

فصل ۶

تقویت کننده تفاضلی



هدف‌های فصل

نگرشی	مهارتی	دانشی
۱- شناخت قابلیت تقویت کننده تفاضلی در تقویت سیگنال‌های با فرکانس پایین و DC ۲- شناخت رفتار تقویت کننده تفاضلی در حالت‌های AC و DC	۱- توانایی تحلیل نحوه عملکرد تقویت کننده تفاضلی در آرایش‌های مختلف ورودی و خروجی ۲- توانایی توضیح نقش قطعات مختلف استفاده شده در ساختار تقویت کننده تفاضلی	۱- آشنایی با کاربرد آرایش‌های تفاضلی و مشترک در تقویت کننده تفاضلی ۲- آشنایی با ویژگی‌های تقویت کننده تفاضلی ۳- آشنایی با کاربردهای اصلی تقویت کننده تفاضلی

سرفصل‌ها و عناوین اصلی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مفاهیم اساسی فصل

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مراحل پیشنهادی برای تدریس

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

دانستنی‌ها و پیش‌نیازهای مورد نیاز برای آسان شدن یادگیری مطالب فصل

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مهارت‌های اصلی معرفی شده در فصل که یادگیری آن‌ها برای دانش‌آموزان ضروری است

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

ارتباط مباحث مطرح شده در فصل با فناوری‌های رایج

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

نحوه ارزشیابی و مقدار زمان اختصاص داده شده به هر قسمت از فصل

همکاران محترم می‌توانند با توجه به وضعیت درسی دانش‌آموزان در میزان زمان در نظر گرفته شده برای هر قسمت یا روش ارزشیابی، به صلاحدید خود تجدیدنظر کنند. زمان بندی با توجه به بودجه بندی ارائه شده در کتاب الکترونیک عمومی ۲، سطح کلاس و نظر معلم انجام می‌شود.

سرفصل مطالب	هدف‌ها در قلمرو دانش، مهارت و نگرش	محتوا و فعالیت‌های یادگیری	روش‌های پیشنهادی برای ارزشیابی	ابزارهای اندازه‌گیری پیشنهادی	زمان پیشنهادی برای تدریس (ساعت)	توضیحات
مدار تقویت‌کننده تفاضلی	معرفی ویژگی‌های اصلی تقویت‌کننده و تأکید بر قابلیت آن در مواجهه با سیگنال‌های فرکانس پایین و نویزی	بحث، مطالعه	مجموعی	تشریحی	۱	سؤال در مورد ویژگی‌های این تقویت‌کننده و مقایسه آن با تقویت‌کننده‌های ترازبستوری معمولی
بررسی رفتار DC تقویت‌کننده تفاضلی	تحلیل DC تقویت‌کننده تفاضلی	حل تمرین	تکوینی، مجموعی	محاسباتی	۲	تعیین ولتاژ و جریان المان‌های مختلف تقویت‌کننده در قالب سؤال‌های محاسباتی
مدار منبع جریان	درک نقش منبع جریان در ساختار تقویت‌کننده تفاضلی	مطالعه، حل تمرین	مجموعی	تشریحی، محاسباتی	۲	سؤال در مورد نقش و مزایای منبع جریان در تقویت‌کننده تفاضلی در قالب سؤالات تشریحی محاسبه جریان‌ها ولتاژهای مختلف در یک مدار منبع جریان زتری

تعیین حالت کار تقویت کننده (تفاضلی یا مشترک) و تعیین ولتاژ خروجی آن به ازای انواع خروجی های اعمالی	۲	تشریحی	تکوینی، مجموعی	بحث، حل تمرین	آشنایی با آرایش های مختلف این تقویت کننده و توانایی تحلیل عملکرد آن در حالت های مشترک و تفاضلی	بررسی رفتار AC تقویت کننده تفاضلی
طرح پرسش هایی برای محاسبه ضریب حذف مشترک	۱	محاسباتی	مجموعی	بحث، حل تمرین	شناخت ضریب حذف مشترک به عنوان معیاری از نزدیک بودن عملکرد تقویت کننده تفاضلی به حالت ایده آل خود و توانایی محاسبه این ضریب	ضریب حذف سیگنال مشترک

۶-۱- پیشگفتار (صفحه ۱۳۷ از کتاب درسی)

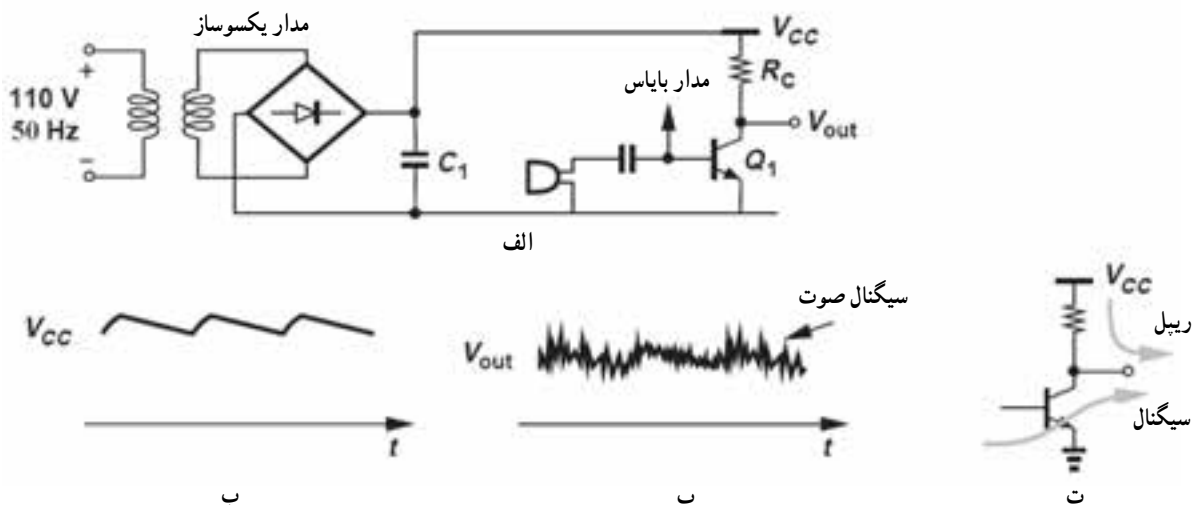
به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مثال ۱: مدار نشان داده در شکل ۶-۱ الف که شامل یک یکسوساز و یک تقویت کننده ترانزیستوری است برای تقویت سیگنال دریافتی از یک میکروفون طراحی شده است. سیگنال دریافت شده از خروجی دارای یک نویز با مؤلفه فرکانس پایین است. علت این شکل موج خروجی را توضیح دهید.

پاسخ: می دانیم که جریان گرفته شده از خروجی یک یکسوساز یک شکل موج به صورت ریبیل است که فرکانس آن متناسب با مقدار فرکانس خط تغذیه AC است (شکل ۶-۱ ب) که از اینجا می توان به علت فرکانس پایین نویز خروجی پی برد. تقویت کننده استفاده شده در این مدار دارای ساختار امیتر مشترک است و با آزمایش خروجی آن می توان دو مؤلفه را در آن شناسایی کرد: (۱) نسخه تقویت شده سیگنال میکروفون و (۲) سیگنال ریبیل که روی منبع تغذیه DC (V_{CC}) ظاهر شده است. برای ولتاژ خروجی داریم:

$$V_{out} = V_{CC} - R_C I_C$$

که نشان می دهد سیگنال خروجی مقدار ولتاژ منبع تغذیه DC را دنبال می کند و بنابراین شامل ریبیل در سرتاسر آن است. شکل ۶-۱ پ سیگنال خروجی تقویت کننده را نشان می دهد که شامل سیگنال صوتی و ریبیل است. در شکل ۶-۱ ت این پدیده به صورت خلاصه نشان داده شده است.



شکل ۶-۱

چرا تقویت کننده‌های تفاضلی برای تقویت سیگنال‌های با فرکانس پایین مناسب‌اند؟
 پاسخ: از آنجا که خازن‌های به کار گرفته شده در ساختار تقویت کننده‌های معمولی در فرکانس‌های پایین اتصال باز هستند نمی‌توانند پایداری حرارتی تقویت کننده را حفظ کنند. از طرفی چون در طراحی تقویت کننده‌های تفاضلی از خازن استفاده نمی‌شود، این نوع تقویت کننده‌ها برای تقویت سیگنال‌های با فرکانس پایین و حتی DC مناسب‌اند.

۶-۲- مدار تقویت کننده تفاضلی (صفحه ۱۳۸ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

فرصت یاددهی - یادگیری

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

۶-۳- بررسی رفتار DC تقویت کننده تفاضلی (صفحه ۱۳۸ از کتاب درسی)

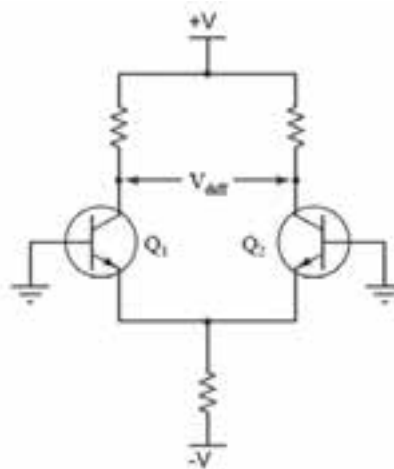
پرسش ۱

هدف

- بررسی عملکرد تقویت کننده تفاضلی در حالتی که پارامترهای الکتریکی یکی از ترانزیستورها (مقدار توان داده شده و ورودی‌های اعمال شده به آن) ثابت باشد اما دمای آن به وسیله حرارت بالا رود.

