

بسم تعالی



آزمایشگاه الکترونیک ۲

پیش گزارش آزمایش ۱

امیرحسین زاهدی ۹۹۱۰۱۷۰۵

تابستان ۱۴۰۲

۱-۱ طراحی تقویت کننده یک طبقه

بهره بزرگتر از ۱۸، مقاومت ورودی بیش از ۱۰ کیلو اهم، مقاومت خروجی کمتر از ۴ کیلو اهم و سوینگ پیک تا پیک تقریبی ۷ ولت.

۱-۱-۱

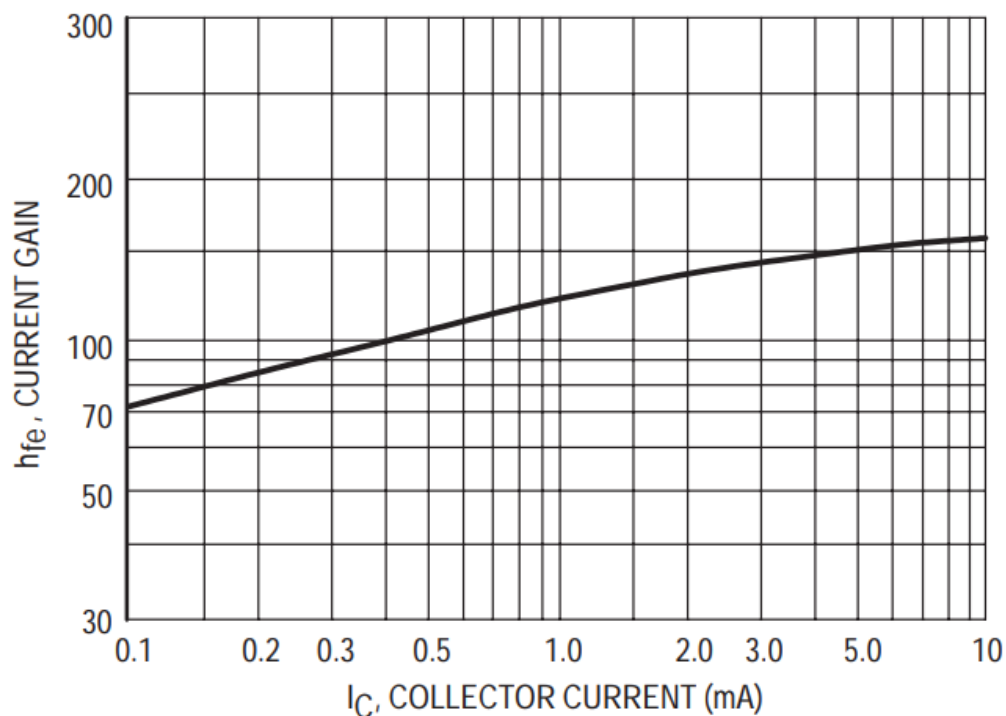
آرایش امیتر مشترک که ورودی به بیس داده شود و خروجی از کالکتور ترانزیستور گرفته شود ویژگی تقویت کنندگی خوبی دارد و با استفاده از تعیین مقاومت های کلکتور و امیتر می توان مقاومت های خروجی و ورودی متفاوتی را بدست آورد. برای مثال می توان با کوچک کردن مقاومت کالکتور، مقاومت خروجی را کاهش داد و با افزایش مقاومت امیتر، مقاومت ورودی را افزایش داد.

