        0.        0.
ro        277.9461k   363.4819k   32.2761k
cpi       5.2449p    4.6097p    22.2796p
cmu       528.2639f    1.3997p    548.3819f
cbx       0.        0.        0.
ccs       660.3382f    1.7538p    660.3382f
betaac    106.6497   100.5037   106.1335
ft        617.5943x 427.5451x   1.3385g
```

پ) به ازای ورودی 200 میلی ولت: 4.2 درصد THD بدست آمد.

```
fourier components of transient response v(6)
dc component = -0.00522368
```

harmonic no	frequency (hz)	fourier component	normalized component	phase (deg)	normalized phase (deg)
1	1.000000k	1.81365	1.00000	-83.8675m	0.
2	2.000000k	49.7260m	27.4177m	-89.6221	-89.5382
3	3.000000k	41.9813m	23.1474m	-1.51632	-1.43245
4	4.000000k	30.9636m	17.0725m	86.9769	87.0608
5	5.000000k	20.6896m	11.4077m	174.822	174.906
6	6.000000k	11.9895m	6.61068m	-91.6427	-91.5589
7	7.000000k	4.68004m	2.58046m	14.6185	14.7024
8	8.000000k	2.40129m	1.32401m	-114.510	-114.426
9	9.000000k	4.48849m	2.47484m	-8.27743	-8.19356

```
total harmonic distortion = 4.20402 percent
```

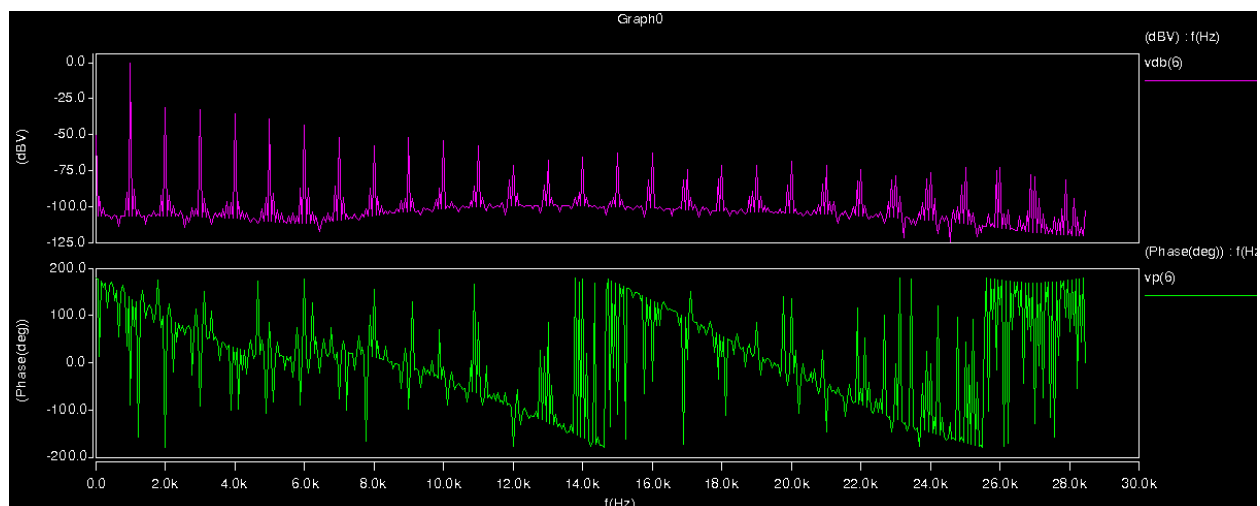
ورودی را افزایش دادم، به ازای ورودی ۲۰۶ میلی ولت به ۴٫۹۵ درصد THD رسیدم. به ازای ورودی ۲۰۷ میلی ولت THD بیش تر از ۵ درصد شد.

