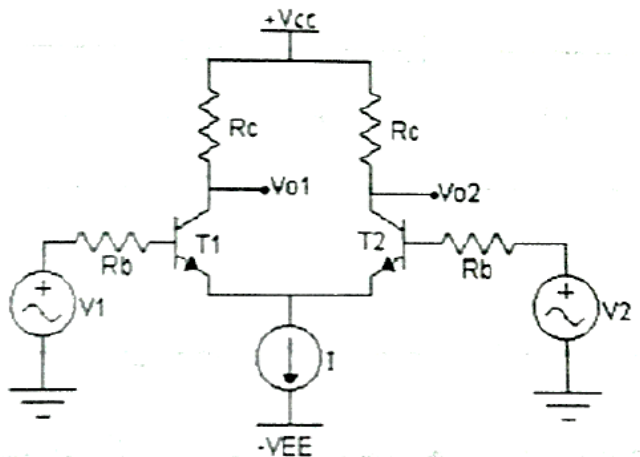


تقویت کننده های تفاضلی (دیفرانسیل)

مدار یک تقویت کننده دیفرانسیل بصورت زیر است.



۱- سیگنال مد دیفرانسیل (تفاضلی) V_d : تفاضل بین دو سیگنال ورودی مدار دیفرانسیل می باشد یعنی

$$V_d = V_1 - V_2$$

۲- سیگنال مد مشترک V_c : میانگین بین دو سیگنال می باشد یعنی $V_c = \frac{V_1 + V_2}{2}$

سیگنال مد مشترک سیگنالی است که به طور یکسان به هر دو ورودی مدار اعمال می شود. (سیگنال نویز یا اغتشاش)

۳- بهره مد دیفرانسیل $|A_d|$: نسبت $\left| \frac{V_{01}}{V_d} \right|$ یا $\left| \frac{V_{02}}{V_d} \right|$ را بهره مد دیفرانسیل گویند.

۴- بهره مد مشترک $|A_c|$: نسبت $\left| \frac{V_{01}}{V_c} \right|$ یا $\left| \frac{V_{02}}{V_c} \right|$ را بهره مد مشترک گویند.

۵- نسبت حذف حالت مشترک CMRR: نسبت بهره مد دیفرانسیل به بهره مد مشترک را CMRR گویند یعنی

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

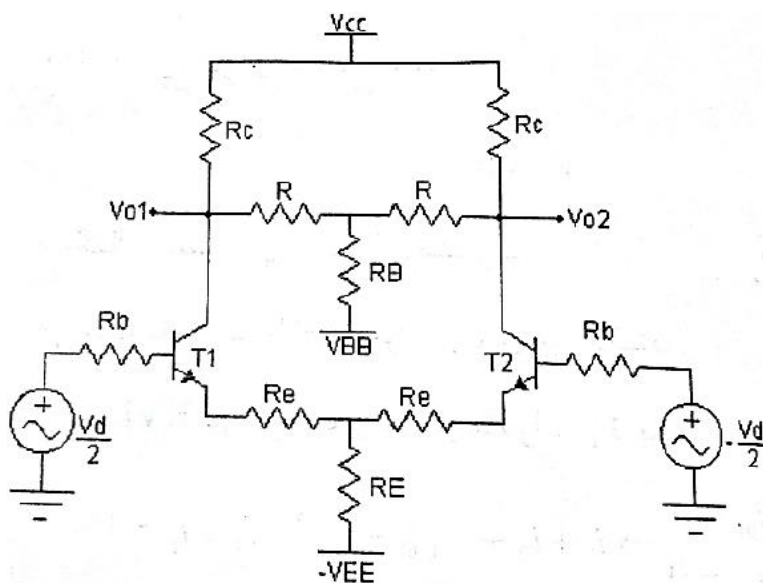
تحلیل DC تقویت کننده دیفرانسیل:

در تمام تحلیل‌ها فرض بر این است که ترانزیستورهای زوج تفاضلی T_1 و T_2 مشابهند. بنابراین در حالت DC با صفر کردن سیگنال‌های V_1 و V_2 و به دلیل تقارن موجود بین T_1 و T_2 جریان I بطور یکسان بین دو ترانزیستور

$$r_e = r_{e1} = r_{e2} = \frac{V_T}{I_c} \quad \text{تقسیم می‌شود بطوریکه } I_{c1} = I_{c2} = \frac{I}{2} \text{ خواهد بود. بنابراین}$$

تحلیل ac تقویت کننده دیفرانسیل:

برای بدست آوردن قاعده کلی جهت تحلیل تقویت کننده های دیفرانسیل کلی ترین حالت یک تقویت کننده دیفرانسیل را به صورت زیر در نظر می‌گیریم.



