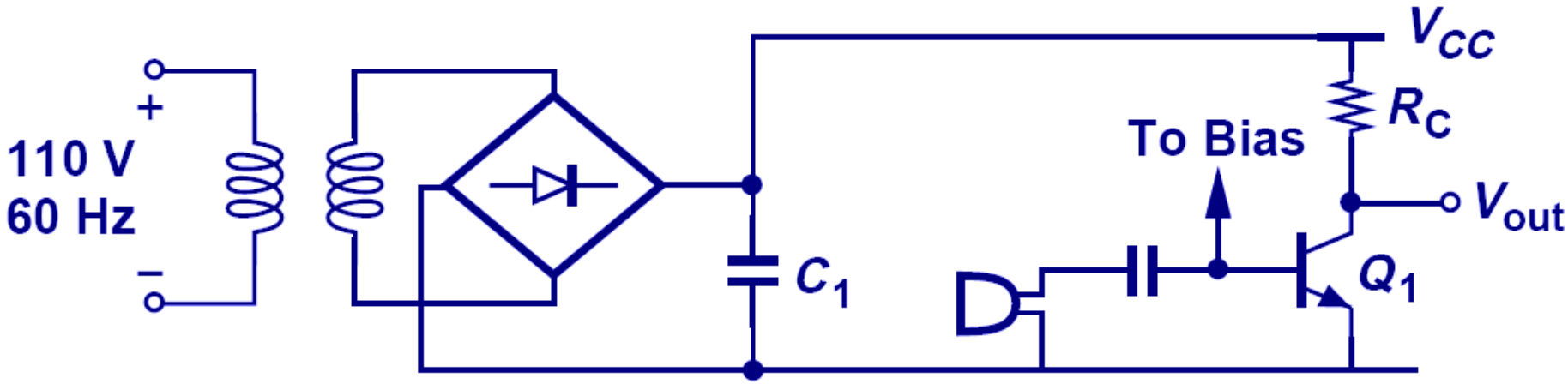
Chapter 10 Differential Amplifiers

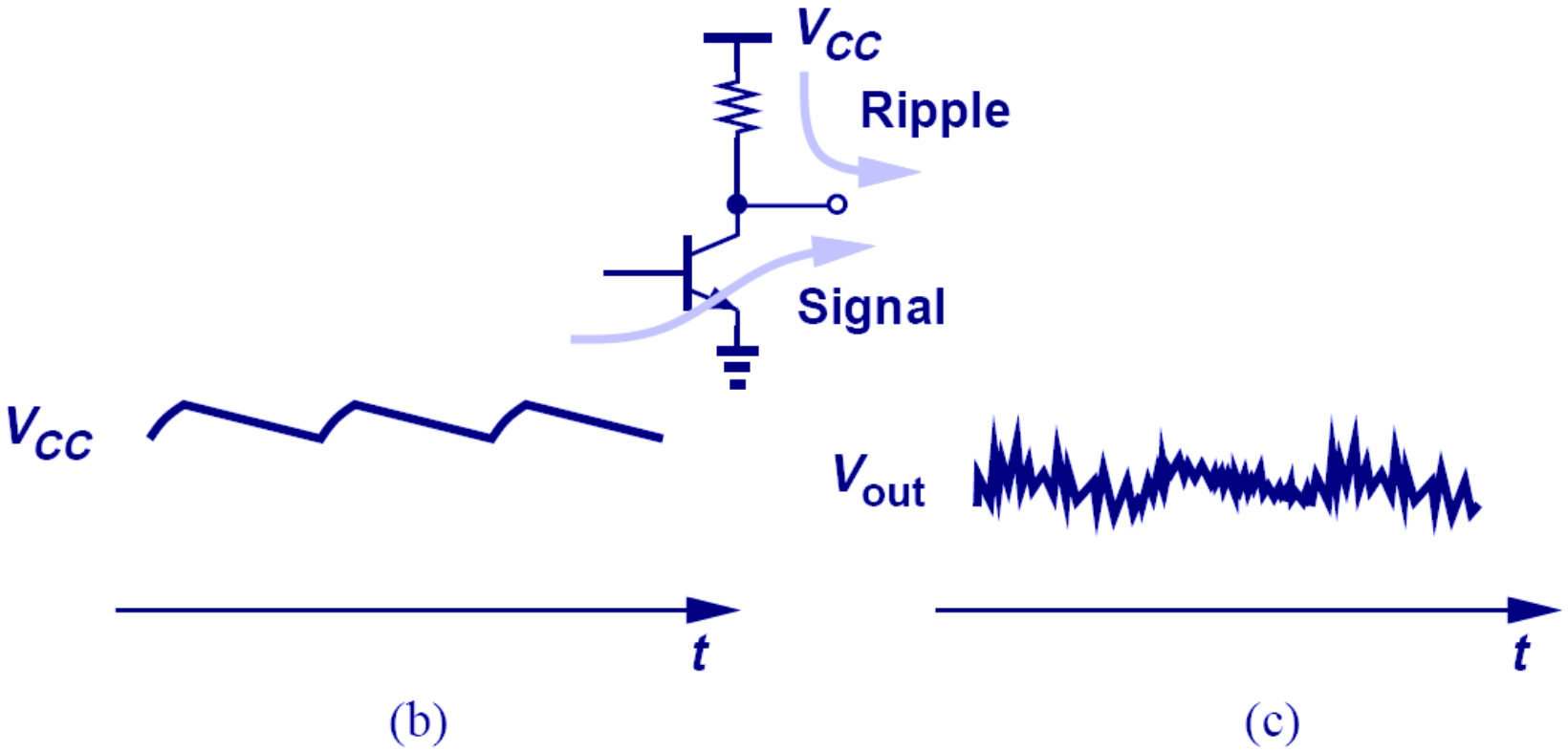
- 10.1 General Considerations
- 10.2 Bipolar Differential Pair
- 10.3 MOS Differential Pair
- 10.4 Cascode Differential Amplifiers
- 10.5 Common-Mode Rejection
- 10.6 Differential Pair with Active Load

مدار عملی تقویت کننده صوتی



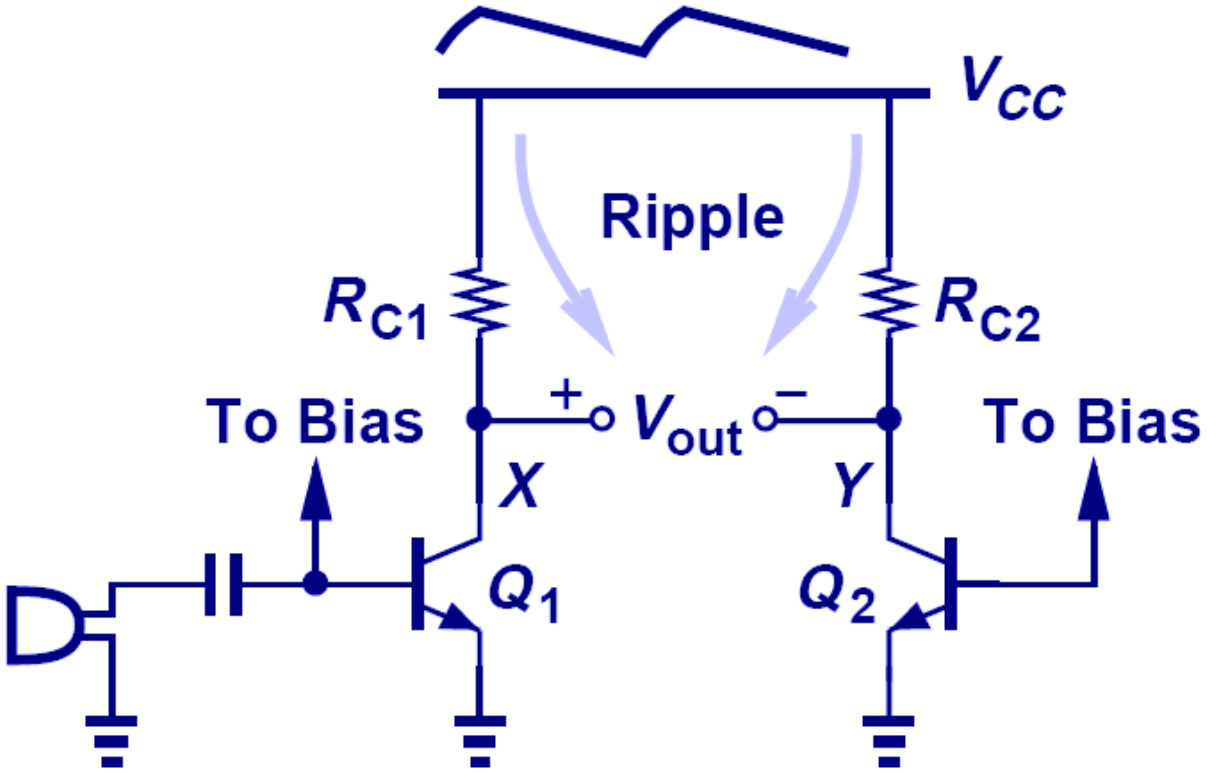
- در مدار بالا برق شهر یکسو می شود و پس از تولید منبع ولتاژ ثابت **Vcc**، ترانزیستور می تواند سیگنال ایجاد شده توسط میکروفن را تقویت کند.

نویز هوم "Humming Noise"



- با توجه به اینکه منبع تغذیه Vcc ایده آل نیست و دارای ریپل می باشد. این ریپل به خروجی تقویت کننده نشت می کند و سبب ایجاد صدایی شبیه به هوم می شود.

