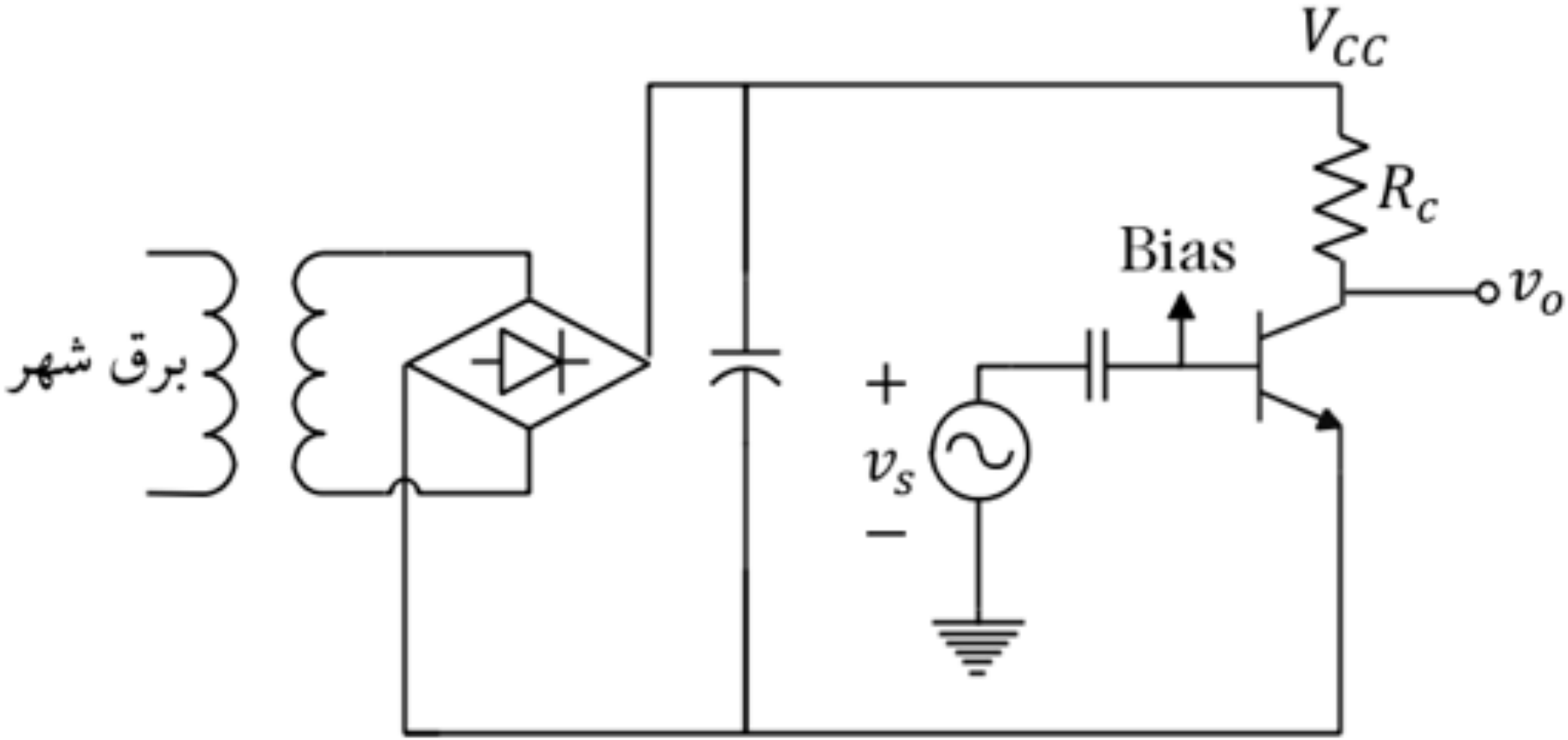
الکترونیک ۲
تقویت کننده های تفاضلی

ارائه دهنده: حسین کرمی طاهری

نویز در تقویت کننده غیر تفاضلی

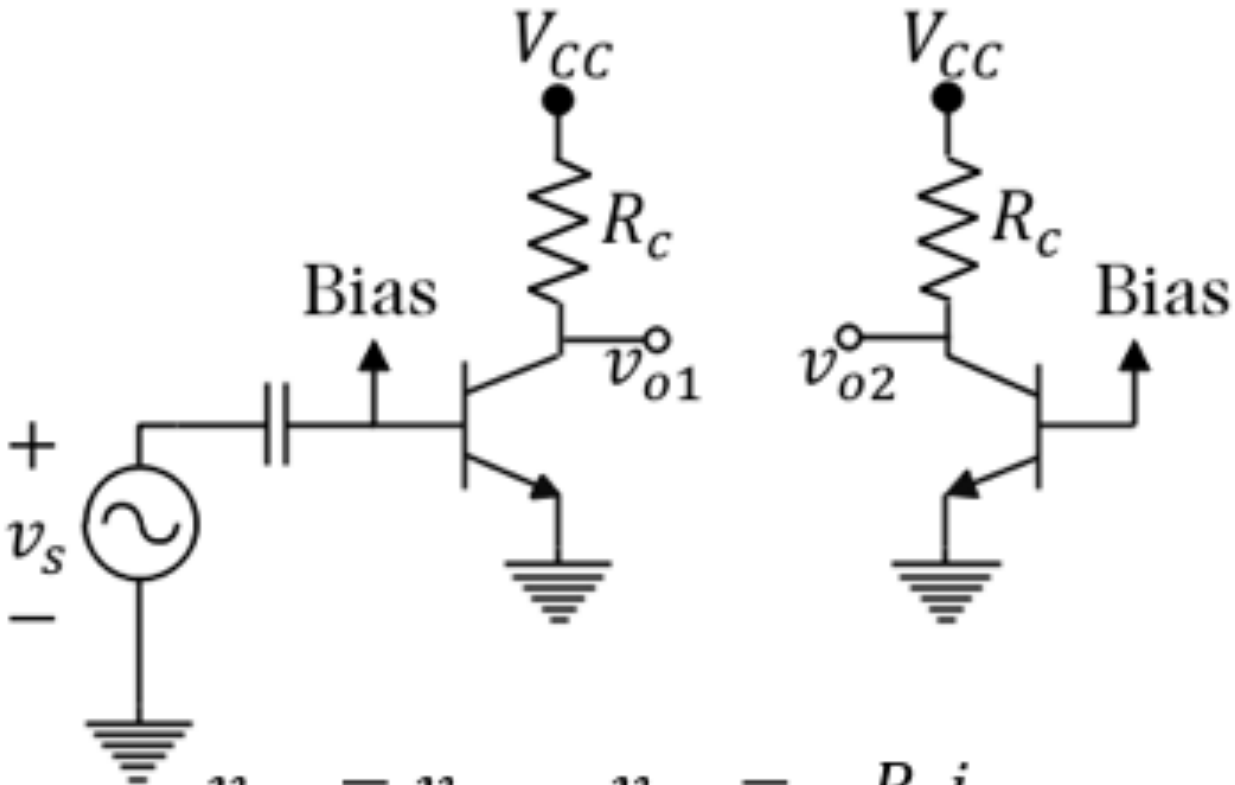


$$V_{o,DC} + v_{o,ac} = V_{cc,DC} + v_{cc,ac} - R_c I_{C,DC} - R_c i_{c,ac}$$

شنیدن شدن صدای تک فرکانس ناخواسته در اسپیکر خروجی+ دیگر نویزهای ایجاد شده در خروجی

راه حل: ایجاد نویز مشابه و کسر نویزها از هم به صورت تفاضلی

تفاضل خروجی ها



$$v_{o1} = V_{o1,DC} + v_{o1,ac} =$$
$$V_{cc,DC} + v_{cc,ac} - R_c I_{C,DC} - R_c i_{c1,ac} + v_n$$

$$v_{o2} = V_{o2,DC} + v_{o2,ac} =$$
$$V_{cc,DC} + v_{cc,ac} - R_c I_{C,DC} + v_n$$