۱-۱-۲

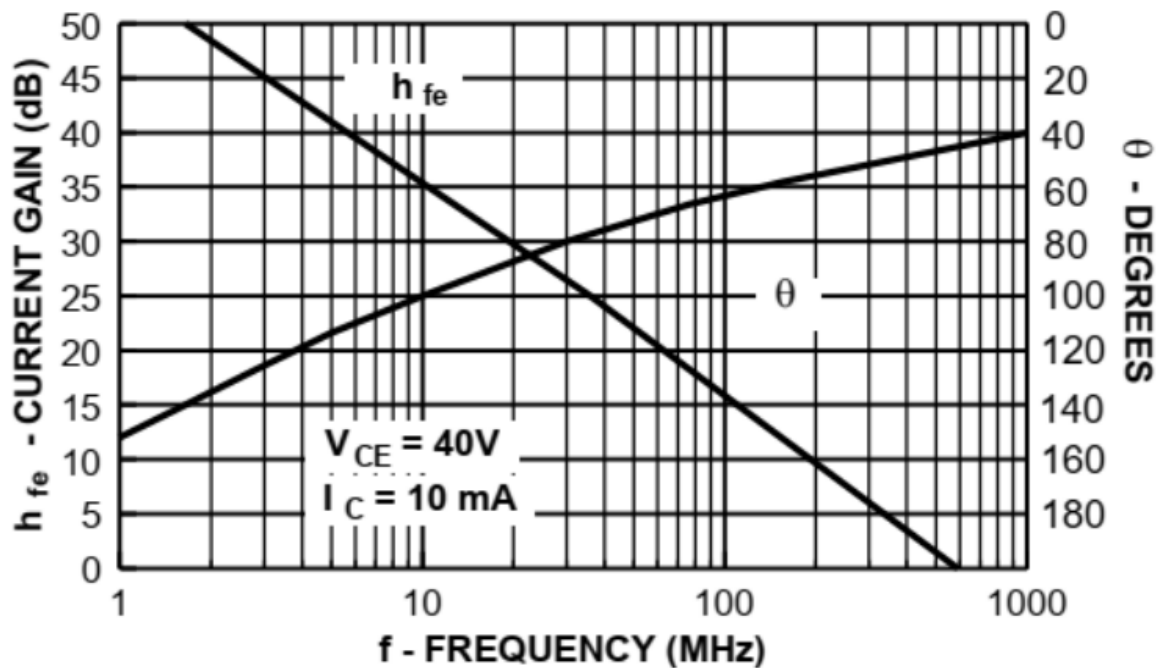
ب) با استفاده از h_{fe} در دیتا شیت ترانزیستور می توانیم اندازه بتا را بیابیم زیرا که h_{fe} نسبت جریان کالکتور به جریان بیس در آرایش امیتر مشترک است، پس می توان آن را همان بتا در نظر گرفت. با توجه به دیتاشیت، مقدار مینیمم و ماکسیمم بتا قابل مشاهده است. در این شرایط خاص ماکس برابر ۴۰۰ و مین برابر ۱۰۰ است.

Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	2N3903 2N3904	h_{fe}	50 100	200 400	—
---	------------------	----------	-----------	------------	---

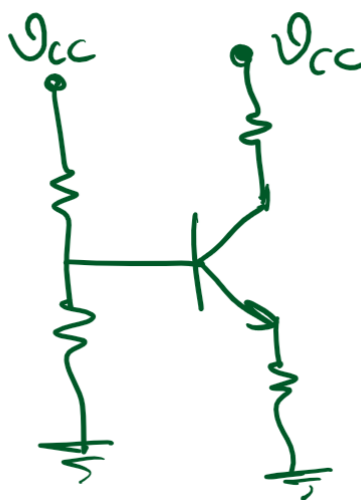
همچنین بتا به جریان کلکتور بستگی دارد و هر چه این جریان بیشتر باشد، بتا نیز افزایش می یابد. البته ممکن است در جریان های بسیار بالاتر این اتفاق معکوس شود. نمودار زیر از دیتاشیت آورده شده است:



مقدار بتا به فرکانس نیز مربوط است و با افزایش فرکانس، مقدار آن کاهش می یابد. مطابق نمودار زیر:



پ) آرایش های مختلفی برای بایاس کردن تقویت کننده یک طبقه امپتر مشترک وجود دارد که متداول ترین آن تثبیت ولتاژ بیس است که در آن با استفاده از تقسیم مقاومتی، ولتاژ بیس را ثابت می کنیم. مزیت این نوع بایاس در آن است که بتای پایدارتری نسبت به مدل های دیگری از بایاس مانند تثبیت جریان بیس وجود دارد و جریان بیس کمتر دستکاری می شود. همچنین همانطور که در بخش اول نیز گفته شد به مقاومت هایی در کلکتور و امپتر نیز نیاز داریم. مدار بایاس به شکل زیر است:



۱-۱-۳ ابتدا پاسخ ها داده می شوند و سپس محاسبات که به صورت دستنویس و کامل نوشته شده است، در ادامه مشاهده می شوند.