حل مشکل مطرح شده در اسلاید قبل



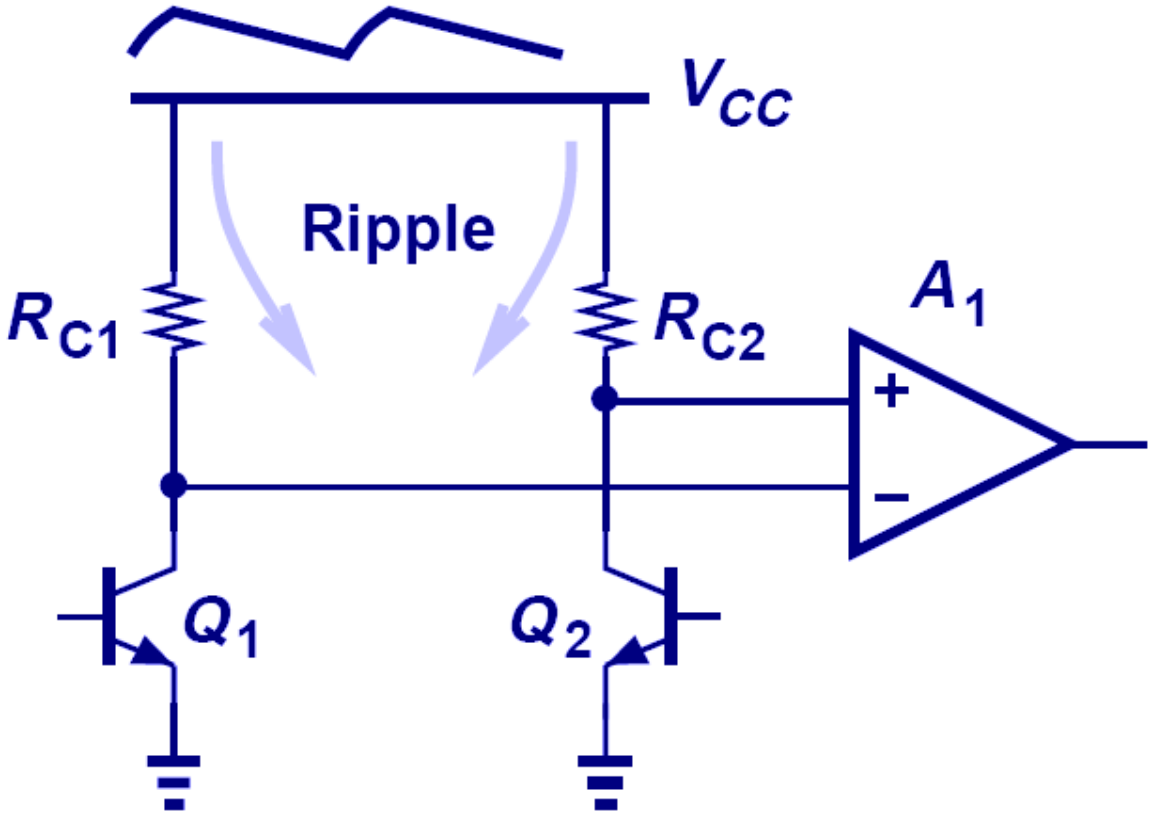
$$v_X = A_v v_{in} + v_r$$

$$v_Y = v_r$$

$$v_X - v_Y = A_v v_{in}$$

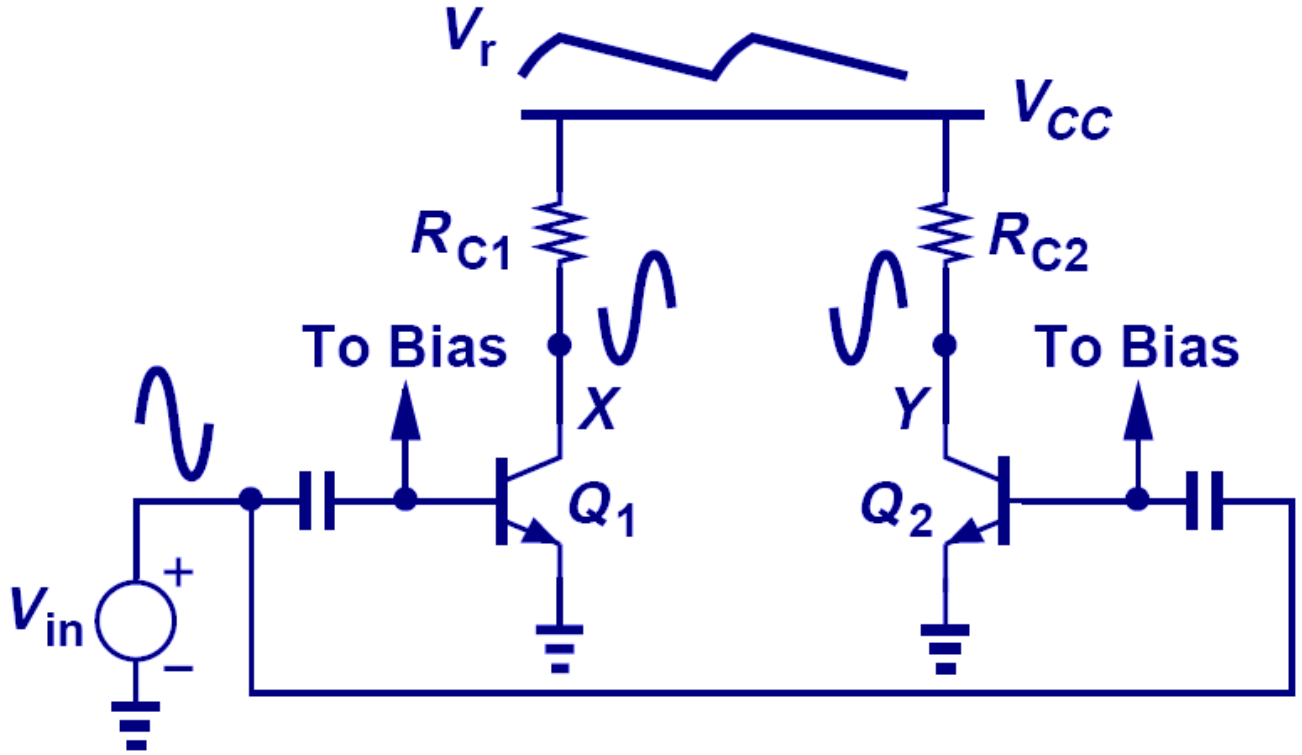
- اگر سیگنال خروجی را به صورت تفاضلی دریافت کنیم در آن صورت ریپل منبع تغذیه در شکل موج خروجی ظاهر نمی شود.

ادامه اسلاید قبل



- با توجه به این که شکل موج خروجی به صورت تفاضلی است بایستی تقویت کننده طبقه بعد بتواند سیگنال تفاضلی را به عنوان ورودی دریافت کند.

اعمال سیگنال های هم فاز به ورودی تقویت کننده تفاضلی



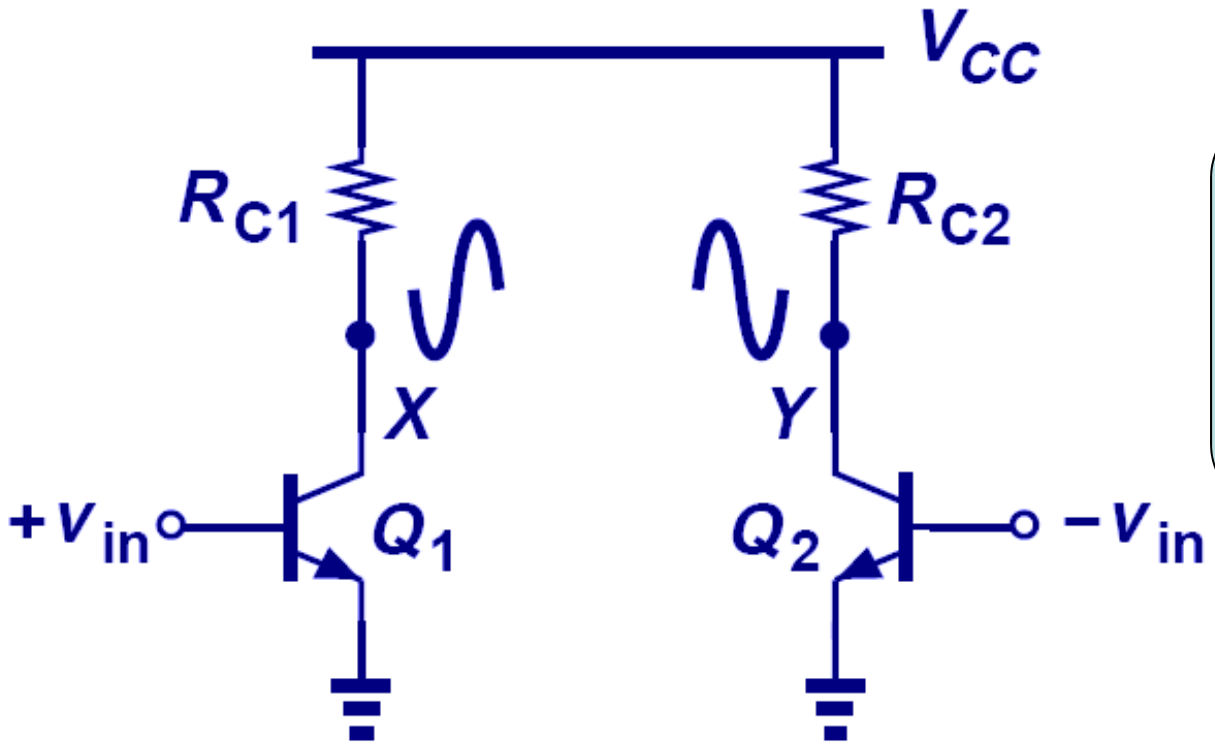
$$v_X = A_v v_{in} + v_r$$

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

$$v_X - v_Y = 0$$

- اگر سیگنال ورودی را به صورت هم فاز به ورودی تقویت کننده تفاضلی بدهیم، در آن صورت شکل موج خروجی برابر با صفر خواهد بود.