فرض کنید مدار زوج تفاضلی شکل ۶-۲ کاملاً متعادل باشد. در این شرایط انتظار می‌رود که چه مقدار ولتاژ بین کلکتورهای دو ترانزیستور وجود داشته باشد؟ اگر ترانزیستور Q_2 حرارت داده شود ولتاژ تفاضلی V_d چه وضعیتی خواهد داشت؟

پاسخ: در شرایط تعادل $V_d = 0$ است. برای درک رفتار تقویت کننده تفاضلی هنگامی که یکی از ترانزیستورها حرارت داده می‌شود بایستی عکس العمل یک پیوند pn مثل دیود را در مقابل حرارت در نظر گرفت. با یادآوری رابطه جریان دیود و منحنی ولت - آمپر آن می‌توان فهمید که با افزایش حرارت از میزان جریان پیوند pn و به تبع آن از مقدار جریان کلکتور کاسته می‌شود. در نتیجه مقدار ولتاژ کلکتور ترانزیستور Q_2 افزایش یافته، تعادل در خروجی بر هم می‌خورد و یک ولتاژ تفاضلی در خروجی تقویت کننده ظاهر می‌شود.



شکل ۶-۴

۴-۶- مدار منبع جریان (صفحه ۱۴۰ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

☑ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۵-۶ (صفحه ۱۴۲ از کتاب درسی)

۱-۵-۶- پاسخ: تقویت کننده تفاضلی می تواند سیگنال های با فرکانس پایین و DC را تقویت کند.

۲-۵-۶- پاسخ: غلط

۳-۵-۶- پاسخ: می توان این سؤال را با فرض $\beta = 100$ برای ترانزیستورها و در نظر گرفتن تقارن کامل این مدار حل کرد.

ابتدا معادله KVL حلقه ورودی را می نویسیم:

$$\text{KVL: } 100 \text{ K}\Omega I_B + V_{BEon} + 1 \text{ K}\Omega I_O = 14 \text{ V}$$

با در نظر گرفتن این نکته که $I_O = 2 I_E$ داریم:

$$\frac{(100 \text{ K}\Omega I_E)}{100} + 0.7 \text{ V} + 1 \text{ K}\Omega (2 I_E) = 14 \text{ V} \rightarrow 3 \text{ K}\Omega I_E = 13 / 3 \text{ V} \rightarrow I_E = \frac{(13 / 3 \text{ V})}{(3 \text{ K}\Omega)}$$

$$\rightarrow I_O = 2 I_E \quad 8 / 87 \sim 9 \text{ mA}$$

گزینه ۲ صحیح است.

۴-۵-۶- پاسخ: از آنجا که در صورت سؤال ذکر شده است که از I_B ترانزیستورها صرف نظر شود، می توان افت ولتاژ

روی مقاومت های بیس را نادیده گرفت. مدار تقویت کننده تفاضلی کاملاً متقارن است و می توان معادلات ولتاژ را تنها برای یک نیمه

از مدار نوشت. ابتدا با فرض روشن بودن ترانزیستورها معادله KVL را برای حلقه پیوند بیس - امیتر، مقاومت ۱۵ کیلو اهمی متصل

به امیتر و منبع تغذیه منفی می نویسیم:

$$\text{KVL ۱: } V_{BE} + 15 \text{ K}\Omega I_E = 15 \text{ V} \rightarrow I_E = \frac{(15 - 0.7 \text{ V})}{15} = 0.953 \text{ mA}$$

ولتاژ پیوندهای کلکتور - امیتر با نوشتن یک KVL در حلقه خروجی قابل محاسبه است:

$$\text{KVL ۲: } 15 \text{ V} - 15 \text{ K}\Omega I_{C1} - V_{CE1} - 15 \text{ K}\Omega I_E = 15 \text{ V}$$

$$V_{CE1} - V_{CE2} + I_{C1} - I_{C2} = \frac{I_E}{2}$$

به خاطر تقارن مدار می توان نوشت

در نتیجه داریم:

$$V_{CE1} = 30 \text{ V} - 45 \text{ K}\Omega I_{C1} = 8 / 56 \text{ V}$$

۵-۵-۶- پاسخ: برای محاسبه جریان امیتر I_{E2} که تقریباً برابر I_E نیز هست می توان نوشت:

$$\text{KVL ۱: } V_Z - V_{BE} - 2 / 7 \text{ K}\Omega I_{E2} \rightarrow I_{E2} = \frac{(8 - 0.7 \text{ V})}{2 / 7 \text{ K}\Omega} = 2 / 7 \text{ mA}$$

برای محاسبه V_{C1} بایستی جریان I_{C1} را در اختیار داشت. با توجه به تقارن مدار تقویت کننده می توان نوشت $I_{C1} = \frac{I_E}{2}$ و

داریم:

$$V_{C1} = 22 \text{ V} - 8 / 2 \text{ K}\Omega I_{C1} = 22 \text{ V} - 8 / 2 \text{ K}\Omega \left(\frac{2 / 7 \text{ mA}}{2} \right) = 10 / 93 \text{ V}$$

۶-۵-۶- پاسخ: در این حالت با اعمال ولتاژ مثبت به بیس TR_2 میزان هدایت این ترانزیستور و جریان عبوری از آن افزایش

می یابد. با افزایش جریان کلکتور TR_2 میزان افت پتانسیل روی R_{C2} افزایش یافته و ولتاژ کلکتور این ترانزیستور کاهش می یابد.

افزایش I_{C2} باعث افزایش ولتاژ امیتر می شود و از آنجا که بیس TR_1 به زمین متصل است افزایش ولتاژ امیتر باعث کاهش V_{BE1} شده و

در نتیجه مقدار I_{B1} و I_{C1} کاهش می یابد. کاهش I_{C1} منجر به کاهش افت ولتاژ روی مقاومت R_{C1} و افزایش V_{C1} خواهد شد.

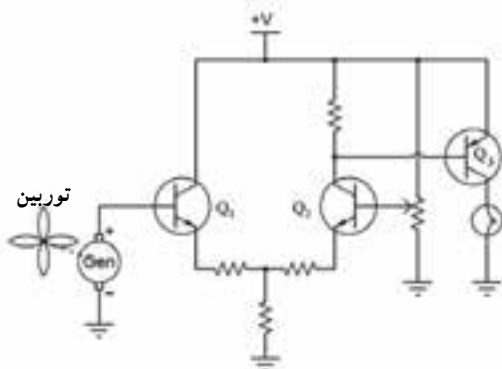
۶-۵- بررسی رفتار AC تقویت کننده تفاضلی (صفحه ۱۴۳ از کتاب درسی)

پرسش ۲ (دانش افزایی)

هدف

– معرفی مدار تقویت کننده تفاضلی به عنوان مقایسه کننده

مدار نشان داده شده در شکل ۶-۵ بخشی از یک ایستگاه هواشناسی است. سرعت باد با استفاده از ولتاژ خروجی یک



ژنراتور DC سنجیده می شود و میزان ولتاژ ژنراتور توسط پره های توربین معین می شود. یک لامپ که به کلکتور ترانزیستور Q_2 متصل شده است هنگامی روشن می شود که سرعت باد از یک حد آستانه عبور کند. این حد آستانه با استفاده از پتانسیومتر به کار گرفته شده در بیس ترانزیستور Q_2 معین می شود. از دانش آموزان خواسته شود که بر اساس درکی که از عملکرد مدار یک تقویت تفاضلی دارند درباره این مدار شکل ۶-۵ نشان دهنده سرعت بالای باد یا سرعت پایین باد است نظر خود را بیان کنند.

شکل ۶-۵ مدار یک تقویت کننده تفاضلی که در بخشی از یک

دستگاه مربوط به هواشناسی بکار گرفته شده است

پاسخ: ابتدا باید در نظر داشت که سؤال فوق یک سؤال مفهومی است و به جنبه های محاسباتی آن به صورت کلی نگریسته شده

است و به همین دلیل پارامترهای مدار از جمله مقادیر مقاومت ها و ولتاژها داده نشده است.

برای پاسخ به سؤال دو نکته را باید مورد توجه قرار دارد. اول اینکه یک زوج تفاضلی با دو ورودی و یک خروجی طراحی

شده است که ولتاژ خروجی که از کلکتور ترانزیستور Q_2 گرفته شده است و با افزایش ولتاژ بیس Q_1 مقدار ولتاژ کلکتور Q_2 نیز افزایش می یابد.

نکته دوم این است که ترانزیستور Q_2 هنگامی فعال است و موجب روشن شدن لامپ می شود که ولتاژ امیتر – بیس آن بیشتر

از ولتاژ آستانه هدایت باشد. در نتیجه لازم است سطح ولتاژ کلکتور Q_2 کمتر از امیتر Q_2 باشد.

با در نظر گرفتن نکات بالا می توان دو حالت ممکن برای سرعت باد را بررسی کرد. اگر سرعت باد بیشتر از یک مقدار خاص

باشد و منجر به مثبت شدن اختلاف بین بیس ترانزیستور Q_1 (V_1) و بیس ترانزیستور Q_2 (V_2) شود ($V_1 > V_2$)، علامت ولتاژ

خروجی نیز مثبت می شود. در این شرایط بسته به مقدار بهره مدار، اگر اختلاف ولتاژ بین بیس Q_2 و کلکتور Q_2 بیشتر از حد آستانه

هدایت شود ترانزیستور هدایت کرده و لامپ روشن می شود. اگر سرعت باد کمتر از میزان فوق شود ترانزیستور Q_2 روشن است و این

حالت تا زمانی که مقادیر ولتاژ V_1 کمتر از V_2 شود نیز ادامه دارد. در این حالت اختلاف بین V_1 و V_2 منفی شده و در نتیجه ولتاژ

خروجی تقویت کننده نیز منفی و لامپ روشن می شود.

