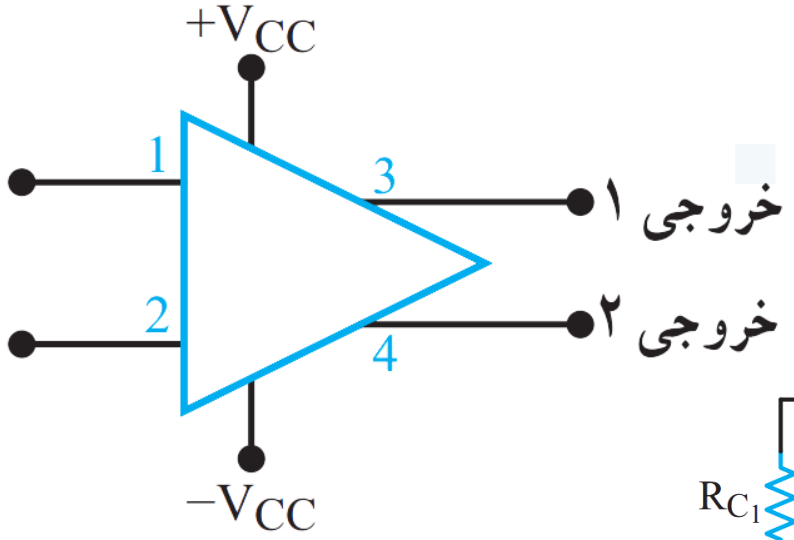
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
**دانشگاه جیرفت**

# الکترونیک ۲

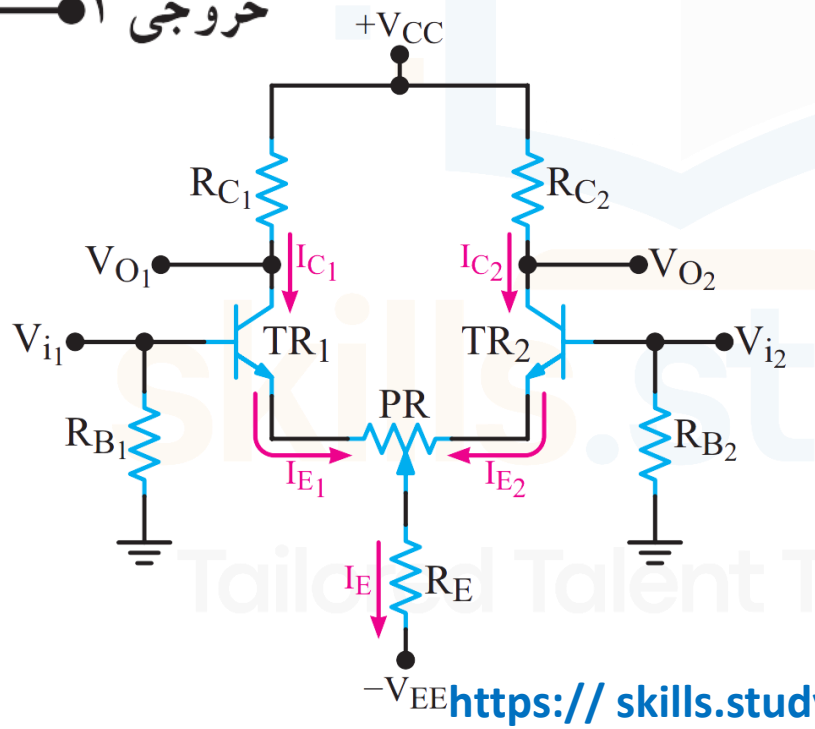
## ۲- تقویت کننده‌های تفاضلی

مهندس محمد هاشمی‌نژاد

# تقویت کننده تفاضلی



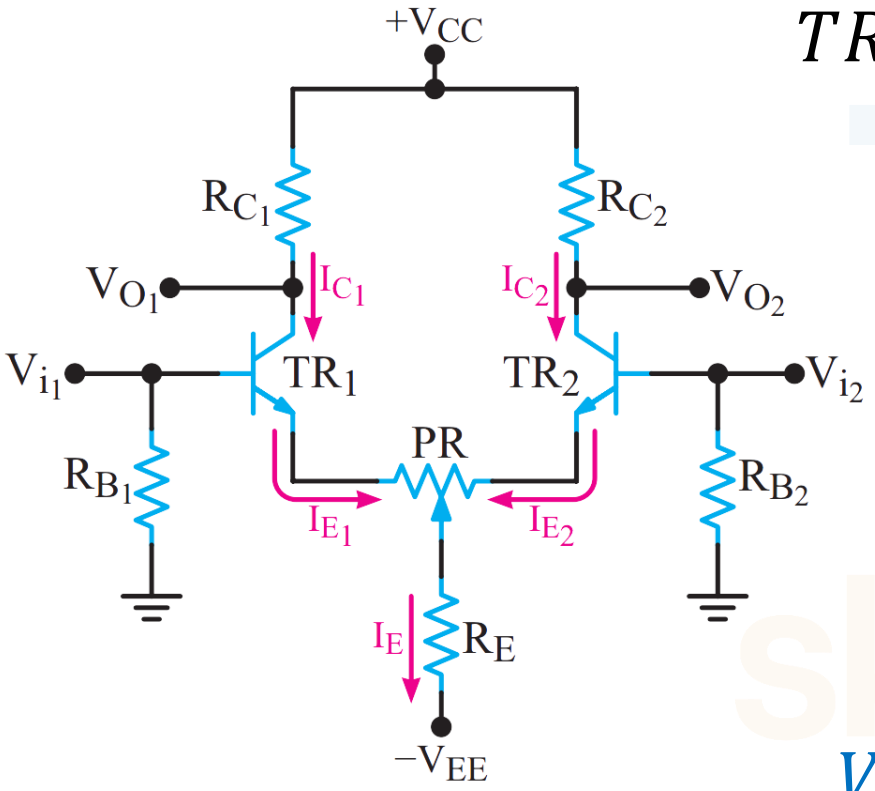

- دو ترمینال ورودی و دو ترمینال خروجی در شکل
- اختلاف ولتاژ ورودی در اختلاف ولتاژ دو ترمینال خروجی مؤثر است.




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

https:// skills.study
skills.study
Tailored Talent Training!

# 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:

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

- $\beta$ خیلی زیاد است ← صرف نظر از جریان بیس:

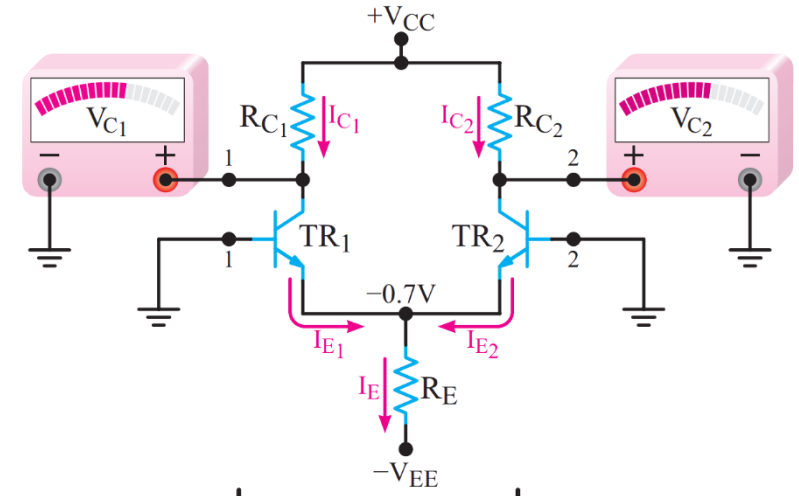
$$I_{C1} = I_{C2} = I_{E1} = I_{E2}$$

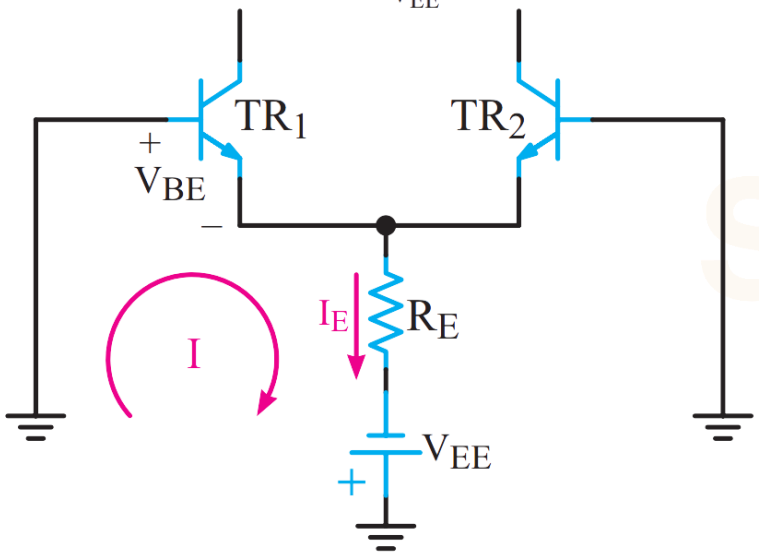
و

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

skills.study
Tailored Talent Training!