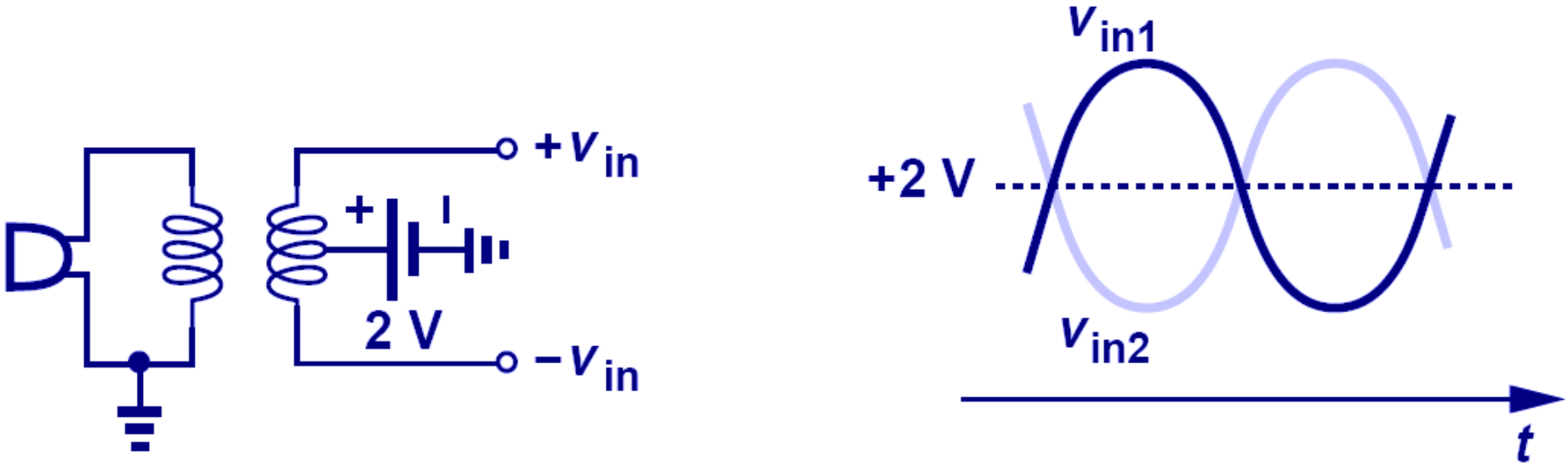
اعمال سیگنال های غیر هم فاز به ورودی تقویت کننده تفاضلی



$$v_X = A_v v_{in} + v_r$$
$$v_Y = -A_v v_{in} + v_r$$
$$v_X - v_Y = 2A_v v_{in}$$

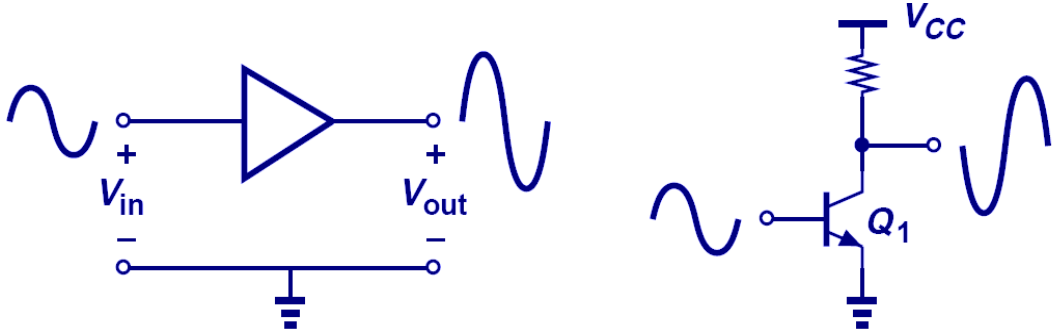
- اگر سیگنال ورودی را به صورت غیر هم فاز به ورودی تقویت کننده تفاضلی بدهیم، در آن صورت شکل موج خروجی افزایش می یابد.

نحوه تولید سیگنال های غیر هم فاز

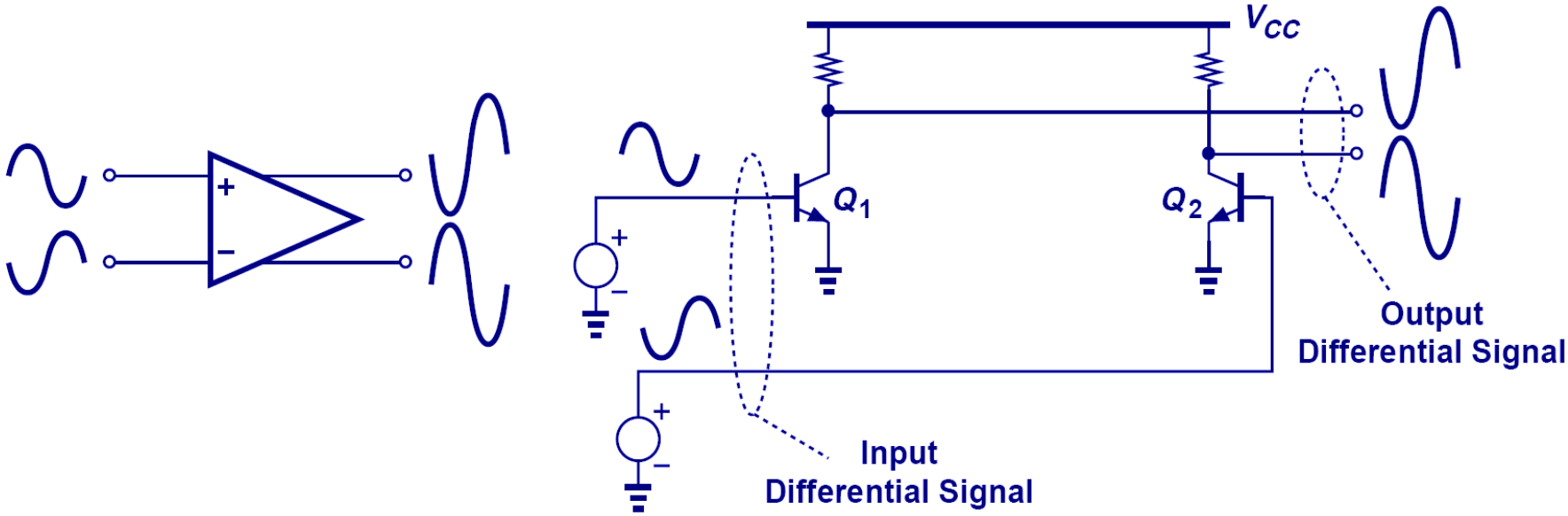


- با استفاده از ترانس سه سر می توان سیگنال های با اختلاف فاز 180 درجه تولید کرد.
- مقدار متوسط سیگنال های خروجی را می تواند با استفاده از سر وسط ترانس به مقدار دلخواه رساند.

سیگنال های تک-سر (single-ended)، سیگنال های تفاضلی (differential)

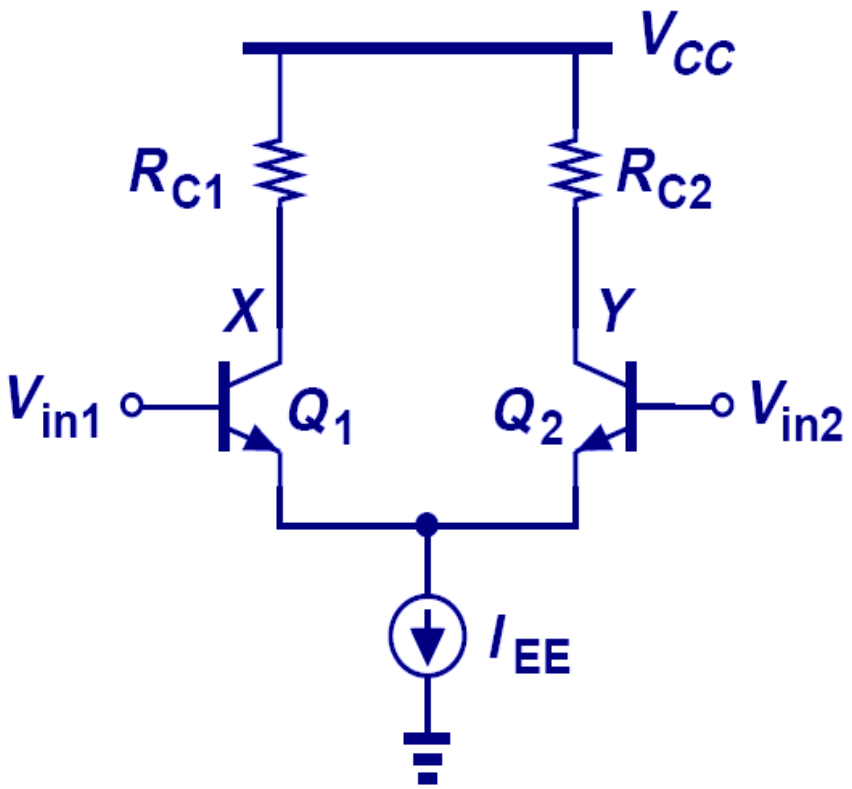


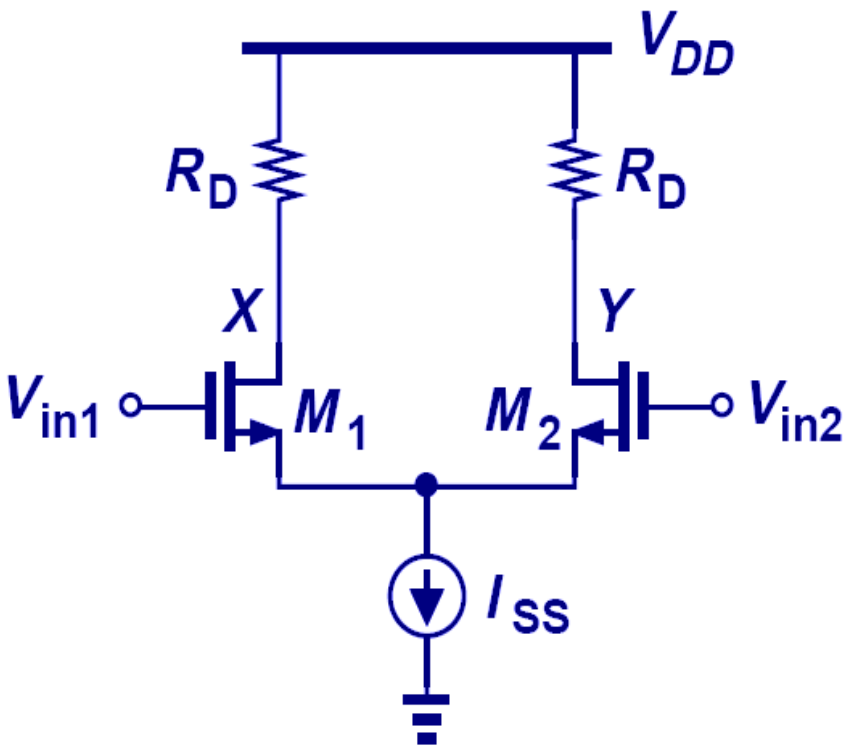
(a)



(b)