از توصیفات فوق می توان فهمید که وقتی سرعت باد از یک حد آستانه کمتر باشد لامپ روشن خواهد بود.

آزمونک ۲

مزیت اصلی استفاده از حالت سیگنال مشترک در تقویت کننده های تفاضلی چیست؟

پاسخ: این آرایش نسبت به سیگنال های پارازیتی، تغییرات ولتاژ منبع تغذیه و درجه حرارت مقاوم است زیرا سیگنال های

مشترکی که به ورودی اعمال می شوند به یک اندازه تقویت می شوند، تغییراتشان در هر دو ترانزیستور مشابه است و در نتیجه تفاضل

آن‌ها در خروجی تقویت‌کننده صفر خواهد بود.

✓ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۸-۶ (صفحه ۱۴۷ از کتاب درسی)

۱-۸-۶- پاسخ: صحیح

۲-۸-۶- پاسخ: $CMRR = (A_{v(d)})/(A_{cm})$ که در این رابطه $A_{v(d)}$ بهره تفاضلی و A_{cm} بهره مد مشترک است.

۳-۸-۶- پاسخ: از آنجا که V_n به یکی از ورودی‌های تقویت‌کننده اول داده شده و ورودی دوم این تقویت‌کننده به زمین

متصل است برای V_{O2} داریم:

$$V_{O2} = A_{v1} V_n$$

و موج خروجی V_{O2} با V_n هم‌فاز است. طبقه دوم، یک تقویت‌کننده تفاضلی با دو ورودی و دو خروجی است. شکل موج‌های

ورودی دارای دامنه یکسان و فاز مخالف‌اند، پس دامنه هر یک از خروجی‌های تقویت‌کننده دوم، دو برابر حاصلضرب دامنه ورودی

در بهره تقویت‌کننده است و برای V_{O2} داریم:

$$V_{O2} = 2A_{v1} V_{O1} = 2A_{v1} A_{v2} V_n$$

و گزینه ۱ پاسخ صحیح است.

۴-۸-۶- پاسخ: مدار نشان داده شده یک تقویت‌کننده تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی است که از آن به‌عنوان

جدا کننده فاز استفاده می‌شود و گزینه ۴ پاسخ صحیح است.

۵-۸-۶- پاسخ:

$$CMRR = \frac{(A_{v(d)})}{(A_{cm})} = \left(\frac{12500}{25}\right) = 50000$$

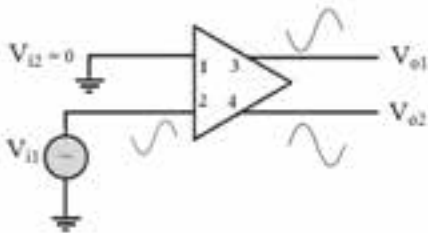
$$CMRR(dB) = 20 \log(50000) = 93/98$$

۶-۸-۶- پاسخ: تقویت‌کننده در حالت یک ورودی و دو خروجی و در مد تفاضلی استفاده شده است. TR_1 دارای

آرایش امیتر مشترک و TR_2 دارای آرایش بیس مشترک است.

۷-۸-۶- پاسخ: تقویت‌کننده در حالت دو ورودی و دو خروجی استفاده شده و چون سیگنال‌های ورودی دارای فاز

یکسانی هستند تقویت‌کننده در مد مشترک استفاده شده است.

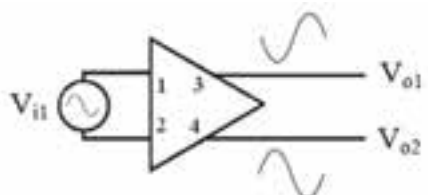


شکل ۶-۶

۸-۸-۶- پاسخ: شکل ۶-۶ خروجی‌های تقویت شده تقویت‌کننده

تفاضلی را نشان می‌دهد که در آن V_{o1} با ورودی هم‌فاز و V_{o2} دارای فاز مخالف

با ورودی است.



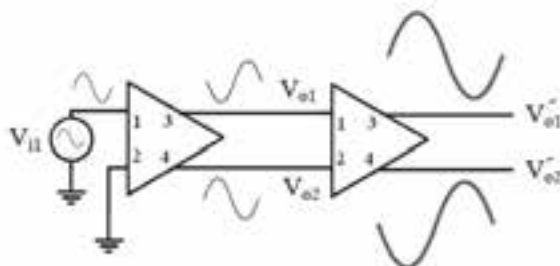
شکل ۶-۷

۹-۸-۶- پاسخ: مدار نشان داده شده در شکل ۶-۴۱ کتاب درسی

یک تقویت‌کننده تفاضلی ایده آل است. ولتاژ خروجی این تقویت‌کننده در شکل

۶-۷ نشان داده شده است.

۱-۸-۶- پاسخ: طبقه اول، یک تقویت کننده تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی است. شکل موج های V_{o1} و V_{o2} در شکل ۸-۶ نشان داده شده است. در این حالت تقویت شده ولتاژ ورودی در V_{o2} با فاز موافق و در V_{o1} با فاز مخالف ظاهر می شود. طبقه دوم، یک تقویت کننده تفاضلی با دو ورودی و دو خروجی است. این بار نیز ولتاژهای خروجی، تقویت شده ولتاژهای متناظر ورودی و با فاز مخالف است و دامنه ولتاژهای خروجی دو برابر حاصلضرب دامنه سیگنال ورودی در بهره ولتاژ طبقه دوم است.



شکل ۸-۶

WWW

معرفی سایت

۱- http://www.st-andrews.ac.uk/~jcg1/Scots_Guide/audio/part1/page3.html

۲- http://www.ecircuitcenter.com/circuits/bjt_diffamp1/bjt_diffamp1.htm

موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائه آن به صورت سمینار

- ۱- بررسی نقش تقویت کننده تفاضلی در طبقه ورودی تقویت کننده های عملیاتی
- ۲- مدارهای تقویت کننده تفاضلی با FET
- ۳- بررسی چند مورد از کاربرد تقویت کننده تفاضلی در مد مشترک و تفاضلی

موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائه آن به صورت سمینار در لوح فشرده

ضمیمه کتاب آمده است.

اجرای نرم افزار

برای اجرای دقیق آموزش و عمق دادن به مفاهیم تشریح شده لازم است کلیه فرآیندهای آموزش که با استفاده از نرم افزار مولتی سیم قابل اجرا است را از قبل اجرا کنید و آن را برای هنرجویان در کلاس به نمایش در آورید، همچنین از آنان بخواهید که در خارج از ساعات کلاسی به اجرای موارد مطرح شده به صورت نرم افزاری بپردازند. اشاره ای هم داشته باشید به کتاب کارگاه الکترونیک عمومی که در آن اجرای عملی و نرم افزاری توصیه شده است. در کتاب آزمایشگاه مجازی جلد ۲ با کد ۴۶۶/۶ تمام مراحل اجرا شده و فایل های اجرا شده در لوح فشرده در ضمیمه کتاب وجود دارد.

فصل ۷

تقویت کننده عملیاتی



هدف‌های فصل

نگرشی	مهارتی	دانشی
۱- شناخت ویژگی‌های اساسی تقویت کننده عملیاتی	۱- توانایی تحلیل کلی طبقات مختلف تقویت کننده عملیاتی	۱- آشنایی با نماد، بلوک دیاگرام و مدار داخلی تقویت کننده عملیاتی
۲- شناخت طبقات تشکیل دهنده تقویت کننده عملیاتی	۲- توانایی طراحی مدارهای تقویت کننده با بهره‌ها و مقاومتهای ورودی مختلف با استفاده از Op-Amp	۲- آشنایی با نقش تقویت کننده تفاضلی در طبقه ورودی تقویت کننده عملیاتی
۳- شناخت Op-Amp به عنوان یک تقویت کننده با انعطاف پذیری بالا	۳- توانایی معرفی مشخصات تقویت کننده عملیاتی ایده آل و واقعی	۳- آشنایی با کاربردهای تقویت کننده عملیاتی

سرفصل‌ها و عناوین اصلی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مفاهیم اساسی فصل

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مراحل پیشنهادی برای تدریس

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

دانستنی‌ها و پیش‌نیازهای مورد نیاز برای آسان شدن یادگیری مطالب فصل

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مهارت‌های اصلی معرفی شده در فصل که یادگیری آن‌ها برای دانش‌آموزان ضروری است

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

ارتباط مباحث مطرح شده در فصل با فناوری‌های رایج

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

نحوه ارزشیابی و مقدار زمان اختصاص داده شده به هر قسمت از فصل

همکاران محترم می‌توانند با توجه به وضعیت درسی دانش‌آموزان در میزان زمان در نظر گرفته شده برای هر قسمت یا روش ارزشیابی، به صلاحدید خود تجدید نظر کنند. زمان بندی با توجه به بودجه بندی ارائه شده در کتاب الکترونیک عمومی ۲، سطح کلاس و نظر معلم انجام می‌شود.

