

به نام خالق هستی



دانشگاه سبزگان

دستور کار آزمایشگاه الکترونیک ۲

تهیه و تدوین:

دکتر سیروس طوفان

فهرست آزمایش‌ها و زمان پیش‌بینی شده برای انجام آنها

آزمایش اول: طراحی تقویت کننده ولتاژی چند طبقه ترانزیستوری (۲ جلسه)

آزمایش دوم: منابع جریان (۱ جلسه)

آزمایش سوم: تقویت کننده تفاضلی (۲ جلسه)

آزمایش چهارم: تقویت کننده‌های ترانزیستوری فیدبک‌دار (۳ جلسه)

آزمایش پنجم: تقویت کننده‌های Push-Pull کلاس‌های B و AB (۱ جلسه)

آزمایش ششم: تقویت کننده عملیاتی و مشخصات آن (۱ جلسه)

آزمایش هفتم: کاربردهای خطی تقویت کننده‌های عملیاتی (۱ جلسه)

آزمایش هشتم: منابع تغذیه تثبیت شده ولتاژی (۱ جلسه)

برای استفاده بهتر از وقت آزمایشگاه پیش از شروع هر جلسه، لازم است دستور کار را با دقت مطالعه کرده و همچنین همه طراحی‌های لازم را انجام دهید. ضمناً بعد از بستن مدار و بدست آوردن جوابها صحت عملکرد مدار و درست بودن جوابها را بررسی نمائید.

آزمایش شماره ۱

طراحی تقویت کننده ولتاژی چند طبقه ترانزیستوری

هدف از این آزمایش طراحی یک تقویت کننده ولتاژ باگین زیاد و با مشخصات نزدیک به حالت ایده آل است. در این آزمایش در مورد نحوه طراحی و استفاده از المان‌های مختلف آزادی عمل کامل وجود دارد. طبیعی است که نحوه طراحی و منطقی بودن طرح دارای اهمیت و ارزش بیشتری است.

۱-۱) یک تقویت کننده ولتاژ با مشخصات زیر طراحی و تست کنید:

ولتاژ تغذیه: ۱۲ ولت، توان مصرفی: کمتر از ۲۰۰ میلی‌وات، گین ولتاژی: $A_v \geq 500$ ، ماکزیمم نوسان خروجی در حالت بی‌باری: $v_{o,max} = 5V$ ، مقاومت ورودی: $R_{in} \geq 1M\Omega$ ، مقاومت خروجی: $R_{out} \leq 10\Omega$ ، فرکانس قطع پایین در

$$\text{حالت } f_{3dB} \leq 200Hz : R_L = 10\Omega$$

راهنمایی: برای طراحی از یک ترانزیستور JFET، دو ترانزیستور BJT در ساختارهای امیتر مشترک-کلکتور مشترک، مقاومت و خازن استفاده نمائید. همچنین ضریب پایداری حرارتی کافی برای ترانزیستورها در نظر گرفته شود.

پس از طراحی مدار را بسته و مشخصات بالا را اندازه‌گیری کنید. در صورت وجود اختلاف با مقادیر خواسته شده علت را بررسی کرده و تغییر لازم را برای رسیدن به مقادیر مطلوب ایجاد کنید.

نکته: در صورت ایجاد شدن نوسانات ناخواسته در خروجی تقویت کننده کلکتور مشترک (به شرط استفاده کردن از یک پروب اسیلوسکوپ) از خازنی برای تثبیت ولتاژ تغذیه آن استفاده شود.

سوال: در صورت اندازه‌گیری همزمان ورودی و خروجی ممکن است نوسانات ناخواسته در خروجی ایجاد شود. چرا؟

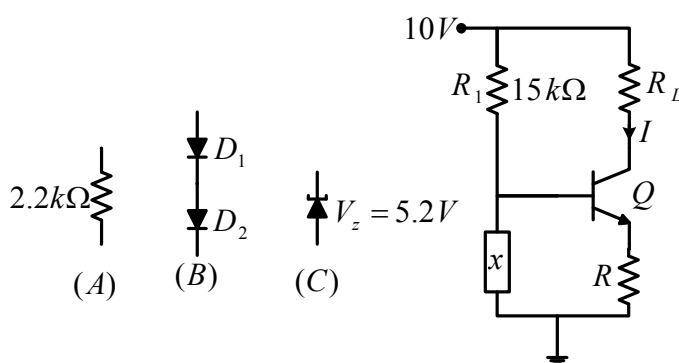
آزمایش شماره ۲

منابع جریان

منابع جریان کاربردهای متنوعی در طراحی مدارهای الکترونیکی دارند. بسته به نوع کار و دقت مورد نیاز ساختارهای مختلفی برای منابع جریان استفاده می‌شود. هدف از این آزمایش، بررسی مشخصات چندین مدار مختلف منبع جریان از جمله مقدار جریان، مقاومت خروجی و محدودیت‌های عملکردی آنها می‌باشد. منابع جریان به دو صورت Current Source و Current Sink می‌باشند.

۱-۲ منبع جریان با BJT

در مدار شکل زیر ابتدا برای هر سه حالت رسم شده (استفاده از المان‌های نشان داده شده در شکل‌های A ، B و C بجای المان x) مقدار R را طوری تعیین کنید که $I = 2mA$ باشد. سپس مدار را به ازای $R_L = 1k\Omega$ بسته و برای هر سه حالت جریان I و مقاومت خروجی (R_o) را اندازه گرفته و در جدول زیر یادداشت کنید. حداکثر و حداقل مقادیر R_L ، به ازای حداکثر 5% تغییر I ، را اندازه گرفته و یادداشت کنید.



پارامتر \ حالت	I	R_o	$R_{L,max}$	$R_{L,min}$
A				
B				
C				

سوال ۱: در کدامیک از حالت‌های فوق مقاومت خروجی زیادتر است. چرا؟

مقدار V_{cc} را به ۱۲ ولت افزایش داده و دوباره مقدار I را برای هر سه حالت فوق اندازه گرفته و یادداشت کنید.

حالت \ پارامتر	A	B	C
I			

سوال ۲: حساسیت کدامیک از حالت‌های فوق نسبت به تغییر منبع تغذیه کمتر است. چرا؟

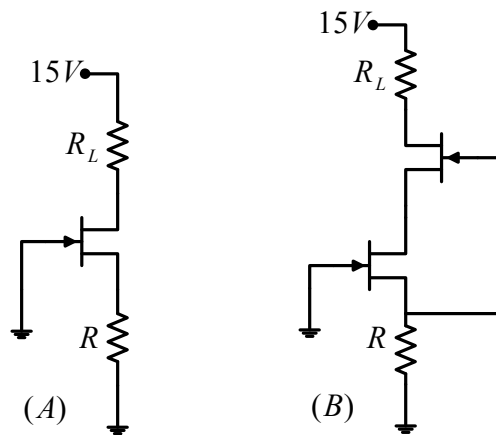
۲-۲) منبع جریان با JFET

شکل‌های زیر نشانگر دو مدار مختلف منبع جریان با JFET می‌باشند. مقادیر V_P و I_{DSS} را برای JFET موجود

در آزمایشگاه اندازه گرفته و در هر دو مدار زیر مقدار R را طوری تعیین کنید که $I = 2mA$ باشد. سپس مدارها را

با $R_L = 1k\Omega$ بسته و پارامترهای جدول زیر را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

سوال ۳: حداکثر و حداقل مقدار R_L را برای مدار شکل (B) جهت عملکرد صحیح آن بدست آورید؟

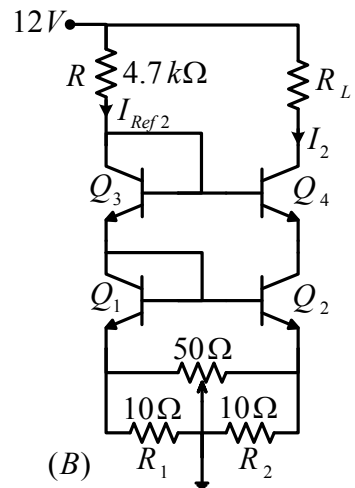
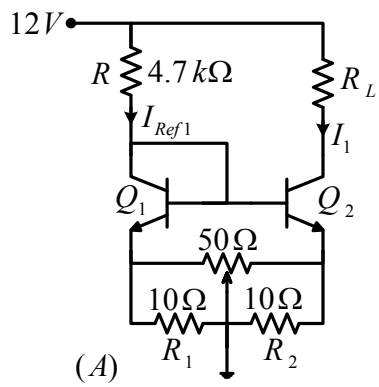


حالت	A		B	
پارامتر	I	R_o	I	R_o
مقدار پارامتر				

۳-۲) آینه جریان با ترانزیستورهای BJT

شکل‌های زیر نشانگر دو مدار مختلف آینه جریان می‌باشند. هر دو مدار را بسته و در آنها مقادیر I_{Ref1} ، I_{Ref2} ،

I_1 و I_2 را اندازه گرفته و یادداشت کنید.