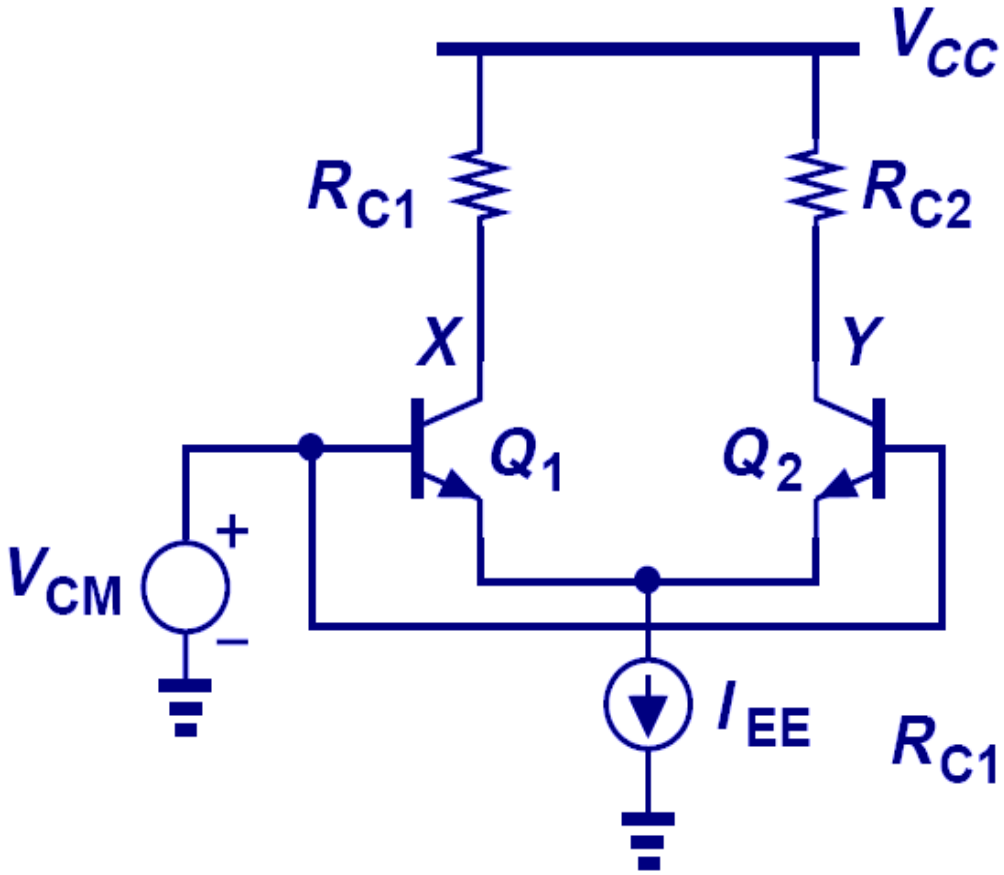
مدار زوج تفاضلی





- به مدار بالا، مدار زوج تفاضلی می گویند که در ادامه به بررسی ویژگی های سودمند آن می پردازیم.

پاسخ زوج تفاضلی به سیگنال ورودی مشترک
(Common-Mode Response)