سرفصل مطالب	هدف‌ها در قلمرو دانش، مهارت و نگرش	محتوا و فعالیت‌های یادگیری	روش‌های پیشنهادی برای ارزشیابی	ابزارهای اندازه‌گیری پیشنهادی	زمان پیشنهادی برای تدریس (ساعت)	توضیحات
بلوک دیاگرام مدار داخلی تقویت‌کننده عملیاتی	آشنایی با طبقات مختلف تقویت‌کننده عملیاتی و ویژگی‌های تقویت‌کننده عملیاتی ایده آل و واقعی	مطالعه، بحث	تکوینی، مجموعی	تشریحی	۵/۰	طرح سؤالات تشریحی در مورد مشخصات هر طبقه تقویت‌کننده عملیاتی و مدل‌های ایده آل و واقعی آن
پایه‌های تقویت‌کننده عملیاتی و کمیت‌های مربوط به آن	آشنایی با روش تغذیه، سطوح ولتاژ و جریان خروجی در تقویت‌کننده عملیاتی	مطالعه، بحث	تکوینی، مجموعی	تشریحی	۵/۱	طرح سؤالات تشریحی در مورد نحوه تغذیه تقویت‌کننده و مقادیر ولتاژ مورد نیاز برای یک تقویت‌کننده نوعی و همچنین سطوح ولتاژ خروجی و علامت آنها با توجه به ورودی‌های اعمالی به تقویت‌کننده

بهره و لئاز حلقه باز و حلقه بسته	آشنایی با مزایای به کارگیری فیدبک منفی در تقویت کننده عملیاتی و توانایی محاسبه بهره حلقه باز و حلقه بسته تقویت کننده در آرایش های مختلف	مطالعه، بحث، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	تشریحی، محاسباتی	۲	طرح سؤالات تشریحی در مورد کاربرد فیدبک منفی در مدار تقویت کننده عملیاتی و مفهوم زمین مجازی محاسبه بهره های حلقه باز و حلقه بسته (با تکیه بر مدارهای کاربردی معرفی شده)
کاربردهای تقویت کننده عملیاتی	آشنایی با برخی از کاربردهای اصلی این تقویت کننده و محدودیت های عملی استفاده از آن	مطالعه، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	محاسباتی، تشریحی	۳	سؤال در مورد عوامل محدود کننده استفاده از تقویت کننده عملیاتی در قالب سؤالات تشریحی سؤال در مورد انواع پارامترهای درگیر در طراحی تقویت کننده های طراحی شده مختلف با استفاده از Op_Amp و همچنین مدارهای کاربردی ساخته شده توسط آن در قالب سؤالات محاسباتی
تعاریف اصلی در تقویت کننده عملیاتی	آشنایی با ویژگی هایی از تقویت کننده عملیاتی که در عمل بر رفتار تقویت کننده تأثیر می گذارند	مطالعه، بحث	تکوینی، مجموعی	تشریحی	۱	پرسش در مورد معانی عبارات معرفی شده در این قسمت از فصل و تأثیر هر یک از آن ها بر عملکرد تقویت کننده عملیاتی در قالب سؤالات تشریحی

۱-۷- تاریخچه مختصر تقویت کننده های عملیاتی ۲-۷- پیشگفتار (صفحه ۱۵۰ از کتاب درسی)

مباحث ۱-۷ و ۲-۷ در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

۳-۷- بلوک دیاگرام و مدار داخلی تقویت کننده عملیاتی (صفحه ۱۵۱ از کتاب درسی)

- ۱-۳-۷ طبقه ورودی تقویت کننده عملیاتی
- ۲-۳-۷ طبقه میانی تقویت کننده عملیاتی
- ۳-۳-۷ طبقه خروجی تقویت کننده عملیاتی

مباحث ۳-۷ و زیر مجموعه های آن در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

۴-۷- مدل جریان آب تقویت کننده عملیاتی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید

آزمونک ۱ 

چرا در تقویت کننده های عملیاتی، اگر یک ورودی با دامنه کم به تقویت کننده اعمال شود تقویت کننده به اشباع می رود؟
پاسخ: از آنجا که تقویت کننده های عملیاتی دارای ضریب تقویت بسیار بالایی هستند، با اعمال یک سیگنال با دامنه کم به ورودی آنها سیگنالی با دامنه بسیار بزرگ تر در خروجی آنها تشکیل می شود. اما از آنجا که ناحیه عملکرد خطی هر تقویت کننده

محدود است، تقویت کننده به ناحیه اشباع رفته، به صورت غیر خطی عمل می کند و شکل موج خروجی برش می خورد.

۷-۵- چرا فیدبک منفی؟

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

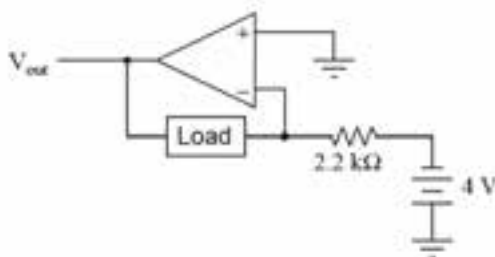
۷-۵-۱- ترموستات! مداری با عملکرد مشابه با یک تقویت کننده عملیاتی با فیدبک منفی

مباحث ۷-۵ و زیر مجموعه های آن در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

۷-۶- کاربردهای تقویت کننده عملیاتی (صفحه ۱۵۷ از کتاب درسی)

پرسش ۱

هدف



شکل ۷-۵

– بررسی نقش مقاومت فیدبک در عملکرد مدار تقویت کننده

معکوس کننده

جریان عبوری از مقاومت بار در مدار شکل ۷-۵ چند آمپر است؟

تغییر در مقدار مقاومت بار چه تأثیری بر عملکرد مدار دارد؟

پاسخ: در این مدار پایه معکوس کننده تقویت کننده در حکم زمین مجازی است و جریان گذرنده از مقاومت متصل به این پایه

برابر است با:

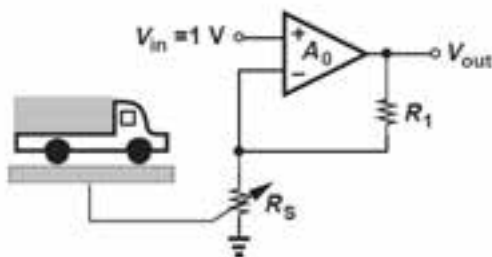
$$I = \frac{4V}{2/2.2k\Omega} = 1/818 \text{ ma}$$

از آنجا که هیچ جریانی به تقویت کننده وارد نمی شود تمام جریان از مقاومت بار خواهد گذشت. تغییر در مقاومت بار تأثیری بر

جریان عبوری از آن نخواهد داشت و تنها مقدار ولتاژ خروجی و در نتیجه بهره تقویت کننده را تغییر می دهد.

پرسش ۲

هدف



شکل ۷-۶ یک باسکول که در ساختار آن از تقویت کننده

عملیاتی در حالت ناوارونگر استفاده شده است.

– مطالعه یک کاربرد عملی از تقویت کننده عملیاتی در حالت

ناوارونگر

در ساختار یک باسکول (شکل ۷-۶)، سنسوری به کار گرفته شده

است که مقاومت آن به صورت خطی با وزن بار روی آن تغییر می کند:

R_s ، R ، W در این رابطه یک مقاومت ثابت است و W وزن کامیون

قرار گرفته بر روی باسکول است. به چه نحو می توان با استفاده از ولتاژ

خروجی تقویت کننده وزن بار روی باسکول را سنجید.

پاسخ: در مدار نشان داده شده ولتاژ پایه معکوس کننده برابر با پایه غیر معکوس کننده و مساوی ۱ ولت است. جریان عبوری از مقاومت فیدبک برابر $1/R_S$ است و مقدار آن با تغییر وزن بار روی باسکول و در نتیجه مقاومت R_S تغییر می کند. برای ولتاژ خروجی داریم:

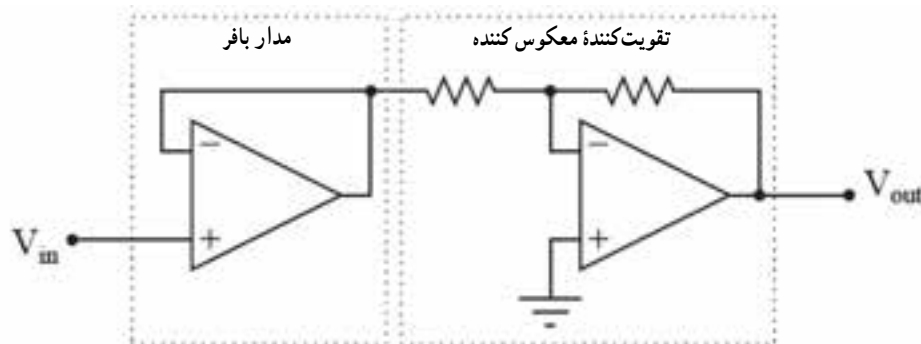
$$V_{out} = \frac{R_1}{R_S} + 1 = \frac{R_1}{R_o + W} + 1$$

در نتیجه با داشتن ولتاژ خروجی و دانستن مقدار اولیه مقاومت های ثابت مدار می توان اندازه W را محاسبه کرد.

پرسش ۳ 

هدف

– بررسی یکی از کاربردهای مدار بافر و همچنین یادآوری مبحث تطبیق امپدانس در مدار نشان داده شده در شکل ۷-۷ چه مزیتی از افزودن یک بافر به ابتدای یک تقویت کننده معکوس کننده حاصل می شود؟



شکل ۷-۷

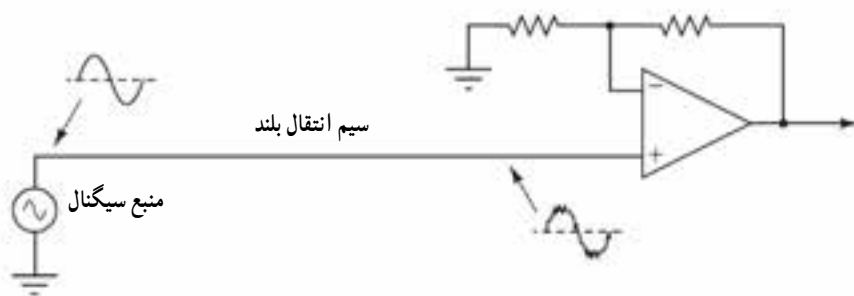
پاسخ: می دانیم که مقاومت ورودی تقویت کننده عملیاتی معکوس کننده برابر مقاومت بین ورودی و پایه معکوس کننده است. از طرفی می دانیم مقاومت ورودی تقویت کننده غیر معکوس کننده بسیار زیاد است. از این رو با اتصال یک بافر به ابتدای یک تقویت کننده معکوس کننده، مقاومت ورودی آن افزایش پیدا می کند در حالی که بهره آن ثابت باقی مانده است. می توان از دانش آموزان خواست تا در مورد تطبیق امپدانس بین دو مدار با یکدیگر به بحث و تبادل نظر بپردازند. از آنجا که مقاومت خروجی یک تقویت کننده عملیاتی کوچک است و خروجی این تقویت کننده به مقاومت ورودی تقویت کننده معکوس کننده که آن نیز دارای مقدار نه چندان بالایی است متصل شده است می توان نتیجه گرفت که تطبیق امپدانس بین دو مدار برقرار است.

