به نام خدا

الکترونیک(۲)

مدرس:
میریوسفی
دانشگاه فنی و حرفه ای البرز

تقویت کننده تفاضلی

تقویت کننده تفاضلی

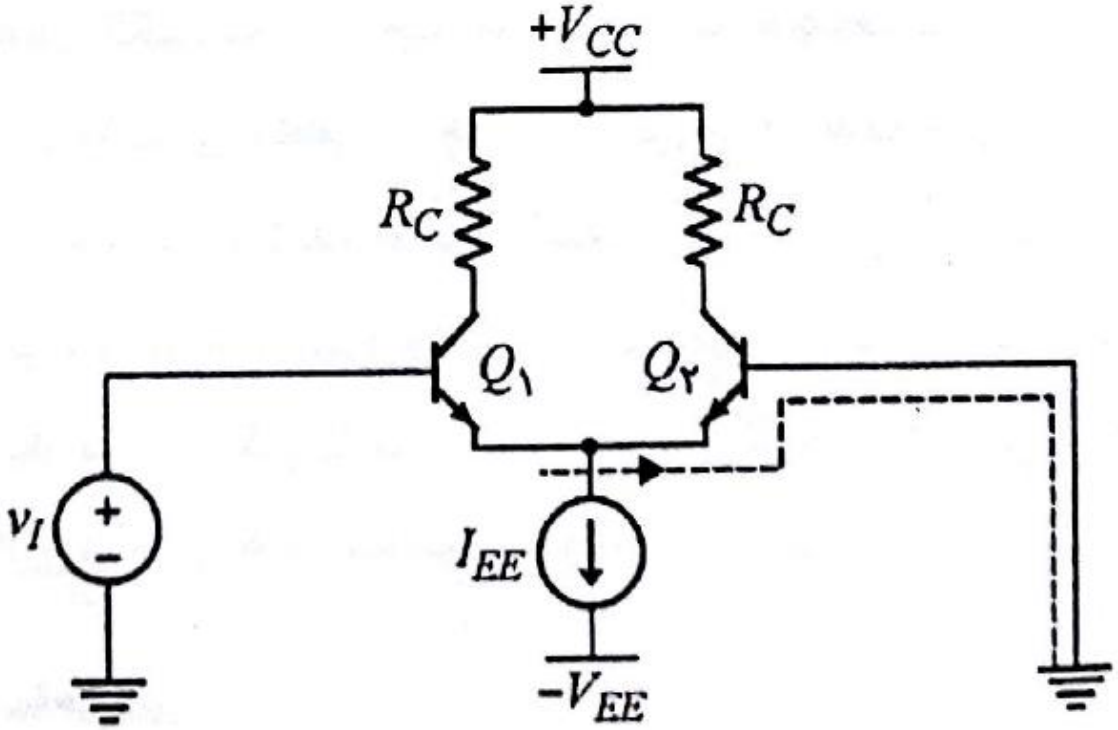
مزایا

- ✓ پایداری بایاس مطلوب
- ✓ بهره ولتاژ بالا
- ✓ عدم نیاز به خازن کوپلاژ برای اتصال طبقات

کاربرد

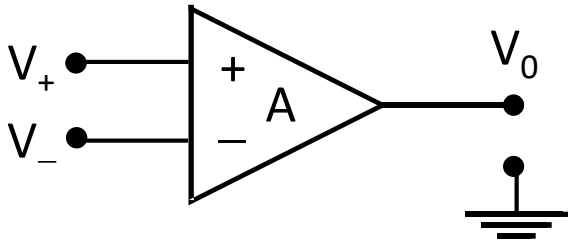
- ✓ تقویت کننده فرکانس بالا و پایین
- ✓ مدولاتور
- ✓ تقویت کننده عملیاتی

تقویت کننده تفاضلی-تعاریف اساسی



شکل۹-۱: نمایش اساس ساختمان یک تقویت‌کننده تفاضلی

Differential Amplifier $V_0 = A(V_+ - V_-)$



"Differential" $\Rightarrow V_0$ depends only on difference $(V_+ - V_-)$

$$v_{ID} = v_1 - v_2$$

$$v_{IC} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$V_{I1} = V_{IC} + \frac{V_{ID}}{2}$$

$$V_{I2} = V_{IC} - \frac{V_{ID}}{2}$$

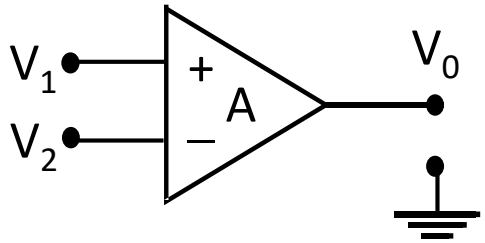
$$V_O = \frac{1}{2} A_d V_{ID} + A_c V_{IC}$$