سوال ۴: عمل آینه شدن جریان در کدامیک از مدارهای فوق بهتر انجام می‌گیرد. چرا؟

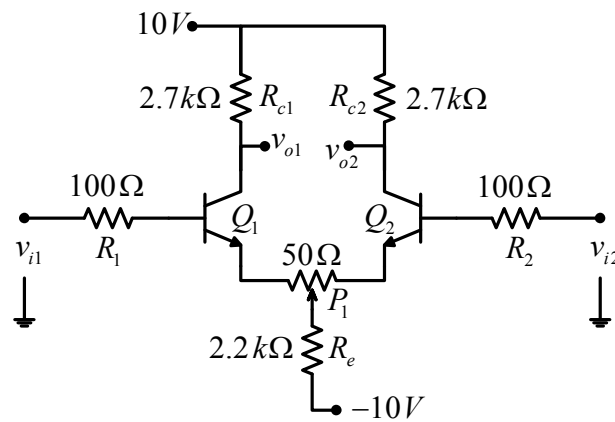
سوال ۵: مقاومت خروجی کدامیک از مدارهای فوق زیادتر است. چرا؟

سوال ۶: دلایل استفاده از پتانسیومتر و مقاومت‌های R_1 و R_2 چیست؟

آزمایش شماره ۳

تقویت کننده تفاضلی

تقویت کننده تفاضلی، یک تقویت کننده با دو ورودی است که اختلاف بین ورودی‌ها را تقویت می‌کند. خروجی این تقویت کننده می‌تواند به صورت تفاضلی (differential output) یا تنها (single ended) یعنی با یک خروجی باشد. یکی از مزایای مهم این تقویت کننده، رد سیگنال‌های مشترک است که بطور ناخواسته به هر دو ورودی اضافه می‌شود. هدف این آزمایش مشاهده مشخصات تقویت کننده تفاضلی از جمله مشاهده سیگنال خروجی به ازای ورودی‌های مختلف، مقاومت ورودی در برابر سیگنال ورودی دیفرانسیلی، مقاومت ورودی در برابر سیگنال ورودی مشترک، حذف مد مشترک و روش افزایش $CMRR^1$ است. پس از انتخاب دو ترانزیستور یکسان، مدار تقویت کننده تفاضلی شکل زیر را بسته و پارامترهای خواسته شده به شرح‌های زیر را اندازه‌گیری کنید. (در صورت امکان از جفت ترانزیستور BCY87 یا آرایه ترانزیستوری CA3046 استفاده شود).



الف) با اتصال ورودیها به زمین مدار، پتانسیومتر را طوری تنظیم کنید که اختلاف ولتاژهای v_{o1} و v_{o2} برابر صفر گردد. در این حالت نقطه کار ترانزیستورها و مقاومت هر یک از دو سر پتانسیومتر را نسبت به سر وسط آن اندازه گرفته و یادداشت کنید. در صورت امکان بجای پتانسیومتر، دو مقاومت ثابت قرار داده و آزمایش را ادامه دهید.

¹ Common Mode Rejection Ratio

ب) می‌دانیم که در تقویت کننده تفاضلی مقادیر خروجی‌ها بر حسب ورودی‌ها به صورت زیر بدست می‌آیند.

$$v_{o1} = A_1 v_{i1} + A_2 v_{i2} \quad , \quad v_{o2} = A_2 v_{i1} + A_1 v_{i2}$$

$$if: \begin{cases} A_c \triangleq A_1 + A_2 & , & A_d \triangleq \frac{A_1 - A_2}{2} \\ v_c \triangleq \frac{v_{i1} + v_{i2}}{2} & , & v_d \triangleq v_{i1} - v_{i2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_{i1} = v_c + v_d / 2 \\ v_{i2} = v_c - v_d / 2 \\ v_{o1} = A_c v_c + A_d v_d \\ v_{o2} = A_c v_c - A_d v_d \end{cases}$$

پارامترهای A_d و A_c به ترتیب بیانگر بهره مد مشترک و بهره مد تفاضلی می‌باشند. در عمل می‌توان

پارامترهای A_1 ، A_2 ، A_c و A_d را به صورت زیر بدست آورد.

در مدار فوق برای بدست آوردن A_1 و A_2 ورودی v_{i2} را زمین کرده و به ورودی v_{i1} یک ولتاژ سینوسی با

فرکانس 2kHz اعمال کنید و بهره‌های ولتاژی $A_1 = v_{o1}/v_{in}$ ، $A_2 = v_{o2}/v_{in}$ و مقاومت ورودی را اندازه گرفته و

یادداشت نمایید. از روی مقادیر اندازه‌گیری شده A_1 و A_2 مقادیر A_c ، A_d و $CMRR$ را بدست آورید. (v_{in} ولتاژ

سینوسی اعمالی به یکی از ورودی‌ها است).

ج) در مدار فوق برای بدست آوردن A_c ابتدا هر دو ورودی را به هم وصل و یک ولتاژ سینوسی با فرکانس

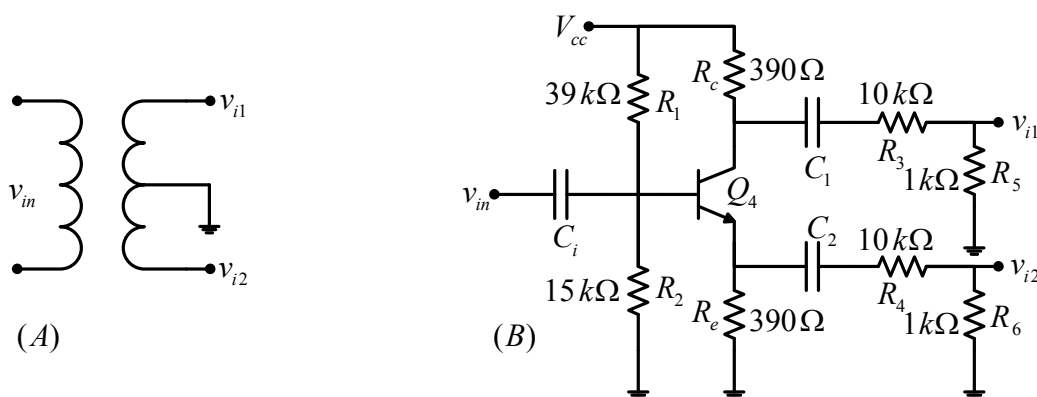
2kHz به آنها اعمال کنید. سپس بهره‌های ولتاژی v_{o1}/v_{in} ، v_{o2}/v_{in} ، $(v_{o2} - v_{o1})/v_{in}$ و مقاومت ورودی مد

مشترک را اندازه گرفته و یادداشت نمایید.

د) برای بدست آوردن A_d دو تا ولتاژ سینوسی هم‌دامنه با فرکانس 2kHz و با اختلاف فاز 180° درجه به

ورودی‌ها اعمال کنید. برای ایجاد دو موج سینوسی هم‌دامنه و با اختلاف فاز 180° درجه می‌توان از مدارهای زیر

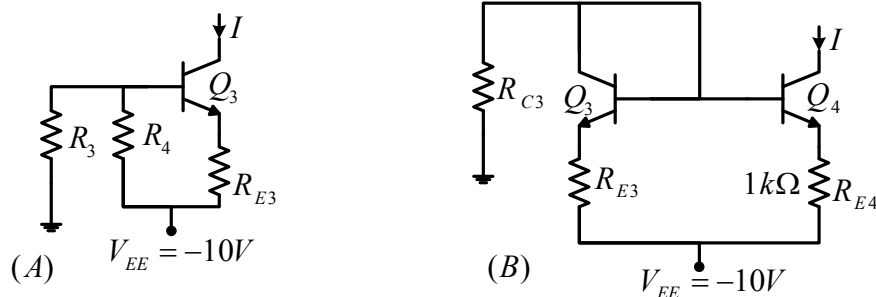
استفاده نمود.



با بکار بردن یکی از مدارهای فوق ابتدا v_{i1} و v_{i2} را با حفظ رابطه زمانی بر حسب هم رسم کنید. سپس با اعمال آنها به ورودی‌های تقویت کننده تفاضلی، بهره‌های ولتاژی $v_{o1}/(v_{i1} - v_{i2})$ ، $v_{o2}/(v_{i1} - v_{i2})$ و مقاومت ورودی مد تفاضلی را اندازه گرفته و یادداشت نمایید.

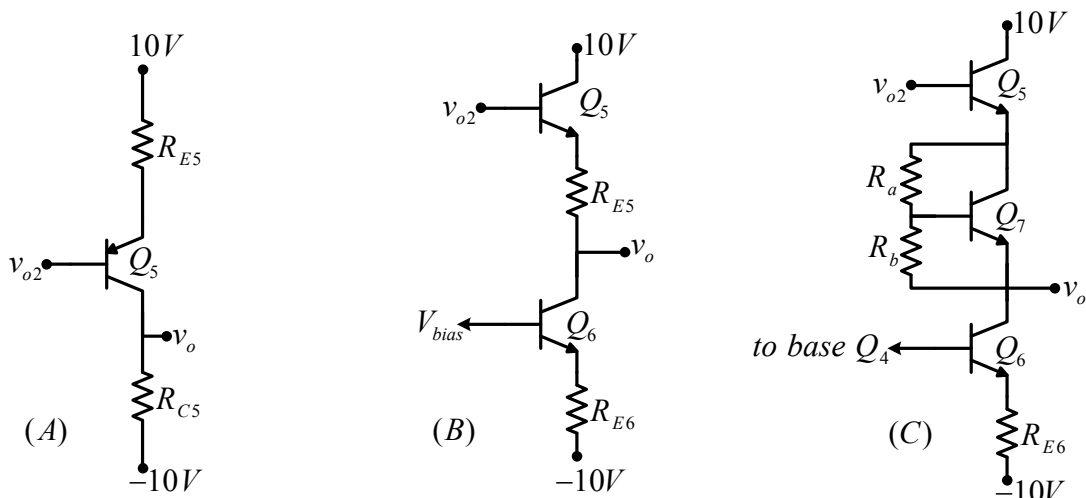
- با استفاده از مقادیر A_C و A_d اندازه‌گیری شده مقدار $CMRR$ را دوباره بدست آورده و با مقدار بدست آمده در قسمت ب مقایسه کنید.

ه) برای افزایش $CMRR$ تقویت کننده تفاضلی می‌توان بجای R_e از منبع جریان استفاده نمود. مدار زیر نشانگر یک منبع جریان است. این مدار را طوری طراحی کنید که جریان $I = 4mA$ باشد.