مثال ۱

هدف

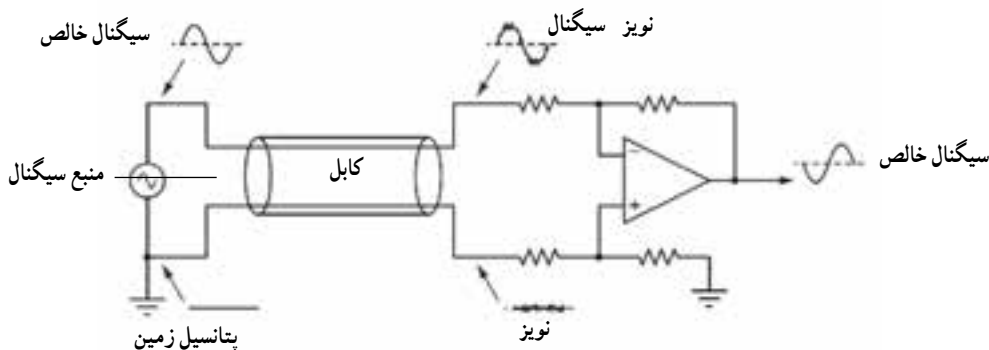
– بررسی کاربرد تقویت کننده عملیاتی با ورودی تفاضلی در حذف نویز

اگر یک ولتاژ ضعیف از یک منبع سیگنال به یک تقویت کننده عملیاتی داده شود، تقویت کننده ممکن است علاوه بر سیگنال مورد نظر ولتاژهای دیگری را نیز تشخیص دهد. به همراه سیگنال مطلوب، نویزهای خارجی نیز می توانند از طریق سیم انتقال سیگنال به تقویت کننده منتقل شوند. سیگنال های ناشی از خطوط انتقال توان، امواج رادیویی و دیگر منابع تداخل الکترومغناطیس مثال هایی از منابع نویز هستند. شکل ۸-۷ تأثیر نویز بر سیگنال ورودی تقویت کننده را نشان می دهد.



شکل ۷-۸

پوشاندن روکش بر روی سیم انتقال سیگنال همیشه یک راهکار مناسب برای مواجهه با محیط‌های شامل نویزهای الکتریکی است. اما راهکار بسیار بهتری برای روبرو شدن با این مشکل وجود دارد. به جای استفاده از یک تقویت کننده با یک ورودی، می‌توان سیگنال را از طریق دو کابل انتقال داد و از یک تقویت کننده تفاضلی استفاده کرد. در شکل ۷-۹ مدار تقویت کننده عملیاتی با ورودی‌های تفاضلی و سیگنال ظاهر شده روی اجزای مختلف مدار نسبت به زمین نشان داده شده است.



شکل ۷-۹

اگر دو کابل در تمام طول مسیر انتقال با یکدیگر موازی باشند، با این فرض که منابع نویز در طول مسیر برای هر دو کابل یکسان باشند، ولتاژ نویز در انتهای سیم متصل به زمین که به تقویت کننده وارد می‌شود مشابه ولتاژ نویزی است که در سیم انتقال دیگر با سیگنال ولتاژ اصلی جمع می‌شود. از آنجا که تفاضل سیگنال‌های ورودی تقویت می‌شوند، نویز موجود روی سیگنال اصلی از نویز رسیده به پایه دیگر تقویت کننده کم شده و در انتها سیگنال تقویت شده خالص در خروجی ظاهر می‌شود.

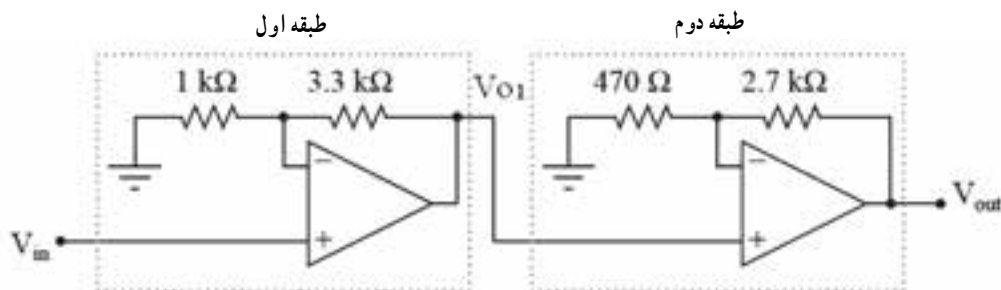
پرسش ۴

هدف

– استفاده از دانسته‌های دانش آموزان در مورد تقویت کننده‌های چند طبقه و به کارگیری آن برای محاسبه بهره یک ساختار

تقویت کنندگی مبتنی بر Op_Amp

بهره کلی تقویت کننده نشان داده شده در شکل ۷-۱۰ را محاسبه کنید.



شکل ۷-۱۰

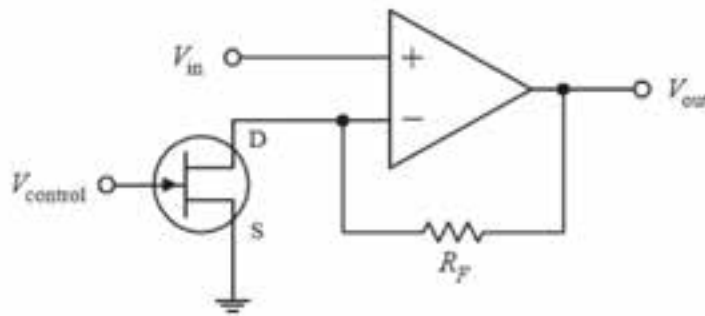
پاسخ: همانطور که از شکل ۷-۱۰ مشخص است تقویت کننده از دو طبقه مجزا تشکیل شده است. از مبحث تقویت کننده های چند طبقه به یاد داریم که برای محاسبه بهره چنین تقویت کننده هایی بایستی بهره هر طبقه را به صورت مجزا محاسبه کرد و حاصل ضرب بهره ها را به عنوان بهره کل در نظر گرفت. هر طبقه، یک تقویت کننده غیر معکوس کننده است که بهره آن از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

که در این رابطه R_2 مقاومت فیدبک است. در نتیجه بهره هر یک از طبقات و بهره کل تقویت کننده عبارت است از:

$$\left. \begin{aligned} \frac{V_{o1}}{V_{in}} &= \left(1 + \frac{3/3K\Omega}{1K\Omega}\right) = 4/3 \\ \frac{V_{out}}{V_{o1}} &= \left(1 + \frac{2/7K\Omega}{0/47K\Omega}\right) = 6/74 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{o1}} \times \frac{V_{o1}}{V_{in}} = 6/74 \times 4/3 = 28/98$$

مثال ۲ (دانش افزایی): شکل ۷-۱۱ یک مدار کنترل بهره خودکار^۱ را نشان می دهد که با استفاده از یک JFET و یک تقویت کننده عملیاتی ساخته شده است.



شکل ۷-۱۱

با یادآوری ویژگی های JFET برای دانش آموزان وقتی در ناحیه اهمی کار می کند می توان نقش JFET را در این مدار توضیح داد. در این مدار تقویت کننده عملیاتی در حالت ناوارونگر استفاده شده است و JFET نقش مقاومت بین پایه وارونگر تقویت کننده عملیاتی و زمین را ایفا می کند. با فرض V_n ثابت و با توجه به اینکه ولتاژ درین JFET با V_n برابر است می توان دید که ولتاژ درین – سورس JFET مقداری ثابت است. با فرض کارکردن JFET در ناحیه اهمی، با تغییر ولتاژ گیت ($V_{con ro}$) میزان مقاومت درین – سورس (R_{DS}) تغییر کرده و با کاهش مقدار $V_{con ro}$ مقاومت افزایش پیدا می کند.

می دانیم که در یک تقویت کننده ناوارونگر مقدار بهره از رابطه R_{DS}/R محاسبه می شود و این یعنی که با تغییر $V_{con ro}$ و مقاومت R_{DS} میزان بهره قابل تغییر است. با فرض $R = 29K\Omega$ و $R_{DS(on)} = 1K\Omega$ ، مقدار بهره مدار برابر ۳۰ خواهد شد. حال با کاهش $V_{con ro}$ و در نتیجه ولتاژ گیت – سورس، میزان مقاومت درین – سورس افزایش می یابد و وقتی $R_{DS} \gg R$ باشد مقدار بهره مدار برابر واحد خواهد شد. پس می توان دید که مقدار بهره این مدار بین بازه ۱ تا ۳۰ قابل کنترل است.

☑ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۸-۷ (صفحه ۱۶۲ از کتاب درسی)

۱-۸-۷- پاسخ: صحیح

۲-۸-۷- پاسخ: غلط

۳-۸-۷- پاسخ: صحیح

۴-۸-۷- پاسخ: غلط. در این حالت بهره تقویت کننده برابر بهره حلقه باز است.