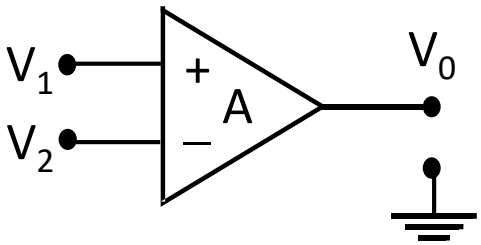
$$V_{OD} = V_{O1} - V_{O2}$$

$$V_{OC} = \frac{V_{O1} + V_{O2}}{2}$$

$$V_{O1} = V_{OC} + \frac{V_{OD}}{2}$$

$$V_{O2} = V_{OC} - \frac{V_{OD}}{2}$$





$$V_O = \frac{1}{2} A_d V_{ID} + A_c V_{IC}$$

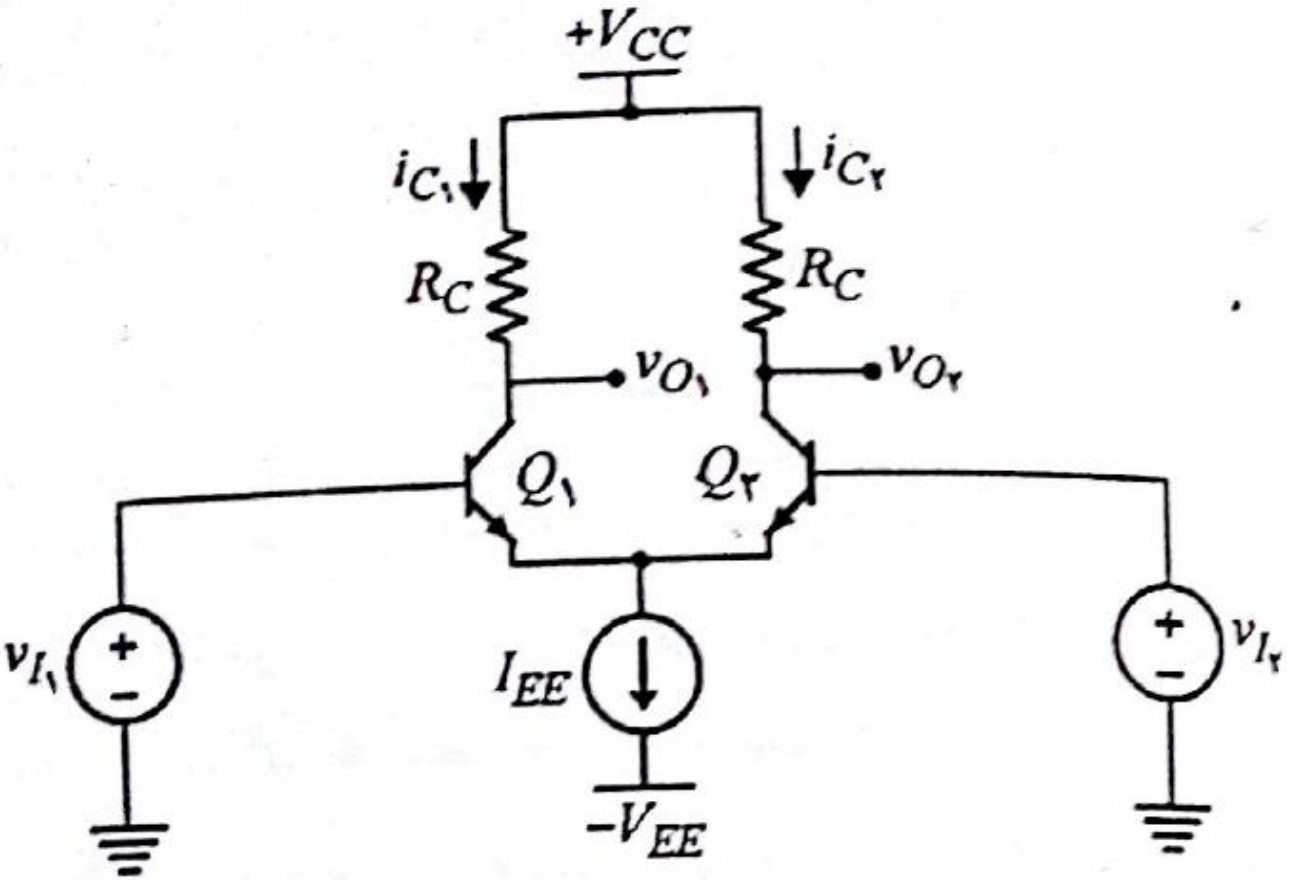
A_d بهره ولتاژ وجه تفاضل

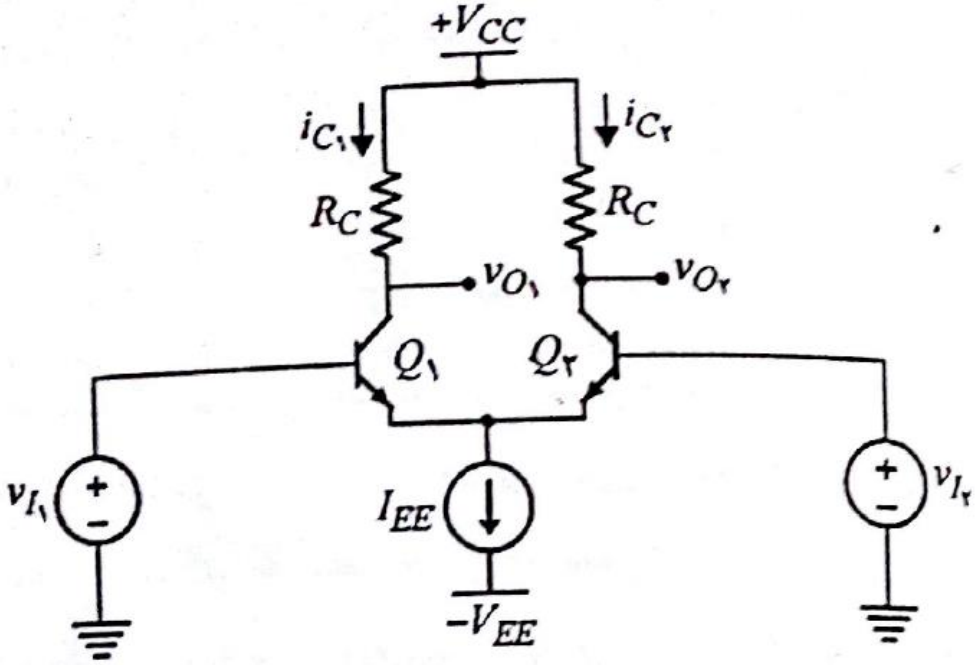
A_c بهره ولتاژ وجه مشترک

Common mode rejection rato (CMRR)

$$CMRR = \left| \frac{A_{VD}}{A_{VC}} \right|$$

تقویت کننده تفاضلی با ترانزیستور دوقطبی BJT

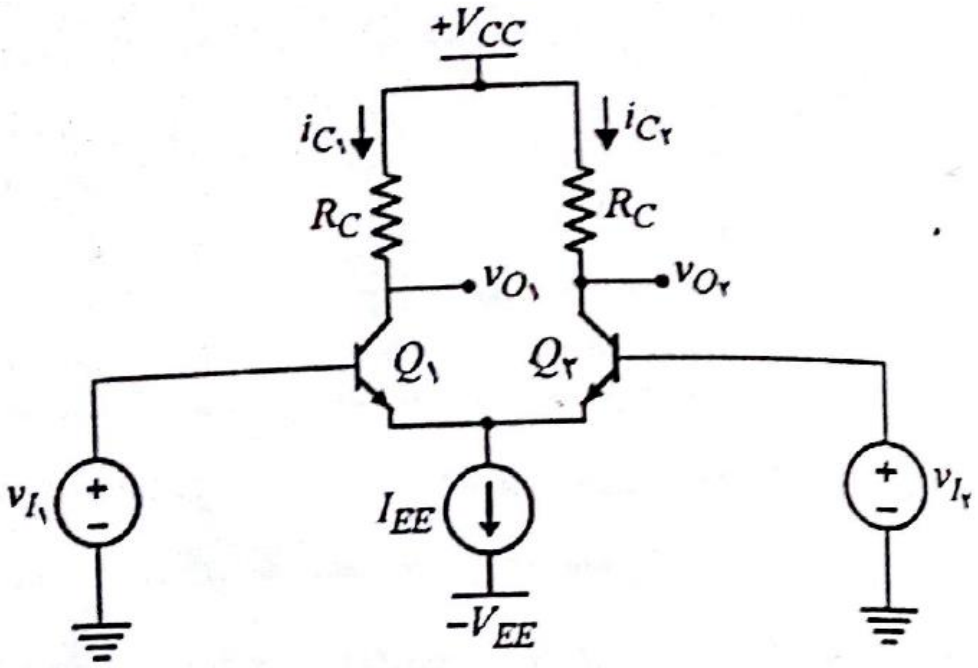




تساوی ولتاژهای ورودی

$$i_{C_1} = i_{C_2} = \alpha \frac{I_{EE}}{2}$$

$$v_{O_1} = v_{O_2} = V_{CC} - R_C \left(\alpha \frac{I_{EE}}{2} \right)$$



عدم تساوی ولتاژهای ورودی

$$i_{C_1} = \frac{\alpha I_{EE}}{2} + \Delta I$$

$$i_{C_2} = \frac{\alpha I_{EE}}{2} - \Delta I$$

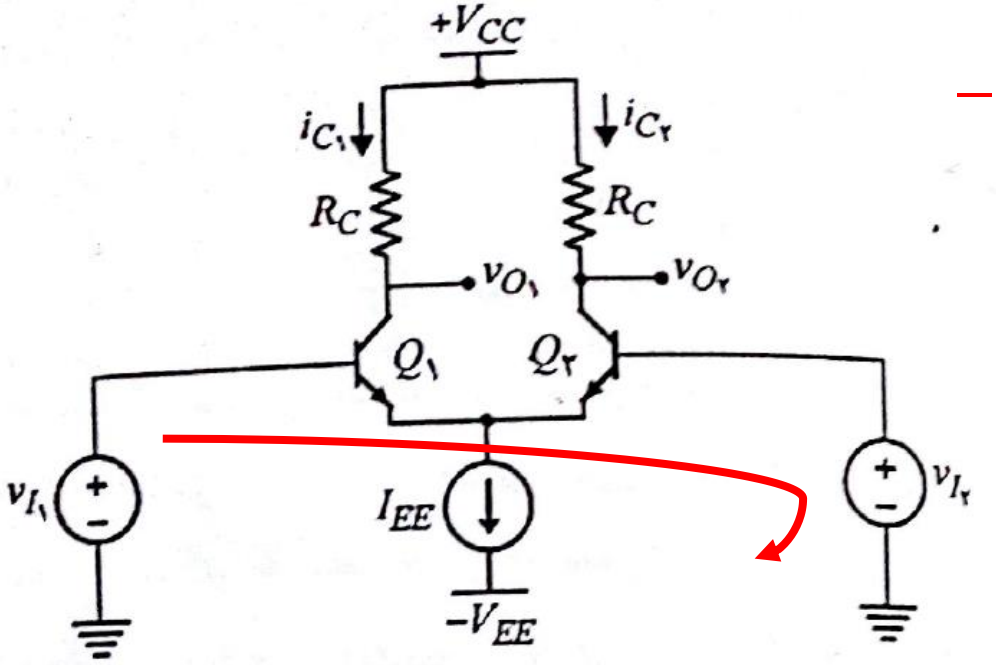
$$v_{O_1} = V_{CC} - \frac{\alpha R_C I_{EE}}{2} - R_C \Delta I$$