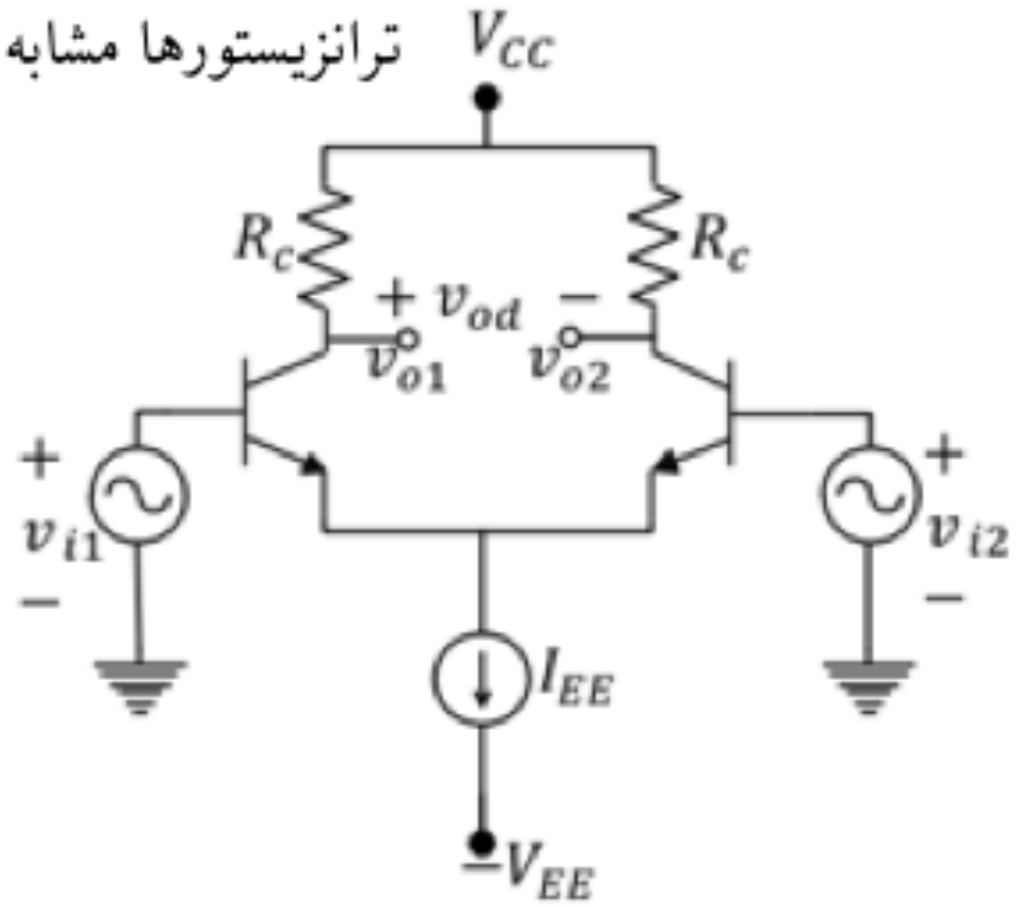
$$v_{od} = v_{o1} - v_{o2} = -R_c i_{c1,ac}$$

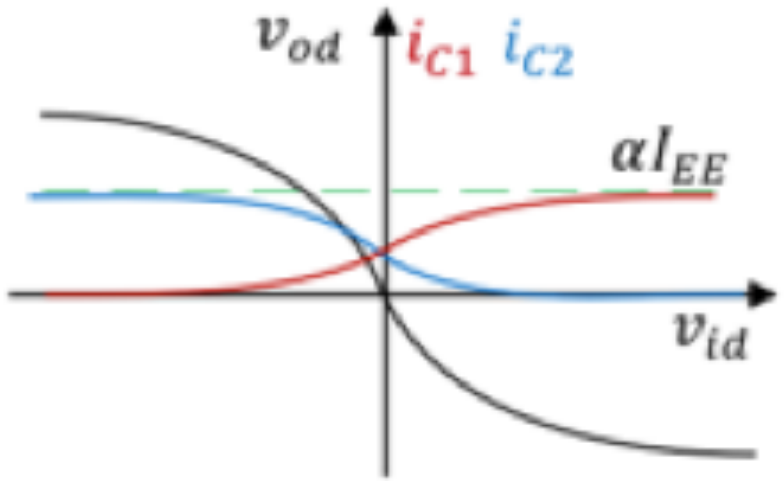
نویز در ورودی و اهمیت حذف آن: استفاده از تفاضل در ورودی ها

کوپلینک خازنی در بیس و اهمیت حذف آن: استفاده از بایاس با منبع جریان

تقویت کننده تفاضلی

ترانزیستورها مشابه





سیگنال بزرگ:

$$V_{BE1} - V_{BE2} = V_T \ln \frac{i_{C1}}{I_s} - V_T \ln \frac{i_{C2}}{I_s}$$

$$= v_{i1} - v_{i2} = v_{id}$$

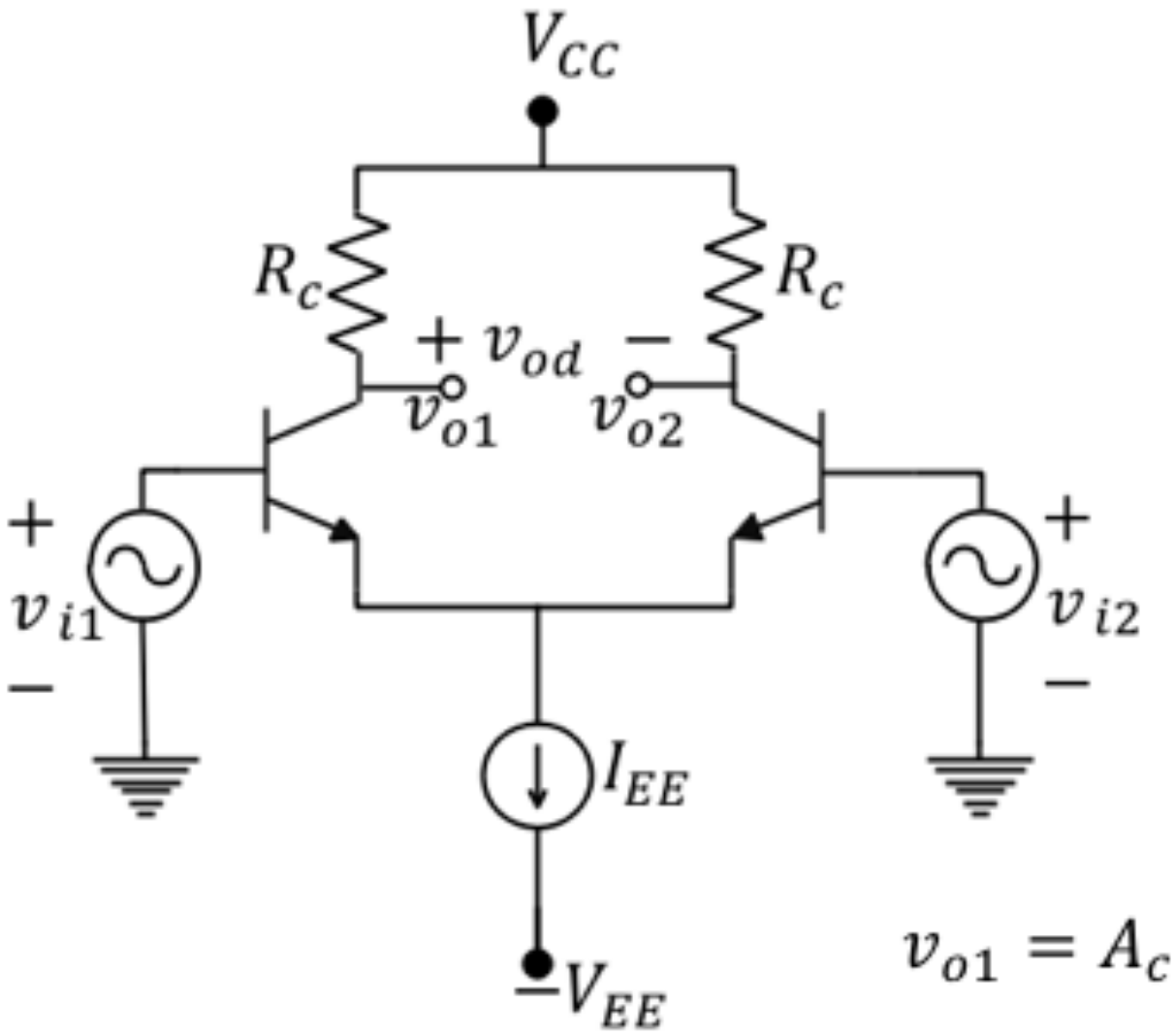
$$i_{C1} + i_{C2} = \alpha I_{EE}$$

$$i_{C1} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + e^{-\frac{v_{id}}{v_T}}} \, , i_{C2} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + e^{+\frac{v_{id}}{v_T}}}$$

$$v_{od} = v_{o1} - v_{o2} = \alpha I_{EE} R_c \tanh -\frac{v_{id}}{2V_T}$$

مقاومت در امیترها: برطرف کردن عدم تقارن ترانزیستورها

سیگنال کوچک



وجه مشترک: $v_{ic} = \frac{v_{i1} + v_{i2}}{2}$

وجه تفاضلی: $v_{id} = v_{i1} - v_{i2}$

$$v_{i1} = v_{ic} + \frac{v_{id}}{2} \ , v_{i2} = v_{ic} - \frac{v_{id}}{2}$$

$$v_{o1} = A_c v_{ic} + \frac{1}{2} A_d v_{id} \ , v_{o2} = A_c v_{ic} - \frac{1}{2} A_d v_{id}$$