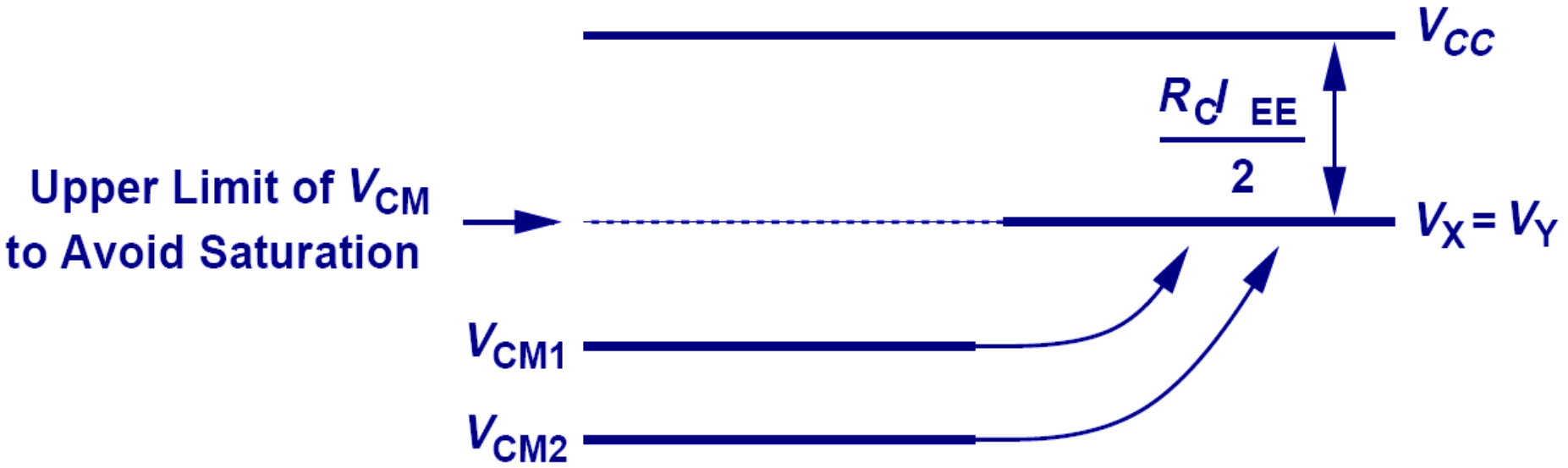
$$V_{BE1} = V_{BE2}$$

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

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

$$R_{C1} = R_{C2} = R_C$$

حذف اثر ولتاژ حالت مشترک در خروجی

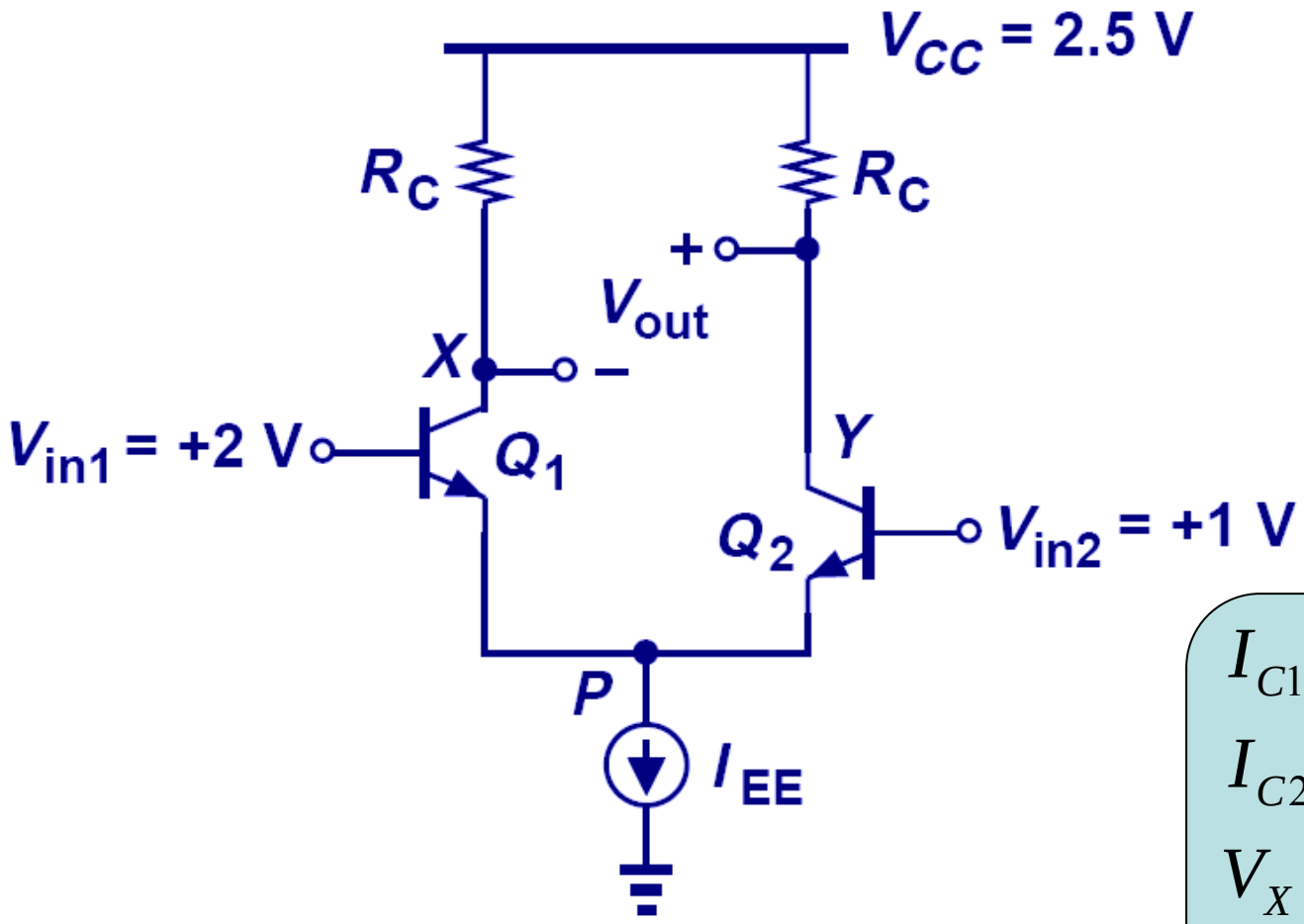


$$V_{BC}<0 \rightarrow V_{CM}-V_X<0 \rightarrow V_{CM}-(V_{CC}-0.5R_CI_{EE})<0$$

$$V_{CM}<V_{CC}-0.5R_CI_{EE}$$

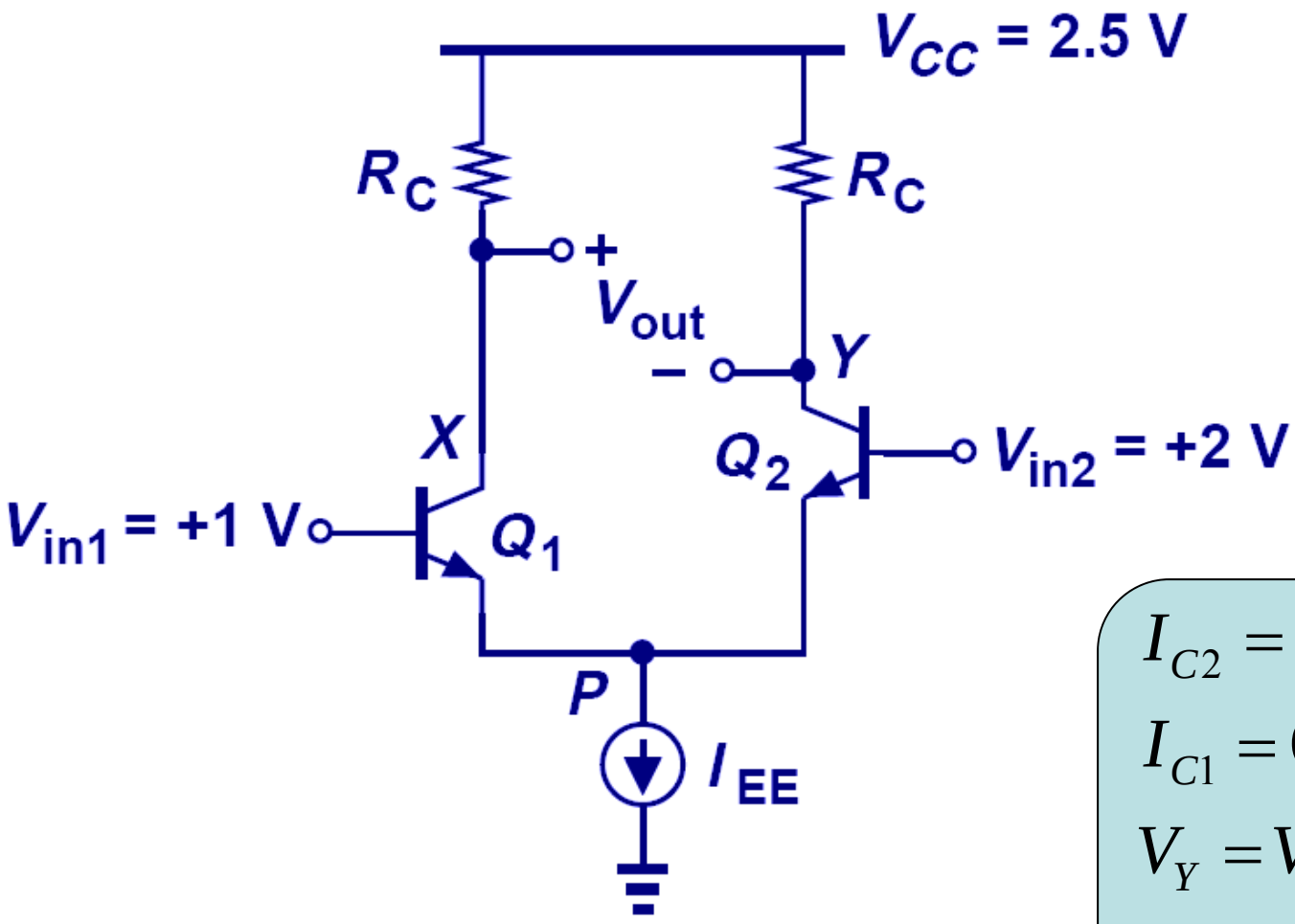
- در مدار قبل مشاهده می شود که تغییرات ولتاژ حالت مشترک ورودی اثری بر ولتاژ حالت مشرک خروجی ندارد.
- در روابط بالا کران بالای ولتاژ V_{CM} مشخص شده است به قسمی که ترانزیستورها در ناحیه فعال کار کنند.

پاسخ تفاضلی



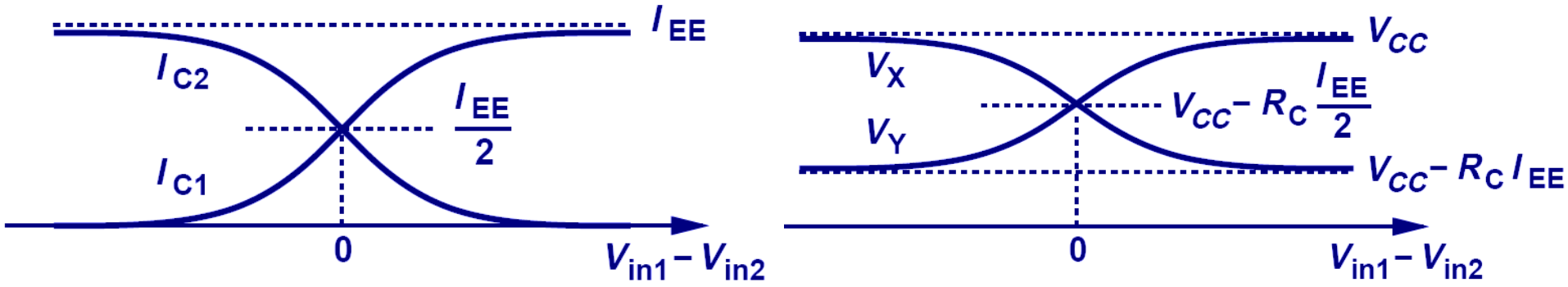
$$I_{C1} = I_{EE}$$
$$I_{C2} = 0$$
$$V_X = V_{CC} - R_C I_{EE}$$
$$V_Y = V_{CC}$$

ادامه اسلاید قبل



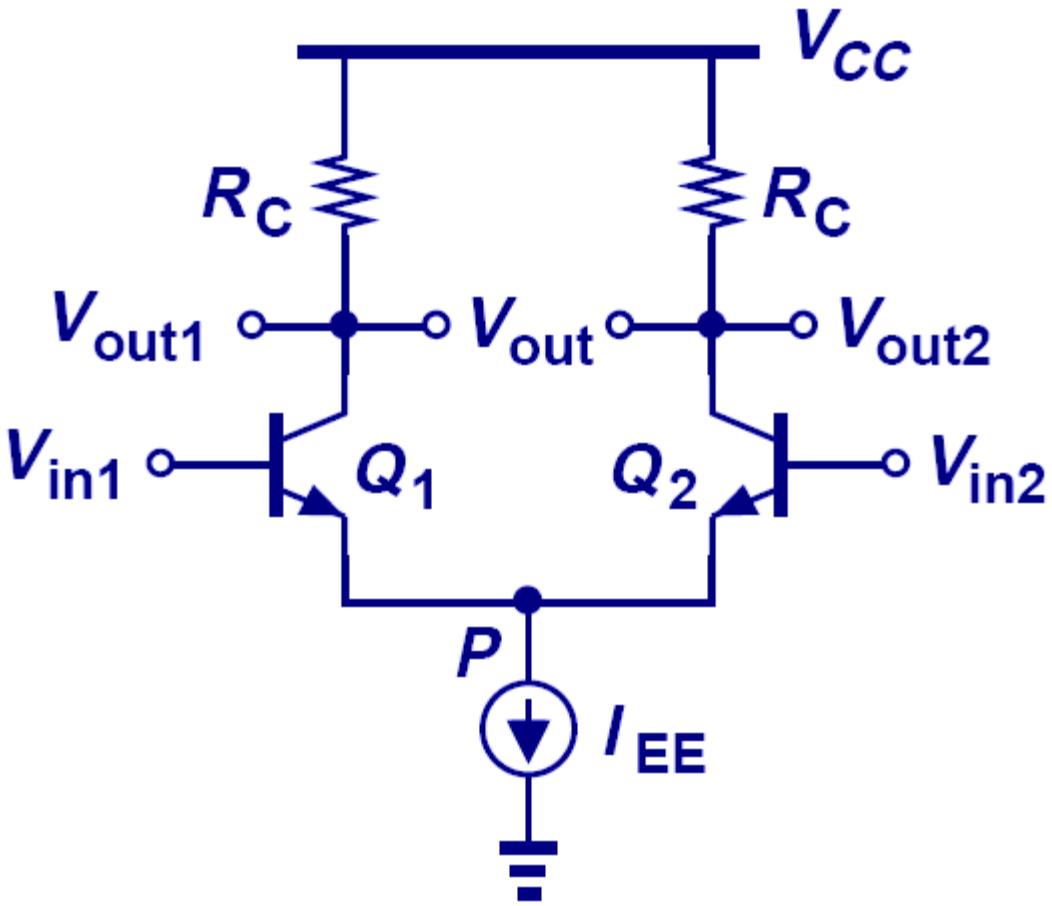
$$I_{C2} = I_{EE}$$
$$I_{C1} = 0$$
$$V_Y = V_{CC} - R_C I_{EE}$$
$$V_X = V_{CC}$$

مشخصه جریان و ولتاژ در زوج تفاضلی



- اگر سیگنال تفاضلی به ورودی مدار اعمال شود سبب ایجاد تغییراتی در ولتاژ و جریان خروجی می شود این درحالی است که اعمال ولتاژ حالت مشترک در ورودی مدار موجب ایجاد تغییرات در ولتاژ و جریان خروجی نمی شود.