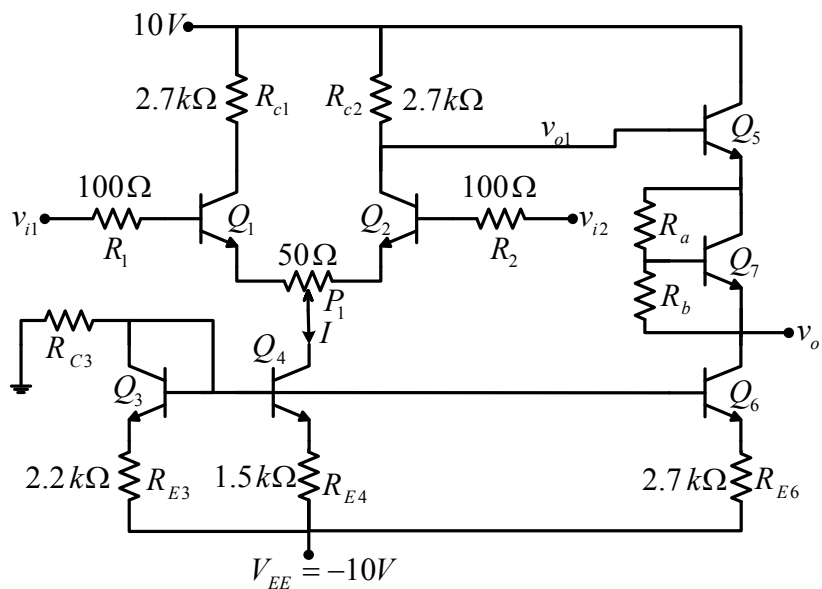


در تقویت کننده تفاضلی قبلی بجای R_e یکی از منابع جریان فوق را قرار داده و پس از تنظیم $I = 4mA$ ، دو مرحله ج و د (اندازه‌گیری مقادیر A_C ، A_d و محاسبه $CMRR$) را دوباره انجام دهید.

ه) با استفاده از مدارهای زیر می‌توان ولتاژ DC خروجی تقویت کننده تفاضلی را بدون تغییر فرکانس قطع پایین آن حذف نمود.



برای مشاهده مطلب فوق ابتدا در مدار زیر مقادیر مقاومت‌های R_b ، R_a ، R_{C3} را طوری تعیین کنید که خروجی دارای حداکثر نوسان با ولتاژ DC برابر صفر باشد. سپس مدار را به ازای $R_a = 4.7k\Omega$ ، $R_{C3} = 1.2k\Omega$ و $R_b = 1k\Omega$ بسته و پارامترهای ولتاژ DC خروجی، $v_o/(v_{i1} - v_{i2})$ ، $v_o/(v_{i1} + v_{i2})$ و مقاومت خروجی R_o را اندازه گرفته و یادداشت نمایید.



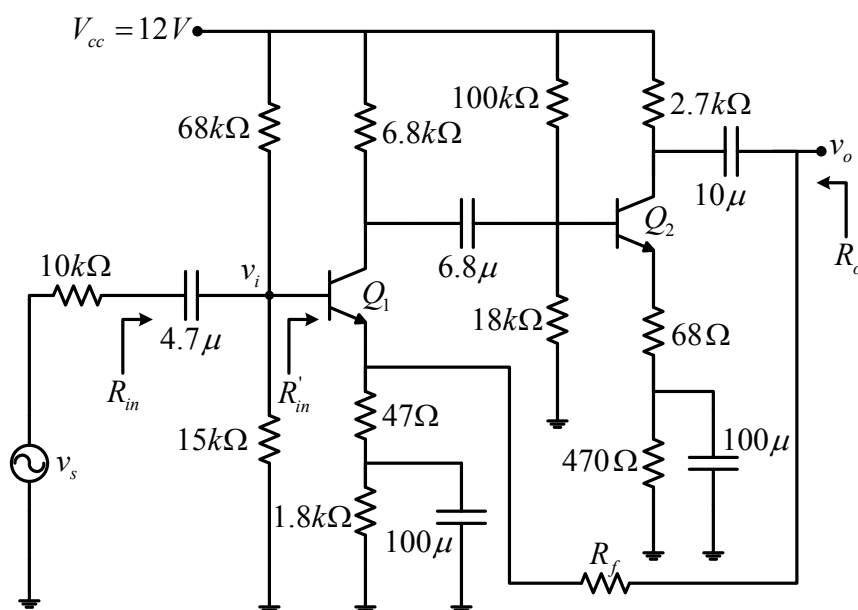
آزمایش شماره ۴

تقویت کننده‌های ترانزیستوری فیدبک‌دار

هدف از این آزمایش بررسی خواص فیدبک منفی و مطالعه پایداری سیستم فیدبک‌دار از جمله پایداری آن در برابر تغییرات ولتاژ تغذیه است. در این آزمایش به بررسی فیدبک‌های ولتاژ-ولتاژ و ولتاژ-جریان-جریان پرداخته می‌شود.

۴-۱) فیدبک ولتاژ-ولتاژ

الف) مدار زیر را بدون R_f ببینید و در آن نقطه کار ترانزیستورها، گین ولتاژی $A_v = v_o/v_i$ ، مقاومت‌های ورودی R_{in1} و R_{in} را اندازه گرفته و یادداشت کنید.



سوال ۱: اگر برای اندازه‌گیری دو پروب اسیلوسکوپ بطور همزمان به ورودی و خروجی وصل شوند ممکن است نوسانات ناخواسته‌ای دیده شود. علت را توضیح دهید.

ب) بعد از اندازه‌گیری $A_v = v_o/v_i$ در آزمایش قبلی، در مدار فیدبک‌دار مقاومت R_f را طوری تعیین کنید که

گین ولتاژی آن ($A_{vf} = v_o/v_i$) برابر 200 گردد. راهنمایی: بهره مدار فیدبک دار بصورت زیر بدست می‌آید. چرا؟

$$\text{If } R_e \parallel R_f \approx R_e \Rightarrow A_{vf} = \frac{A_v \frac{R_e + R_f}{R_c + R_e + R_f}}{1 + \frac{R_e}{R_e + R_f} A_v \frac{R_e + R_f}{R_c + R_e + R_f}} = \frac{A_v (R_e + R_f)}{R_c + R_e + R_f + R_e A_v}$$

پس از تعیین مقدار R_f ، مدار کمکی (فیدبک را باز و اثر شبکه فیدبک را به صورت دو مقاومت در ورودی و خروجی قرار دهید) را بسته و برای آن پارامترهای گین ولتاژی A_v' ، مقاومت خروجی R_o' ، مقاومت‌های ورودی R_{in}' و R_{in}' ، فرکانس قطع بالا f_{3dBh}' ، فرکانس قطع پائین f_{3dBL}' و حداکثر دامنه نوسان خروجی بدون اعوجاج $v_{o,max}'$ را اندازه گرفته و با مقادیر تئوری مقایسه کنید. (در مدار کمکی R_{in}' و R_{in} بجای R_{in1} استفاده شده‌اند.)

ج) با تغییر V_{cc} از $12V$ به $10V$ پارامترهای A_v' ، R_o' ، R_{in}' ، f_{3dBh}' ، f_{3dBL}' و $v_{o,max}'$ را دوباره اندازه گرفته و یادداشت کنید.

د) اکنون فیدبک را برقرار کنید و گین ولتاژی A_{vf} ، مقاومت خروجی R_{of} ، مقاومت ورودی R_{inf} ، مقاومت ورودی R_{in} ، فرکانس قطع بالا f_{3dBhf} ، فرکانس قطع پائین f_{3dBLf} و حداکثر دامنه نوسان خروجی بدون اعوجاج $v_{o,max}$ را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

- با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده در قسمت ب پارامترهای A_{vf} ، R_{of} ، R_{inf} ، R_{in} ، f_{3dBhf} ، f_{3dBLf} را بدست آورده با مقادیر اندازه‌گیری شده در قسمت د مقایسه کنید.

ه) در مدار فیدبک‌دار با تغییر V_{cc} از $12V$ به $10V$ پارامترهای A_{vf} ، R_{of} ، R_{inf} ، R_{in} ، f_{3dBhf} ، f_{3dBLf} را دوباره اندازه گرفته و یادداشت کنید.

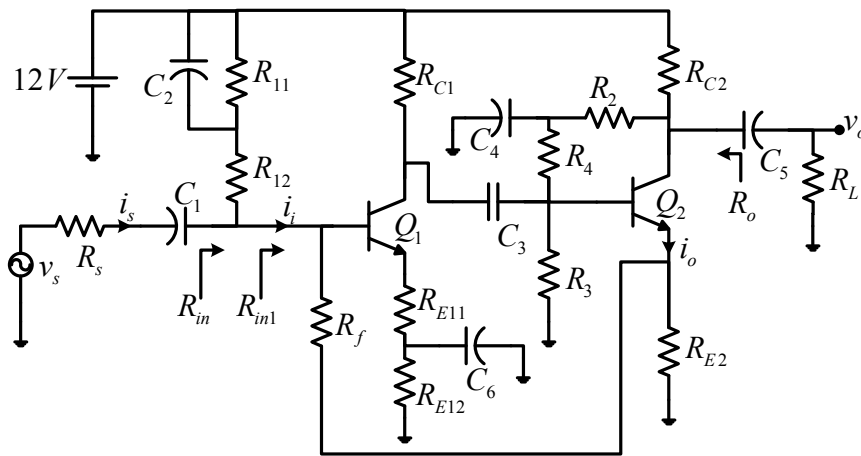
سوال ۲: اثر تغییر ولتاژ تغذیه در کدام یک از حالت‌های ج - ه (وجود فیدبک و عدم وجود آن) کمتر است. چرا؟ با برگرداندن V_{cc} به $12V$ مراحل زیر را انجام دهید.

و) با کاهش مقدار R_f مقدار فیدبک را افزایش دهید. ممکن است مدار ناپایدار شود (بروز نوسان‌های ناخواسته فرکانس بالا). علت ایجاد نوسان را تحلیل کنید.

ز) به کمک سیگنال مربعی نیز می‌توان پایداری مدار را بررسی کرد. با اعمال یک سیگنال مربعی با فرکانس تقریبی $50kHz$ (یا فرکانس مناسب دیگری که به طور عملی خودتان می‌یابید). پاسخ خروجی را با مقادیر مختلف فیدبک بررسی کرده و اثر جبران فرکانس را بر روی آن مشاهده کنید.