۵-۸-۷- پاسخ: تقویت کننده عملیاتی ۷۴۱ μA دارای مقاومت خروجی 50Ω اهم است.

۶-۸-۷- پاسخ: اگر هر دو ورودی op-Amp ایده آل به زمین الکتریکی (ولتاژ صفر) وصل شود ولتاژ خروجی آن صفر ولت است.

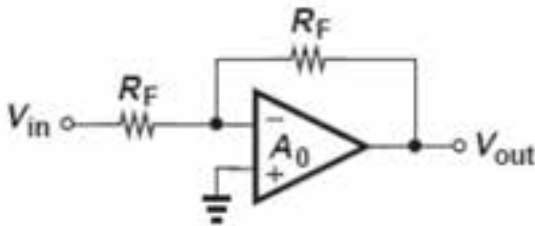
۷-۸-۷- پاسخ: اگر در مدار شکل ۷-۲۹ (کتاب درسی) مقدار R کاهش یابد بهره ولتاژ مدار کاهش می یابد.

۸-۸-۷- پاسخ: میزان بهره ولتاژ تقویت کننده شکل ۷-۳۰ (کتاب درسی) برابر $26 = (1 + \frac{1}{4})$ و شکل ۷-۳۱ برابر $10 = \frac{33}{33}$ است.

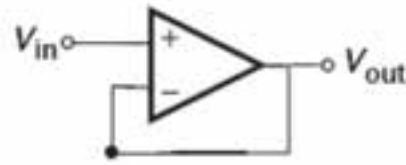
۹-۸-۷- پاسخ: مدار داده شده در شکل ۷-۳۲ کتاب درسی یک تقویت کننده معکوس کننده است که بهره آن از رابطه قابل محاسبه است. اگر R_1 و R_2 باشد این تقویت کننده به یک بافر منفی تبدیل می شود و گزینه ۴ پاسخ صحیح است.

۱۰-۸-۷- پاسخ: مدار داده شده یک جمع کننده است که ولتاژ خروجی آن در گزینه ۳ داده شده است.

۱۱-۸-۷- پاسخ: مدارهای بافر مثبت و منفی به ترتیب در شکل های ۷-۱۲ الف و ۷-۱۲ ب نشان داده شده است.



ب



الف

شکل ۷-۱۲

برای مدار بافر مثبت داریم $\frac{V_{out}}{V_{in}} = 1$ و رابطه بهره ولتاژ برای مدار بافر منفی عبارت است از: $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R_F}{R_F} = -1$

۱۲-۸-۷- پاسخ: اگر تقویت کننده عملیاتی، ایده آل باشد چون ولتاژ هر دو پایه ورودی آن صفر است ولتاژ خروجی آن

نیز صفر است. اگر تقویت کننده را واقعی در نظر بگیریم مقداری ولتاژ خطا در خروجی وجود خواهد داشت که ولتاژ آفست نامیده می شود.

۱۳-۸-۷- پاسخ: مدار نشان داده شده در شکل ۷-۳۵ کتاب درسی یک تقویت کننده وارونگر است که ولتاژ خروجی در

$$V_O = \left(\frac{-R_F}{R_1}\right)V_i = \left(\frac{-12}{1}\right) \times 4V = -48V$$

آن را می توان از رابطه زیر بدست آورد :

۱۴-۸-۷- پاسخ: مدار نشان داده شده در شکل ۷-۳۶ کتاب درسی یک تقویت کننده ناوارونگر است که ولتاژ خروجی

$$V_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)V_i = \left(1 + \frac{12}{8}\right) \times 4V = 10V$$

آن را می توان از رابطه زیر بدست آورد :

۷-۸-۱۵- پاسخ: مدار داده شده یک بافر مثبت است. در این مدار دامنه ولتاژ خروجی برابر با دامنه ولتاژ ورودی است و فاز سیگنال‌های ورودی و خروجی یکسان‌اند. در نتیجه اگر دامنه ولتاژ خروجی ۱ ولت باشد می‌توان نتیجه گرفت که دامنه ولتاژ ورودی نیز برابر ۱ ولت است.

۷-۸-۱۶- پاسخ: مدار داده شده یک جمع‌کننده است که ولتاژ خروجی آن از رابطه زیر قابل محاسبه است:

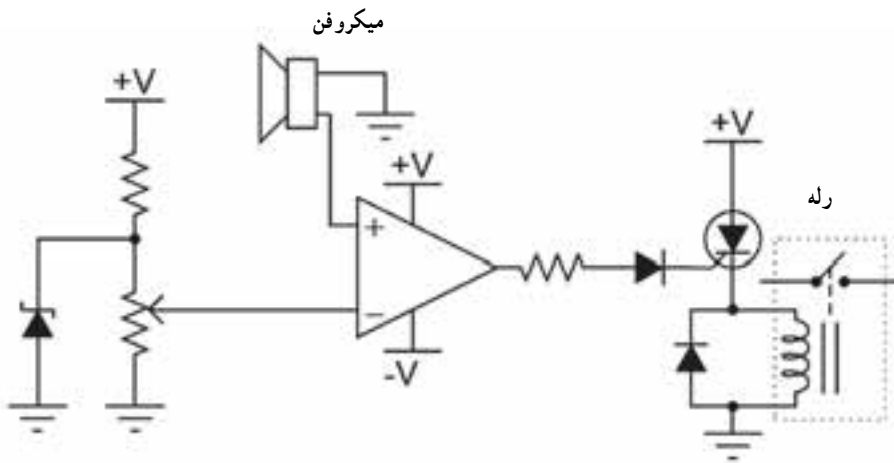
$$V_o = -R_3 \left(\frac{3/7^v}{R_1} + \frac{2/6^v}{R_2} \right) = -10 \text{ k}\Omega \left(\frac{3/7^v}{10 \text{ k}\Omega} + \frac{2/6^v}{10 \text{ k}\Omega} \right) = -6/3^v$$

۷-۸-۱۷- پاسخ: مدار داده شده یک تقویت‌کننده با ورودی تفاضلی است که در آن مقدار تمامی مقاومت‌ها با یکدیگر برابرند و طبق رابطه گفته شده در کتاب درسی می‌توان نوشت:

$$V_o = 10 \text{ k}\Omega / 10 \text{ k}\Omega (6/7 - 3/2)^v = 3/5^v$$

۷-۷- مقایسه‌کننده (صفحه ۱۶۴ از کتاب درسی) (دانش‌افزایی)

مثال ۳: شکل ۷-۱۳ مدار یک رله فعال شونده صوتی را نشان می‌دهد.

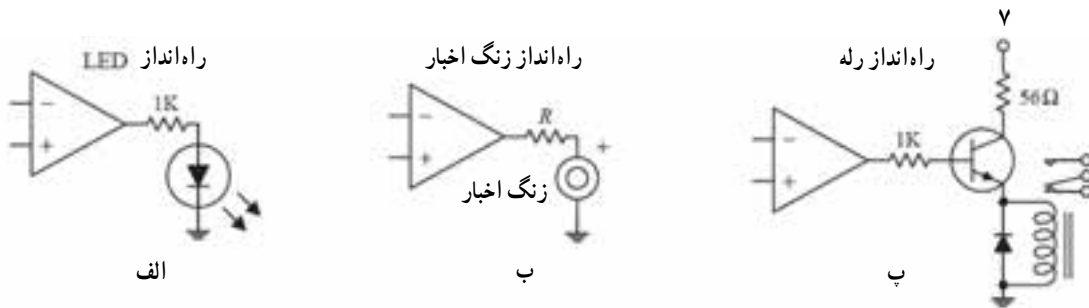


شکل ۷-۱۳

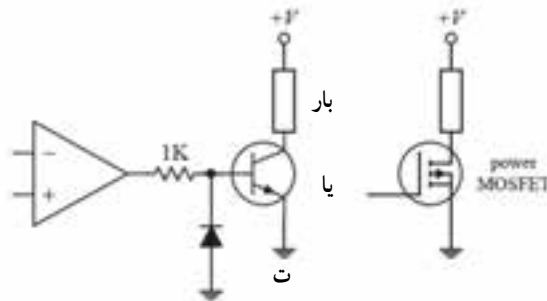
ابتدا می‌توان از دانش‌آموزان خواست تا در مورد نقش تقویت‌کننده عملیاتی در مدار فوق با یکدیگر گفتگو کنند. پاسخ این است که Op-Amp به عنوان یک مقایسه‌کننده عمل می‌کند. سپس می‌توان از آنها خواست تا در مورد ولتاژ مینا و سیگنال متغیر داده شده به مقایسه‌کننده با یکدیگر بحث و گفتگو کنند. سیگنال صوتی از طریق میکروفن به ورودی غیرمعکوس‌کننده تقویت‌کننده اعمال می‌شود و با ولتاژ روی پایه معکوس‌کننده مقایسه می‌شود. در صورتی که دامنه سیگنال صوتی بیشتر از دامنه سیگنال روی پایه معکوس‌کننده باشد، تقویت‌کننده به اشباع مثبت رفته و باعث هدایت دیود و در نتیجه عمل کردن رله می‌شود.

دامنه سیگنال صوتی مورد نیاز برای عمل کردن رله توسط پتانسیومتر تعیین می‌شود. برای مقادیر مقاومت‌های بالای پتانسیومتر، احتیاج به سیگنال‌های صوتی با دامنه بزرگتری است.

مثال ۴: شکل ۷-۱۴ کاربردهایی از تقویت‌کننده عملیاتی به عنوان مقایسه‌کننده را نشان می‌دهد.