$$v_{O_2} = V_{CC} - \frac{\alpha R_C}{2} I_{EE} + R_C \Delta I$$

$$v_{OD} = v_{O_1} - v_{O_2} = -2 R_C \Delta I$$

تجزیه و تحلیل سیگنال بزرگ–

کننده تفاضلی با ترانزیستور دوقطبی BJT



KVL: $V_{I1} - V_{BE1} + V_{BE2} - V_{I2} = 0$

$$v_{BE_1} = V_T \ln \frac{i_{C_1}}{I_{S_1}}$$

$$v_{BE_2} = V_T \ln \frac{i_{C_2}}{I_{S_2}}$$

$$\frac{i_{C_1}}{i_{C_2}} = exp\left[\frac{v_{I_1} - v_{I_2}}{V_T}\right] = exp\left[\frac{v_{ID}}{V_T}\right]$$

1

$$\frac{i_{C_1}}{i_{C_2}} = exp\left(\frac{v_{I_1} - v_{I_2}}{V_T}\right) = exp\left(\frac{v_{ID}}{V_T}\right)$$

1

$$i_{C_1} + i_{C_2} = \alpha(i_{E_1} + i_{E_2}) = \alpha I_{EE}$$

2

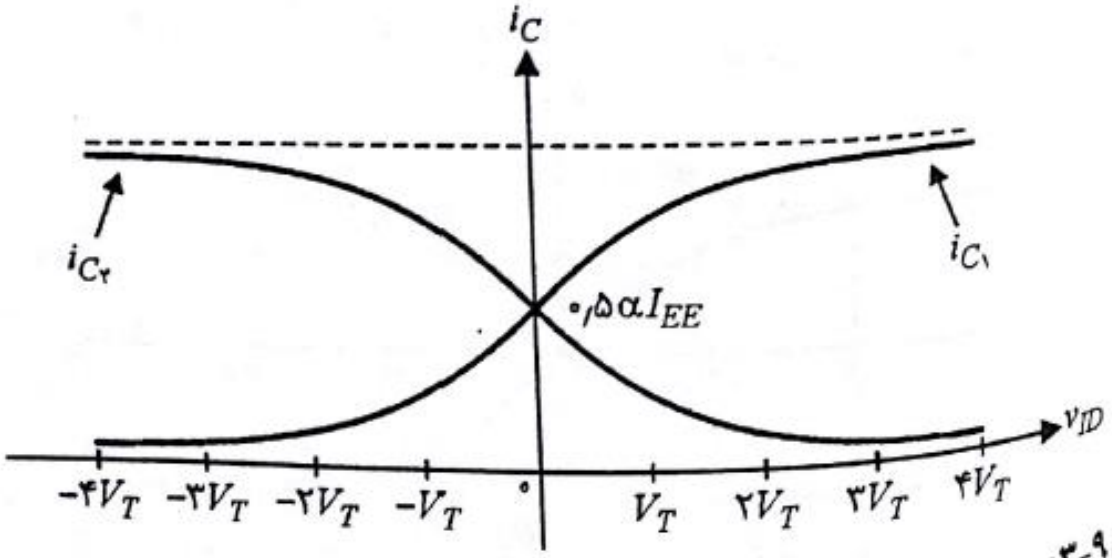
$$i_{C_1} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + i_{C_2}/i_{C_1}}$$

$$i_{C_1} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + exp\left(-\frac{v_{ID}}{V_T}\right)}$$

$$i_{C_2} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + exp\left(\frac{v_{ID}}{V_T}\right)}$$

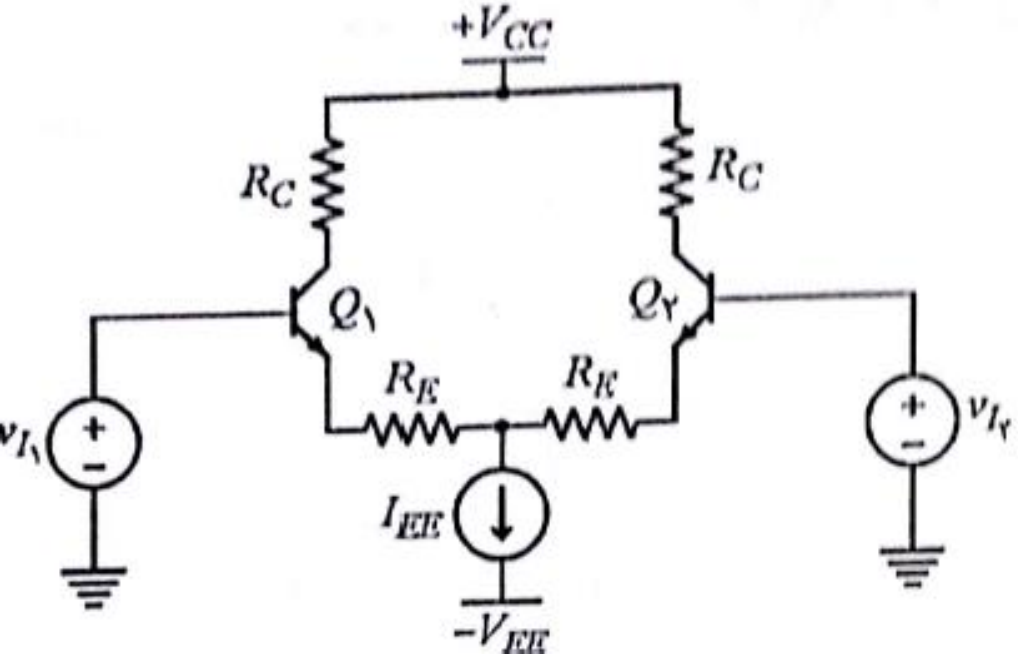
$$i_{C_1} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + exp\left(-\frac{v_{ID}}{V_T}\right)}$$

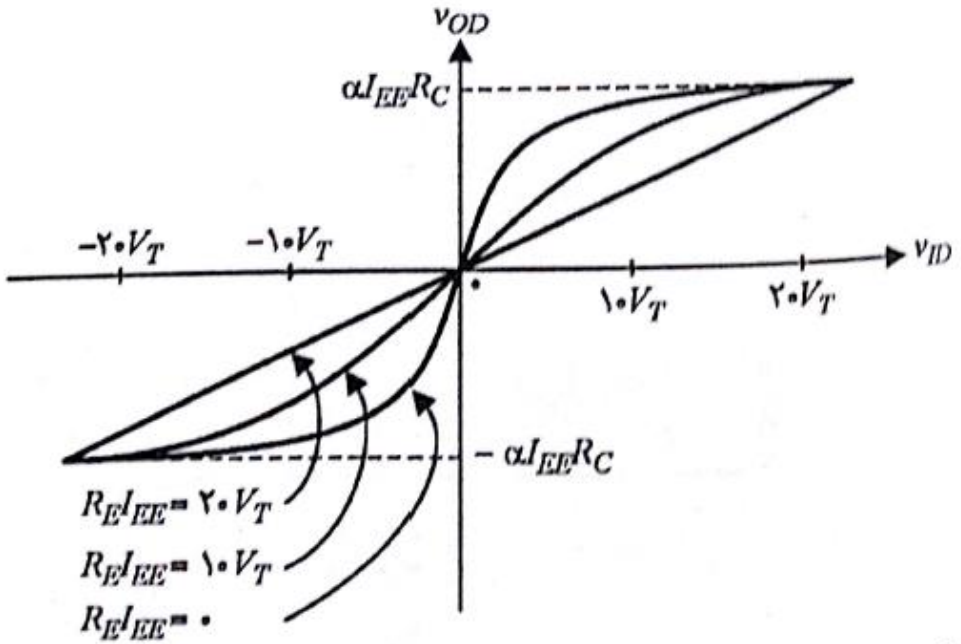
$$i_{C_2} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + exp\left(\frac{v_{ID}}{V_T}\right)}$$



