دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

آزمایشگاه اصول الکترونیک

پاییز ۱۳۹۵

گروه درس دکتر فخارزاده

شماره آزمایش (٤)		**گروه ( )**
نام و نام خانوادگی همکاران		
شماره دانشجویی		
ارزشیابی	حضور به موقع	
	پیش گزارش	
	گزارش	
	نمره کل	

نام دستیار تصحیح کننده:	**تاریخ:**

.

آزمایش چهارم

تقویت‌کننده‌ی زوج تفاضلی

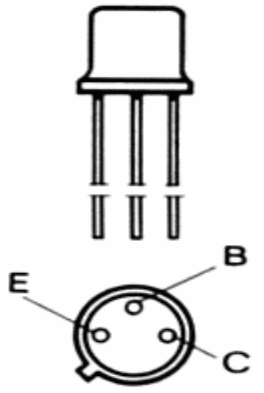
چکیده

در این جلسه، از دانشجویان خواسته شده تا یک تقویت‌کننده‌ی زوج تفاضلی را بر روی بردبورد پیاده‌سازی کرده و مشخصات آن را اندازه‌گیری کنند. سپس با اثرات mismatch ترانزیستورها و راهکار جبران آن‌ها آشنا می‌شوند.

همچنین از دانشجویان خواسته شده است که مشخصات مدار مذکور را پیش از جلسه، به صورت تحلیلی محاسبه کرده و با نرم افزار HSpice نیز شبیه‌سازی نمایند.

وسایل مورد نیاز

کامپیوتر و نرم‌افزار شبیه‌سازی HSpice، بردبورد، تعدادی ترانزیستور 2N3904 و BC107 و خازن و مقاومت، منبع تغذیه، مولتی‌متر، اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور.



شکل ۱: ترانزیستور BC107

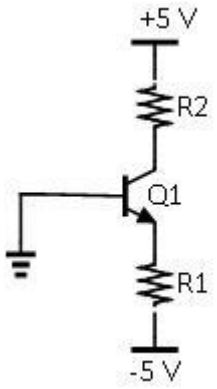
پیش‌گزارش

(پیش‌گزارش را باید قبل از جلسه آماده کرده و در ابتدای جلسه به دستیار مربوطه تحویل دهید.)

۱-۱ طراحی بایاس

الف- بایاس امیتر مشترک

تقویت‌کننده‌ی امیتر مشترک ساده در شکل زیر را در نظر بگیرید. فرض کنید که سیگنال به بیس تقویت‌کننده به صورت مستقیم (direct coupling) و توسط یک منبع با بایاس صفر ولت داده شود. بنابراین نیازی به شبکه‌ی بایاس در بیس ترانزیستور ندارید.



شکل۲- بایاس مدار امیتر مشترک

برای اینکه جریان امیتر تقریباً ۱ میلی‌آمپر باشد، $R1$ باید چقدر باشد؟

برای اینکه افت ولتاژ بایاس روی مقاومت $R2$و روی کلکتور-امیتر ترانزیستور تقریباً مساوی باشد، مقاومت $R2$ باید چقدر باشد؟

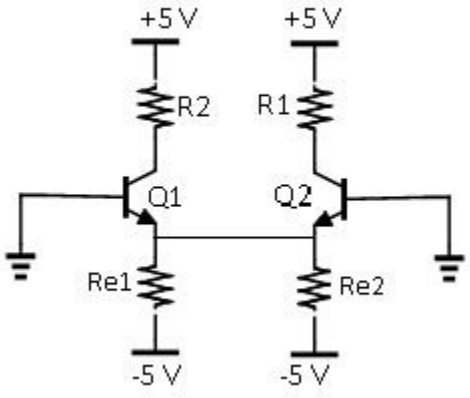
هر دو مقاومت‌ها را تنها از سری E12 انتخاب کنید.

