



به نام خدا

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

درس الکترونیک ۲

پروژه شماره یک:

طراحی و شبیه سازی طبقه ورودی یک تقویت کننده عملیاتی

اساتید:

دکتر محمد فخارزاده، دکتر رضا سروری و دکتر علی مدی

تاریخ تحویل:

۱۴۰۳/۰۱/۲۰

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین قطعات در صنعت الکترونیک تقویت‌کننده‌های عملیاتی (Operating Amplifiers) یا به اختصار Op-Amp ها می‌باشند. از این تقویت‌کننده‌های عملیاتی در کاربردهای بسیار متنوعی -چه در کاربردهای آنالوگ (به عنوان تقویت‌کننده، تفریق‌کننده، جمع‌کننده و ...) و چه در کاربردهای دیجیتال (مقایسه‌کننده سطوح ولتاژ و ...) - استفاده می‌شود.

به منظور مقایسه تقویت‌کننده‌های عملیاتی و همچنین استفاده آن‌ها در کاربردهای خاص، پارامترهای مختلفی برای تقویت‌کننده تعریف می‌شود که متداول‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: توان مصرفی، محدوده مد مشترک ورودی (ICMR)، محدوده مد مشترک خروجی (OCMR)، پاسخ فرکانسی، نرخ چرخش (Slew Rate)، نرخ حذف سیگنال مد مشترک (CMRR)، دمای کاری و وابستگی عملکرد به دما، آفست، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و بهره. شما با برخی از این پارامترها از قبل آشنا هستید و با بعضی دیگر در این پروژه آشنا خواهید شد.

از Op-Amp های متداول در بازار، می‌توان به LM324 و LM741 اشاره کرد. در این پروژه قرار است طبقه ورودی تقویت‌کننده LM741 بررسی و شبیه‌سازی شود. این تقویت‌کننده مدار ساده‌ای دارد و برای کاربردهای مرسوم بسیار مناسب است.

۱. در ادامه برخی از کاربردهای تقویت‌کننده عملیاتی آورده شده است. برای هر کدام با ارائه توضیح مختصر، مداری پیشنهاد دهید.

a. جمع‌کننده و تفریق‌کننده

b. محاسبه \log یک سیگنال

c. تولید موج مربعی و مثلثی

d. اشمیت تریگر

۲. با داتلود برگه‌داده (Datasheet) آپ‌امپ LM741 و مطالعه آن، به خواسته‌های زیر پاسخ دهید.

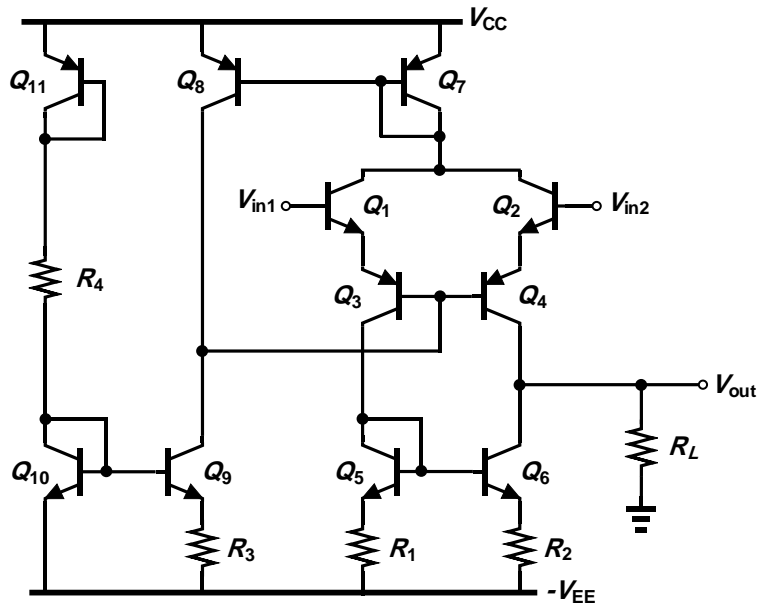
a. شماره پایه‌های این IC به همراه عملکرد هر یک را ذکر کنید.

b. ولتاژ کاری، توان مصرفی و محدوده دمای عملکرد این IC را بیان کنید.

c. جریان بایاس ورودی، مقاومت ورودی، بهره، سوئیچینگ ولتاژ خروجی، CMRR و توان مصرفی را گزارش کنید.

۲- طراحی مدار تقویت کننده

مدار شکل ۱ طبقه ورودی تقویت کننده LM741 را نشان می دهد.



شکل ۱: طبقه ورودی تقویت کننده LM741

۱. قسمت های مختلف این مدار را تفکیک کرده و وظیفه هر قسمت را مشخص کنید.

