



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

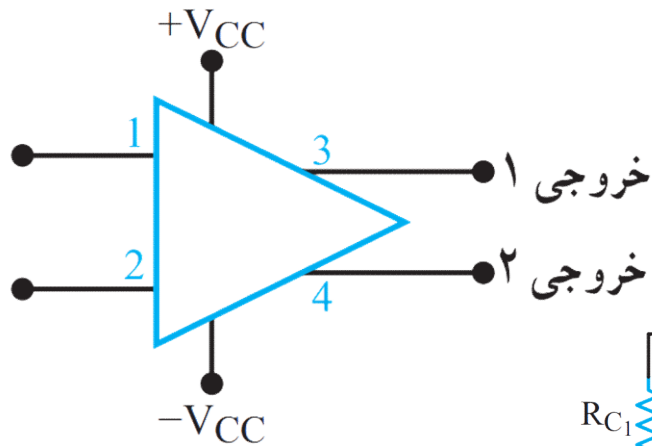
الکترونیک ۲

۱- تقویت کننده‌های تفاضلی

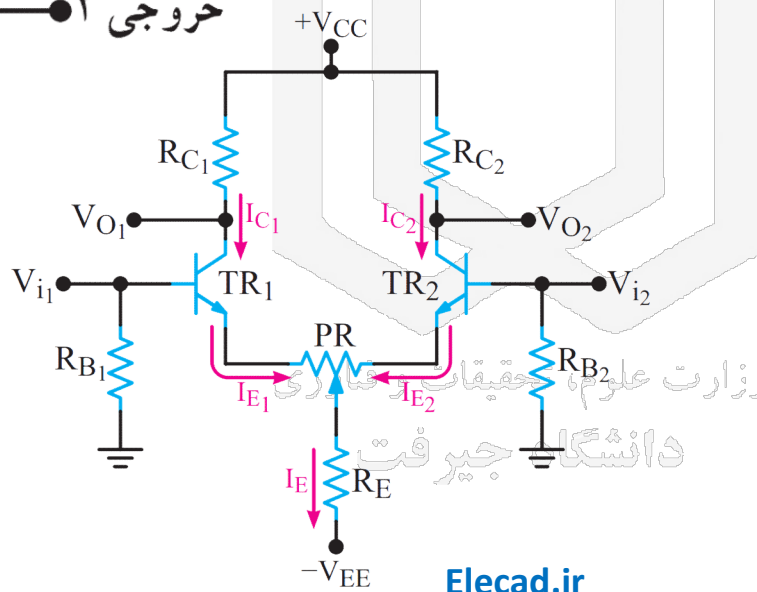
درس: مباحث مدارهای تفاضلی



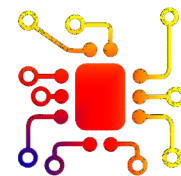
تقویت کننده تفاضلی



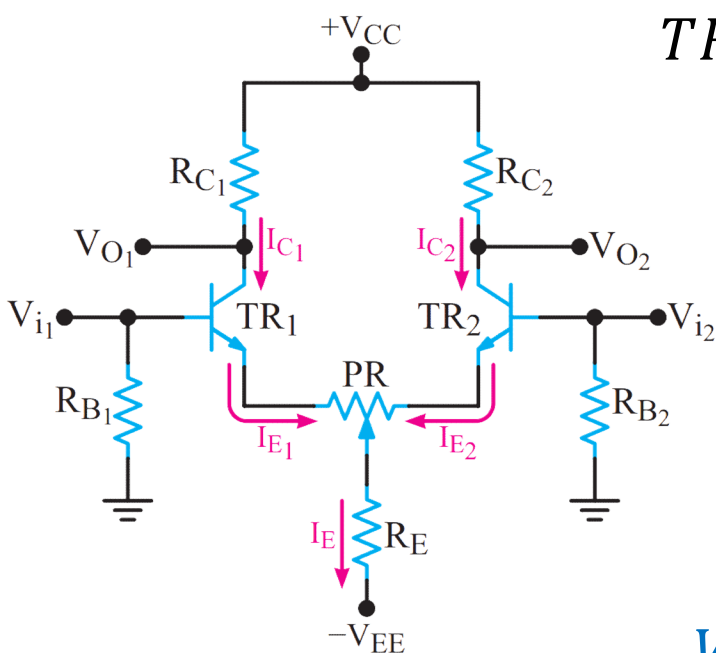
- دو ترمینال ورودی و دو ترمینال خروجی در شکل
- اختلاف ولتاژ ورودی در اختلاف ولتاژ دو ترمینال خروجی مؤثر است.



- مدار تقویت کننده تفاضلی
- دو ورودی
- دو خروجی
- دو پایه تغذیه



رفتار DC تقویت کننده تفاضلی



- دو نیمه مثل هم $TR_1 = TR_2, R_{B1} = R_{B2}, R_{C1} = R_{C2}$
- مقاومت امیتر R_E مشترک است.

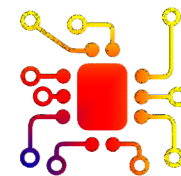
- اگر سیگنال ورودی نداشته باشیم:

$$I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_E}{2}$$

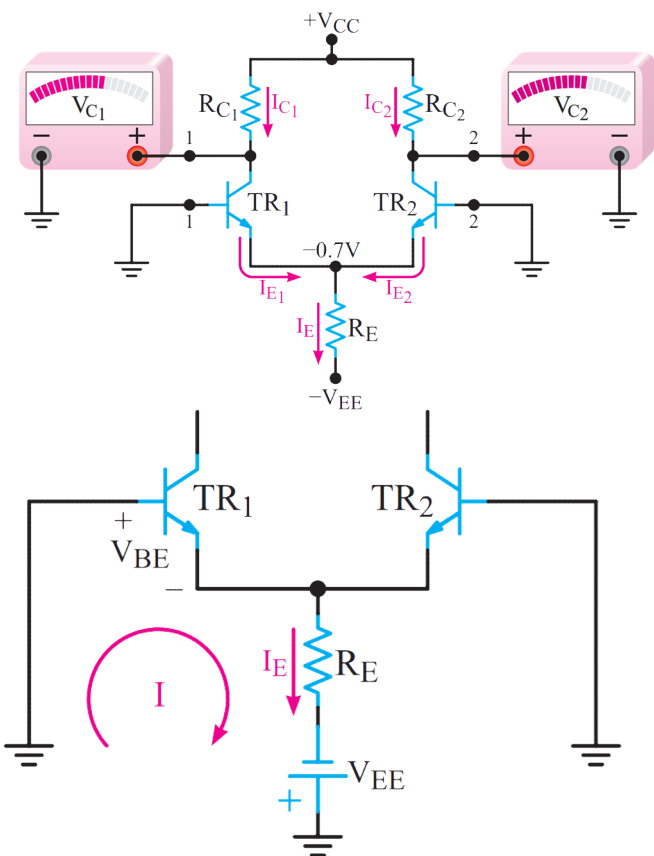
- β خیلی زیاد است \leftarrow صرف نظر از جریان بیس:

$$I_{C1} = I_{C2} = I_{E1} = I_{E2}$$

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - R_{C1}I_{C1} = V_{CC} - R_{C2}I_{C2}$$



تحلیل DC



- هر دو ورودی (بیس ترانزیستورها) را زمین می‌کنیم.
- ولتاژ امیتر -0.7 می‌شود.

$$I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_E}{2}$$

- معادله KVL در حلقه نشان داده شده:

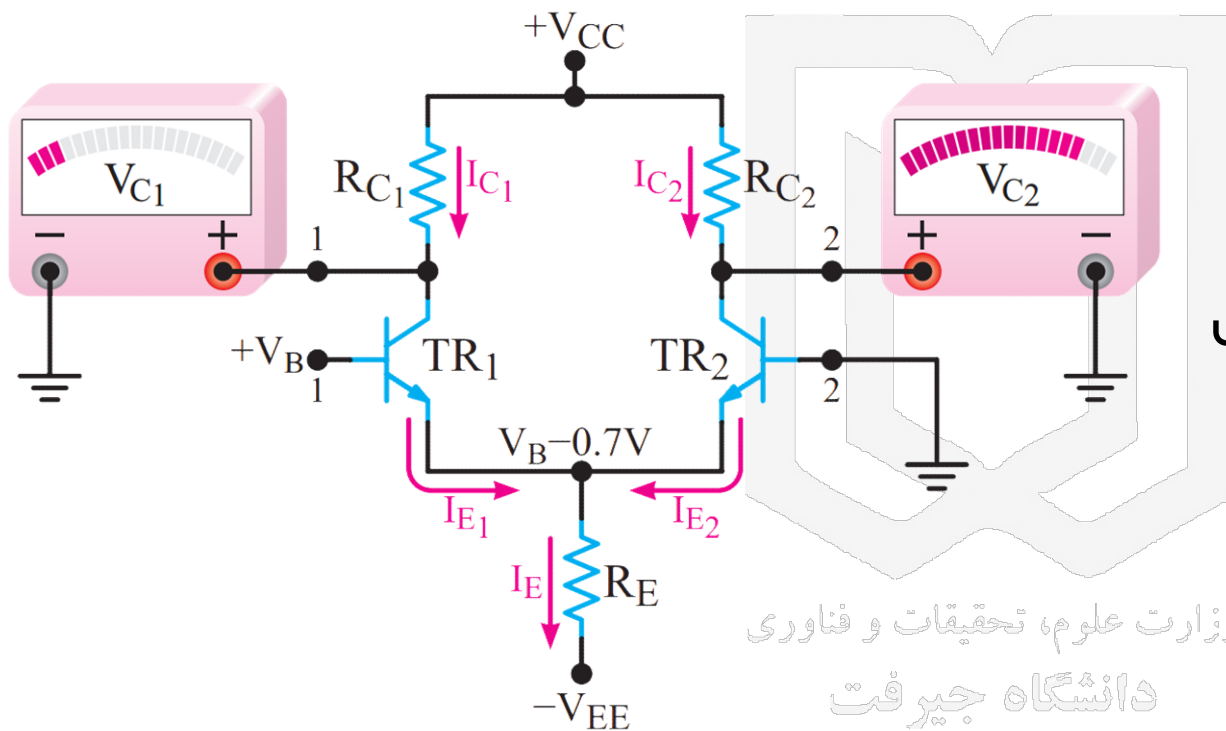
$$+V_{BE} + R_E I_E - V_{EE} = 0 \Rightarrow I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

$$\Rightarrow I_{C1} = I_{C2} = I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_E}{2}$$

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - R_{C1} I_{C1} = V_{CC} - R_{C2} I_{C2}$$