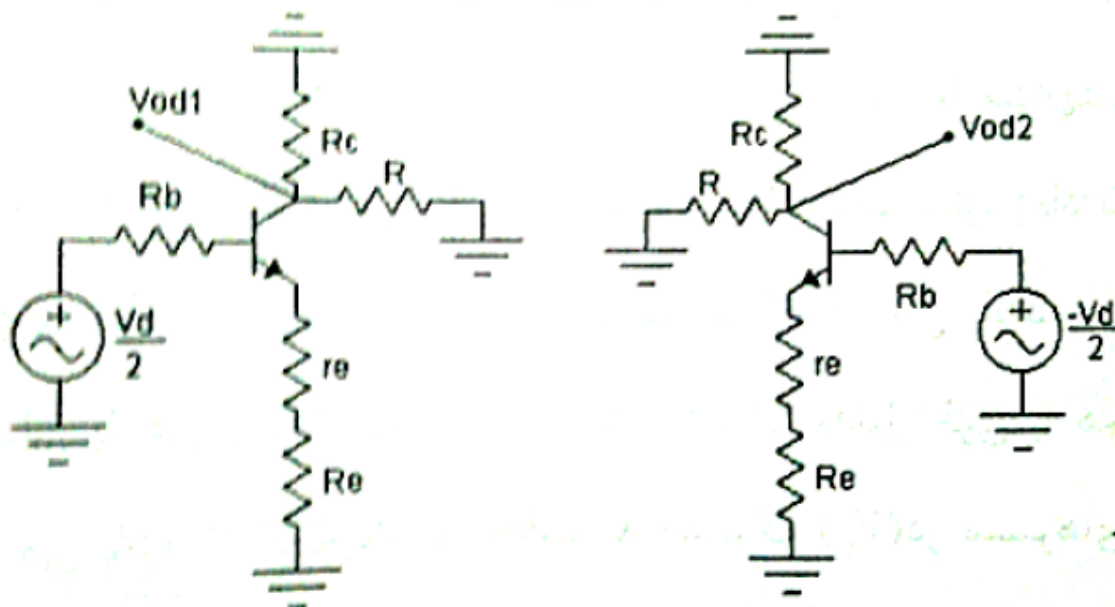
تحلیل مد دیفرانسیل:

چون سیستم خطی عمل می‌کند بنابراین طبق قضیه جمع آثار می‌توان سیگنال‌های تفاضلی و مد مشترک را جداگانه بررسی کرد.

- از دیدگاه دیفرانسیل اتصال مشترک امیترهای دو ترانزیستور زوج تفاضلی دارای پتانسیل صفر ولت یا به اصطلاح زمین مجازی می‌باشند.

- از دیدگاه دیفرانسیل اتصال مشترک کلکتورهای دو ترانزیستور زوج تفاضلی دارای پتانسیل صفر ولت یا به اصطلاح زمین مجازی می‌باشند.

بنابراین قاعده استفاده از نیم مدار در تحلیل مد دیفرانسیل بدین صورت است که گره مشترک امیتر و کلکتور (در صورت وجود) به زمین وصل شده و مدار بصورت دو نیم مدار در می‌آید.



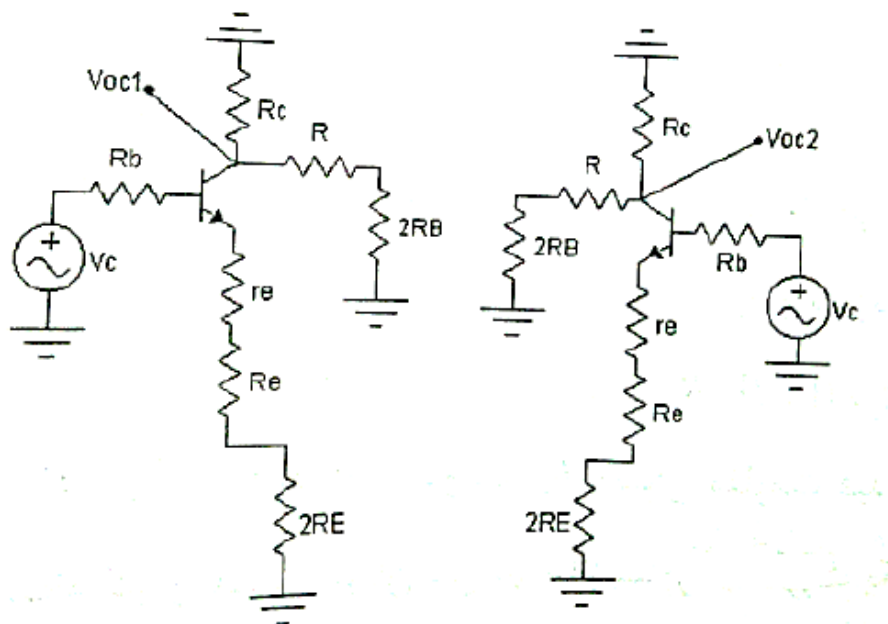
بنابراین بهره مد دیفرانسیل را می‌توان از نیم مدار بدست آورد که در واقع یک مدار امیتر مشترک است.

