



Fundamentals of Microelectronics II

فصل ۱۰ - تقویت کننده های تفاضلی

(قسمت اول - زوج تفاضلی دوقطبی)

Mohammad Ali Mansouri- Birjandi

Majid Ghadrnan

**Faculty of Electrical and Computer Engineering
University of Sistan and Baluchestan (USB)**

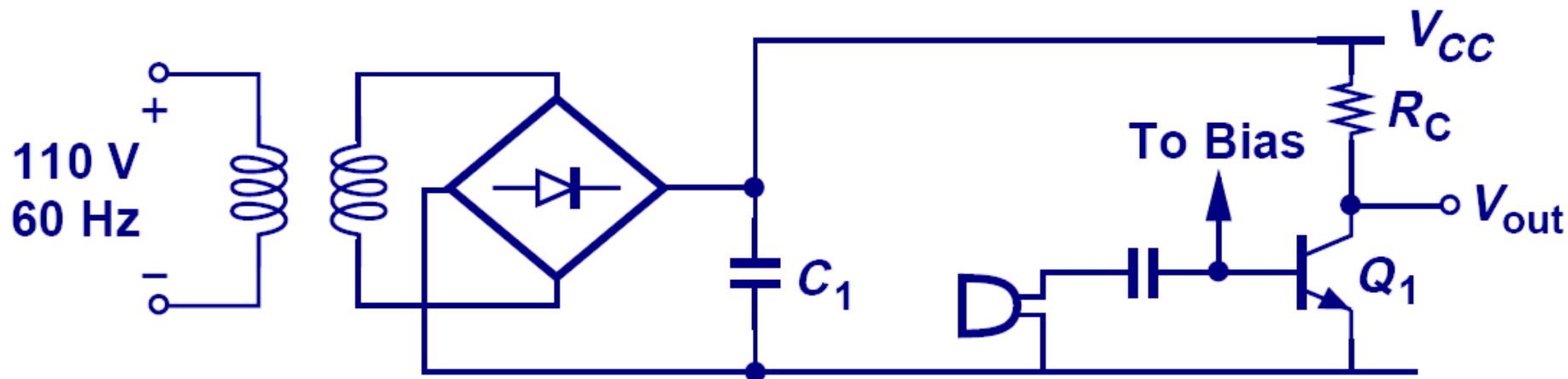
**mansouri@ece.usb.ac.ir ,
mamansouri@yahoo.com**

Chapter 10 Differential Amplifiers

- **10.1 General Considerations**
- **10.2 Bipolar Differential Pair**
- **10.3 MOS Differential Pair**
- **10.4 Cascode Differential Amplifiers**
- **10.5 Common-Mode Rejection**
- **10.6 Differential Pair with Active Load**



Audio Amplifier Example



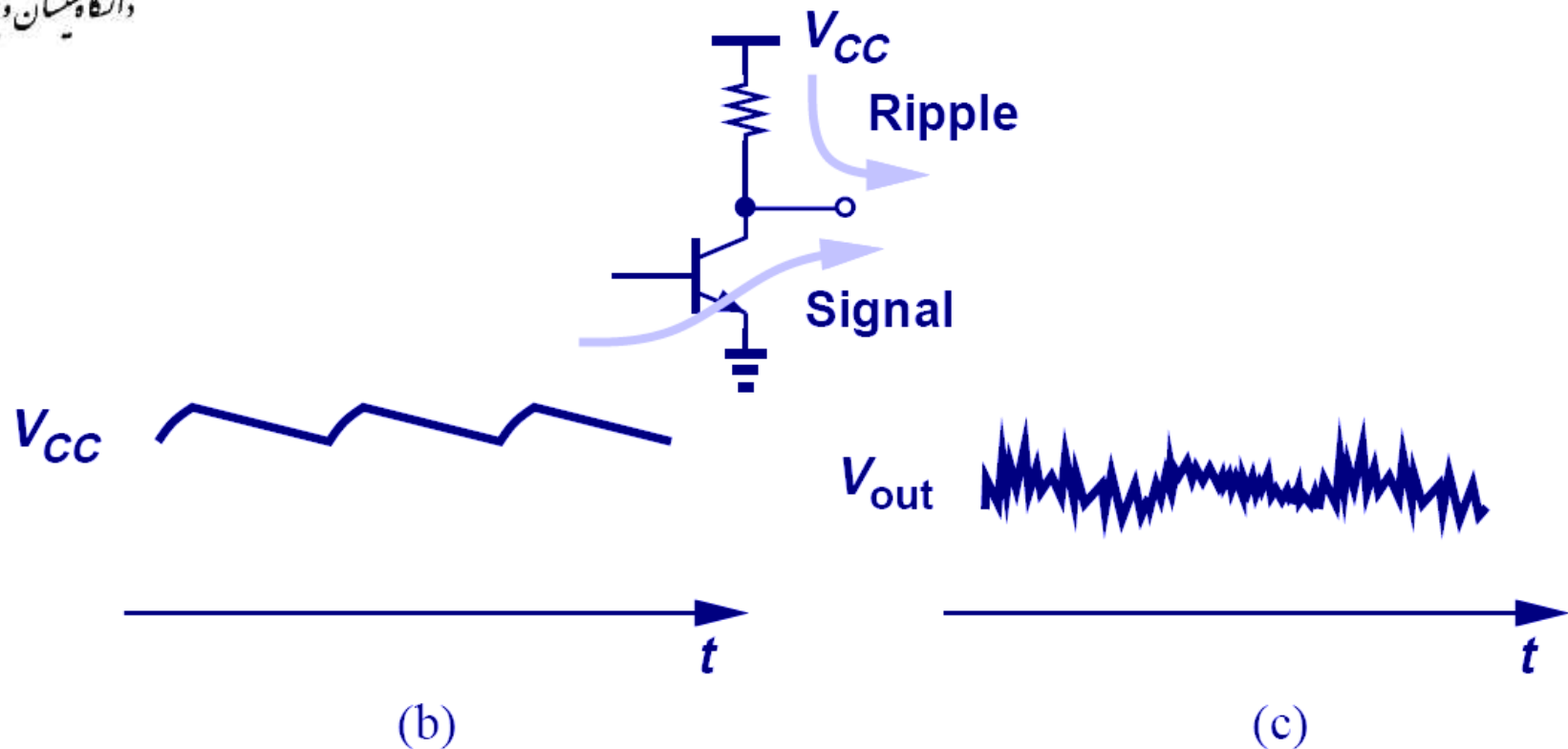
❖ یک تقویت کننده صوتی در بالا ساخته شده است که :

ولتاژ ac یکسو شده را به عنوان منبع تغذیه استفاده می کند و یک سیگنال صوتی را از یک میکروفون تقویت می کند.



دانشگاه گیلان و بروجستان

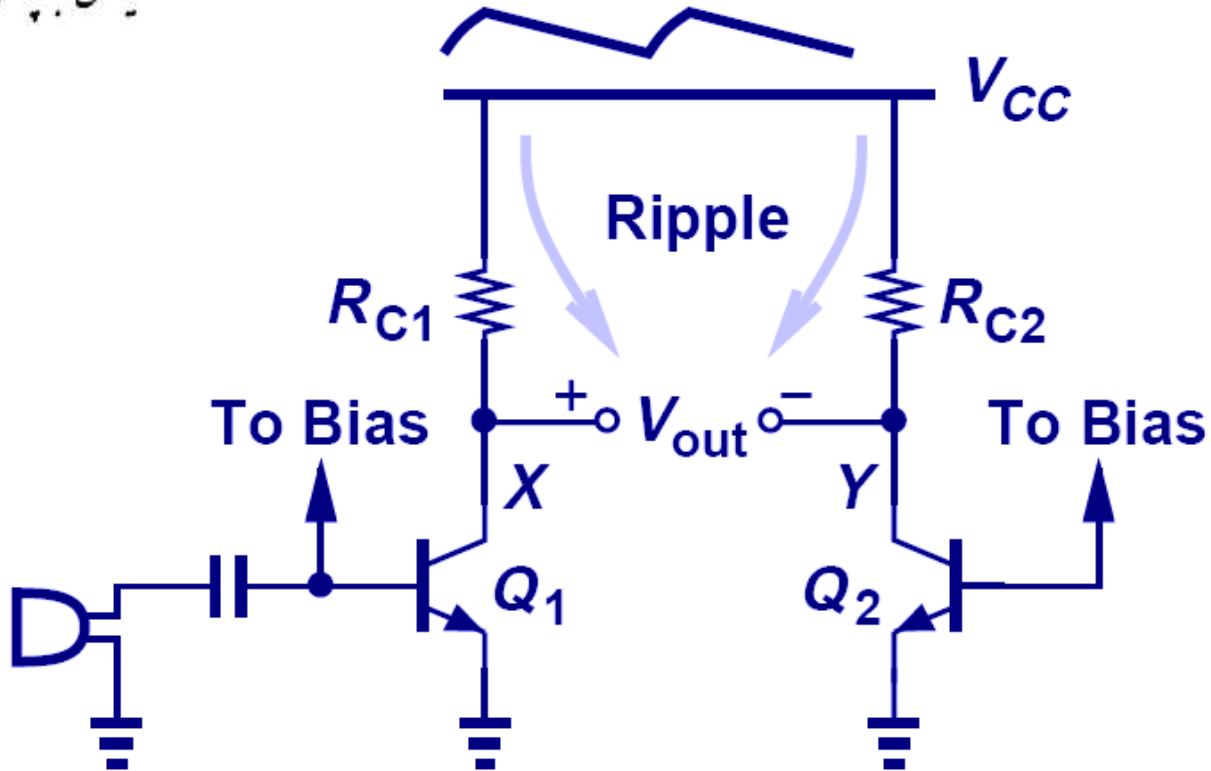
“Humming” Noise in Audio Amplifier Example



- ❖ با این حال ، V_{CC} حاوی یک **ریپل** از یکسوکننده است که به خروجی نشت می کند و توسط کاربر به عنوان یک سر و صدای «**وزوز**» تلقی می شود.
- ❖ **نویز تغذیه** با بهره یک به خروجی راه می یابد.