```
fourier components of transient response v(6)
dc component = 0.00274589
```

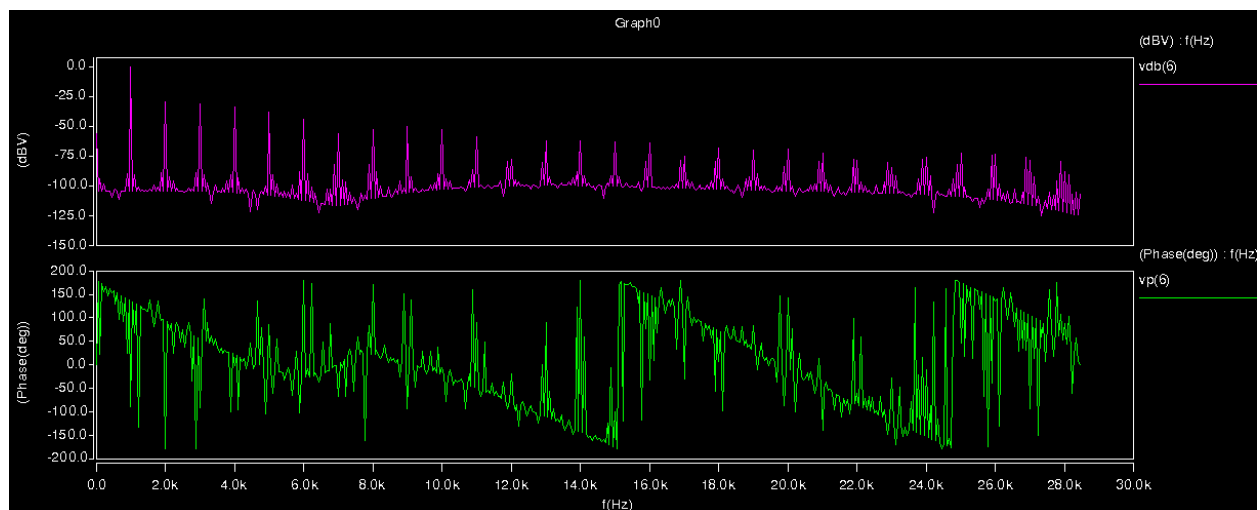
harmonic no	frequency (hz)	fourier component	normalized component	phase (deg)	normalized phase (deg)
1	1.000000k	1.85454	1.00000	-87.7405m	0.
2	2.000000k	62.2408m	33.5614m	-89.4391	-89.3513
3	3.000000k	50.9809m	27.4899m	-966.366m	-878.626m
4	4.000000k	35.8997m	19.3578m	87.7598	87.8475
5	5.000000k	22.2354m	11.9897m	175.756	175.844
6	6.000000k	11.2101m	6.04468m	-91.3589	-91.2711
7	7.000000k	2.79691m	1.50814m	22.6336	22.7213
8	8.000000k	4.25291m	2.29324m	-99.7473	-99.6596
