

بسمه تعالی



دانشگاه شاهرود

دانشکده مهندسی

گروه برق

«دستور کار آزمایشگاه الکترونیک III»

تهیه و تنظیم:

مصطفی یارقلی

فهرست آزمایش‌ها

- آزمایش اول: مقایسه پاسخ فرکانسی تقویت‌کننده‌های C.E، C.B و C.C (۲ جلسه)
- آزمایش دوم: پاسخ فرکانسی تقویت‌کننده‌های تفاضلی (۱ جلسه)
- آزمایش سوم: افزایش پهنای باند با تقویت‌کننده‌های کسکد (۱ جلسه)
- آزمایش چهارم: بررسی پاسخ فرکانسی و پایداری تقویت‌کننده‌های فیدبک‌دار (۲ جلسه)
- آزمایش پنجم: نوسان‌ساز RC و پل وین (۱ جلسه)
- آزمایش ششم: اسیلاتور RF توسط تانک LC و کریستال (۲ جلسه)
- آزمایش هفتم: پاسخ فرکانسی آپامپ و مدار آپامپ با یک منبع تغذیه (۱ جلسه)

نکات مورد توجه

- برای استفاده بهتر از وقت آزمایشگاه، پیش از شروع هر جلسه دستور کار و مطالب مرتبط با دقت مطالعه شوند؛ طراحی‌ها و محاسبات لازم انجام شده باشند.
- آخرین مهلت تحویل گزارش کارها، هفته بعد از اتمام آزمایش مربوطه می‌باشد.
- سنجش پایانی از روی فعالیت‌های کلاسی، گزارش کار و سوال از دانشجویان انجام خواهد شد.

جلسه اول و دوم

آزمایش شماره ۱

مقایسه پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌های C.E، C.B و C.C

هدف از این آزمایش محاسبه و مقایسه پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌های با ساختار C.E، C.B و C.C می‌باشد. تقویت کننده C.E دارای بهره بالا است ولی پاسخ فرکانسی مناسبی ندارد. تقویت کننده C.C دارای بهره پایین است ولی پاسخ فرکانسی مناسبی دارد. تقویت کننده C.B دارای بهره نسبتاً بالا و پاسخ فرکانسی مناسبی است. بنابراین برای داشتن پاسخ فرکانسی مناسب در تقویت کننده‌های فرکانس بالا عموماً از ساختار C.B استفاده می‌شود. البته با توجه به اینکه در سیستم‌های یک قطبی یا سیستم با قطب غالب، حاصلضرب بهره در پهنای باند مقداری ثابت است؛ در تقویت کننده‌های مختلف این اصل را تحقیق خواهیم کرد.

وسایل مورد نیاز:

۱- اسپکتروم آنالایزر

۲- مولتی متر

۳- برد برد

۴- سیگنال ژنراتور

۵- منبع تغذیه DC

۷- مقاومت، خازن های سرامیکی و الکترولیتی

۸- ترانزیستور NPN (مثلاً 2N2222 یا BC107)

توجه: در بیشتر آزمایشها منبع ac با دامنه خیلی کم مورد نیاز می‌باشد؛ اگر با سیگنال ژنراتور نتوانستید سیگنال مورد نظر را تولید کنید از مدار مقسم مقاومتی (تضعیف‌کننده) استفاده کنید.

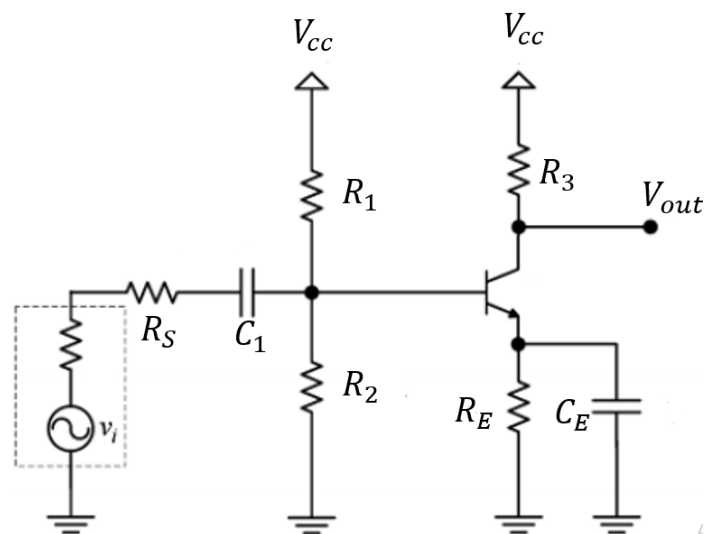
شکل ۱-۱ و ۲-۱ را در نظر بگیرید. این شکل‌ها به ترتیب ساختار C.E و C.B را نشان می‌دهند.

الف) خازنهای کوپلاژ و بای‌پس C_c و C_e را طوری محاسبه کنید که مقدار فرکانس قطع پایین هر دو مدار برابر ۱۰۰ هرتز ($f_{L-3dB}=100\text{Hz}$) باشد. {مقادیر R_1, R_2, R_C و R_e به ترتیب حدود $4.7\text{k}\Omega, 390\Omega, 5.6\text{k}\Omega$ و 330Ω انتخاب شوند. R_S نیز حدود 100Ω در نظر گرفته شود و منبع تغذیه 10V {

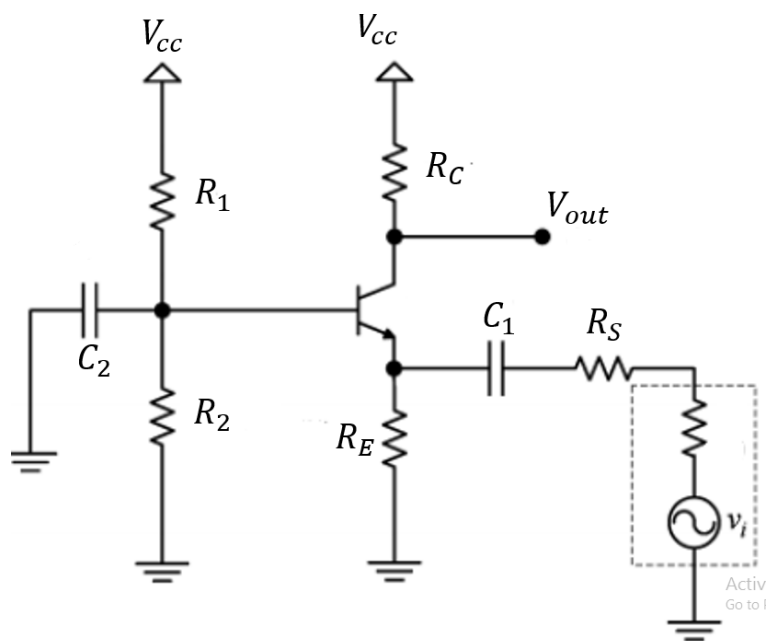
ب) با مراجعه به کاتالوگ ترانزیستور 2N2222 و محاسبه نقطه کار، مقادیر بهره ولتاژ، f_{L-3dB} ، f_{H-3dB} و پهنای باند را محاسبه کنید. (به جای ترانزیستور 2N2222 می‌توانید از ترانزیستورهای NPN زیر استفاده کنید: BC107، BC546، BC238 و ...)