$$\frac{V_{od1}}{\frac{V_d}{2}} = \frac{-(R_c \parallel R)}{r_e + R_e + \frac{R_b}{1 + \beta}} \quad \Rightarrow \quad A_d = \frac{V_{od1}}{V_d} = \frac{-(R_c \parallel R)}{2(r_e + R_e + \frac{R_b}{1 + \beta})}$$

تحلیل مد مشترک:

در تحلیل مد مشترک فقط به جای منابع سیگنال $\frac{V_d}{2}$ و $\frac{-V_d}{2}$ منبع سیگنال V_c را جایگزین می‌کنیم. با توجه به اینکه ترانزیستورها مشابهند و مدار کاملاً متقارن است لذا با افزایش یا کاهش V_c ، ولتاژ $V_{b1} = V_{b2}$ به یک اندازه زیاد یا کم می‌شوند. بنابراین جریان‌های i_{b1} و i_{b2} نیز به یک اندازه افزایش یا کاهش می‌یابند و چون در حالت DC جریان‌هایشان با هم برابر است پس در حالت ac نیز به دلیل فوق با هم برابرند یعنی $i_b = i_{b1} = i_{b2}$ می‌باشد.

- از دیدگاه سیگنال مد مشترک می‌توان مقاومت‌های اتصال مشترک دو ترانزیستور زوج تفاضلی در امیتر و کلکتور را دو برابر کرده سپس به دو نیم مدار تبدیل کنیم. بهره مد مشترک بصورت زیر بدست می‌آید. (ابتدا R_b را به امیتر منتقل می‌کنیم)



$$A_c = \frac{V_{oc1}}{V_c} = \frac{-[R_c \parallel (R + 2R_B)]}{r_e + R_e + \frac{R_b}{1 + \beta} + 2R_E}$$

آزمایش ۶-۱:

تقویت کننده دیفرانسیل شکل زیر را ببندید.

مقادیر DC نقطه کار را محاسبه کنید.

مقادیر DC نقطه کار را اندازه گیری کنید و با مقادیر محاسبه شده مطابقت دهید.

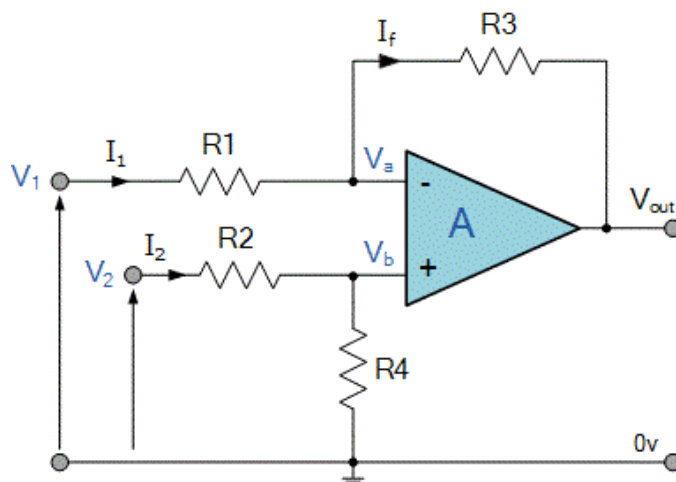
بهره ولتاژ مدار را در حالت سیگنال مشترک و دیفرانسیل محاسبه کنید.

بهره ولتاژ مدار را در حالت سیگنال مشترک و دیفرانسیل اندازه گیری کنید و با مقادیر محاسبه شده مطابقت دهید.

ضریب حذف سیگنال مشترک (CMRR) را بدست آورید.

