

آزمایش پنجم

تقویت کننده‌های تفاضلی

هدف:

در این آزمایش طرح و مشخصات یک تقویت تفاضلی (Differential Amplifier) ترانزیستوری مورد بررسی قرار می‌گیرد.



پیش گزارش: (تمرین با Spice)

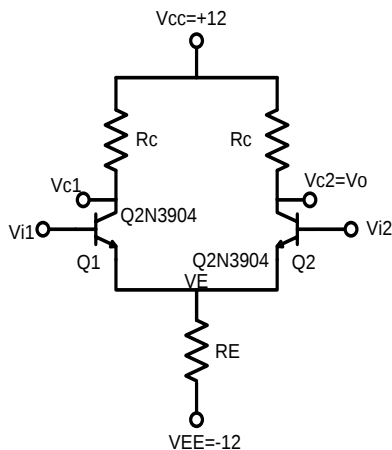
۱. در شکل ۱ پس از محاسبه R_c و R_e و اعمال ولتاژ تفاضلی به ورودی، ولتاژ تفاضلی خروجی، V_{c1} و V_{c2} و جریان های I_{Q1} و I_{Q2} بر حسب ولتاژ ورودی را به دست آورید. (DC Sweep)
۲. شبیه سازی ac تفاضلی و به دست آوردن بهره تفاضلی
۳. شبیه سازی ac مد مشترک و به دست آوردن بهره CM و CMRR
۴. تکرار بند ۱ برای شکل ۳

شرح آزمایش:

قسمت اول: تقویت کننده تفاضلی

۱-۱ تقویت کننده تفاضلی با مقاومت در امیتر:

شکل ۱ یک تقویت کننده تفاضلی با کوپلاژ امیتر را نشان می‌دهد. از ترانزیستورهای BC107/109 (یا 2N3904) به عنوان ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 استفاده کنید (دقت کنید، در عمل سعی می‌شود از زوج ترانزیستورهایی که مشخصات نسبتاً یکسانی دارند یعنی ترانزیستورهای تطبیق شده (matched Transistor) بجای Q_1 و Q_2 استفاده کنند. در طول آزمایش تأثیر یکسان نبودن مشخصات Q_1 و Q_2 را روی مشخصات تقویت کننده ملاحظه خواهید نمود). مدار نشان داده شده در شکل ۱ را برای مشخصات زیر طرح کنید.



شکل ۱- تقویت کننده تفاضلی با مقاومت در امیتر

$$I_{C1}=I_{C2}=1\text{mA}$$

۲- حداکثر دامنه خروجی به ازای ورودی وجه مشترک (CM) برابر با صفر

پس از انجام محاسبات لازم و استاندارد سازی مقادیر مقاومت‌ها این مدار را روی برد بورد (Bread Board)

ببندید.

$V_{CC}=12\text{V}$ و ولتاژ $V_{EE}=-12\text{V}$ می‌باشد. حال این ولتاژها را برای تغذیه مدار نشان داده شده در شکل ۱

بکار برید. اندازه‌گیری زیر را انجام دهید.

۱-۱-۱ اندازه‌گیری نقطه کار:

ورودی‌های V_{i1} و V_{i2} را به زمین وصل کرده و ولتاژهای V_E , V_{C1} , V_{C2} را اندازه گرفته و نقاط کار

(I_{C1}, V_{CE1}) و (I_{C2}, V_{CE2}) ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 را بدست آورید.

۱-۱-۲ اندازه‌گیری درجه تقویت تفاضلی:

ورودی V_{i1} را به زمین و ورودی V_{i2} را به منبع سیگنال وصل کنید. سیگنال ورودی V_{i1} را یک سیگنال

سینوسی با فرکانس $f=1\text{kHz}$ انتخاب کرده و درجه تقویت V_o/V_{i1} را اندازه بگیرید. به علت بالا بودن CMRR

(نسبت رد حالت مشترک) این مدار با تقویت خوبی می‌توان مقدار V_o/V_{i1} را همان درجه تقویت تفاضلی در نظر

گرفت. $(Ad \approx V_o/V_{i1})$

۱-۱-۳ اندازه‌گیری حداکثر دامنه خروجی (Maximum Swing):

دامنه ورودی را تا مقداری افزایش دهید که خروجی به یکی از نواحی قطعی و یا اشباع ترانزیستور وارد شود.