Supply Ripple Rejection

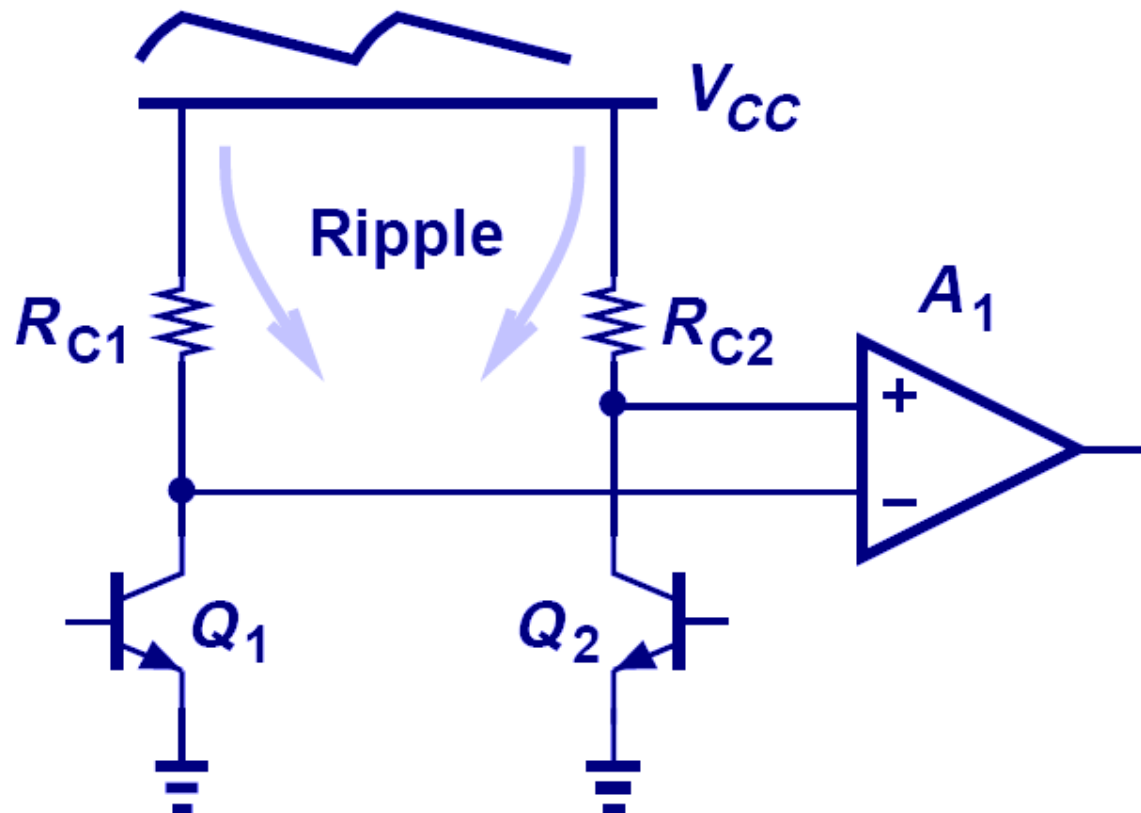


$$\begin{aligned}V_X &= A_v v_{in} + v_r \\V_Y &= v_r \\V_X - V_Y &= A_v v_{in}\end{aligned}$$

❖ از آنجا که هر دو گره X و Y حاوی رپل هستند، اختلاف آنها بدون رپل خواهد بود.



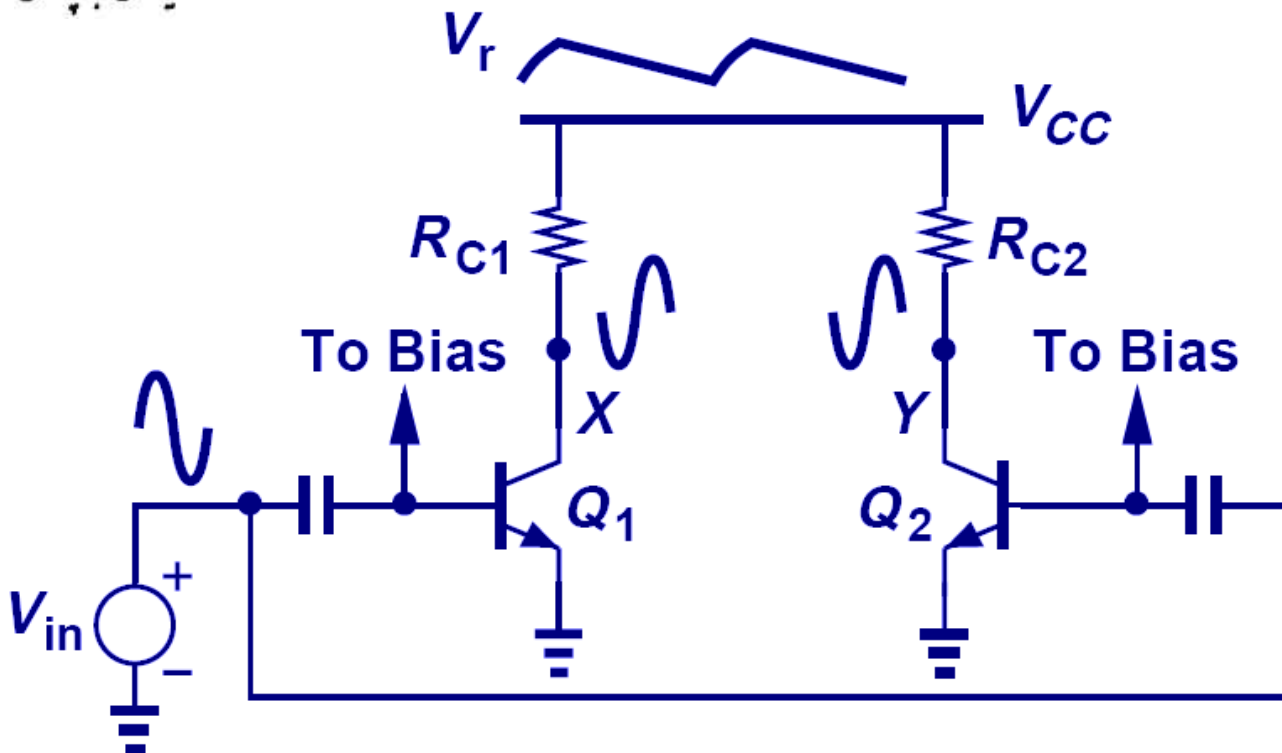
Ripple-Free Differential Output



❖ از آنجایی که سیگنال به عنوان تفاوت بین دو گره در نظر گرفته می شود ، یک تقویت کننده که سیگنال های دیفرانسیل را حس می کند مورد نیاز است.



Common Inputs to Differential Amplifier



$$v_X = A_v v_{in} + v_r$$

$$v_Y = A_v v_{in} + v_r$$

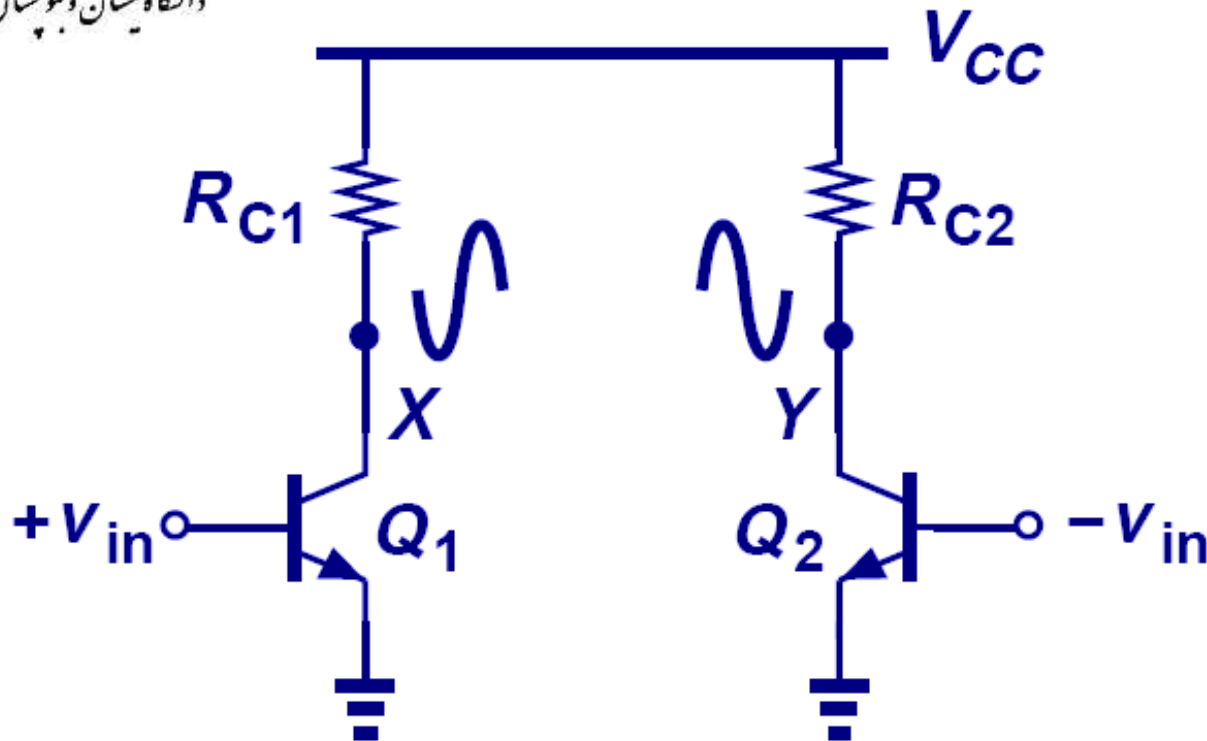
$$v_X - v_Y = 0$$

❖ سیگنال ها را نمی توان به صورت هم فاز به ورودی های یک تقویت کننده دیفرانسیل اعمال کرد،

❖ زیرا خروجی ها نیز در این حالت هم فاز بوده و تولید **خروجی دیفرانسیلی** صفر می کنند.



Differential Inputs to Differential Amplifier



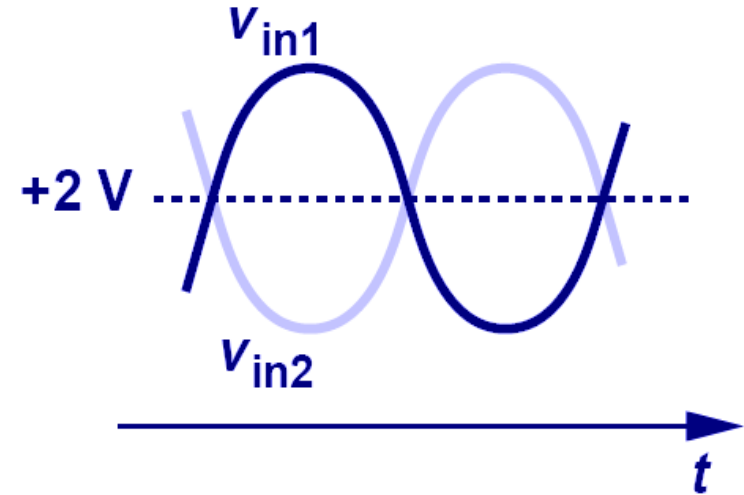
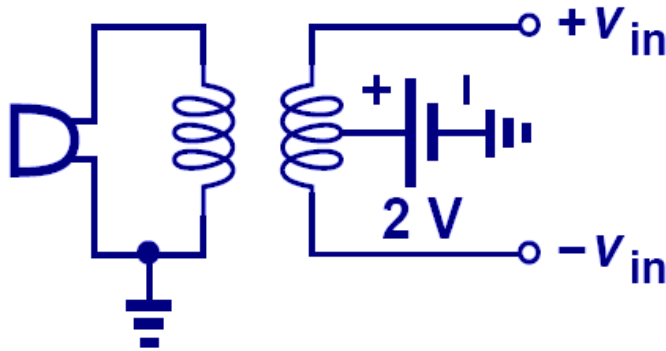
$$\begin{aligned}v_X &= A_v v_{in} + v_r \\v_Y &= -A_v v_{in} + v_r \\v_X - v_Y &= 2A_v v_{in}\end{aligned}$$

- ❖ وقتی ورودی ها به طور تفاسلی اعمال می شوند ، خروجی ها ۱۸۰ درجه اختلاف فاز خواهند داشت؛
- ❖ در این حالت، افزایش هر یک از آنها، در خروجی به خوبی حس می شود.