ج) هر دو مدار را توسط نرم افزار مناسب (مثل Hspice، Quartus، proteus یا protel ..) تحلیل کنید و مقادیر خواسته شده در بند (ب) را بدست آورید.

د) مشابه شکل ۱-۱ و ۲-۱ ساختار یک تقویت‌کننده C.C را با بایاس مناسب برای داشتن $f_{L-3dB}=100\text{Hz}$ طراحی کنید.



شکل ۱-۱) ساختار C.E برای محاسبه پاسخ فرکانسی



شکل (۲-۱) ساختار C.B برای مقایسه پاسخ فرکانسی

۵) مدار را روی برد برد ببندید، ابتدا بایاس تک تک ترانزیستورها را چک کنید تا روشن شده باشند. در مرحله بعد سیگنال ac در فرکانس میانی (مثلا 10kHz) به ورودی مدار اعمال کنید و خروجی را در اسیلوسکوپ ببینید. (در صورت عدم وجود سیگنال در خروجی، مسیر سیگنال از ورودی تا خروجی را به ترتیب دنبال کنید تا المان معیوب را بیابید). مقادیر بهره ولتاژ، حداکثر سوئینگ خروجی، f_{L-3dB} ، f_{H-3dB} و پهنای باند را به لحاظ عملی بدست آورید.

نکته ۱: برای محاسبه بهره تقویت کننده‌ها باید موج ورودی چنان تنظیم شود که تقویت کننده در حالت اشباع و قطع نباشد.

نکته ۲: باید توجه داشت که برای بدست آوردن پاسخ فرکانسی بالا (f_{H-3dB})، از یک بافر در خروجی استفاده می‌شود. دلیل این امر را توضیح دهید. فرکانس قطع بالا را یکبار بدون استفاده از بافر و بار دیگر با وجود بافر بدست آورده و با هم مقایسه کنید.

و) جدولی تهیه کنید و در آن مقادیر تئوری، عملی و نتایج شبیه‌سازی بدست آمده برای سه آرایش C.E، C.C و C.B را نوشته و علت اختلاف احتمالی را توضیح دهید. پاسخ فرکانسی هر سه آرایش را با هم مقایسه کنید.

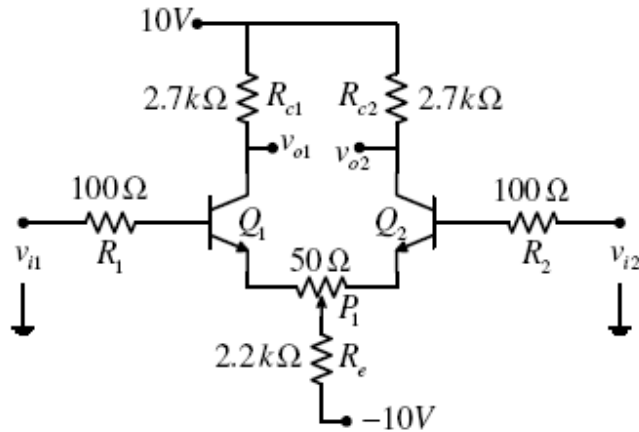
ز) اصل ثابت بودن حاصلضرب بهره در پاسخ فرکانسی را در جدول بند (و) برای هر سه آرایش تحقیق کنید (مثلا با تغییر بهره مدار (توسط مقاومت RC)، مقدار F_{H-3dB} را به دست آورده و اصل بالا را ثابت کنید).

آزمایش شماره ۲

پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌های تفاضلی

تقویت کننده تفاضلی یک تقویت کننده با دو ورودی است که اختلاف بین سیگنالهای ورودی را تقویت می‌کند. این تقویت کننده برای حذف سیگنالهای مد مشترک و تقویت سیگنالهای تفاضلی بکار می‌رود. دو بهره مد مشترک (A_c) و بهره تفاضلی (A_d) در آن تعریف می‌شود. هدف افزایش A_d و کاهش A_c می‌باشد.

وسایل مورد نیاز همانند آزمایش ۱ می‌باشد (سیگنال ژنراتور- منبع DC و المانهای عمومی الکترونیکی) ۲-۱) مدار زیر را ببندید. در این آزمایش از ترانزیستور BCY87-88 (یا جفت ترانزیستور CA3046 یا ۲ ترانزیستور مشابه، مثلا 2N2222 با β نزدیک هم) استفاده کنید. ابتدا پتانسیومتر را ببندید در صورت عدم تعادل مدار، پتانسیومتر کوچک برای یکسان کردن جریان ۲ شاخه استفاده کنید. (در این آزمایش میتوان منبع $-10v$ را حذف کرد به شرط آنکه توسط مقاومتهای اهمی و پتانسیومتر، بایاس ۲ ترانزیستور Q1 و Q2 را فراهم کرد)



شکل ۲-۱) تقویت کننده تفاضلی

الف) ولتاژ و جریان DC مدار را بدست آورید. (۲ ورودی را از نظر DC زمین کنید)، مقدار V_{CE} دو

ترانزیستور را بدست آورید (مقدار V_{CE} باید خیلی نزدیک هم و حدود ۵ ولت باشد)

ب) بهره مد مشترک را محاسبه کنید. برای این کار یک سیگنال کوچک در فرکانس میانی به دو

ورودی به طور مشترک اعمال کنید (مثلا سیگنال سینوسی 100mv با فرکانس 10KHz)

ج) بهره مد تفاضلی را محاسبه کنید. برای این کار یک سیگنال کوچک در فرکانس میانی به یکی

از ورودیها اعمال کنید (مثلا سیگنال سینوسی 10mv با فرکانس 10KHz) و ورودی دیگر را زمین

کنید. بهره V_{o1}/V_{in} و V_{o2}/V_{in} را بدست آورید.

نکته: زمین کردن ورودی یا اعمال سیگنال ac به ورودی توسط خازن الکترولیتی 1uf انجام شود.

د) مقدار CMRR را بدست آورید. مقادیر تئوری بهره تفاضلی، مد مشترک و CMRR را نیز

محاسبه و با مقدار عملی مقایسه کنید.