شکل ۹-۳: نمایش تغییرات جریانهای کلکتور ترانزیستورها بر حسب تغییر دامنه سیگنال وجه تفاضل

افزودن دامنه خطی بودن ولتاژ ورودی





شکل ۹-۶: منحنی مشخصه تغییرات خروجی وجه تفاضل بر حسب ورودی وجه تفاضل و اثر مقاومت R_E در خطی‌تر کردن مشخصه

تجزیه و تحلیل سیگنال کوچک– تقویت کننده تفاضلی با ترانزیستور دوقطبی BJT

$$i_{C_1} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + e^{-v_{id}/V_T}}$$

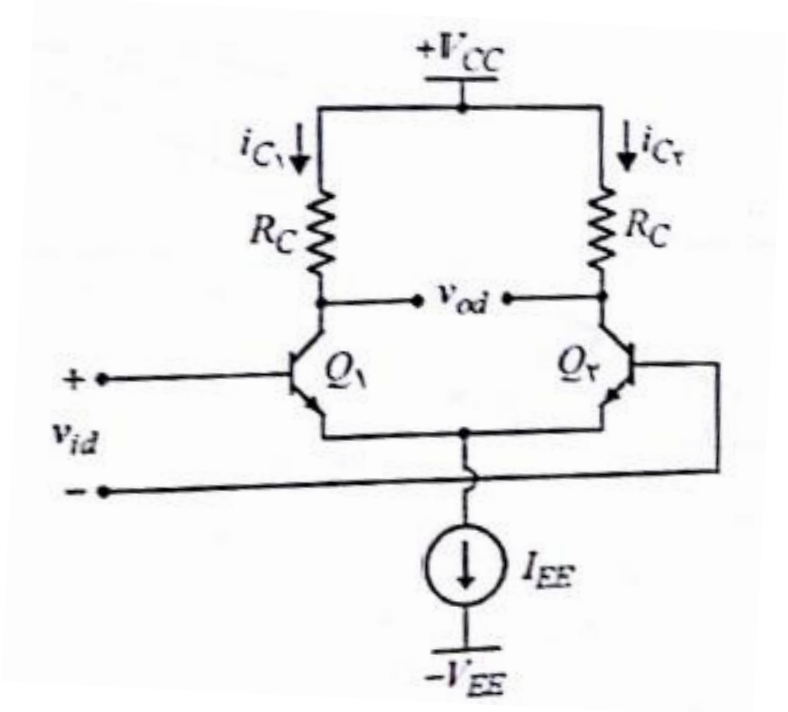
$$i_{C_2} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + e^{v_{id}/V_T}}$$

$$i_{C_1} = \frac{\alpha I_{EE} e^{v_{id}/2V_T}}{e^{v_{id}/2V_T} + e^{-v_{id}/2V_T}}$$

$$i_{C_1} \cong \frac{\alpha I_{EE}(1 + v_{id}/2V_T)}{1 + \frac{v_{id}}{2V_T} + 1 - \frac{v_{id}}{2V_T}}$$

$$V_{Id} \ll 2V_T$$

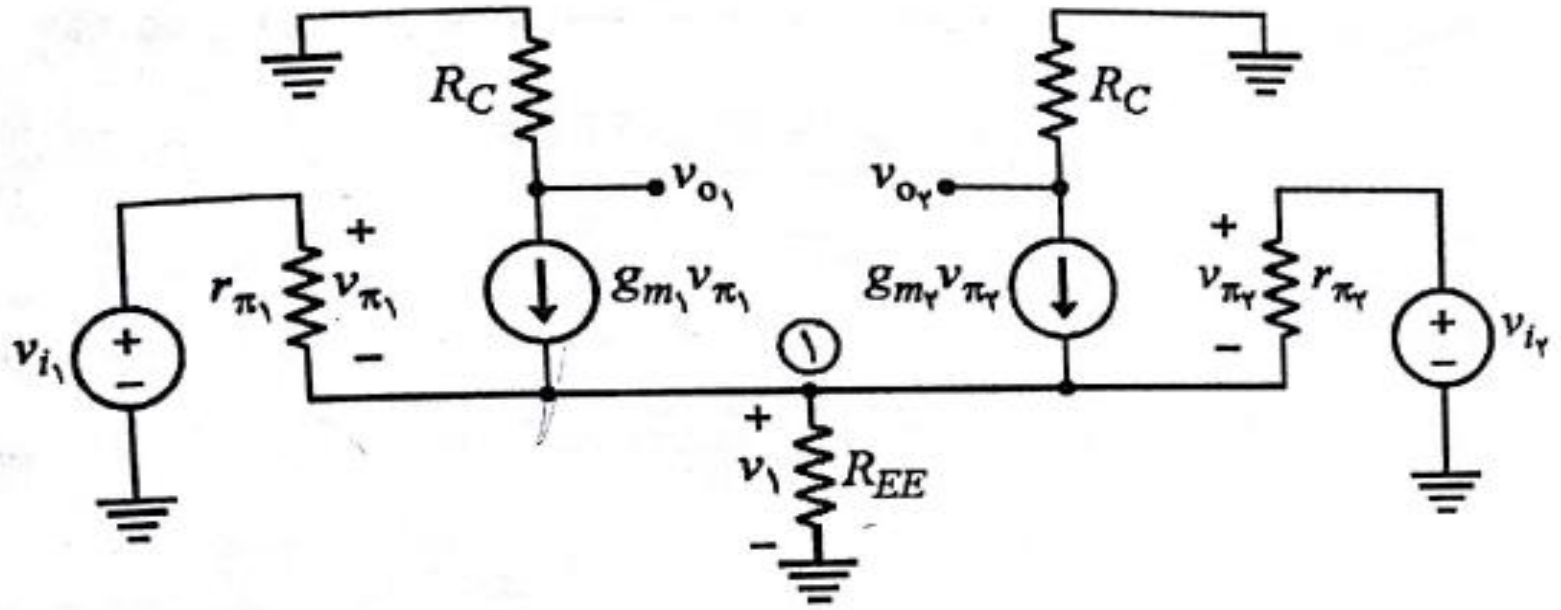
$$i_{C_1} \cong \frac{\alpha I_{EE}}{2} + \frac{\alpha I_{EE}}{2V_T} \cdot \frac{v_{id}}{2}$$



$$i_{C_1} \cong \frac{\alpha I_{EE}}{2} + \frac{\alpha I_{EE}}{2V_T} \cdot \frac{v_{id}}{2}$$

$$i_{C_2} \cong \frac{\alpha I_{EE}}{2} - \alpha \frac{I_{EE}}{2V_T} \cdot \frac{v_{id}}{2}$$