مشخصات ترانزیستورهای شکل ۱ در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات ترانزیستورهای شکل ۱

Parameter	NPN	PNP
$I_S (10^{-15}A)$	1	3
β	200	100
$r_b (\Omega)$	650	500
$r_c (\Omega)$	300	150
$V_A (V)$	200	50
$\tau_f (ns)$	1.1	27
$C_{je0} (pF)$	0.65	0.1
$C_{jc0} (pF)$	0.35	1

۲. با در نظر گرفتن مشخصات زیر برای تقویت کننده آن را به صورت تئوری طراحی کنید.

$$V_{CC} = -V_{EE} = 15V$$

$$\text{Voltage gain} = 50dB \text{ (for } R_L = 1M\Omega \text{)}$$

$$\text{Maximum Power Consumption} = 12mW$$

$$\text{Input impedance} > 2M\Omega$$

۳. با انجام شبیه سازی DC، نقطه کار ترانزیستورها به همراه پارامترهای ac (r_o و r_π , g_m) را در یک جدول

مشخص کرده و با مقدار تئوری مقایسه کنید.

۴. با انجام شبیه‌سازی ac:

a. نمودار دامنه خروجی بر حسب ورودی به ازای فرکانس‌های مختلف بر حسب dB رسم کرده و با مقدار تئوری مقایسه کنید.

b. در چه فرکانسی بهره از 3dB کمتر می‌شود؟

c. فرکانسی که بهره ولتاژ برابر یک (0dB) می‌شود فرکانس بهره واحد (Unity Gain BandWidth یا UGBW) نام دارد. این فرکانس را گزارش کنید.

d. مقاومت ورودی و خروجی را به ازای فرکانس‌های مختلف گزارش کرده و با مقدار تئوری مقایسه کنید.

e. خواسته‌های a تا d این بخش را برای وقتی که یک مقاومت بار به اندازه ۲۵۰ کیلو اهم (به جای ۱ مگا اهم) در خروجی قرار داشته باشد تکرار کرده و نتایج را مقایسه کنید. درباره دلایل افت شدید بهره استدلال کنید و راهکاری برای مقابله با آن (بدون تغییر مقدار مقاومت) ارائه دهید. راهکار خود را شبیه‌سازی کرده و بهره را مجدداً رسم نمایید.

۵. با انجام شبیه‌سازی Transient در فرکانس مرکزی (مثلاً 1kHz):

a. مقدار بهره را با مقدار بهره به دست آمده در بخش شبیه‌سازی ac مطابقت دهید.

b. حداکثر سوپینگ خروجی را با اعمال ورودی‌های مختلف و مشاهده سیگنال خروجی، به طور تقریبی بیابید.

c. یک بار مدار را به ازای ورودی با دامنه کم (به طوری که عملکرد خطی مدار کاملاً حفظ شود) و یک بار مدار را به ازای ورودی‌ای که رفتار مدار را غیر خطی می‌کند شبیه‌سازی کرده و شکل موج خروجی را نمایش دهید.

d. تبدیل فوریه دو خروجی قسمت b را رسم کرده و درباره هارمونیک‌های ایجاد شده بحث کنید.

۶. درباره مشخصه Slew Rate تحقیق کرده و آن را برای مدار خود گزارش کنید. مقدار آن با مقدار گزارش شده در برگه داده چقدر تفاوت دارد؟ (امتیازی)

۷. یکی از پدیده‌های ناخواسته در تقویت‌کننده‌های عملیاتی، وجود آفست DC است. در واقع انتظار داریم در یک تقویت‌کننده ایده‌آل با تقارن کامل در المان‌ها، با اعمال ورودی دیفرانسیلی در ورودی، مقدار ولتاژ صفر در خروجی مشاهده کنیم. اما اتفاقی که در واقعیت می‌افتد این است که این ولتاژ صفر نیست و یک مقدار ثابتی دارد که درباره علل پدید آمدن آن و راهکارهای مقابله با آن در دروس بعدی الکترونیک پرداخته می‌شود. در شبیه‌سازی به علت ایده‌آل بودن پارامترها هیچ آفست قابل توجهی ملاحظه نمی‌کنید اما در واقعیت این آفست می‌تواند بسیار مخرب باشد. با بررسی برگه داده تقویت‌کننده LM741، بررسی کنید که برای کنترل آفست چه تدبیری اندیشیده شده است. سپس این راهکار را در مدار خود اعمال کرده و نتیجه‌ی تغییر آفست DC را گزارش کنید. (امتیازی)

نکات تحویل پروژه:

۱. 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.
۲. در گزارش خود همه نمودارهای لازم را آورده و توضیحات کامل ارائه دهید چرا که مبنای تصحیح پروژه، گزارش کار شماست.
۳. این پروژه به صورت انفرادی طراحی شده است و در صورت مشاهده تقلب، نمره آن صفر در نظر گرفته خواهد شد.
۴. 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.
۵. در صورتی که در مرحله طراحی، درجه آزادی زیادی برای انتخاب المان‌ها داشتید، با در نظر گرفتن فرض معقول یا با کمک گرفتن از برگه‌داده و استدلال کافی مساله را جلو ببرید.
۶. هر گونه سوال یا ابهام درباره پروژه را از طریق [ایمیل درس](#) یا راه‌های ارتباطی دیگر با دستیاران آموزشی در میان بگذارید.