



دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده مهندسی برق  
آزمایشگاه اصول الکترونیک  
بهار ۱۳۹۶  
گروه درس دکتر فخارزاده

شماره آزمایش ( ۳ )		گروه ( )
نام و نام خانوادگی همکاران		
شماره دانشجویی		
ارزشیابی	حضور به موقع	
	پیش گزارش	
	گزارش	
	نمره کل	

نام دستیار تصحیح کننده:	تاریخ:
-------------------------	--------

# آزمایش سوم

پیاده‌سازی تقویت‌کننده‌ی چندطبقه

توجه: لطفاً قبل از انجام آزمایش، متن دستور کار را به طور کامل مطالعه بفرمایید

## چکیده

در این جلسه، از دانشجویان خواسته شده تا مدار تقویت‌کننده‌ی چندطبقه‌ای را طراحی کنند و آن را پیاده‌سازی نمایند. این مدار ترکیبی از مدارهای طراحی شده در جلسات پیش بوده، که یک تقویت‌کننده‌ی کامل کاربردی است.

## وسایل مورد نیاز

بردهای تعدادی ترانزیستور 2N3904 و 2N3906، خازن و مقاومت، منبع تغذیه، مولتی‌متر، اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، بلندگو، میکروفون خازنی.

## پیش‌گزارش

(پیش‌گزارش را باید قبل از جلسه آماده کرده و در ابتدای جلسه به دستیار مربوطه تحویل دهید. فایل‌های شبیه‌سازی را طبق قالب گفته شده در راهنمای تحویل گزارش Hspice، ارائه دهید).

۱-۱ شماتیک ارائه شده در شکل ۱ طرح کلی یک تقویت‌کننده‌ی چندطبقه را مشخص کرده‌است. مقادیر

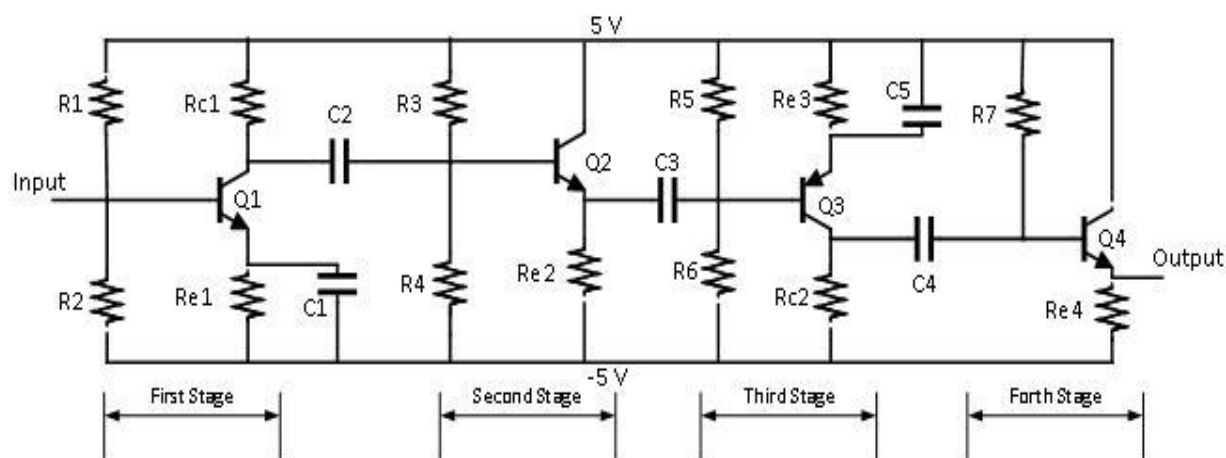
المان‌ها را طوری به‌دست آورید که به خواسته‌های زیر برسیم.

$$A_V = 4000$$

$$\text{Max Output Swing} \geq 7 \text{ V}_{\text{Peak-to-Peak}}$$

$$I_{C2} = 2I_{C1} = 0.4 \text{ mA}$$

$$I_{C3} = 1.2 \text{ mA}$$



شکل ۱: شماتیک تقویت کننده

راهنمایی: ابتدا مشخصه‌ی کاری ترانزیستورهای 2N3904 و 2N3906 را که به ترتیب NPN و PNP هستند، با

استفاده از دیتاشیت مقایسه کرده و تفاوت‌های آن‌ها را استخراج کنید.

الف- طراحی مدار:

مدار را طراحی کنید و مقدار مقاومت‌های محاسبه شده را در جدول ۱ وارد کنید.

برای طراحی راهنمایی‌های زیر را در نظر بگیرید و به سوالات پاسخ دهید:

(۱) برای طراحی طبقه‌ی اول، ولتاژ آمیتر  $Q1$  را ۴- ولت انتخاب کنید و ولتاژ کلکتور را ۱,۵ ولت در نظر بگیرید. علت این انتخاب را توضیح دهید.

(۲) مقاومت‌های  $R1-R6$  را نه خیلی کوچک (مرتبه‌ی ۱ کیلو اهم) و نه خیلی بزرگ (مرتبه‌ی ۱۰۰ کیلو اهم) بگیرید. علت این انتخاب را شرح دهید.