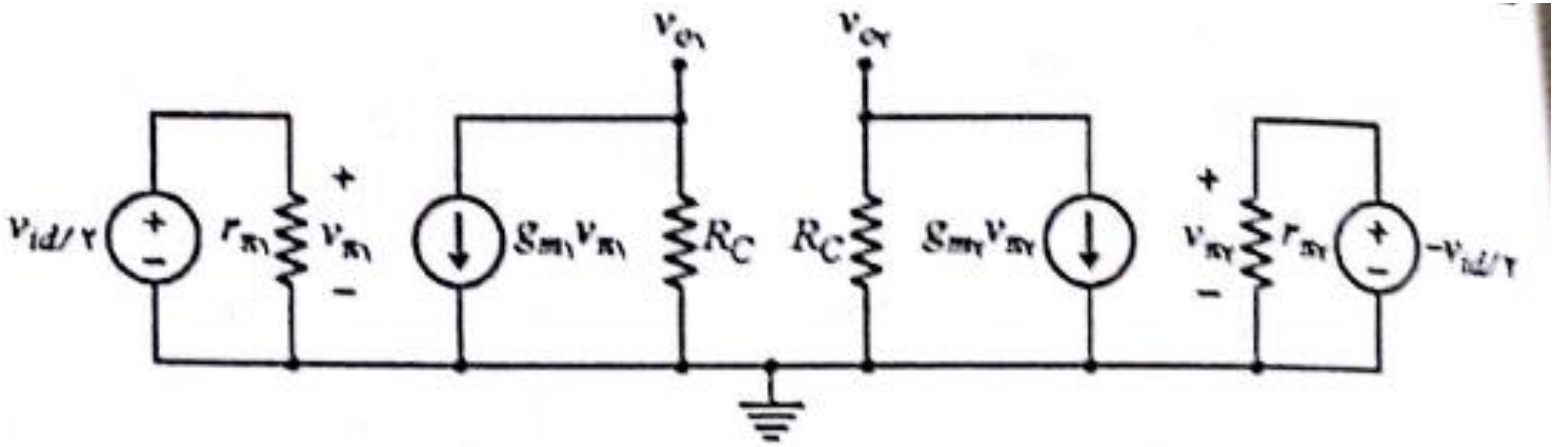
تجزیه و تحلیل سیگنال کوچک– تقویت کننده تفاضلی با ترانزیستور دوقطبی BJT
به کمک مدل π



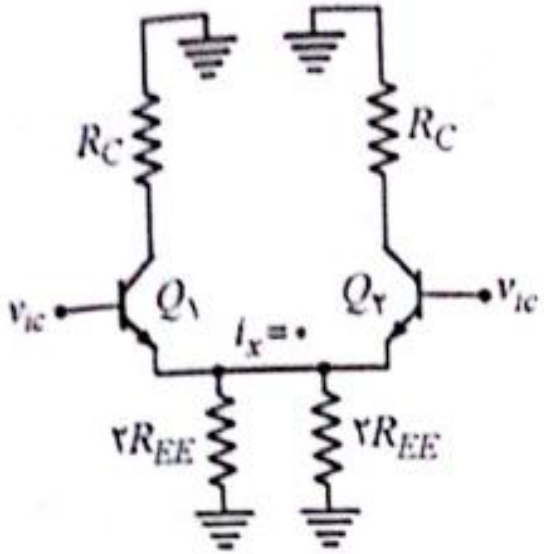
$$\frac{v_{i_1}-v_1}{r_\pi}+g_m(v_{i_1}-v_1)+g_m(v_{i_2}-v_1)+\frac{v_{i_2}-v_1}{r_\pi}-\frac{v_1}{R_{EE}}=0$$

$$v_1=\frac{v_{i_1}+v_{i_2}}{2+\dfrac{1}{g_mR_{EE}\left(1+\dfrac{1}{h_{fe}}\right)}}\cong\frac{v_{i_1}+v_{i_2}}{2+\dfrac{1}{g_mR_{EE}}}$$

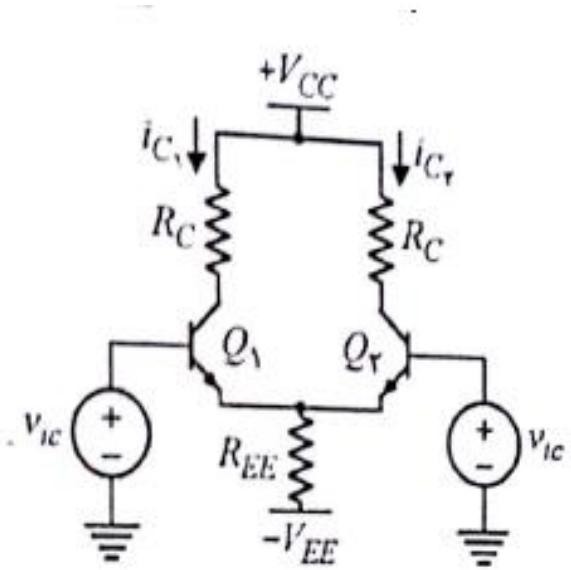
مدار معادل سیگنال کوچک از دید وجه تفاضل



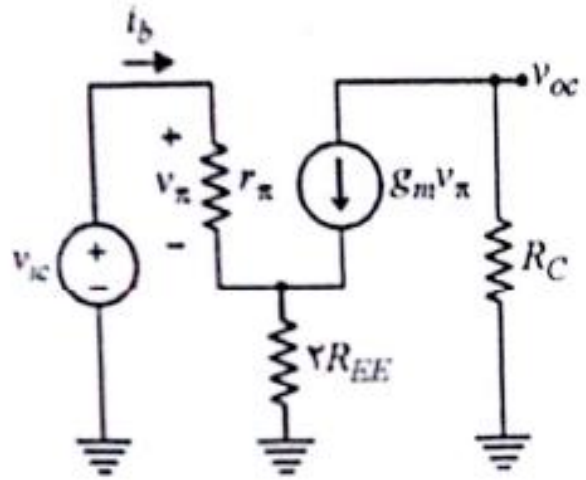
مدار معادل سیگنال کوچک از دید وجه مشترک



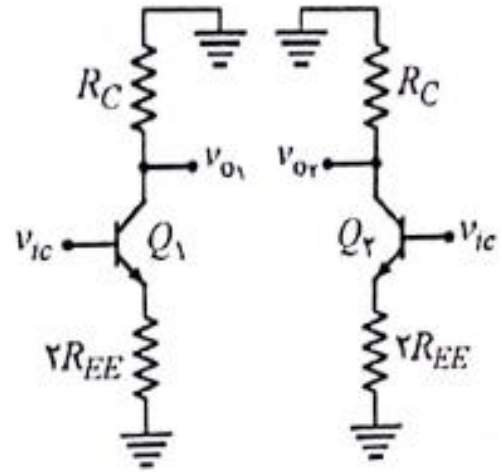
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

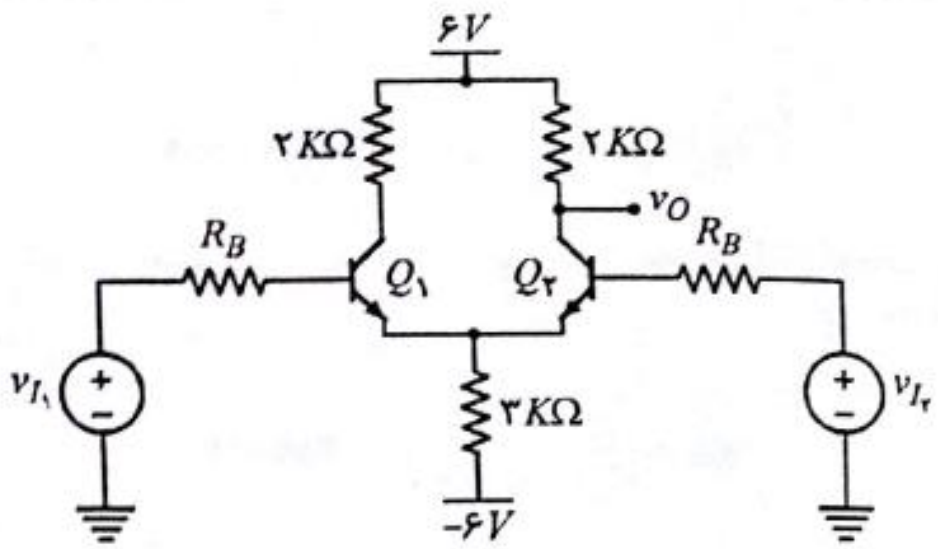
مثال

با فرض تشابه ترانزیستورها و RB=100Ω و hfe1=hfe2=100 و VBE1=VBE2=0.7
و Vi1=-1+acos wt و Vi2=-1-acos wt مطلوبست