۴-۱) فیدبک جریان - جریان

الف) مدار زیر را با اتصال سر پایین R_f به زمین مدار، به ازای $R_{11} = 82k\Omega$ ، $R_{12} = 1k\Omega$ ، $R_f = 15k\Omega$ ، $R_4 = 12k\Omega$ ، $R_3 = 6.8k\Omega$ ، $R_2 = 10k\Omega$ ، $R_{C2} = 270\Omega$ ، $R_{E12} = 820\Omega$ ، $R_{E11} = 180\Omega$ ، $R_{C1} = 6.8k\Omega$ ، $R_E2 = 22\Omega$ ، $R_L = 300\Omega$ و $R_S = 5.6k\Omega$ بسته و مقادیر بهره‌های جریان $A_{IS} = i_o/i_s$ ، $A_{II} = i_o/i_i$ ، مقاومت خروجی R_o ، مقاومت‌های ورودی R'_{in} و R'_{in1} را اندازه گرفته و یادداشت کنید. (در حالت بدون فیدبک R'_{in} و R'_{in1} بجای R_{in} و R_{in1} استفاده شده‌اند).



ب) با تغییر V_{cc} از $12V$ به $10V$ مقادیر بهره‌های جریان $A_{IS} = i_o/i_s$ ، $A_{II} = i_o/i_i$ ، مقاومت خروجی R_o ، مقاومت‌های ورودی R'_{in} و R'_{in1} را دوباره اندازه گرفته و یادداشت کنید.

ج) اکنون فیدبک را برقرار کنید و مقادیر بهره‌های جریان $A_{IS} = i_o/i_s$ ، $A_{II} = i_o/i_i$ ، مقاومت خروجی R_o ، مقاومت‌های ورودی R_{in} و R_{in1} را دوباره اندازه گرفته و یادداشت کنید.

- با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده در قسمت الف پارامترهای $A_{IS} = i_o/i_s$ ، $A_{II} = i_o/i_i$ ، مقاومت خروجی R_o ، مقاومت‌های ورودی R_{in} و R_{in1} را بدست آورده با مقادیر اندازه‌گیری شده در قسمت ج مقایسه کنید.

د) در مدار فیدبک‌دار با تغییر V_{cc} از $12V$ به $10V$ مقادیر بهره‌های جریان $A_{IS} = i_o/i_s$ ، $A_{II} = i_o/i_i$ ، مقاومت ورودی R_{in} و مقاومت خروجی R_o را دوباره اندازه گرفته و یادداشت کنید.

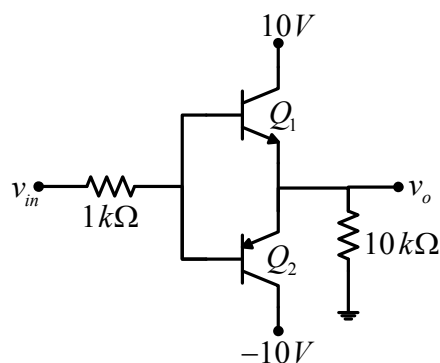
سوال ۳: اثر تغییر ولتاژ تغذیه در کدام یک از حالت‌های ب - د (وجود فیدبک و عدم وجود آن) کمتر است. چرا؟

آزمایش شماره ۵

تقویت کننده توان Push-Pull کلاس های B و AB

همانطوری که می‌دانید در تقویت کننده کلاس A، ترانزیستور در تمام طول یک سیکل (During the entire period) در ناحیه فعال قرار می‌گیرد. در تقویت کننده کلاس B، ترانزیستور در بایاس صفر قرار دارد و فقط در نیم سیکلی که دامنه ورودی از ولتاژ آستانه بیشتر می‌شود ترانزیستور در ناحیه هدایت قرار می‌گیرد و در نیم سیکل دیگر ترانزیستور کاملاً قطع است. در تقویت کننده کلاس AB (بین کلاس‌های A و B) ترانزیستور در آستانه هدایت قرار می‌گیرد و درست برای نیم سیکل در ناحیه هدایت و در نیم سیکل دیگر ترانزیستور ناحیه قطع می‌باشد. ساختار پوش پول از دو تقویت کننده کلاس AB تشکیل شده است به طوری که هر کدام از آنها وظیفه عبور دادن یا تقویت یک نیم سیکل از سیگنال ورودی را دارند. آرایش پوش پول برای افزایش راندمان توان و همچنین برای تقویت متقارن نیم سیکل‌های مثبت و منفی سیگنال ورودی استفاده می‌شود. تقویت کننده پوش پول در دو ساختار امیتر مشترک (برای افزایش توان و تقویت متقارن) و کلکتور مشترک (برای افزایش توان) بکار می‌رود.

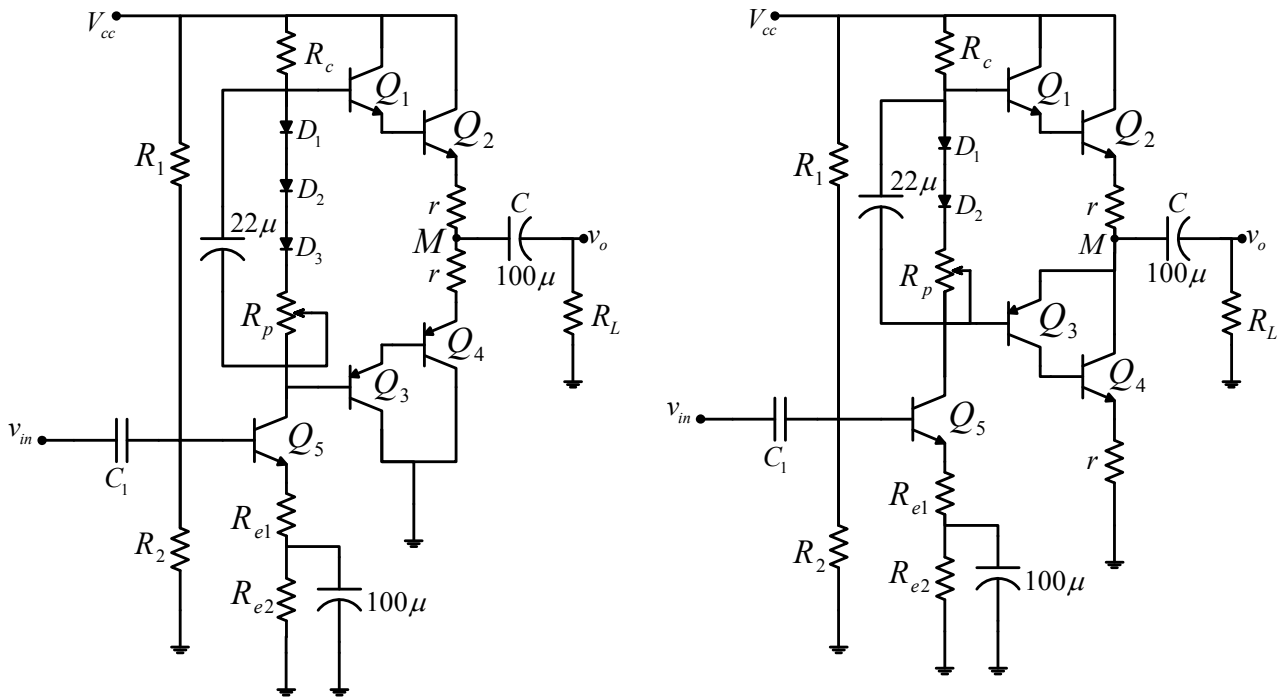
۱-۵) مدار زیر را بسته و با اعمال یک سیگنال سینوسی با دامنه ۲ ولت و فرکانس 1kHz به ورودی v_{in} ، خروجی را در اسیلوسکوپ مشاهده و آن را بر حسب ورودی با حفظ رابطه زمانی ترسیم کنید. با افزایش دامنه سیگنال ورودی، حداکثر و حداقل ولتاژ خروجی را بدست آورید.



سوال ۱: چگونه می‌توان در مدار فوق، اعوجاج حاصله (پدیده crossover) ولتاژ خروجی را از بین برد؟

تغذیه تقویت کننده پوش پول بصورت یک منبع تغذیه به همراه خازن سری با بار یا دو منبع مثبت و منفی می‌باشد. در هر دو حالت بایستی مدار طوری تنظیم شود که جریان ترانزیستورهای طبقه پوش پول در حالت عدم وجود سیگنال برابر صفر باشند.

۲-۵) مدارهای زیر ساختار تقویت کننده پوش پول کلکتور مشترک تک تغذیه‌ای را به همراه یک طبقه تقویت نشان می‌دهند. در این حالت بایستی ظرفیت خازن C طوری انتخاب شود که در پایین‌ترین فرکانس ورودی ولتاژ دو سر آن تقریباً ثابت و یا قابل اغماض باشد. همچنین برای داشتن حداکثر نوسان متقارن مثبت و منفی بایستی ولتاژ گره M (ولتاژ دو سر خازن C) برابر $V_{cc}/2$ باشد.



سوال ۲: علت استفاده از دو دیود در مدار سمت راست با پتانسیومتر و سه دیود با یک پتانسیومتر در مدار سمت چپ را ذکر کنید.

سوال ۳: عملکرد یکی از مدارهای فوق را در طول یک سیکل کامل سیگنال ورودی سینوسی توضیح دهید.

یکی از مدارهای فوق را برای بار $R_L = 8\Omega, 5Watt$ ، $\beta_1 = \beta_3 = 60$ ، $\beta_2 = \beta_4 = 40$ ، $\beta_5 = 100$ و $v_o/v_{in} = 20$ طراحی کنید. آن را به ازای $R_L = 8.2\Omega, 10Watt$ ، $r = 0.5\Omega, 1Watt$ ، $R_C = 1k\Omega$ ، $R_{e1} = 0$ ، $R_{e2} = 220\Omega$ ، $R_1 = 15k\Omega$ ، $R_2 = 2.2k\Omega$ ، $R_p = 100\Omega$ ، $C_1 = 10\mu$ ، $V_{cc} = 24V$ ، $Q_1: BD135 - BD137$ ، $Q_2, Q_{4npn}: TIP41$ ، $Q_3: BD138 - BD140$ ، $Q_4: TIP42$ ، $Q_5: BC107$ بسته و مراحل زیر را انجام دهید.