ب- بایاس زوج تفاضلی

دو مدار امیتر مشترک با المان‌های مشابه را در نظر بگیرید. فعلا فرض کنید که مشخصات ترانزیستورها کاملا مشابه هم باشند. طبق شکل ۳ امیتر دو ترانزیستور را به هم متصل می‌کنیم.

برای اینکه جریان امیتر هر کدام از ترانزیستورها تقریباً 1 mA باشد، مقاومت‌های امیتر باید چقدر باشد؟

برای اینکه در هرکدام از شاخه‌های مدار، افت ولتاژ بایاس روی مقاومت کلکتور و روی کلکتور-امیتر تقریباً مساوی باشد، مقاومت کلکتور باید چقدر باشد؟



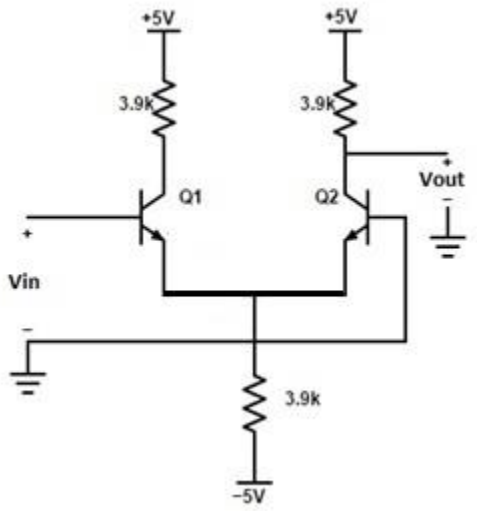
شکل۳- بایاس مدار زوج تفاضلی

ملاحظه می‌کنید که برای بایاس مشابه (جریان کلکتور یکسان) مقاومت‌های هر شاخه تفاوتی با مدار امیتر مشترک ندارد.

مداری که بدست آورده‌اید، یک تقویت‌کننده‌ی زوج تفاضلی یا Differential Pair است. در این آزمایش مشخصات دینامیکی این مدار را در چهار آرایش مختلف ورودی و خروجی بررسی می‌کنیم.

۱-۲ تقویت‌کننده‌ی زوج تفاضلی با خروجی تک انتهایی Single-ended output

الف- حالت تفاضلی Differential mode



شکل۳- زوج تفاضلی با ورودی تفاضلی و خروجی تک انتهایی

مشخصات خواسته شده را برای مدار شکل ۳ یک بار با محاسبه و یک بار با شبیه‌سازی به‌دست آورده و جدول ۱ را تکمیل کنید:

جدول۱- مشخصات زوج تفاضلی با ورودی تفاضلی و خروجی تک انتهایی

مشخصات	$A_v = \frac{v_o}{v_{id}}$	R_{In}	R_{Out}	$V_{C,Q1}$	$V_{C,Q2}$	THD
محاسبه						
شبیه‌سازی						

ب- حالت مشترک Common mode

مشخصات خواسته شده را برای مدار شکل ۳، در حالتی که ورودی به صورت مود مشترک اعمال شود (بیس‌ها به هم متصل باشند و ورودی به بیس اعمال شود) یک بار با محاسبه و یک بار با شبیه‌سازی بدست آورده و جدول ۲ را تکمیل کنید:

جدول ۲- مشخصات زوج تفاضلی با ورودی مشترک و خروجی تک انتهایی

مشخصات	$A_v = \frac{v_o}{v_{ic}}$	R_{In}	R_{Out}	$V_{C,Q1}$	$V_{C,Q2}$	THD
محاسبه						
شبیه‌سازی						

۳-۱ تقویت کننده‌ی زوج تفاضلی با خروجی تفاضلی Differential output

الف- حالت تفاضلی Differential mode

مشخصات خواسته شده را برای مدار شکل ۳، در حالتی که ورودی به صورت تفاضلی اعمال شده است و خروجی نیز به صورت تفاضلی اندازه گرفته می شود، یک بار با محاسبه و یک بار با شبیه‌سازی بدست آورده و جدول ۳ را تکمیل کنید:

جدول۳- مشخصات زوج تفاضلی با ورودی تفاضلی و خروجی تفاضلی

مشخصات	$A_v = \frac{v_{od}}{v_{id}}$	R_{In}	R_{Out}	$V_{C,Q1}$	$V_{C,Q2}$	THD
محاسبه						
شبیه‌سازی						

ب–حالت مشترک Common mode

مشخصات خواسته شده را برای مدار شکل ۳، در حالتی که ورودی به صورت مود مشترک و خروجی به صورت تفاضلی باشد؛ یک بار با محاسبه و یک بار با شبیه‌سازی بدست آورده و جدول ٤ را تکمیل کنید:

جدول ٤- مشخصات زوج تفاضلی با ورودی مشترک و خروجی تفاضلی

مشخصات	$A_v = \frac{v_{od}}{v_{ic}}$	R_{In}	R_{Out}	$V_{C,Q1}$	$V_{C,Q2}$	THD
محاسبه						
شبیه‌سازی						

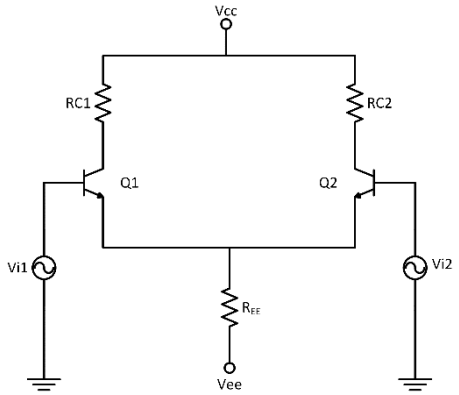
اعوجاج سیگنال خروجی را در دو حالت ورودی مشترک و دیفرانسیلی مقایسه کنید.

۴-۱ اثر عدم تشابه mismatch ترانزیستورها

در تقویت‌کننده‌ی زوج تفاضلی، ولتاژ بایاس بیس-امیتر دو ترانزیستور باید برابر باشد. اگر ترانزیستورها کاملاً یکسان باشند، این به معنای برابر شدن جریان امیتر و کلکتور آن‌ها نیز هست. در عمل اما ترانزیستورها مشخصات کاملاً یکسانی ندارند و به این خاطر، تحت شرایطی ممکن است که یکی از ترانزیستورها وارد ناحیه‌ی اشباع شود.

در مداری که در قسمت قبل بایاس کرده‌اید، اگر ضریب رابطه‌ی نمایی جریان-ولتاژ در یکی از ترانزیستورها $I_{s1} = I_0 + \delta I_s/2$ و در دیگری $I_{s2} = I_0 - \delta I_s/2$ باشد، حداکثر مقدار $\frac{\delta I_s}{I_0}$ برای اینکه هیچ‌کدام از ترانزیستورها اشباع نشوند، چقدر است؟

حال مدار شکل زیر را در نظر بگیرید. فرض کنید که ترانزیستورهای Q1 و Q2 دارای Isهای متفاوت (I_{s_1} و I_{s_2}) باشند.



شکل ٤- مدار زوج تفاضلی بدون مقاومت در امیتر

الف- ابتدا به‌صورت پارامتری جریان هرکدام از ترانزیستورها را بر حسب I_{s1} و I_{s2} محاسبه نمایید.

ب- آیا مقاومت‌های موجود در کلکتور ترانزیستورها در جریان آن‌ها تاثیری دارد؟ چرا؟

پ- یکی از راه‌های رفع مشکل mismatch افزودن مقاومت در امیتر ترانزیستورهاست. فرض کنید مقاومت‌های R_1 و R_2 را به ترتیب در امیتر ترانزیستورهای Q1 و Q2 قرار دادیم. می‌خواهیم با گذاشتن این مقاومت‌ها مشکل mismatch رفع شود. رابطه‌ی بین R_1 و R_2 و I_{s1} و I_{s2} را به‌دست آورید.