9	9.000000k	5.85648m	3.15792m	-3.57853	-3.49079

```
total harmonic distortion = 4.95437 percent
```

تبدیل فوریه به ازای ۲۰۰ میلی ولت:



تبدیل فوریه به ازای ۲۰۶ میلی ولت:



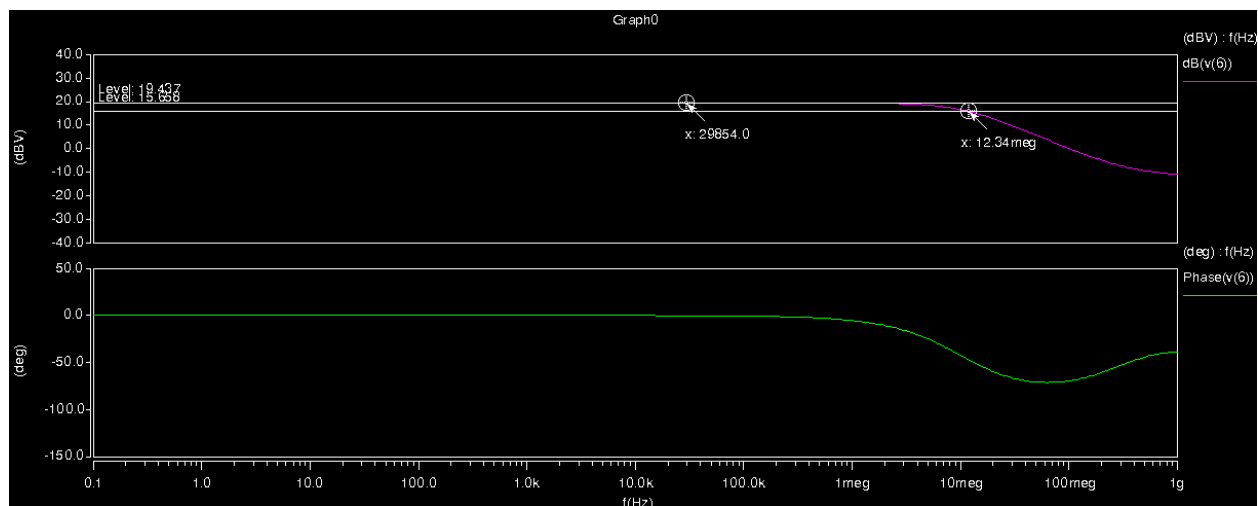
اگر منظور از رابطه ی THD با FFT از لحاظ فرمولی است:

$$THD_F = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 \dots}}{V_1}$$

اگر از لحاظ مفهومی است، یعنی در اثر غیر خطی رفتار کردن مدار، چقدر هارمونیک از فرکانس هایی جز فرکانس اصلی داریم که در نهایت به اثر غیرخطی بودن خروجی بر حسب ورودی در

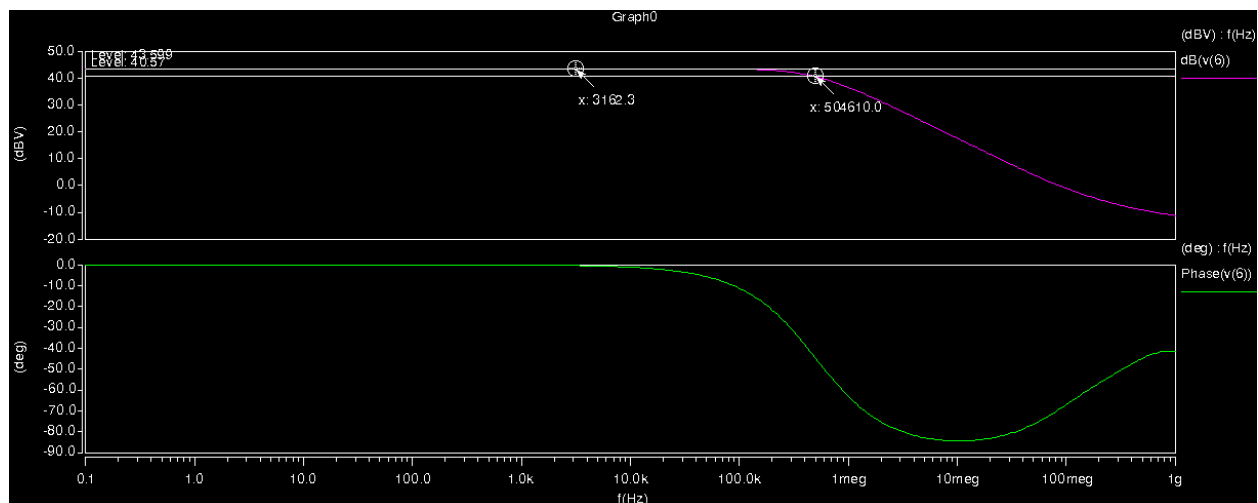
دامنه زمان منجر می شود، که هرچه این مقدار بیش تر باشد یعنی مدار غیر خطی تر رفتار کرده است.