ه) مقدار f_{H-3dB} و پهنای باند را محاسبه کنید و حاصلضرب بهره (بهره فرکانس میانی مد تفاضلی)

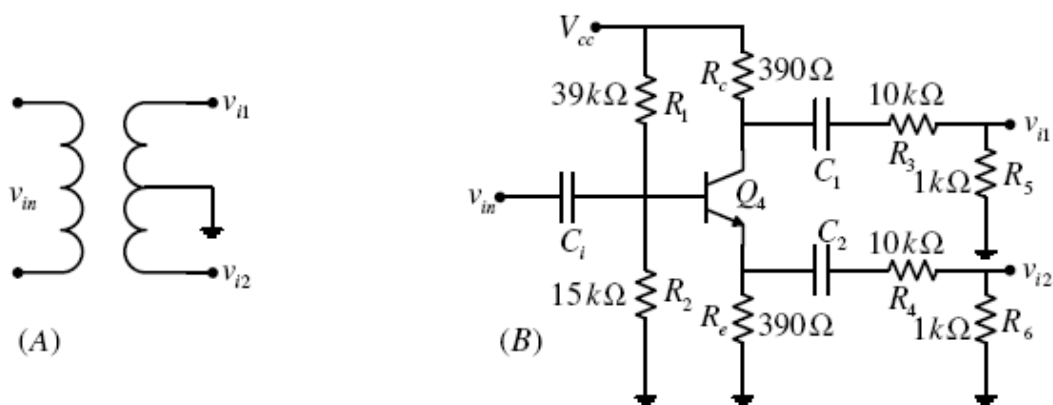
در پهنای باند را بدست آورید. برای اندازه گیری f_{H-3dB} مشابه آزمایش قبل از یک بافر در خروجی

استفاده کنید.

و) به خروجی v_{o1} مدار، یک بار خازنی وصل کنید. بار $1k\Omega$ با خازن $10pf$ را توسط یک خازن الکترولیتی بای پس $1\mu f$ به خروجی وصل کنید v_{i1} را زمین کرده و سیگنال ژنراتور را به v_{i2} وصل کنید). با تغییر بار از $1k\Omega$ تا $100k\Omega$ و تغییرات خازن ($10pf$ و $100pf$) بهره مدار و پاسخ فرکانسی را به دست آورید.

ز) برای متعادل و پایدار کردن مدار شکل ۲-۱ می توان از دو مقاومت کوچک (مثلا 50 یا 100 اهم) در امیتر ساختار تفاضلی استفاده کرد. یک خازن $220pf$ نیز در امیتر از سر Re ($2.2k\Omega$) به زمین وصل کنید. در حالت مد مشترک فرکانسی $3dB$ مدار را به دست آورده و با رابطه $1/(2\pi RC)$ مقایسه کنید.

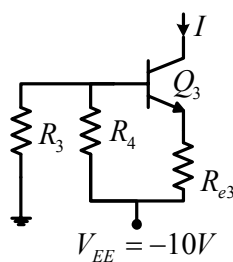
ح) بهره مد تفاضلی را با اعمال دو سیگنال کوچک در فرکانس میانی که با هم اختلاف فاز 180 درجه دارند؛ بدست آورید (می توان از مدارهای زیر برای این کار استفاده کرد که v_{in} ورودی سیگنال کوچک فرکانس میانی است)



شکل ۲-۲) مدار phase splitter برای ایجاد اختلاف فاز 180

۲-۲) برای افزایش CMRR می‌توان از یک آینه جریان به جای مقاومت R_e در شکل ۱-۲

استفاده کرد. آینه جریان زیر را طوری طراحی کنید که جریان آینه برابر 4mA شود.



شکل ۲-۳) آینه جریان ساده

الف) با جایگذاری منبع جریان فوق در مدار مقادیر DC، A_c ، A_d ، CMRR و پهنای باند را محاسبه کنید. جدولی تشکیل دهید که مقادیر تئوری، مقادیر عملی بدون آینه جریان و با آینه جریان را در آن وارد کنید و با هم مقایسه کنید.

ب) مزایای استفاده از تقویت‌کننده تفاضلی را به تفصیل بیان کنید (با تأکید بر پاسخ فرکانسی).

جلسه چهارم

آزمایش شماره ۳

افزایش پهنای باند با تقویت کننده‌های کسکد

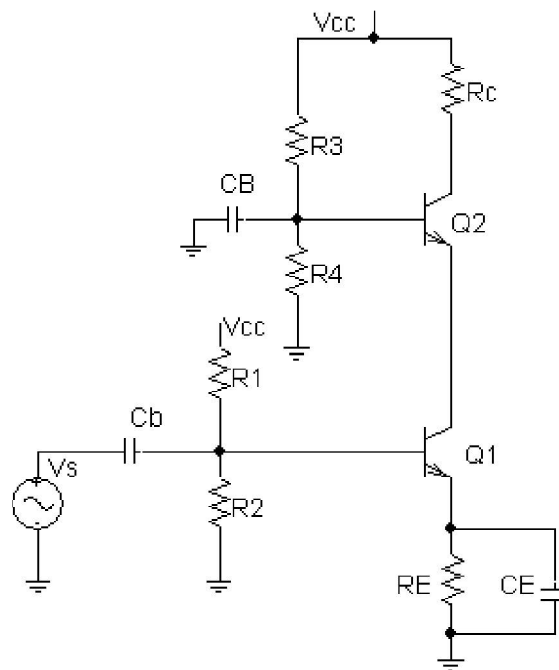
برای افزایش پهنای باند در تقویت کننده‌ها روشهای مختلفی وجود دارد، یکی از این روشها کسکد (cascade) کردن طبقات تقویت کننده می‌باشد. یک تقویت کننده کسکد در واقع از تقویت کننده امیتر مشترک به همراه یک تقویت کننده بیس مشترک تشکیل شده است (C.E+C.B). انگیزه اصلی استفاده از ساختار کسکد افزایش پهنای باند است و این هدف با گذاشتن ترانزیستور بیس مشترک بر روی امیتر مشترک که اثر میلری خازن C_{μ} را کاهش می‌دهد، ایفا می‌گردد.

یک روش دیگر برای افزایش پهنای باند و داشتن تقویت کننده‌های باند وسیع استفاده از ساختار کلکتور مشترک به همراه امیتر مشترک می‌باشد (C.C+C.E).

هدف از این آزمایش بررسی روش بایاسینگ چند طبقه و بررسی اثر طبقه C.B بر روی پهنای باند و بهره تقویت کننده C.E؛ همچنین بررسی اثر طبقه C.C در ورودی بر روی C.E می‌باشد.

۱-۳) تقویت کننده C.E در شکل ۱-۱ را در نظر بگیرید. با توجه به اینکه اثر میلری خازن C_{μ} در ورودی مقدار بزرگی است، این اثر باعث کاهش f_H می‌شود. یک روش برای افزایش پهنای باند در تقویت کننده‌های دو طبقه C.E، استفاده از بافر در بین طبقات می‌باشد؛ بافر اضافه شده باعث کاهش مقاومت معادل و در نتیجه افزایش f_H می‌شود بدون اینکه بر روی بهره اثر بگذارد.

الف) در یک تقویت کننده C.E دو طبقه، با استفاده از بافر در بین طبقات این اصل را تحقیق کنید.
 ب) روش دیگر برای افزایش پهنای باند و داشتن تقویت کننده های باند وسیع استفاده از ساختار امیتر مشترک به همراه یک تقویت کننده بیس مشترک می باشد. شکل ۱-۳ را در نظر بگیرید؛ در این مدار المانهای مدار را طوری طراحی کنید که جریان نقطه کار $I_{CQ}=2mA$ شود.