راهنمایی- روابط جریان امیتر را برای هرکدام از ترانزیستورها نوشته و از برابر بودن ولتاژ بیس-امیتر دو ترانزیستور و معلوم بودن مجموع جریان‌های امیتر دو ترانزیستور مجهول را به‌دست آورید.

می‌دانید که β ترانزیستورها هم تغییرات[۱] بزرگی دارد. اما تفاوت β نمی‌تواند باعث به اشباع بردن یکی از شاخه‌ها شود. به نظر شما علت چیست؟

راهنمایی- رابطه‌ی $\frac{\Delta\alpha}{\alpha}$ را برحسب $\frac{\Delta\beta}{\beta}$ به‌دست آورید. به ازای 1% تغییر β، α (نسبت جریان کلکتور به امیتر) چند درصد تغییر می‌کند؟

[۱] Tolerance

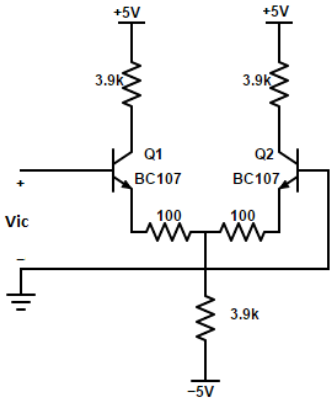
گزارش کار

توجه: صفحات ۸ تا ۱۳ را پس از انجام آزمایش تکمیل کرده و به عنوان گزارش کار تحویل دهید.

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

دستور کار

در مدار زیر بعد از روشن کردن منبع تغذیه و با وصل کردن بیس هر دو ترانزیستور به زمین (ولتاژ صفر ولت)، با مولتی‌متر بایاس مدار را چک کنید. اندازه‌ی ولتاژ کلکتورها را یادداشت کنید و علت تفاوت را توضیح دهید:



شکل ۵- مدار زوج تفاضلی

$V_{c1} =$ $V_{c2} =$

۲-۱ اندازه‌گیری مشخصات تقویت‌کننده‌ی تفاضلی با خروجی تک انتهایی

الف- حالت تفاضلی

در مدار شکل ۵، دقت کنید که سیگنال ژنراتور بایاس نداشته باشد، یعنی مقدار DC آن صفر باشد وگرنه بایاس مدار را تغییر خواهد داد. مشخصات زیر را اندازه بگیرید:

جدول ۵- اندازه‌گیری مشخصات در حالت خروجی تک با ورودی دیفرانسیلی

مشخصات	$A_v = \frac{v_o}{v_{id}}$	R_{In}	R_{Out}	$V_{C,Q1}$	$V_{C,Q2}$
اندازه‌گیری					

ب- حالت مود مشترک

در مدار شکل ۵، مشخصات زیر را برای ورودی مود مشترک و خروجی تک انتهایی اندازه بگیرید:

جدول٦- اندازه‌گیری مشخصات در حالت خروجی تک با ورودی مشترک

مشخصات	$A_v = \frac{v_o}{v_{ic}}$	R_{In}	$V_{C,Q1}$	$V_{C,Q2}$
اندازه‌گیری				

مقاومت خروجی این مدار چقدر است؟

(راهنمایی- بدون اندازه‌گیری مجدد از مقادیری که قبلا اندازه‌گیری کرده‌اید، استنتاج کنید)

۲-۲ اندازه‌گیری مشخصات تقویت‌کننده‌ی تفاضلی با خروجی تفاضلی

الف- حالت تفاضلی

در مدار شکل ۵، مشخصات زیر را برای ورودی تفاضلی و خروجی تفاضلی، اندازه بگیرید:

جدول۷- اندازه‌گیری مشخصات در حالت خروجی دیفرانسیلی با ورودی دیفرانسیلی

مشخصات	$A_v = \frac{v_{od}}{v_{id}}$	R_{In}	R_{Out}	$V_{C,Q1}$	$V_{C,Q2}$
اندازه‌گیری					

مقاومت خروجی این مدار چه نسبتی با مقاومت خروجی نصف مدارش دارد؟

مقاومت ورودی این مدار چقدر است؟

(راهنمایی- بدون اندازه‌گیری مجدد از مقادیری که قبلا اندازه‌گیری کرده‌اید، استنتاج کنید)