(ت) بهره با فیدبک:



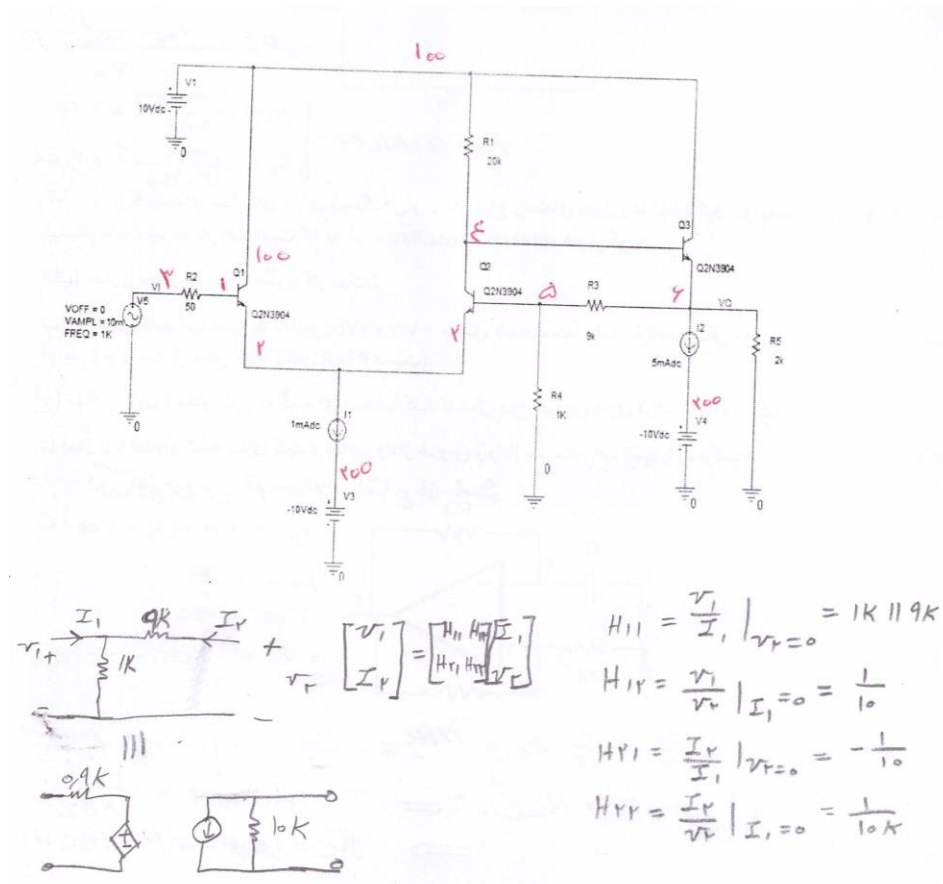
که فرکانس قطع ۱۲,۳ مگا هرتز است.

بهره بدون فیدبک: ( $Q1\_C.sp$ ) مقاومت های معادل دو قطبی در نظر گرفته شده است.



فرکانس قطع ۰,۵۰۵ مگا هرتز است.

مدار استفاده شده در این سوال و محاسبات بخش آخر:



۲.الف) در این ساختار از آینه جریان، دو برتری نسبت به آینه جریان عادی دارد. تاثیر ولتاژ  $V_{ce}$  بر جریان خروجی به شدت کاهش یافته است و جریان وابستگی خیلی کمتری به ولتاژ خروجی دارد چون ترانزیستورهای  $Q_5$  و  $Q_6$  عینا بایاس شده اند و جریان یکسان از آن ها می گذرد. مزیت دوم با توجه به یک منبع جریان است، مقاومت خروجی شاخه ی خروجی مناسب تر است تا بزرگ باشد که در این ساختار مقاومت دیده شده از شاخه خروجی بزرگتر است.

یک عیب این ساختار این است که محدودیت ولتاژ بیش تری بر خروجی باید اعمال شود تا ترانزیستور ها اشباع نشوند. در این ساختار حداقل ولتاژ خروجی برابر است با ۰,۹ ولت.

ب) مقدار  $R$  را میتوان انقدر زیاد کرد که ولتاژ اندازه گیری شده از ۰,۹ ولت که کران پایین این ساختار است، پایین تر نیاید. که یعنی  $R = 4.1k$ .

برای اینکه ولتاژ خروجی در ۲,۵ ولت باشد، باید روی مقاومت ۲,۵ ولت و جریان یک میلی آمپر از بگذرد، پس  $R = 2.5K$ .