الف) جریان بایاس کلکتور ترانزیستورها

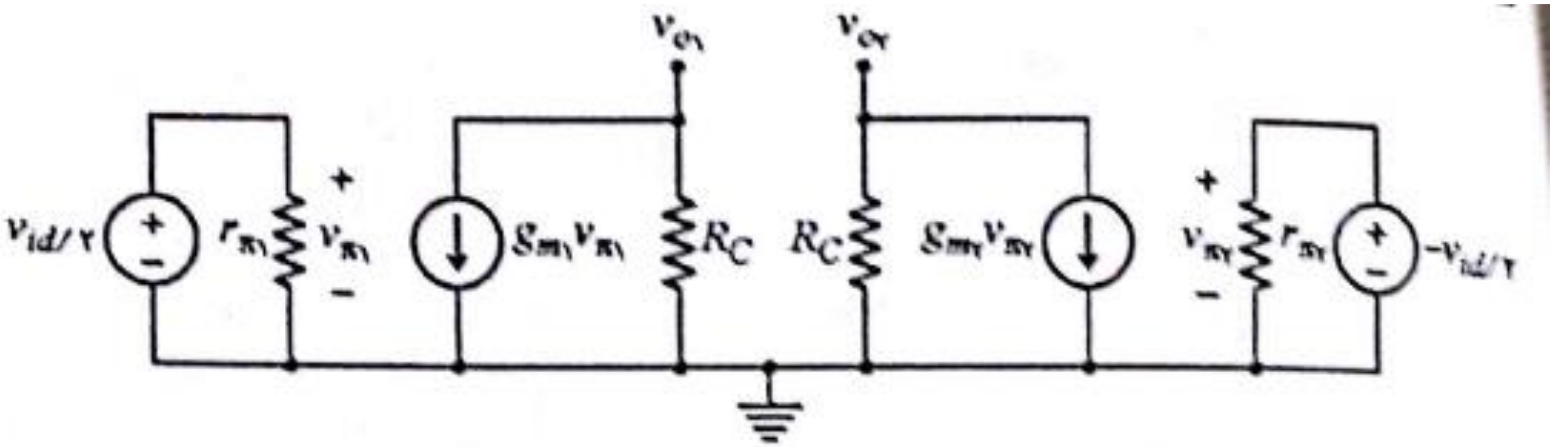
ب)بهره ولتاژ Ad وAc و CMRR

ج)ولتاژ کل خروجی



شکل۹-۱۱: مدار مثال ۹-۱

مقاومت ورودی تقویت کننده تفاضلی



$$\frac{v_{id}}{2} = r_\pi i_b$$

$$R_{id} = \frac{v_{id}}{i_b} = 2r_\pi$$

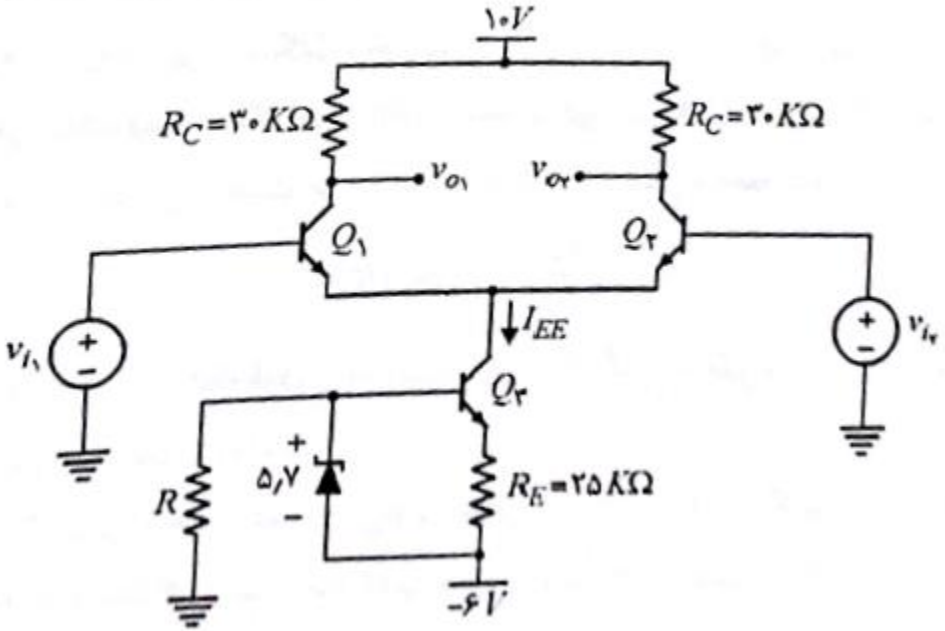
سوال نشان دهید مقاومت ورودی مد مشترک به صورت زیر محاسبه می شود:

$$R_{ic} = \frac{r_\pi}{2} + (1 + h_{fe}) R_{EE}$$

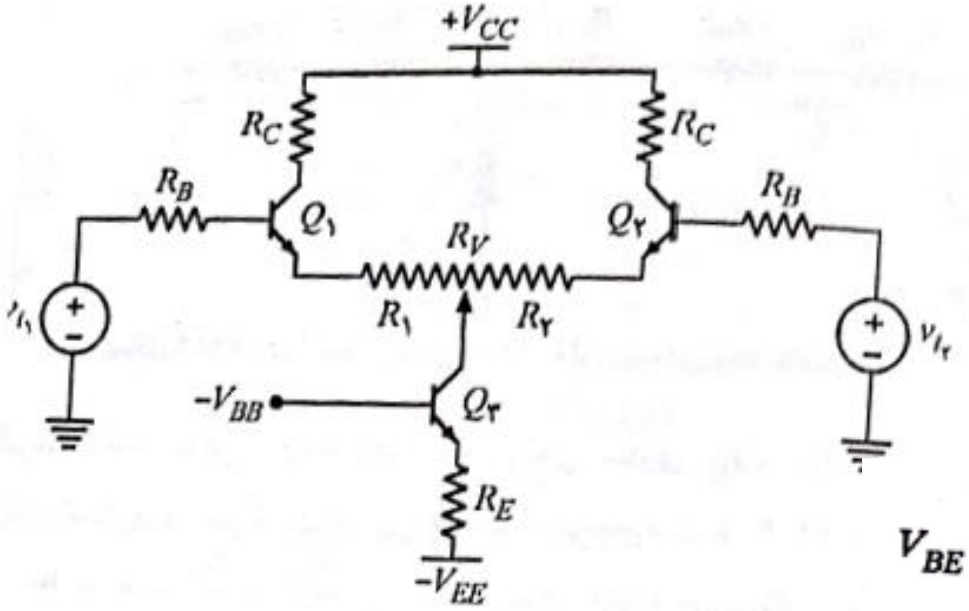
مثال ۹-۴: در مدار شکل ۹-۱۷ با فرض اینکه برای هر سه تر انزیستور $h_{fe}=۱۰۰$ و برای $Q_۳$ $V_A=۱۰۰\ V$ باشد و خروجیهای $v_{o_۱}$ و $v_{o_۲}$ به ترتیب به ورودیهای $v_{i_۱}$ و $v_{i_۲}$ یک تقویت‌کننده دیفرانسیلی مشابه وصل شوند.