شکل ۱-۳) تقویت کننده کسکد امیتر مشترک به همراه بیس مشترک

ج) نقطه کار هر دو ترانزیستور برای داشتن حداکثر خروجی بدون اعوجاج را بدست آورید.

د) المانهای مدار را برای داشتن مقادیر تقریبی $f_{L-3dB}=100Hz$ و $f_{H-3dB}=10MHz$ و بهره میانی ۵۰ طراحی کنید.

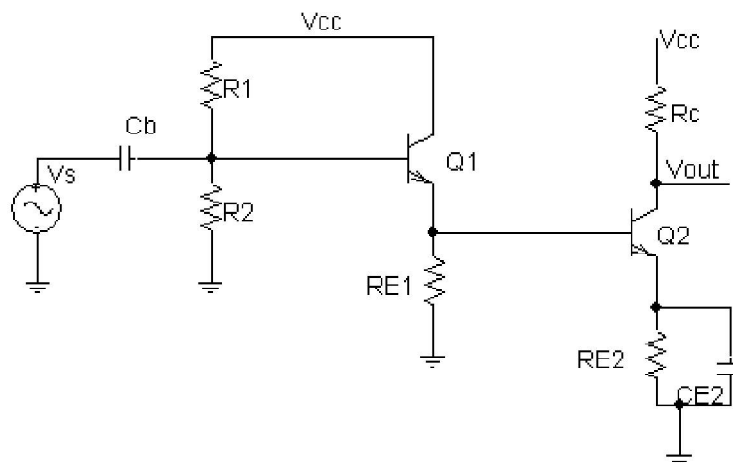
ه) بهره ولتاژ و پهنای باند مدار را اندازه گیری کنید.

و) مقدار R_C را تغییر داده و اثر آن بر روی بهره و پهنای باند را اندازه گیری کنید. از این آزمایش چه نتیجه ای میگیرید.

چرا افزایش R_c همانند مدار امیتر مشترک اولی، ضمن افزایش بهره ولتاژ نمی‌تواند پهنای باند را کاهش قابل توجهی دهد.

ز) جدولی تهیه کنید و در آن مقادیر تئوری، عملی و نتایج شبیه‌سازی بدست آمده را برای مدار کسکد نوشته و علت اختلاف احتمالی را توضیح دهید.

۲-۳) روش دیگر برای افزایش پهنای باند استفاده از ساختار کلکتور مشترک به همراه امیتر مشترک می‌باشد. شکل ۲-۳ را در نظر بگیرید. در این مدار المانهای مدار را طوری طراحی کنید که جریان نقطه کار $I_{CQ}=2mA$ شود.



شکل ۲-۳ تقویت کننده کسکد کلکتور مشترک به همراه امیتر مشترک

ج) نقطه کار هر دو ترانزیستور برای داشتن حداکثر خروجی بدون اعوجاج را بدست آورید.

د) المانهای مدار را برای داشتن مقادیر تقریبی $f_{L-3dB}=100Hz$ ، $f_{H-3dB}=10MHz$ و بهره میانی ۵۰ طراحی کنید.

ه) بهره ولتاژ و پهنای باند مدار را اندازه‌گیری کنید.

و) جدولی تهیه کنید و در آن مقادیر تئوری، عملی و نتایج شبیه‌سازی بدست آمده را در آن وارد کرده و نتایج را تحلیل کنید.

جلسه پنجم و ششم

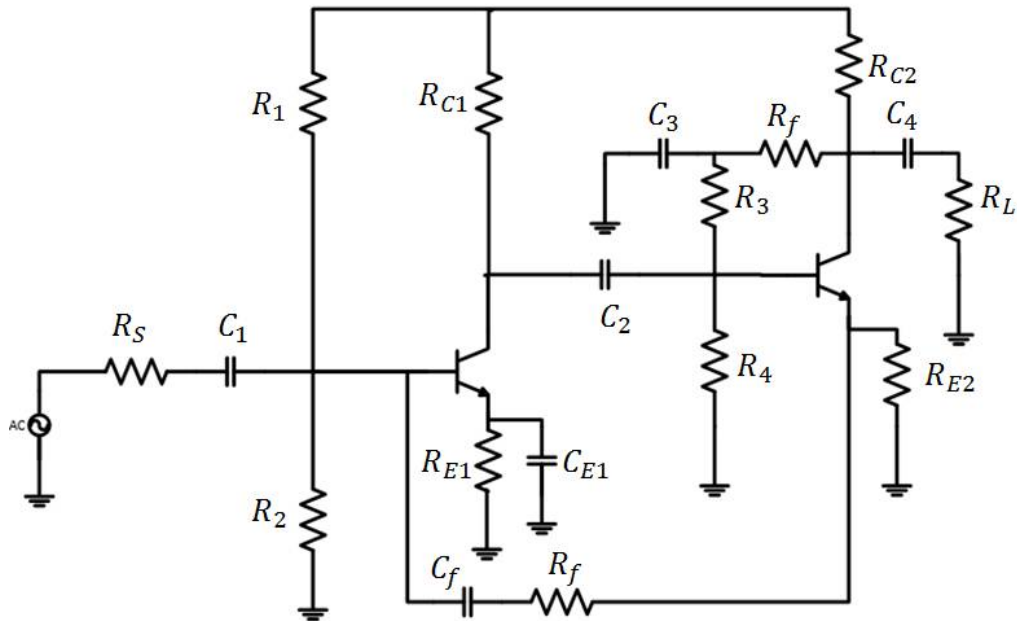
آزمایش شماره ۴

بررسی پاسخ فرکانسی و پایداری تقویت کننده‌های فیدبک‌دار

هدف از این آزمایش بررسی خواص فیدبک منفی و مطالعه پایداری تقویت کننده‌ها می‌باشد. اثر فیدبک منفی بر روی بهره ولتاژ، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و پاسخ فرکانسی در این آزمایش بررسی می‌شود. اثر فیدبک منفی بر پاسخ فرکانسی و پایداری تقویت کننده بررسی شده و اثر جبران سازی بر روی قطب غالب و پایداری بررسی می‌شوند. از انواع چهارگانه فیدبک منفی، تنها فیدبک جریان- موازی (A_I) را بررسی می‌کنیم.

۴-۱- تقویت کننده فیدبک‌دار فوق، یک تقویت کننده دو طبقه با پهنای باند بالا می‌باشد. این تقویت کننده قرار است به خط انتقال ۳۰۰ اهم متصل شود، بنابراین امپدانس ورودی و خروجی تقویت کننده باید برابر 300Ω باشد. از ترانزیستورهای 2N2222 یا BC107 در طراحی استفاده کنید. مدار باید طوری طراحی گردد که حداکثر ولتاژ خروجی بدون اعوجاج را در بار 300Ω ایجاد کند (ولتاژ پیک- پیک باید بیش از 6V باشد).

نکته: مقاومت سیگنال ژنراتور را اندازه گیری کرده و مقاومتی به ورودی متصل کنید که مقاومت مجموع ورودی برابر 300Ω شود.