ج) با توجه به جریان کالکتور ترانزیستور ۷:

subckt element	0:q4	0:q5	0:q6	0:q7
model	0:mynpn	0:mynpn	0:mynpn	0:mynpn
ib	9.8065u	9.7103u	9.7103u	9.5475u
ic	980.6461u	971.0319u	971.0364u	961.4889u
vbe	768.5474m	768.2943m	768.2943m	767.8598m
vce	768.5474m	768.2943m	768.9820m	1.8273
vbc	0.	0.	-687.6855u	-1.0594
vs	-1.5368	-768.2943m	-768.9820m	-2.5963
power	761.2098u	753.4987u	754.1699u	1.7643m
betad	100.0000	100.0000	100.0005	100.7063
gm	38.1630m	37.7889m	37.7890m	37.4175m
rpi	2.6199k	2.6458k	2.6458k	2.6910k
rx	0.	0.	0.	0.
ro	152.9604k	154.4748k	154.4748k	157.1099k
cpi	6.8417p	6.8039p	6.8039p	6.7662p
cmu	2.0000p	2.0000p	1.9991p	1.2876p
cbx	0.	0.	0.	0.
ccs	1.4317p	1.7571p	1.7567p	1.1836p
betaac	99.9829	99.9829	99.9833	100.6892
ft	686.9541x	683.1366x	683.2095x	739.4231x

مقدار جریان خروجی برابر ۹۶۱,۵ میکرو آمپر است که از مقدار مورد نظر ۳۸,۵ میکرو آمپر انحراف دارد.

برای سنجش میزان مقاومت خروجی، مقاومت بار را تغییر میدهم و دوباره ولتاژ را اندازه میگیرم. با استفاده از این دو داده مقاومت شاخه خروجی را بدست می آورم.

به ازای  $R = 2.5K$ :

lab4 - arsalan firoozi 97102225

```
***** operating point information tnom= 25.000 temp= 25.000 *****
***** operating point status is all simulation time is 0.
node    =voltage    node    =voltage    node    =voltage
+0:1     = 768.2943m 0:2      = 1.5368  0:3      = 2.5963
+0:4     = 768.9820m 0:100   = 5.0000
```

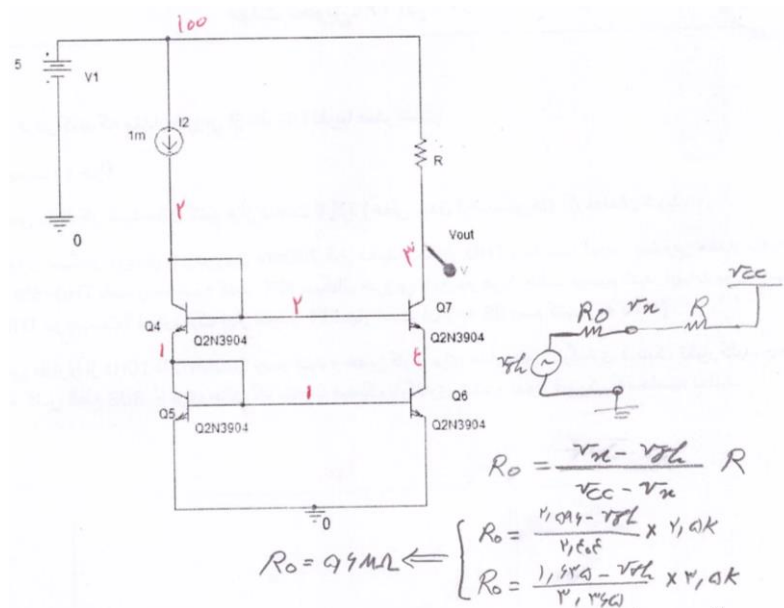
به ازای  $R = 3.5k$ :

lab4 - arsalan firoozi 97102225

```
***** operating point information tnom= 25.000 temp= 25.000 *****
***** operating point status is all simulation time is 0.
node    =voltage    node    =voltage    node    =voltage
+0:1     = 768.2928m 0:2      = 1.5368  0:3      = 1.6352
+0:4     = 768.8181m 0:100   = 5.0000
```

با استفاده از محاسبه ی زیر مقدار مقاومت شاخه خروجی برابر است با ۵,۶ مگا اهم است.