الف) مقاومتهای ورودی R_{ic} و R_{id} را به دست آورید.

ب) بهره ولتاژهای A_d ، A_c و $CMRR$ (بر حسب dB) مدار را محاسبه کنید.



تقویت کننده تفاضلی با ترانزیستورهای غیر یکسان



$$V_{BE_1} + \left(\frac{R_B}{h_{fe_1}} + R_1\right) I_{E_1} = \left(\frac{R_B}{h_{fe_2}} + R_2\right) I_{E_2} + V_{BE_2}$$

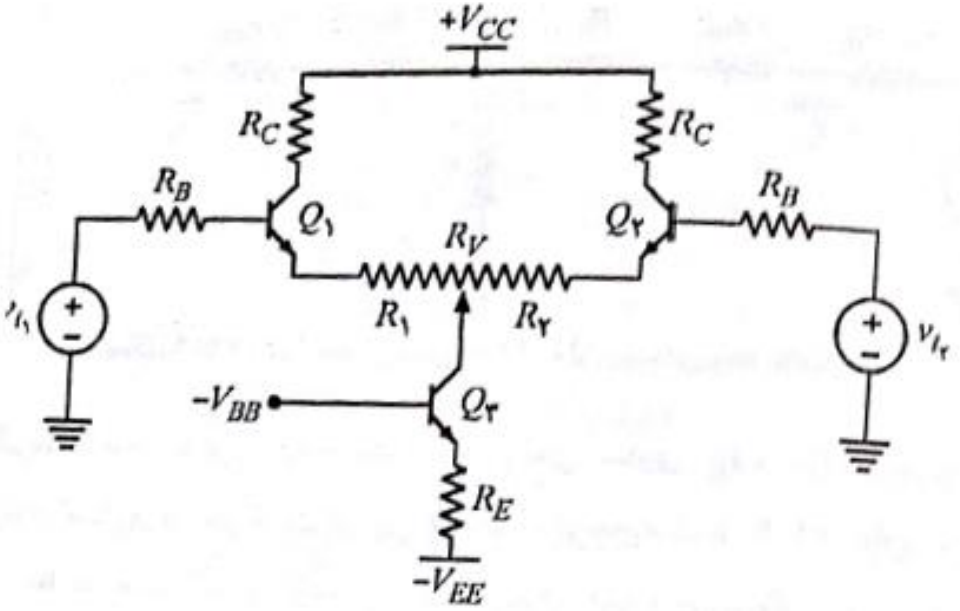
با شرط $I_{E_1} = I_{E_2}$ و $V_{BE_1} = V_{BE_2}$.

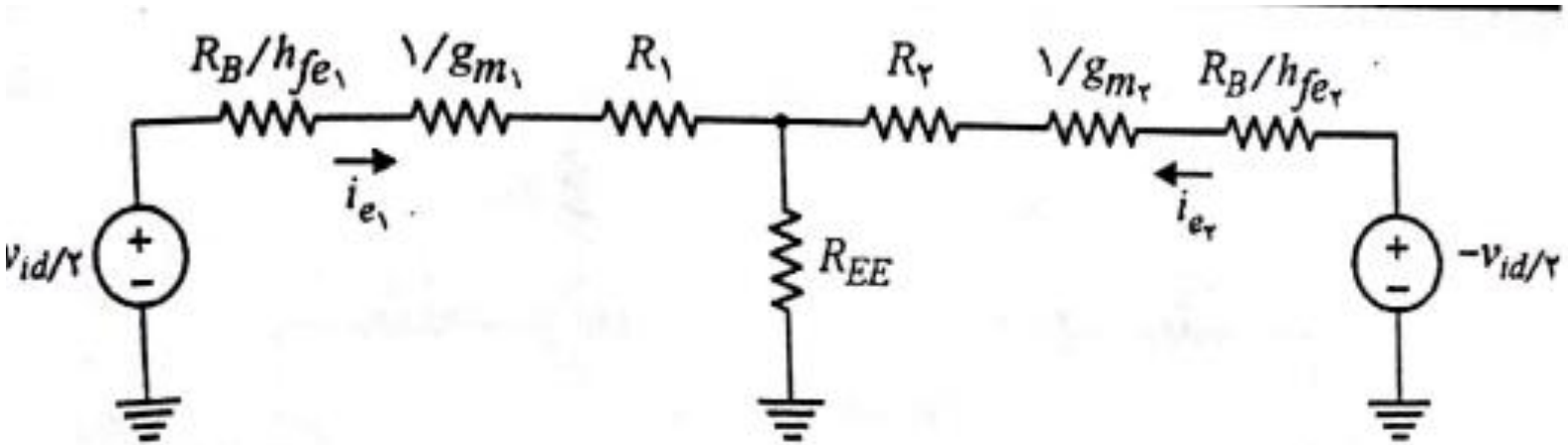
$$R_2 - R_1 = R_B \left(\frac{1}{h_{fe_1}} - \frac{1}{h_{fe_2}}\right)$$

$$R_V = R_1 + R_2$$

$$R_1 = \frac{R_V}{2} - \frac{R_B}{2}\left(\frac{1}{h_{fe_1}} - \frac{1}{h_{fe_2}}\right)$$

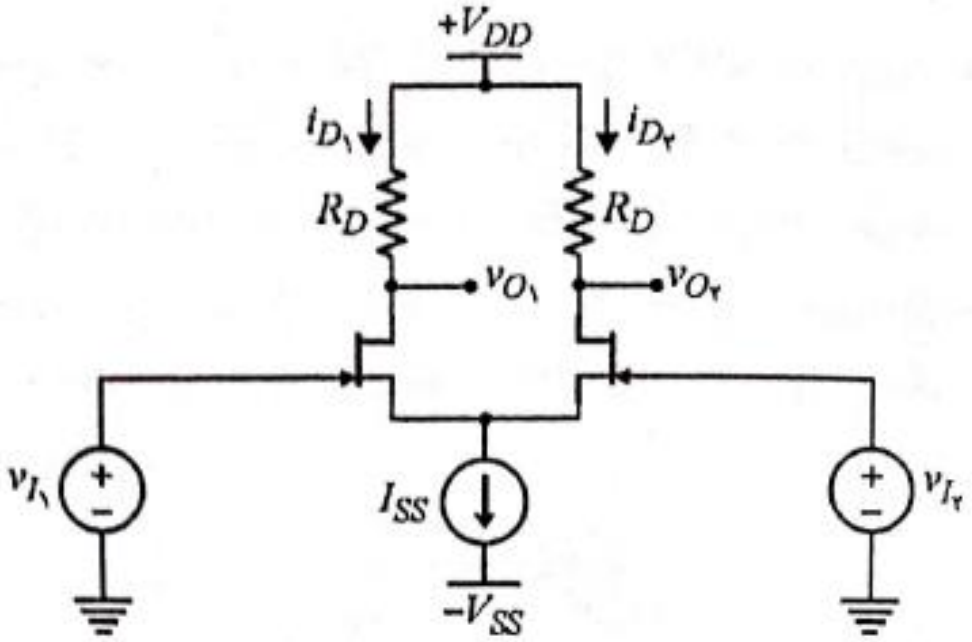
$$R_2 = \frac{R_V}{2} + \frac{R_B}{2}\left(\frac{1}{h_{fe_1}} - \frac{1}{h_{fe_2}}\right)$$





