

آزمایش ۵

تقویت‌کننده‌های عملیاتی

هدف از این آزمایش آشنایی با تقویت‌کننده عملیاتی (آپ‌امپ) ۷۴۱ می‌باشد. عملکرد این تقویت‌کننده در ناحیه‌های خطی و اشباع مورد توجه قرار می‌گیرد. برخی از کاربردهای این IC از قبیل تقویت‌کننده با بهره منفی و مثبت، جمع‌کننده، مقایسه‌گر، بافر و مقاومت منفی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند.

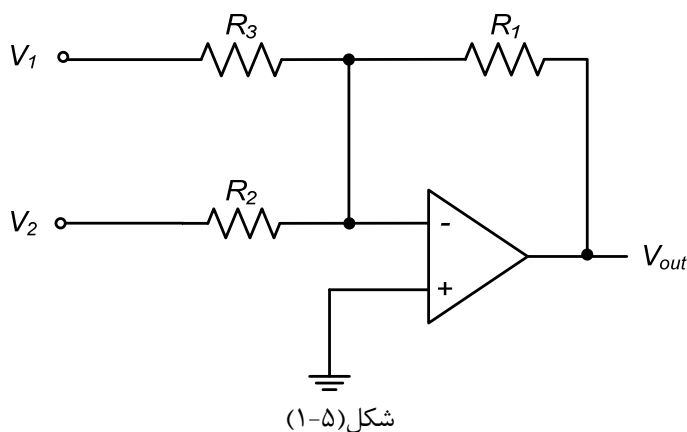
شرح آزمایش

✓ طراحی مدار جمع‌کننده به کمک تقویت‌کننده با بهره منفی یا مثبت

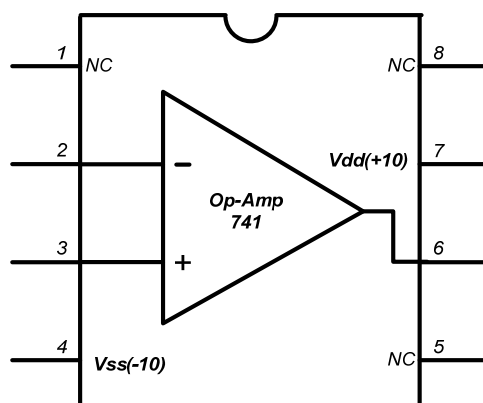
همان‌طور که در درس مدارهای الکتریکی ملاحظه کردید به کمک آپ‌امپ می‌توان تقویت‌کننده‌هایی با بهره منفی یا مثبت طراحی نمود. از طرفی با اضافه کردن چند مقاومت در ورودی این تقویت‌کننده‌ها می‌توان مدار جمع‌کننده ساخت.

مدار شکل (۱-۵) را که یک جمع‌کننده با بهره منفی می‌باشد، ببینید. R_1 ، R_2 و R_3 را به گونه‌ای طراحی کنید تا رابطه $V_{out} = -(\frac{1}{3}V_1 + \frac{1.5}{5.6}V_2)$ برقرار باشد. ($V_1 = +10 \text{ Volt}$, $V_2 = -10 \text{ Volt}$)

به طور کلی در تمام بخش‌های آزمایش ۵ به منظور عملکرد بهتر آپ‌امپ، مقاومت‌های طراحی شده را در رنج کیلو اهم انتخاب کنید.

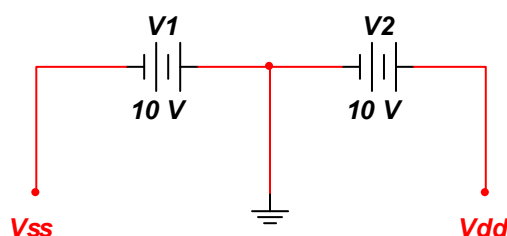


پایه‌های آی‌سی ۷۴۱ در شکل (۲-۵) نشان داده شده است. با توجه به اینکه آپ‌امپ یک عنصر فعال هست، برای تأمین انرژی مصرفی خود به تغذیه DC نیاز دارد. پایه‌های ۴ و ۷ پایه‌های اتصال تغذیه آپ‌امپ می‌باشد.