۱- جریان بایاس گفته شده برابر ۱ میلی آمپر. با توجه به مشخصات تقویت کننده مورد طرح، لازم است تا طوری مقاومت ها تعیین شوند که مقاومت خروجی کمتر از ۴ کیلو اهم و سوینگ برابر ۷ باشد. پس R_C که تقریباً برابر مقاومت خروجی است باید از ۴ کیلو اهم کوچکتر باشد. پس حد بالای مقاومت کالکتور برابر ۴ کیلو اهم است.

۲- برای محاسبه حد پایین مقاومت کالکتور باید نقطه بایاس را طوری تعیین کنیم که به اندازه نصف سوینگ با ولتاژ تغذیه فاصله داشته باشد. پس با این اوصاف مقاومت کالکتور باید حداقل ۳.۵ کیلو اهم باشد تا فاصله لازم بدست آید. پس اینگونه حد پایین مقاومت کالکتور برابر ۳.۵ کیلو اهم است.

۳- با توجه به مقاومت های سری ۱۲ و دانستن بازه مقاومت کالکتور که باید بین ۳.۵ و ۴ کیلو اهم باشد، بهترین انتخاب برابر ۳.۹ کیلو اهم است. با این انتخاب ولتاژ کالکتور برابر ۶.۱ ولت می شود. همچنین می دانیم که ولتاژ امیتر باید پایین تر از مقدار منهای نصف سوینگ باشد، به عبارتی ولتاژ امیتر باید کوچکتر از ۲.۶ ولت باشد. اینگونه می توانیم با توجه به سری ۱۲، مقاومت امیتر را نیز که باید کوچکتر از ۲.۶ کیلو اهم باشد را به مقدار ۲.۲ کیلو اهم انتخاب کنیم. اینگونه ولتاژ امیتر در نقطه بایاس برابر ۲.۲ می شود و ولتاژ کالکتور امیتر در نقطه بایاس نیز برابر ۳.۹ ولت می شود.

۴- دردمای اتاق ولتاژ مورد

نیاز برای روشن شدن ترانزیستور به طور تقریبی برابر ۰.۶۵ ولت است پس با توجه به آنکه ولتاژ امیتر برابر ۲.۲ است، ولتاژ بیس بایاس برابر ۲.۸۵ ولت است. با استفاده از تقسیم مقاومتی باید این ولتاژ را تولید کنیم. اینگونه یکی را ۶۸ کیلو و یکی را ۲۷ کیلو با توجه به سری ۱۲ انتخاب می کنیم. دلیل انتخاب این بازه مقاومتی این است که این شاخه جریان بزرگی نکشد و همچنین جریانش بیش از حد نیز کوچک نباشد تا با جریان بیس تداخل پیدا کند.

$$\begin{aligned}
 V_{CC} = 10V &\Rightarrow V_C = V_{CC} - R_C I_C = 10 - R_C \times 1m \\
 \Rightarrow \text{Swing} \approx 7V &\Rightarrow V_C \leq 4.5 \Rightarrow R_C \times 1m \geq 5.5 \Rightarrow \\
 R_C &\geq 5.5k\Omega \Rightarrow \boxed{R_C = 3.9k\Omega} \quad 15\% \\
 V_{CE, \text{sat}} \approx 0 &\Rightarrow R_E I_E \leq V_{CC} - R_C I_C - 4.5 \Rightarrow \\
 R_E &\leq 10 - 3.9 - 4.5 \Rightarrow R_E \leq 1.6k\Omega \Rightarrow \\
 \boxed{R_E = 2.2k\Omega} &\quad 15\% \\
 R_O &\leq 5k\Omega \Rightarrow R_O \leq R_C \Rightarrow R_O \leq 3.9k\Omega \quad \checkmark \\
 \boxed{I_C = 1mA} &\Rightarrow V_C = 10 - R_C I_C = 6.1V \\
 V_E = I_E R_E &= 2.2V \Rightarrow \boxed{V_{CE} = 3.9V} \\
 V_E = 2.2, V_{BE, \text{on}} &\approx 0.7V \Rightarrow V_B \leq 2.9V \Rightarrow \\
 \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} &= 2.9 \Rightarrow \frac{10 R_2}{R_1 + R_2} = 2.9 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.29 \\
 \Rightarrow 0.29 R_1 &= 0.71 R_2 \Rightarrow \boxed{R_1 \approx 2.9 R_2} \Rightarrow \\
 \boxed{R_1 \approx 48k\Omega, R_2 \approx 27k\Omega} &
 \end{aligned}$$