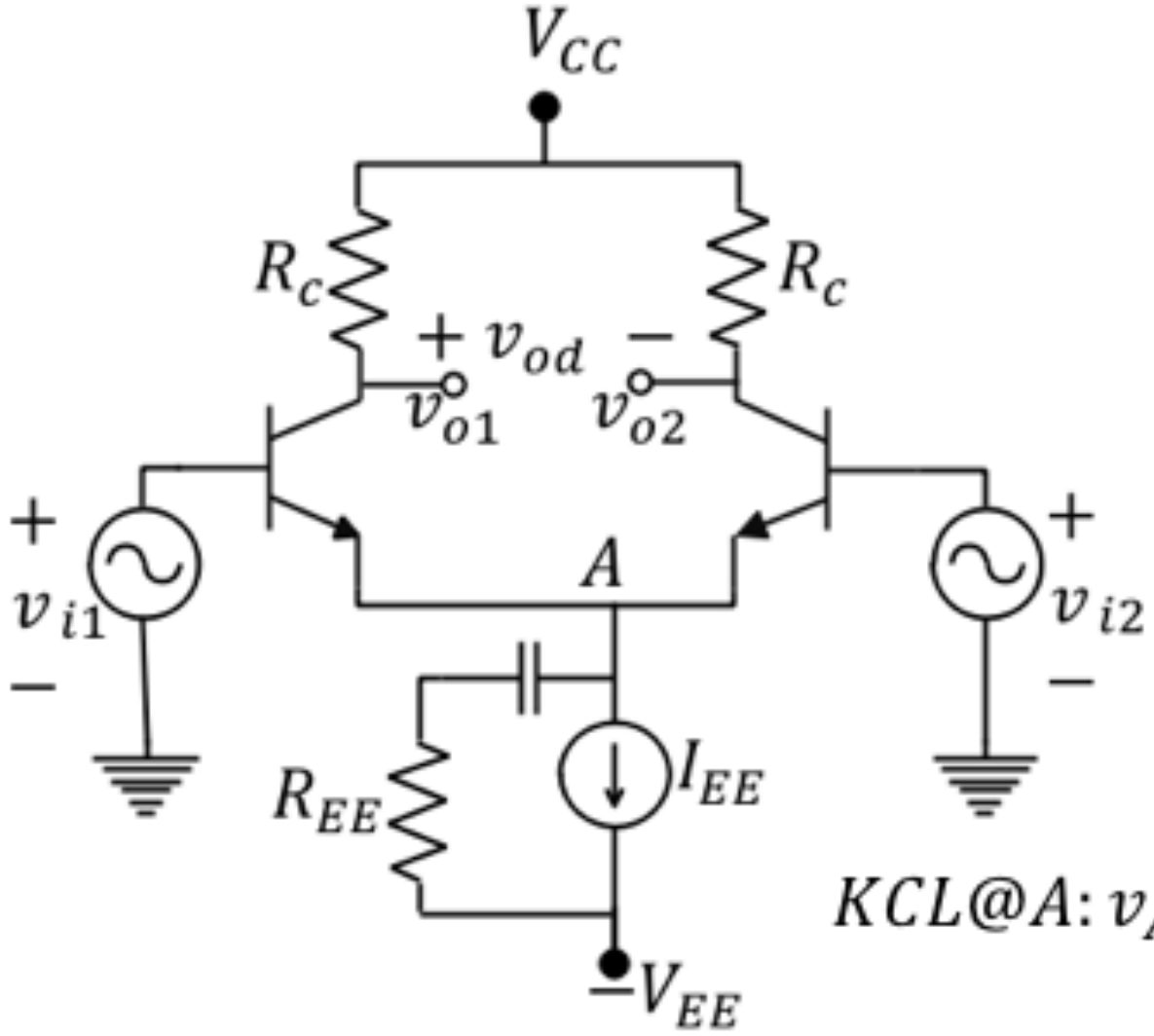
بهره وجه مشترک: $A_c = \frac{v_{oc}}{v_{ic}}$

بهره وجه تفاضلی: $A_d = \frac{v_{od}}{v_{id}}$

نسبت حذف وجه مشترک $CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$

Common Mode Rejection Ratio

تجزیه و تحلیل سیگنال کوچک



حوزه DC:

$$I_{CQ1} = I_{CQ2} = \frac{\alpha I_{EE}}{2}$$

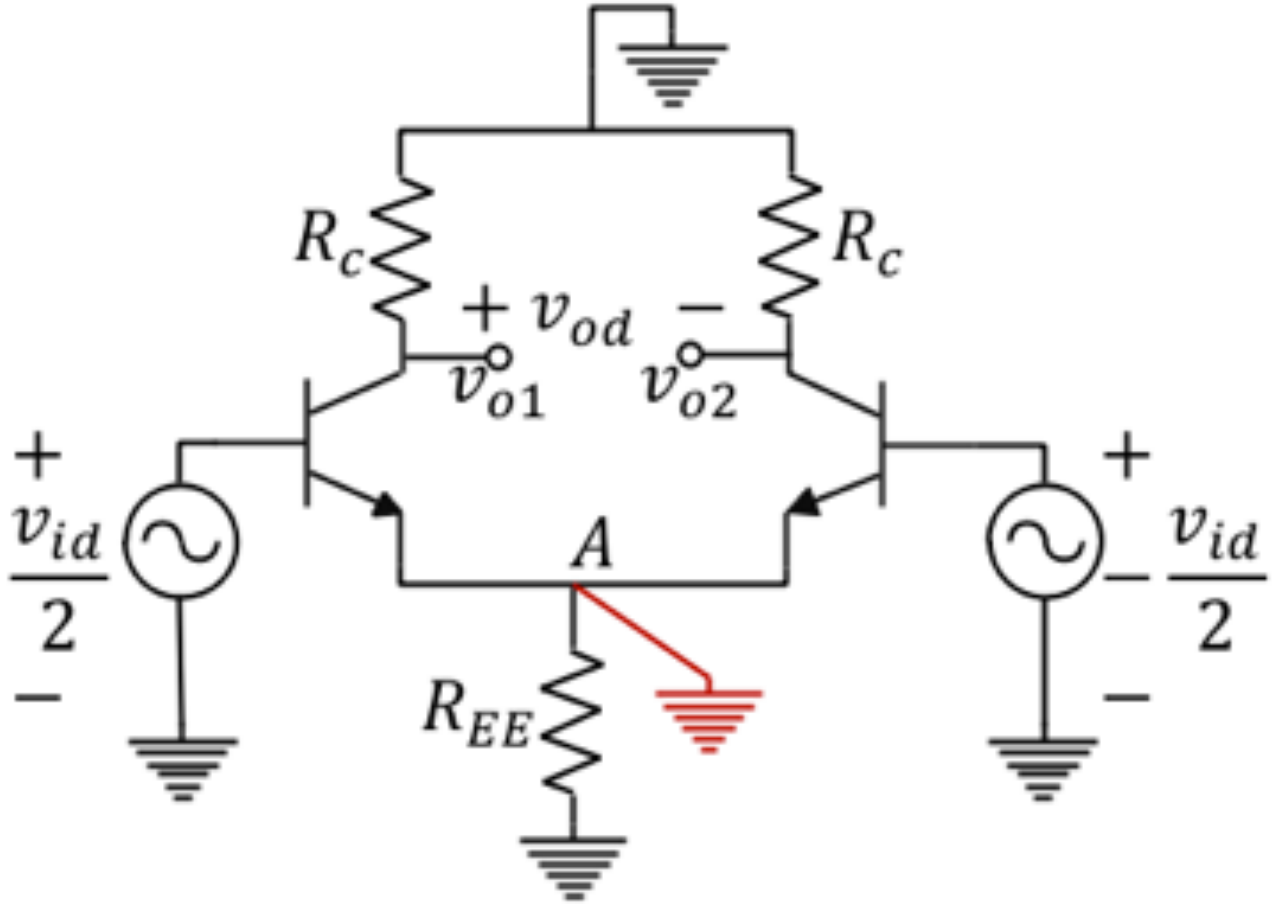
$$r_{\pi 1} = r_{\pi 2} = r_{\pi}$$

$$g_{m1} = g_{m2} = g_m$$

حوزه ac:

$$KCL@A: v_A = \frac{v_{i1} + v_{i2}}{2 + \frac{1}{g_m R_{EE}(1 + \frac{1}{\beta})}} \cong \frac{v_{i1} + v_{i2}}{2 + \frac{1}{g_m R_{EE}}}$$