دانشگاه گیلان
Guilan University

Differential Signals

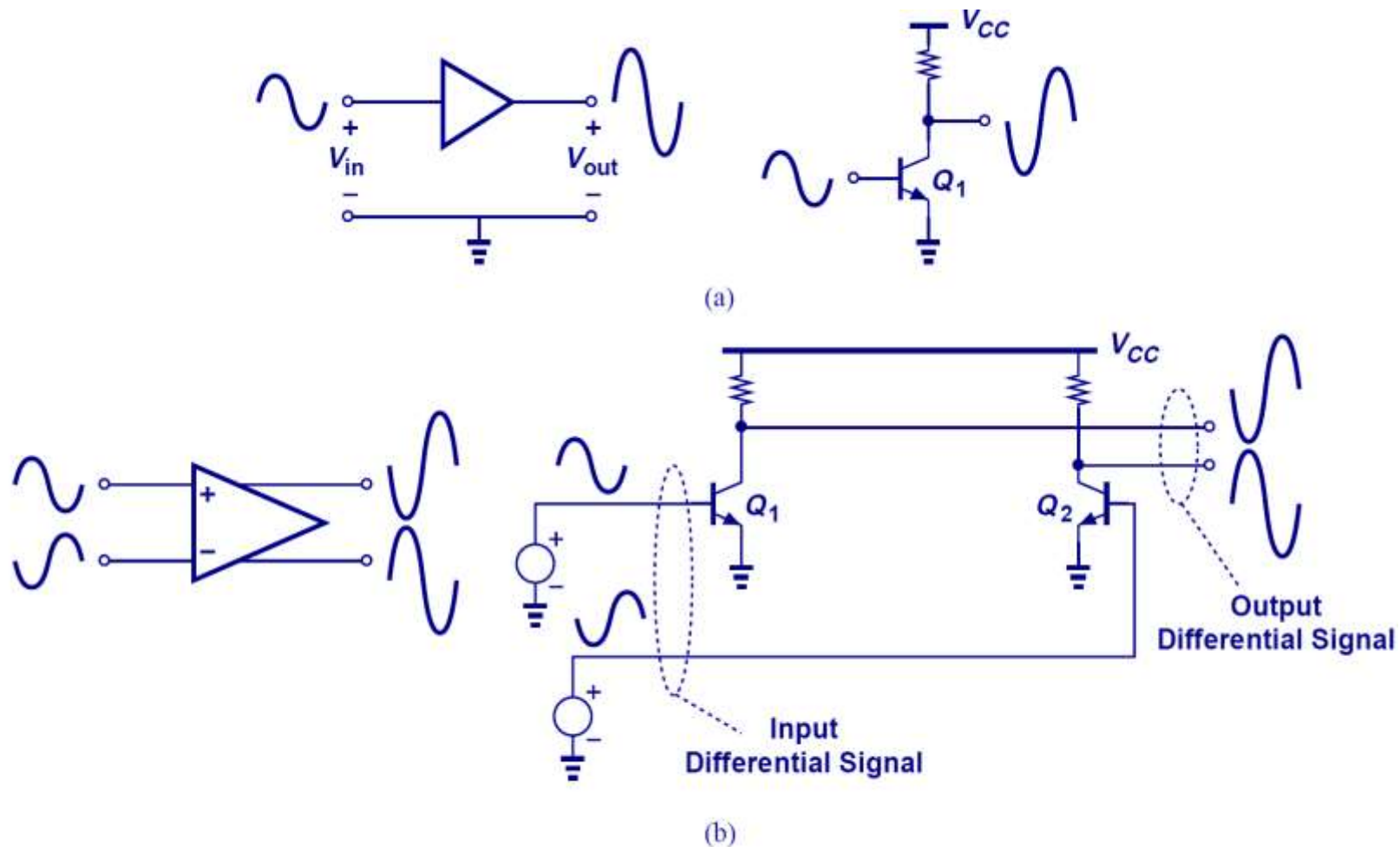


- A pair of **differential signals** can be generated, among other ways, by a **transformer**.
- Differential signals have the property that they share the same average value to ground and are **equal** in magnitude but **opposite in phase**.



دانشگاه گیلان
Guilan University

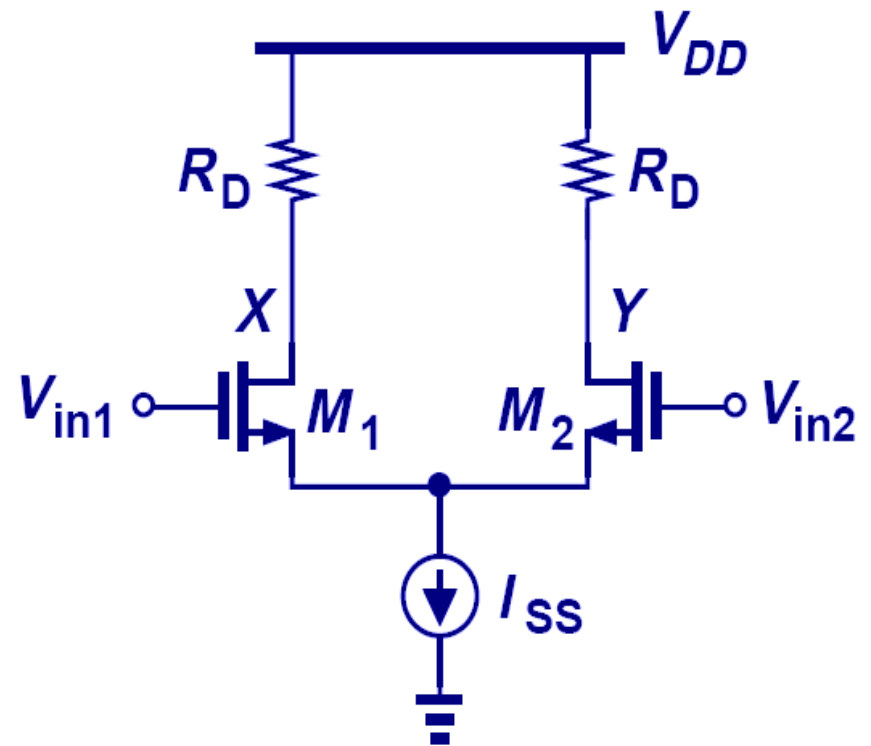
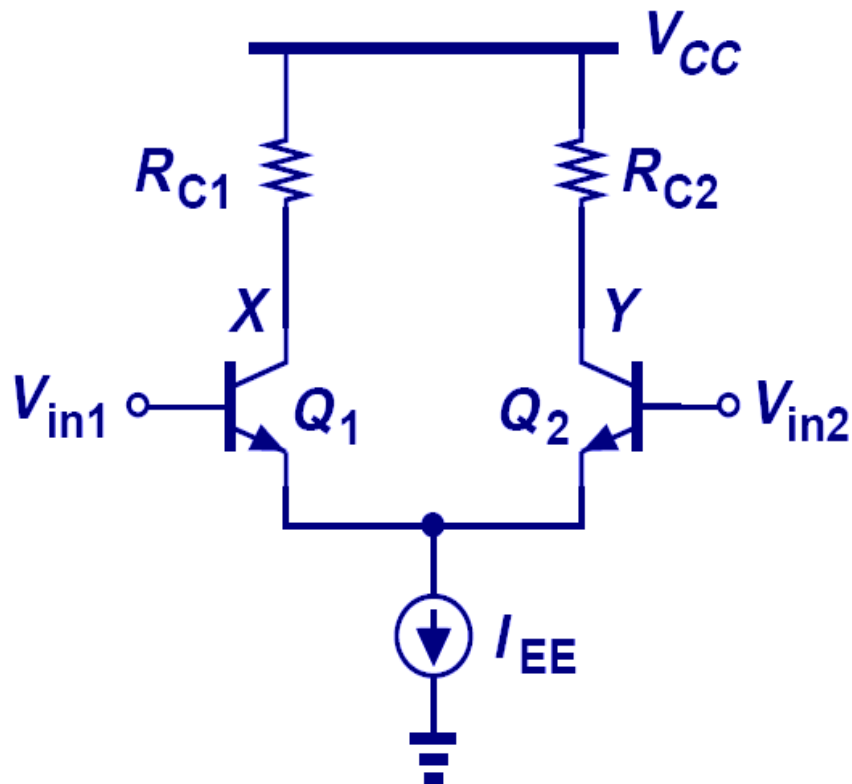
Single-ended vs. Differential Signals





دانشگاه پشاور

Differential Pair

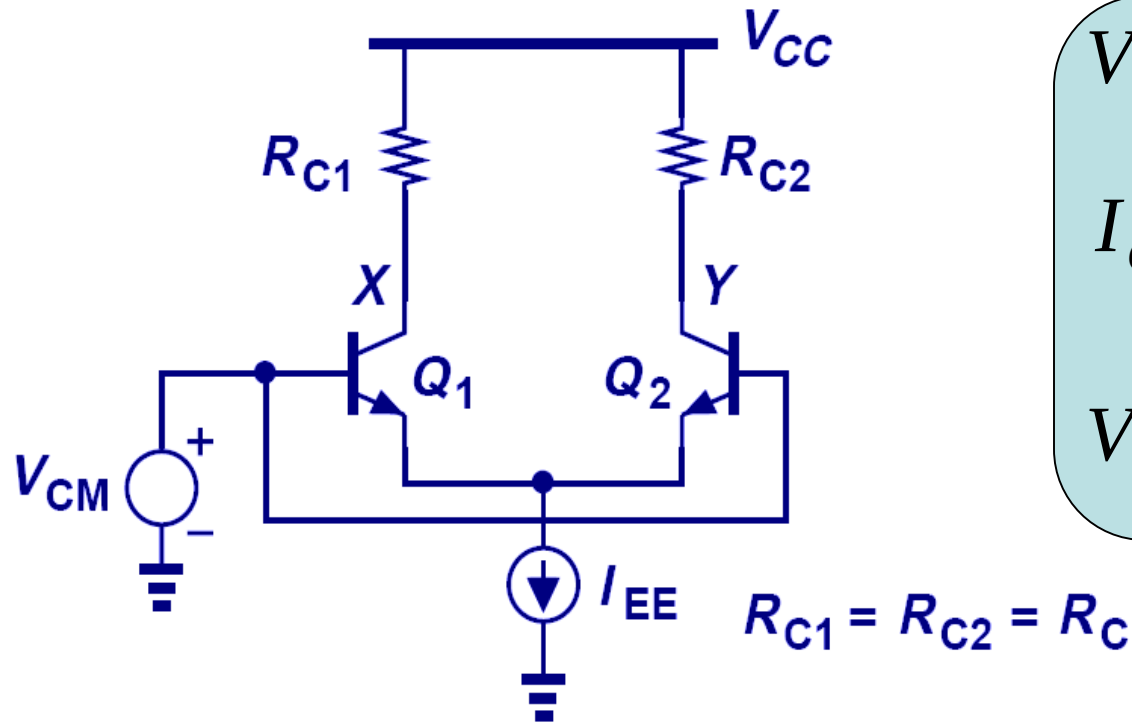


- With the addition of a **tail current**, the circuits above operate as an **elegant**, yet robust differential pair.