اعمال ولتاژ به V_{B1}

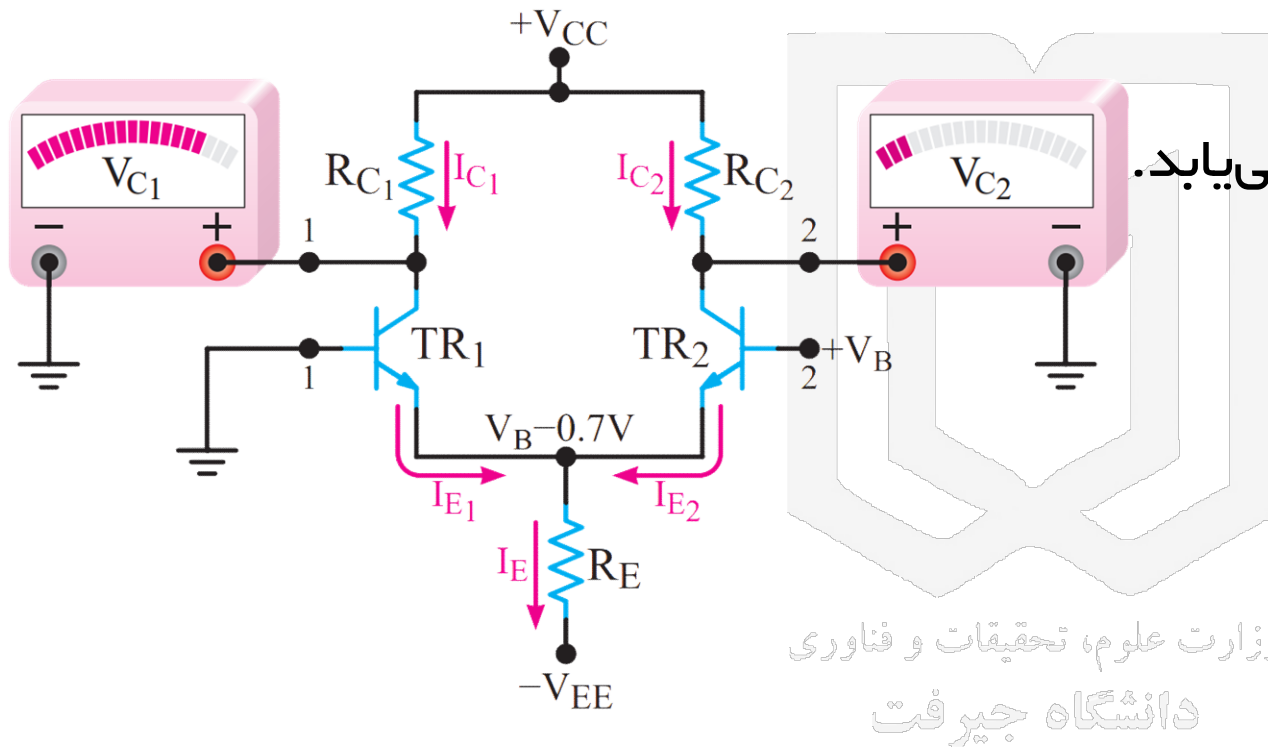


وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

1. افزایش I_{B1}
2. افزایش I_{E1}, I_{C1}
3. افزایش V_E و کاهش V_{C1}
4. کم شدن ولتاژ بایاس بیس امیتر TR_2 (V_{BE})
5. کاهش I_{B2}
6. کاهش I_{C2}
7. افزایش V_{C2}



اعمال ولتاژ به V_{B2}

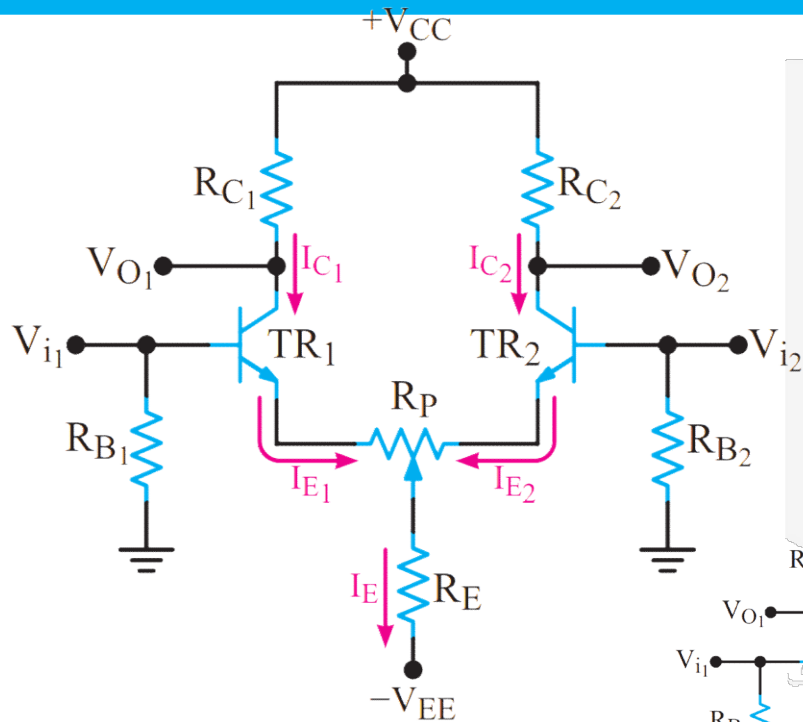


• برعکس حالت قبل:

• V_{C1} افزایش و V_{C2} کاهش می‌یابد.



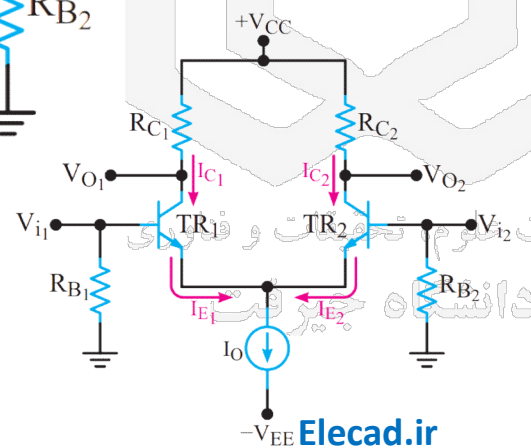
عدم تساوی HFE ها



• منجر به تفاوت در ولتاژ جریان‌های دو طرف تفاضلی می‌شود.

• با گذاشتن یک پتانسیومتر می‌توان به استفاده کننده اجازه جبران این تفاوت را داد.

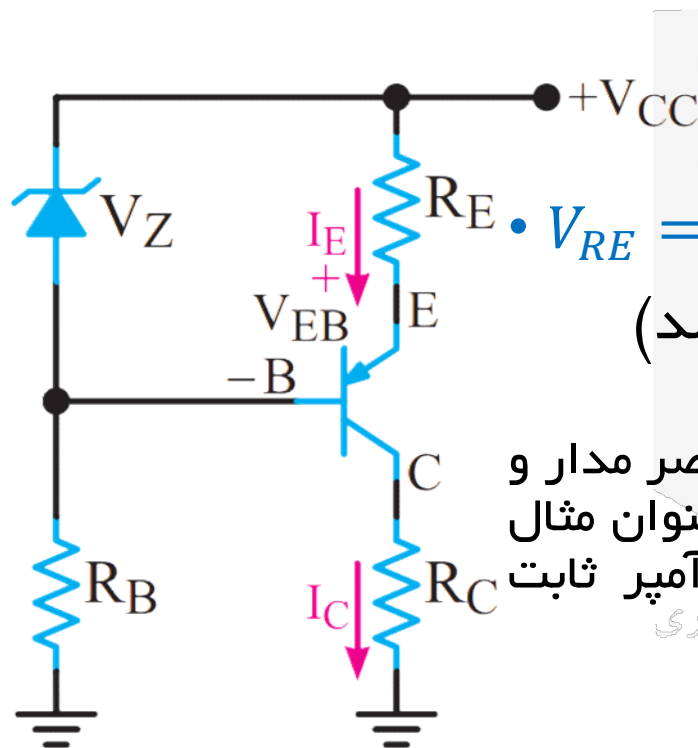
• بعضی به جای R_E از منبع جریان استفاده می‌کنند.



$$I_O \text{ ثابت} \Rightarrow I_{E1} \uparrow \Rightarrow I_{E2} \downarrow, I_{E2} \downarrow \Rightarrow I_{E2} \uparrow$$



مدار منبع جریان



• مداری که جریان آن به مقاومت بار بستگی ندارد.

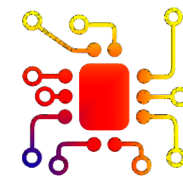
• ولتاژ دو سر R_E :

$$V_{RE} = R_E I_E = V_Z - V_{EB} \quad \text{تقریباً ثابت}$$

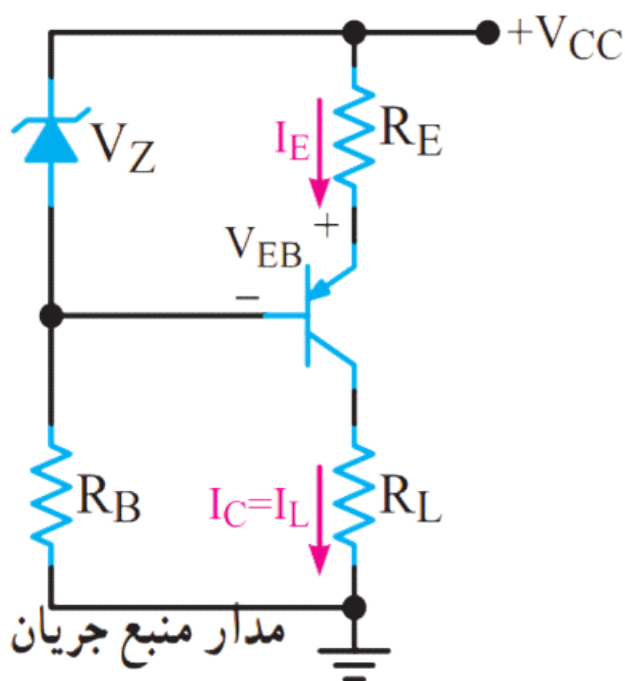
• اگر مقاومت بار به کلکتور وصل شود (همان R_C باشد) جریان آن در محدوده معینی ثابت است.