راه انداز کلیدهای قدرت



شکل ۷-۱۴

در مدار الف از تقویت کننده عملیاتی برای راه اندازی یک LED استفاده شده است و هنگامی که ولتاژ پایه مثبت آن بیشتر از پایه منفی می شود LED روشن می شود. مدار ب نیز عملکردی مشابه مدار الف دارد و برای راه اندازی یک زنگ اخبار استفاده شده است. در مدار پ ولتاژ پایه مثبت بیشتر از پایه منفی است و تقویت کننده به اشباع مثبت می رود، ترانزیستور هدایت کرده و باعث فعال شدن رله می شود. در این مدار وقتی ترانزیستور خاموش می شود، دیود مانع عبور جریان سیم پیچ به امپتر ترانزیستور می شود. در مدار ت از تقویت کننده عملیاتی برای راه اندازی کلیدهای ترانزیستوری استفاده شده است. نقش دیود در این مدار جلوگیری از بایاس منفی ورودی ترانزیستور و آسیب رسیدن به آنها است.

۷-۸- پیاده سازی توابع ریاضی با استفاده از تقویت کننده عملیاتی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

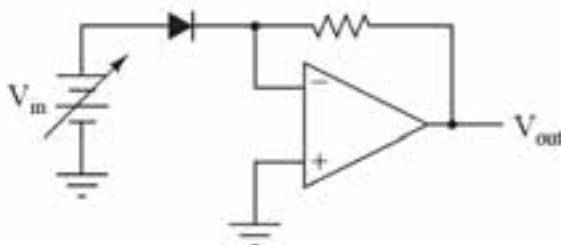
پرسش ۵ (دانش افزایی)

هدف

– مطالعه نحوه پیاده سازی یک تابع ریاضی با استفاده از تقویت کننده عملیاتی

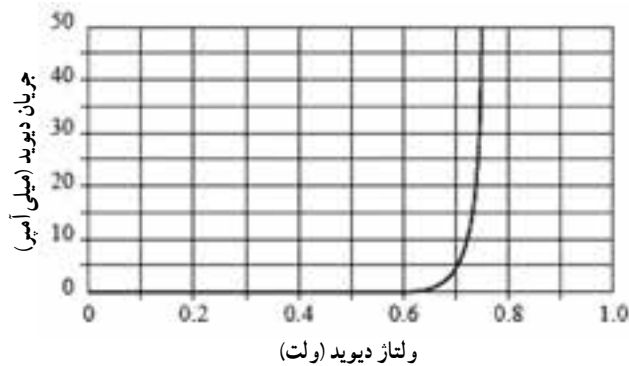
تابع انتقال (ولتاژ خروجی بر حسب ولتاژ ورودی) مدار نشان داده شده در شکل ۷-۱۵ را رسم کرده و نحوه عملکرد آن را

توضیح دهید. چه تابع ریاضی با استفاده از این مدار پیاده سازی می شود؟



شکل ۷-۱۵

پاسخ: به دلیل خاصیت زمین مجازی، ولتاژ پایه معکوس کننده تقویت کننده برابر صفر است. بنابراین جریان عبوری از بار همان جریان دیود است. در این مرحله می توان از دانش آموزان خواست تا در مورد ویژگی های منحنی ولت - آمپر دیود با یکدیگر گفتگو کنند. این منحنی در فصل اول کتاب بررسی و در شکل ۷-۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۷-۱۶ منحنی ولت - آمپر دیود

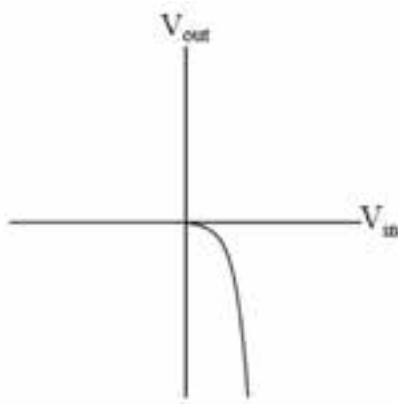
همانطور که از شکل ۷-۱۶ می توان فهمید دیود تنها به ازای ولتاژهای ورودی بیشتر از حد آستانه آن هدایت می کند. رابطه جریان دیود بر حسب ولتاژ آن عبارت است از:

$$I_D = I_S e^{AV_n}$$

این جریان که از یک رابطه نمایی تبعیت می کند از مقاومت بار نیز می گذرد و ولتاژ خروجی را شکل می دهد:

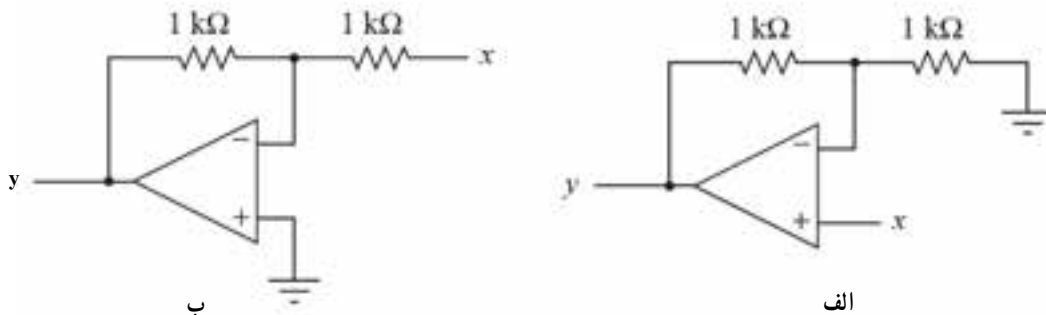
$$V_{ou} = RI_D = RI_S e^{AV_n}$$

در نتیجه تابع انتقالی همانند شکل ۷-۱۷ حاصل خواهد شد. از این رو مدار ارائه شده یک تابع نمایی را بازنمایی می کند.



شکل ۷-۱۷

مثال ۵: شکل های ۷-۱۸ - الف و ب دو تقویت کننده عملیاتی را نشان می دهند که به ترتیب در حالت ناوارونگر و وارونگر استفاده شده اند.



شکل ۷-۱۸

می توان نشان داد که مدارهای بالا قابلیت پیاده سازی توابع خطی را نیز دارند. در مدار الف رابطه بین y و x عبارت است از $2x - y$ و به ازای مقادیر مختلف x و مقادیر متناظر y یک تابع خطی با شیب ۲ پیاده سازی شده است. رابطه ریاضی پیاده سازی شده توسط مدار وارونگر ب عبارت است از $x - y$.

۹-۷- سرعت چرخش (صفحه ۱۷۱ از کتاب درسی)

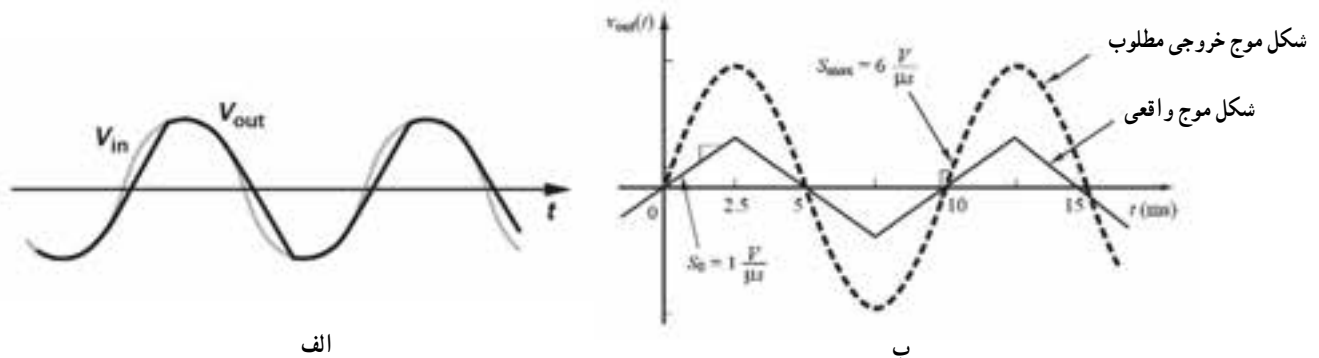
به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

پرسش ۶

در صورت اعمال یک موج سینوسی به ورودی یک تقویت کننده عملیاتی غیرمعکوس کننده، شکل موج سیگنال خروجی به چه نحو از محدودیت سرعت چرخش متأثر می شود؟ چه خصوصیتی از سیگنال سینوسی ورودی می تواند باعث تقویت محدودیت سرعت چرخش شود؟

پاسخ: شکل ۷-۲۰ دو حالت کلی ممکن برای سیگنال خروجی تقویت کننده را نشان می دهد. در حالت الف شکل موج خروجی دارای اعوجاج است اما توانسته رفتار کلی سیگنال سینوسی را دنبال کند. اما در حالت ب شکل موج خروجی از حالت ایده آل فاصله زیادی گرفته و دیگر فرم سینوسی ندارد. برای توجیه شکل موج های تولید شده بایستی ویژگی هایی از سیگنال سینوسی را مورد نظر قرار داد که باعث تأثیر محدودیت سرعت چرخش می شوند.

در یک سیگنال سینوسی، هم میزان تغییرات دامنه سیگنال و هم فرکانس آن می تواند محدودیت سرعت چرخش را ایجاد کند. اگر میزان دامنه ولتاژ دارای تغییرات زیادی باشد شکل موج خروجی به زمان قابل توجهی نیاز دارد تا به حالت پایدار خود برسد. همچنین اگر فرکانس سیگنال ورودی زیاد باشد یا به عبارتی زمان تغییر مقادیر بیشینه و کمینه سیگنال کم باشد، شکل موج خروجی نمی تواند سیگنال ورودی را دنبال کند. در حالت الف اگرچه شکل موج خروجی کاملاً شکل موج ورودی را دنبال نمی کند (به دلیل تغییرات نسبتاً زیاد در مقدار دامنه ولتاژ یا فرکانس نسبتاً بالای سیگنال ورودی) اما شکل کلی سینوسی قابل تشخیص است. در حالت ب زمان تغییرات سیگنال ورودی برابر $6 \text{ V}/\mu\text{s}$ است که خیلی بیشتر از سرعت چرخش تقویت کننده است که برابر $1 \text{ V}/\mu\text{s}$ است. از این جهت اعوجاج زیادی در سیگنال خروجی ایجاد شده و شکل موج خروجی فرم سینوسی ندارد.