دانشگاه گیلان
Guilan University

Common-Mode Response



$$V_{BE1} = V_{BE2}$$

$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_{EE}}{2}$$

$$V_X = V_Y = V_{CC} - R_C \frac{I_{EE}}{2}$$



Common-Mode Rejection

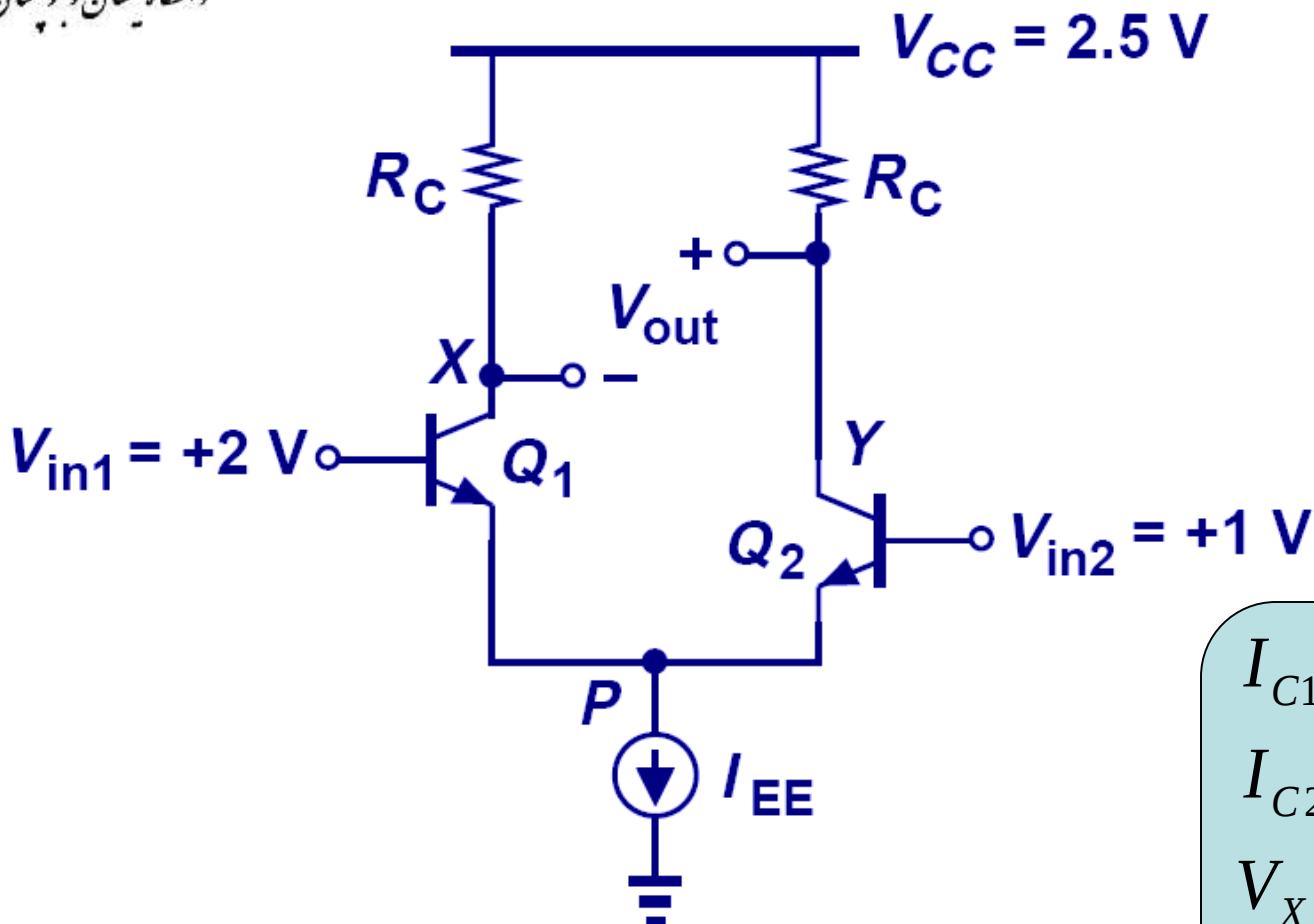


❖ با توجه به منبع جریان ثابت دنباله، مقدار **حالت مشترک ورودی** می تواند بدون تغییر مقدار **حالت مشترک خروجی**، تغییر کند.