# 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:

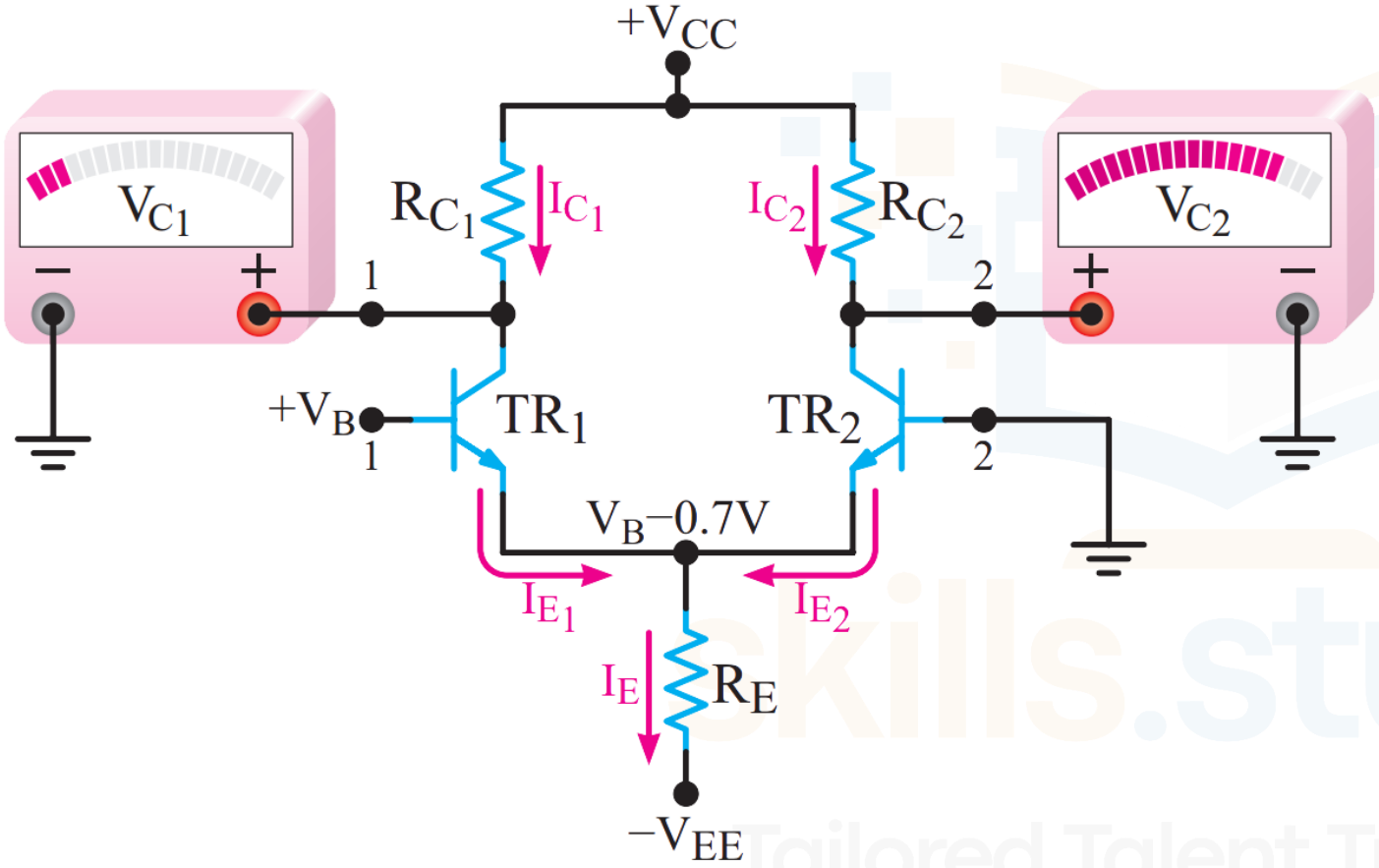
$$-V_{BE} - R_E I_E + V_{EE} = 0 \Rightarrow I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

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

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

skills.study
Tailored Talent Training!

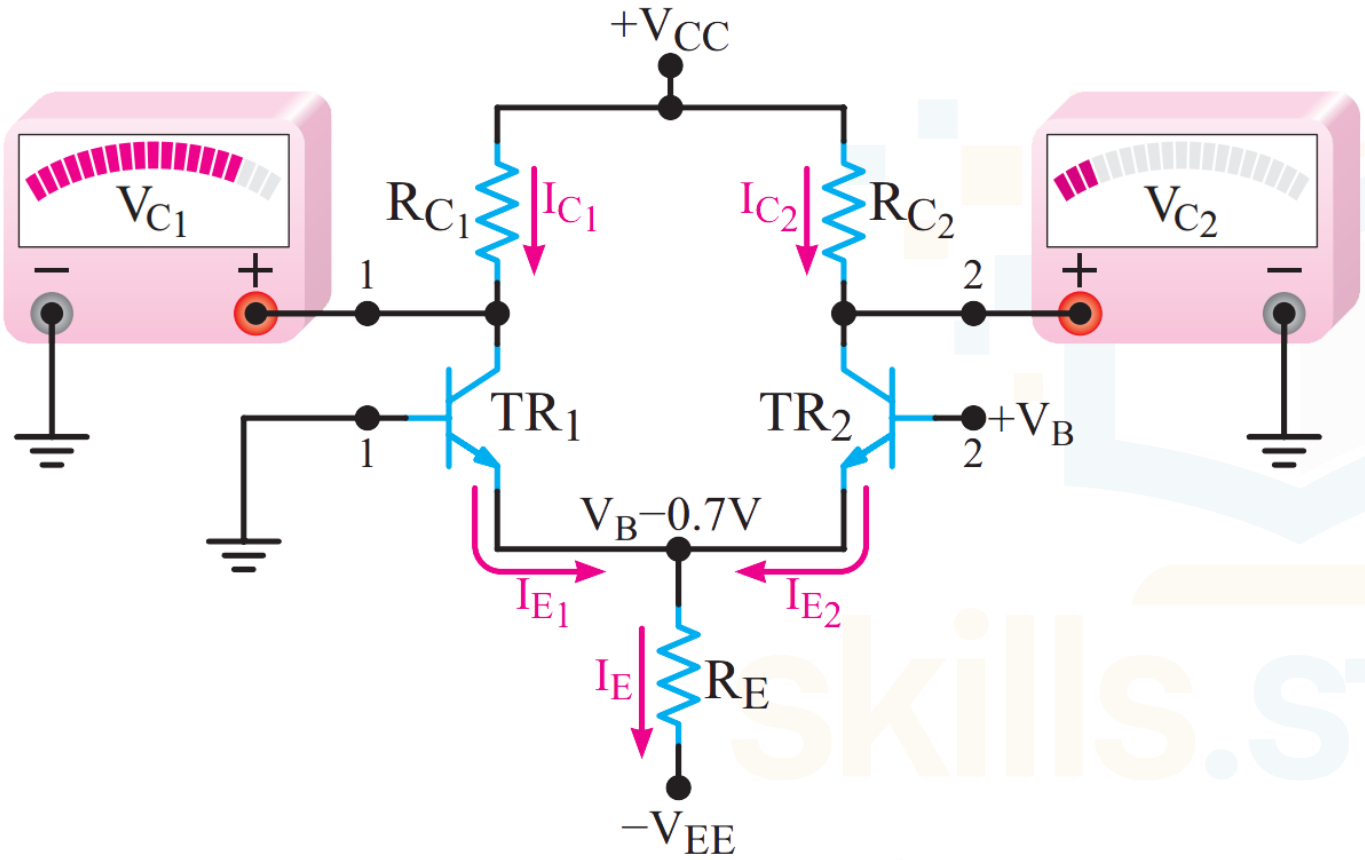
# اعمال ولتاژ به $V_{B1}$




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 $TR_2$ $(V_{BE2})$
5. کاهش $I_{B2}$
6. کاهش $I_{C2}$
7. افزایش $V_{C2}$

skills.study
Tailored Talent Training!