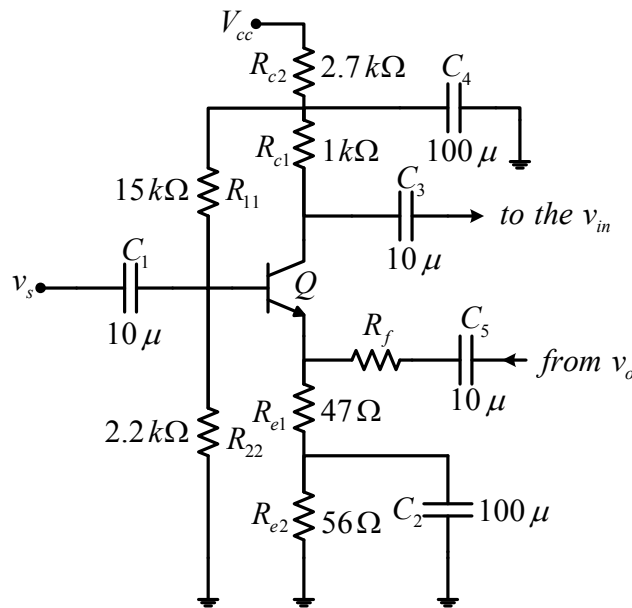
الف: ابتدا با تغییر R_1 یا R_2 ولتاژ بیس Q_1 را بر روی $V_{cc}/2 + 2V_\gamma$ تنظیم کنید سپس با تنظیم پتانسیومتر طبقه پوش پول را در آستانه هدایت (ولتاژ بیس Q_3 را بر روی $V_{cc}/2 - 2V_\gamma$) قرار دهید. در این حالت ولتاژ گره M و جریان کلکتور Q_5 را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

ب: با اعمال یک سیگنال سینوسی با فرکانس 2 kHz به ورودی v_{in} ، حداکثر دامنه خروجی بدون اعوجاج، بهره v_o/v_{in} ، فرکانسهای قطع پایین و بالا را اندازه گیری و یادداشت کنید.

ج: متوسط توانهای مصرفی ترانزیستورها، بار و توان تولیدی منبع تغذیه را اندازه گیری کرده و راندمان توان را بدست آورید.

سوال ۴: چه المانی میتواند بجای R_c بکار برد تا دامنه سیگنال خروجی نسبت به حالت قبلی افزایش یابد؟

د: در صورت کافی نبودن بهره مدار فوق می توان از یک طبقه تقویت دیگر (طبقه *driver*) مطابق شکل زیر استفاده نمود. بهره این مدار توسط فیدبک گرفته شده از خروجی کنترل می گردد. برای تست این مطلب مدار زیر را به ازای $R_f =$ بسته و دوباره با اعمال یک سیگنال سینوسی با فرکانس 2 kHz به ورودی v_s ، حداکثر دامنه خروجی بدون اعوجاج، بهره v_o/v_s ، فرکانسهای قطع پایین و بالا را اندازه گرفته و یادداشت کنید.



ه: بجای بار از یک بلندگو و بجای v_s از یک میکروفن استفاده کرده و تقویت شدن صوت را تست کنید.

پروژه: با استفاده از آی سی تقویت کننده صوتی با قابلیت کنترل خودکار بهره

آزمایش شماره ۶

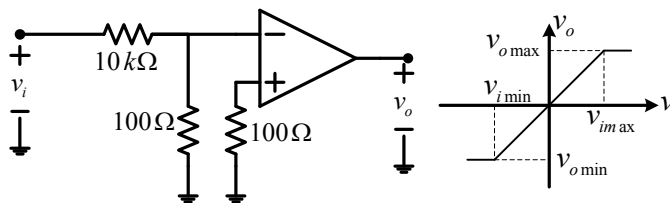
تقویت کننده عملیاتی و مشخصات آن

هدف از این آزمایش آشنایی با پارامترهای یک تقویت کننده عملیاتی^۱ است. در کاربردهای خطی ولتاژ پایه‌های مثبت و منفی یکسان می‌باشند. تغذیه تقویت کننده عملیاتی به صورت تک تغذیه‌ای (Single Power Supply) و یا دو تغذیه‌ای (Split Power Supplies) انجام می‌گیرد. قبل از اعمال سیگنال به تقویت کننده عملیاتی ابتدا منابع تغذیه آن را وصل کنید. همچنین هنگام قطع کردن ابتدا سیگنال ژنراتور و سپس منابع تغذیه آن را جدا کنید. قبل از انجام آزمایش به سایت Analog Device یا National Semiconductor مراجعه و انواع تقویت کننده-های عملیاتی را بیان نمائید. همچنین کاتالوگ LM41 ، LM3130 و TL082 را به دقت مطالعه کرده و پارامترهای Input/Output Offset Voltage ، Input Offset Current ، Open Loop Gain ، Input/Output Resistance ، Power Supply Rejection Ratio (PSRR)، Input Bias Current ، CMR (Common Mode Range) ، CMRR ، Output Voltage Swing و Slew Rate و Gain Bandwidth را کاملاً توضیح دهید.

۶-۱) بهره حلقه باز تقویت کننده عملیاتی در فرکانسهای مختلف

با اعمال $v_i = 0.5 \sin 2\pi ft$ به مدار، نمودار v_o بر حسب v_i را به ازای فرکانسهای داده شده، بر روی اسکوپ

مشاهده کرده و پارامترهای جدول زیر را پر کنید.



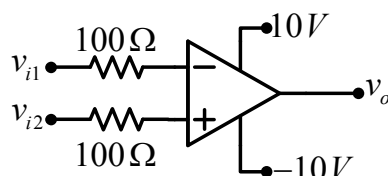
f	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz	500 kHz	1 MHz	2 MHz
$v_{i \max}$								
$v_{o \max}$								
$v_{i \min}$								
$v_{o \min}$								

¹ Operational Amplifier (Op-Amp)

۲-۶) ولتاژ آفست در تقویت کننده عملیاتی

مدار زیر را بسته و ابتدا با اتصال ورودی‌ها به زمین مدار، مقدار ولتاژ خروجی (v_o) را اندازه گرفته و یادداشت

کنید. این ولتاژ بیانگر چه پارامتر تقویت کننده عملیاتی است.



سوال ۲: روش‌های حذف ولتاژ آفست خروجی را بیان کنید.

۳-۶) اندازه‌گیری نرخ چرخش (SR^1) تقویت کننده عملیاتی

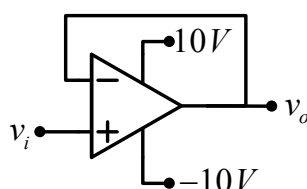
این پارامتر در کاربردهای غیرخطی تقویت کننده عملیاتی از جمله در مقایسه‌گر معمولی و اشمیت تریگری،

اسیلاتور کنترل شونده با ولتاژ و آستابل موثر می‌باشد. معمولاً نرخ چرخش را بر حسب $V/\mu Sec$ بیان می‌کنند.

برای اندازه‌گیری نرخ چرخش تقویت کننده عملیاتی مدار زیر را بسته و یک سیگنال مربعی فرکانس پایین به آن

اعمال کنید سپس با تغییر فرکانس ورودی شکل موج خروجی را بر روی اسیلوسکوپ مشاهده و رسم نمایید. هر گاه

خروجی به صورت موج مثلثی در آمد شیب بالا و پایین رفتن آن را بخوانید. مقدار این شیب بیانگر چیست؟



۴-۶) اندازه‌گیری ضریب حذف مد مشترک ($CMRR^2$) تقویت کننده عملیاتی

مدار زیر را بسته و ابتدا با اعمال یک موج سینوسی $v_i = 5 \sin 200\pi t$ به هر دو ورودی، نمودار v_o بر حسب v_i

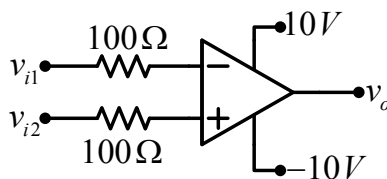
را بر روی اسیلوسکوپ مشاهده کرده و شیب آن را به عنوان بهره مد مشترک اندازه بگیرید سپس موج سینوسی

$v_i = 0.5 \sin 200\pi t$ را به ورودی v_{i1} و ورودی v_{i2} را با یک مقاومت 50Ω (یا 600Ω) به زمین مدار وصل کنید.

¹ Slew Rate (SR)

² Common Mode Rejection Ratio (CMRR)

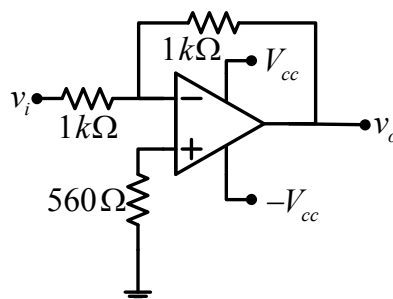
دوباره شیب نمودار v_o بر حسب v_i را به عنوان بهره مد تفاضلی اندازه‌گیری کنید. از روی این دو شیب مقدار $CMRR$ را بدست آورید.



۵-۶) محدوده ولتاژ ورودی تقویت‌کننده عملیاتی (CMR^1)

مدار زیر را به ازای $V_{cc} = 10V$ بسته و حداکثر دامنه سیگنال ورودی مثبت و منفی را برای عملکرد خطی

تقویت‌کننده عملیاتی، اندازه گرفته و یادداشت کنید. (فرکانس سیگنال ورودی 100 Hz انتخاب شود).



سوال ۸: آیا حداکثر دامنه سیگنال ورودی مثبت و منفی در آزمایش فوق یکسان است. چرا؟

سوال ۹: مقدار V_{cc} را 10% افزایش داده و اثر آن را بر حداکثر دامنه سیگنال ورودی مثبت و منفی آزمایش کنید.

اگر تقویت‌کننده عملیاتی فقط با ولتاژ مثبت تغذیه شود بایستی حداقل مقدار لحظه‌ای سیگنال ورودی بالاتر از

صفر باشد تا طبقه ورودی آن بایاس گردد. معمولاً برای حل این مشکل از مداری مطابق شکل زیر استفاده می‌شود.