دانشگاه پشاور

Differential Response I



$$I_{C1} = I_{EE}$$

$$I_{C2} = 0$$

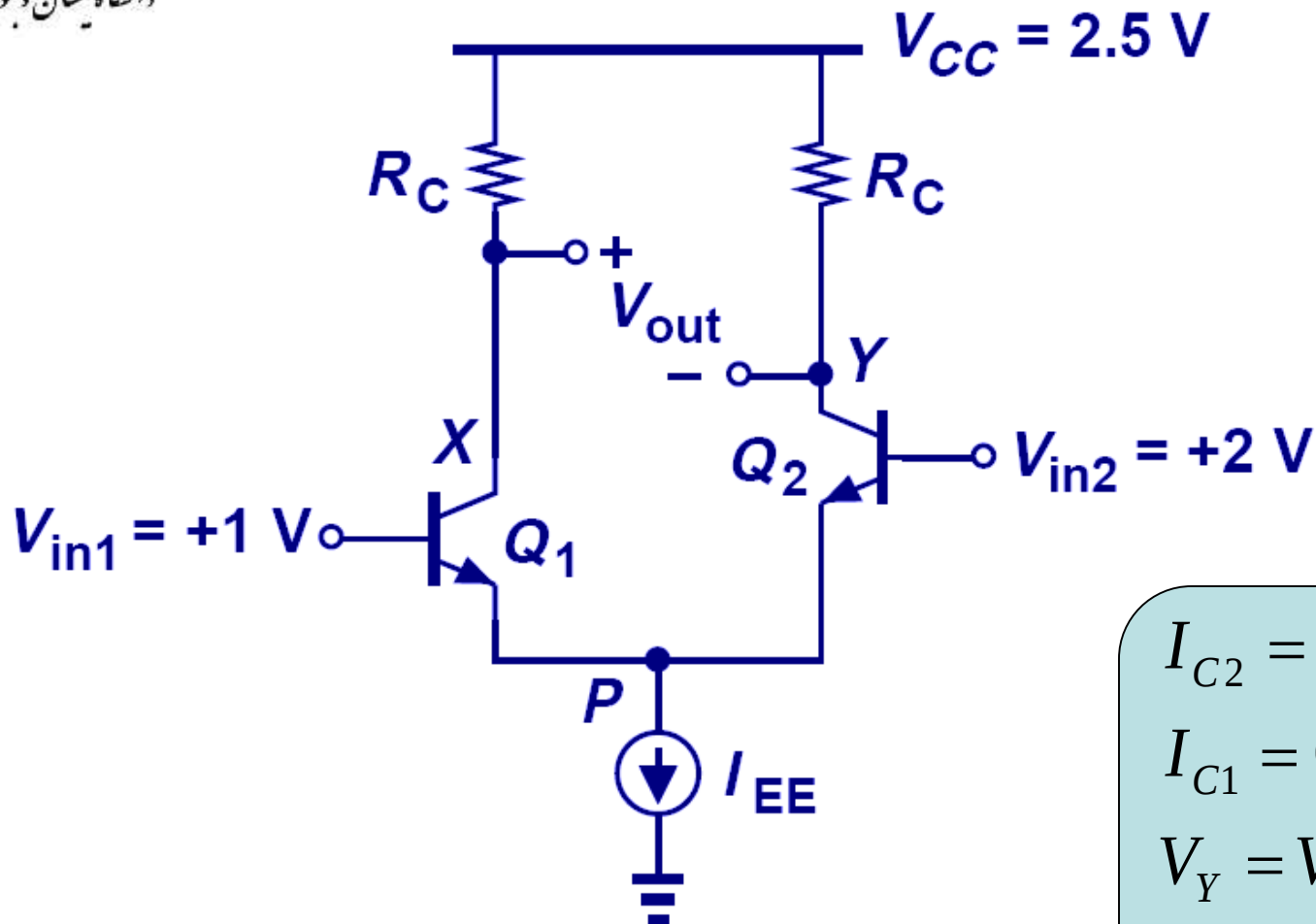
$$V_X = V_{CC} - R_C I_{EE}$$

$$V_Y = V_{CC}$$



دانشگاه پشاور

Differential Response II



$$I_{C2} = I_{EE}$$

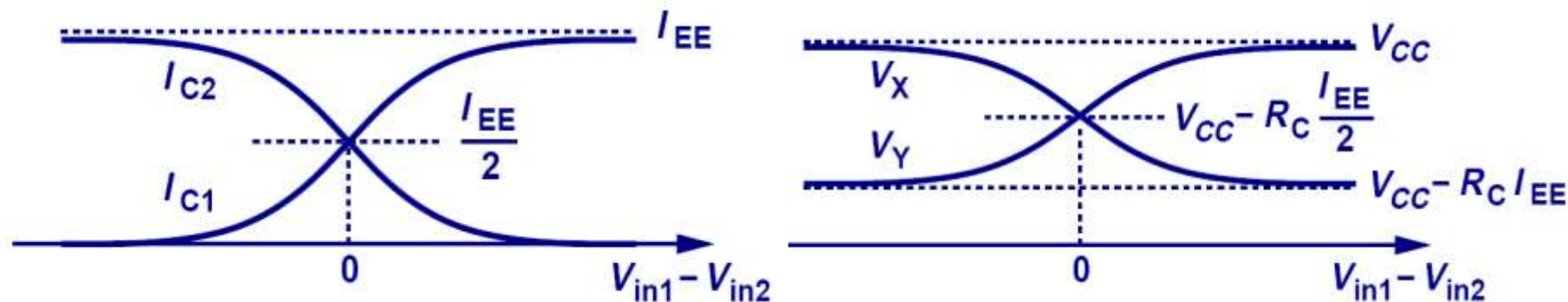
$$I_{C1} = 0$$

$$V_Y = V_{CC} - R_C I_{EE}$$

$$V_X = V_{CC}$$



Differential Pair Characteristics



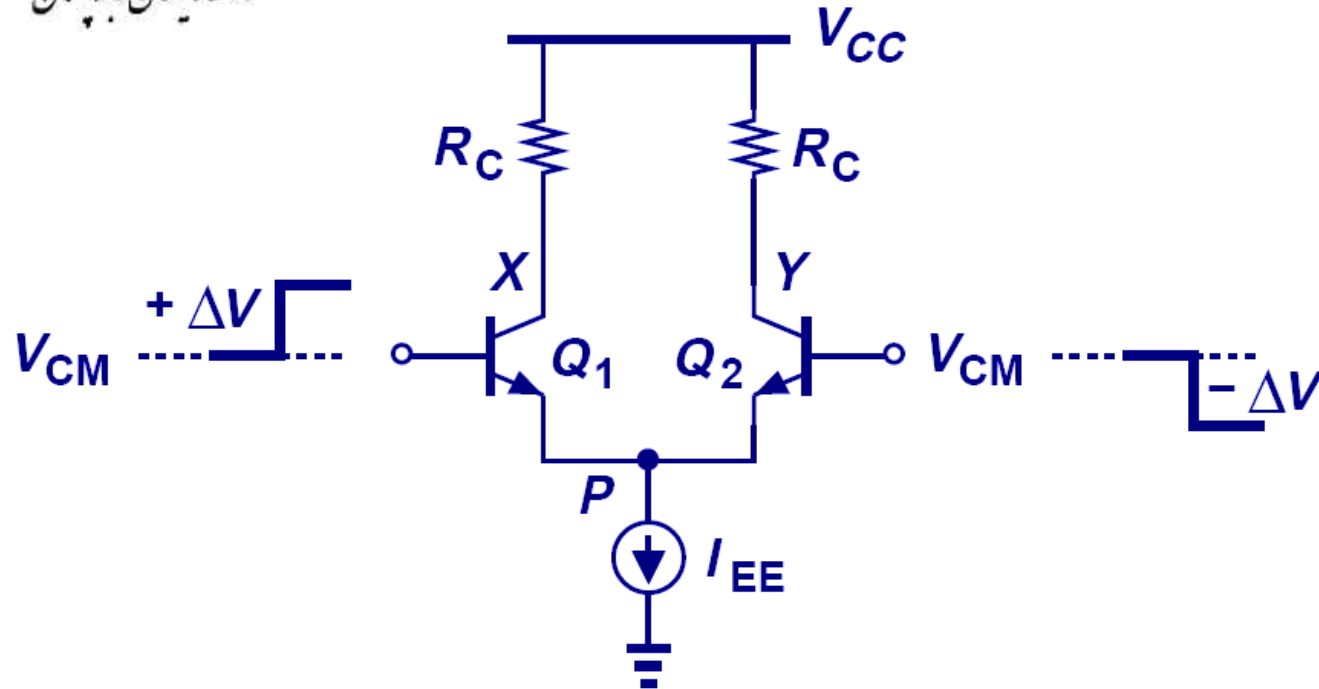
❖ ورودی دیفرانسیل غیر صفر، تغییراتی را در جریان و ولتاژ خروجی ایجاد می کند،

❖ در حالی که ورودی حالت مشترک، هیچ تغییری ایجاد نمی کند.



دانشگاه گیلان
Guilan University

Small-Signal Analysis



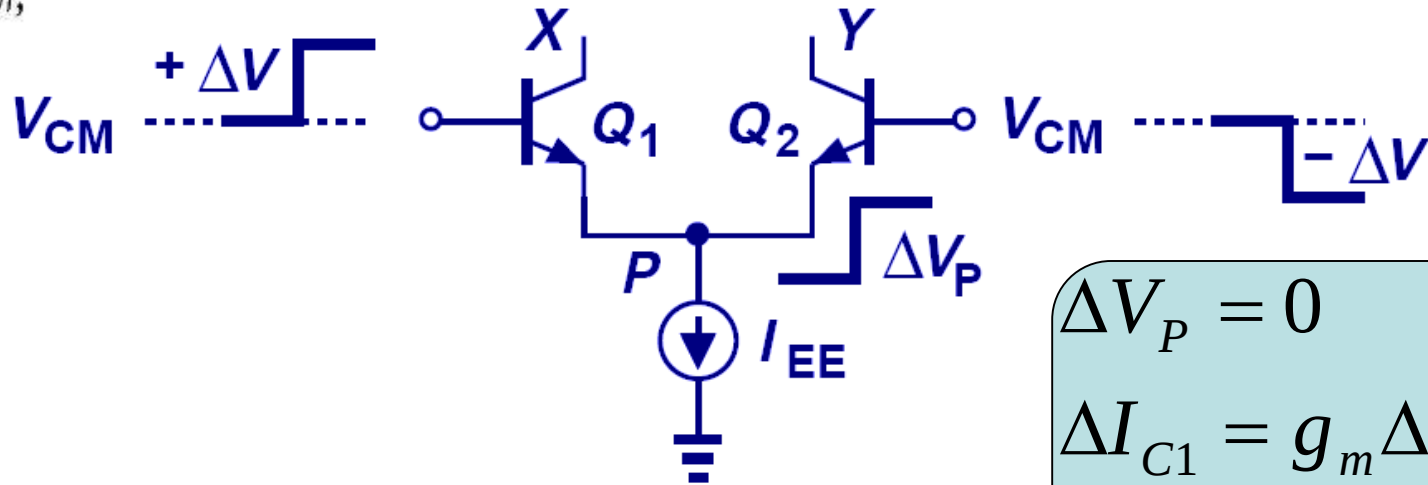
$$I_{C1} = \frac{I_{EE}}{2} + \Delta I$$
$$I_{C2} = \frac{I_{EE}}{2} - \Delta I$$

- Since the **input** to Q_1 and Q_2 rises and falls by the **same amount**, and **their emitters** are tied together, the **rise** in I_{C1} has the **same** magnitude as the **fall** in I_{C2} .



دانشگاه پشاور

Virtual Ground



$$\Delta V_P = 0$$

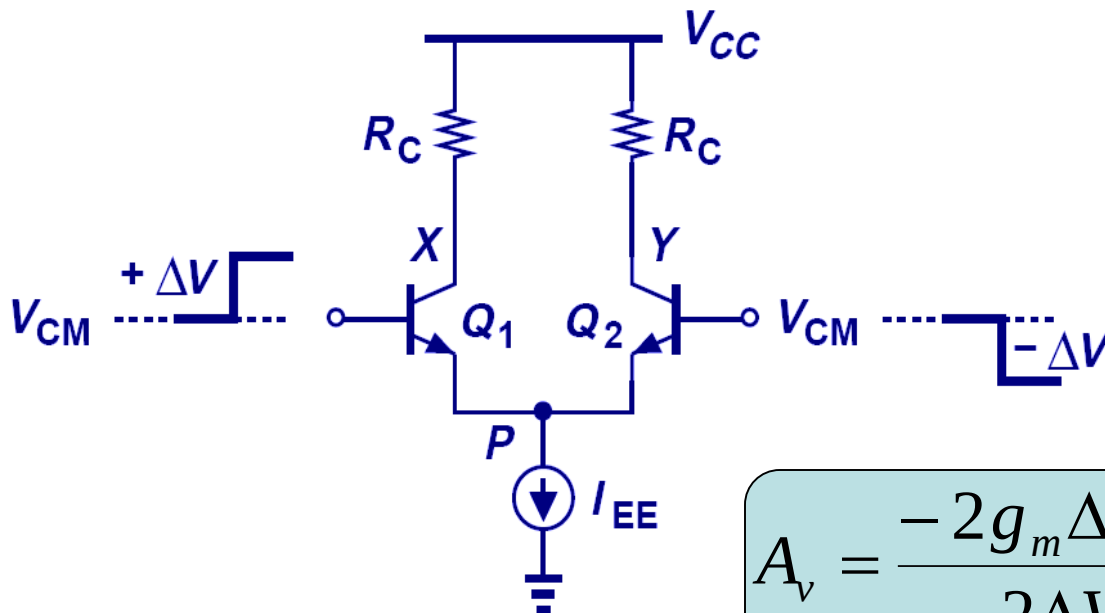
$$\Delta I_{C1} = g_m \Delta V$$

$$\Delta I_{C2} = -g_m \Delta V$$

- For **small changes** at inputs, the g_m 's are the **same**,
- and the respective increase and decrease of I_{C1} and I_{C2} are the same,
- **node P** must stay **constant** to accommodate these changes. Therefore, node P can be viewed as **AC ground**.



Small-Signal Differential Gain



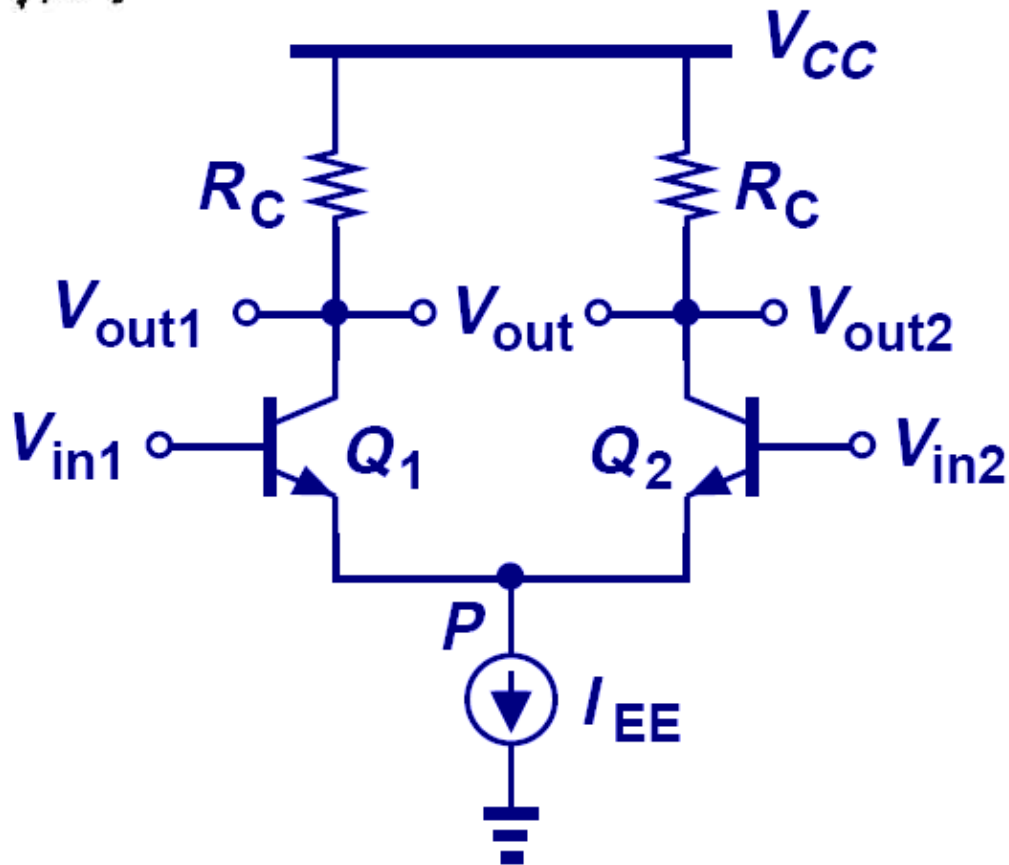
$$A_v = \frac{-2g_m \Delta V R_C}{2\Delta V} = -g_m R_C$$

- Since the output changes by $-2g_m \Delta V R_C$ and input by $2\Delta V$, the small signal gain is $-g_m R_C$, similar to that of the CE stage.
- However, to obtain same gain as the CE stage, power dissipation is doubled.