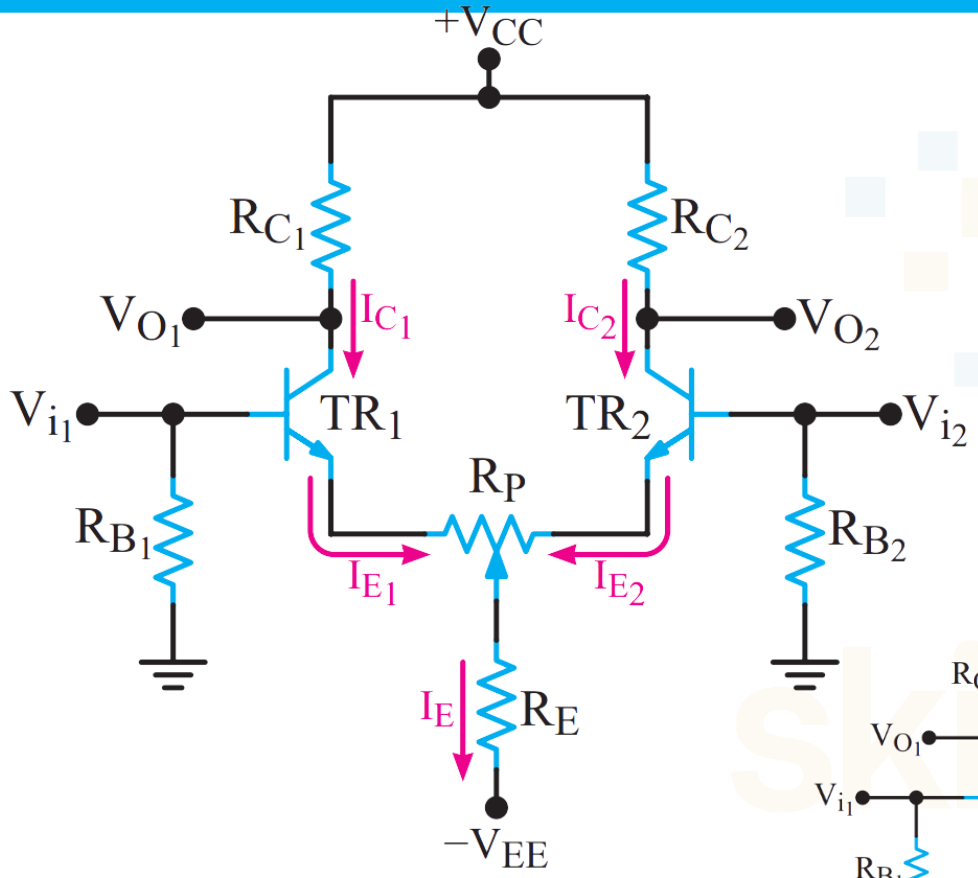
# اعمال ولتاژ به $V_{B2}$



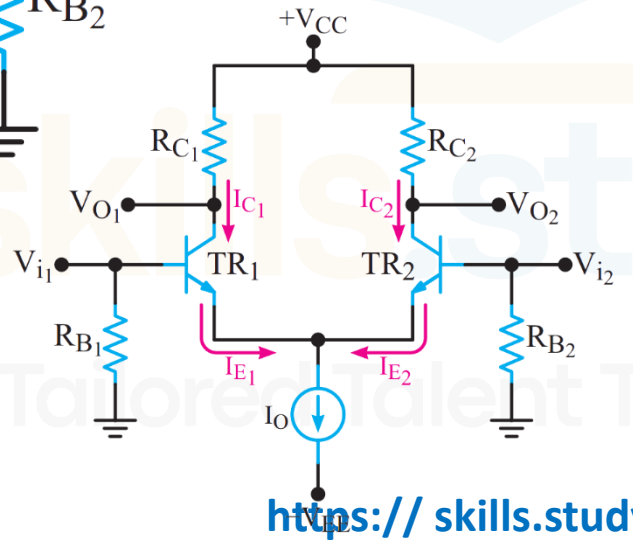

- برعکس حالت قبل:
- $V_{C1}$ افزایش و $V_{C2}$ کاهش می‌یابد.

skills.study
Tailored Talent Training!

# عدم تساوی HFEها



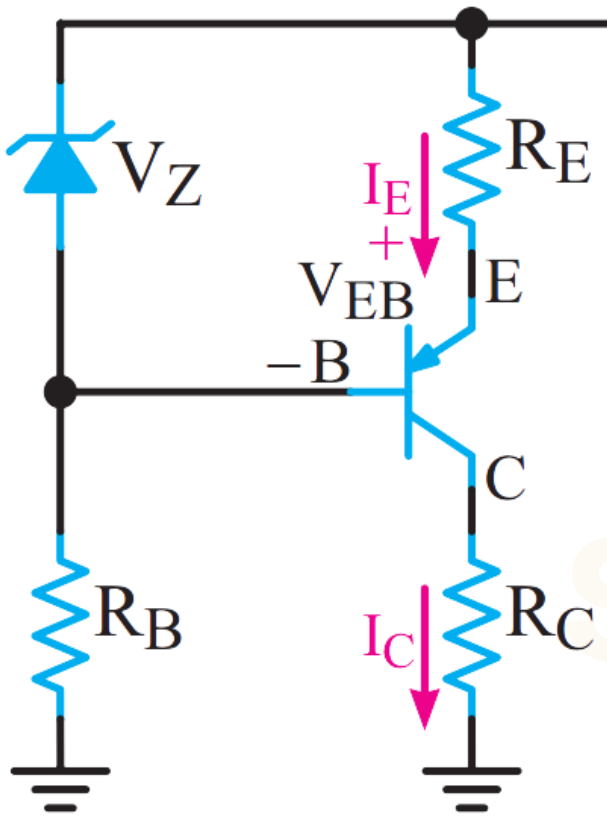

- منجر به تفاوت در ولتاژ جریان‌های دو طرف تفاضلی می‌شود.
- با گذاشتن یک پتانسیومتر می‌توان به استفاده کننده اجازه جبران این تفاوت را داد.
- بعضی به جای $R_E$ از منبع جریان استفاده می‌کنند.




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

https:// skills.study

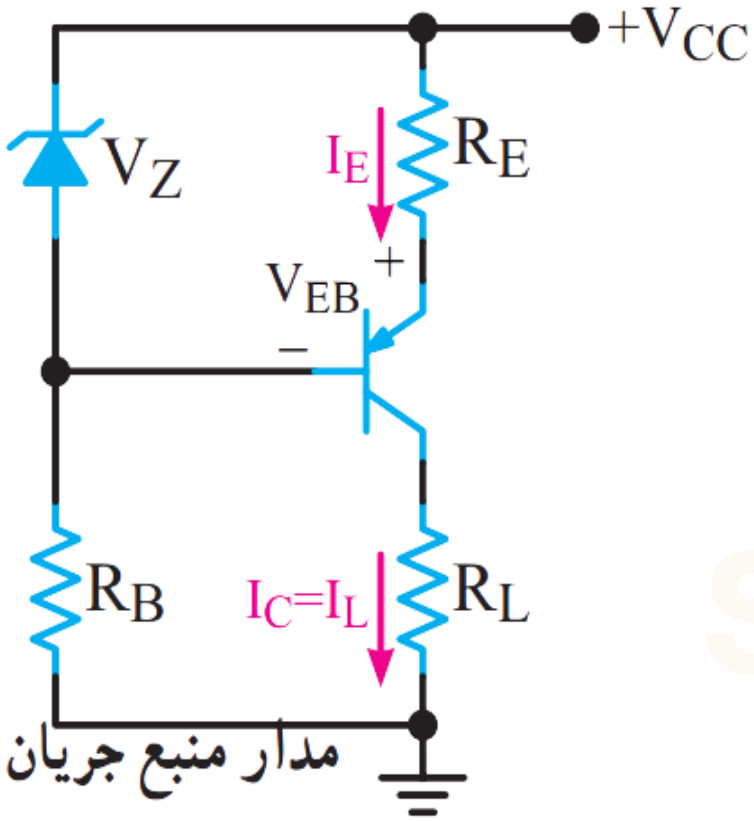
# مدار منبع جریان




- مداری که جریان آن به مقاومت بار بستگی ندارد.
- ولتاژ دو سر $R_E$ :
  - تقریباً ثابت $V_{RE} = R_E I_E = V_Z - V_{EB}$
- اگر مقاومت بار به کلکتور وصل شود (همان $R_C$ باشد) جریان آن در محدودهٔ معینی ثابت است.
  - مانند هر پدیدهٔ 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، درصورتیکه مقدار بار بین مقادیر زیر باشد:

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

# حل تمرین–منبع جریان




$V_{CC}$=+12V

$V_{EB}$=+0.7V

$V_Z$=6.2V

$R_E$=1.1KΩ

$R_L$=1KΩ

- جریان بار را در مدار زیر به دست آورید:

$$V_Z = R_E I_E + V_{EB}$$

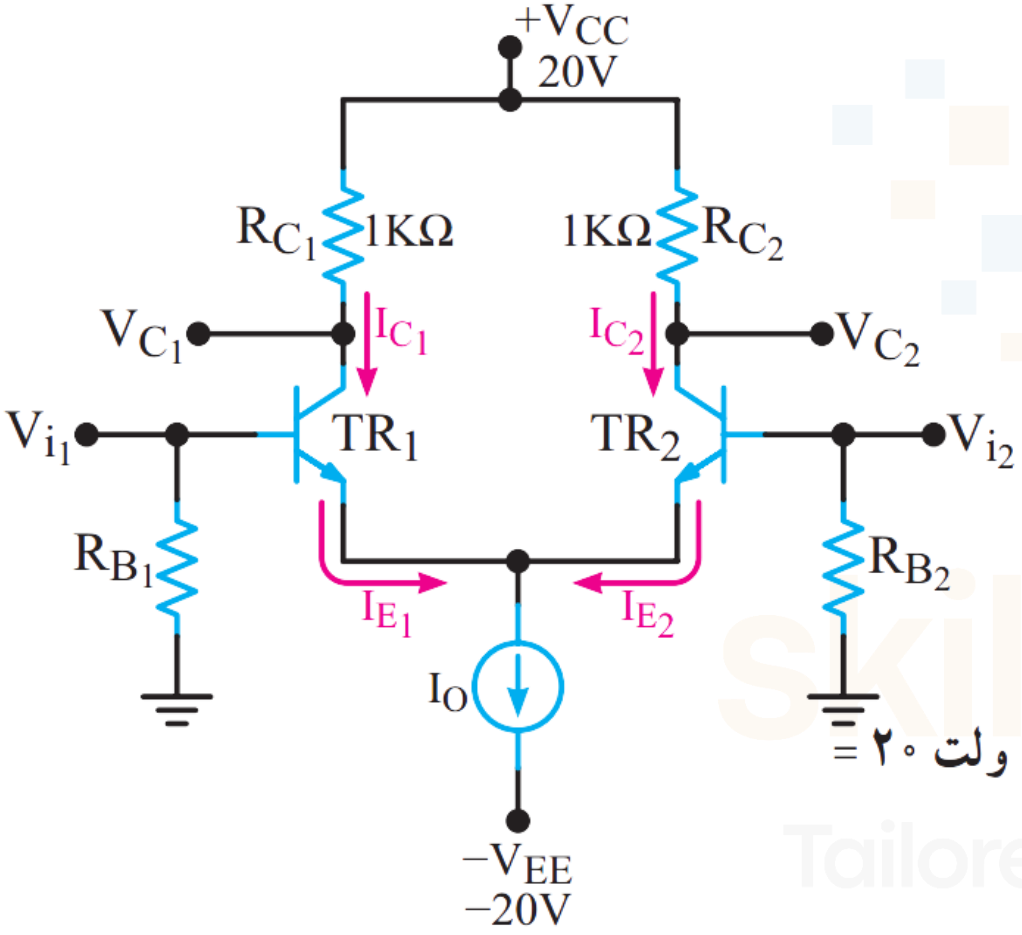
$$I_E = \frac{V_Z - V_{EB}}{R_E} = \frac{(6.2 - 0.7)}{1.1} = 5mA$$

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

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

skills.study
Tailored Talent Training!

# 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:

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

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

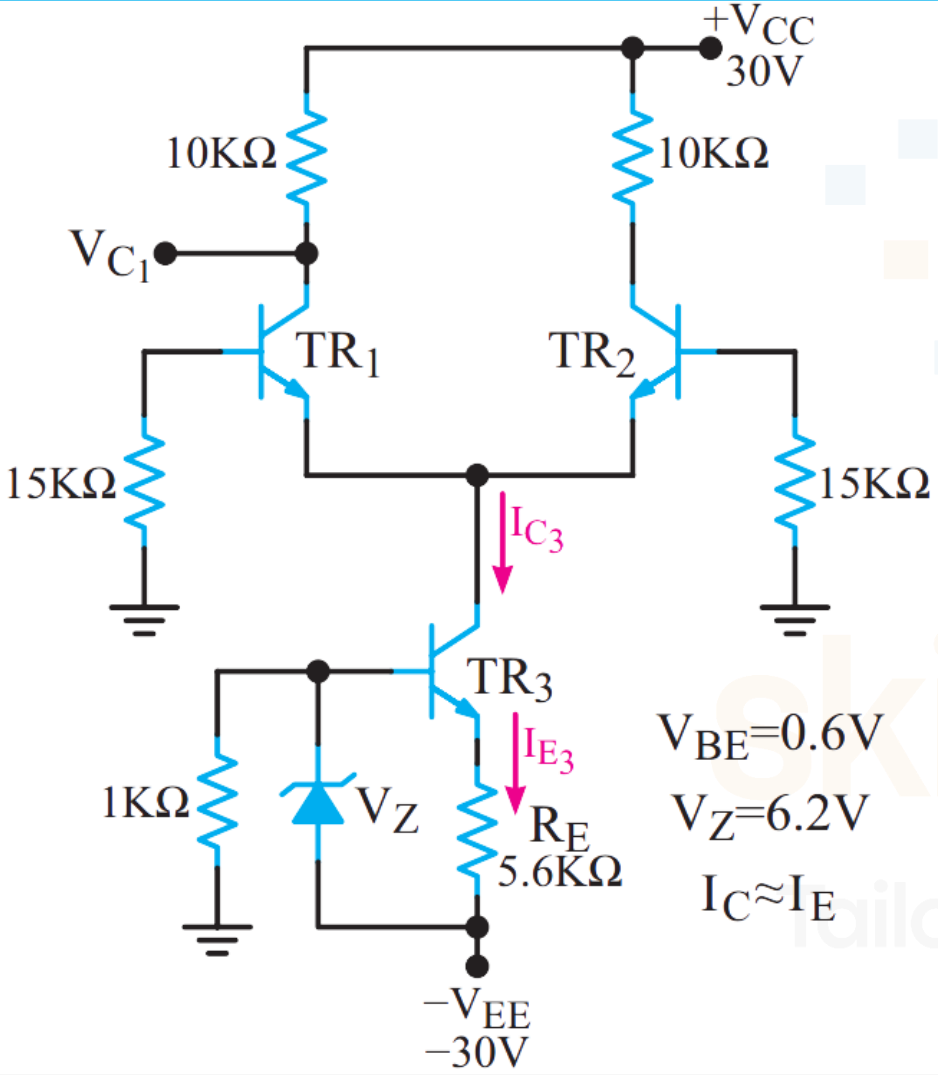
محاسبه $V_C$:

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - R_C I_C \Rightarrow$$

$$V_{C1} = V_{C2} = 20 - 1 \times 5 = 15V$$

skills.study
Tailored Talent Training!