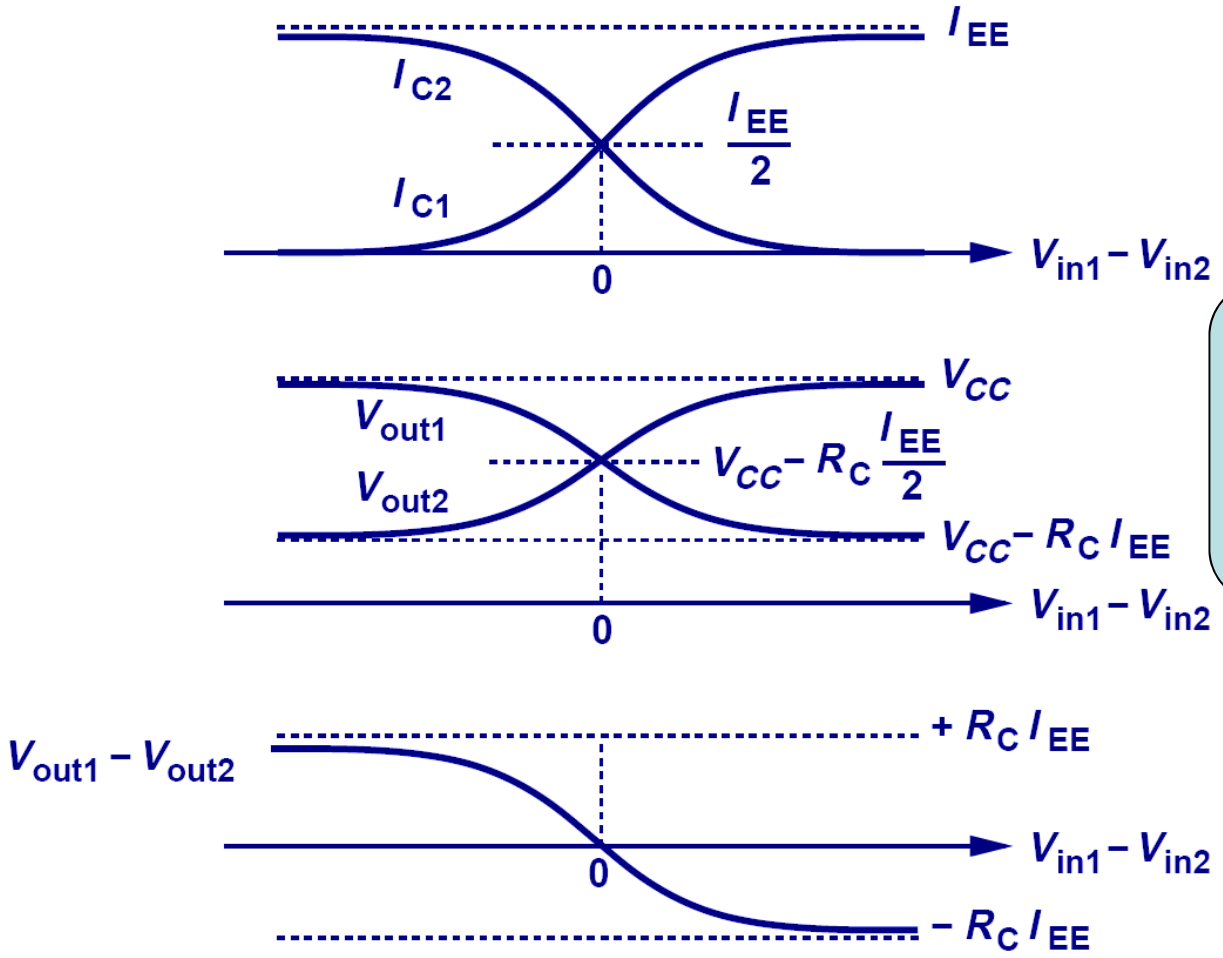
تحلیل سیگنال بزرگ



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

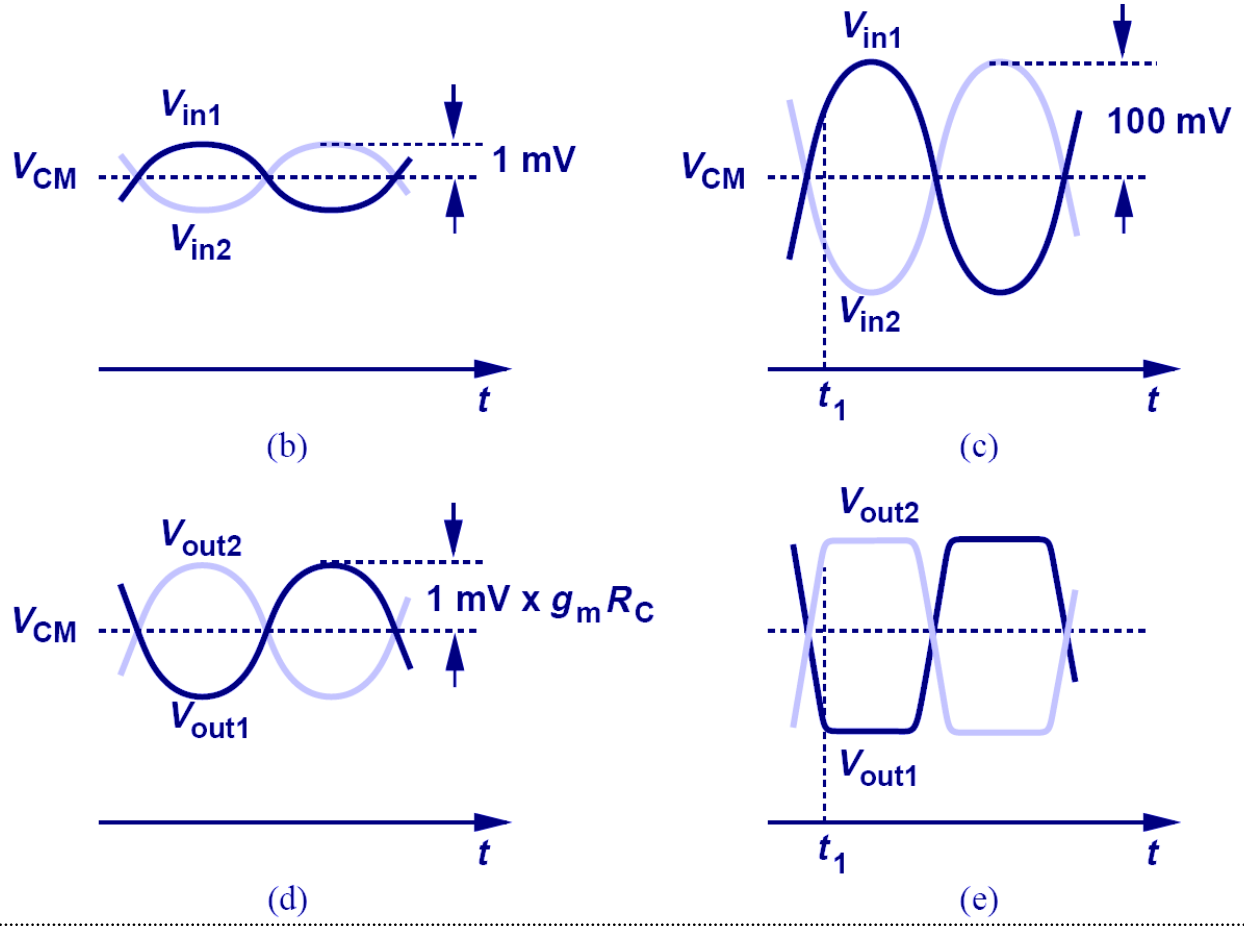
$$I_{C2} = \frac{I_{EE}}{1 + \exp \frac{V_{in1} - V_{in2}}{V_T}}$$

مشخصه ورودی-خروجی زوج تفاضلی



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

نواحی خطی-غیر خطی

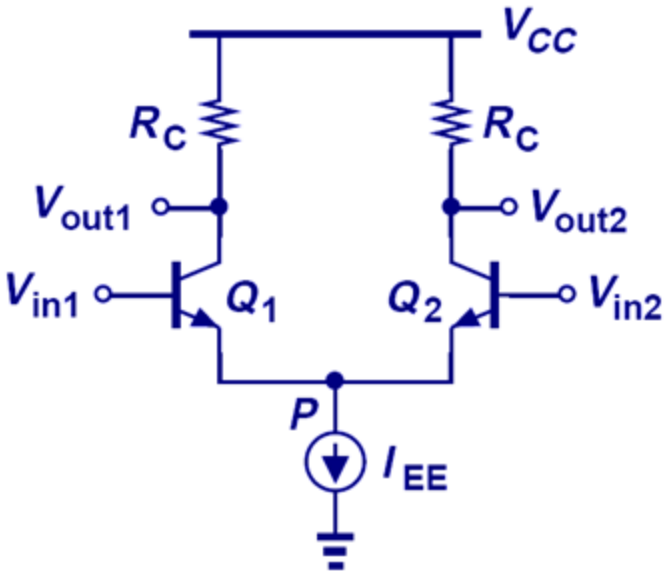


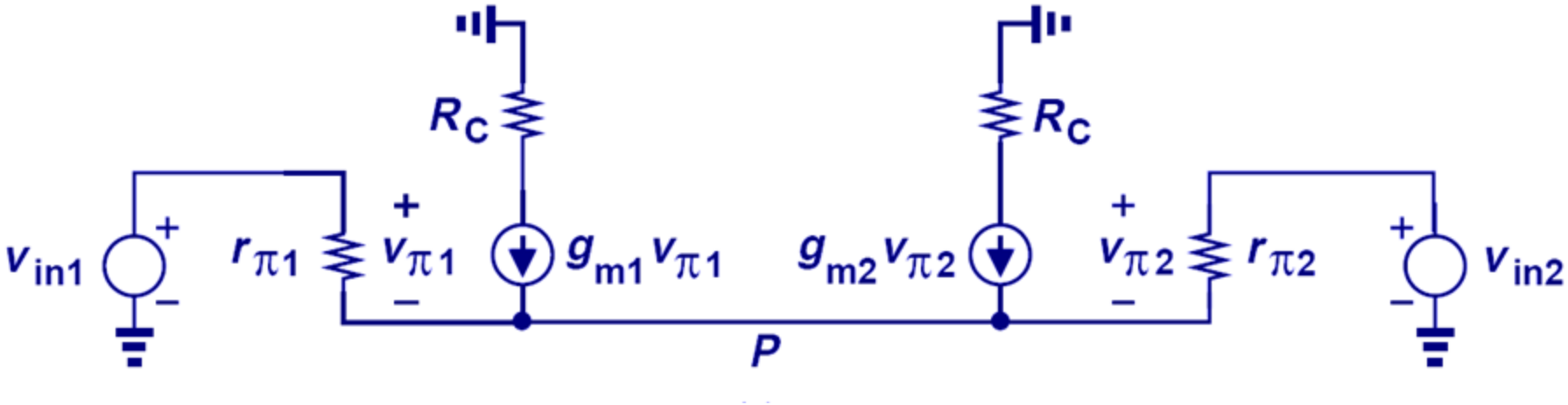
- در ستون سمت راست عملکرد خطی و در ستون سمت چپ عملکرد غیرخطی مدار نشان داده شده است.