بهره وجه تفاضلی



$$v_{ic} = 0 \Longrightarrow \begin{cases} v_{i1} = +\dfrac{v_{id}}{2} \\ v_{i2} = -\dfrac{v_{id}}{2} \end{cases} \Longrightarrow v_A = 0$$

در وجه تفاضلی نقاط روی محور
تقارن زمین مجازی هستند

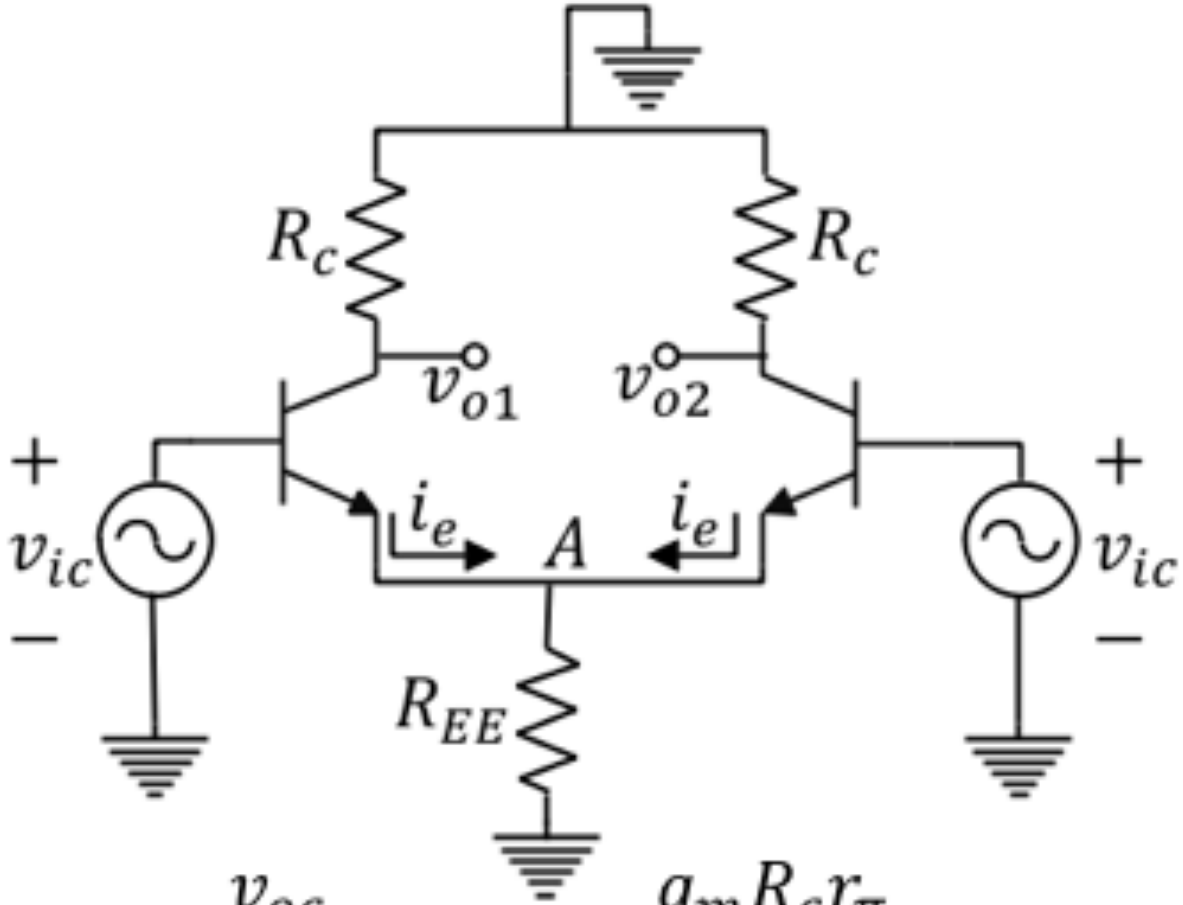
$$v_{\pi 1} = -v_{\pi 2} = \frac{v_{id}}{2} \Longrightarrow i_{c1} = -i_{c2} = g_m \frac{v_{id}}{2} \Longrightarrow v_{o1} = -v_{o2} = -g_m R_c \frac{v_{id}}{2}$$

$$\Longrightarrow v_{od} = v_{o1} - v_{o2} = -g_m R_c v_{id} \Longrightarrow A_d = \frac{v_{od}}{v_{id}} = -g_m R_c$$

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

بهره وجه مشترک

$$v_{id} = 0 \Rightarrow v_{i1} = v_{i2} = v_{ic}$$

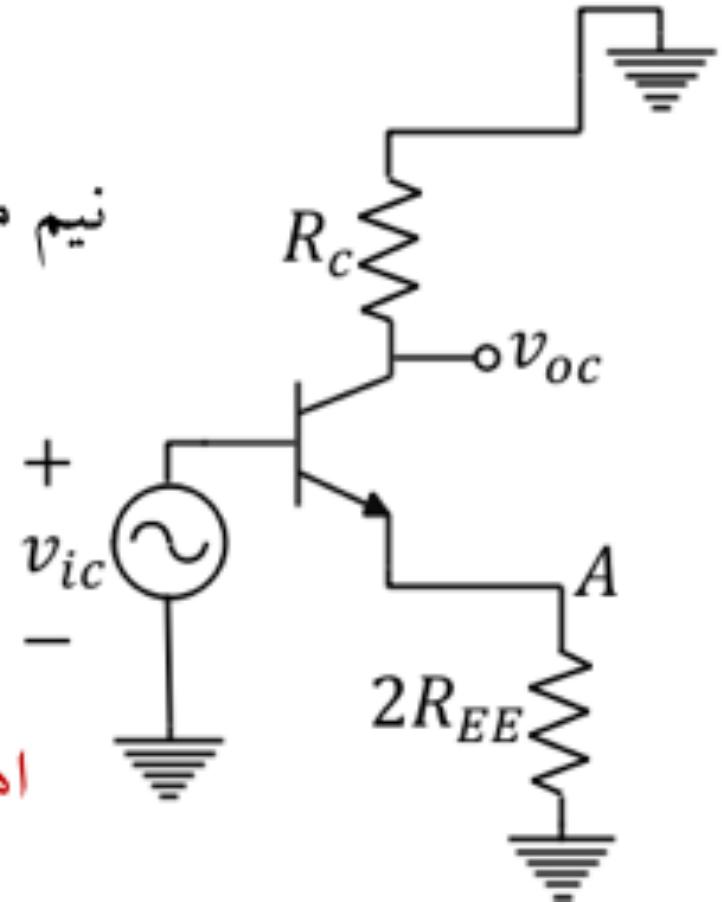


$$A_c = \frac{v_{oc}}{v_{ic}} = -\frac{g_m R_c r_\pi}{r_\pi + 2(\beta+1)R_{EE}}$$