• مانند هر پدیده دیگر، منبع جریان محدودیت دارد، عناصر مدار و حدود ولتاژ ورودی، شرایط مدار را تعیین میکند. به عنوان مثال یک منبع جریان میتواند جریان را روی ۱۰ میلی آمپر ثابت نگهدارد، در صورتیکه مقدار بار بین مقادیر زیر باشد:

$$R_{L1} = 100\Omega \text{ تا } R_{L2} = 1k\Omega$$



حل تمرین-منبع جریان



• جریان بار را در مدار زیر به دست آورید:

$$V_Z = R_E I_E + V_{EB}$$
$$I_E = \frac{V_Z - V_{EB}}{R_E} = \frac{(6.2 - 0.7)}{1.1} = 5mA$$

$$I_L = I_C \approx I_E = 5mA$$

• تحقیق: آیا مدار مجتمع تقویت کننده
تفاضلی وجود دارد؟

$$V_{CC}=+12V$$

$$V_{EB}=+0.7V$$

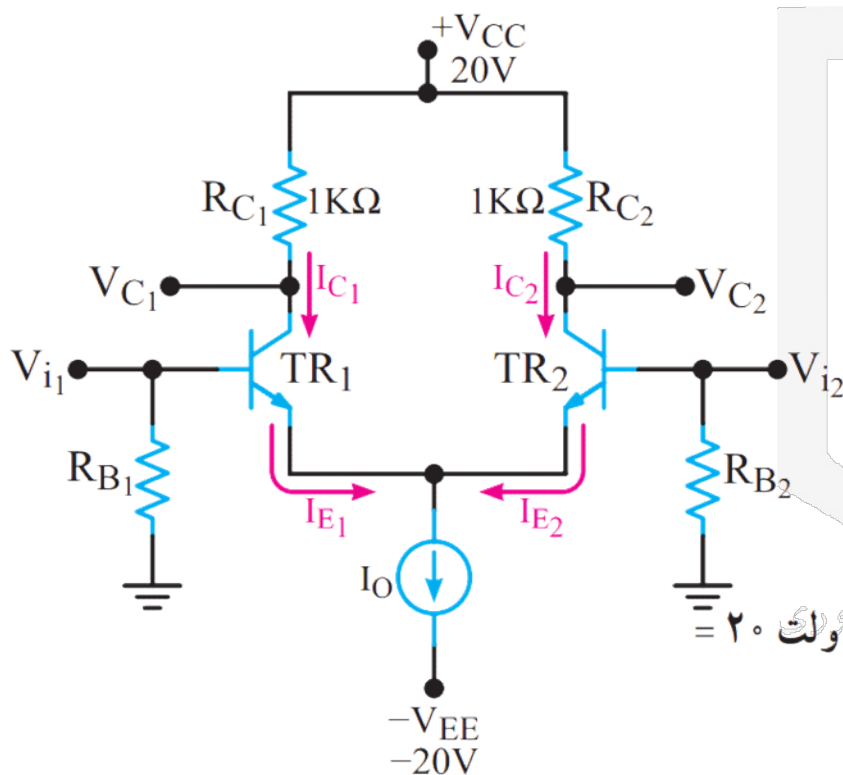
$$V_Z=6.2V$$

$$R_E=1.1K\Omega$$

$$R_L=1K\Omega$$



حل تمرین-تقویت کننده تفاضلی



• در این مدار اگر منبع جریان $10mA$ باشد، به شرط تقارن دو نیمه، V_{C1} چقدر است؟

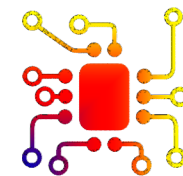
محاسبه I_E هر ترانزیستور:

$$I_O = 10mA \Rightarrow I_{E1} + I_{E2} = I_O = 10mA$$

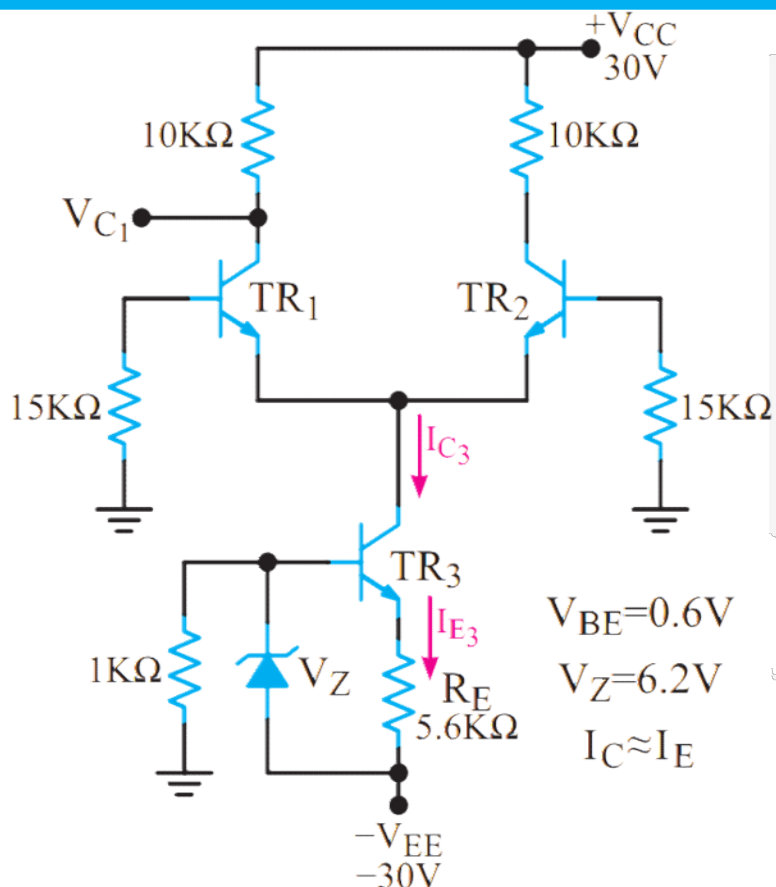
$$\Rightarrow I_{E1} = I_{E2} = \frac{I_O}{2} = 5mA$$

محاسبه V_C :

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - R_C I_C \Rightarrow$$
$$V_{C1} = V_{C2} = 20 - 1 \times 5 = 15V$$



حل تمرین-تقویت کننده تفاضلی



$$\begin{aligned} V_{BE} &= 0.6V \\ V_Z &= 6.2V \\ I_C &\approx I_E \end{aligned}$$

• در این مدار به شرط تقارن دو نیمه، مقدار V_{C1} را محاسبه کنید

• محاسبه جریان منبع جریان:

$$I_{E3} = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E} = \frac{6.2 - 0.6}{5.6k} = 1mA = I_{C3}$$

• محاسبه جریان کلکتور ترانزیستورهای TR_2 و TR_1 :

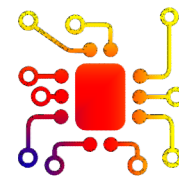
$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_{C3}}{2} = \frac{1}{2} = 0.5mA$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه جیرفت

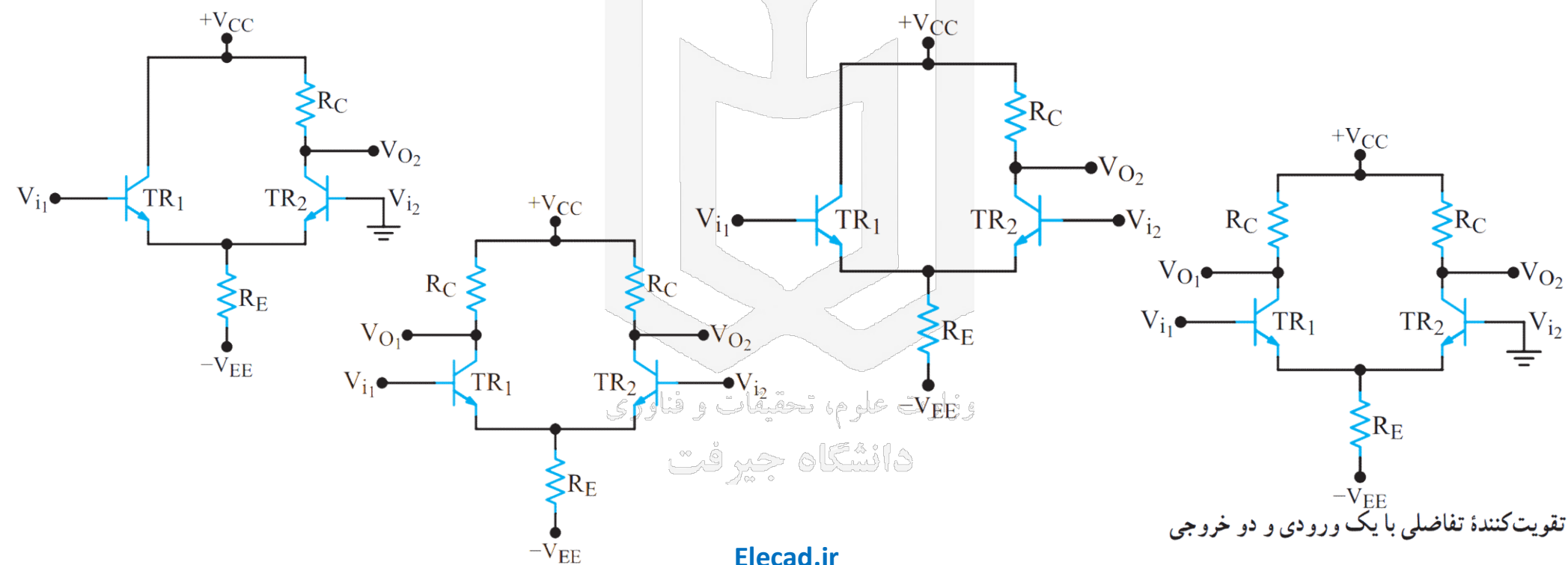
• محاسبه V_{C1} :

$$V_{C1} = V_{CC} - R_{C1}I_{C1} = 30 - 10 \times 0.5 = 25V$$

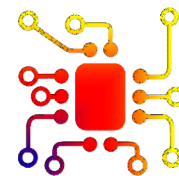


بررسی رفتار AC تقویت کننده تفاضلی

• حالت‌های ورودی خروجی تقویت کننده تفاضلی:

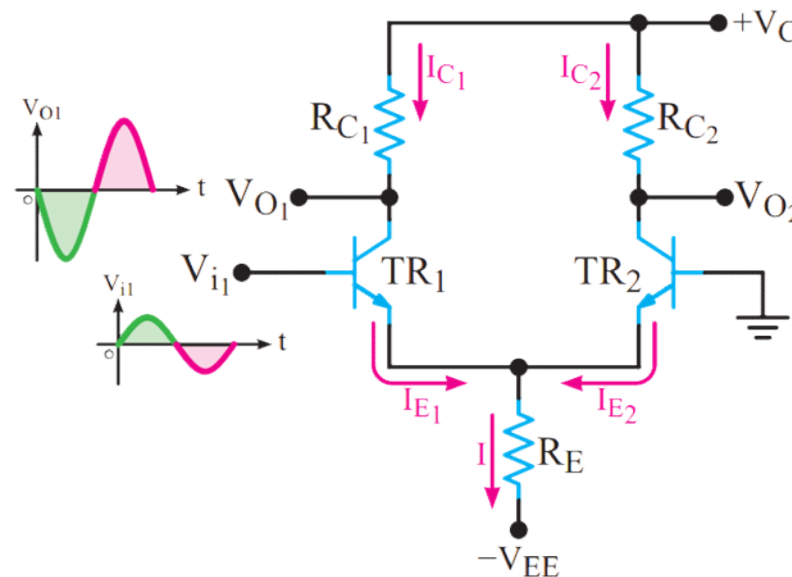


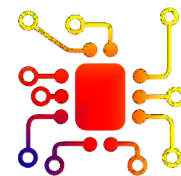
تقویت کننده تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی



تفاضلی یک ورودی – دو خروجی

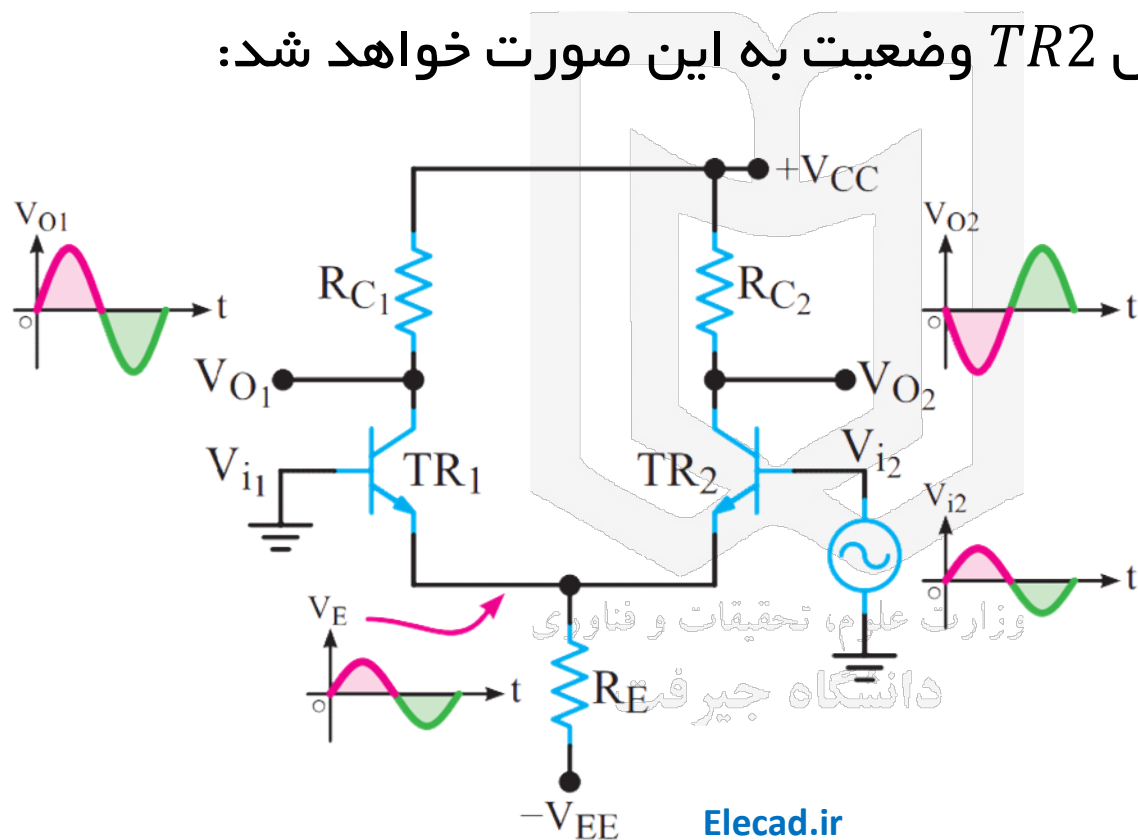
- جریان‌های I_{C1} و I_{E1} متناسب با ولتاژ ورودی هستند
- $TR1$ امیتر مشترک \Leftarrow خروجی $TR1$ تقویت شده بیس $TR1$
- V_{O1} اختلاف فاز 180° درجه با V_{i1} دارد. (سیگنال کوچک)
- جریان I ثابت است \Leftarrow
 $I_{E1} \uparrow \Rightarrow I_{E2} \downarrow$ و بالعکس
- پس تغییر V_{i1} منجر به تغییر I_{C2} می‌شود.
- سیگنال V_{O2} هم‌فاز سیگنال V_{i1} می‌شود.

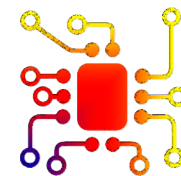




تفاضلی یک ورودی - دو خروجی

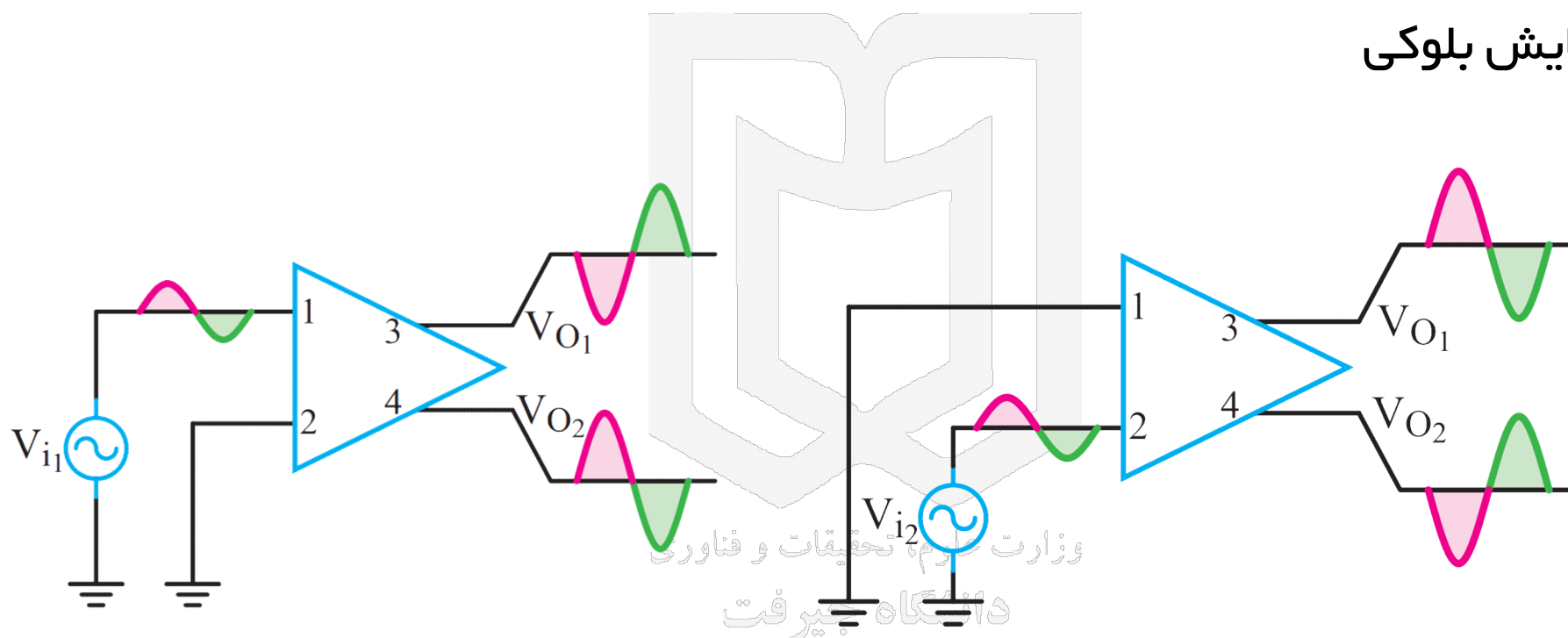
- با اعمال ورودی به بیس $TR2$ وضعیت به این صورت خواهد شد:





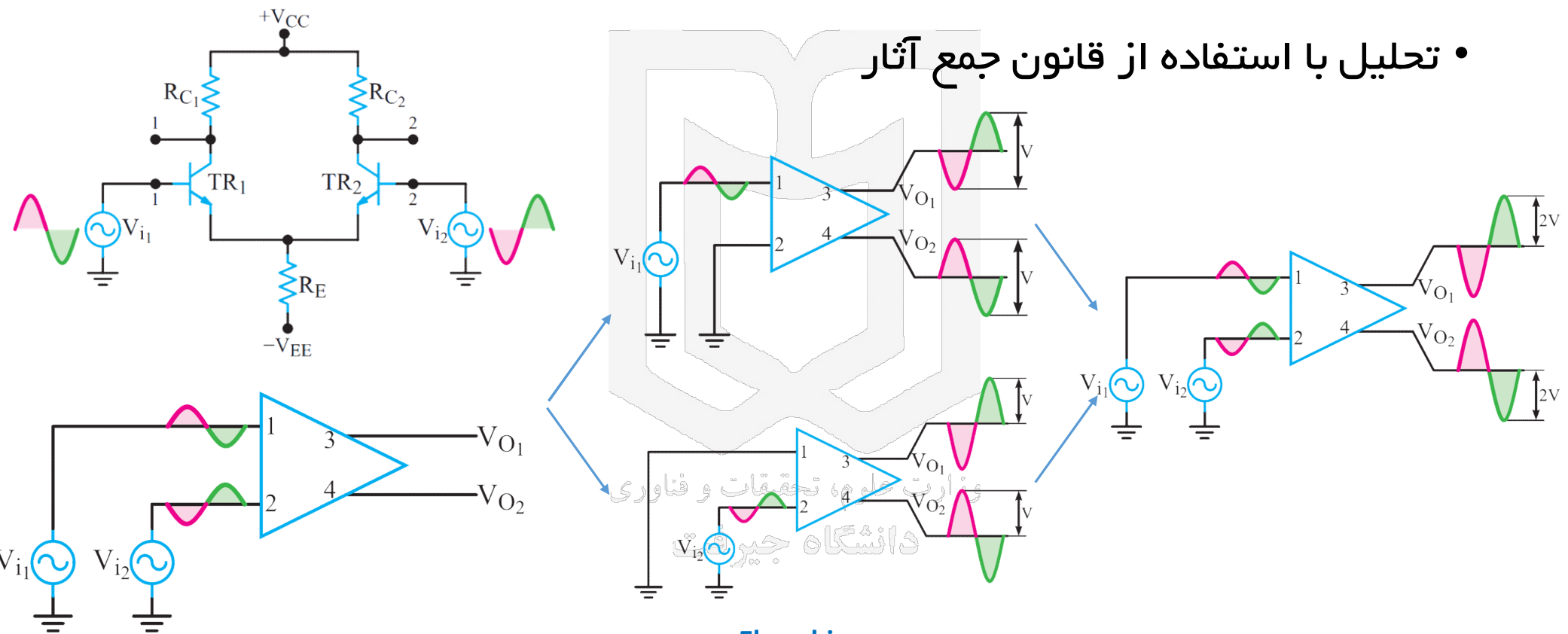
تفاضلی یک ورودی - دو خروجی

• نمایش بلوکی





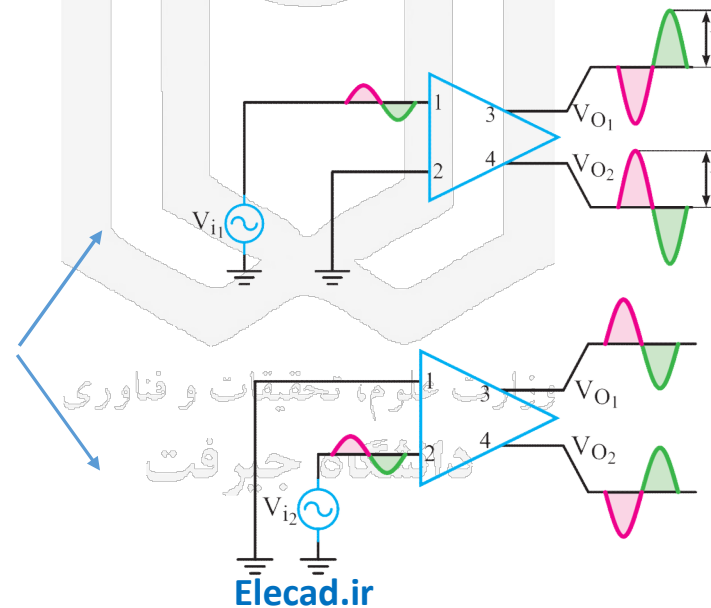
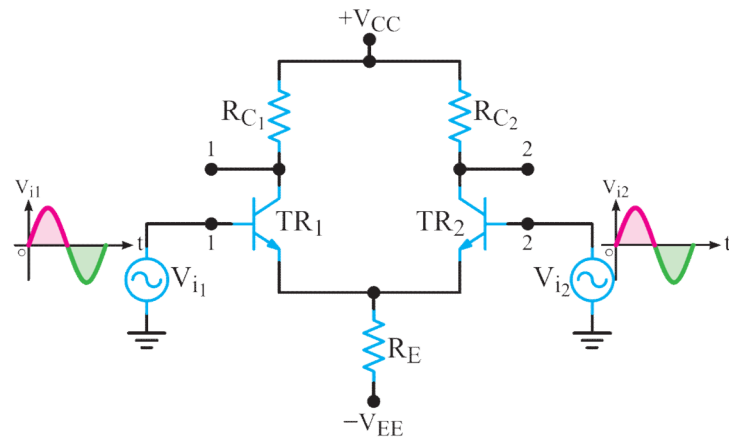
تفاضلی دو ورودی - دو خروجی





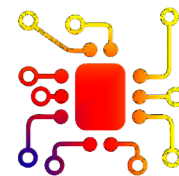
تفاضلی سیگنال مشترک

- یکی از موارد کاربردی و محاسن تقویت کننده‌ی دیفرانسیلی به شمار می‌آید؛ زیرا سیگنال‌های مشترکی که به وسیله‌ی پارازیت، تغییرات ولتاژ منبع تغذیه و درجه حرارت پدید می‌آیند و تغییراتشان در هر دو ترانزیستور یکی است، کاملاً حذف می‌شوند





ضریب حذف سیگنال مشترک CMRR Common Mode Rejection Ratio



- تفاضل دو ورودی تقویت می‌شود و در خروجی ظاهر می‌شود.
- نویز به هر دو ورودی یکسان وارد می‌شود پس حذف می‌شود.
- ویژگی‌های تقویت کننده تفاضلی ایده‌آل:
 - در حالت یک ورودی (یکی از ورودی‌ها زمین می‌شود)، بهره زیاد
 - در حالت تفاضلی (دو سیگنال با دامنه و فاز مختلف)، بهره زیاد
 - در حالت سیگنال مشترک (دو سیگنال با دامنه و فاز برابر)، بهره صفر
- نسبت بهره‌ی حالت تفاضلی $A_v(d)$ به بهره‌ی حالت مد مشترک A_{cm} را ضریب حذف سیگنال مشترک یا CMRR می‌نامند.

$$CMRR = \frac{A_{vd}}{A_{cm}}$$

$$CMRR(db) = 20 \log \frac{A_{vd}}{A_{cm}}$$

- اغلب CMRR بر حسب دسیبل نیز بیان می‌شود:



حل تمرین

- در یک تقویت کننده‌ی تفاضلی بهره‌ی حالت تفاضلی ۲۰۰۰ و بهره در حالت مُد مشترک ۰/۲ است. مقدار CMRR را محاسبه کنید. CMRR بر حسب دسیبل چقدر است؟ مفهوم عدد به‌دست آمده چیست؟ شرح دهید.

$$CMRR = \frac{A_{vd}}{A_{cm}} = \frac{2000}{0.2} = 10000$$
$$CMRR(db) = 20 \log 10000 = 80$$

- CMRR برابر ۱۰۰۰۰ به این مفهوم است که سیگنال ورودی مشخص به اندازه‌ی ۱۰۰۰۰ مرتبه بیشتر از سیگنال ناخواسته (نویز) که به صورت مد مشترک به مدار وارد شده است، تقویت می‌شود. به عبارت دیگر اگر دامنه‌ی سیگنال خواسته شده در حالت تفاضلی و سیگنال ناخواسته‌ی نویز در حالت مد مشترک یکسان باشند، سیگنال تعریف شده ۱۰۰۰۰ برابر بزرگتر از دامنه‌ی نویز در خروجی ظاهر می‌شود.



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

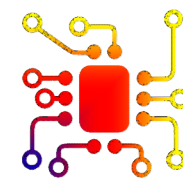
الکترونیک ۲

۳- تقویت کننده‌های تفاضلی (ادامه)

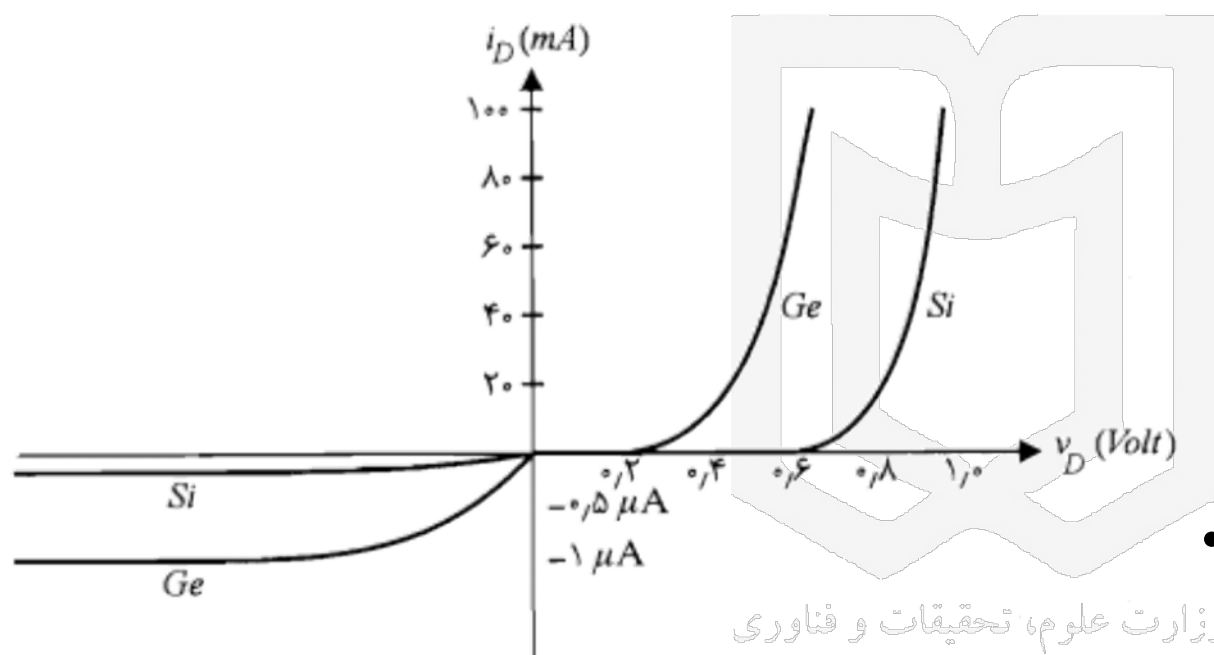
درس: الکترونیک ۲ - فصل ۱۰: تقویت کننده‌های تفاضلی



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



یادآوری از جلد ۱ الکترونیک میرعشقی



• V_g ولتاژ آستانه هدایت دیود

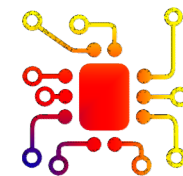
• I_s جریان اشباع معکوس

• $\eta \cong 1, V_T = \frac{KT}{q} \approx 26mV$

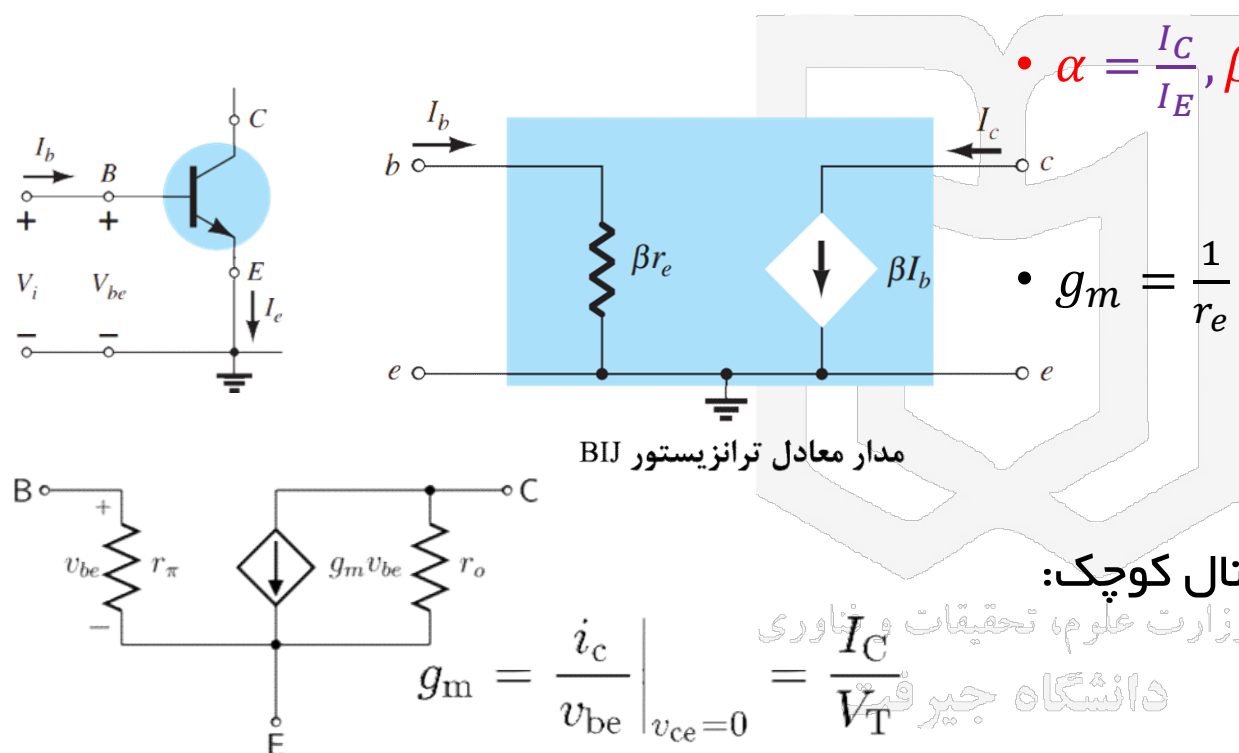
• برای $V_D \gg 26mV$

$$I_D \cong I_s e^{v_D / \eta V_T}$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شکل ۲-۳: مشخصه ولتاژ-جریان دیودهای ژرمانیم و سیلیکن نمونه
دانشگاه جیرفت