مدل سیگنال کوچک

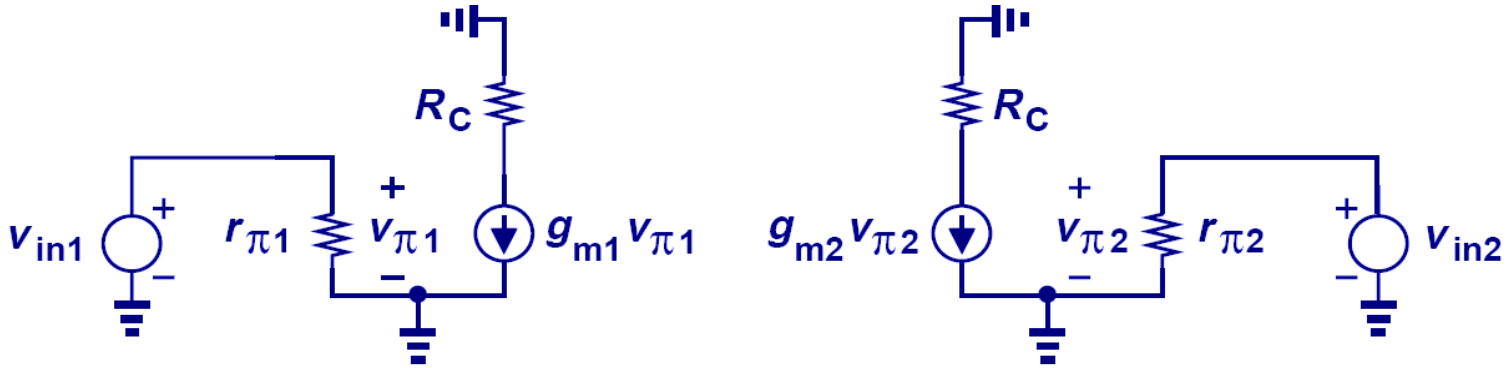
در تحلیل سیگنال کوچک، با فرض Vin1=Vi/2, Vin2=-Vi/2، به راحتی اثبات می شود: Vp=0

اصطلاحا در تحلیل تفاضلی به گره P، زمین مجازی می گویند.

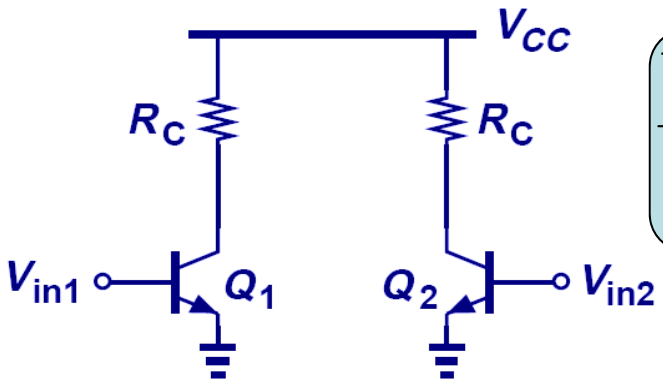




نیم مدار تفاضلی



(b)

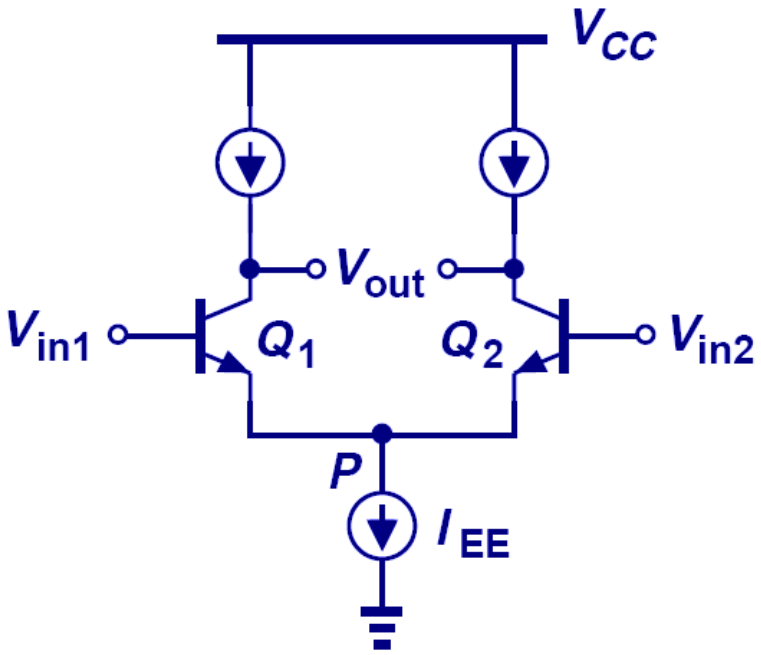


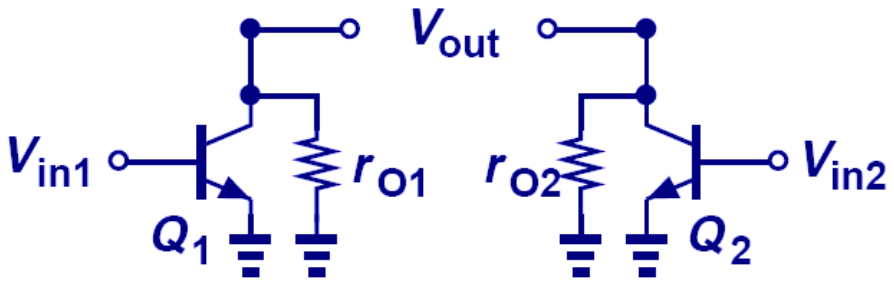
(c)

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

- به دلیل اینکه در تحلیل سیگنال کوچک در گره P زمین مجازی داریم، عملا زوج تفاضلی به دونیم-مدار تبدیل می شود که هریک از آنها یک تقویت کننده امیتر مشترک است.