(۳) ولتاژ آمیتر  $Q3$  را ۴ ولت در نظر بگیرید. تاثیر افزایش یا کاهش این مقدار بر سوینگ یا بهره چیست؟

(۴) مقاومت آمیتر بافر خروجی ( $Re4$ ) را ۱ کیلو اهم بگیرید.

توجه: در طراحی خود فقط از مقاومت‌های سری  $E12$  استفاده کنید.

جدول ۱: مقادیر مقاومت‌ها

R1	R2	Rc1	Re1	R3	R4	Re2
R5	R6	Re3	Rc3	R7	Re4	

(۵) با توجه به مقاومت‌های ورودی بالا و وجود خازن‌های بزرگ بایپس انتظار داریم مدار با کمی تاخیر به حالت پایدار خود برسد. مقدار تقریبی این ثابت زمانی را به دست آورید.

راهنمایی: مقدار ثابت زمانی هر طبقه را جداگانه به دست آورده و سپس با هم جمع نمایید.

## ب- شبیه‌سازی

مدار تقویت‌کننده‌ی ترانزیستوری را، که به صورت دستی طراحی کردید، شبیه‌سازی نمایید. جدول ۲ را کامل کرده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی را با مقادیر حاصل از محاسبه‌ی دستی، مقایسه کنید.

جدول ۲: نتایج شبیه‌سازی و محاسبه‌ی دستی

محاسبه‌ی دستی	شبیه‌سازی	
	Voltage Gain	
	Output Swing	
	I <sub>C1</sub>	
	I <sub>C2</sub>	
	I <sub>C3</sub>	
	I <sub>C4</sub>	
	R <sub>in</sub>	
	R <sub>out</sub>	

## ج- تکرار شبیه‌سازی با ملاحظات عملی

برای اینکه بهره‌ی مدار ۴۰۰۰ و سوییگ خروجی قله تا قله، ۷ ولت باشد ورودی مدار باید کمتر از ۱ میلی‌ولت باشد. امکان تولید چنین ولتاژی، به‌عنوان ورودی، در آزمایشگاه وجود ندارد، به همین خاطر یا باید بهره‌ی مدار را کاهش دهیم و یا از تقسیم مقاومتی، برای تضعیف ولتاژ خروجی سیگنال‌ژنراتور، استفاده کنیم.

برخی عناصر مدار شکل ۱ تاثیر بیشتری در بهره‌ی مدار دارند. دو روش برای کاهش بهره‌ی کل بیان کنید.

← با استفاده از یکی از این روش‌ها، بهره‌ی مدار فوق را به مقداری بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ کاهش دهید و مدار جدید را شبیه‌سازی و جدول ۳ را کامل کنید.

توجه کنید که این مدار نهایی است که در آزمایشگاه پیاده‌سازی خواهید کرد.

جدول ۳: نتایج شبیه‌سازی با در نظر گرفتن ملاحظات عملی

محاسبه‌ی دستی	شبیه‌سازی	
	Voltage Gain	
	Output Swing	
	$I_{C1}$	
	$I_{C2}$	
	$I_{C3}$	
	$I_{C4}$	
	$R_{in}$	
	$R_{out}$	

ت- ولتاژ بیس  $Q_3$  را محاسبه کنید و دلیل وجود خازن  $C_3$  را بنویسید. آیا راهی وجود دارد که بتوان خازن  $C_3$  را از مدار حذف کرد؟

## گزارش کار

توجه: صفحات ۶ تا ۱۰ را پس از انجام آزمایش تکمیل کرده و به عنوان گزارش کار تحویل دهید.

نام و نام خانوادگی:	نام و نام خانوادگی:
شماره دانشجویی:	شماره دانشجویی:
شماره‌ی گروه:	
تاریخ انجام آزمایش:	

## دستور کار

## ۱-۲ بستن مدار

در این قسمت، مدار نهایی را که در پیش‌گزارش طراحی و شبیه‌سازی کردید (با بهره‌ی ولتاژ بین ۱۰۰ تا ۲۰۰) در آزمایشگاه، **طبقه به طبقه**، پیاده‌سازی می‌کنید.

توصیه می‌شود:

۱- به دلیل پیچیدگی مدار و تعداد زیاد عناصر از تمام قسمت‌های بردبرد به طور مناسب استفاده نمائید.

۲- برای کاهش نویز مدار از حداقل طول سیم ممکن استفاده کنید.

## ۱-۱-۲ طبقه‌ی اول

طبقه‌ی اول (First Stage) را ببندید و جدول ۴ را کامل کنید. (نقطه‌کار طبقه‌ی اول)

توجه: خازن‌های بین طبقات (C2، C3 و C4) را فعلاً به مدار اضافه نکنید ولی فضایی را برای آن‌ها، روی بردبرد، در نظر بگیرید. در قسمت ۲-۱-۵ آن‌ها را اضافه خواهید کرد.