شکل (۵-۲)

نحوه بستن تغذیه های آپامپ در شکل (۵-۳) نشان داده شده است. دو منبع تغذیه DC که روی میز کارتان قرار دارد را به شکل زیر به هم متصل نموده و سر مشترک آن دو را به عنوان زمین مجازی به بقیه گره های زمین مجازی که در شکل مدار مشاهده می کنید، متصل نمایید. گره های V_{DD} و V_{SS} در شکل زیر نیز به ترتیب به پایه های ۷ و ۴ آی سی آپامپ متصل می شود. ($V_{DD}=+10\text{ Volt}$, $V_{SS}=-10$)



شکل (۵-۳)

۱- پس از بستن مدار شکل (۵-۱) به طور کامل، مقدار خروجی را اندازه بگیرید و با تئوری مقایسه کنید.

۲- در صورتی که مقدار تئوری و عملی تقریباً یکسان بود، ولتاژ بین دو پایه مثبت و منفی ورودی آپامپ و جریان ورودی به پایه مثبت را اندازه بگیرید. انتظار دارید در عملکرد خطی آپامپ مقدار این ولتاژ چقدر باشد؟ آیا مقدار اندازه گیری شده انتظار شما را برآورده می کند؟

۳- مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 را به صورت زیر مقداردهی کرده و مقدار خروجی را از طریق تئوری محاسبه نمایید. ($R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 3k\Omega$, $R_3 = 4.7k\Omega$)

۴- خروجی را در حالت جدید اندازه‌گیری کرده و با تئوری مقایسه کنید. آیا با هم مساوی هستند؟ توضیح دهید چرا؟

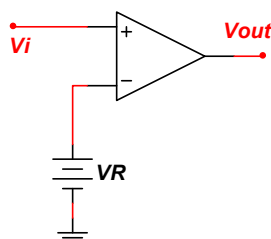
۵- ولتاژ بین دو پایه مثبت و منفی ورودی آپامپ و جریان ورودی به پایه مثبت را مجدد اندازه بگیرید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۶- حال ولتاژهای تغذیه آپامپ را روی ± 15 ولت تنظیم نمایید و مجدد خروجی را اندازه بگیرید و با تئوری مقایسه کنید. چه رابطه‌ای بین خروجی آپامپ و مقدار ولتاژهای تغذیه آن وجود دارد؟ (دقت کنید که اگر در بندهای قبل آزمایش برای تولید V_1 و V_2 از ولتاژهای تغذیه آپامپ استفاده کرده بودید، در این بند به دلیل تغییر مقدار ولتاژ تغذیه دیگر نمی‌توانید به طور مستقیم از تغذیه‌ها برای تولید V_1 و V_2 استفاده کنید. بلکه باید با تقسیم مقاومتی روی منابع ± 15 به مقادیر V_1 و V_2 خواسته شده برسید. مدارهای تقسیم مقاومتی که به این منظور طراحی کردید و به مدار اصلی اضافه نمودید را در برگه داده رسم کنید.)

📱 در آزمایشگاه پس از بستن مدارهای شامل آپامپ و اعمال تغذیه‌ها به آن، برای آن که از صحت اتصالات مدار و عملکرد آپامپی که طبق محاسبات تئوری نباید در ناحیه اشباع کار کند اطمینان حاصل کنید، در گام اول اختلاف ولتاژ دو سر ورودی مثبت و منفی آپامپ را اندازه بگیرید. این اختلاف ولتاژ باید عددی بسیار نزدیک به صفر باشد.

