



به نام خدا

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

## الکترونیک 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 تحویل:

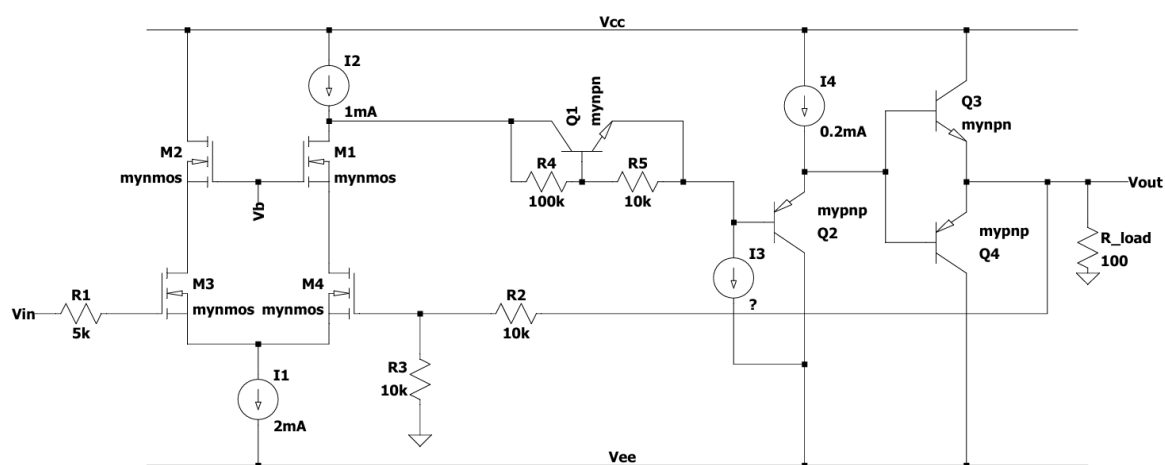
مطابق تاریخ ثبت شده در CW

## 1- مقدمه

در این پروژه هدف طراحی یک تقویت کننده با بهره توان مناسب برای تأمین جریان یک بار 100 اهمی می باشد. برای این کار یک تقویت کننده تفاضلی با بهره بالا به همراه طبقه خروجی طراحی می کنیم و با استفاده از فیدبک مناسب بهره را به مقدار مطلوب می رسانیم تا از مزیت های فیدبک استفاده کنیم.

## 2- روند طراحی و پیاده سازی

شماتیک اولیه مدار را در شکل ۱ مشاهده می کنید.



شکل ۱: شماتیک مدار تقویت کننده توان

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

## 3- 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 اندازه ای 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) سوینگ خروجی و محدوده مد مشترک مدار<sup>۲</sup> را محاسبه کنید.

۶)  علت محدود شدن سوینگ 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 پارامترهای 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 سوینگ مدار را تا جای ممکن افزایش دهید سپس سوینگ را با شبیه سازی بدست آورید و خروجی مدار با بیشینه سوینگ را گزارش کنید.

۱۰) Total harmonic distortion یا THD یکی از معیارهایی است که برای بررسی میزان غیر خطی بودن یک مدار (یا هر سیستم دیگر) به کار می رود. THD به صورت نسبت RMS هارمونیک های غیر اصلی به RMS هارمونیک اصلی تعریف می شود. اسپایس برای اندازه گیری این پارامتر دستورهای متناسبی دارد. با توجه به این توضیحات تبدیل فوریه سیگنال خروجی را رسم کنید، THD را بدست آورید و درباره منابع غیر خطی تگی توضیح دهید.

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

#### 4- مملوبات و عناصر مورد استفاده

مملوبات:

Swing > 16.6 V <sub>P-P</sub>	سوینگ
THD < 0.05 % at 16.4 V <sub>P-P</sub>	THD
2	بهره
50 mW	توان در حالت rest

<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 mynpn 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>۱</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  $V_{CC}$  و  $V_{EE}$  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 V 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 دقت 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 شماست.
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.