جدول ۴: نقطه کار ترانزیستور  $Q_1$

$V_{CE}$	$I_C$	$V_B$

۲-۱-۲ طبقه‌ی دوم

طبقه‌ی دوم (Second Stage) را ببندید و جدول ۵ را کامل کنید. (نقطه کار طبقه‌ی دوم)

جدول ۵: نقطه کار ترانزیستور  $Q_2$

$V_{CE}$	$I_C$	$V_B$

۳-۱-۲ طبقه‌ی سوم

طبقه‌ی سوم (Third Stage) را ببندید و جدول ۶ را کامل کنید. (نقطه کار طبقه‌ی سوم)

جدول ۶: نقطه کار ترانزیستور  $Q_3$

$V_{CE}$	$I_C$	$V_B$

۴-۱-۲ طبقه‌ی چهارم

طبقه‌ی چهارم (Forth Stage) را ببندید و جدول ۷ را کامل کنید. (نقطه کار طبقه‌ی چهارم)

جدول ۷: نقطه کار ترانزیستور  $Q_4$

$V_{CE}$	$I_C$	$V_B$



## ۲-۱-۵ اتصال چهار طبقه

خازن‌های بین طبقات را قرار دهید و اطمینان حاصل کنید که نقطه کارها تغییر نکرده‌اند.

## ۲-۲ اندازه‌گیری مشخصات مدار

الف- ورودی سیگنال را با فرکانس ۱ کیلو هرتز از سیگنال ژنراتور و از طریق یک خازن بزرگ (۱۰ میکرو فاراد یا بزرگ‌تر) اعمال کرده و بهره‌ی هر طبقه را با اثر بارگذاری طبقه‌های بعد اندازه بگیرید و در جدول ۸ وارد کنید.

جدول ۸: بهره‌ی طبقات

Av	ترانزیستور
	Q1
	Q2
	Q3
	Q4
	Total Gain

راهنمایی: برای محاسبه‌ی بهره‌ی ولتاژ، تقویت‌کننده باید در ناحیه‌ی خطی کار کند.

پ- مقاومت ورودی و خروجی مدار را با استفاده از روش‌های استفاده شده در آزمایش‌های قبل اندازه‌گیری کنید.

$$R_{in} =$$

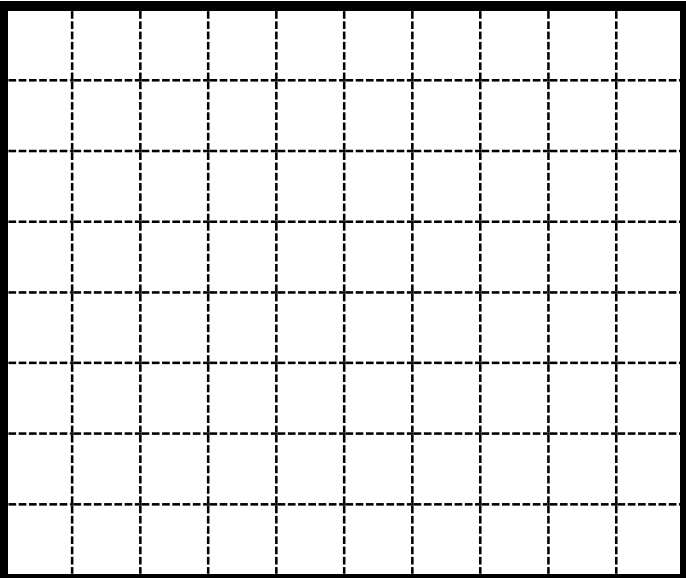
$$R_{out} =$$

ت- در حالی که سیگنال خروجی را روی اسیلوسکوپ مشاهده می‌کنید، اندازه‌ی سیگنال ورودی را به تدریج زیاد کنید. بیشینه سوینگ قله تا قله‌ی خروجی (یعنی اندازه‌ی قله تا قله‌ی سیگنال خروجی در آستانه‌ی تغییر شکل موج به خاطر اثرات اشباع و قطع ترانزیستور) چقدر است؟

$$V_{Peak-to-Peak} =$$

ث- اندازه‌ی سیگنال ورودی را باز هم بیشتر کنید؛ طوری که شکل موج خروجی کاملاً معوج شود. اسیلوسکوپ را در مد محاسبه‌ی FFT قرار داده و تبدیل فوریه‌ی سیگنال خروجی را در این حالت ببینید و جدول ۹ را کامل کنید.

جدول ۹: محاسبه‌ی THD و رسم FFT

محاسبه‌ی THD	شکل FFT
	

ج- اختیاری: از یک بلندگو برای شنیدن سیگنال صوتی تقویت‌شده استفاده کنید. همچنین در صورت امکان از یک میکروفون خازنی به عنوان ورودی مدار استفاده کنید. آیا کیفیت صوتی که می‌شنوید مناسب است؟ از چه راهکارهایی می‌توان برای بهبود عملکرد این مدار استفاده نمود؟

## ۲-۳ مقایسه و نتیجه‌گیری

الف- نقش هر ترانزیستور در مدار مورد نظر را شرح دهید.

ب- توضیح دهید که در بایاس هر طبقه از چه روشی استفاده شده است؟ و اینکه آیا روش بهتری برای پیاده‌سازی مدار بایاس وجود دارد؟ روش‌های پیشنهادی را مقایسه نمایید.