$R_1=33k\Omega$, $R_2=10k\Omega$, $R_{E1}=1k$, $R_{C1}=6.8k$, $R_3=12k$, $R_4=6.8k$, $R_5=10k$,
 $R_{C2}=270\Omega$, $R_L=300\Omega$, $R_f=0-1k(\text{typical } 220\Omega)$, $c_f=82\mu f$, $c_{1,2,3,4}=10\mu f$

شکل ۴-۱) تقویت کننده با فیدبک جریان- موازی

الف) در تقویت کننده شکل بالا، ابتدا نقاط کار ترانزیستورها، بهره ولتاژ، مقاومت ورودی و مقاومت خروجی و فرکانس قطع پائین و فرکانس قطع بالا تقویت کننده بدون فیدبک را حساب کنید. (برای هر دو ترانزیستور مقادیر $\beta = h_{fe}$ ترانزیستور انتخابی را به دست آورده و با آن محاسبات بالا را انجام دهید).

ب) طبقه اول مدار را بسته و نقطه کار را طوری تنظیم کنید که ولتاژ خروجی در بار 300Ω حداکثر و بدون اعوجاج شود. سپس بهره، امپدانس ورودی و خروجی و فرکانسهای $3dB$ بالا و پایین مدار را اندازه گیری کرده و یادداشت کنید.

$V_{CEQ1} = \dots\dots\dots$	$I_{CQ1} = \dots\dots\dots$	$V_{O_{p-p}} = \dots\dots\dots$
$A_{v1} = \dots\dots\dots$	$f_{H-3dB} = \dots\dots\dots$	$f_{L-3dB} = \dots\dots\dots$

$$R_{o1} = \dots\dots\dots$$

$$R_{i1} = \dots\dots\dots$$

ج) مرحله بالا را برای طبقه دوم نیز تکرار کنید.

$$V_{CEQ2} = \dots\dots\dots$$

$$I_{CQ2} = \dots\dots\dots$$

$$v_{O_{p-p}} = \dots\dots\dots$$

$$A_{v2} = \dots\dots\dots$$

$$f_{H-3dB} = \dots\dots\dots$$

$$f_{L-3dB} = \dots\dots\dots$$

$$R_{o2} = \dots\dots\dots$$

$$R_{i2} = \dots\dots\dots$$

د) دو طبقه را به هم متصل کرده و در صورت لزوم نقطه کار را برای بدست آوردن ماکزیمم ولتاژ خروجی تنظیم کنید. مجدداً خواسته‌های بالا را به دست آورید.

$$A_{v1} = \dots\dots\dots$$

$$f_{H-3dB} = \dots\dots\dots$$

$$f_{L-3dB} = \dots\dots\dots$$

$$R_o = \dots\dots\dots$$

$$R_i = \dots\dots\dots$$

$$v_{O_{p-p}} = \dots\dots\dots$$

ه) بار RL را برداشته و بهره ولتاژ مدار را اندازه‌گیری کنید.

و) مدار را ابتدا بدون برقراری فیدبک مونتاژ کنید و با قرار دادن اثر بار فیدبک در ورودی و خروجی (تشکیل تقویت‌کننده A'_v)، پس از کنترل نقاط کار ترانزیستورها، گین ولتاژی، مقاومت خروجی، مقاومت ورودی و فرکانس قطع بالا و پائین تقویت‌کننده A'_v را اندازه‌گیری کرده و با مقادیر تئوری مقایسه کنید.

ز) فیدبک جریان - موازی را به مدار اضافه کنید. سپس ماکزیمم ولتاژ بدون اعوجاج، بهره، امپدانس ورودی و خروجی و فرکانسهای $3dB$ بالا و پایین مدار را اندازه‌گیری کرده و با مقادیر تئوری مقایسه کنید. به اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر تئوری در دو حالت اخیر توجه کنید.

ح) با داشتن پاسخ فرکانسی مدار بدون فیدبک و با فیدبک، ثابت بودن تقریبی حاصلضرب بهره در پهنای باند (برای مدارهای با یک فرکانس غالب) برای مدار بدون فیدبک و با فیدبک را بررسی کنید.

۴-۲- بررسی پایداری مدار فیدبک‌دار

الف) ابتدا به ازای فیدبک کوچک (R_f)، با اعمال موج مربعی به ورودی، موج مربعی شکل خروجی را مشاهده کنید. آیا موج دارای جهش (overshoot) است؟ نبود جهش به معنای پایداری مدار است.

ب) با کاهش R_f امکان جهش در مدار بوجود می‌آید. مقدار R_f را آنقدر کم کنید که نوسان آغاز شده و مدار ناپایدار شود. حداقل بهره برای رسیدن به حاشیه فاز ($PM=0$) صفر چقدر است.

ج) مقدار R_f را کمی بزرگ کنید تا مدار از حالت ناپایداری خارج شود (البته هنوز خروجی دارای جهش باشد)، حال روشهای جبرانسازی زیر را امتحان کنید:

۴-۲-۱) بر روی امپدانس تقویت‌کننده اول، مقاومت کوچک (مثلاً ۱۰۰ اهم) اضافه کنید تا پایداری دامنه انجام شود. مقدار جهش چند درصد کاهش یافته؟ بهره حلقه باز چند درصد کاهش یافته است؟

۴-۲-۲) خازن بای‌پس طبقه اول را بردارید، اثر این امر بر مقدار جهش چگونه است؟ بهره حلقه باز چقدر تغییر کرده است؟

۴-۲-۳) خازن بای‌پس بند بالا را به مدار متصل کنید، جبران‌ساز قطب غالب را انجام دهید (مثلاً یک خازن بزرگ سرامیکی حدود $10\mu\text{f}$ به بیس ترانزیستور اول به زمین وصل کنید و اثر آن بر روی جهش را بررسی کنید)

۴-۲-۴) خازن قطب غالب بند بالا را بردارید، یک خازن چند ده پیکوفارادی بین بیس و کلکتور ترانزیستور طبقه اول وصل کنید، اثر جبران‌سازی بر روی پایداری و پاسخ فرکانسی را در عمل به دست آورید.

به لحاظ تئوری فرکانس 3dB بالا را با اتصال خازن جبران‌ساز قطب غالب، به دست آورید.

۴-۲-۵) خازن جبران‌ساز بند ۴-۲-۴ را بردارید، حال به روش جبران‌سازی پیش فاز (Lead-zero) و با اضافه کردن خازن مناسب دو سر R_f ، مقدار جهش را به دست آورید.

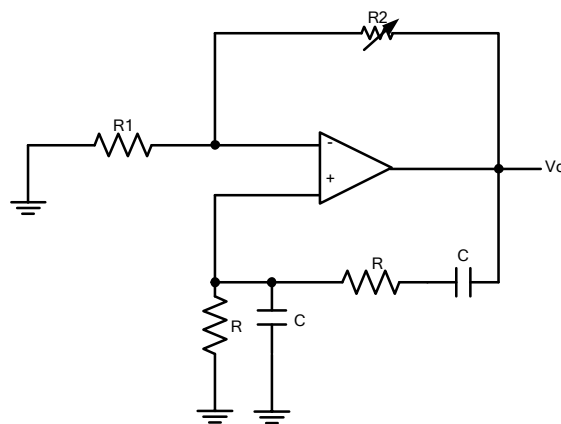
آزمایش شماره ۵

نوسان‌سازهای RC

نوسان‌سازهای سینوسی RC به دو صورت طراحی می‌شوند، یکی توسط پل وین و دیگری توسط شیفت فاز.