مقدار خروجی را در این حالت یادداشت نمایید.

۱-۱-۴ اندازه‌گیری درجه تقویت حالت مشترک:

ورودی‌های V_{i1} و V_{i2} را به هم وصل کرده و هر دو را به منبع سیگنال متصل کنید. مقدار درجه تقویت

حالت مشترک $Ac = V_o/V_i$ را در فرکانس $f=1\text{kHz}$ اندازه گرفته و یادداشت نمایید.

۱-۱-۵ پرسش

الف) نقاط کار مدار نشان داده شده در شکل ۱ را محاسبه کرده و با مقادیر بدست آمده در آزمایش ۱-۱-۱

مقایسه نمایید. انتظار می‌رود که به علت تقارن مدار نقاط کار ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 یکسان باشند. آیا نتیجه

آزمایش ۱-۱-۱ مؤید این نکته است؟ و اگر نه چرا؟

ب) با استفاده از نتایج آزمایش‌های ۱-۱-۲ و ۱-۱-۴ نسبت رد حالت مشترک $CMRR \approx \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$ مدار نشان

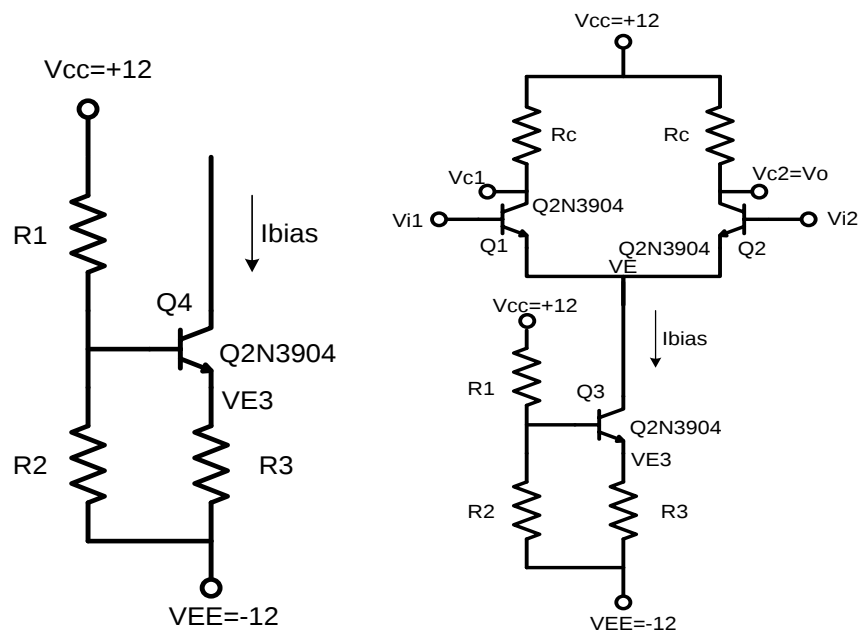
داده شده در شکل ۱ را بدست آورید.

ج) درجه تقویت تفاضلی و درجه تقویت حالت مشترک مدار نشان داده شده در شکل ۱ را محاسبه کرده و با نتایج آزمایش‌های ۱-۱-۲ و ۱-۱-۴ مقایسه نمایید (برای پارامترهای h ترانزیستورهای BC107/BC109 از مشخصات ضمیمه شده استفاده نمایید).

د) حداکثر دامنه خروجی مدار نشان داده در شکل ۱ را بدست آورده و آن را با نتیجه آزمایش ۱-۱-۳ مقایسه نمایید.