مدار استفاده شده در این سوال:



مقاومت منبع جریان

$$I = v_{\pi} \left( \frac{1}{r_{o s} \parallel (r_{e s} + r_{\pi s} + r_{\pi v})} + g_m \frac{r_{e s}}{r_{e s} + r_{e s} + r_{\pi v}} \right)$$

$$v_{\pi s} = \frac{r_{e s}}{r_{e s} + r_{e s} + r_{\pi v}} v_{\pi}$$

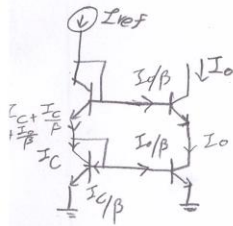
$$v_{\pi v} = \frac{r_{\pi v}}{r_{e s} + r_{e s} + r_{\pi v}} v_{\pi}$$

$$v = v_{\pi} + r_{o v} (I - g_m v_{\pi v}) = v_{\pi} \left( 1 + r_{o v} \left( \frac{1}{r_{e s} + r_{\pi s} + r_{\pi v}} + \frac{g_m r_{e s}}{r_{e s} + r_{\pi s} + r_{\pi v}} \right) - \frac{r_{o s} g_m r_{\pi v}}{r_{e s} + r_{\pi s} + r_{\pi v}} \right)$$

$$R_o = \frac{v}{I} = \frac{1 + r_{o v} \left( \frac{1}{r_{e s} + r_{\pi s} + r_{\pi v}} + \frac{g_m r_{e s}}{r_{e s} + r_{\pi s} + r_{\pi v}} \right) - \frac{r_{o s} g_m r_{\pi v}}{r_{e s} + r_{\pi s} + r_{\pi v}}}{\left( \frac{1}{r_{o s} \parallel (r_{e s} + r_{\pi s} + r_{\pi v})} + \frac{g_m r_{e s}}{r_{e s} + r_{\pi s} + r_{\pi v}} \right)}$$

$r_{\pi s} = 4.0 \text{ K}\Omega$   
 $r_{e s} = 2.0 \text{ K}\Omega$   
 $r_{o s} = \frac{1}{g_m} = 1.0 \text{ K}\Omega$

$$= \frac{1 + 1.0 \text{ K} \left( \frac{1}{4.0 \times 10^{-3} + 2.0 \times 10^{-3}} \right) - 4 \text{ K}}{(2.0 \times 10^{-3} + 4.0 \times 10^{-3})^{-1}} = 13.5 \text{ M}\Omega$$



$$\rightarrow I_{ref} = \left( I_c + \frac{I_c + I_o}{\beta} \right) \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) + \frac{I_o}{\beta}$$

$$= I_o \left( \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) + \frac{1}{\beta} \right)$$

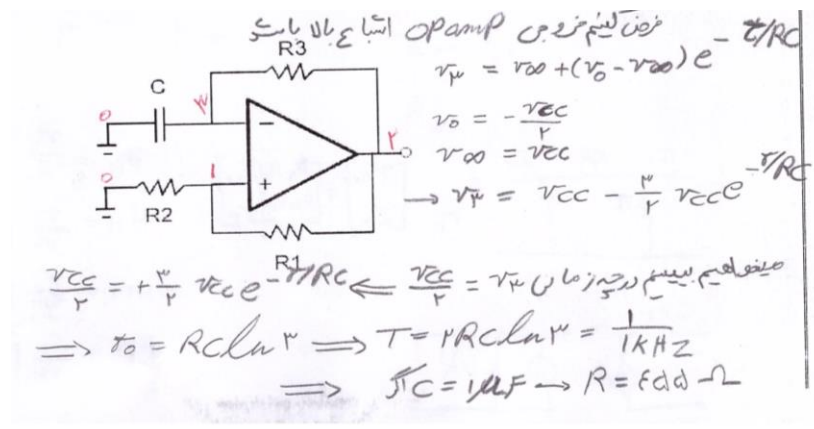