تقویت کننده تفاضلی با استفاده از opamp :

تقویت کننده عملیاتی تفاضلی، اختلاف بین دو ولتاژ ورودی را تقویت می کند و به همین دلیل برخلاف تقویت کننده جمع کننده (Summing) که ولتاژهای ورودی را با یکدیگر جمع می کند، این مدار یک تقویت کننده عملیاتی تفریق کننده (Subtractor) است. این نوع تقویت کننده عملیاتی که بیشتر با نام تقویت کننده تفاضلی شناخته می شود، در شکل زیر به تصویر کشیده شده است.



با استفاده از اصل جمع آثار (Superposition) به راحتی می توان ولتاژ خروجی را بدست آورد. کافی است که در هر لحظه یکی از منابع را در نظر بگیریم و دیگری را صفر کنیم. تابع انتقال (Transfer Function) برای یک تقویت کننده عملیاتی برابر است با:

زمانی که شروط $R_1 = R_2$ و $R_3 = R_4$ برقرار باشند، تابع انتقال تقویت کننده تفاضلی

به صورت زیر نوشته می شود:

$$V_{out} = \frac{R_3}{R_1} (V_2 - V_1)$$

آزمایش ۶-۲:

رابطه فوق را اثبات کنید.

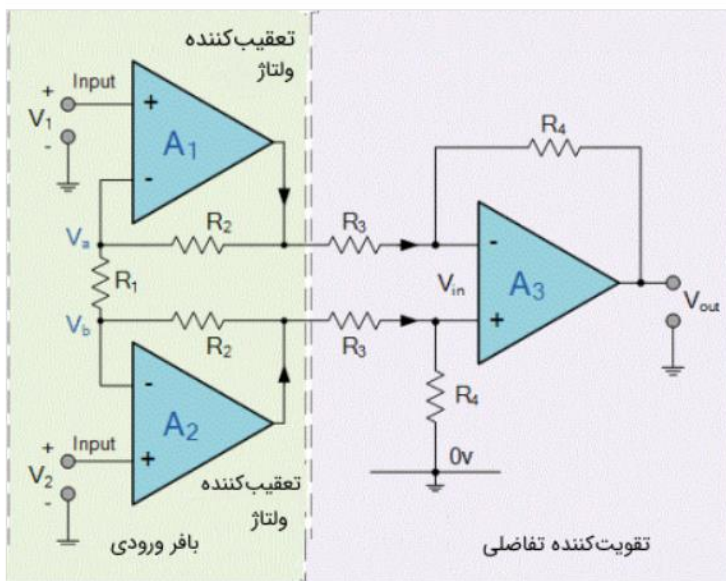
مدار فوق را ببندید و صحت عملکرد مدار در حالت تفاضلی و مد مشترک بررسی کنید. ($R_3=10K$, $R_1=1K$)

تقویت کننده ابزار دقیق

تقویت کننده ابزار دقیق (Instrumentation Amplifier) یا In-Amp تقویت کننده تفاضلی با بهره بالا، دارای امپدانس ورودی بالا و خروجی تک ترمینالی است. این نوع تقویت کننده ها عمدتاً برای تقویت سیگنال های تفاضلی بسیار کوچک حاصل از استرین گیج ها (Strain Gauge)، ترموکوپلها و یا ادوات اندازه گیری جریان در سیستم های کنترل موتور به کار می روند.

برخلاف تقویت کننده های عملیاتی استاندارد که در آن ها بهره حلقه بسته توسط یک مقاومت فیدبک خارجی متصل بین ترمینال های خروجی آن ها و یک ترمینال ورودی (مثبت یا منفی) مشخص می شود، تقویت کننده های ابزار دقیق دارای یک مقاومت فیدبک داخلی هستند که به صورت کامل از ترمینال های ورودی آن ها ایزوله شده است، زیرا سیگنال های ورودی به دو ورودی تفاضلی V_1 و V_2 اعمال شده اند. تقویت کننده عملیاتی، دارای نسبت حذف مد مشترک (CMRR = common mode rejection ratio) بسیار خوبی است.

یک مثال از تقویت کننده ابزار دقیق سه اپ امپی با مقاومت ورودی بالا در شکل زیر نشان داده شده است.



تقویت کننده تفاضلی ابزار دقیق

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left[1 + \frac{2R_2}{R_1} \right] \left(\frac{R_4}{R_3} \right)$$

آزمایش ۳-۶:

($R_4=100K$, $R_3=10K$, $R_2=5K$, $R_1=1K$)

رابطه فوق را اثبات کنید.

مدار فوق را ببندید و صحت عملکرد مدار در حالت تفاضلی و مد مشترک بررسی کنید.