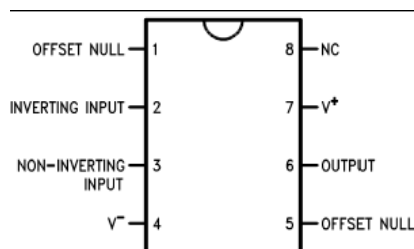
۵-۱) نوسان‌ساز پل وین

از تقویت‌کننده عملیاتی در صورت اعمال فیدبک مثبت خارجی می‌توان برای تولید سیگنال سینوسی استفاده کرد. یکی از نوسان‌سازهای معمولی توسط آپامپ، نوسان‌ساز پل وین (Wien Bridge) می‌باشد. در این مدار دو مسیر فیدبک وجود دارد یکی فیدبک مثبت که از طریق $Z1$ و $Z2$ (RC سری و موازی) فراهم می‌شود و دیگری فیدبک منفی که توسط $R1$ و $R2$ انجام می‌شود. مدار این نوسان‌ساز در شکل ۵-۱ نشان داده شده است. البته باید یادآور شد که این نوسانگر برای فرکانسهای کوچک (زیر MHz) کاربرد دارد.



شکل ۵-۱) نوسان ساز پل وین

ساختار و نماد مدارى آپ امپ ۷۴۱ در شکل ۵-۲ آمده است.



شکل ۵-۲) پایه‌های آپ امپ

الف) شرط نوسان و فرکانس نوسان مدار بالا را بدست آورید.

ب) با فرض تغذیه $\pm 10V$ برای آپ امپ، نوسان ساز پل وین را شبیه‌سازی کرده و درستی روابط بند الف را تحقیق کنید.

ج) مدار را برای فرکانسهای نوسان 100Hz، 1KHz، 10kHz و 100kHz طراحی کنید.

د) جدولی تهیه کرده و در آن مقادیر عملی، شبیه‌سازی و تئوری را برای بند ج به دست آورید.

R	100Hz	1KHZ	10KHZ	100KHZ
مقادیر تئوری	R = C = R2 =	R = C = R2 =	R = C = R2 =	R = C = R2 =
مقادیر عملی	R = C = R2 =	R = C = R2 =	R = C = R2 =	R = C = R2 =
مقادیر شبیه‌سازی	R = C = R2 =	R = C = R2 =	R = C = R2 =	R = C = R2 =

البته باید یاد آور شد که در عمل برای اطمینان از نوسان مدار از پتانسیومتر به جای R_2 استفاده کنید.
به عنوان مثال به ازای $R_1=10\text{k}\Omega$ مقادیر R_2 برای نوسان را در جدول بالا اعمال کنید.

ه) مقاومت R_2 را زیاد کنید و شکل موج خروجی را ببینید و دلیل این امر را توضیح دهید.

و) برای کنترل اتوماتیک دامنه می توان از مدار JFET در مسیر فیدبک منفی اسفاده کرد، مداری برای این کار طراحی کرده و روابط حاکم را بدست آورده و عملکرد مدار را توضیح دهید.

ز) برای کنترل دامنه نوسان می توان از دو دیود معمولی (مثل 1N4148) به صورت محدود کننده، موازی با مقاومت R_2 در مسیر فیدبک استفاده کرد، مدار این کنترل کننده را بررسی کنید.

۵-۲) نوسان ساز شیفرت فاز

این اسیلاتور برای فرکانس های حدود 1Mhz مناسب می باشد. این اسیلاتور در سیستم های آکوستیک و سونار مورد استفاده قرار می گیرد.

الف) شماتیک این اسیلاتور را رسم کرده و فرکانس نوسان و شرط نوسان را پیدا کنید.

ب) با استفاده از سه شاخه C-R و فیدبک ولتاژ خروجی (از مقاومت R نهایی) به ورودی آپامپ، فرکانس نوسان را حول $f_0=1/(2\pi\sqrt{6*RC})$ تنظیم کنید (از $C=0.1\mu\text{f}$ ، $R=2.2\text{k}\Omega$ ، $R_1=10\text{k}\Omega$ و $R_2=330\text{k}\Omega$ استفاده کنید).

جلسه هشتم و نهم

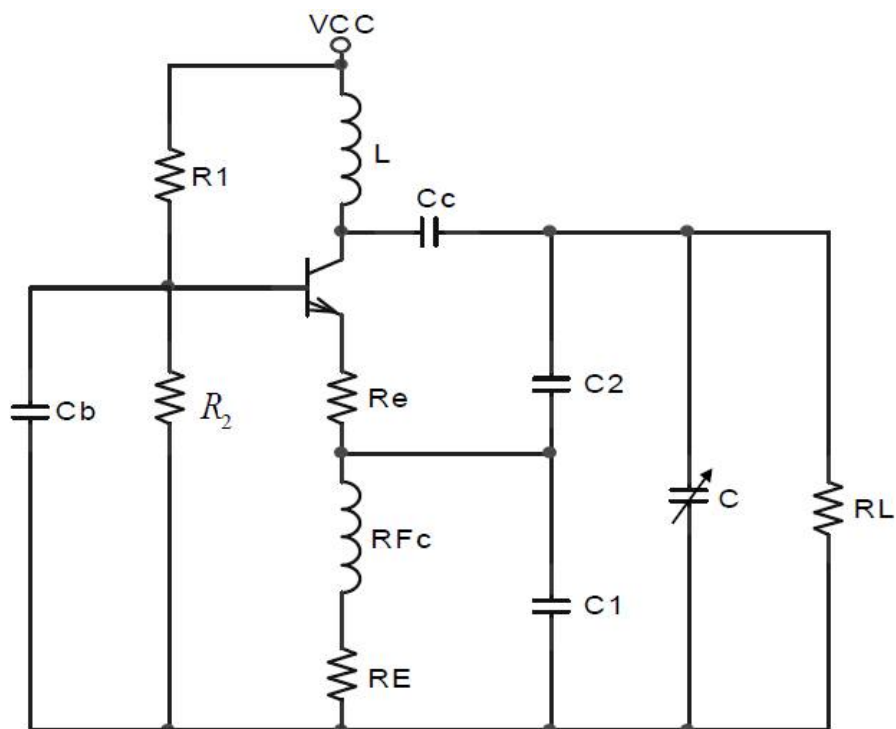
آزمایش شماره ۶

نوسان‌سازهای RF با تانک LC و کریستال

همانگونه که ذکر شد فرکانس کاری نوسان‌سازهای شیفت RC محدود می‌باشد. در این آزمایش هدف طراحی اسیلاتوری است که در فرکانس رادیویی کار کند. اسیلاتورهای LC دو نوع کلی کولپیتس و هارتلی دارند. از بین نوسان‌سازهای LC، استفاده از اسیلاتور کولپیتس با ترانزیستور بیس مشترک متداول‌تر است. این نوسان‌سازها می‌توانند تا فرکانس قطع ترانزیستور کار کنند؛ ولی چون هدف ما ساخت اسیلاتور بر روی برد برد می‌باشد، بنابراین سعی می‌کنیم فرکانس کاری را محدود کنیم.