ب- حالت مشترک

در مدار شکل ۵، بهره‌ی زیر را اندازه‌گیری کنید:

$$A_v = \frac{v_{od}}{v_{ic}} =$$

مقاومت ورودی و مقاومت خروجی این مدار چقدر است؟

(راهنمایی- بدون اندازه‌گیری مجدد از مقادیری که قبلا اندازه‌گیری کرده‌اید، استنتاج کنید)

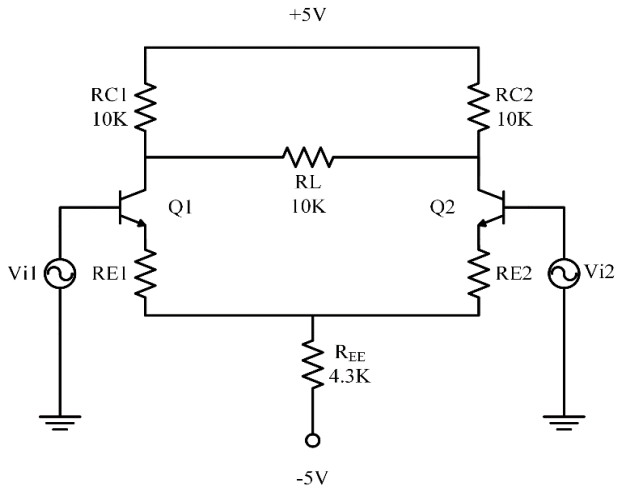
مزایای تقویت‌کننده‌ی تفاضلی نسبت به تقویت‌کننده‌ی معمولی چیست؟ توضیح دهید.

۲-۳ اثر mismatch

الف- در این قسمت اثر mismatch ترانزیستورها و راهکار جبران آن را به‌صورت عملی بررسی می‌کنیم. همانطور که می‌دانید mismatch به‌دلیل عدم تشابه ترانزیستورها به وجود می‌آید. ترانزیستورهایی که از یک مدل هستند، تفاوت بسیار زیادی با هم ندارند. برای بررسی بهتر اثر mismatch از دو نوع ترانزیستور مختلف استفاده می‌کنیم.

مدار شکل ٦ را بر روی بردبورد با ملاحظات زیر ببندید:

- در اینجا Q1 را 2N3904 و Q2 را BC107 انتخاب نمایید.
- در این قسمت مقاومت‌های امیترها اتصال کوتاه می‌شوند.



شکل ٦- مدار زوج تفاضلی بسته شده روی بردبورد

سپس پارامترهای خواسته شده را در جدول ۸ وارد نمایید.

جدول ۸- بایاس مدار زوج تفاضلی دارای mismatch بدون مقاومت در امیتر

پارامتر	مقدار
I_{EE}	
V_{R_L}	

ب- همانطور که در پیش‌گزارش دیدید، با قرار دادن مقاومت در امیتر می‌توان مشکل mismatch را برطرف کرد. با استفاده از دو مقاومت در امیتر ترانزیستورها اثر mismatch را کاهش دهید. این کار را با دو مقدار دیگر مقاومت امتحان نمایید و جدول زیر را تکمیل کنید. برای راحتی می‌توانید از پتانسیومتر استفاده نمایید.

جدول ۹- بایاس مدار زوج تفاضلی دارای mismatch با مقاومت کوچک در امیتر

مقدار	پارامتر	مقاومت امیتر
	I_{EE}	$R_1 =$
	V_{R_C}	$R_2 =$
	I_{EE}	$R_1 =$
	V_{R_C}	$R_2 =$

پ_ طبق رابطه‌ی به‌دست آمده در پیش‌گزارش، رابطه‌ی I_S این دو ترانزیستور را به‌دست آورید.

ت- نتیجه‌گیری خود را از تاثیر مقاومت امیتر در کاهش اثر mismatch بنویسید.