✓ مدار مقایسه‌گر با تقویت‌کننده عملیاتی

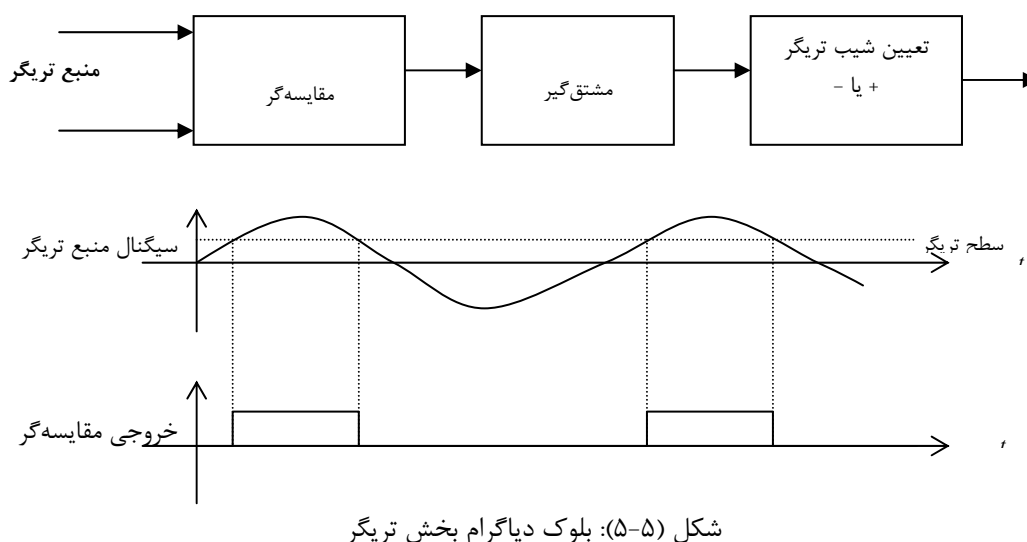
از تقویت‌کننده عملیاتی می‌توان مطابق شکل (۴-۵) به عنوان یک مقایسه‌کننده استفاده نمود. همان‌طور که می‌دانیم تقویت‌کننده عملیاتی بدون اتصال فیدبک منفی (در حالت مدار باز)، دارای بهره ولتاژ بسیار زیادی می‌باشد و در صورتی که بین دو سر ورودی مثبت و منفی آن حتی ولتاژ بسیار کوچکی قرار گیرد، خروجی آن به اشباع می‌رود. لذا در مدار شکل زیر به محض اینکه ولتاژ V_i از V_R بیشتر شود، خروجی به اشباع مثبت می‌رود و از آن طرف نیز به محض اینکه ولتاژ V_i از V_R کمتر شود خروجی به اشباع منفی می‌رود.



شکل (۴-۵)

الف: کاربرد مدار مقایسه‌گر به عنوان آشکارساز عبور از سطح ولتاژ مفروض:

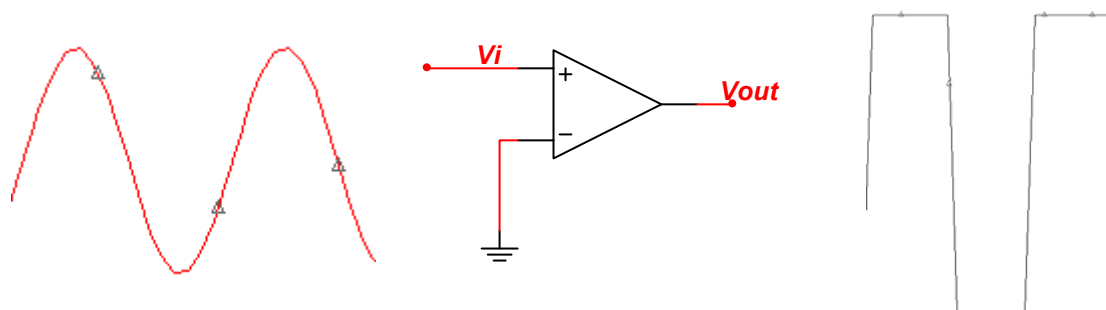
مدار مقایسه‌گر کاربردهای زیادی دارد، از آن جمله می‌توان به آشکارساز عبور از سطح ولتاژ مفروض اشاره کرد. این کاربرد در در مدار تریگر اسیلوسکوپ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بخش توضیحات آزمایش اسیلوسکوپ مشاهده کردید که بلوک دیاگرام مدار تریگر به صورت زیر نشان داده شد:



همان‌طور که ملاحظه می‌شود در بلوک مقایسه‌گر بخش تریگر اسیلوسکوپ، هرگاه ولتاژ منبع تریگر به سطح تریگر برسد یک پالس تریگر تولید می‌شود. در واقع سطح تریگر که توسط پیچ تنظیم *level* در پنل اسیلوسکوپ قابل تنظیم می‌باشد، در واقع مقدار V_R را مشخص می‌کند.