# حل تمرین–تقویت کننده تفاضلی




- 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 $TR_1$ و $TR_2$:

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

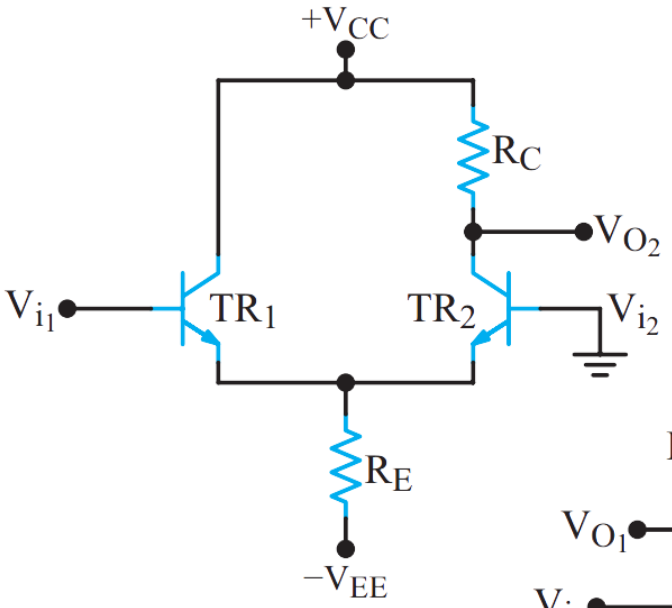
- محاسبه $V_{C1}$:

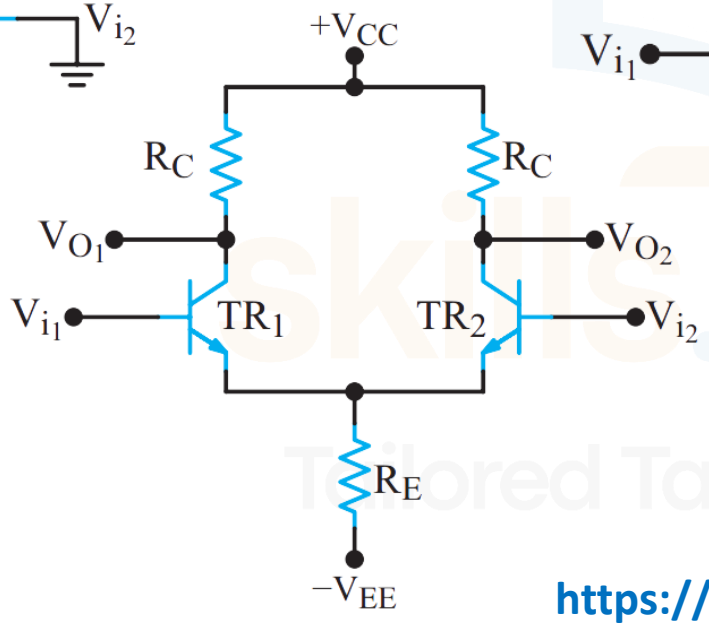
$$V_{C1} = V_{CC} - R_{C1}I_{C1} = 30 - 10 \times 0.5 = 25V$$

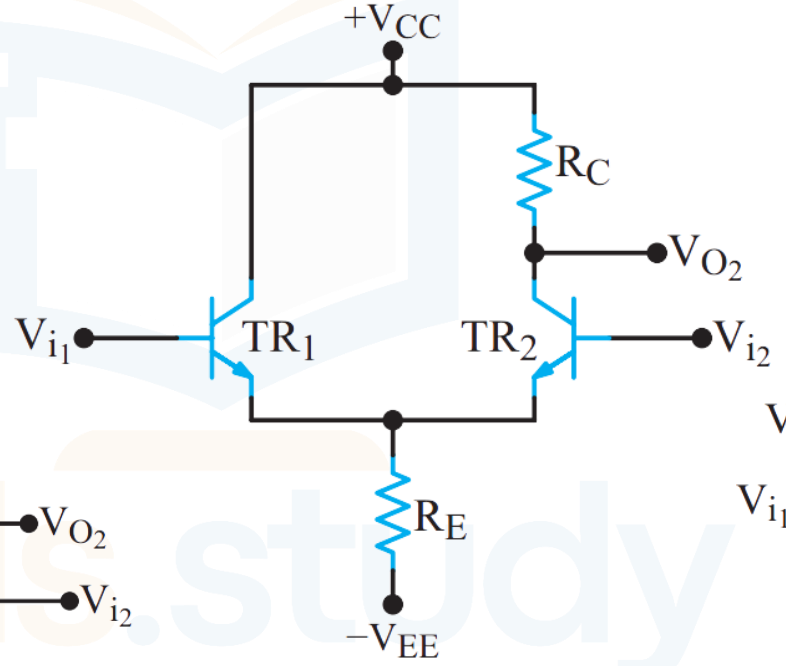
https:// skills.study

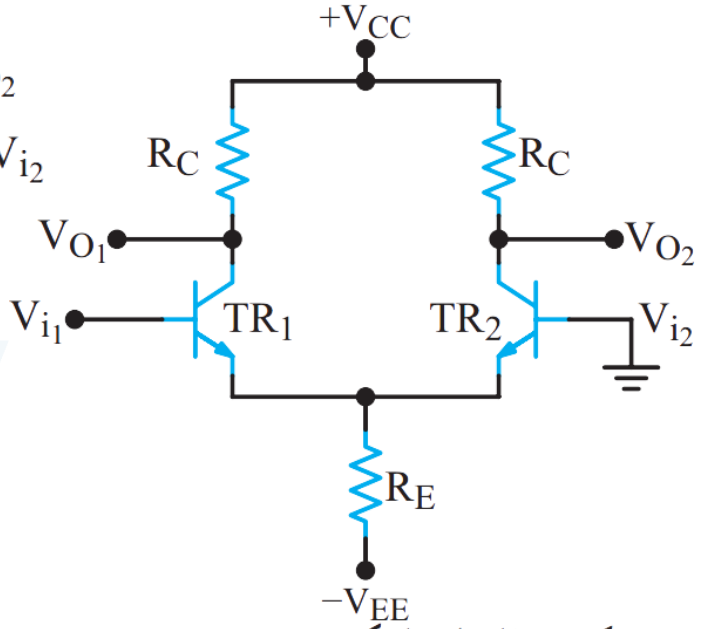
# بررسی رفتار AC تقویت کننده تفاضلی

- حالت‌های ورودی خروجی تقویت کننده تفاضلی:



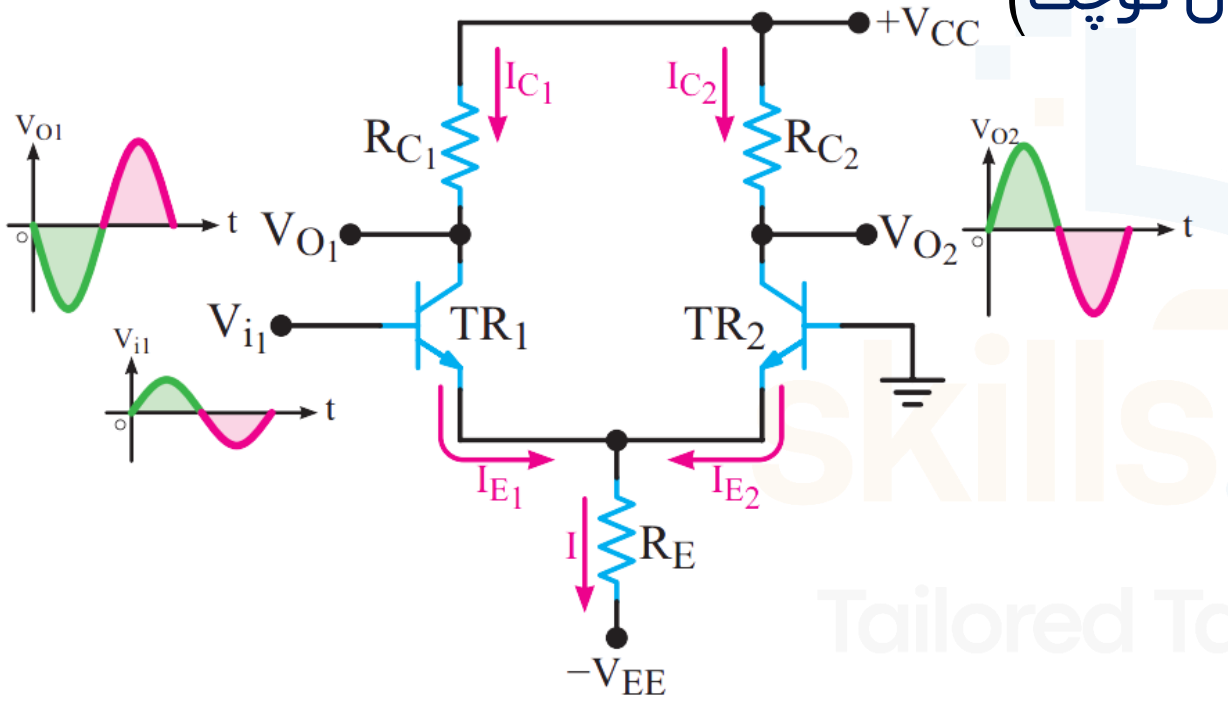




تقویت‌کنندهٔ تفاضلی با یک ورودی و دو خروجی

https:// skills.study

# تفاضلی یک ورودی – دو خروجی

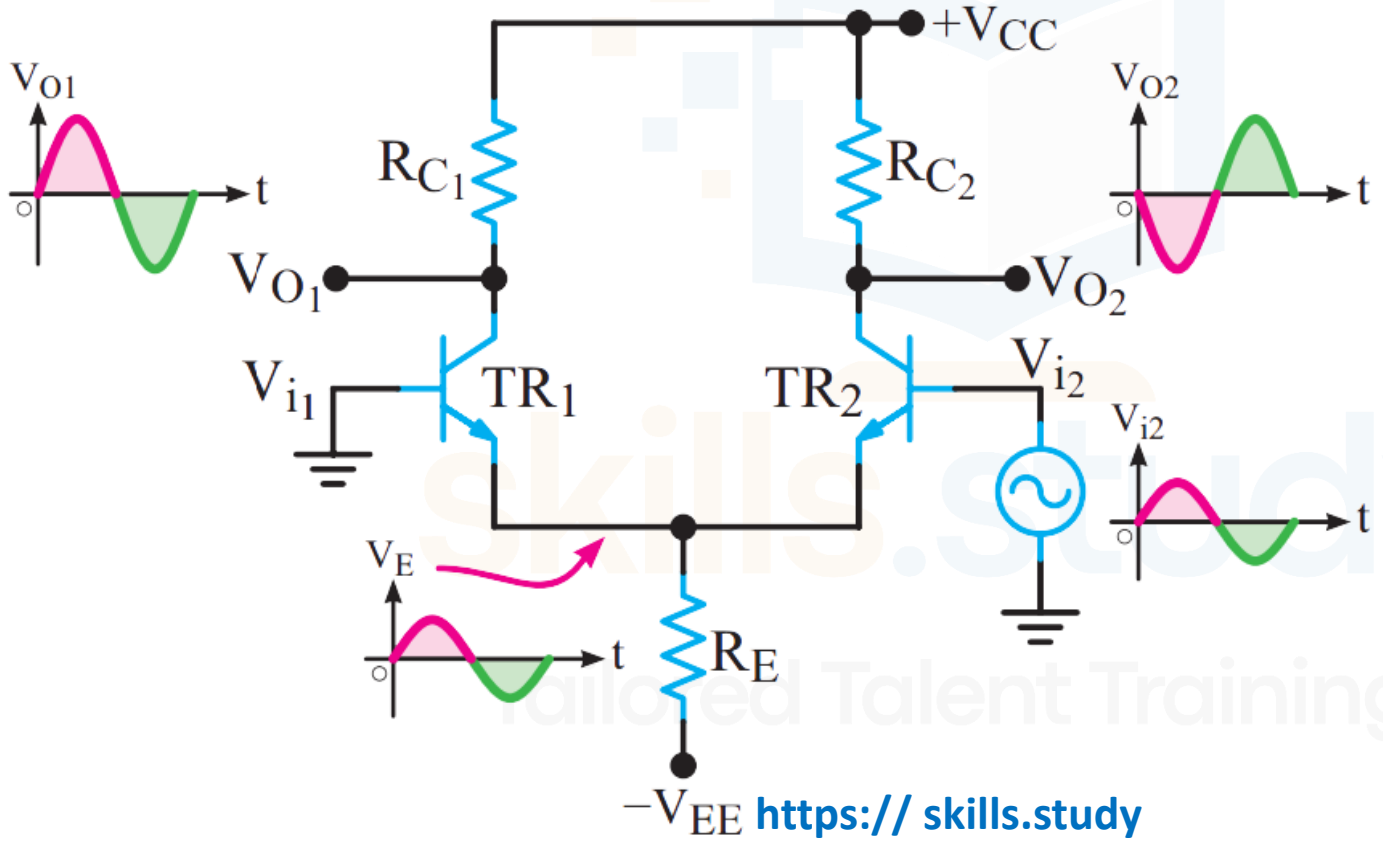



- جریان‌های $I_{C1}$ و $I_{E1}$ متناسب با ولتاژ ورودی هستند
- $TR1$ امیتر مشترک ⇐ خروجی $TR1$ تقویت شده بیس $TR1$
- $V_{o1}$ اختلاف فاز ۱۸۰ درجه با $V_{i1}$ دارد. (سیگنال کوچک)
- جریان I ثابت است(مدار سمت راست)⇐
  - $I_{E1} \uparrow \Rightarrow I_{E2} \downarrow$ و بالعکس
- پس تغییر $V_{i1}$ منجر به تغییر $I_{C2}$ می‌شود.
- سیگنال $V_{o2}$ همفاز سیگنال $V_{i1}$ می‌شود.

skills.study
Tailored Talent Training!

# تفاضلی یک ورودی – دو خروجی

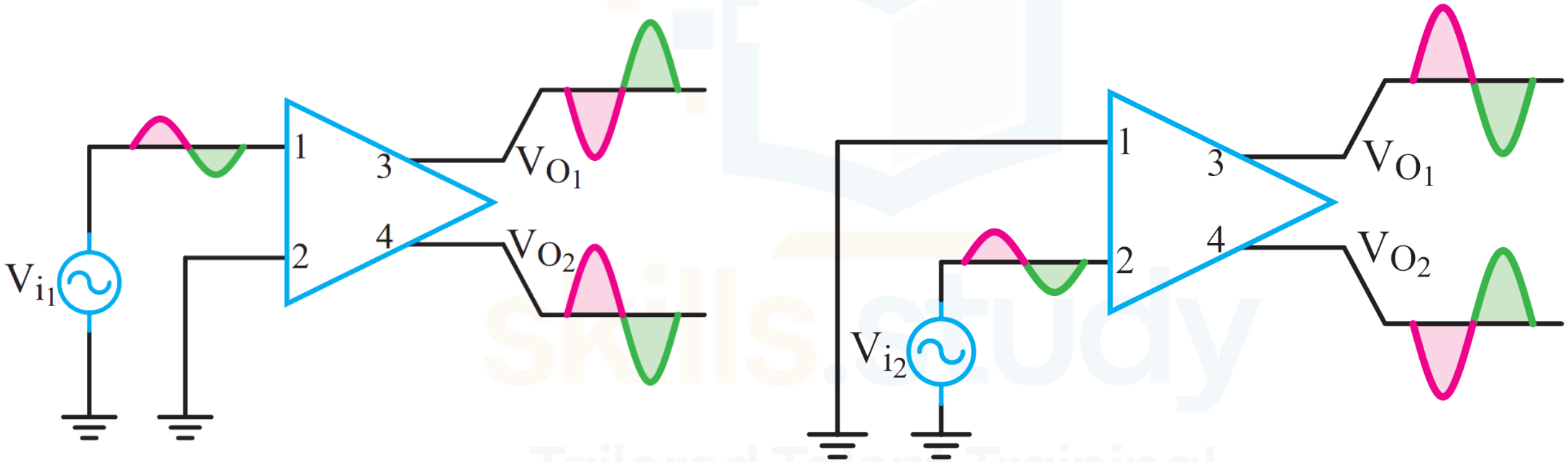
- با اعمال ورودی به بیس $TR2$ وضعیت به این صورت خواهد شد:




https:// skills.study

# تفاضلی یک ورودی – دو خروجی

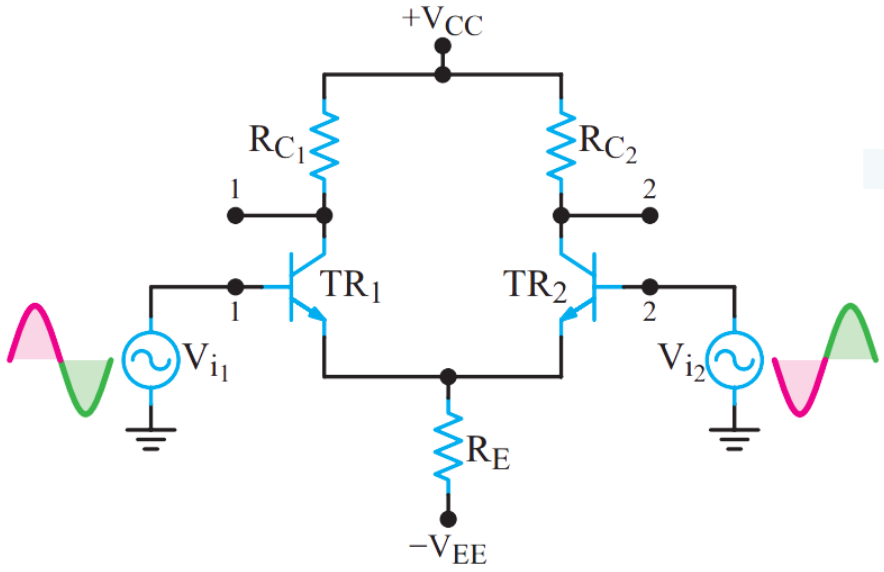
- نمایش بلوکی

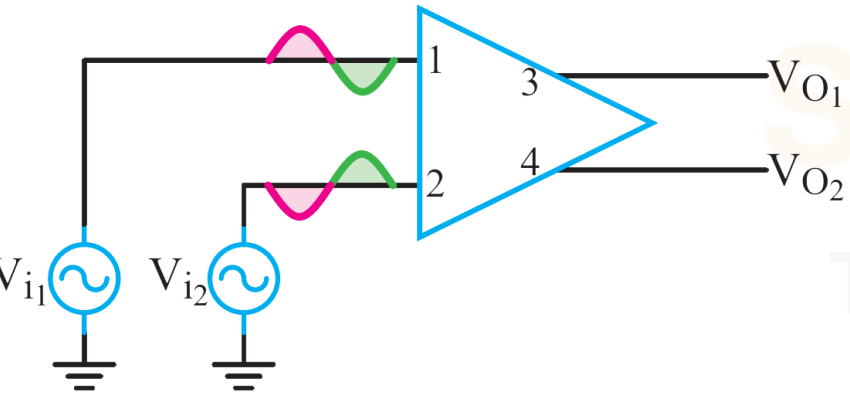


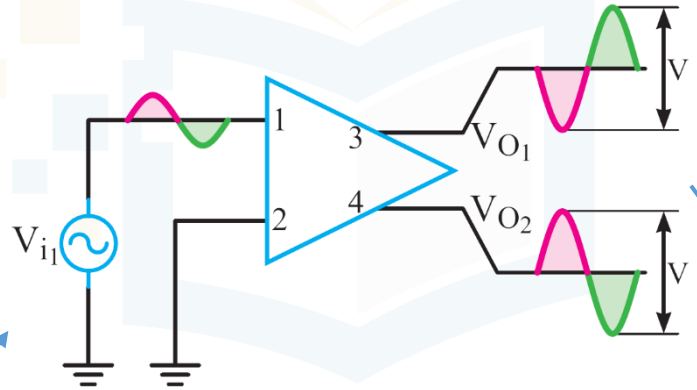

skills.study
Tailored Talent Training!

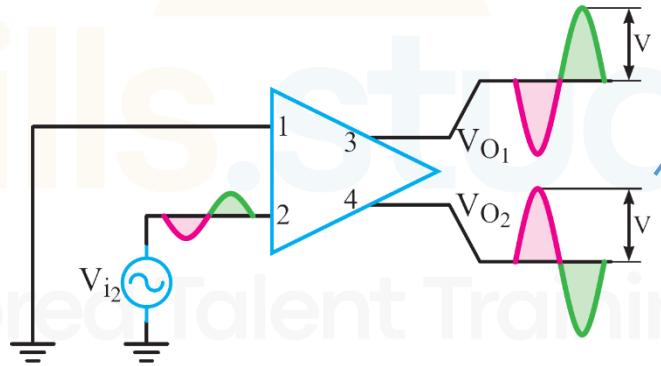
# تفاضلی دو ورودی – دو خروجی

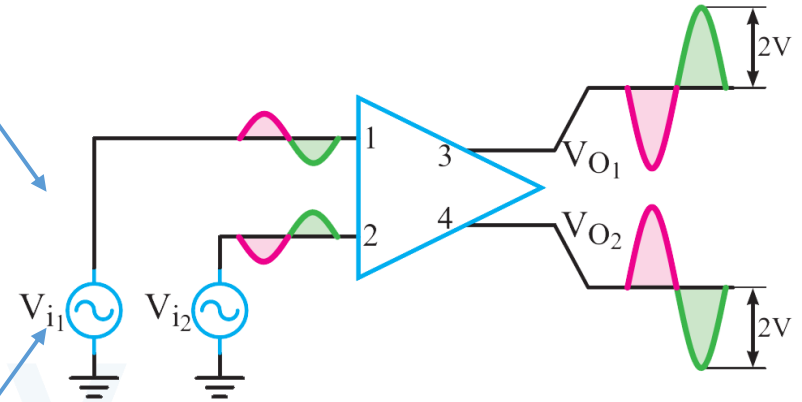
- تحلیل با استفاده از قانون جمع آثار



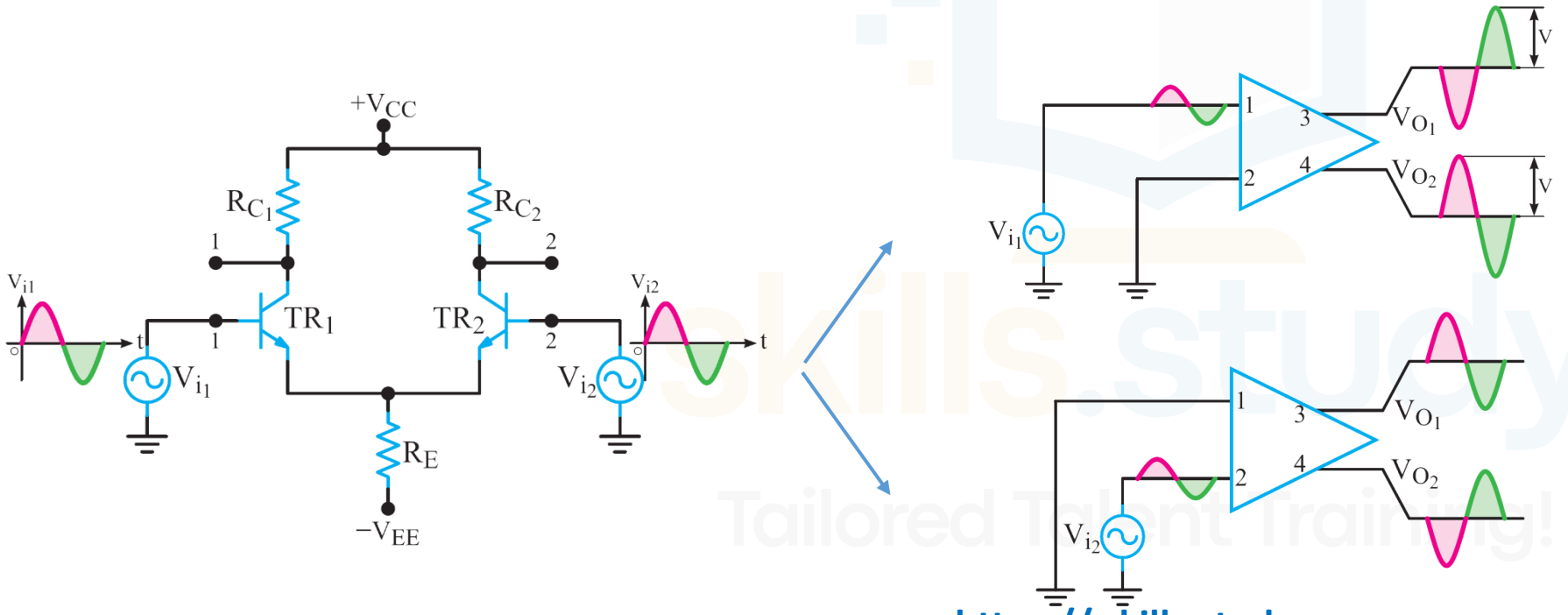




skills.study
Tailored Talent Training!

