



به نام خدا

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

## الكترونيک 2

پروژه شماره دو:

طراحی و شبیه‌سازی کامل یک تقویت‌کننده توان

اساتید:

دکتر محمد فخارزاده، دکتر رضا سروری، دکتر علی مدی و دکتر بشارتی‌راد

تاریخ تحويل:

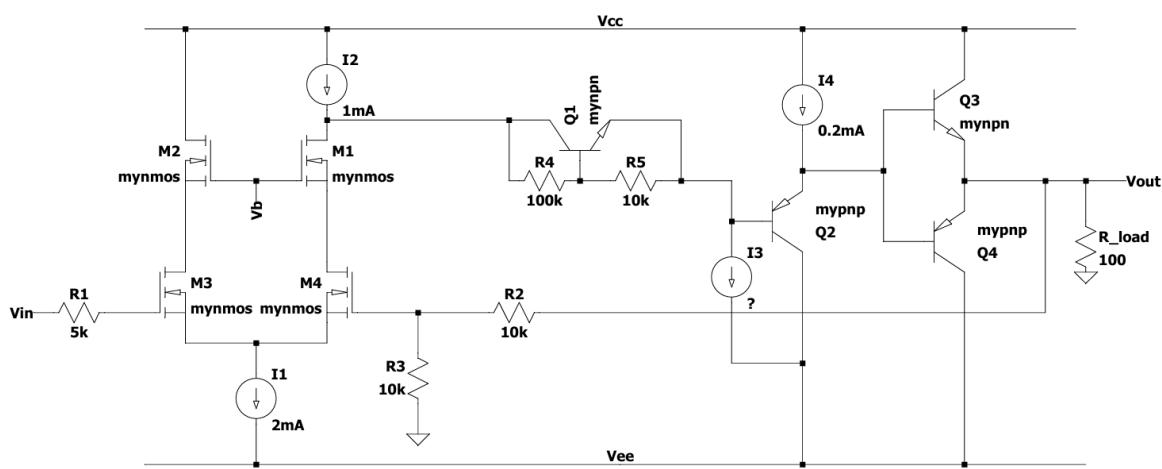
CW مطابق تاریخ ثبت شده در

## ۱- مقدمه

در این پروژه هدف طراحی یک تقویت‌کننده با بهره توان مناسب برای تأمین جریان یک بار 100 اهمی می‌باشد. برای این کار یک تقویت‌کننده تفاضلی با بهره بالا به همراه طبقه خروجی طراحی می‌کنیم و با استفاده از فیدبک مناسب بهره را به مقدار مطلوب می‌رسانیم تا از مزیت‌های فیدبک استفاده کنیم.

## ۲- روند طراحی و پیاده‌سازی

شماتیک اولیه مدار را در شکل ۱ مشاهده می‌کنید.



شکل ۱: شماتیک مدار تقویت‌کننده توان

روند شما در این پروژه به این نحو خواهد بود که ابتدا عملکرد کلی این مدار و به ویژه طبقه خروجی را بررسی می‌کنید. سپس اشکال آن را پیدا کرده و با اعمال تغییرات لازم آن را برطرف می‌کنید به گونه‌ای که به مطلوبات طراحی برسید. همچنین همه منابع مستقل در مدار بجز  $V_{CC}$  و  $V_{EE}$  را با مدار مناسب جایگزین می‌کنید.

## ۳- تحلیل اولیه مدار

در مدار شکل ۱:

- ۱) طبقه ورودی و خروجی را مشخص کنید.
- ۲) نقش ترانزیستور  $Q_2$  و منبع جریان  $I_3$  را بیان کنید و جریان  $I_3$  را به اندازه‌ای قرار دهید که ترانزیستور  $Q_1$  همیشه روشن باشد.
- ۳) نقاط کار ترانزیستورها را به دست آورده و در جدولی بنویسید.

۴) بدون استفاده از فیدبک به علت استفاده از طبقه خروجی کلاس B انتظار وجود ناحیه مرده<sup>۱</sup> در خروجی را داریم. فقط طبقه خروجی را شبیه سازی کنید و این مشکل را نشان دهید. توضیح دهید برای رفع این مشکل در مدار بالا از چه روشی استفاده شده است.

۵) سوینینگ خروجی و محدوده مد مشترک مدار<sup>۲</sup> را محاسبه کنید.

۶) علت محدود شدن سوینینگ در مدار را بررسی کنید.

۷) مدار را در نرم افزار (LTspice) شبیه سازی کرده و شکل مدار را گزارش دهید. برای شبیه سازی از پارامتر های زیر استفاده کنید تا نتایج قابل مقایسه باشند:

```
.model mypnp AKO: 2N3906 (bf=150)
.model mynpn AKO: 2N3904 (bf=200)
.model mynmos NMOS(Kp=250u Vto=0.6 lambda=0.1 W=100u L=1u phi=0 gamma=0)
```

۸) شکل موج خروجی در دو گره X و گره خروجی را در شبیه سازی مشاهده کنید و با تحلیل های بخش ۴ انطباق دهید.