الف) محاسبات را انجام می دهیم که به صورت زیر است:

$$\boxed{R_{out} \approx R_E = 219k\Omega}$$

$$A_V = \frac{R_E}{\frac{r_{\pi}}{\beta} + R_E} \Rightarrow r_{\pi} = \beta \frac{V_T}{I_C} \Rightarrow \frac{r_{\pi}}{\beta} = \frac{V_T}{I_C} = 2\Omega$$

$$\Rightarrow A_V = \frac{219k}{2\Omega + 219k} \Rightarrow \boxed{A_V = 1/V_A}$$

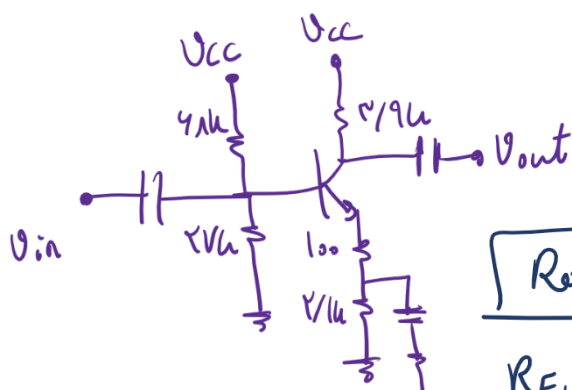
$$R_{in} = r_{\pi} + \beta R_E \Rightarrow R_{in} = (2k + R_E)\beta = 222k\beta \Rightarrow$$

$$\beta \approx 200 \Rightarrow \boxed{R_{in} \approx 50k\Omega}$$

ب) همانطور که مشاهده می شود بهره به میزان لازم (۱۸) نرسیده است. می توانیم از خازن بای پس استفاده کنیم تا در تحلیل سیگنال کوچک مقاومت امیتر را خارج کنیم، به این صورت بهره افزایش می یابد و مقاومت ورودی کاهش می یابد. برای اینکه بتوانیم همزمان هم شرط مقاومت ورودی و هم شرط بهره را حفظ کنیم، مقاومت امیتر را به دو بخش ۱۰۰ اهمی و ۲۰۱ کیلو اهمی تقسیم می کنیم تا هم تحلیل سیگنال بزرگ و هم تحلیل سیگنال کوچک مطلوب شود.

پ) مدار نهایی به شکل زیر است و در ادامه محسبات نیز مشاهده

می شوند: خازن ها ۱۰ میکرو فاراد هستند.



$$\boxed{R_{out} \approx R_E = 219k\Omega} < 5k\Omega \checkmark$$

$$R_{E1} = 100\Omega, R_E = 2100\Omega \Rightarrow A_V = \frac{R_E}{\frac{r_{\pi}}{\beta} + R_{E1}}$$

$$\Rightarrow A_V = \frac{219k}{2\Omega + 100} \Rightarrow \boxed{A_V = 211/2} > 1 \checkmark$$

$$\Rightarrow R_{in} = r_{\pi} + \beta R_{E1} = 2k + 200 R_{E1} \Rightarrow$$

$$\boxed{R_{in} = 24k\Omega} > 10k\Omega \checkmark$$

A_v	R_{in}	R_o
۳۱.۲	۲۵k	۳.۹k

ت) خازن های کوپلاژ برای این استفاده می شوند که ولتاژ دی سی با فرکانس ۰ را چه در خروجی و چه در ورودی حذف کنند و مدار صرفاً سیگنال سینوسی را تقویت و به عنوان خروجی تحویل دهد. اما خازن های بای پس برای این استفاده می شوند که مقاومت هایی که برای بایاس مدار در سیگنال بزرگ استفاده شده اند و در تحلیل سیگنال کوچک مناسب نیستند، از مدار حذف شوند. بهره بدون خازن بای پس برابر ۱.۷۵ است که بسیار کم است. مقاومت ورودی نیز بسیار افزایش می یابد. اما مقاومت خروجی با مقاومت ورودی طبقه بعدی یا حتی مصرف کننده موازی می شود که تغییر بستگی به میزان آن مقاومت دارد.