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

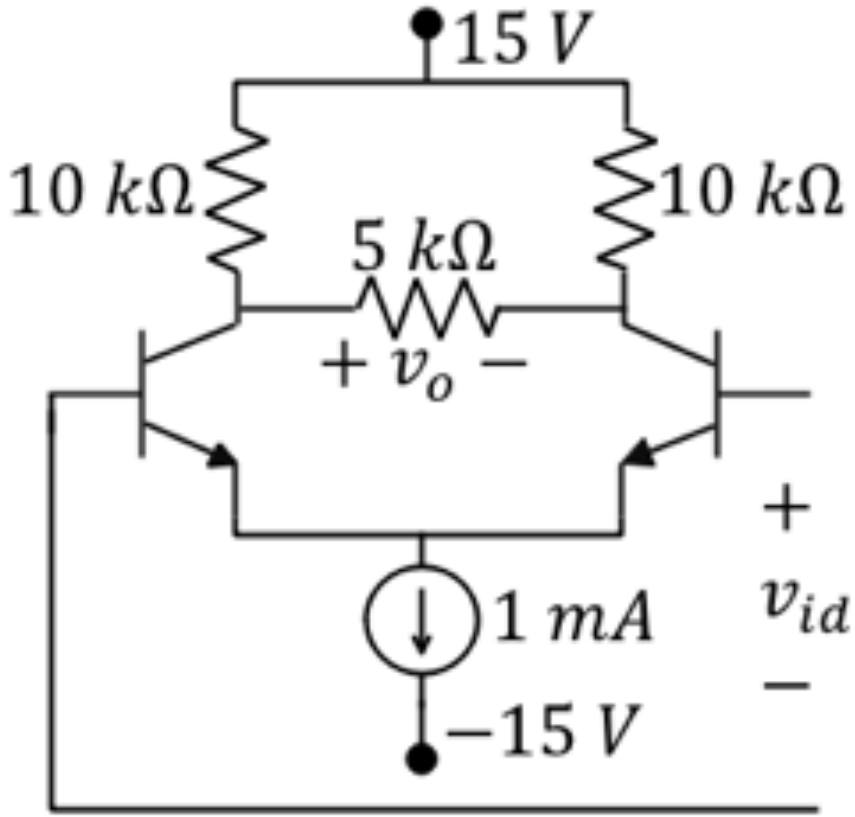
$$CMRR = \left|\frac{A_d}{A_c}\right| = \frac{r_\pi + 2(\beta+1)R_{EE}}{r_\pi}$$

نیم مدار



اهمیت منبع جریان

مثال ۱



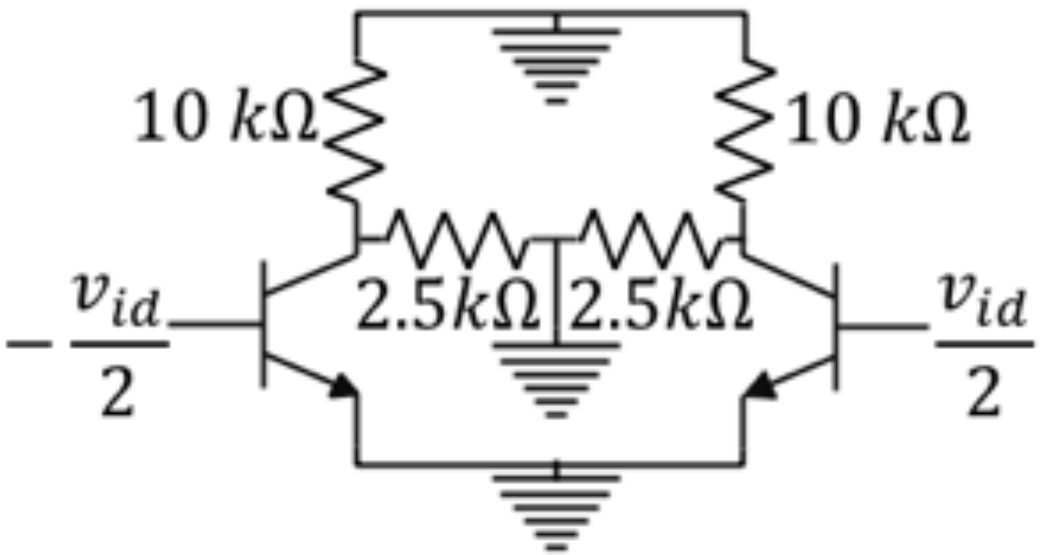
مطلوب است محاسبه بهره ولتاژ با فرض $\beta = 100$

تحلیل DC:

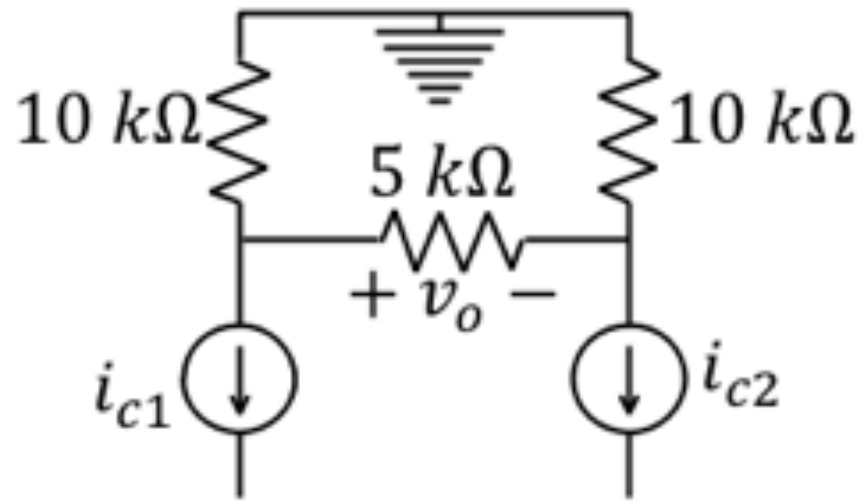
$$I_{C1} = I_{C2} = 0.5\,mA$$
$$r_\pi = 5k\Omega\,,\, g_m = 20mS$$

تحلیل ac:

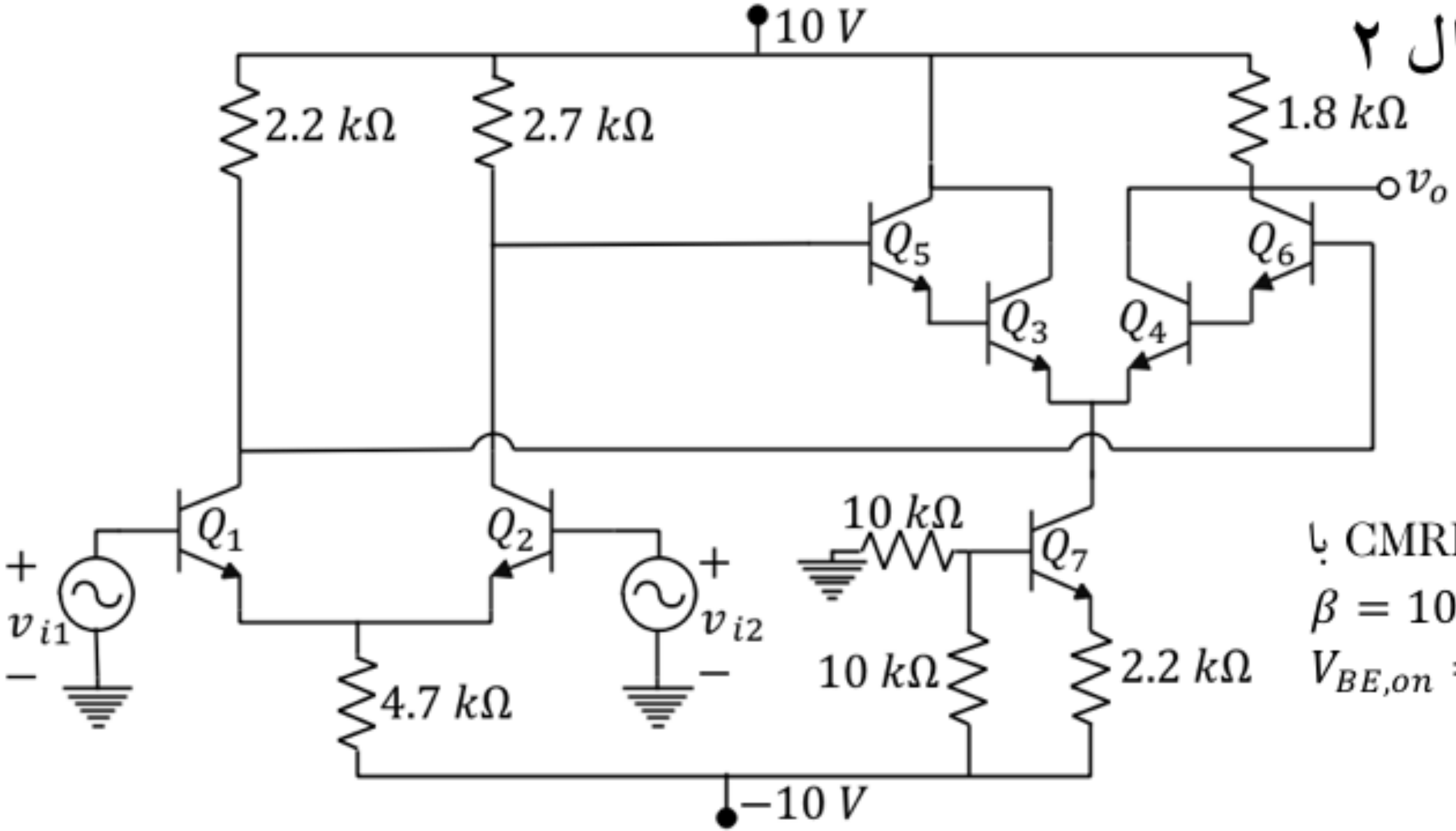
$$v_{\pi 1} = -v_{\pi 2} = -\frac{v_{id}}{2} \Longrightarrow i_{c1} = -i_{c2} = g_m v_{\pi 1}$$



$$v_{o1} = -i_{c1}(10||2)$$
$$v_{o2} = -i_{c2}(10||2)$$
$$v_o = v_{o1} - v_{o2}$$
$$A = \frac{v_o}{v_{id}} = 40$$



