

به نام خدا



دانشکده مهندسی برق

پروژه درس اصول الکترونیک و آزمایشگاه

بهار ۹۶

## AM Transmitter

### فاز دوم: Audio Amplifier

زمان های مقرر شده برای پروژه:

- جلسه ی دوم عملی: چهارشنبه ۳ خرداد
  - در این جلسه مداری را که طراحی کرده اید روی بردبورد می بندید و طراحیتان را کامل می کنید.
- تحویل فاز ۲ و گزارش و فایل طراحی PCB: چهارشنبه ۱۰ خرداد
  - در این جلسه مدار کامل را روی بردبورد می بندید و به دستیاران تحویل می دهید.
- تحویل قسمت های اختیاری: بعد از امتحانات

### مقدمه

همانطور که در فاز اول مشخص شد؛ موضوع پروژه ی این درس طراحی، شبیه سازی و ساخت یک فرستنده ی AM است. قسمتی از این فرستنده، وظیفه ی دریافت سیگنال صوت و تقویت آن برای مدولاسیون AM را بر عهده دارد. فاز دوم پروژه به طراحی و پیاده سازی این قسمت اختصاص دارد که به آن Audio Amplifier می گویند. در ادامه، ابتدا با عملکرد این بخش آشنا می شویم؛ سپس معیارهای سنجش آن را می بینیم و در نهایت، مشخصات لازم برای پروژه را مشخص خواهیم کرد.

## آشنایی کلی با Audio Amplifier

در فاز اول دیدیم که قسمتی از فرستنده، وظیفه‌ی دریافت امواج صوت و تقویت آن را بر عهده دارد. این بخش به‌طور عام، تقویت‌کننده‌ی باند پایه (Base-Band Amplifier) و به‌طور خاص در این پروژه، که اطلاعات در واقع صوت هستند؛ تقویت‌کننده‌ی صوتی (Audio Amplifier) نامیده می‌شود.

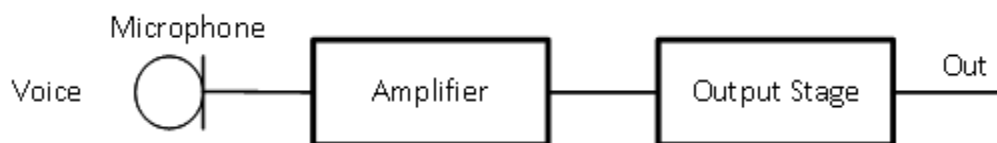
این بخش وظایف مختلفی بر عهده دارد:

۱- اول از همه باید امواج صوتی را دریافت کرده و به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل کند. این کار را میکروفون، که در واقع یک مبدل است، انجام می‌دهد.

۲- معمولا سیگنال خروجی میکروفون دامنه‌ی کمی دارد که در حدود چند ده میلی ولت است؛ بنابراین لازم است تقویت شود تا پردازش‌های بعدی ساده‌تر انجام شود و همین‌طور توان ارسالی نهایی افزایش یابد تا برد فرستنده بیشتر شود.

۳- سیگنال تقویت‌شده باید به بخش مدوله‌کننده که در اینجا میکسر است اعمال شود، بنابراین تقویت‌کننده‌ی صوتی باید از این نظر نیز مشخصات خاصی داشته باشد، مثلا اثر بارگذاری طبقه‌ی مدوله‌کننده نباید عملکرد آن را مختل کند و یا باید به صورتی طراحی شود که خروجی آن، به عنوان ورودی برای میکسر، مناسب باشد.

بنابراین می‌توان بلوک دیاگرام یک Audio Amplifier را به‌صورت شکل ۱ در نظر گرفت.



شکل ۱: بلوک دیاگرام یک تقویت‌کننده‌ی صوتی

که Microphone، Amplifier و Output Stage، به ترتیب، وظایف ۱، ۲ و ۳ را به عهده دارند.

البته تقویت‌کننده‌ی صوتی، به صورت مجزا و تنها برای تقویت سیگنال صوت نیز استفاده می‌شود. در این حالت، لازم است طبقه‌ی دیگری برای تبدیل سیگنال تقویت‌شده‌ی نهایی به امواج صوتی اضافه شود که این کار را یک Speaker انجام می‌دهد. در این صورت، بلوک دیاگرام تقویت‌کننده به صورت شکل ۲ در می‌آید.