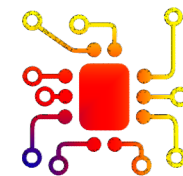


یادآوری از جلد ۱ الکترونیک میرعشقی



• مدار معادل ترانزیستور BJT

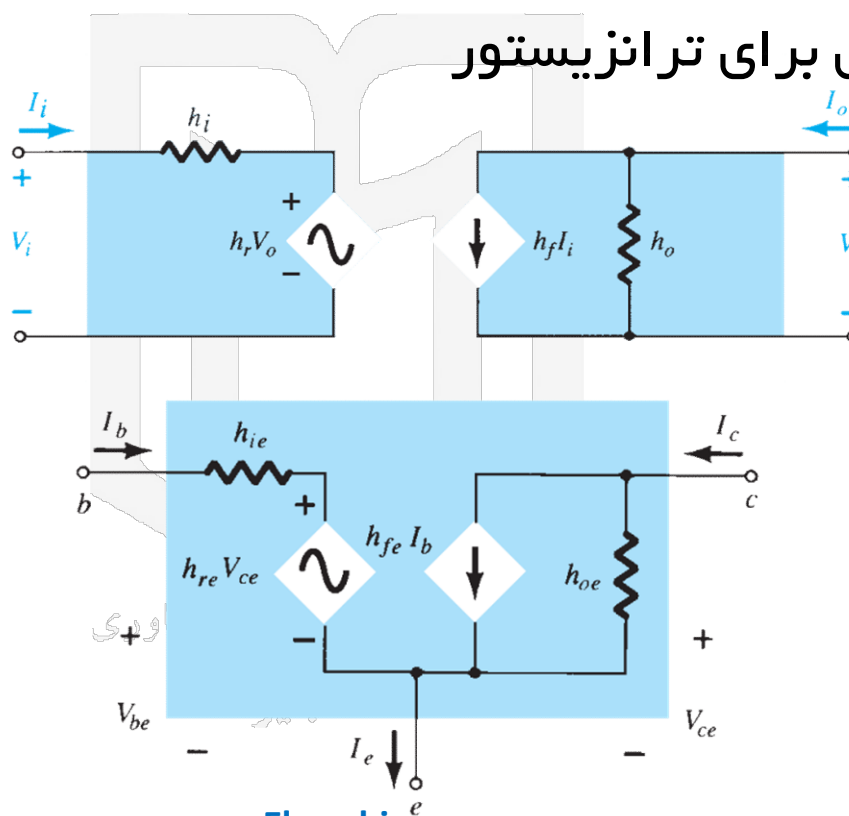
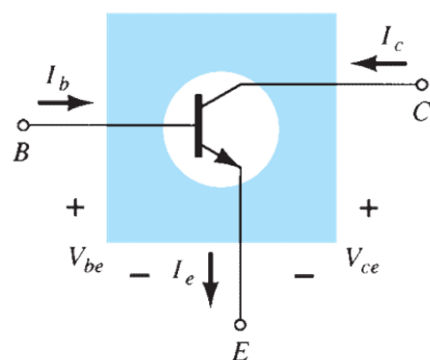
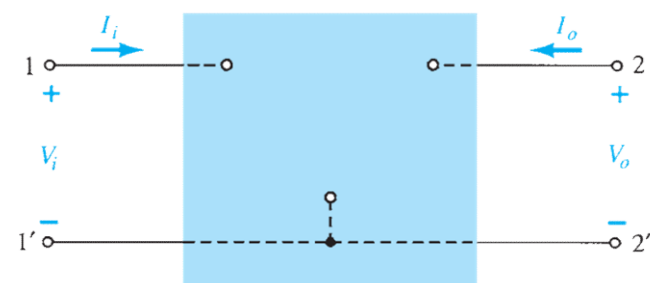
• مدل هایبیرید-پای برای تحلیل سیگنال کوچک:

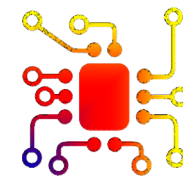


یادآوری از جلد ۱ الکترونیک میرعشقی

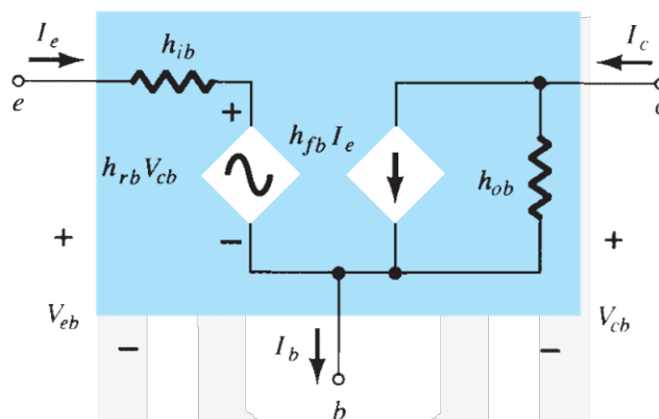
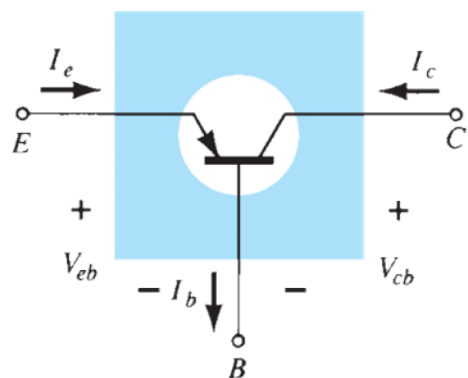
• مدل دو پایانه‌ای برای ترانزیستور

• امیتر مشترک





یادآوری از جلد ۱ الکترونیک میرعشقی



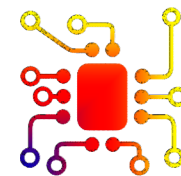
• بیس مشترک

• با زدن تقریب و حذف h_{oe} و h_{re} به مدل‌های ساده‌تری می‌رسیم



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

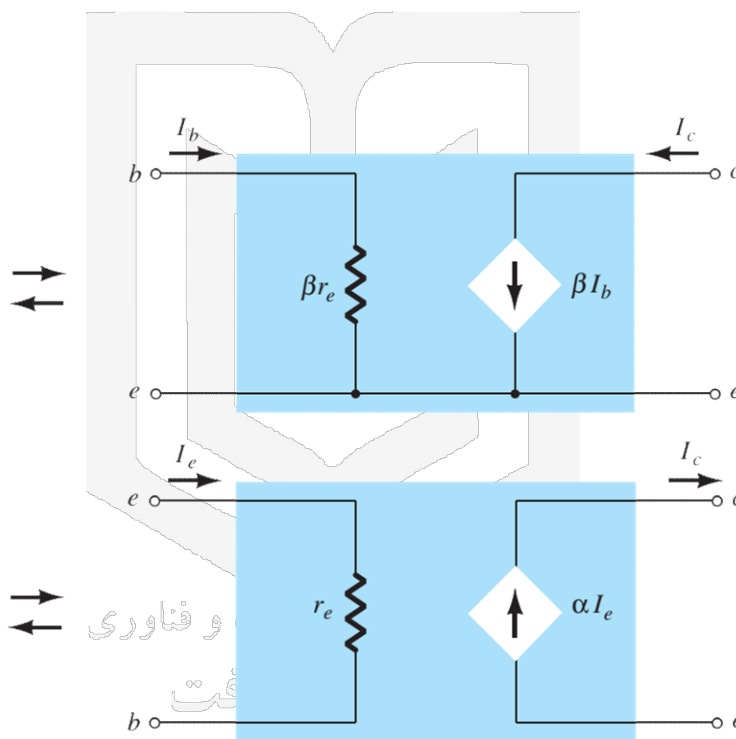
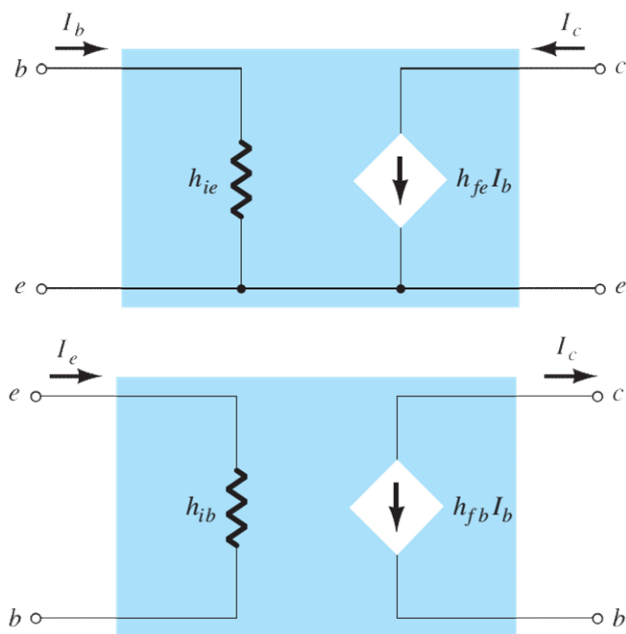
یادآوری از جلد ۱ الکترونیک میرعشقی