۱-۲ تقویت کننده تفاضلی با منبع جریان:

برای افزایش CMRR مدار تقویت کننده تفاضلی می‌توان از یک منبع جریان بجای R_E استفاده کرد. مدار یک منبع جریان در شکل ۲-الف نشان داده شده است. این مدار را طوری طرح کنید که جریان I برابر ۲ mA شود، سپس این مدار را بجای مقاومت R_E مدار نشان داده شده در شکل ۱ قرار دهید. در این حالت مدار شکل ۲-ب را روی برد مورد بسته و اندازه‌گیری‌های زیر را انجام دهید.



شکل ۲: الف) تقویت کننده تفاضلی با منبع جریان ب) منبع جریان

۱-۲-۱ اندازه‌گیری نقطه کار:

ورودی‌های V_{i1} و V_{i2} را به زمین متصل کرده و ولتاژهای $V_{C1}, V_{C2}, V_E, V_{E3}, V_{CC}$ را اندازه گرفته و نقطه کار (I_C و V_{CE}) هر یک از ترانزیستورهای Q_1, Q_2 و Q_3 را بدست آورید.

۱-۲-۲ اندازه‌گیری درجه تقویت تفاضلی:

ورودی V_{i1} را به زمین و ورودی V_{i2} را به منبع سیگنال سینوسی وصل نمایید. درجه تقویت تفاضلی

$$A_d \approx \frac{V_o}{V_{i1}} \text{ را در فرکانس } f = 1 \text{ KHz اندازه‌گیری کنید.}$$

۳-۲-۱: اندازه‌گیری درجه تقویت حالت مشترک:

ورودی‌های V_{i1} و V_{i2} را به هم وصل کرده و هر دو را به منبع سیگنال سینوسی وصل کنید. درجه تقویت حالت مشترک $A_c = \frac{V_o}{V_i}$ را در فرکانس $f = 1 \text{ KHz}$ اندازه بگیرید.

۴-۲-۱: مشخصه انتقال:

ورودی V_{i1} را زمین کرده و ورودی V_{i2} را به منبع سیگنال وصل کنید. فرکانس سیگنال ورودی را 500 Hz انتخاب نمایید. ورودی V_{i1} را به کانال X اسیلوسکوپ و خروجی V_o را به کانال Y اسیلوسکوپ وصل کرده و اسیلوسکوپ را در حالت XY و در حالت DC قرار دهید. دامنه ورودی را افزایش دهید بطوری که مشخصه انتقال (V_o بر حسب V_i) روی صفحه اسیلوسکوپ بطور کامل (شامل نواحی خطی و غیر خطی) مشاهده شود. مشخصه انتقال را روی کاغذ میلیمتری رسم کرده و عرض ناحیه خطی آن را مشخص نمایید.

۵-۲-۱ پرسش

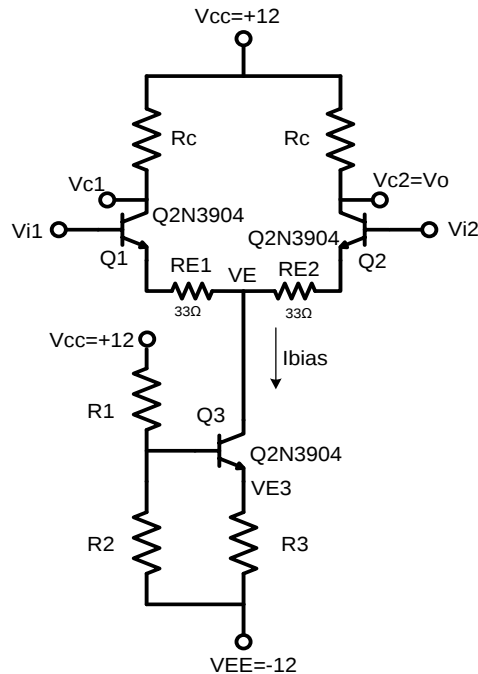
الف) درجه تقویت تفاضلی، درجه تقویت حالت مشترک مدار تقویت کننده تفاضلی با منبع جریان (شکل ۲-ب) را محاسبه کرده و با نتایج آزمایش‌های ۲-۲-۱ و ۳-۲-۱ مقایسه کنید.