که در آن مقاومت‌های R_1 و R_2 برای ایجاد ولتاژ DC در هر دو ورودی تقویت‌کننده، جهت بایاس طبقه ورودی

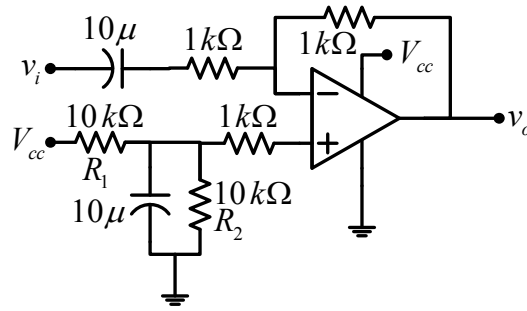
تقویت‌کننده بکار رفته‌اند. جهت درک این مطلب مدار زیر را به ازای $V_{cc} = 10V$ بسته و ابتدا به ازای ورودی صفر

ولتاژ DC پایه‌های ورودی و خروجی تقویت‌کننده عملیاتی را اندازه بگیرید. سپس با تغییر ورودی، حداکثر دامنه

سیگنال ورودی مثبت و منفی را برای عملکرد خطی تقویت‌کننده عملیاتی، اندازه گرفته و یادداشت کنید. (فرکانس

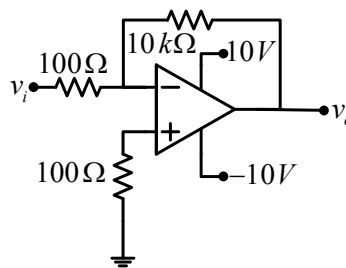
سیگنال ورودی 100 Hz انتخاب شود).

¹ Common Mode Range (CMR)



۶-۶) اندازه‌گیری مقاومت خروجی تقویت‌کننده عملیاتی

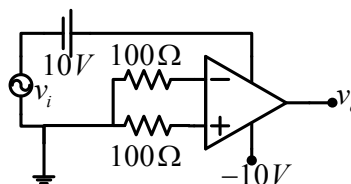
مدار زیر را بسته و مقاومت خروجی آن را اندازه‌گیری کنید.



۷-۶) اثر تغییر ولتاژهای تغذیه در خروجی تقویت‌کننده عملیاتی (PSRR¹)

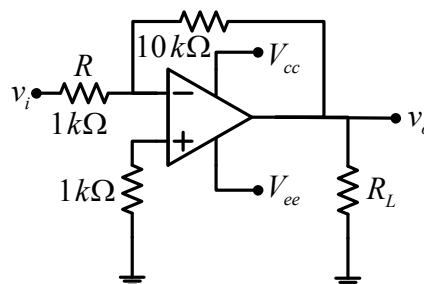
مدار زیر را بسته و با اعمال موج $v_i = 2 \sin 200\pi t$ نمودار v_o بر حسب v_i را بر روی اسیلوسکوپ مشاهده

کرده و از روی شیب آن مقدار PSRR را بدست آورید.



۸-۶) اثر تغییر مقاومت بار در مقدار بهره تقویت‌کننده عملیاتی

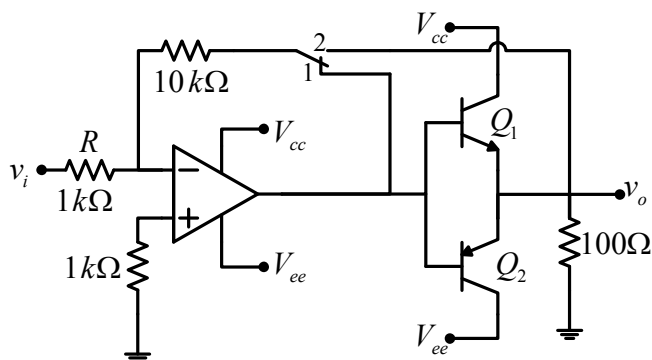
مدار زیر را بسته و با اعمال v_i و V_{cc} مطابق جدول زیر، با تغییر R_L بهره A_v را اندازه گرفته و یادداشت کنید.



¹ Power Supply Rejection Ratio (PSRR)

	R_L	$100\ \Omega$	$1\ k\Omega$	$10\ k\Omega$
$V_{cc} = -V_{ee} = 10\ V$ $v_i = 0.8\ \text{Sin}(2000\pi t)$	$A_v = \frac{v_o}{v_i}$			
$V_{cc} = -V_{ee} = 6\ V$ $v_i = 0.5\ \text{Sin}(2000\pi t)$	$A_v = \frac{v_o}{v_i}$			

شکل زیر روشی برای اتصال بارهای کوچک به خروجی تقویت‌کننده‌های عملیاتی است برای درک این مطلب مدار زیر را بسته و با تغییر وضعیت کلید، حداکثر و حداقل مقدار v_o را در هر دو حالت اندازه گرفته و با هم مقایسه کنید.



آزمایش شماره ۷

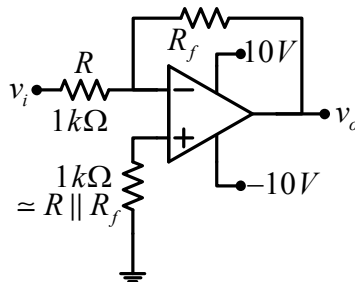
کاربردهای خطی تقویت کننده‌های عملیاتی

هدف از این آزمایش آشنایی با چندین کاربرد خطی تقویت کننده‌های عملیاتی می‌باشد. تقویت کننده وارونگر، تقویت کننده ناوارونگر، بافر، ابردیود، تقویت کننده تفاضلی، جمع و تفریق کننده، انتگرال گیر، مشتق گیر، لگاریتم-گیر، قدرمطلق گیر، فیلتر اکتیو پایین گذر و میان گذر از کاربردهای خطی تقویت کننده عملیاتی می‌باشند. مقایسه‌گر معمولی، مقایسه‌گر اشمیت‌تریگری، مولتی‌ویبراتور آستابل، مونواستابل و اسیلاتور کنترل شونده با ولتاژ جزء کاربردهای غیرخطی آنها می‌باشند. اکثر کاربردهای غیرخطی دارای فیدبک مثبت بوده، که آن باعث اشباع مثبت یا منفی شدن تقویت کننده عملیاتی می‌گردد.

۷-۱) تقویت کننده‌های وارونگر و ناوارونگر با Op-Amp

الف: تقویت کننده وارونگر (Inverting Amplifier)

مدار زیر را بسته و با تغییر مقاومت فیدبک (R_f) پارامترهای جدول زیر را اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید. فرکانس سیگنال ورودی را در حد 100 Hz و دامنه v_i را طوری انتخاب کنید که Op-Amp به اشباع نرود.



R_f	$1\text{ k}\Omega$	$10\text{ k}\Omega$	$100\text{ k}\Omega$	$500\text{ k}\Omega$	$1\text{ M}\Omega$
v_i					
v_o					
$A_v = v_o/v_i$					

به ازای $R_f = 10\text{ k}\Omega$ ، تقویت کننده عملیاتی را با هویه گرم کرده و اثر افزایش دما را بر روی بهره بیان نمائید.

به ازای $R_f = 10\text{ k}\Omega$ ، مقاومت ورودی و مقاومت خروجی مدار را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

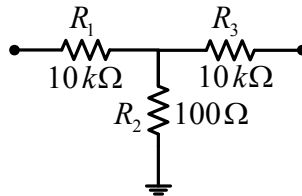
به ازای $R_f = 10\text{ k}\Omega$ ، ولتاژ تغذیه را از ± 10 به ± 8 کاهش داده و دوباره v_o/v_i را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

سوال ۱: با استفاده از مدار فوق چگونه می‌توان مقاومت ورودی تقویت‌کننده عملیاتی را بدست آورد؟

سوال ۲: پس از مشاهده تغییر بهره با افزایش یا کاهش دما، چگونه می‌توان با استفاده از مقاومت‌های متغیر با دما

(PTC و NTC) بهره را تقریباً ثابت نگه داشت؟

در مدار فوق به جای R_f ، شبکه مقاومتی T شکل زیر را قرار داده و دوباره بهره $A_v = v_o/v_i$ را بدست آورید.

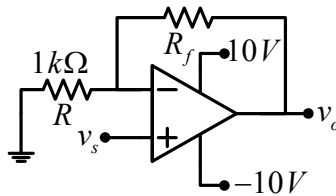


سوال ۳: مزیت استفاده از ساختار مقاومتی فوق نسبت به یک مقاومت تنها در مسیر فیدبک چیست؟

ب: تقویت‌کننده ناوارونگر (Non-Inverting Amplifier)

مدار زیر را بسته و با تغییر مقاومت فیدبک (R_f) مطابق جدول زیر بهره را اندازه‌گیری و در جدول یادداشت

کنید. فرکانس سیگنال ورودی را در حد 100 Hz و دامنه v_i را طوری انتخاب کنید که Op-Amp به اشباع نرود.



R_f	$1\text{ k}\Omega$	$10\text{ k}\Omega$	$100\text{ k}\Omega$	$500\text{ k}\Omega$	$1\text{ M}\Omega$
v_s					
v_o					
$A_v = v_o/v_s$					

به ازای $R_f = 10\text{ k}\Omega$ ، تقویت‌کننده عملیاتی را با هویه گرم کرده و اثر افزایش دما را بر روی بهره بیان نمائید.

به ازای $R_f = 10\text{ k}\Omega$ ، مقاومت‌های ورودی و خروجی مدار را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

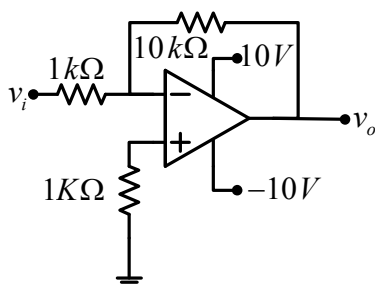
سوال ۴: تغییرات بهره به ازای R_f ‌های مختلف در کدامیک از تقویت‌کننده‌های فوق (وارونگر یا ناوارونگر) زیادت

است؟ چرا؟

۲-۷) پاسخ فرکانسی تقویت کننده وارونگر

با اعمال $v_i = 0.5 \sin 2\pi ft$ و تغییر فرکانس آن پارامترهای جدول زیر را اندازه گرفته و یادداشت کنید. نمودار

بهره و اختلاف فاز را بر حسب فرکانس رسم نمایید.