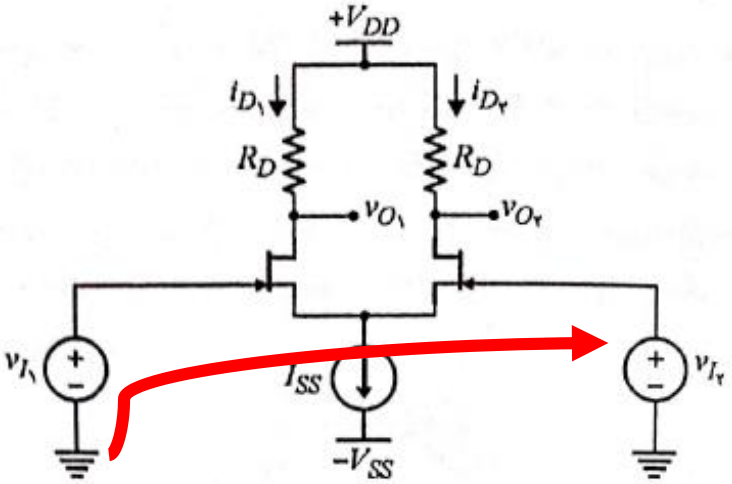
شکل۹-۱۹: مدار معادل شکل ۹-۱۸ به ازای ورودی وجه تفاضل

تقویت کننده تفاضلی با JFET



شکل ۹-۲۰: تقویت‌کننده تفاضلی با ترانزیستورهای NJFET

تقویت کننده تفاضلی با JFET –تجزیه و تحلیل سیگنال بزرگ



شکل ۹-۲۰: تقویت‌کننده تفاضلی با ترانزیستورهای NJFET

$$i_D = I_{DSS}\left(1-\frac{v_{GS}}{V_P}\right)^2$$

$$v_{I_1} - v_{GS_1} + v_{GS_2} - v_{I_2} = 0$$

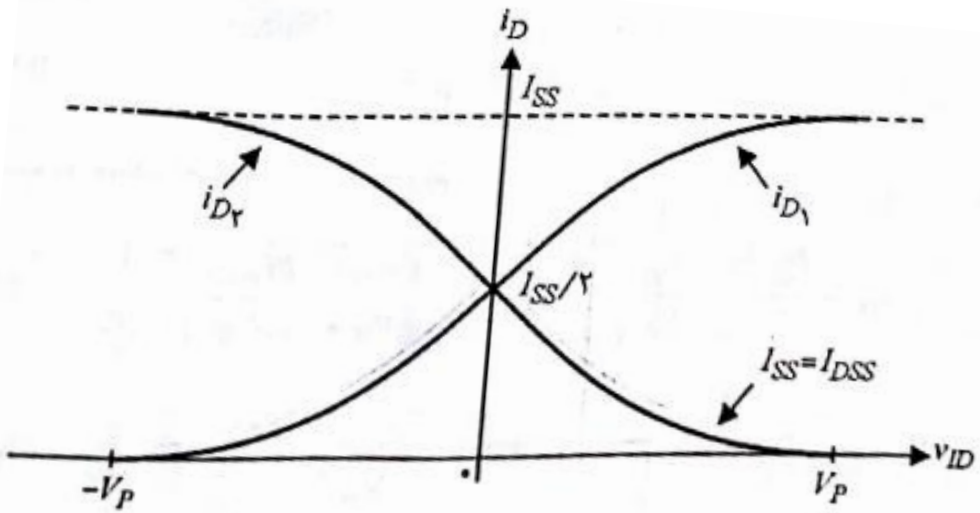
$$v_{ID} = v_{I_1} - v_{I_2} = -V_P\left(\sqrt{\frac{i_{D_1}}{I_{DSS}}} - \sqrt{\frac{i_{D_2}}{I_{DSS}}}\right)$$

$$i_{D_1} = \frac{I_{SS}}{2}\left[1+\frac{v_{ID}}{V_P}\sqrt{2\left(\frac{I_{DSS}}{I_{SS}}\right) - \left(\frac{v_{ID}}{V_P}\right)^2\left(\frac{I_{DSS}}{I_{SS}}\right)^2}\right]$$

$$i_{D_2} = \frac{I_{SS}}{2}\left[1-\frac{v_{ID}}{V_P}\sqrt{2\left(\frac{I_{DSS}}{I_{SS}}\right) - \left(\frac{v_{ID}}{V_P}\right)^2\left(\frac{I_{DSS}}{I_{SS}}\right)^2}\right]$$

$$i_{D_1} = \frac{I_{SS}}{2}\left[1 + \frac{v_{ID}}{V_P}\sqrt{2\left(\frac{I_{DSS}}{I_{SS}}\right) - \left(\frac{v_{ID}}{V_P}\right)^2\left(\frac{I_{DSS}}{I_{SS}}\right)^2}\right]$$

$$i_{D_2} = \frac{I_{SS}}{2}\left[1 - \frac{v_{ID}}{V_P}\sqrt{2\left(\frac{I_{DSS}}{I_{SS}}\right) - \left(\frac{v_{ID}}{V_P}\right)^2\left(\frac{I_{DSS}}{I_{SS}}\right)^2}\right]$$

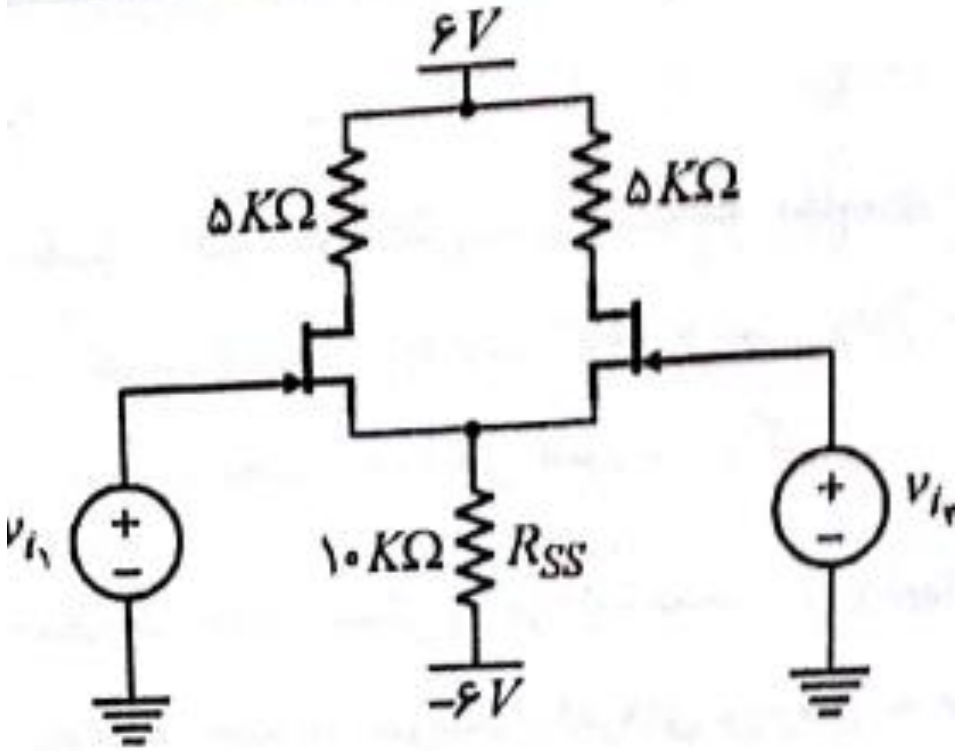


شکل۹-۲۱: منحنی تغییرات جریان درین ترانزیستورها بر حسب v_{ID}

تقویت کننده تفاضلی با JFET –تجزیه و تحلیل سیگنال کوچک

مشابه BJT از روش نیم مدار استفاده می کنیم

مثال ۹-۶: در مدار شکل ۹-۲۲، با فرض $V_P = -2V$ و $I_{DSS} = 2mA$، مقادیر A_d، A_c و $CMRR$ (بر حسب dB) را به دست آورید.



شکل ۹-۲۲: مدار مثال ۹-۶