دانشگاه پشاور

Large Signal Analysis



$$I_{C1} = \frac{I_{EE} \exp \frac{V_{in1} - V_{in2}}{V_T}}{1 + \exp \frac{V_{in1} - V_{in2}}{V_T}}$$
$$I_{C2} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp \frac{V_{in1} - V_{in2}}{V_T}}$$

$$V_{in1} - V_{BE1} = V_P = V_{in2} - V_{BE2}, \quad (10.52)$$

$$V_{in1} - V_{in2} = V_{BE1} - V_{BE2} \quad (10.53)$$

$$= V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}} - V_T \ln \frac{I_{C2}}{I_{S2}} \quad (10.54)$$

$$= V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}}. \quad (10.55)$$

ves

$$I_{C1} + I_{C2} = I_{EE}. \quad (10.56)$$

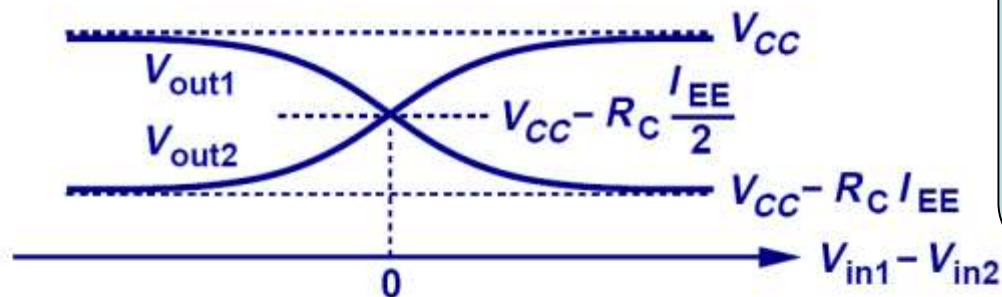
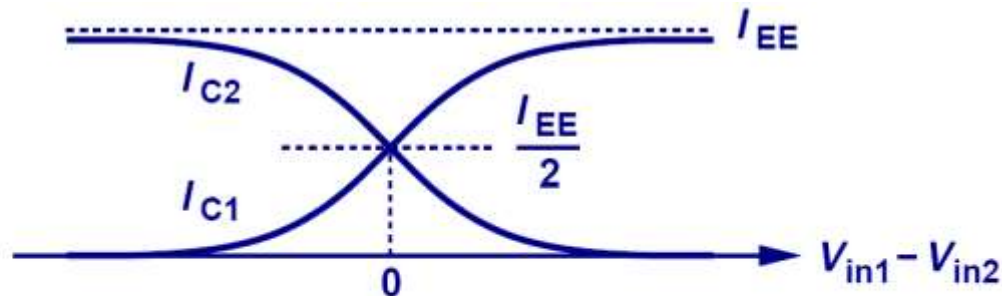
0.56) contain two unknowns. Substituting for I_{C1} from (10.55) in

$$I_{C2} \exp \frac{V_{in1} - V_{in2}}{V_T} + I_{C2} = I_{EE} \quad (10.57)$$

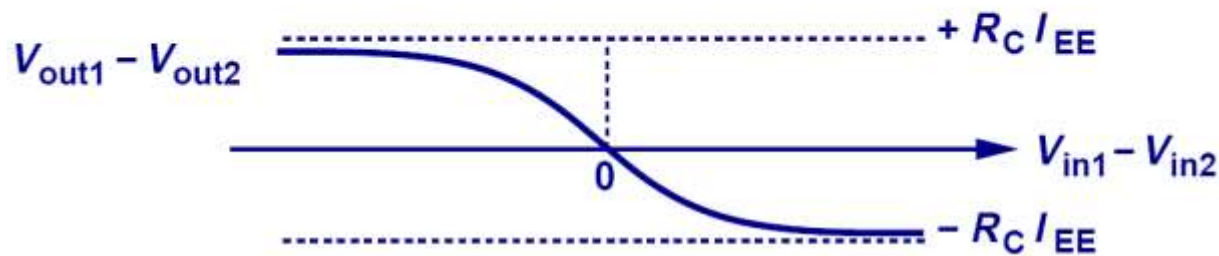
$$I_{C2} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp \frac{V_{in1} - V_{in2}}{V_T}}. \quad (10.58)$$



Input/Output Characteristics

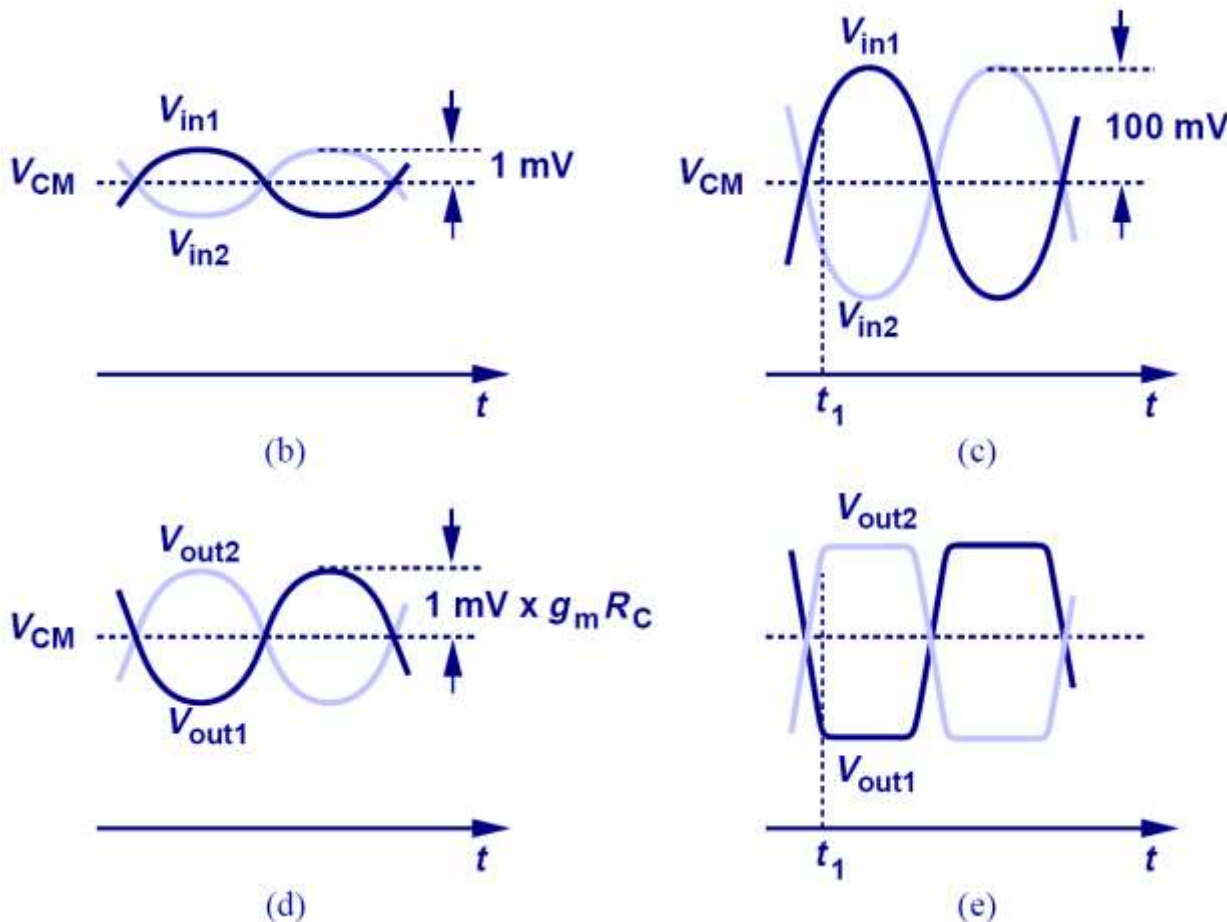


$$V_{out1} - V_{out2} = -R_C I_{EE} \tanh \frac{V_{in1} - V_{in2}}{2V_T}$$





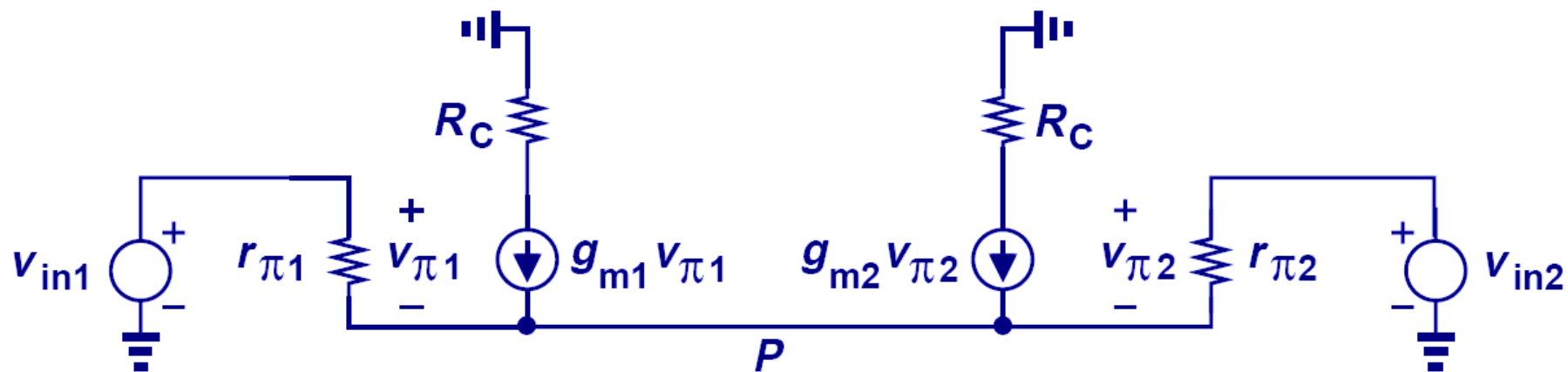
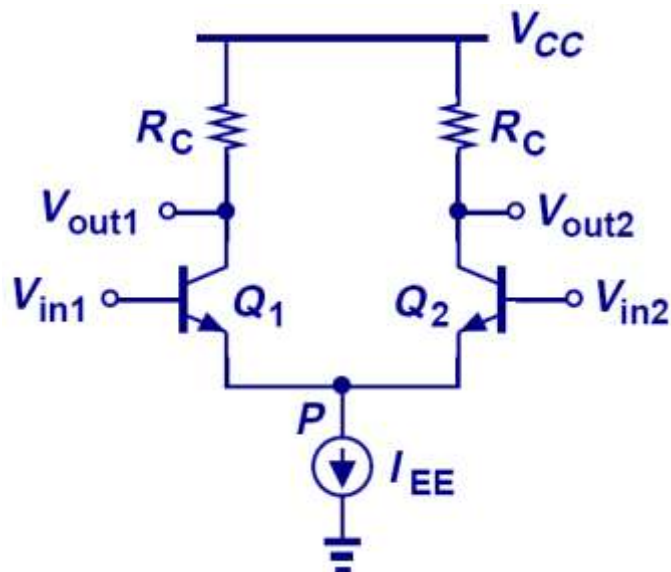
Linear/Nonlinear Regions



- The left column operates in linear region, whereas the right column operates in nonlinear region.