ث) محاسبات به صورت زیر هستند:

$$I_C = I_{MA} = I_E, I_B = \frac{I_{MA}}{\beta}$$

$$V_{CE} = ۳/۹V, V_C = ۶/۱V, V_E = ۲/۲V$$

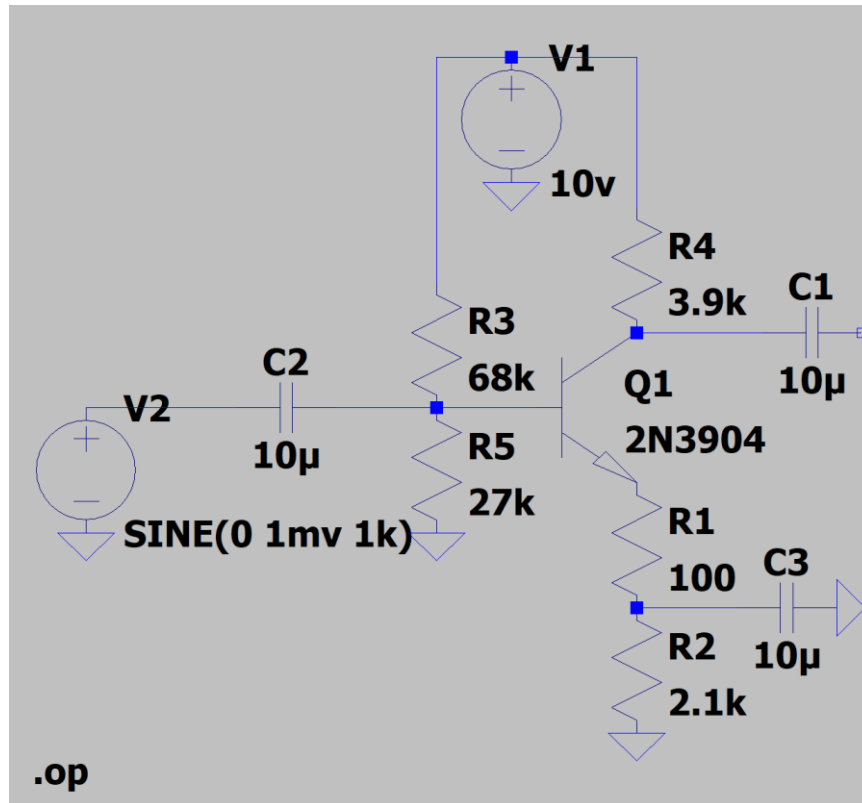
$$\Rightarrow V_{CC} - V_C = ۳/۹V \Rightarrow \boxed{\text{max swing} = ۳/۹V}$$

$$A_v = ۳۱/۲ \Rightarrow \frac{۳/۹}{۳۱/۲} = \text{max input amplitude}$$

$$\Rightarrow \boxed{\text{max input amplitude} = ۱۲\text{mV}}$$

۱-۲ شبیه سازی

الف) مدار را در نرم افزار LTSpice طراحی و شبیه سازی می کنیم. مدار به شکل زیر است و تحلیل بایاس آن نیز در پایین آن آمده است.