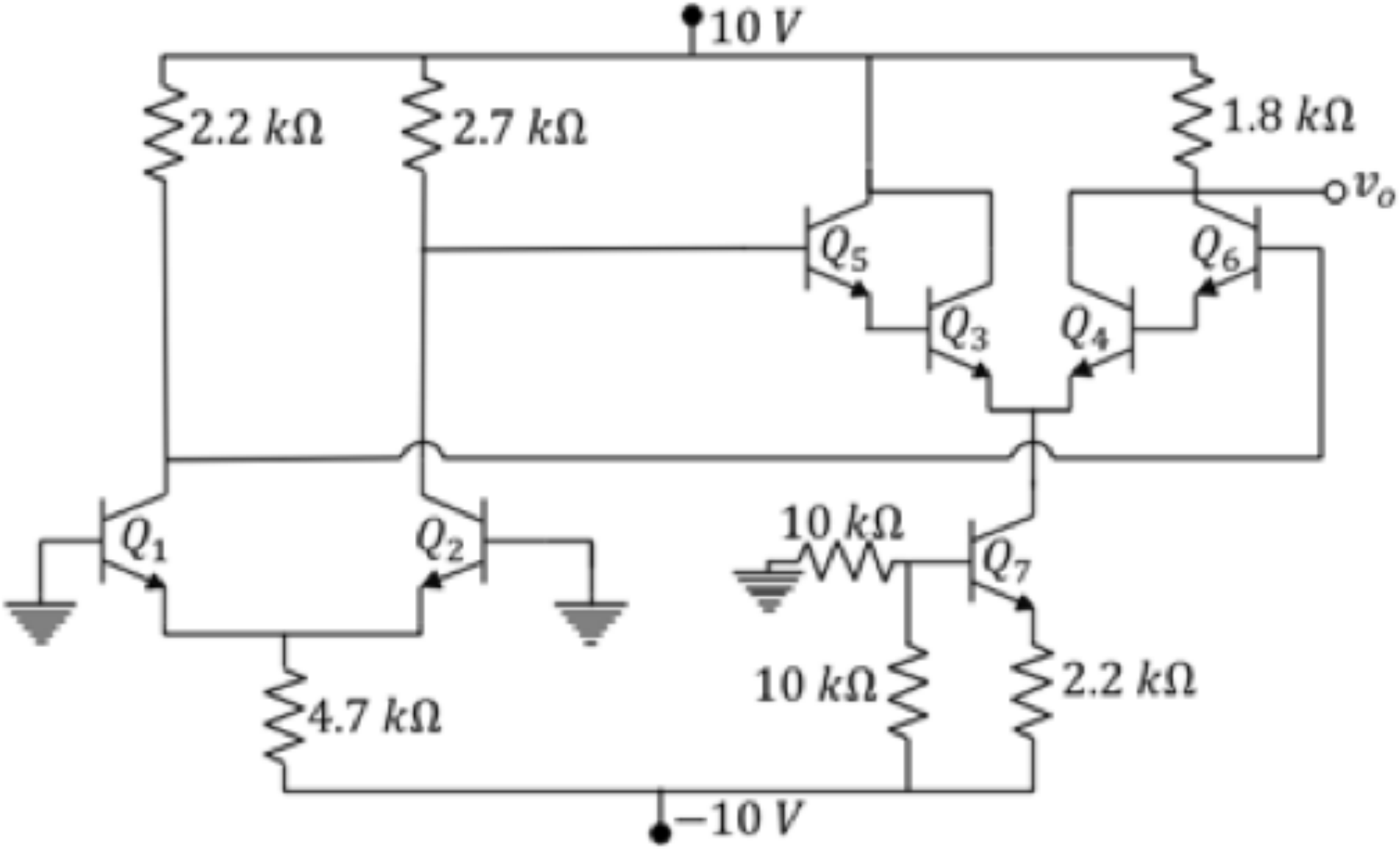
مثال ۲



محاسبه CMRR با فرض

$\beta = 100$

$V_{BE,on} = 0.6\,V$



مثال ۲

تحلیل DC:

$$V_{E1} = -0.6\ V$$

$$I_{E1} = I_{E2}$$

$$2I_{E1} = \frac{-0.6 + 10}{4.7}$$

$$I_{E1} = 1mA = I_{E2}$$

$$r_{\pi 1} = r_{\pi 2} = 2.5\ k\Omega$$

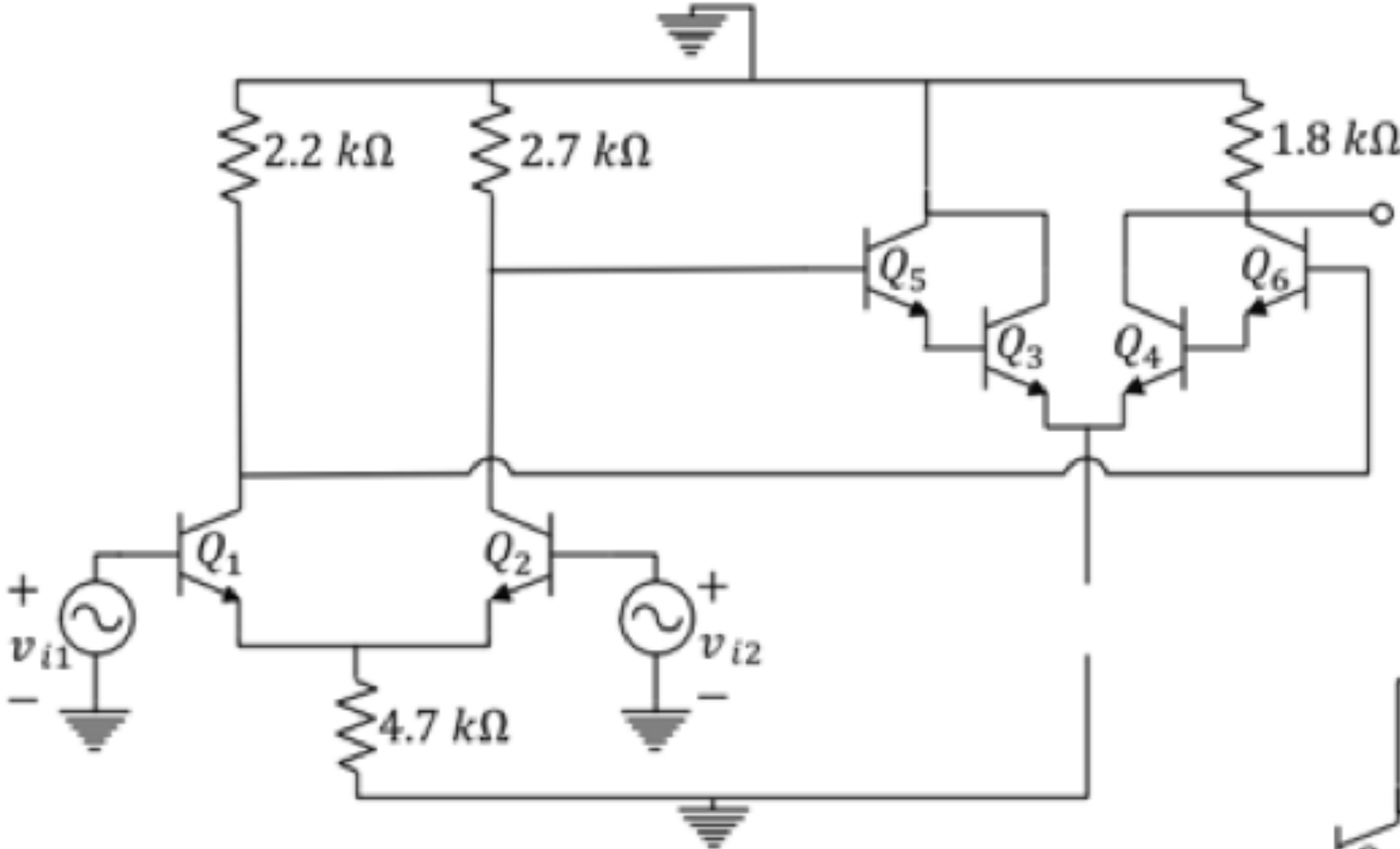
$$g_{m1} = g_{m2} = 40\ mS$$

$$V_{B7} = -5V \Longrightarrow I_{E7} = \frac{-5.6 + 10}{2.2} = 2mA\ ,I_{E3} = I_{E4} = 1mA\ ,I_{E5} = I_{E6} = 0.01mA$$