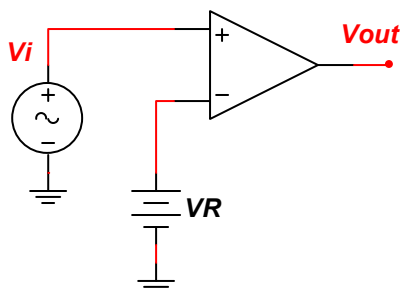
ب: کاربرد مدار مقایسه‌گر در تبدیل شکل موج سینوسی به مربعی:

به عنوان یکی دیگر از کاربردهای مدار مقایسه‌گر می‌توان از تبدیل شکل موج سینوسی به مربعی نام برد.



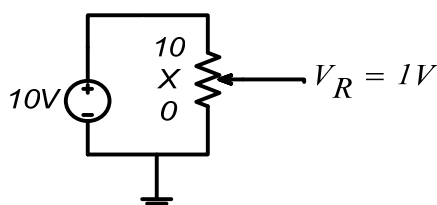
شکل (۶-۵)

مدار شکل (۷-۵) را ببندید. در این آزمایش هر دو کاربرد ذکر شده در بالا با هم بررسی می‌شود. V_R در گام اول روی یک ولت تنظیم شود. ورودی V_i یک شکل موج سینوسی با دامنه ۷ ولت، آفست صفر و فرکانس ۵۰۰ هرتز می‌باشد که توسط فانکشن ژنراتور تولید می‌شود. ولتاژ تغذیه آپامپ روی ± 10 تنظیم گردد. سیم مشکی پروب فانکشن ژنراتور، زمین اسیلوسکوپ و سر منفی منبع V_R به هم متصل گردد.



شکل (۷-۵)

با توجه به محدودیت تعداد منابع تغذیه DC موجود روی میزهای آزمایشگاه (تعداد دو منبع DC روی هر میز که برای تغذیه‌های آپامپ استفاده می‌شود)، مجبور هستیم منبع V_R را با تقسیم ولتاژ روی مقاومت‌ها مطابق شکل (۸-۵) بسازیم. از پتانسیومتر $1000 \times$ استفاده کنید. مقدار $V_R = 1 \text{ Volt}$ پس از اتصال مدار مقسم ولتاژ به ورودی آپامپ تنظیم گردد تا خطای ناشی از کاهش V_R به دلیل اتصال به آپامپ تا حدود زیادی حذف گردد.



شکل (۸-۵)

۷- شکل موج ورودی V_i و خروجی آپامپ را توسط پروب‌های کانال ۱ و ۲ اسیلوسکوپ به صورت همزمان مشاهده و رسم کنید.

۸- (بررسی کاربرد مدار مقایسه‌گر در آشکارساز عبور از سطح ولتاژ مفروض): با تغییر پیچ تنظیم مقاومت پتانسیومتر از ۱ تا ۱۰، V_R را تغییر دهید و اثر تغییر V_R را در شکل موج خروجی با ذکر دلیل و رسم شکل گزارش دهید.

۹- (بررسی کاربرد مدار مقایسه‌گر در تبدیل شکل موج سینوسی به مربعی):
مقدار $V_R = 3\text{ Volt}$ را تنظیم کنید. فرکانس موج خروجی را اندازه بگیرید و با فرکانس موج ورودی مقایسه کنید.

۱۰- آیا شکل موج مربعی حاصل متقارن می‌باشد ($duty\ cycle = 50\%$)؟ توضیح دهید چرا؟
۱۱- چطور می‌توان به $duty\ cycle = 50\%$ رسید؟ با انجام تنظیمات لازم ادعای خود را ثابت کرده و شکل موج حاصل را ببینید.

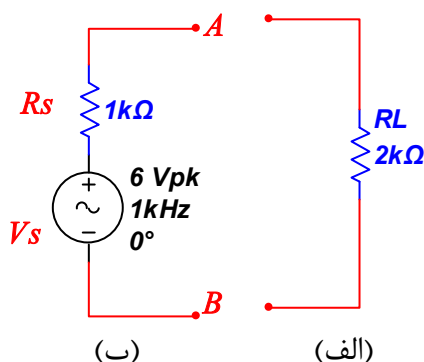
۱۲- دامنه بیشینه و کمینه موج مربعی را اندازه بگیرید و گزارش دهید. چطور می‌توان دامنه موج مربعی حاصل را افزایش داد؟ توضیح دهید.