۹) با تغییر نقطه کار ترانزیستورها سعی کنید سوینینگ مدار را تا جای ممکن افزایش دهید سپس سوینینگ را با شبیه سازی بدست آورید و خروجی مدار با بیشینه سوینینگ را گزارش کنید.

۱۰) THD (Total harmonic distortion) یا هر سیستم دیگر) به کار می روید. THD به صورت نسبت RMS هارمونیک های غیر اصلی به RMS هارمونیک اصلی تعريف می شود. اسپایس برای اندازه گیری این پارامتر دستور های متناسبی دارد. با توجه به این توضیحات تبدیل فوریه سیگнал خروجی را رسم کنید، THD را بدست آورید و درباره منابع غیر خطی نگی توضیح دهید.

۱۱) توان مصرفی مدار را بدست آورید و توضیح دهید چه trade-off ای میان توان و خطی بودن مدار وجود دارد.

#### ۴- مطلوبات و عناصر مورد استفاده

مطلوبات:

سوینینگ	
THD	THD < 0.05 % at 16.4 V <sub>P-P</sub>
بهره	2
توان در حالت rest	50 mW

<sup>1</sup> Dead Zone

<sup>2</sup> ICMR (Input Common Mode Range)

عناصر مورد استفاده:

• ترانزیستور PNP

PNP transistor: 2N3906 with bf set to 150, LTspice commend: “.model mypnp AKO: 2N3906 (bf=150)”

• ترانزیستور NPN

NPN transistor: 2N3904 with bf set to 200, LTspice commend: “.model mynpn AKO: 2N3904 (bf=200)”

نکته: فقط برای یکی از ترانزیستورهای طبقه خروجی می‌توانید از یک ترانزیستور با مشخصات بالا ولی با  $I_S$  متفاوت و دلخواه استفاده کنید.

• ولتاژ منبع تغذیه:

$$V_{CC} = -V_{EE} = 10V$$

• تعداد ترانزیستور کمتر از ۲۵

## 5- طراحی

مشاهده کردید سوینگ مدار به نسبت اندازه منابع تغذیه کم است برای حل این مشکل مراحل زیر را انجام دهید.

1) طبقه کسکود تا شده<sup>1</sup> را رسم کرده و چند مورد از مزیت‌های آن را بیان کنید سپس چگونگی تعیین نقطه کار ترانزیستورها را در آن شرح دهید.

2) طبقه ورودی مدار را با کسکود تا شده جایگزین کنید. همچنین تمام منابع غیر از  $V_{EE}$  و  $V_{CC}$  را با مدار جایگزین کنید. (توجه کنید در طبقه خروجی فقط باید منابع جریان را با آینه جریان مناسب جایگزین کنید تغییرات بیشتر در طبقه خروجی مجاز نیست. اما طبقه ورودی و تنظیم سطح ولتاژ بین طبقات قابل تغییر است.)

3) مدار را شبیه‌سازی کنید و تصویری از مدار خود گزارش دهید.

4) موارد خواسته شده را با استفاده از شبیه سازی بدست آورده و با مطلوبات تطبیق دهید و از نتیجه شبیه‌سازی هر کدام، یک عکس قرار دهید.

.I. بهره حلقه بسته

.II. سوینگ

.III. توان مصرفی در حالت بدون ورودی

.IV. THD در سوینگ 8.2V متقارن (16.4p-p)

.V. در شبیه‌سازی، دو مقاومت حلقه فیدبک را ۵۰ کیلو اهم قرار دهید و خروجی را گزارش کنید.

<sup>1</sup> Folded-Cascode

.VI. (امتیازی) به نظر شما علت به وجود آمدن اعوجاج در بخش ۷ چیست؟

## نکات تحویل پروژه:

1. گزارش کار خود را خوانا و مرتب بنویسید. تمام شکل‌ها و جداول گزارش را شماره‌گذاری کرده و در متن با شماره‌شان به آن‌ها ارجاع دهید. همچنین دقیق داشته باشید که شماره و توضیحات شکل‌ها در زیرشان و شماره و توضیحات جداول در بالای آن‌ها می‌آید.
2. در گزارش خود همه نمودارهای لازم را آورده و توضیحات کامل ارائه دهید چرا که مبنای تصحیح پروژه، گزارش کار شمامست.
3. این پروژه به صورت انفرادی طراحی شده است و در صورت مشاهده تقلب، نمره آن صفر در نظر گرفته خواهد شد.
4. در کنار فایل گزارش، تمامی فایل‌های شبیه‌سازی را نیز به شکل قابل تفکیک و مرتب zip کرده و ارسال نمایید. همچنین برای فایل گزارش و فایل‌های شبیه‌سازی نام‌های بامفهوم و متمایز‌کننده قرار دهید.
5. در صورتی که در مرحله طراحی، درجه آزادی زیادی برای انتخاب المان‌ها داشتید، با در نظر گرفتن فرض معقول استدلال کافی مساله را جلو ببرید.
6. هر گونه سوال یا ابهام درباره پروژه را با دستیاران آموزشی در میان بگذارید.