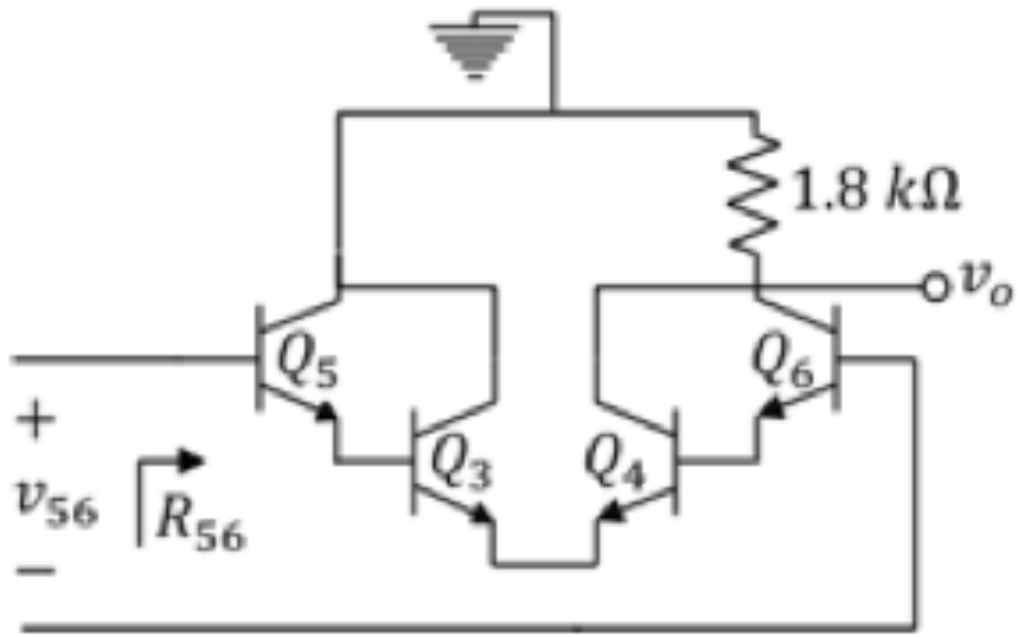
$$r_{\pi 3} = r_{\pi 4} = 2.5k\Omega\ ,g_{m3} = g_{m4} = 40mS\ ,r_{\pi 5} = r_{\pi 6} = 250k\Omega\ ,g_{m5} = g_{m6} = 0.4mS$$

مثال ۲

تحلیل ac:



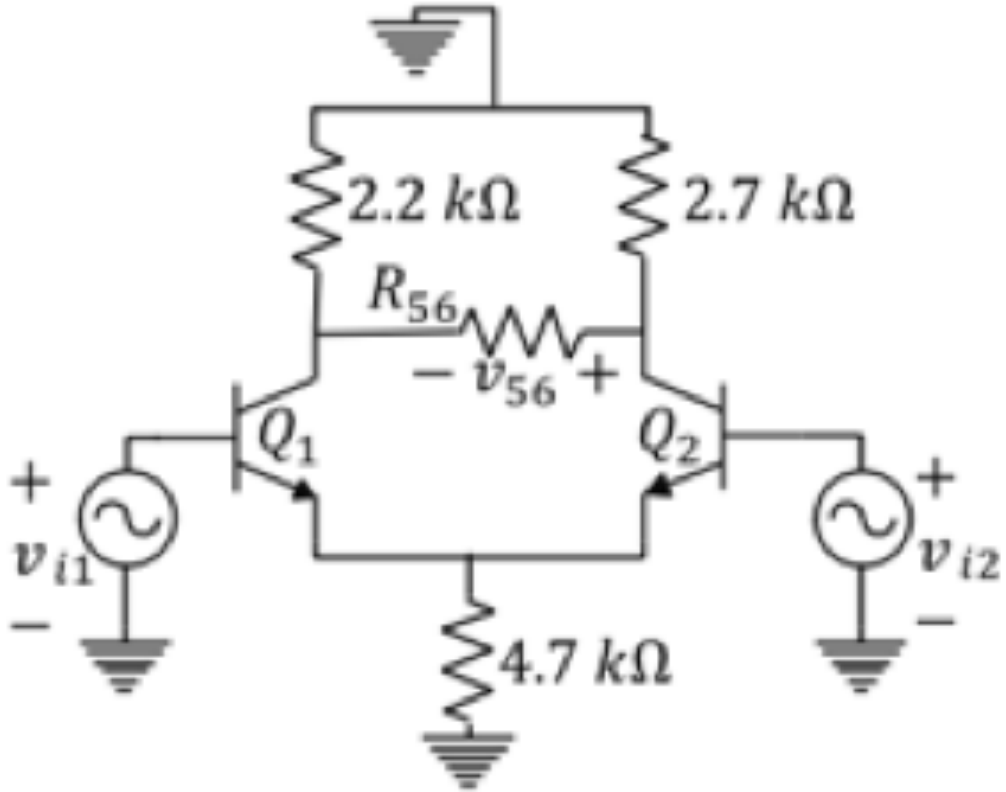
$$R_{56} = r_{\pi 5} + r_{\pi 3}(\beta + 1) + r_{\pi 4}(\beta + 1) + r_{\pi 6} = 1M\Omega$$



$$v_{\pi 6} = -\frac{r_{\pi 6}}{R_{56}} v_{56}\,,\; v_{\pi 4} = -\frac{r_{\pi 4}(\beta + 1)}{R_{56}} v_{56}$$

$$v_o = -1.8(i_{c4} + i_{c6}) \Longrightarrow v_o / v_{56} = 18.4$$

مثال ۲



وجه تفاضلی:

$$v_{\pi 1} = -v_{\pi 2} = \frac{v_{id}}{2} \Longrightarrow i_{c1} = -i_{c2} = g_{m1}\frac{v_{id}}{2}$$

$$v_{56} = 98 v_{id} \Longrightarrow A_d = \frac{v_{56}}{v_{id}}\frac{v_o}{v_{56}} = 1800$$