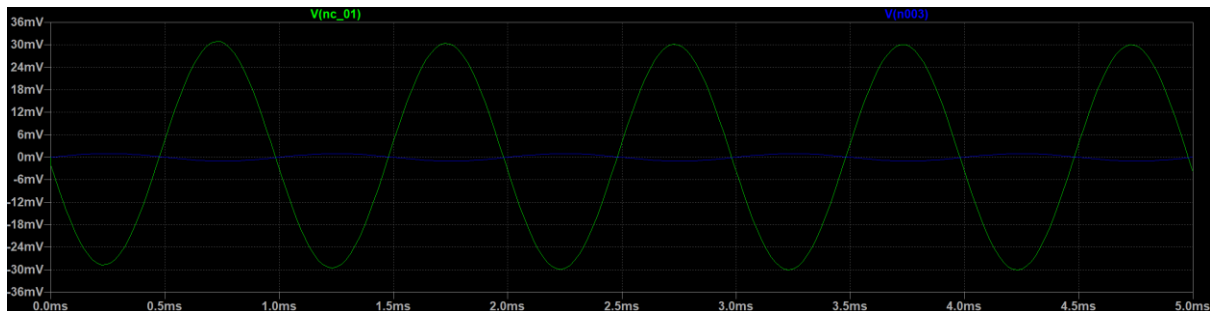
--- Operating Point ---

V(n002) :	6.2392	voltage
V(n004) :	2.78192	voltage
V(p001) :	2.12833	voltage
V(n005) :	2.03159	voltage
V(n001) :	10	voltage
V(nc_01) :	6.23913e-005	voltage
V(n003) :	0	voltage
Ic(Q1) :	0.000964309	device_current
Ib(Q1) :	3.11415e-006	device_current
Ie(Q1) :	-0.000967423	device_current
I(C3) :	-2.03159e-017	device_current
I(C2) :	2.78192e-017	device_current
I(C1) :	-6.23913e-017	device_current
I(R5) :	0.000103034	device_current
I(R4) :	0.000964309	device_current
I(R3) :	0.000106148	device_current
I(R2) :	0.000967423	device_current
I(R1) :	0.000967423	device_current
I(V2) :	2.78192e-017	device_current
I(V1) :	-0.00107046	device_current

همانطور که مشاهده می شود، ولتاژ کالکتور بایاس برابر ۶.۲۳۹۲ است و جریان کلکتور نیز ۰.۹۶۴۳۰۹ میلی آمپر است.

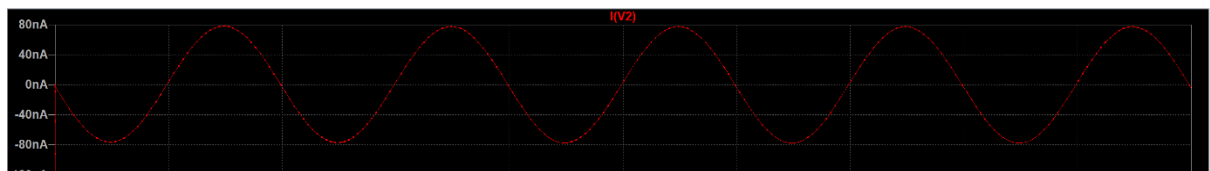
حال که تحلیل بایاس را بدست آوردیم، تحلیل سیگنال کوچک را نیز بدست می آوریم:

دامنه سیگنال ورودی را ۱ میلی ولت می دهیم و خروجی به شکل زیر می شود.



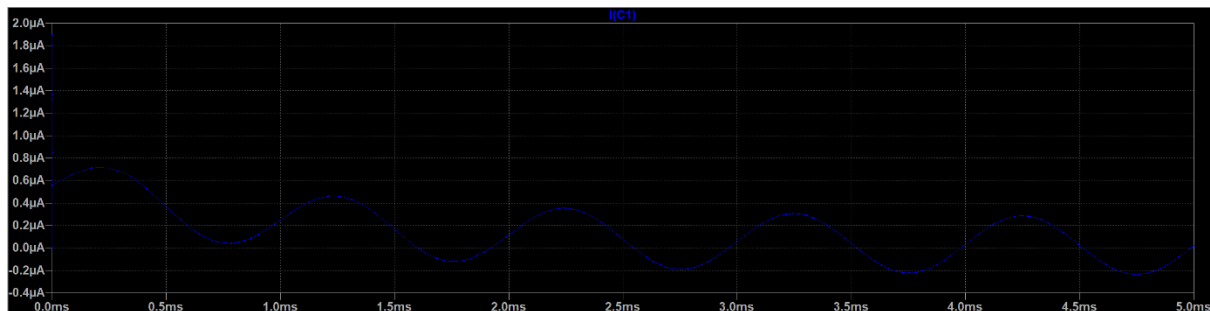
همانطور که مشاهده می شود بهره برابر ۳۱ است و توقع آن را نیز داشتیم.

جریان ورودی را اندازه می گیریم تا به وسیله آن بتوانیم مقاومت ورودی را اندازه بگیریم.



دامنه جریان برابر ۸۰ نانو آمپر است، پس مقاومت ورودی برابر ۱۲.۵ کیلو اهم است.

حال ورودی را صفر کرده و به خروجی ولتاژی اعمال می کنیم تا با اندازه گیری جریان گذرنده از آن مقاومت خروجی را بدست آوریم.