• مدل‌های کاربردی‌تر

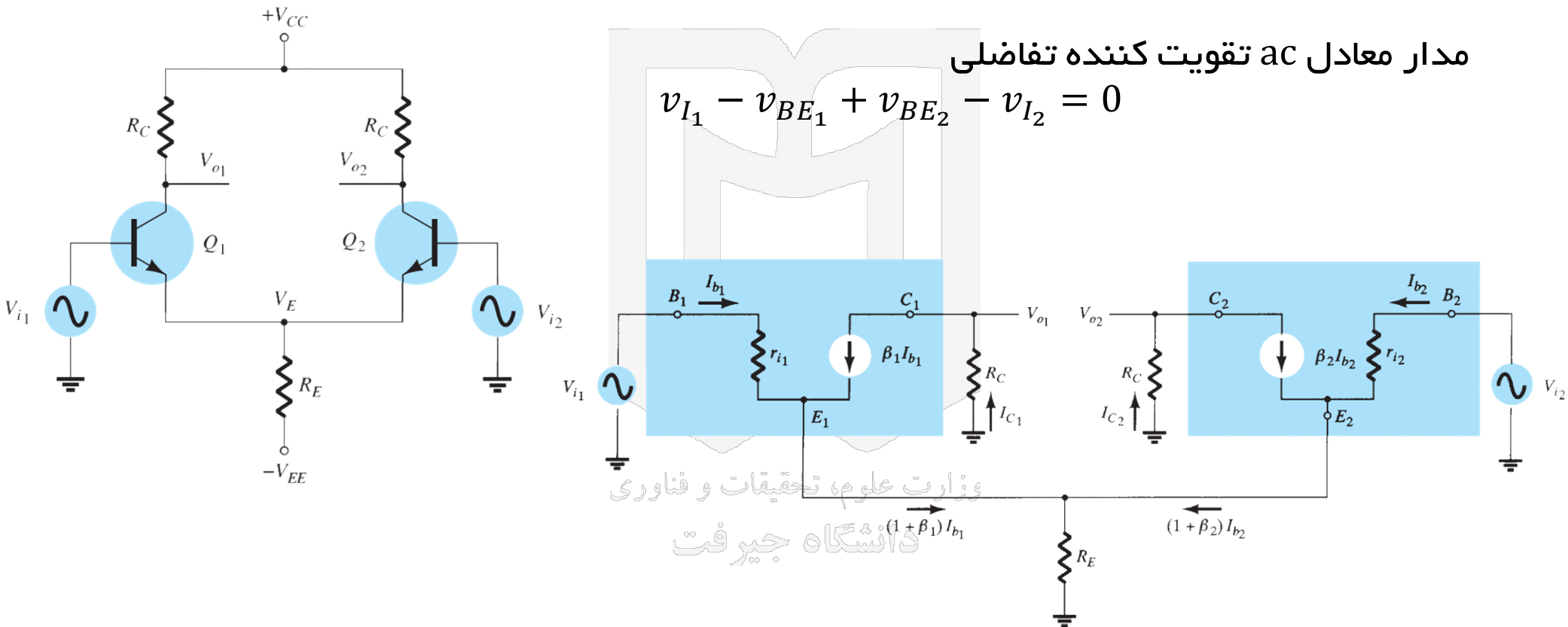
• امیتر مشترک

• بیس مشترک



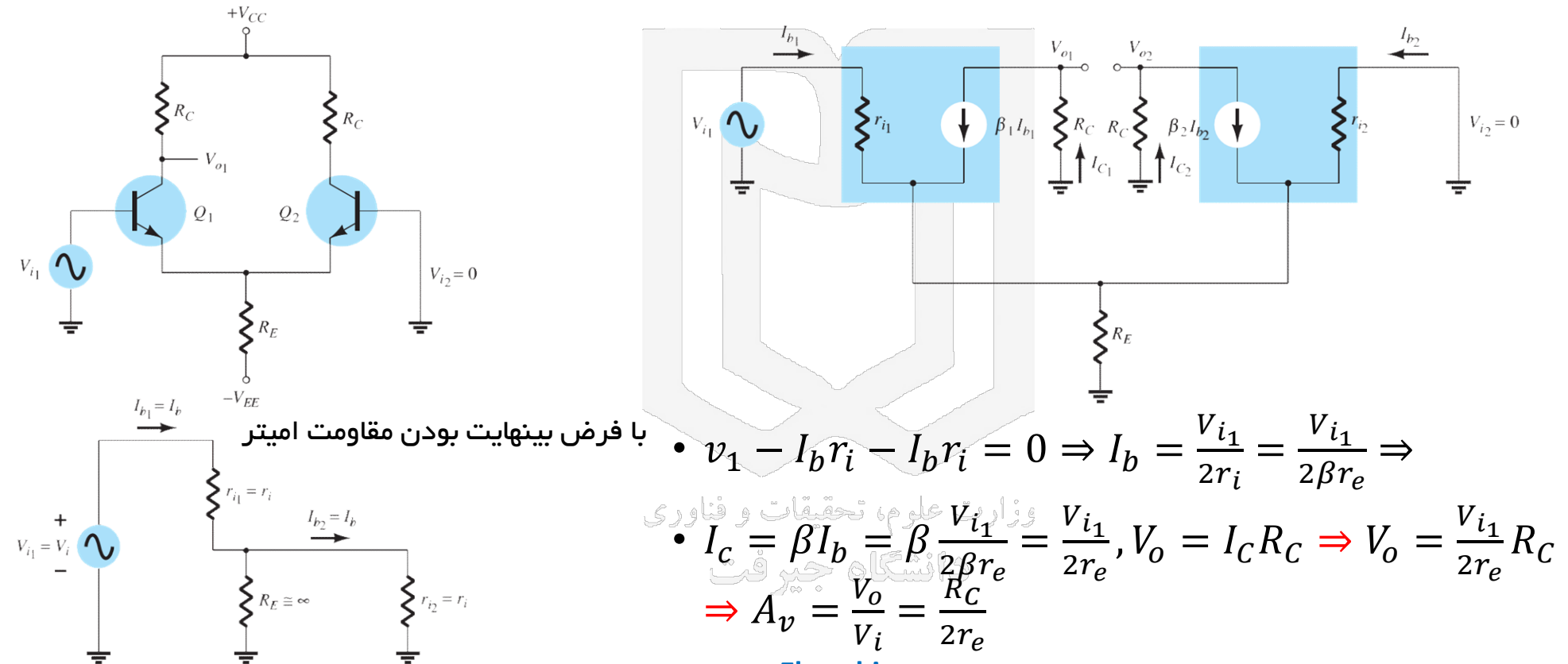


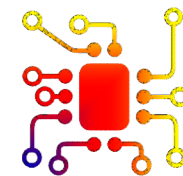
تجزیه تحلیل سیگنال کوچک



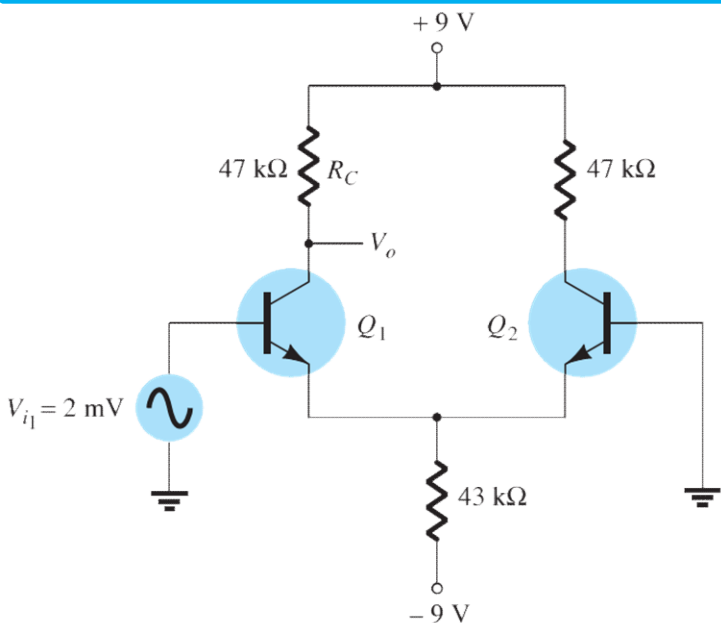


بهره تفاضلی تک ورودی





حل تمرین



- در مدار روبرو v_o را بدست آورید
- تحلیل DC:

$$r_{i1} = r_{i2} = 20 \text{ k}\Omega$$
$$\beta_1 = \beta_2 = 75$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - 0.7V}{R_E} = \frac{9V - 0.7V}{43K\Omega} = 193\mu A \Rightarrow$$

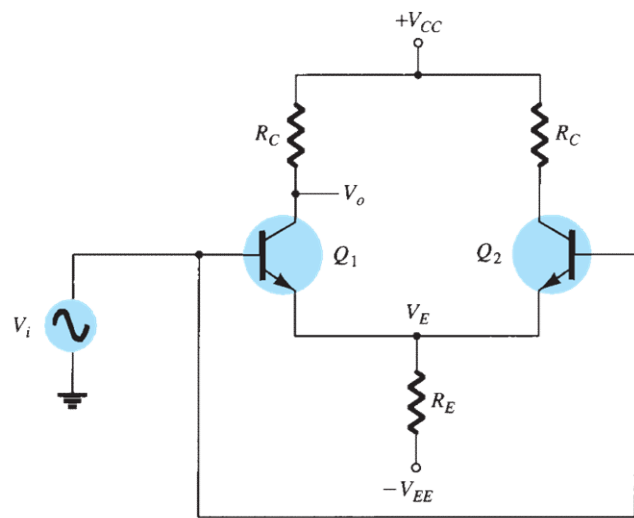
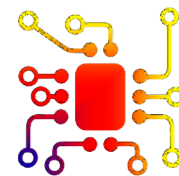
$$I_C = \frac{193}{2} \mu A = 96.5\mu A \Rightarrow V_C = V_{CC} - I_C R_C = 4.5V$$

$$r_e = \frac{r_i}{\beta} = \frac{20k}{75} = 267\Omega \quad A_v = \frac{R_C}{2r_e} \Rightarrow A_v = \frac{47k\Omega}{2(267\Omega)} = 88$$

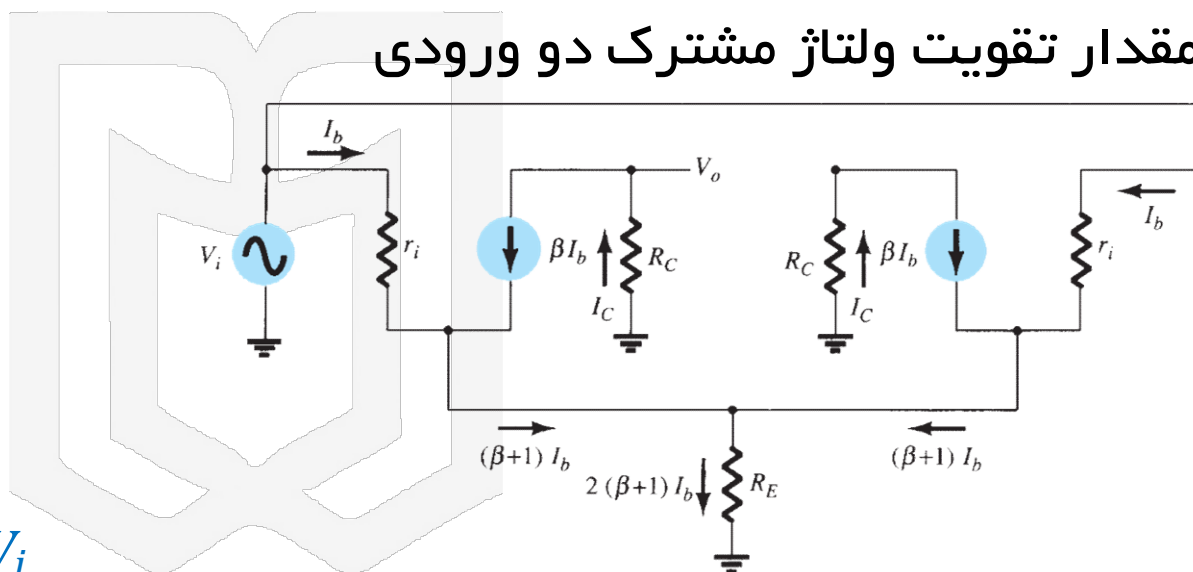
$$V_o = V_i \times A_v \Rightarrow V_o = 2mV \times 88 = 0.176$$