۱-۶) نوسان‌ساز کولپیتس تانک LC

مدار نوسان‌ساز کولپیتس C.B در شکل ۱-۶ نشان داده شده است. سعی می‌کنیم با ترانزیستور BC107 یا 2N2222 اسیلاتوری طراحی کنیم که ولتاژ خروجی $v_o = 10 \sin(2\pi * 10^6 t)$ ولت را در بار $2.2k\Omega$ تولید کند. خازنهای c_1 و c_2 مقدار فیدبک را تعیین می‌کنند و C فرکانس رزونانس مدار را. با صرفنظر از خازنهای بردبرد، خازن مدار تانک از رابطه $C' = C + \frac{c_1 * c_2}{c_1 + c_2}$ بدست می‌آید. مقاومت ورودی با نسبت N^2 بر مدار تانک اثر می‌گذارد ($N = \frac{c_1 + c_2}{c_2}$). برای انتقال حداکثر توان به بار باید $R_{Tank} = R_p \parallel N^2 R_i$ شود (سعی می‌کنیم $N^2 R_i$ بر روی Q تانک اثر نگذارد).



شکل ۶-۱) نوسان ساز کولپیتس

الف) با فرض $V_{CB}=10V$ و $N=10-20$ و $R_i=40-50\Omega$ طراحی را انجام دهید.

ب) مقدار بایاس لازم را از رابطه $V_{CC}=V_{CBQ}+I_{CQ}(R_E+R_E)$ به دست آورید.

تذکر: $R_E=39\Omega$ و $C_b=1\mu f$ است، به جای RFC از سلف بزرگ مثل 22mH استفاده کنید)

ج) آیا برداشتن RFC در این مدار (که R_E بزرگ دارد) اثری خواهد داشت.

د) مدار را بسته و بند ج را تحقیق کنید. همچنین اگر بار R_L به جای $2.2k\Omega$ ، $10K\Omega$ شود ولتاژ

خروجی چقدر است.

ه) اگر بار خیلی کوچک در خروجی قرار گیرد، دامنه نوسانات و فرکانس آن چه خواهد شد.

و) به ازای چه مقدار از بار کوچک، نوسانات خروجی حذف خواهد شد.

ز) برای اتصال بار کوچک به مدار آن را توسط خازن کوپلاژ به دو سر C1 می‌بندیم. مقدار مقاومت باری

که به دو سر C1 بسته شود تا Q مدار مشابه بار 2.2k باشد را پیدا کنید.

۲-۶) نوسان‌ساز کریستالی

برای تحقق نوسان در نوسان‌ساز کولپیتس می‌توان از یک کریستال 1MHz به جای سلف استفاده کرد.

در مدار شکل ۱-۶ از کریستال استفاده کرده و شکل موج خروجی را بدست آورید.

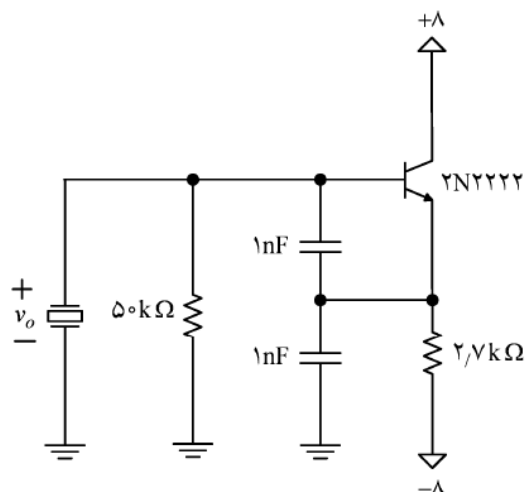
برای سادگی می‌توان آزمایش زیر را در مورد نوسان‌ساز کریستالی انجام داد.

شکل ۲-۶ مدار یک نوسان‌ساز کریستالی را نشان می‌دهد که در آن کریستال می‌تواند از نوع ۲ یا ۴ مگاهرتزی باشد.

الف) مسیر فیدبک مثبت از کجا بوجود می‌آید.

ب) شکل موج خروجی را بدست آورید.

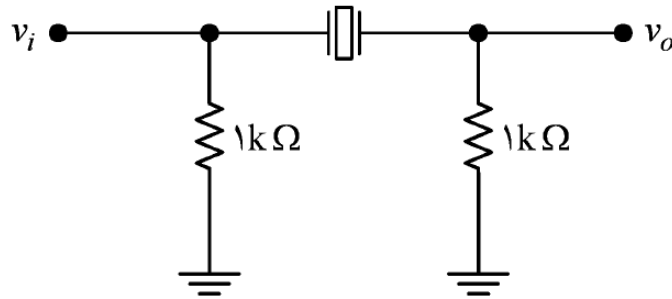
ج) در نوسان‌سازهای کریستالی با سری کردن یک خازن کوچک با کریستال می‌توان فرکانس نوسان را کمی تغییر داد، با یک خازن 100pf این امر را تحقیق کنید.



شکل ۲-۶) نوسان‌ساز کولپیتس

۳-۶) فیلتر میان گذر کریستالی

با استفاده از کریستال می‌توان فیلترهایی با پاسخ فرکانسی بسیار تیز (موسوم به فیلتر ناچ Notch Filter) را طراحی و پیاده‌سازی کرد. شکل ۳-۶ نمونه‌ای از این فیلتر را نشان می‌دهد. این مدار را پیاده‌سازی کرده و فرکانس سیگنال ورودی را در حوالی فرکانس کریستال تغییر دهید و همزمان شکل موج سیگنال خروجی را بر روی اسیلوسکوپ مشاهده کنید. چه اتفاقی می‌افتد؟ (باید توجه داشت که گامهای فرکانسی سیگنال ورودی را خیلی کوچک در نظر گرفت)



شکل ۳-۶) طراحی فیلتر ناچ توسط کریستال

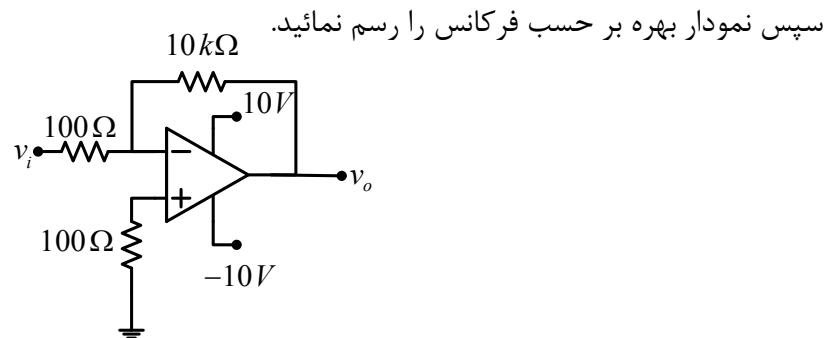
آزمایش شماره ۷

پاسخ فرکانسی آپامپ و مدار آپامپ با یک منبع تغذیه

تقویت کننده‌های عملیاتی مثل LM741 دارای ضریب تقویت بالایی هستند. در کاربرد خطی، آپامپ به همراه فیدبک منفی عموماً به عنوان معکوس کننده، جمع کننده، مبدل دیجیتال به آنالوگ، مشتق-گیر، انتگرالگیر، فیلتر و ... استفاده می‌شود. ساختار و نماد مداری آپ امپ ۷۴۱ در بخش ۵ در شکل ۲-۵ نشان داده شده بود. در این آزمایش هدف به دست آوردن پاسخ فرکانسی OP-Amp می‌باشد.