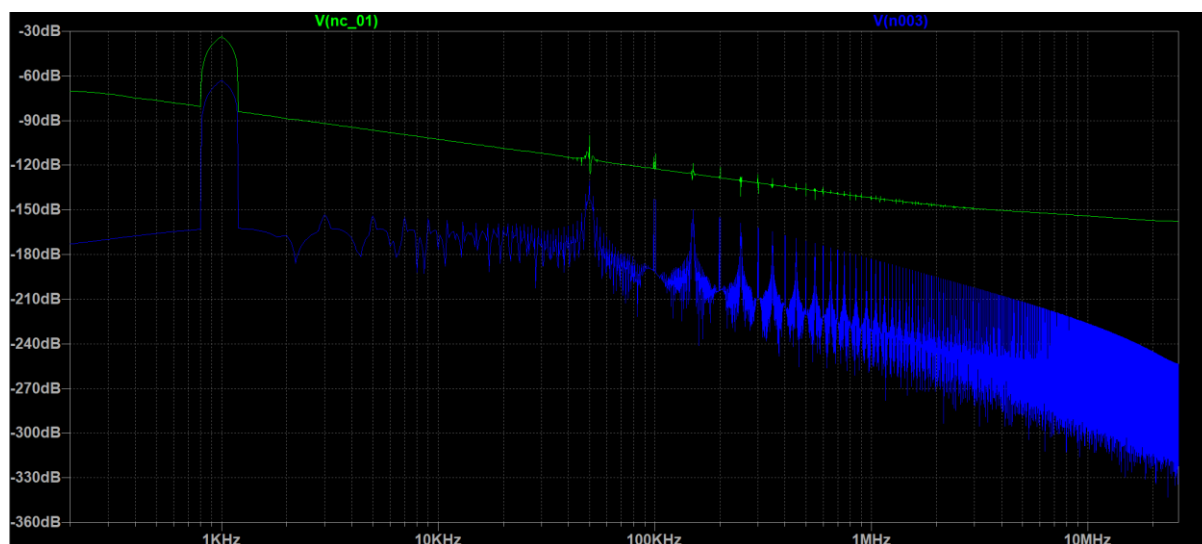
همانطور که مشاهده می شود، دامنه جریان در حدود ۲۵۰ نانو آمپر است، پس مقاومت خروجی در حدود ۴

کیلو اهم است.

A_v	R_{in}	R_o
۳۱	۱۲.۵k	۴k

ب) می توان از روش سری کردن مقاومت با ورودی یا موازی کردن مقاومت با خروجی برای اندازه گیری مقاومت های ورودی و خروجی استفاده کرد اما من از روش اندازه گیری جریان عبوری از منبع ورودی و سپس بدست آوردن مقاومت ورودی برای ورودی استفاده کردم. همچنین برای خروجی، منبع ورودی را ۰ کرده و منبعی در خروجی قرار دادم، سپس جریان آن را اندازه گرفتم و با استفاده از ولتاژ و جریان، مقاومت خروجی را بدست آوردم.

پ) از خروجی تبدیل فوریه می گیریم که به شکل زیر است: (خروجی سبز رنگ است).



توقع داشتیم که در فرکانس ۱ کیلو که فرکانس ورودی و خروجی است، ضربه مشاهده کنیم که دیده می شود. اما در فرکانس های دیگری نیز نوساناتی در خروجی دیده می شود که حاصل تداخل است. البته همانطور که دیده می شود ورودی سینوسی ایده آل نیست و حاوی نوسانات بسیاری در فرکانس های دیگر است و سینوسی خالص نیست.

ت) همانطور که مشاهده می کنیم هر دو بهره در حدود ۳۱ هستند که مطابق توقع است. مقاومت خروجی در محاسبات ۳.۹ کیلو اهم بود و در شبیه سازی در حدود ۴ کیلو که این تفاوت احتمالا به دلیل خطای چشم است. اما مقاومت ورودی در محاسبات ۲۵ کیلو محاسبه شده بود و در شبیه سازی ۱۲.۵ کیلو اهم. دلیل این مسئله آن است که بتا در محاسبات ۲۰۰ در نظر گرفته شده بود و در شبیه سازی احتمالا ۱۰۰.

	Av	Rin	Ro
Theory	۳۱.۲	۲۵k	۳.۹k
Simulation	۳۱	۱۲.۵k	۴k