ب) با استفاده از نتایج آزمایش‌های ۲-۲-۱ و ۳-۲-۱ نسبت رد حالت مشترک (CMRR) تقویت کننده تفاضلی با منبع جریان را بدست آورده و آن را با CMRR تقویت کننده تفاضلی با مقاومت امیتر که قبلاً در قسمت ج ۱-۵-۱ بدست آورده‌اید مقایسه نمایید. آیا استفاده از منبع جریان بجای مقاومت امیتر، CMRR را افزایش می‌دهد؟ چرا؟

ج) با توجه به نتیجه آزمایش ۴-۲-۱ بیان کنید که در چه محدوده‌ای از ورودی تقویت کننده تفاضلی را می‌توان بصورت یک تقویت کننده خطی مورد استفاده قرار داد. مقدار این محدوده خطی را با تئوری مقایسه کنید.

۳-۱-۱ اضافه کردن مقاومت در امیترهای Q_1 و Q_2 :

دو مقاومت $r_{E1} = r_{E2} = 33 \Omega$ به امیتر ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 اضافه کرده (شکل ۳) و اندازه‌گیری‌های زیر را انجام دهید:



شکل ۳: تقویت کننده تفاضلی با منبع جریان و مقاومت‌های اضافی در امیتر

۱-۳-۱ اندازه‌گیری نقطه کار:

ورودی‌های V_{i1} و V_{i2} را زمین کرده و با اندازه‌گیری ولتاژهای $V_{c1}, V_{c2}, V_{e1}, V_{e2}, V_{e3}, V_{c3}, V_{c4}$ و V_{EE} نقطه کار (I_c و V_{CE}) هر یک از ترانزیستورهای Q_1, Q_2 و Q_3 را بدست آورید.

۱-۳-۲ درجه تقویت تفاضلی:

ورودی V_{i1} را به زمین وصل کرده و به ورودی V_{i1} یک منبع سینوسی با فرکانس $f=1$ KHz متصل نمایید. درجه تقویت تفاضلی $A_d \approx \frac{V_o}{V_{i1}}$ را اندازه گرفته و یادداشت نمایید.

۱-۳-۳ مشخصه انتقال:

ورودی V_{i1} را به کانال X و خروجی V_o را به کانال Y اسیلوسکوپ وصل کرده و اسیلوسکوپ را در حالت XY و در حالت DC قرار دهید. با افزایش دامنه ورودی مشخصه انتقال (V_o برحسب V_{i1}) را روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کرده و آن را روی همان مشخصه انتقالی که در آزمایش ۱-۲-۴ رسم کرده‌اید با دقت کافی رسم کنید (فرکانس ورودی $f = 500$ Hz قرار داده شود).

۱-۳-۴ پرسش



الف) نقاط کار ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 که از آزمایش ۱-۳-۱ بدست آمده‌اند را با نتیجه آزمایش ۱-۲-۱ مقایسه کنید. آیا تطبیق نقاط کار ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در مدار شکل ۳ بهتر است یا مدار شکل ۳؟ چرا؟

ب) درجه تقویت تفاضلی بدست آمده در آزمایش ۱-۳-۲ (برای مدار نشان داده شده در شکل ۳) را با درجه تقویت تفاضلی بدست آمده در آزمایش ۱-۲-۲ (برای مدار نشان داده شده در شکل ۲) مقایسه کرده و دلیل اختلاف را بیان کنید.

ج) با استفاده از نتیجه آزمایش ۱-۳-۳ عرض ناحیه خطی مشخصه انتقال برای مدار شکل ۳ را بدست آورده و آن را با عرض ناحیه خطی مشخصه انتقال برای مدار شکل ۲ (نتیجه آزمایش ۱-۲-۴) مقایسه کنید.

د) تأثیر اضافه کردن مقاومت r_{E1} و r_{E2} را روی تطبیق نقاط کار Q_1 و Q_2 (علیرغم متفاوت بودن پارامترهای این ترانزیستورها)، درجه تقویت تفاضلی، و عرض ناحیه خطی مشخصه انتقال با ذکر دلیل بیان نمایید.