۷-۱) پاسخ فرکانسی تقویت کننده عملیاتی

الف) مدار زیر را بسته و با تغییر فرکانس ورودی، بهره را اندازه‌گیری کرده و در جدول ثبت کنید.



f	DC	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz	500 kHz	1 MHz	2 MHz
v_i									
v_o									
$A_v = v_o/v_i$									

ب) علت استفاده از مقاومت ۱۰۰ اهم در سر مثبت آپ امپ را با فرمولهای مربوطه توضیح دهید (حذف افسست ناشی از جریان بایاس ورودی)

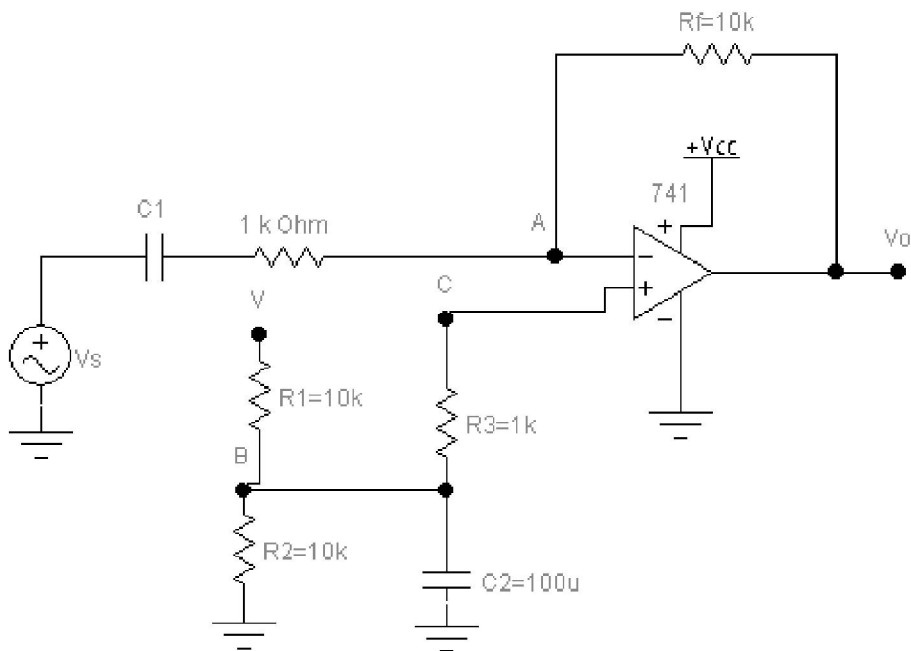
ج) به جای مقاومت 10kΩ در مدار بالا یکبار از مقاومت 1kΩ و بار دیگر از مقاومت 100kΩ استفاده کرده و جدولی مشابه بالا برای هر حالت ترسیم کنید (با انتخاب مقادیر مناسب فرکانس سیگنال ژنراتور). مقادیر بهره و پاسخ فرکانسی در هر حالت را بررسی کنید.

د) با به دست آوردن بهره حلقه باز آپامپ و با توجه به استفاده از خازن جبران ساز در مدار داخلی آپ-امپ (خازن قطب غالب حدود 30pf)، مقدار پهنای باند حلقه باز آپامپ را به دست آورید. اصل ثابت بودن حاصلضرب بهره در پاسخ فرکانسی را تحقیق کنید.

۲-۲) تقویت کننده عملیاتی با یک منبع تغذیه

هر گاه از یک آپامپ در مداری با یک منبع تغذیه استفاده کنیم، این سوال مطرح خواهد شد که خروجی حول چه ولتاژی تغییر خواهد کرد. اگر خروجی آپامپ به ازای ورودی صفر، صفر باشد، پس از وارد کردن سیگنال ورودی مسلماً شکل موج سیگنال خروجی متقارن نخواهد شد و برش در شکل موج خواهیم داشت. برای اینکه برش و اعوجاج در سیگنال خروجی نداشته باشیم، باید مقدار ولتاژ dc خروجی را به ازای سیگنال ac صفر، افزایش دهیم؛ به عبارتی برای آپامپ یک ولتاژ افسست ایجاد می-کنیم.

برای داشتن حداکثر خروجی بدون اعوجاج باید مقدار افسست را برابر $V_{cc}/2$ تنظیم کرد.



شکل ۷-۲) آپامپ با یک منبع تغذیه

الف) ولتاژهای dc و ac نقاط A، B، C و Vo را اندازه‌گیری کنید. اثر تغییر ولتاژ V بر مقادیر فوق را یادداشت کنید.

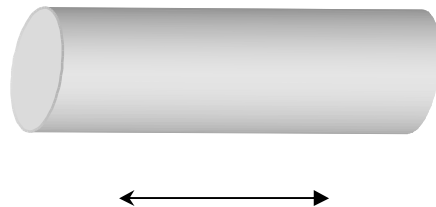
ب) سیگنال ac فرکانس میانی (مثلاً 1kHz) به مدار اعمال کنید و مقادیر dc+ac بند الف را یادداشت کنید. بهره مدار را اندازه‌گیری کنید.

ج) با تنظیم افست خروجی اثر ولتاژ نقطه V بر سیگنال پیک-پیک بدون اعوجاج خروجی را بررسی کنید.

د) وظایف المانهای C1، C2، R1 و R2 چیست.

پیوست ۱

طراحی و ساخت سلف با هسته هوایی



برای ساخت سلف، یک هسته غیر آهنی مانند لوله خودکار انتخاب می‌کنیم و شعاع آن را در نظر می‌گیریم (R بر حسب متر). سپس چند دور (N) سیم روکش‌دار دور هسته می‌پیچیم و طول آنرا محاسبه می‌کنیم (ℓ بر حسب متر).
حال بر حسب مقدار سلف خواسته شده (L) بر حسب (μH) مقدار ℓ لازم برای پیچیدن بر روی هسته بر حسب متر بدست می‌آید.

$$L = \frac{R^2 N^2}{9R + 10ND}$$

L = میکرو هانری

D = فاصله بین دورها (همان قطر سیم است اگر فاصله‌ای بین دورهای متوالی وجود نداشته باشد)

R = شعاع سیم پیچ بر حسب اینچ

N = تعداد دورها