$$= I_o \times 1.05 \rightarrow I_o = 0.951 \text{ mA}$$

التراف جریان یکسان است اما مقاومت خروجی دارد مقومت خروجی متفاوت است

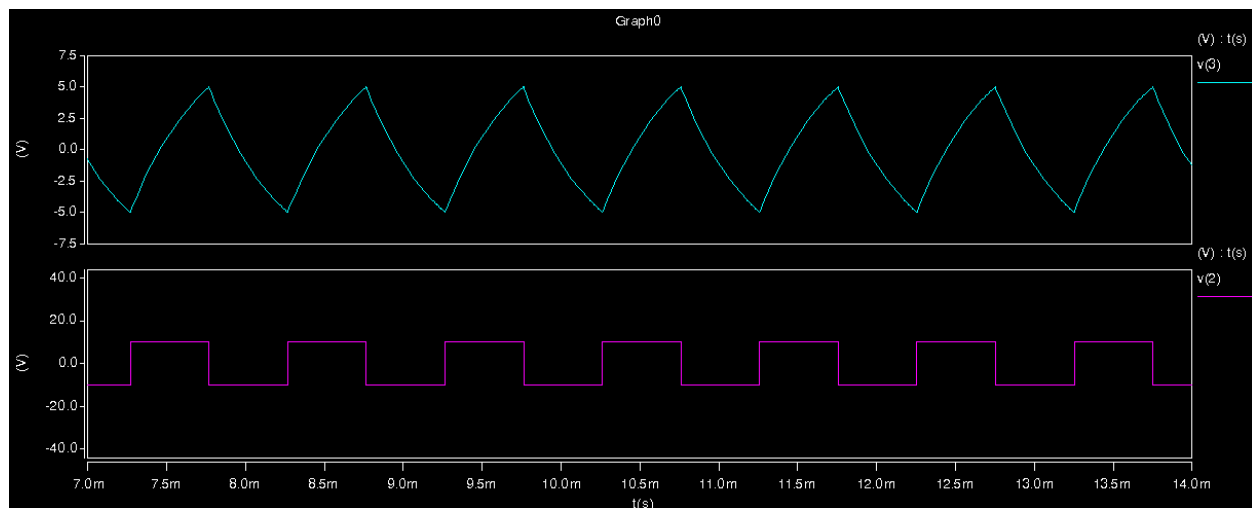


۳.الف) با استفاده از فیدبک وصل شده مقادیر  $V+$  و  $V-$  با ولتاژ خروجی تغییر می کنند. به همین دلیل به طور متناوب  $V+$  و  $V-$  از هم بزرگتر و کوچکتر می شوند. چون آپ امپ بهره ی بی نهایت دارد و فیدبک به این صورت است، به صورت متناوب پالس مربعی در خروجی خواهیم داشت. که روابط را در ب نوشته ام.

ب و ج)



د)



#### ۴. الف)

بار فعال در حالت DC مانند یک منبع جریان خواهد بود که به عنوان بایاس از آن استفاده می شود. در حالت ac معادل یک مقاومت خواهد بود که باعث می شود بهره را بالا ببرد، همچنین مقاومت خروجی در آن طبقه را نیز بیش تر می کند.

ب) چون در ورودی جریان داریم، امپدانس ورودی در اصل امپدانس شاخه ای است که جریان به آن تزریق می شود. و چون در خروجی ولتاژ داریم، مقاومت خروجی برابر مقاومتی است که از آن گره تا زمین دیده می شود.

میتوان از فیدبک موازی در ورودی و موازی در خروجی استفاده کرد. چون در ورودی سیگنال ما جریان است و برای اصلاح آن باید از یک شاخه ی موازی با آن که در ورودی از آن کسر شود استفاده شود که این همان موازی در ورودی است، برای خروجی هم ما باید خروجی را بسنجیم پس موازی در خروجی گزینه ی مناسب است.

ج) وابستگی به ولتاژ خروجی: میتوان در طراحی منبع جریان عادی از آینه جریان کسکود استفاده کنیم تا این وابستگی کمینه شود.

محدودیت ولتاژ خروجی: میتوان در طراحی از آینه جریان کسکود استفاده نکرد و به ازای آن محدودیت ولتاژ کمتری در خروجی باشد و ترانزیستور ها در بازه ی بیش تری فعال بمانند.

همچنین برای کپی شدن دقیق جریان ها در طراحی ها میتوان از طریق  $\beta$  helper وابستگی جریان خروجی به  $\beta$  را کم و طراحی را به ایده آل نزدیک کرد.