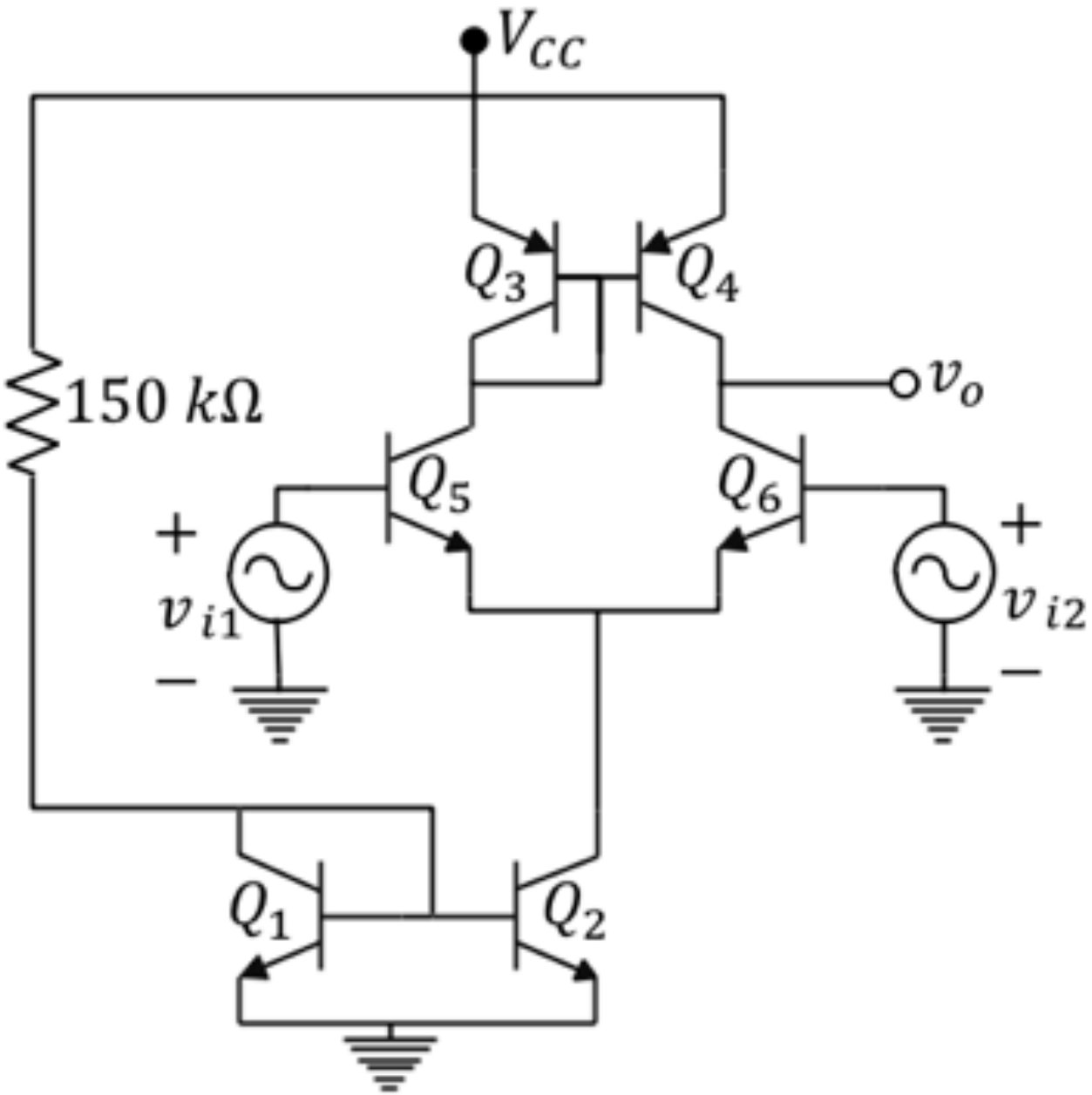
وجه مشترک:

$$v_{\pi 1} = v_{\pi 2} = v_{ic}\frac{r_{\pi 1}}{r_{\pi 1} + 2 * 4.7(\beta + 1)} \Longrightarrow i_{c1} = i_{c2} = g_{m1} v_{\pi 1}$$

$$v_{56} = -0.053 v_{ic} \Longrightarrow A_c = \frac{v_{56}}{v_{ic}}\frac{v_o}{v_{56}} = -0.97$$

$$CMRR = \left|\frac{A_d}{A_c}\right| \cong 1800$$

مثال ۳



مطلوب است محاسبه بهره تفاضلی $\frac{v_o}{v_{id}}$ با فرض $\beta = 250$، $r_\pi = 50\ k\Omega$ و $r_o = 200\ k\Omega$

$$g_m = \frac{\beta}{r_\pi} = 5\ mS$$

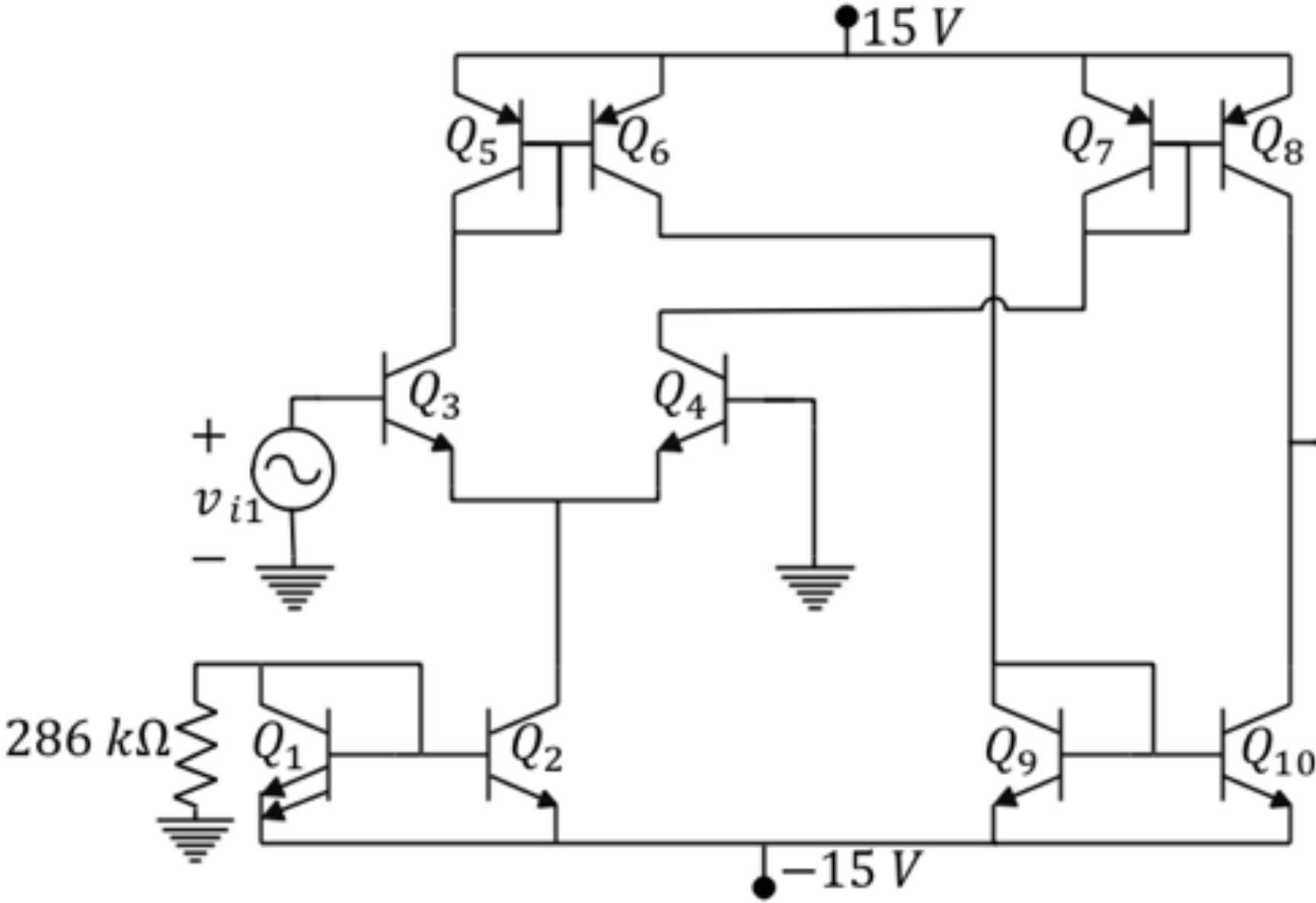
$$v_{\pi 5} = -v_{\pi 6} = \frac{v_{id}}{2} \Longrightarrow$$

$$i_{c5} = -i_{c6} = g_{m5}\frac{v_{id}}{2}$$

$$i_{c4} = i_{c3} = i_{c5} = g_{m5}\frac{v_{id}}{2}$$

$$v_o = (i_{c4} - i_{c6})(r_{o4} || r_{o6})$$

$$A_d = 500$$



مثال ۴

تحلیل DC:

$$I_{C2} = \frac{I_{C1}}{2} = \frac{15 - 0.7}{2 * 286}$$

$$I_{C3} = I_{C4} = I_{C5} = I_{C6} = I_{C7} = I_{C8} = I_{C9} = I_{C10} = \frac{I_{C2}}{2} = 12.5\mu A$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 0.5\ mS$$

تحلیل ac:

$$v_{\pi 3} = -v_{\pi 4} = 0.5 v_i \Longrightarrow i_{c3} = i_{c5} = i_{c6} = i_{c9} = i_{c10} = 0.5 g_{m1} v_i$$

$$i_{c4} = i_{c7} = i_{c8} = -0.5 g_m v_i \Longrightarrow i_o = i_{c8} - i_{c10} = -g_m v_i \Longrightarrow i_o / v_i = -0.5 mS$$