شکل ۷-۲۰ اثر محدودیت سرعت چرخش بر شکل موج خروجی یک تقویت کننده عملیاتی نوعی الف) تأثیر نسبتاً خفیف محدودیت سرعت چرخش بر سیگنال خروجی ب) تأثیر نامطلوب سرعت چرخش بر سیگنال خروجی تقویت کننده ناشی از فرکانس زیاد سیگنال ورودی

۷-۱۰- مقایسه چند نمونه تقویت کننده عملیاتی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

نکته آموزش

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

WWW

معرفی سایت: ویژگی‌ها و مبانی اصلی عملکرد تقویت کننده‌های عملیاتی

۱- <http://holbert.faculty.asu.edu/ece201/opamp.html>

در وب سایت فوق مفاهیم مرتبط با تقویت کننده عملیاتی و نحوه عمل آن و همچنین برخی از مدارهای عملی به صورت گرافیکی ارائه شده است و به این طریق بستر مناسبی برای درک مفاهیم اصلی فراهم آورده است.

۲- http://www.electronics_tutorials.ws/opamp/opamp_1.html

۳- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/opampvar.html>

۴- <http://www.allaboutcircuits.com/videos/lambda.html>

۵- http://www.allaboutcircuits.com/vol_3/chpt_8/11.html

پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۱۶-۷ (صفحه ۱۷۳ از کتاب درسی)

۱-۱۶-۷- پاسخ: صحیح

۲-۱۶-۷- پاسخ: غلط

۳-۱۶-۷- پاسخ: صحیح

۴-۱۶-۷- پاسخ: یک مدار آشکارساز عبور از صفر می‌تواند موج سینوسی را به موج مربعی تبدیل کند.

۵-۱۶-۷- پاسخ: مقدار ولتاژ مینا با استفاده از تقسیم ولتاژ به دست می‌آید و برابر ۲ ولت است. لذا گزینه ۲ صحیح است.

۶-۱۶-۷- پاسخ: با استفاده از تعریف سرعت چرخش می‌توان نوشت:

$$SR = \frac{\Delta V_O}{\Delta t} = 8/12 = 0.666$$

لذا گزینه ۲ صحیح است.

۷-۱۶-۷- پاسخ: چون تقویت کننده به صورت حلقه - باز استفاده شده است، با فرض اینکه بهره حلقه - باز بسیار زیاد

باشد، تقویت کننده با مقادیر اندک ولتاژ ورودی به اشباع می‌رود. ولتاژ ورودی به پایه مثبت تقویت کننده داده شده است و با پایه منفی

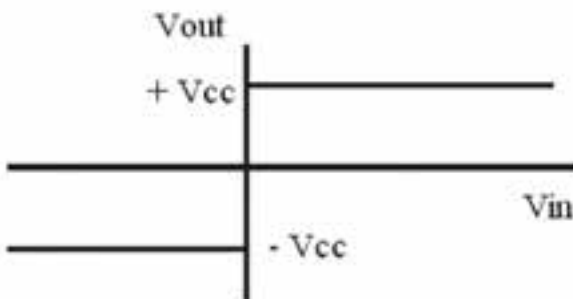
که زمین است مقایسه می‌شود. برای ولتاژهای ورودی با دامنه

مثبت تقویت کننده به اشباع مثبت رفته و دامنه ولتاژ خروجی

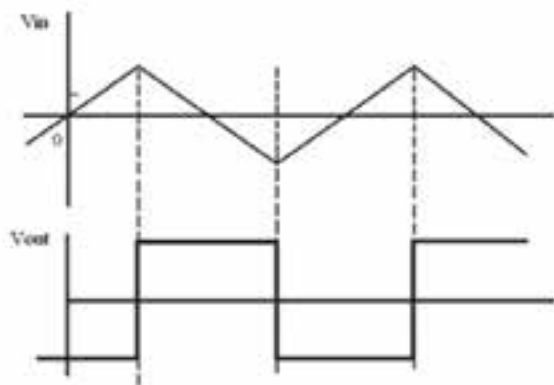
برابر ولتاژ منبع تغذیه مثبت شده و برای ولتاژهای ورودی با دامنه

منفی، تقویت کننده به اشباع منفی رفته و دامنه ولتاژ خروجی برابر

دامنه ولتاژ منبع تغذیه منفی است (شکل ۷-۲۱).



شکل ۷-۲۱

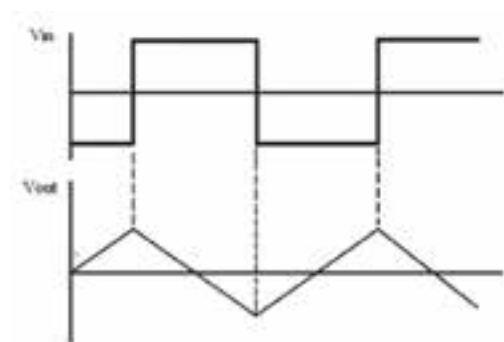


شکل ۷-۲۲

۸-۱۶-۷- پاسخ: برای رسم شکل موج ولتاژ خروجی

که مشتق ولتاژ ورودی است باید به این نکته دقت کرد که چون مدار مشتق گیر در قالب یک تقویت کننده معکوس کننده طراحی شده است هنگامی شکل موج ورودی دارای روندی صعودی است و به مقدار بیشینه خود میل می کند، ولتاژ خروجی روندی معکوس داشته و به سمت مقدار کمینه خود میل خواهد کرد. از این رو در مواقعی که شیب سیگنال ورودی مثبت است ولتاژ خروجی دارای مقداری منفی است و بالعکس (شکل ۷-۲۲).

۹-۱۶-۷- پاسخ: چون انتگرال شکل موج ولتاژ ورودی در خروجی ظاهر شده است می توان با مشتق گرفتن از شکل موج



شکل ۷-۲۳

ولتاژ خروجی به سیگنال ورودی رسید. از آنجا که ولتاژ خروجی یک سیگنال دندانانه اره ای است و در هر نیم پریود از توابع شیب رو به بالا یا رو به پایین تشکیل شده است، مشتق آن یک سیگنال پله خواهد شد. تنها باید به این نکته توجه کرد که چون تقویت کننده به صورت معکوس کننده طراحی شده است علامت ولتاژ ورودی مخالف شیب شکل موج ورودی در هر نیم پریود آن است (شکل ۷-۲۳).

۱۰-۱۶-۷- پاسخ: ابتدا بایستی دقت شود که تقویت کننده به صورت حلقه - باز مورد استفاده قرار گرفته است و بسته به

مقدار ولتاژ ورودی در یکی از حالات اشباع منفی یا مثبت عمل می کند. در این مدار مقدار ولتاژ روی پایه ۳ با استفاده از پتانسیومتر R_1 تنظیم و ولتاژ ورودی با آن مقایسه می شود. چون ورودی به پایه معکوس کننده تقویت کننده اعمال شده است، اگر مقدار آن بیشتر از ولتاژ پایه غیر معکوس کننده باشد تقویت کننده به اشباع منفی رفته و باعث روشن شدن دیود نوری می شود. در غیر این صورت تقویت کننده در اشباع مثبت و دیود خاموش است.

۱۱-۱۶-۷- پاسخ: ولتاژ آفست ورودی مقدار ولتاژی است که باید بین ترمینال های ورودی اعمال شود تا ولتاژ خروجی

Op-Amp صفر باشد. مقدار ولتاژ خروجی در حالی که ورودی های Op-Amp زمین شده اند را ولتاژ آفست خروجی می نامند.

موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائه آن به صورت سمینار

۱- بررسی نقش تقویت کننده عملیاتی در ساختار کامپیوترهای آنالوگ

۲- بررسی محدودیت های استفاده از تقویت کننده عملیاتی

۳- نوسان ساز با استفاده از تقویت کننده عملیاتی

* دانش آموزان برای انجام این تحقیق می توانند از وب سایت های متنوعی که در این زمینه در اینترنت وجود دارد استفاده

کنند. نمونه ای از این وب سایت ها در ادامه آمده است:

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/square.html>

۴- ولت مترهای DC و AC با استفاده از تقویت کننده عملیاتی

۵- منبع جریان با استفاده از تقویت کننده عملیاتی

موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائه آن به صورت سمینار در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

اجرای نرم افزار

برای اجرای دقیق آموزش و عمق دادن به مفاهیم تشریح شده لازم است کلیه فرآیندهای آموزش که با استفاده از نرم افزار مولتی سیم قابل اجرا است را از قبل اجرا کنید و آن را برای هنرجویان در کلاس به نمایش درآورید، هم چنین از آنان بخواهید که در خارج از ساعات کلاسی به اجرای موارد مطرح شده به صورت نرم افزاری بپردازند. اشاره ای هم داشته باشید به کتاب کارگاه الکترونیک عمومی که در آن اجرای عملی و نرم افزاری توصیه شده است. در کتاب آزمایشگاه مجازی جلد ۲ با کد ۴۶۶/۶ تمام مراحل اجرا شده و فایل های اجرا شده در لوح فشرده در ضمیمه کتاب وجود دارد.