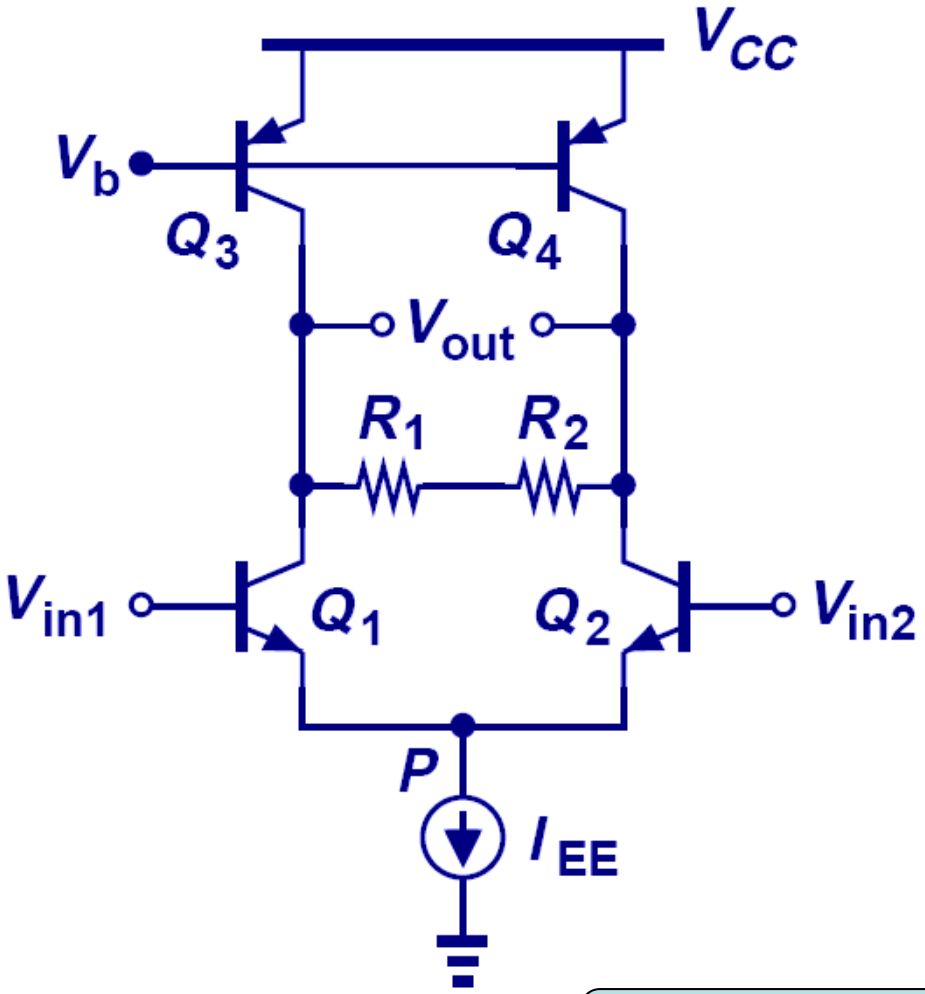
مثالی دیگر از نحوه محاسبه بهره تفاضلی

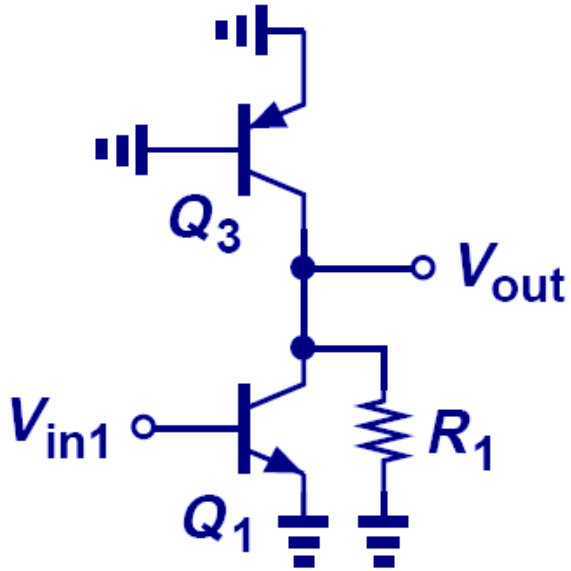




$$\frac{v_{out1} - v_{out2}}{v_{in1} - v_{in2}} = -g_m r_O$$

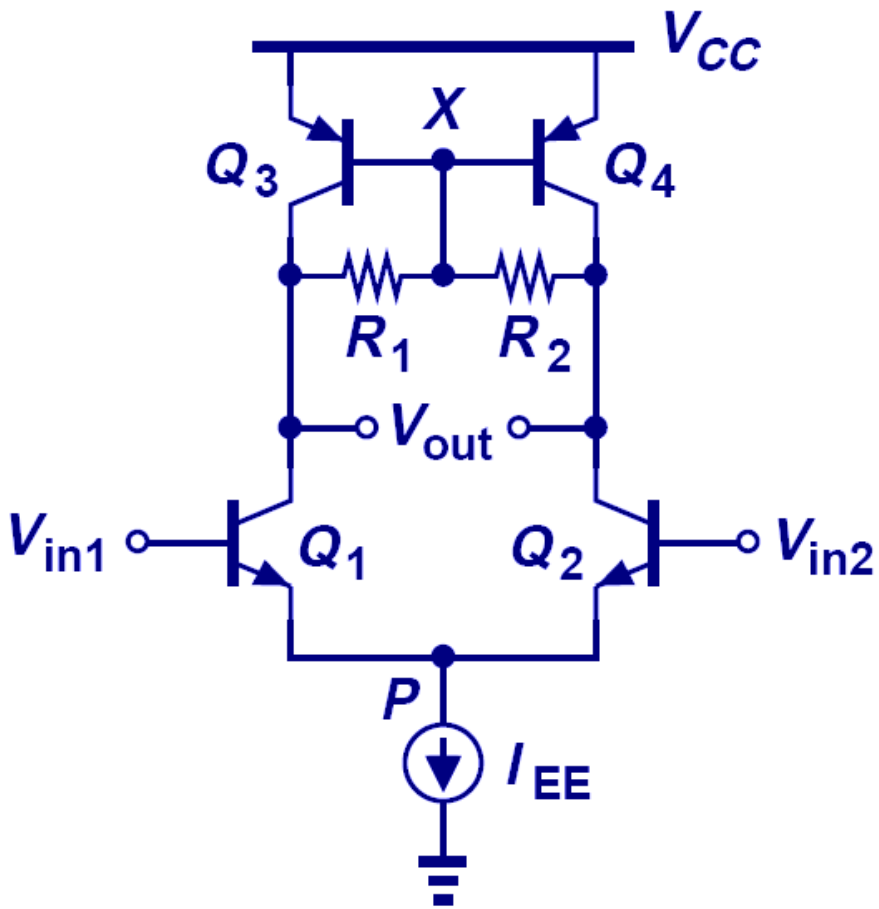
مثال

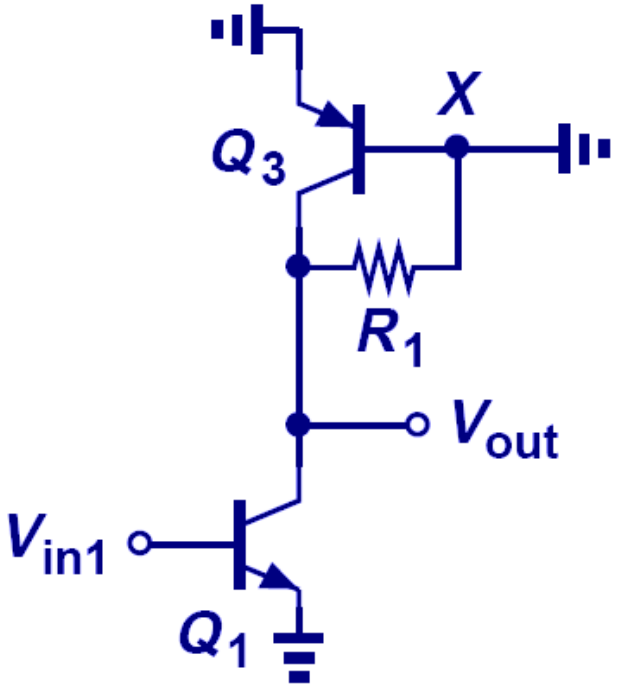




$$A_v = -g_{m1}\left(r_{O1} \parallel r_{O3} \parallel R_1\right)$$

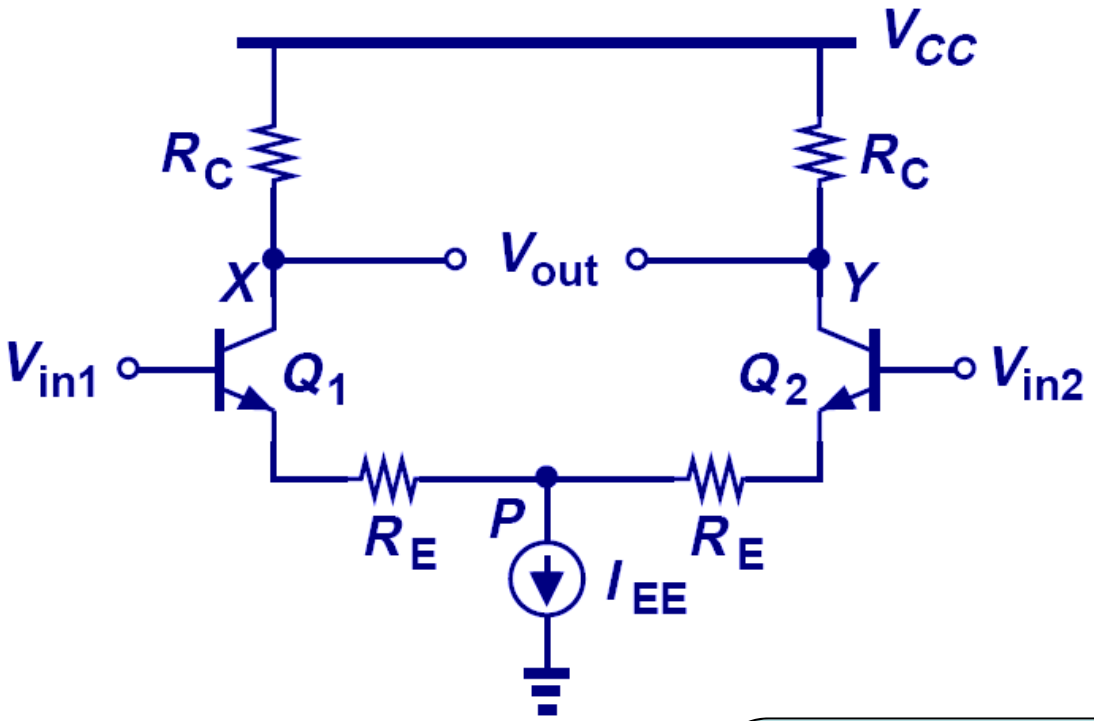
مثال

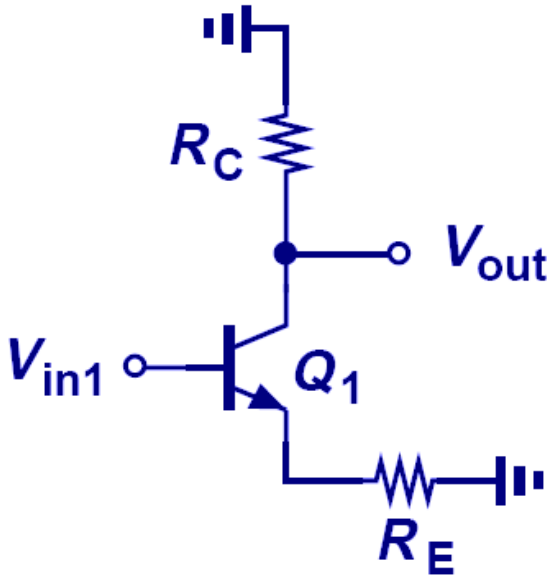




$$A_v = -g_{m1}\left(r_{O1} \parallel r_{O3} \parallel R_1\right)$$

مثال

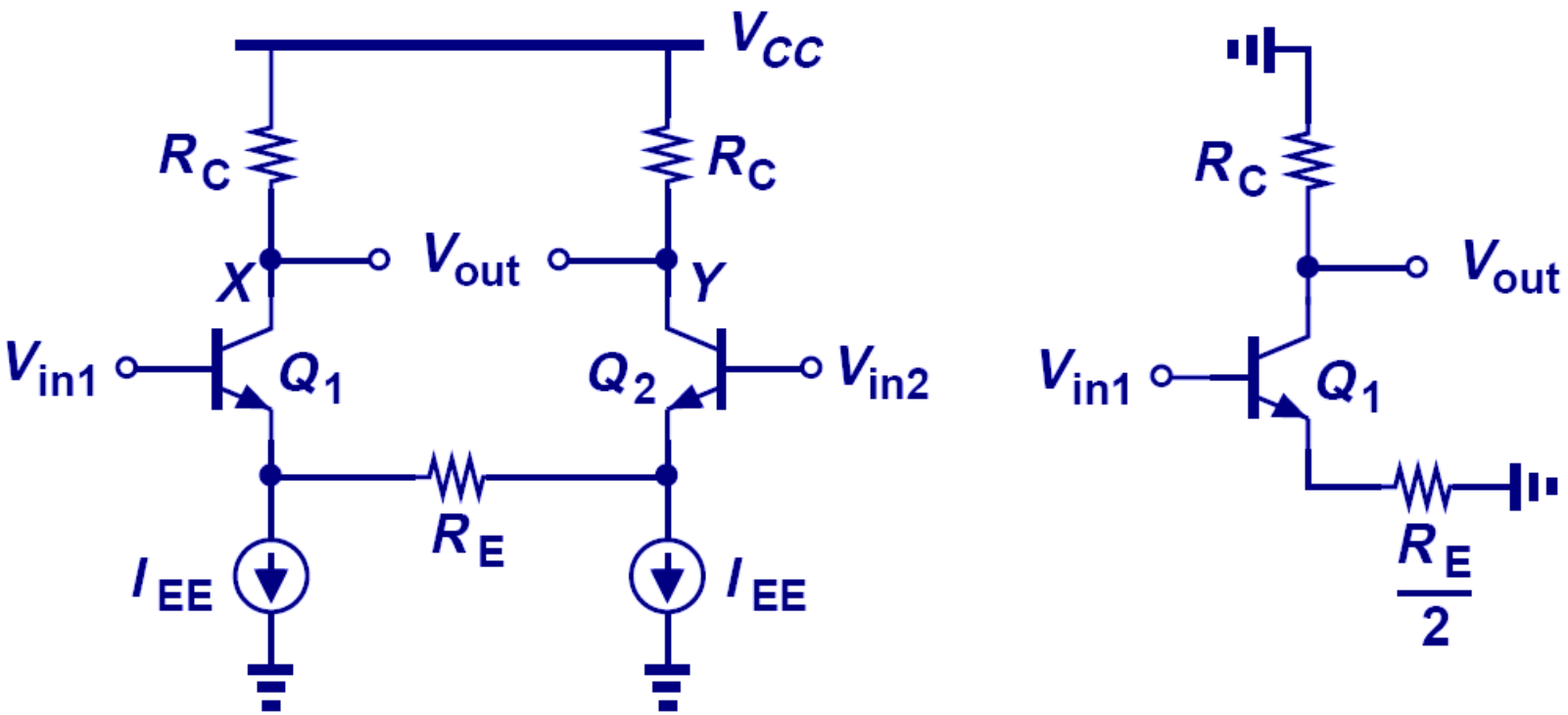




Assume: ro=∞

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

مثال



Assume: ro=∞

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