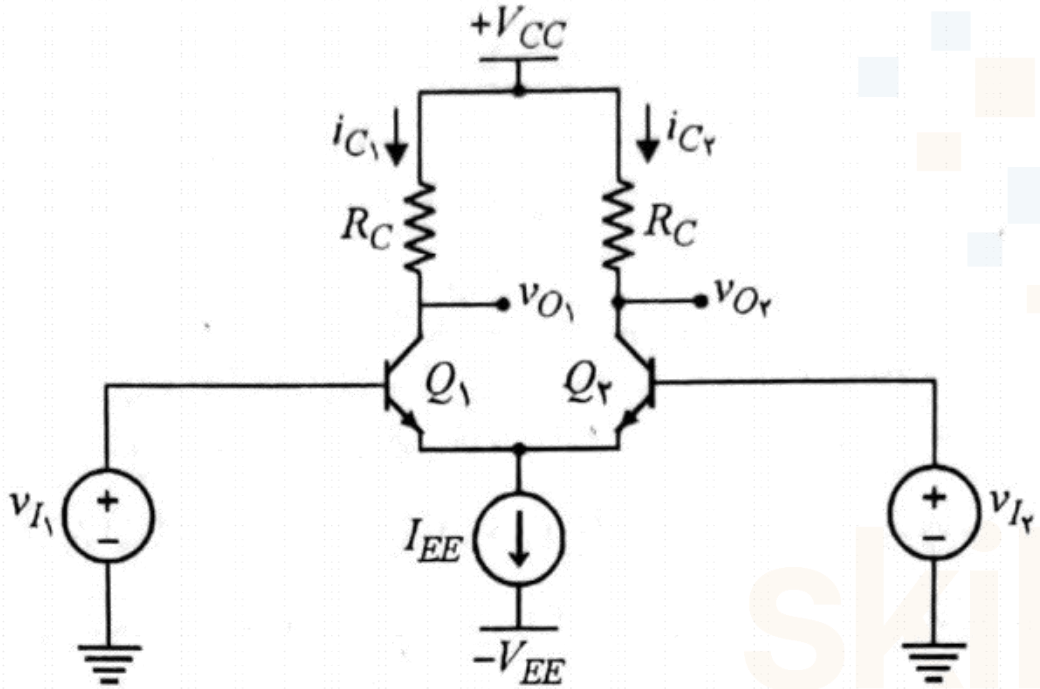
# تفاضلی سیگنال مشترک

- 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، کاملا حذف می‌شوند




https:// skills.study

# یادآوری از الکترونیک ۱




$$v_{I_1} - v_{BE_1} + v_{BE_2} - v_{I_2} = 0$$

مطابق جلد اول الکترونیک میرعشقی:

$$I_C = \alpha I_E, I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO}$$

$$v_{BE_1} = V_T \ln\left(\frac{i_{C_1}}{I_{s_1}}\right)$$

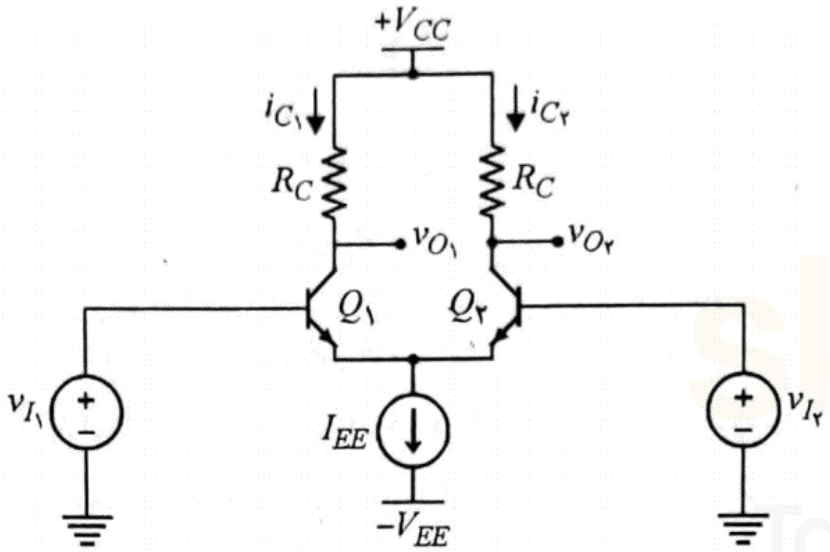
$$v_{BE_2} = V_T \ln\left(\frac{i_{C_2}}{I_{s_2}}\right)$$

$i_s$ جریان اشباع ترانزیستور است در حالتی که ولتاژ $v_{be}$ صفر باشد.
$i_s$ از ویژگی‌های ترانزیستور است.

skills.study
Tailored Talent Training!

# تجزیه تحلیل سیگنال کوچک

- نقطه کار: ولتاژها در ترانزیستور در حالتی که فقط تغذیه DC به آن وصل است و سیگنال کوچک نداریم.
- در تحلیل سیگنال کوچک سیگنال‌های DC را صفر فرض می‌کنیم و فقط سیگنالهای ac را در نظر می‌گیریم.




skills.study
Tailored Talent Training!

# 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 $(A_{vd})$ به بهره‌ی حالت مد مشترک $(A_{cm})$ را ضریب حذف سیگنال مشترک یا CMRR می‌نامند.

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

- اغلب CMRRبر حسب دسیبل نیز بیان می‌شود:

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

skills.study
Tailored Talent Training!

# حل تمرین

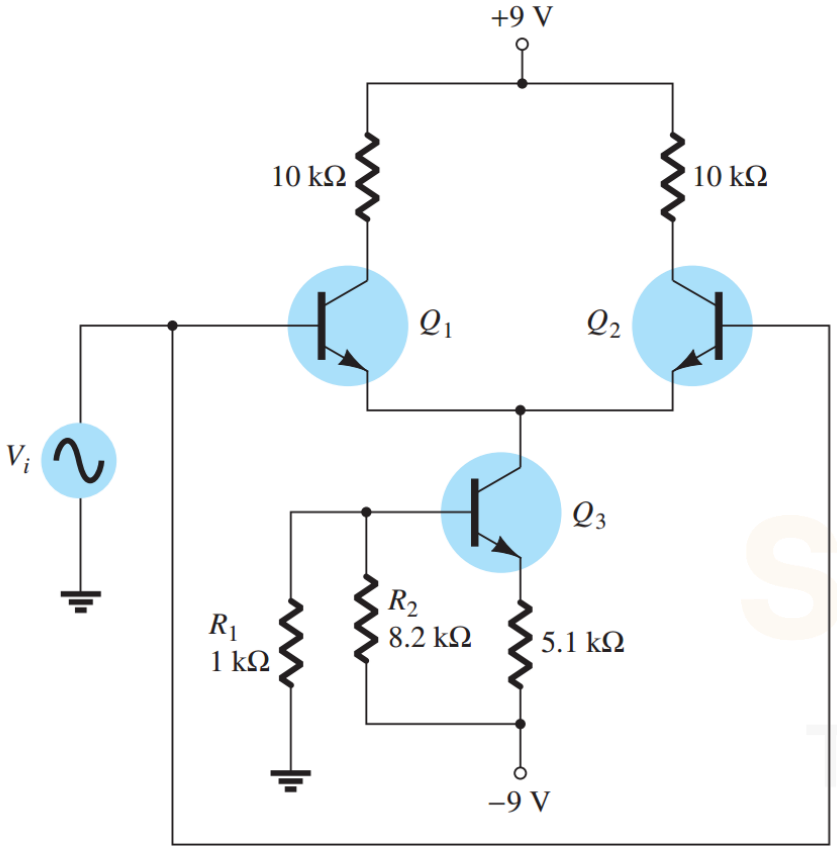
- در یک تقویت کننده‌ی تفاضلی بهره‌ی حالت تفاضلی ۲۰۰۰ و بهره در حالت مُد مشترک ۰/۲ است. مقدار CMRR را محاسبه کنید. CMRR بر حسب دسیبل چقدر است؟ مفهوم عدد به‌دست آمده چیست؟ شرح دهید.

$$CMRR = \frac{A_{vd}}{Acm} = \frac{2000}{0.2} = 10000$$

$$CMRR(db) = 20 \log 10000 = 80$$

- CMRR برابر ۱۰۰۰۰ به این مفهوم است که سیگنال ورودی مشخص به اندازه‌ی ۱۰۰۰۰ مرتبه بیشتر از سیگنال ناخواسته (نویز) که به صورت مُد 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.

# حل تمرین




- بهره مود مشترک (CMRR) را برای مدار زیر بدست آورید.

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

$\beta_1 = \beta_2 = \beta = 75$
$r_{i_1} = r_{i_2} = r_i = 11\ \text{k}\Omega$

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

- همچنین اگر مقاومت دیده شده از طرف امیترها به پایین را به سمت بیس منتقل کنیم به نسبت افزایش جریان، $(2(\beta+1)R_E)$ افزایش می‌یابد.

- $I_b = \frac{V_i}{r_i + 2(\beta+1)R_E} = \frac{V_i}{11k + 2(76)R_E}, R_E \approx r_o \Rightarrow$
- $V_o = I_c R_c = \beta I_b R_c = \frac{75 \times V_i \times 10k}{11k + 2(76)200k} \Rightarrow$
- $A_c = \frac{V_o}{V_i} = \frac{75 \times 10k}{11k + 2(76)200k} = \frac{750}{11 + 76 * 400}$
$= 24.7 \times 10^{-3}$

https:// skills.study