شکل ۲: بلوک دیاگرام یک تقویت‌کننده‌ی صوتی با Speaker

## سنجش عملکرد یک تقویت‌کننده‌ی صوتی

عملکرد هر سیستم، با توجه به انتظاراتی که از آن وجود دارد؛ بررسی می‌شود. لازم است این انتظارات به معیارهای قابل اندازه‌گیری ترجمه شوند تا مقایسه‌ی دو سیستم، امکان‌پذیر شود. پس در ادامه برخی از این معیارها را معرفی خواهیم کرد.

۱- **میزان تقویت:** همان‌طور که گفته شد؛ یکی از وظایف اولیه‌ی Audio Amplifier تقویت سیگنال صوت است؛

پس کاملاً قابل انتظار است که یک معیار سنجش عملکرد، میزان تقویتی باشد که تقویت‌کننده فراهم می‌کند.

۲- **محدوده‌ی تقویت:** با تغییر فاصله از میکروفون یا تغییر شدت صوت ورودی، سطح سیگنال الکتریکی ورودی

نیز تغییر می‌کند؛ پس میزان تقویت باید قابل کنترل باشد تا صوت خروجی در محدوده‌ی مورد نظر بماند.

۳- **میزان خطی بودن (Linearity):** سیگنال تقویت‌شده‌ی نهایی نباید با سیگنال اولیه تفاوت زیادی داشته باشد؛ در

غیر این صورت، کیفیت سیگنال نهایی پایین می‌آید و ممکن است سیگنال دریافت‌شده برای شنونده ناخوشایند

باشد. پس باید معیاری وجود داشته باشد که میزان خطی‌نگی یا برعکس آن، میزان اعوجاج، را بسنجد. قبلاً با

معیاری به عنوان THD برای سنجش میزان اعوجاج آشنا شدیم که در اینجا نیز می‌توانیم از همان استفاده کنیم.

۴- **توان مصرفی:** برای هر دستگاه الکتریکی، خصوصاً دستگاه‌هایی که قرار است با باتری کار کنند؛ توان مصرفی

یک معیار مهم است که طول عمر باتری و یا هزینه‌ی استفاده از دستگاه را مشخص می‌کند.

۵- **توان خروجی:** این معیار در واقع شدت صدای خروجی Speaker و یا برد فرستنده‌ی AM را مشخص می‌کند.

گاهی با توجه به مشخص بودن بار، می‌توان سوئینگ خروجی را معیاری برای نشان دادن توان در نظر گرفت.

۶- بازده: این معیار نشان می‌دهد که چه میزان از توانی که از منبع تغذیه گرفته شده است، به توان خروجی تبدیل شده است و در نتیجه، نسبت تلف شده‌ی توان دریافت شده از تغذیه را نیز نشان می‌دهد. باید توجه داشت که این توان تلف شده، علاوه بر کاهش طول عمر باتری و یا افزایش هزینه، سبب گرم شدن تقویت‌کننده نیز می‌شود.

این معیارها، معیارهای اصلی برای سنجش و مقایسه‌ی تقویت‌کننده‌های صوتی هستند؛ بدیهی است که ممکن است معیارهای دیگر نیز برای آن‌ها مطرح باشد که ما از آن‌ها صرف نظر می‌کنیم.

اکنون که با این معیارها آشنا شدیم؛ می‌توانیم مشخصات مورد انتظار برای پروژه‌ی درس را مشخص کنیم. بخش بعد به این موضوع اختصاص دارد.

### مشخصات مورد انتظار برای تقویت‌کننده‌ی صوتی پروژه

در این پروژه، یک تقویت‌کننده‌ی صوتی مد نظر است که هم بتواند به عنوان تقویت‌کننده‌ی باند پایه برای فرستنده‌ی AM مورد استفاده قرار گیرد و هم بتوان از آن به تنهایی برای تقویت و پخش سیگنال صوت استفاده کرد. مشخصات مورد نظر در این قسمت، از این قرارند:

- ۱- قابلیت تنظیم بهره در بازه‌ی ۴۰ تا ۸۰ ( $A_v=40-80$ )
- ۲- قابلیت درایو کردن بلندگوی ۸ اهمی ۱ وات ( $R_L=8\ \Omega$ )
- ۳- طبقه‌ی خروجی به صورت Discrete و پیاده‌سازی با ترانزیستور
- ۴- منبع تغذیه  $\pm 6\text{ V}$
- ۵- سوئینگ خروجی  $\pm 3.5\text{ V}$  ( $\text{Output Peak-to-Peak Swing}=7\text{ V}$ )
- ۶- پهنای باند ۱۵ کیلوهرتز ( $f_H>15\text{ kHz}$ )
- ۷- THD کمتر از ۱ درصد (فرکانس ورودی ۱ کیلوهرتز و دامنه‌ی خروجی ۱ ولت)
- ۸- خروجی صفر برای ورودی صفر (ZIZO)
- ۹- توان طبقه‌ی خروجی در حالت ورودی صفر، کمتر از ۲۰۰ میلی وات ( $P_{DC-Idle}<200\text{ mW}$ )

امتیازی:

- ۱- THD کمتر از ۰,۱ درصد (فرکانس ورودی ۱ کیلوهرتز و دامنه‌ی ورودی ۱ ولت)
- ۲- توان خروجی در حالت ورودی صفر، کمتر از ۱۰۰ میلی وات
- ۳- سوئینگ خروجی قله تا قله‌ی بیش از ۸ ولت
- ۴- استفاده از رگولاتور  $\pm 15\text{ V}$
- ۵- برد فرستنده بیش از ۵ متر
- ۶- هر قابلیت دیگری در تقویت کننده که کاربردی باشد! (مثلا اگر طبقه‌ی خروجی AB بود می توان با تنظیم بایاس آن در مواقع لازم یکی از خطینگی یا بازده را به بهای کاهش دیگری، افزایش داد. یا اگر کلاس B و با فیدبک بود، قابلیت قطع فیدبک و یا تغییر ضریب فیدبک را برای آن قرار داد).
- ۷- پیاده سازی مدار بر روی PCB

## اجرای پروژه

### فاز دوم:

این فاز شامل طراحی و پیاده سازی مدار تقویت کننده‌ی صوتی است. گزارش مربوط به این فاز باید شامل موارد زیر باشد:

- توضیحاتی در مورد نحوه‌ی طراحی مدار
- علت انتخاب ساختار طبقه‌ی خروجی
- شماتیک مدار
- نتایج شبیه سازی مشخصات مورد انتظار
- فایل PCB طراحی شده

گزارش به همراه فایل PCB در یک فایل Zip تا تاریخ ۱۰ خرداد، به آدرس [sharif.pelec@gmail.com](mailto:sharif.pelec@gmail.com) با عنوان

Project\_StudentNum1\_StudentNum2 ارسال شود.

در این فاز، پس از طراحی تقویت‌کننده، مراحل زیر برای تست مدار اجرا خواهند شد:

- بخش Amplifier و Output Stage و Speaker را بر روی بردبورد بسته تا در ابتدا عملکرد آن را به تنهایی بررسی کنید.
- بدون اعمال ورودی، توان مصرفی را اندازه بگیرید و همینطور ZIZO بودن مدار را بررسی کنید.
- ورودی سینوسی از فانکشن ژنراتور با فرکانس ۱ کیلوهرتز و دامنه‌ی ۲۰ میلی ولت اعمال کنید و محدوده‌ی تنظیم بهره‌ی مدار را اندازه بگیرید. ( بهره در حالت‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ را به دستیاران گزارش دهید).
- بهره را روی ۶۰ تنظیم کنید و فرکانس قطع بالای مدار را بیابید.
- با اعمال فرکانس ۱ کیلوهرتز و در حالتی که دامنه‌ی خروجی ۱ ولت است، FFT خروجی را ثبت کنید و میزان THD را اندازه بگیرید.
- با افزایش دامنه‌ی ورودی، بیشینه سوئینگ خروجی را پیدا کنید.
- میکروفون را به مدار وصل کنید و کیفیت و شدت صدای خروجی را در بهره‌های مختلف مقایسه کنید.
- Speaker و میکروفون را از مدار جدا کنید و مدار را به میکسر متصل کنید. با اعمال ورودی سینوسی به مدار، شکل موج خروجی میکسر را روی اسکوپ ببینید.
- میکروفون را به مدار متصل کرده و صحبت کنید تا صدای شما در رادیو دریافت شود و برد فرستنده اندازه‌گیری شود.

توجه: در تمامی مراحل بالا از دستیار آموزشی میزتان بخواهید که صحت هر مرحله را بررسی کند تا نمره‌ی مربوط به آن را ثبت کند.

توجه: طراحی PCB اجباری است ولی پیاده‌سازی مدار بر روی PCB نمره‌ی امتیازی دارد.

موفق باشید