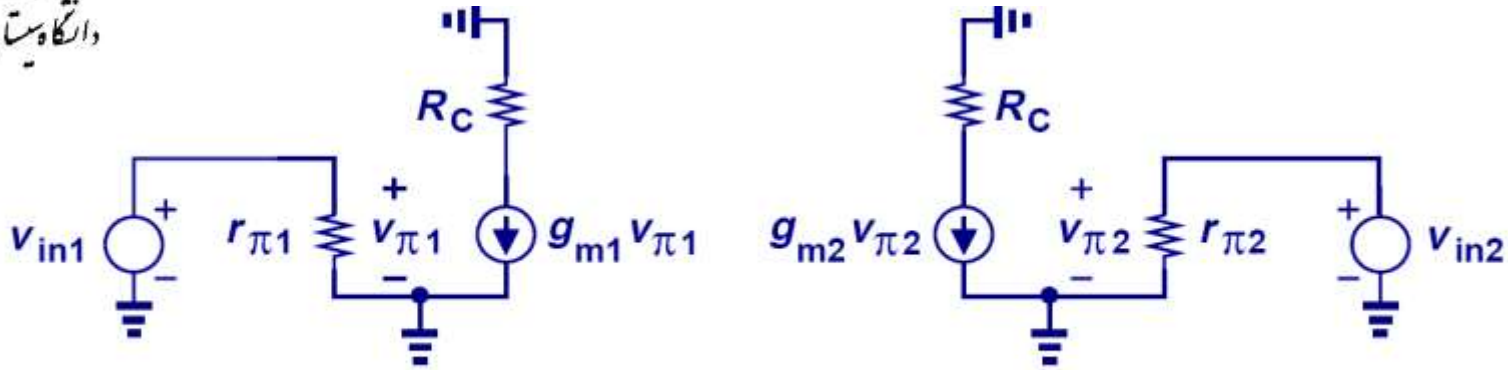
Small-Signal Model



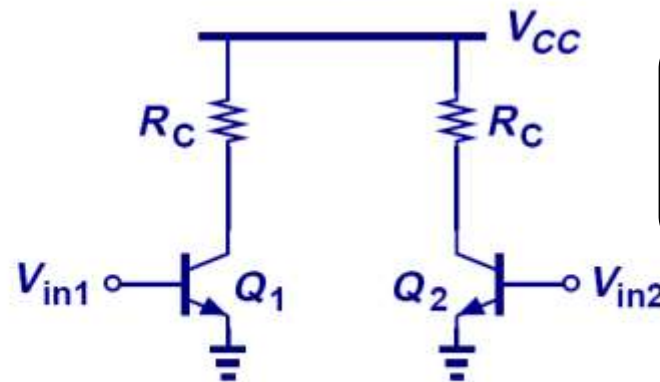


دانشگاه پشاور

Half Circuits



(b)



(c)

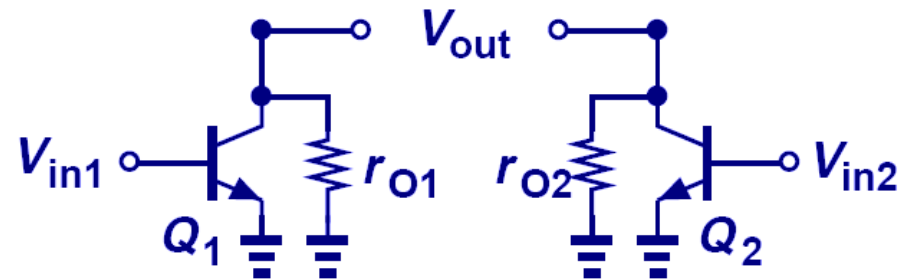
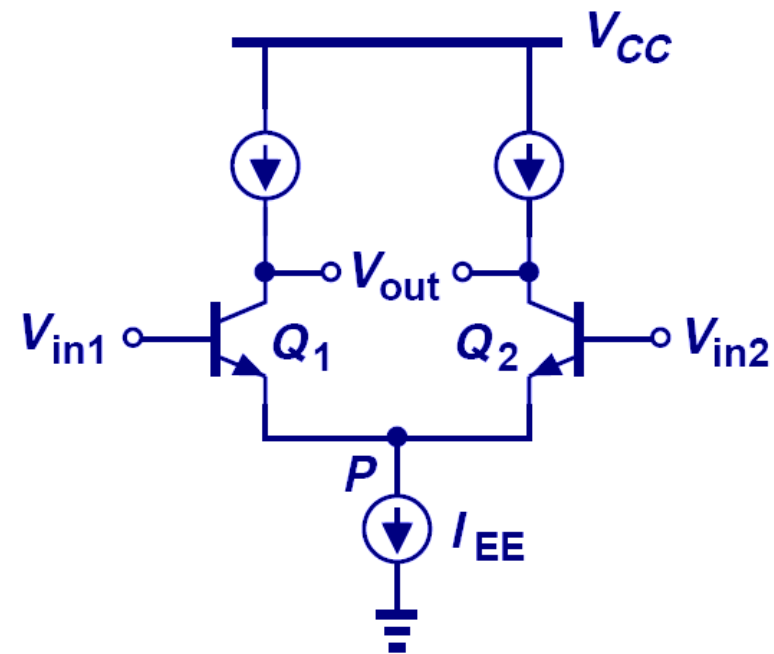
$$\frac{V_{out1} - V_{out2}}{V_{in1} - V_{in2}} = -g_m R_C$$

- Since V_P is grounded, we can treat the differential pair as two CE “half circuits”, with its gain equal to one half circuit’s single-ended gain.



دانشگاه گیلان

Example: Differential Gain

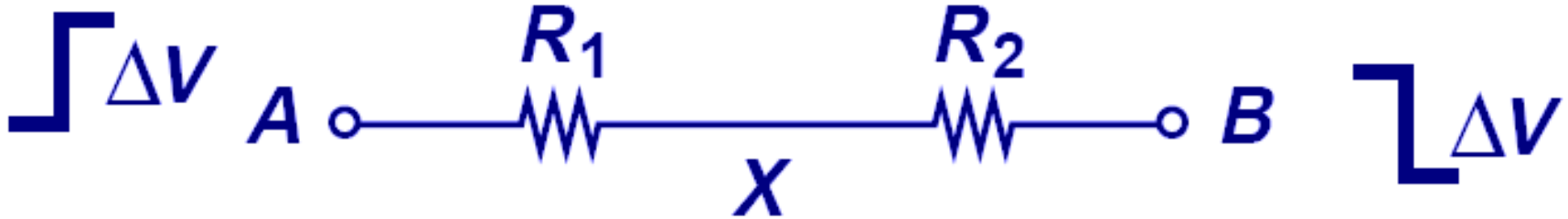


$$\frac{V_{out1} - V_{out2}}{V_{in1} - V_{in2}} = -g_m r_O$$



دانشگاه پشاور
University of Peshawar

Extension of Virtual Ground



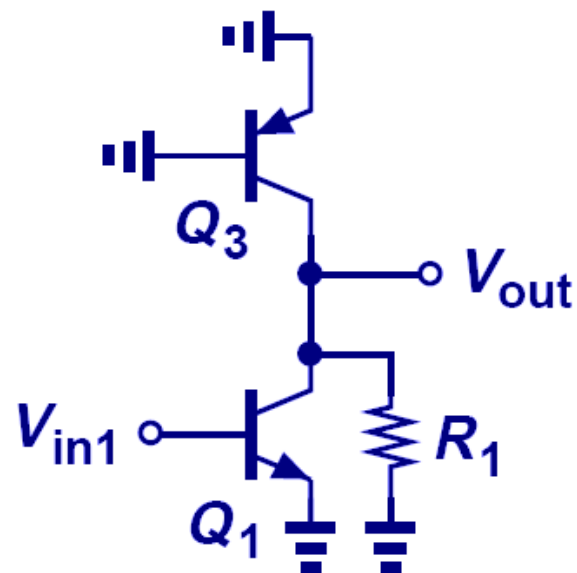
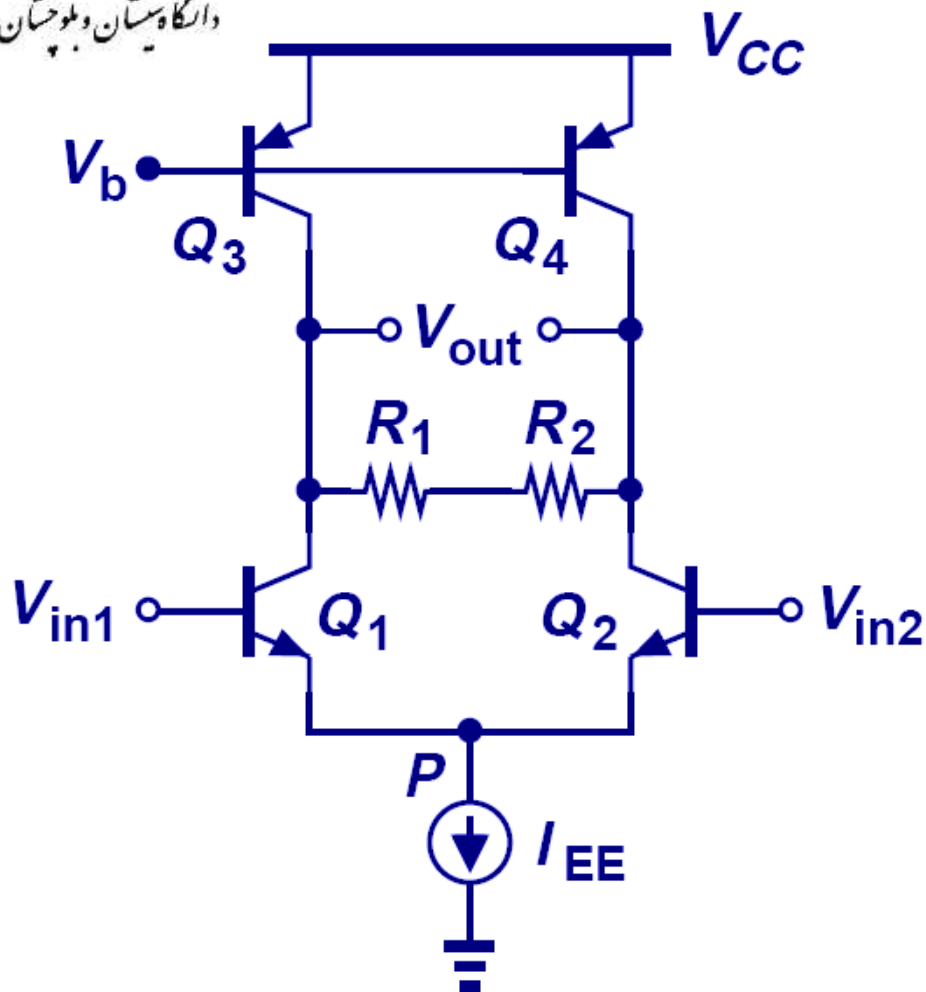
$$V_X = 0$$

- It can be shown that if $R_1 = R_2$, and points A and B go up and down by the same amount respectively, V_X does not move.