۱۳- با انجام تغییرات لازم دامنه خروجی را به میزان ۲ ولت افزایش دهید و شکل موج حاصل را مشاهده کنید.

✓ طراحی مدار بافر با بهره یک (مدار ولتاژ فالوئر) به کمک تقویت‌کننده عملیاتی

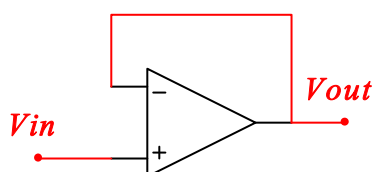
فرض کنیم مطابق شکل (۵-۹) منبع ولتاژ V_S با مقدار دامنه ۶ ولت و مقاومت درونی $R_S = 1\text{ k}\Omega$ موجود هست. می‌خواهیم این منبع ولتاژ مقاومت بار $R_L = 2\text{ k}\Omega$ را به اندازه دامنه ۶ ولت تغذیه کند. مدار شکل زیر را ببندید و مقاومت R_L را به طور مستقیم به سرهای A و B متصل کنید. (با توجه به اینکه مقاومت درونی منبع ولتاژ موجود در آزمایشگاه کم می‌باشد، مقاومت $R_S = 1\text{ k}\Omega$ را خودتان به منبع اضافه کنید. از فانکشن ژنراتور برای منبع ولتاژ استفاده کنید.)

۱۴- مقدار دامنه ولتاژ دو سر R_L را اندازه بگیرید؟ آیا در این حالت ولتاژ ۶ ولت به R_L رسید؟ بدون اینکه مقادیر R_S و R_L و منبع ولتاژ V_S را تغییر دهید، چطور می‌توان این مشکل را حل نمود؟



شکل (۵-۹)

۱۵- برای جلوگیری از اثر بارگذاری نامطلوب مقاومت درونی منبع V_S در انتقال ولتاژ ۶ ولت به مقاومت R_L باید به کمک آپامپ یک مدار بافر ترتیب دهید و بین دو طبقه الف و ب در شکل (۵-۹) قرار دهید. مدار مورد نظر را ببندید و مجدد ولتاژ دو سر R_L را اندازه بگیرید. آیا خواسته شما برآورده شد؟ شکل مداری که بستید را رسم کنید. توضیح دهید مدار بافر چطور این کار را انجام می‌دهد؟ (ولتاژ تغذیه آپامپ روی ± 10 تنظیم گردد).

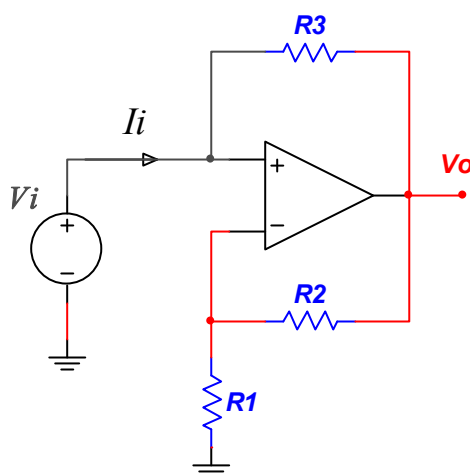


شکل (۵-۱۰): مدار بافر با بهره یک

✓ مدار مبدل مقاومت منفی با تقویت‌کننده عملیاتی (نمره مثبت - اختیاری)

مدار مبدل مقاومت منفی مداری است که در دو سر ورودی خود یک مقاومت منفی تولید می‌کند و این کار را با مقاومت‌های معمولی انجام می‌دهد. مدار شکل (۵-۱۱) یک نمونه مدار مبدل مقاومت منفی را نشان می‌دهد.