عملکرد مود مشترک



• مقدار تقویت ولتاژ مشترک دو ورودی

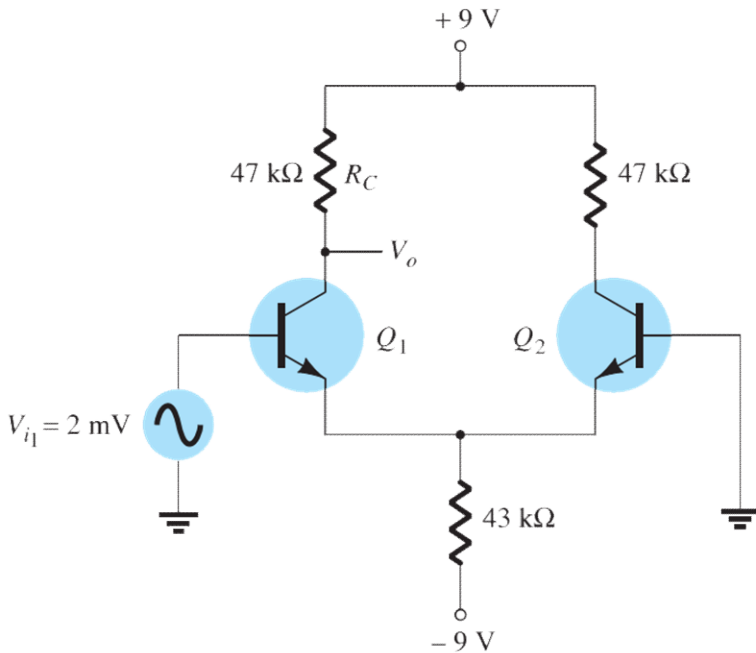


$$I_b = \frac{V_i - 2(\beta + 1)I_b R_E}{r_i} = \frac{V_i}{r_i + 2(\beta + 1)R_E}$$

$$\Rightarrow V_o = I_C R_C = \beta I_b R_C = \frac{\beta V_i R_C}{r_i + 2(\beta + 1)R_E} \Rightarrow A_c = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\beta R_C}{r_i + 2(\beta + 1)R_E}$$



حل تمرین



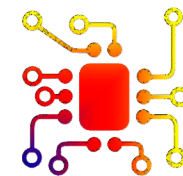
• مود مشترک مدار مقابل را محاسبه کنید

$$r_{i1} = r_{i2} = 20 \text{ k}\Omega$$
$$\beta_1 = \beta_2 = 75$$

$$A_c = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\beta R_C}{r_i + 2(\beta + 1)R_E} = \frac{75(47 \text{ k}\Omega)}{20 \text{ k}\Omega + 2(76)(43 \text{ k}\Omega)} = 0.54$$

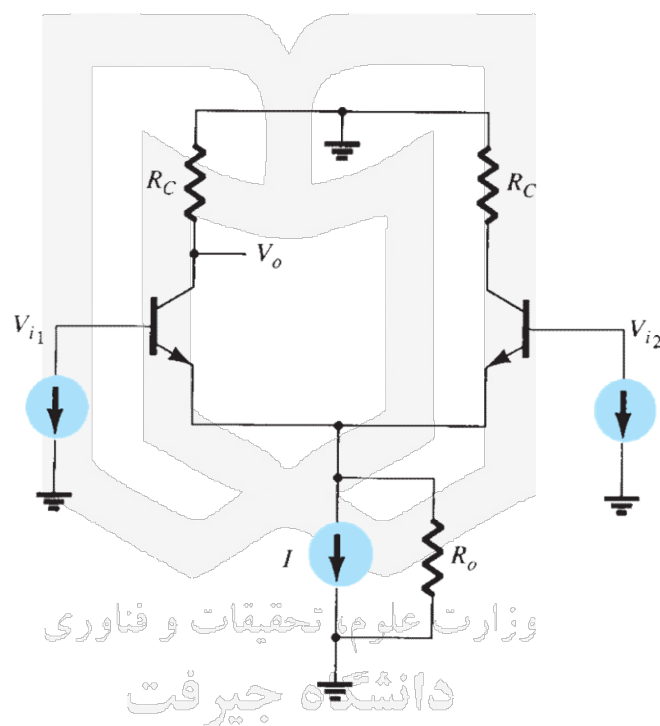
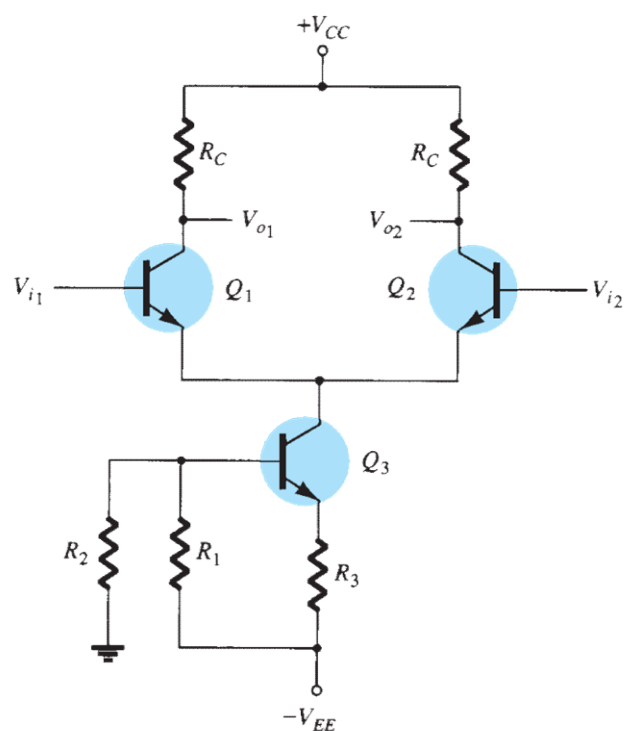
- هر چه R_E بزرگتر باشد، A_c (مود مشترک) کوچکتر است.
- برای بزرگتر کردن مقاومت R_E از منبع جریان استفاده می‌کنند.

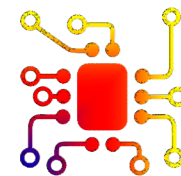
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



تفاضلی با منبع جریان

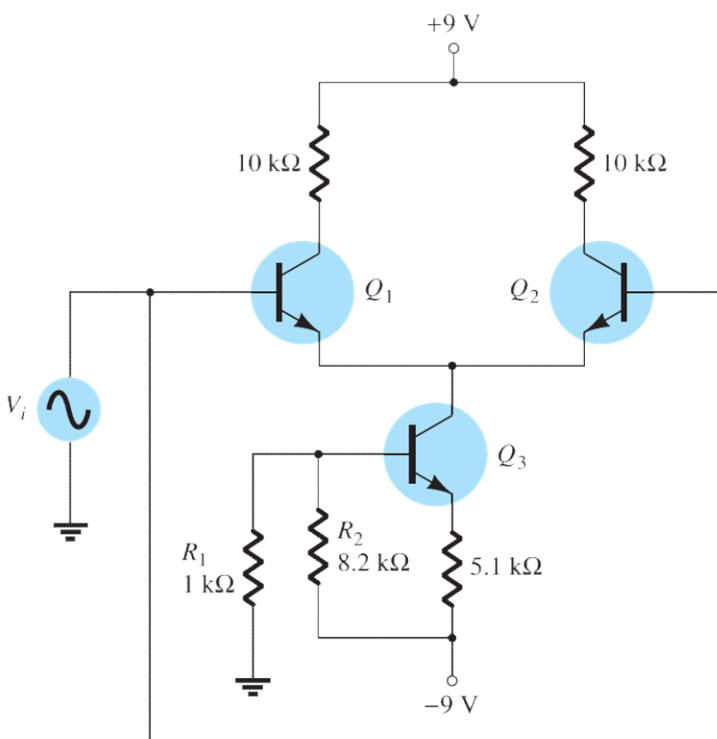
• منبع جریان





حل تمرین

• برای این مدار بهره مود مشترک را محاسبه کنید.

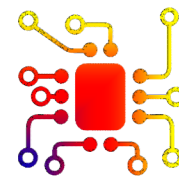


$$\beta_1 = \beta_2 = \beta = 75$$
$$r_{i1} = r_{i2} = r_i = 11 \text{ k}\Omega$$

$$Q_3$$
$$r_o = 200 \text{ k}\Omega$$
$$\beta_3 = 75$$

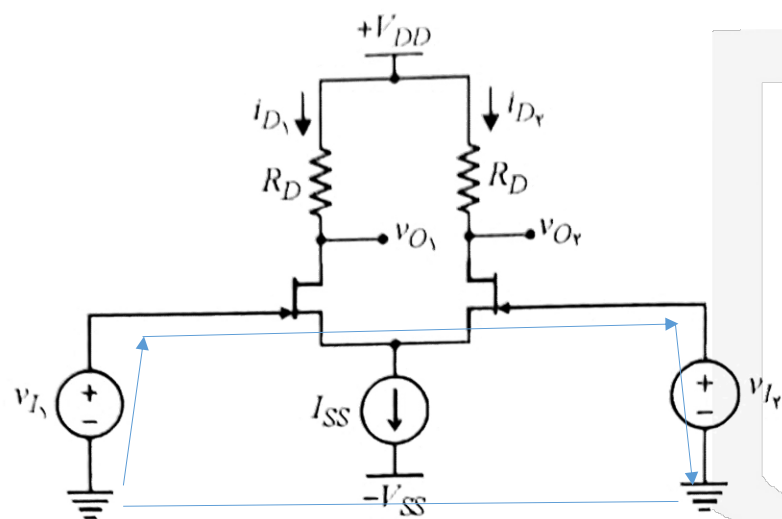
$$A_c = \frac{\beta R_C}{r_i + 2(\beta + 1)R_E} = \frac{75(10 \text{ k}\Omega)}{11 \text{ k}\Omega + 2(76)200 \text{ k}\Omega} = 24.7 \times 10^{-3}$$

$$R_E = r_o = 200 \text{ k}\Omega \Rightarrow$$



تقویت کننده عملیاتی با FET

- در مدارهای مجتمع با JFET مقاومت ورودی خیلی زیاد، جریان بایاس خیلی کم می‌کنند.
- دو JFET با مشخصات کاملاً مشابه به سختی پیدا می‌شود.



شکل ۹-۲۰: تقویت‌کننده تفاضلی با ترانزیستورهای NJFET

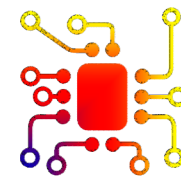
$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_P} \right)^2$$

فناوری

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



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



تقویت کننده تفاضلی BiFET