دانشگاه گیلان و بروجرد

Half Circuit Example I

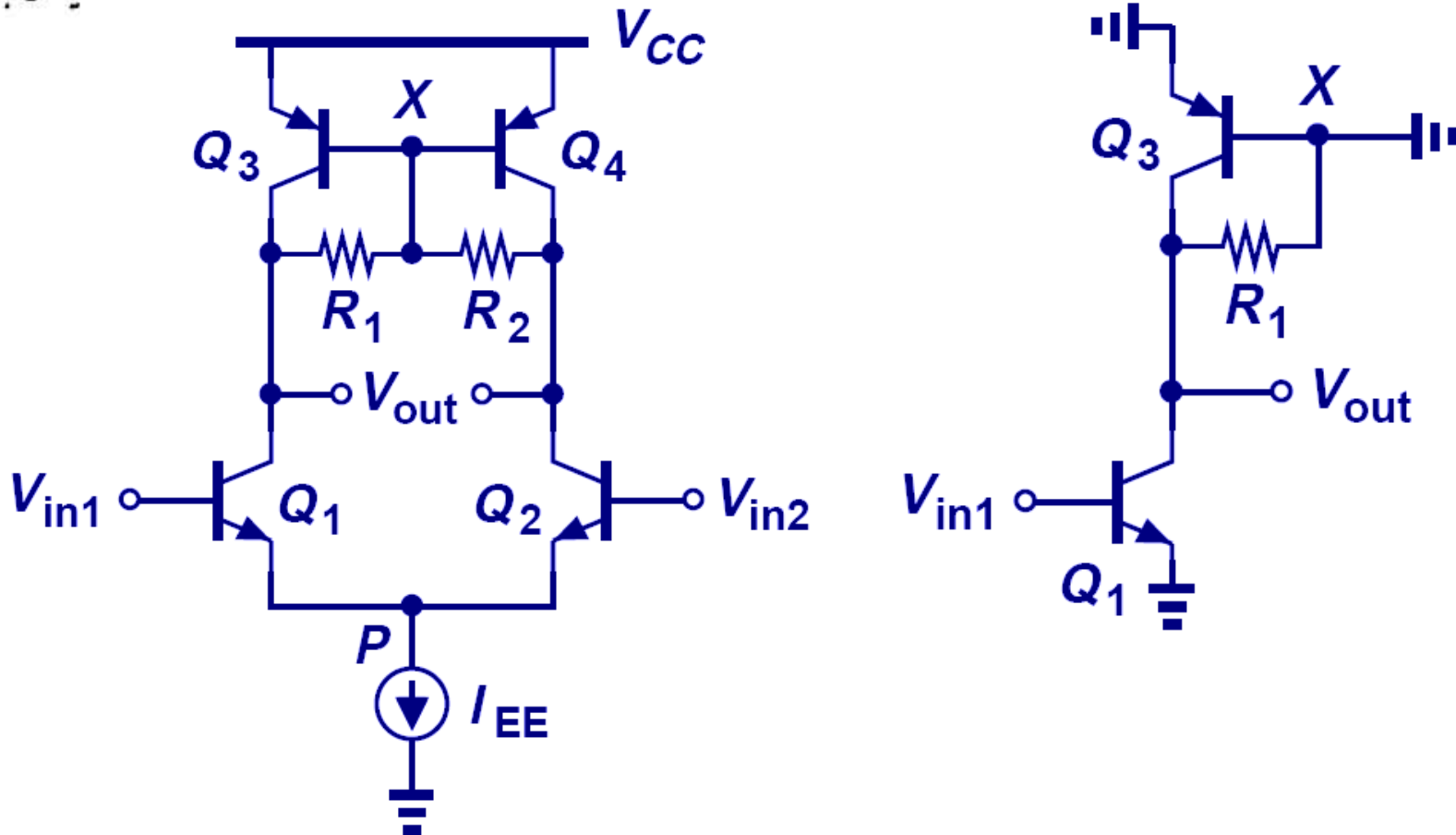


$$A_v = -g_{m1}(r_{O1} \parallel r_{O3} \parallel R_1)$$



دانشگاه پشاور

Half Circuit Example II

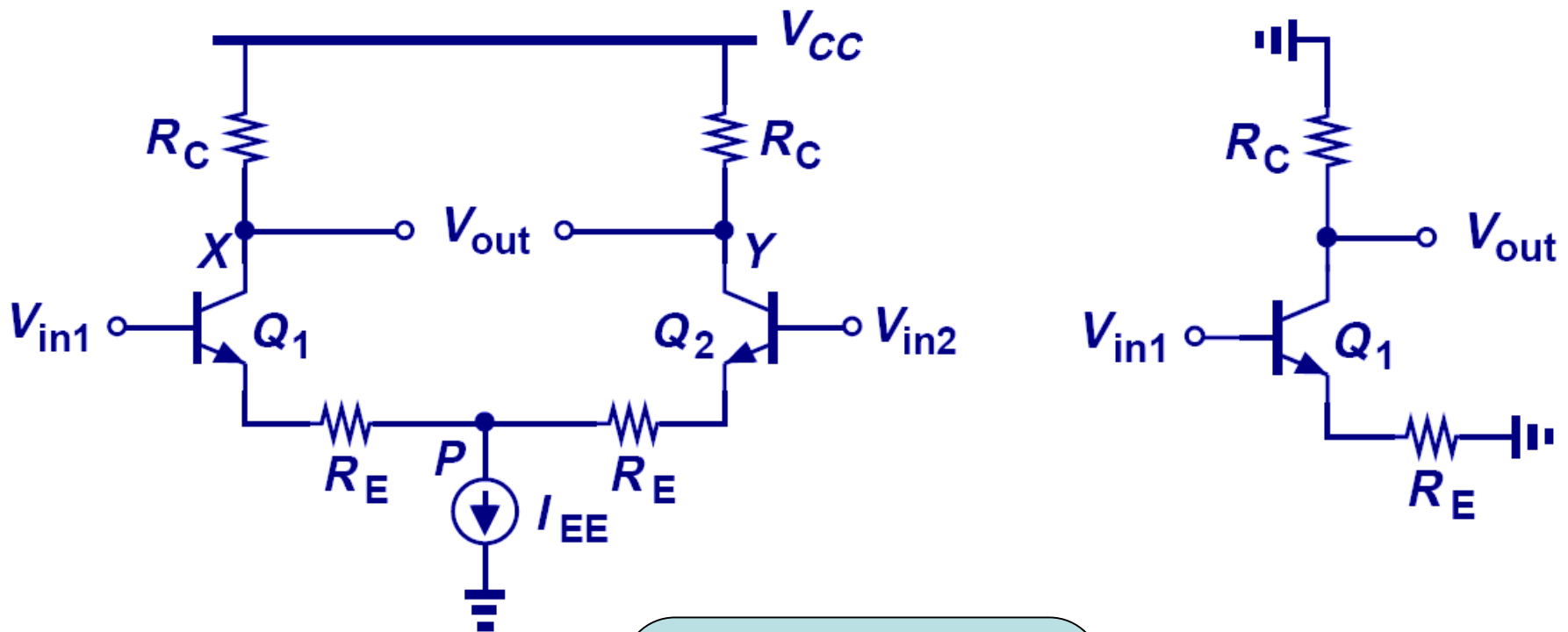


$$A_v = -g_{m1}(r_{O1} \parallel r_{O3} \parallel R_1)$$



دانشگاه گیلان

Half Circuit Example III

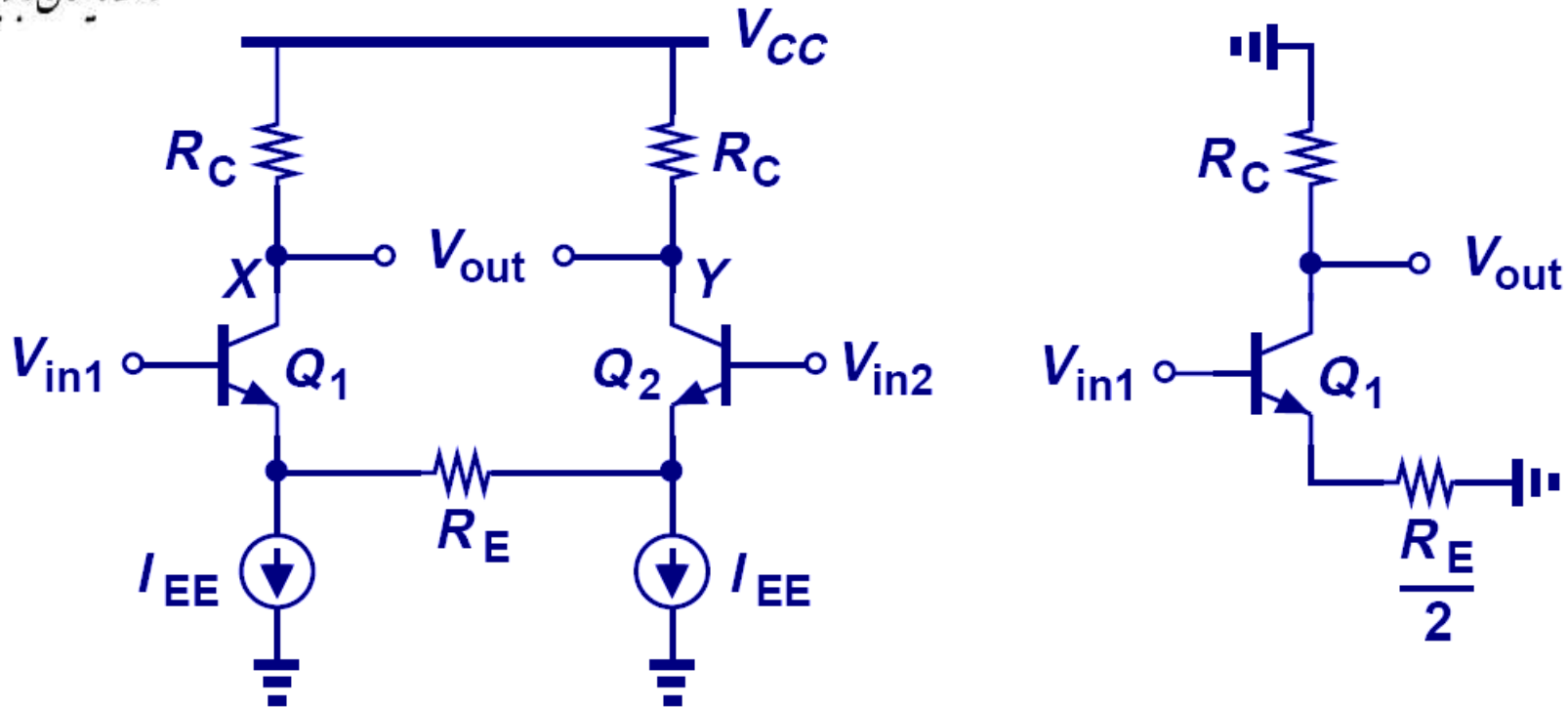


$$A_v = - \frac{R_C}{R_E + \frac{1}{g_m}}$$



دانشگاه پشاور

Half Circuit Example IV



$$A_v = - \frac{R_C}{\frac{R_E}{2} + \frac{1}{g_m}}$$