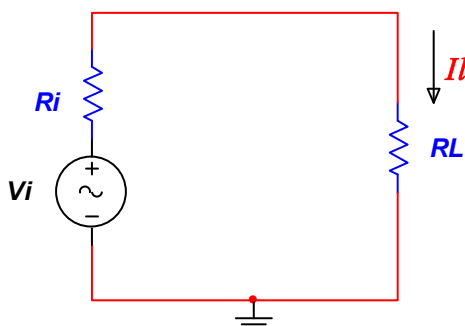
۱۶- به کمک روابط تئوری ثابت کنید که مدار زیر بین سر ورودی مثبت آپامپ و زمین مجازی مدار مقاومت منفی تولید می‌کند و مقدار مقاومت منفی را به صورت پارامتری محاسبه کنید. به جهت I_i در مدار دقت کنید. (راهنمایی: باید نشان دهید که V_i / I_i منفی می‌باشد).



شکل (۵-۱۱)

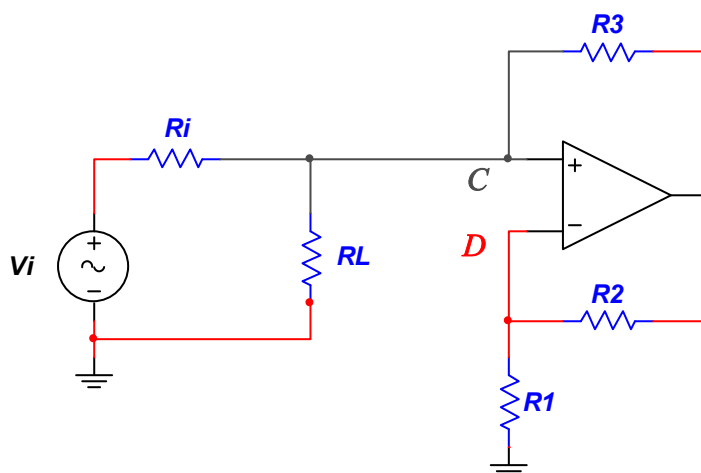
۱۷- نسبت مقاومت‌های R_1 و R_2 چگونه انتخاب شود تا مقاومت منفی دیده شده از این مدار مساوی $-R_3$ گردد.

از مدار تولید مقاومت منفی در طراحی منبع جریان ایده‌آل استفاده می‌شود. می‌دانیم که منبع جریان ایده‌آل به منبع جریانی گفته می‌شود که میزان جریان آن ثابت بوده و مقدار آن به مقدار مقاومت باری که باید جریان را در آن جاری کند، وابسته نباشد. به شکل (۵-۱۲) توجه کنید. می‌خواهیم به کمک منبع V_i با مقاومت درونی R_i جریان ثابتی را به مقاومت بار R_L منتقل کنیم، به‌طوری‌که با تغییر مقاومت R_L مقدار این جریان تغییر نکند. در مدار زیر این کار مقدور نمی‌باشد.



شکل (۵-۱۲)

۱۸- برای حل این مشکل مطابق شکل (۵-۱۳) از مدار مبدل مقاومت منفی استفاده می‌کنیم. مطابق بند ۱۷ نسبت مقاومت‌های R_1 و R_2 را به‌گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که مقاومت منفی دیده شده از دو سر CD مساوی $-R_3$ باشد. حال اگر R_3 و R_i با هم برابر باشند، دیگر جریان R_L به مقدار R_L وابسته نیست. با فرض‌های بالا رابطه جریان R_L را در مدار شکل (۵-۱۳) به صورت پارامتری محاسبه نموده و نشان دهید که مستقل از مقدار R_L می‌باشد.



شکل (۵-۱۳)



۱۹- حال مدار شکل (۵-۱۳) را ببندید. ولتاژ تغذیه آپامپ روی ± 10 تنظیم گردد. منبع V_i موج سینوسی با دامنه ۱ ولت و فرکانس ۱ کیلوهرتز و آفست صفر می‌باشد. مقاومت بار نیز در ۳ مقدار $1k\Omega, 3k\Omega, 6,8k\Omega$ مقداردهی شده و هر بار دامنه جریان آن اندازه‌گیری شود. (برای اندازه‌گیری جریان، شکل موج ولتاژ آن را روی اسیلوسکوپ ببینید و دامنه‌اش را بر مقدار مقاومت R_L تقسیم کنید).

۲۰- آیا به ازای هر سه مقدار R_L جریان آن ثابت مانده است؟ مدار شکل (۵-۱۳) تحت چه شرایطی مانند منبع جریان ایده‌آل عمل می‌کند؟ رابطه آن را محاسبه کنید؟