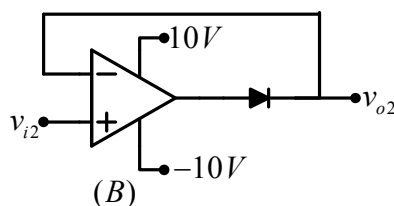
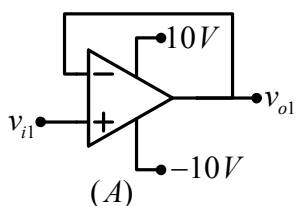
f	1 Hz	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz	500 kHz	1 MHz	2 MHz
v_o									
اختلاف فاز v_o و v_i									
$A_v = v_o/v_i$									

سوال ۵: چگونه می توان فرکانس قطع تقویت کننده فوق را بدست آورد؟ (راهنمایی: $f_c = A_v(f) \times f$)

۳-۷) بافر و ابردیود با Op-Amp

مدارهای زیر را بسته و شکل موج خروجی را بر حسب موج ورودی، با حفظ رابطه زمانی رسم کنید. فرکانس

سیگنال ورودی را در حد 100 Hz انتخاب کنید.

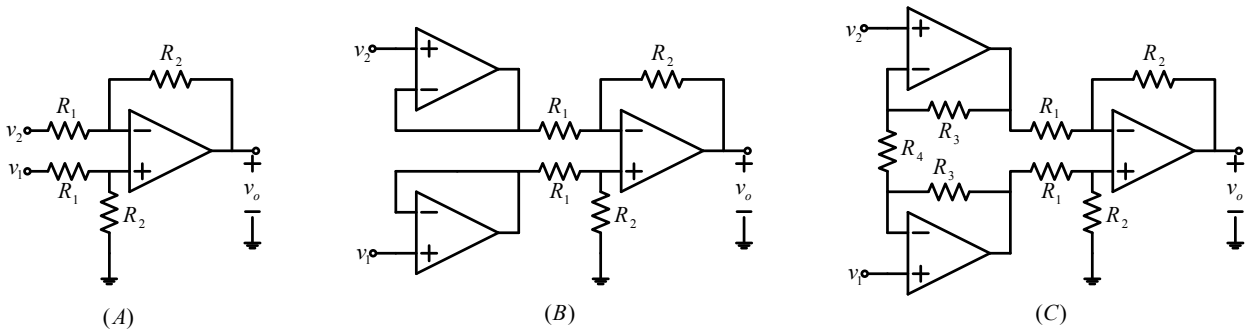


۴-۷) تقویت کننده تفاضلی با Op-Amp

مدارهای زیر نمایشگر تقویت کننده تفاضلی می باشند. مدار شکل A را به ازای $R_1 = R_2 = 1k\Omega$ بسته و با

اعمال دو سیگنال مربعی (با فرکانس 100 Hz و دامنه 3V) و سینوسی (با فرکانس 1 kHz و دامنه 1V) به ورودیها،

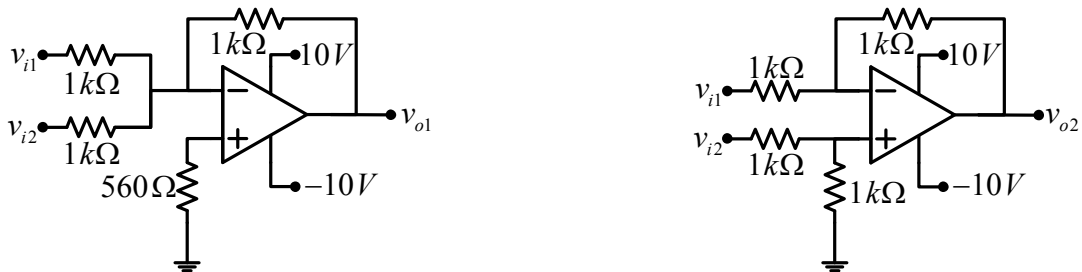
شکل موج خروجی را رسم کنید.



۵-۷ جمع و تفریق کننده با تقویت کننده عملیاتی

مدارهای زیر را بسته و با اعمال $v_{i1} = 5 \sin(200\pi t)$ و $v_{i1} = 1 \sin(2000\pi t)$ به ورودی‌ها، نمودار v_{o1} و v_{o2} را

بر روی اسیلوسکوپ مشاهده و رسم نمائید. عملکرد هر کدام از مدارهای زیر را توضیح دهید.



۶-۷ انتگرال گیر با تقویت کننده عملیاتی

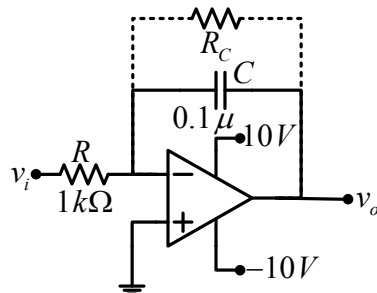
در انتگرالگیر شکل زیر برای تقویت کننده عملیاتی ایده‌آل ولتاژ خروجی از رابطه $v_o = -(RC)^{-1} \int v_i dt$ بدست

می‌آید. ولی در حالت واقعی جریان آفست ورودی تقویت کننده سبب شارژ شدن خازن می‌گردد این پدیده ممکن

است تقویت کننده عملیاتی را به اشباع برود. برای رفع این مشکل مقاومتی تقریباً برابر با $R_C = V_{offset} / I_{offset}$ به

صورت موازی با خازن قرار می‌دهند. مدار زیر را بسته و با ازای ورودی مربعی با دامنه ۲ولت پیک تا پیک و فرکانس

1kHz، شکل موج خروجی را مشاهده و ترسیم کنید.



سوال ۶: تغییر فرکانس موج مربعی چه اثری بر روی شکل موج خروجی دارد.

در مدار فوق، خروجی را برای ورودی سینوسی با دامنه ۲ ولت و فرکانس 1kHz ، مشاهده و ترسیم کنید.

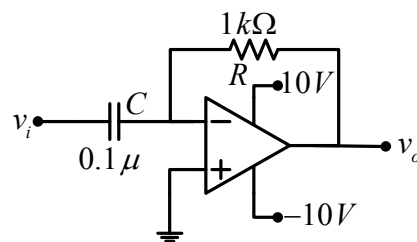
۷-۷) مشتق‌گیر با تقویت‌کننده عملیاتی

مدار زیر را بسته و با ازای ورودی مثلثی با دامنه ۲ ولت پیک تا پیک و فرکانس تقریبی 500Hz ، شکل موج

خروجی را مشاهده و ترسیم کنید. آیا در شکل موج خروجی نوسانات مستهلک شونده دیده می‌شود. چرا؟

در صورت ایجاد نوسانات مستهلک در خروجی می‌توان با گذاشتن مقاومتی بطور سری با خازن C و یا با قرار

دادن خازنی به صورت موازی با مقاومت R ، آن را جبران کرد. شکل موج خروجی جبران سازی شده را رسم نمائید.



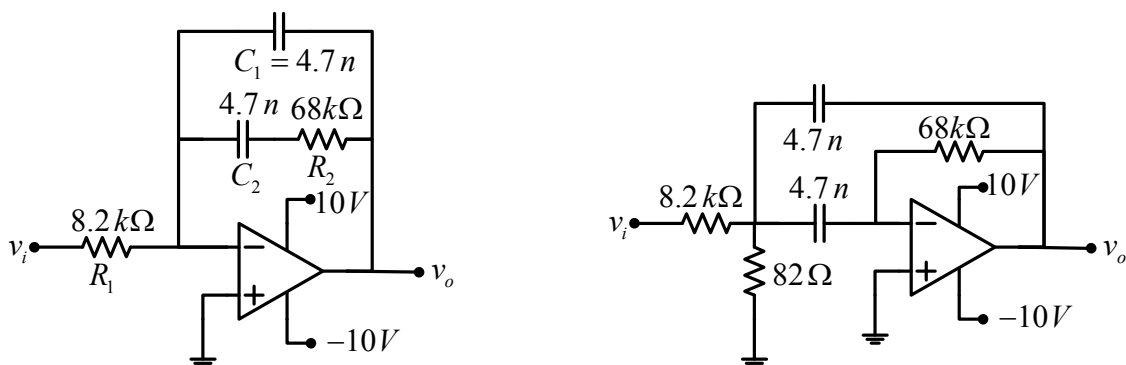
۸-۷) فیلتر پایین‌گذر و میان‌گذر با تقویت‌کننده عملیاتی (فیلتر فعال پایین‌گذر و میان‌گذر)

یکی دیگر از کاربردهای تقویت‌کننده عملیاتی در ساختن فیلترهای اکتیو می‌باشد. برای تست این مطلب،

مدارهای زیر را جداگانه بسته و با اعمال سیگنال سینوسی با دامنه ثابت به ورودی و اندازه‌گیری دامنه سیگنال

خروجی در فرکانس‌های مختلف منحنی بهره ولتاژ را بر حسب فرکانس ترسیم کنید. فرکانس مرکزی (f_o) فیلتر

میان‌گذر و فرکانس‌های قطع (f_{3db}) هر دو فیلتر را بدست آورید.



یک موج مربعی با دامنه $1V_{p-p}$ با فرکانس f_o (فرکانس مرکزی فیلتر میان‌گذر) به ورودی فیلتر میان‌گذر داده

و خروجی را بر حسب ورودی با حفظ رابطه زمانی ترسیم کنید.

آزمایش شماره ۸

منابع تغذیه تثبیت شده

به طور کلی هر مدار الکترونیکی جهت عمل حداقل نیاز به یک منبع DC دارد. منابع تغذیه تثبیت شده به دو دسته ولتاژ ثابت و جریان ثابت تقسیم می‌شوند. علاوه بر تثبیت منابع تغذیه در برابر تغییرات ورودی، دما و بار بایستی در آنها به کنترل جریان منابع ولتاژ و کنترل ولتاژ منابع جریان نیز توجه نمود. منابع تغذیه ولتاژ با توجه به نوع تثبیت آنها به سه دسته خطی، سوئیچینگ و فرورزونانسی تقسیم می‌شوند. مدارهای تثبیت کننده‌های خطی ولتاژ به دو نوع زیر تقسیم می‌شوند.

۱- تثبیت کننده‌های بدون فیدبک:

الف) تثبیت کننده دیود زنری

ب) تثبیت کننده دیود زنری به همراه دنبالگر امیتر

۲- تثبیت کننده‌های با فیدبک:

الف) نوع سری

ب) نوع موازی

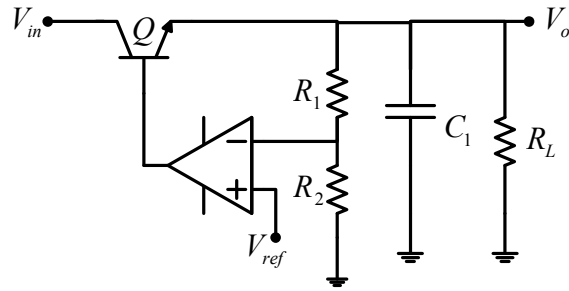
سوال ۱: مداری برای تثبیت کننده دیود زنری به همراه دنبالگر امیتر رسم کنید.

شکل زیر مدار اساسی یک نوع تثبیت کننده سری را نشان می‌دهد. در این مدار ترانزیستور به صورت سری و در آرایش دنبالگر امیتر عمل می‌کند. سیگنال کنترلی اعمالی به بیس ترانزیستور از تقویت تغییرات ولتاژ خروجی در مقایسه با ولتاژ مبنا ایجاد شده و عمل تثبیت را انجام می‌دهد. معمولاً در تثبیت کننده سری ولتاژ تثبیت نشده ورودی چند ولت بیشتر از ولتاژ خروجی تثبیت شده است بنابراین ترانزیستور در ناحیه فعال قرار گرفته و بهره نزدیک واحد با مقاومت خروجی کم را ایجاد می‌کند. هر تثبیت کننده سری شامل قسمت‌های زیر می‌باشد.

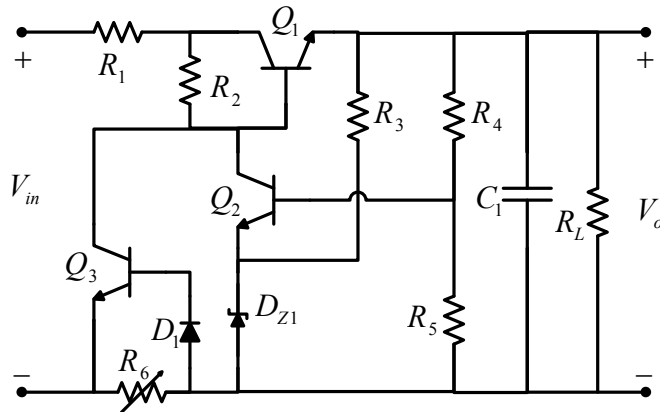
۱- عنصر کنترل کننده (معمولاً از ترانزیستور NPN یا PNP استفاده می‌شود).

۲- عناصر نمونه بردار (معمولاً یک مدار مقسم ولتاژ مقاومتی است.) و ولتاژ مرجع (معمولاً یک دیود زنر است).

۳- مقایسه‌گر و تقویت کننده (معمولاً یک تقویت کننده تفاضلی یا یک op-amp می‌باشد).



در منابع تغذیه ولتاژی، محدود کردن جریان دارای اهمیت زیادی است. زیرا جریان بار یک تثبیت کننده سری می تواند در رنج وسیعی تغییر نماید. اگر عنصر کنترل ترانزیستور حفاظت نشده باشد اضافه بار می تواند صدمه زیادی به آن وارد نماید. شکل زیر یک تثبیت کننده سری را به همراه مدار ساده حفاظت ترانزیستور نشان می دهد.



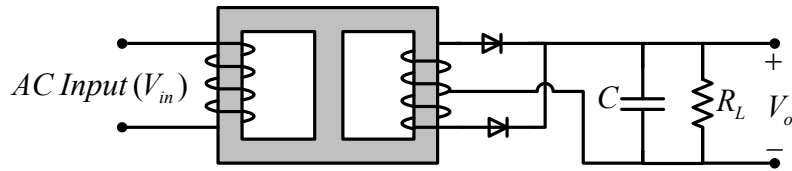
سوال ۱: عملکرد مدار فوق را با بیان نقش هر یک از المان های آن توضیح دهید.

سوال ۲: در مدار فوق مقدار ولتاژ خروجی را به صورت پارامتری بدست آورید.

سوال ۳: در مدار فوق افزایش یا کاهش مقاومت R_2 چه اثری بر روی ولتاژ و جریان خروجی دارد.

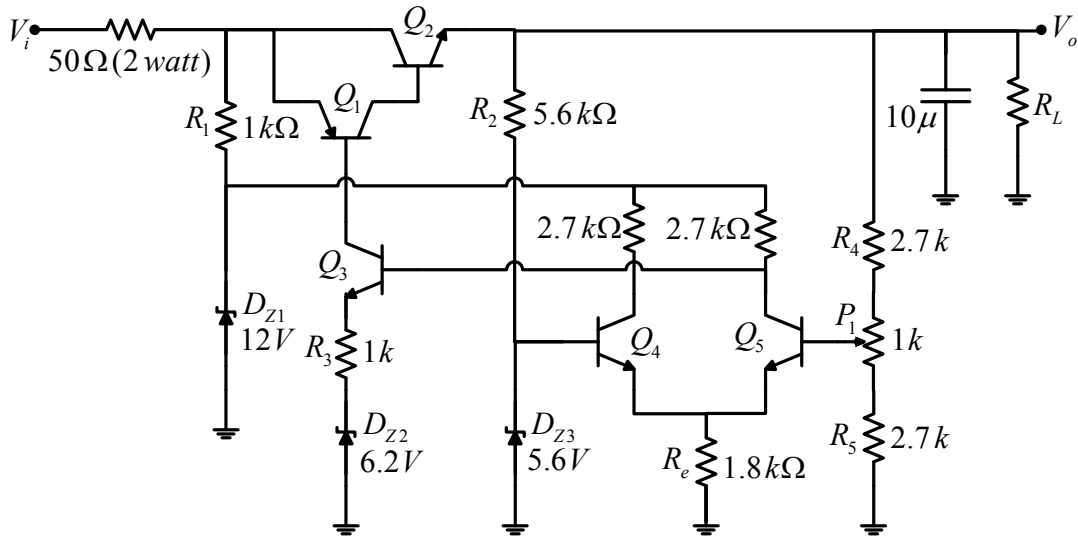
در تثبیت کننده های سوئیچینگ

در تثبیت کننده های فرورزونانس ولتاژ AC ورودی سیم پیچ اولیه فلوی مغناطیسی به وجود می آورد و مدار رزونانس سبب به اشباع رفتن یک قسمت از هسته می شود در نتیجه ولتاژ تولید شده در سیم پیچ ثانویه به صورت موج مربعی با دامنه ثابت می باشد. بنابراین ولتاژ DC یکسو شده بخوبی تثبیت می شود. این تثبیت کننده ها در مقابل تغییرات فرکانس موج ورودی بسیار حساس می باشند.



۸-۱) الف: مدار زیر یک تثبیت کننده ولتاژ سری را نشان می‌دهد ابتدا عملکرد مدار را بیان کنید سپس مدار

را بسته و با اعمال ۱۶ ولت به ورودی پارامترهای بیان شده در جدول زیر را اندازه گرفته و یادداشت کنید.



R_L	100Ω	$1k\Omega$	$10k\Omega$
$V_{o\max}$			
$V_{o\min}$			

با فرض مقاومت بار کامل برابر 100Ω ، مقدار رگولاسیون بار (ضریب تثبیت) مدار را بدست آورید.

برای حالت $R_L = 1k\Omega$ ، مقدار مقاومت خروجی مدار (R_o) را اندازه گرفته و یادداشت نمایید.

ب: ولتاژ تغذیه ورودی مدار را قطع و مقاومت 50Ω را از مدار برداشته و به جای آنها مدار شکل زیر را قرار

دهید. دوباره پارامترهای بیان شده در جدول زیر را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

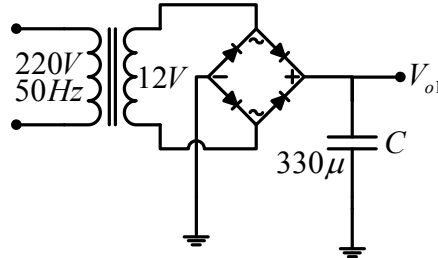
R_L	100Ω	$1k\Omega$	$10k\Omega$
$V_{o\max}$			
$V_{o\min}$			

با فرض مقاومت بار کامل برابر 100Ω ، مقدار رگولاسیون بار (ضریب تثبیت) مدار را بدست آورید.

برای حالت $R_L = 1k\Omega$ ، مقدار مقاومت خروجی مدار (R_o) را اندازه گرفته و یادداشت نمایید.

برای حالت $R_L = 1k\Omega$ ، مقدار پیک تا پیک ضربان ورودی ($v_{ri,pp}$) و مقدار پیک تا پیک ضربان خروجی ($v_{ro,pp}$) را

اندازه گرفته و مقادیر ضربان ورودی، ضربان خروجی و ضریب حذف ضربان را بدست آورید.



سوال ۴: افزایش مقدار خازن C چه اثری بر روی جریان ورودی، ضربان ورودی، ضربان خروجی و ضریب حذف ضربان دارد.

۸-۲) ابتدا کاتالوگ آی‌سی‌های سری LM78xx، LM79xx، LM317 و بطور کامل مطالعه کرده و عملکرد آنها

را بیان کنید سپس مداری با LM7805 بسته و با آن ولتاژ ۵ ولت ایجاد کنید.

۸-۳) کاتالوگ آی‌سی‌های MAX710، MAX711، LTC1174 و MIC2810 را بطور کامل مطالعه کرده و

عملکرد آنها را بیان کنید سپس مداری با MAX710 بسته و با اعمال ۵ ولت به ورودی آن ولتاژ ۳٫۳ ولت ایجاد

کنید. با تغییر مقدار ورودی، حداقل و حداکثر مقادیر ورودی را برای تثبیت ماندن خروجی بدست آورید.