

$$R_i = 220 \parallel R_1 \parallel h_{ie1} = 49.6 \text{ K}\Omega$$

$$R_o = R_2 \parallel 1 + 0.47 = 17.26 \text{ K}\Omega$$

محاسبات فیدبک

$$1 + \beta R_m = 1 + (-275 \times 10^{-6})(-1/12 \times 10^6) = 3.8$$

$$R_{mf} = \frac{v_o}{i_s} = R_m / (1 + \beta R_m) = -0.295 \times 10^6 \text{ K}\Omega$$

$$\Rightarrow A_{vf} = \frac{v_o}{i_s} = \frac{v_o}{R_s i_s} = \frac{R_{mf}}{220} = -1340.9$$

$$R_{if} = R_i / (1 + \beta R_m) = 13.1 \text{ K}\Omega$$

$$R_{of} = R_o / (1 + \beta R_m) = 270 \Omega$$

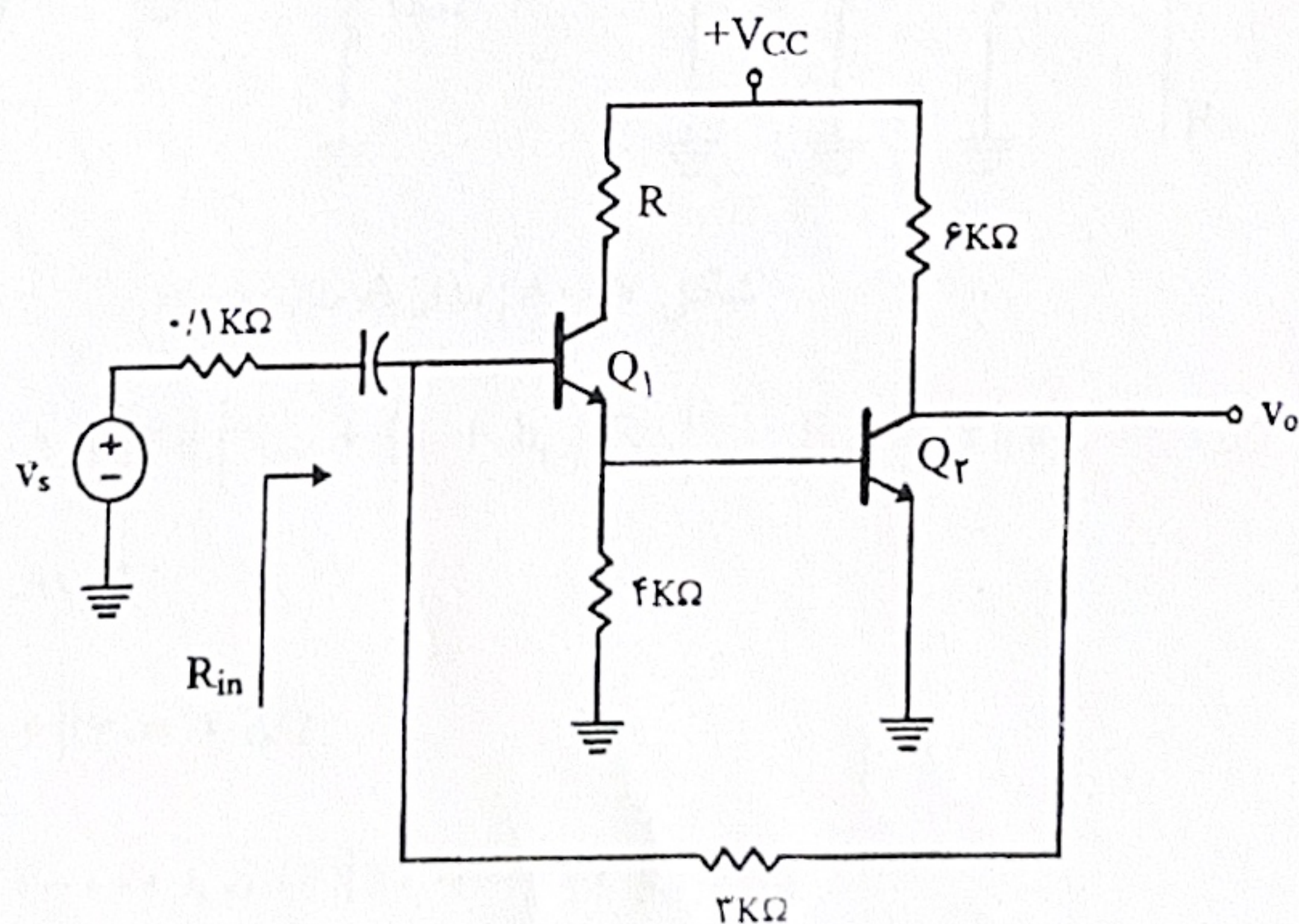
$$R_{if} = 220 \parallel R'_{if} \Rightarrow R'_{if} = 13.93 \text{ K}\Omega$$

$$\Rightarrow R_{in} = R'_{if} + 220 = 233.93 \text{ K}\Omega$$

$$R_{out} = R_{of} = 270 \Omega$$

■

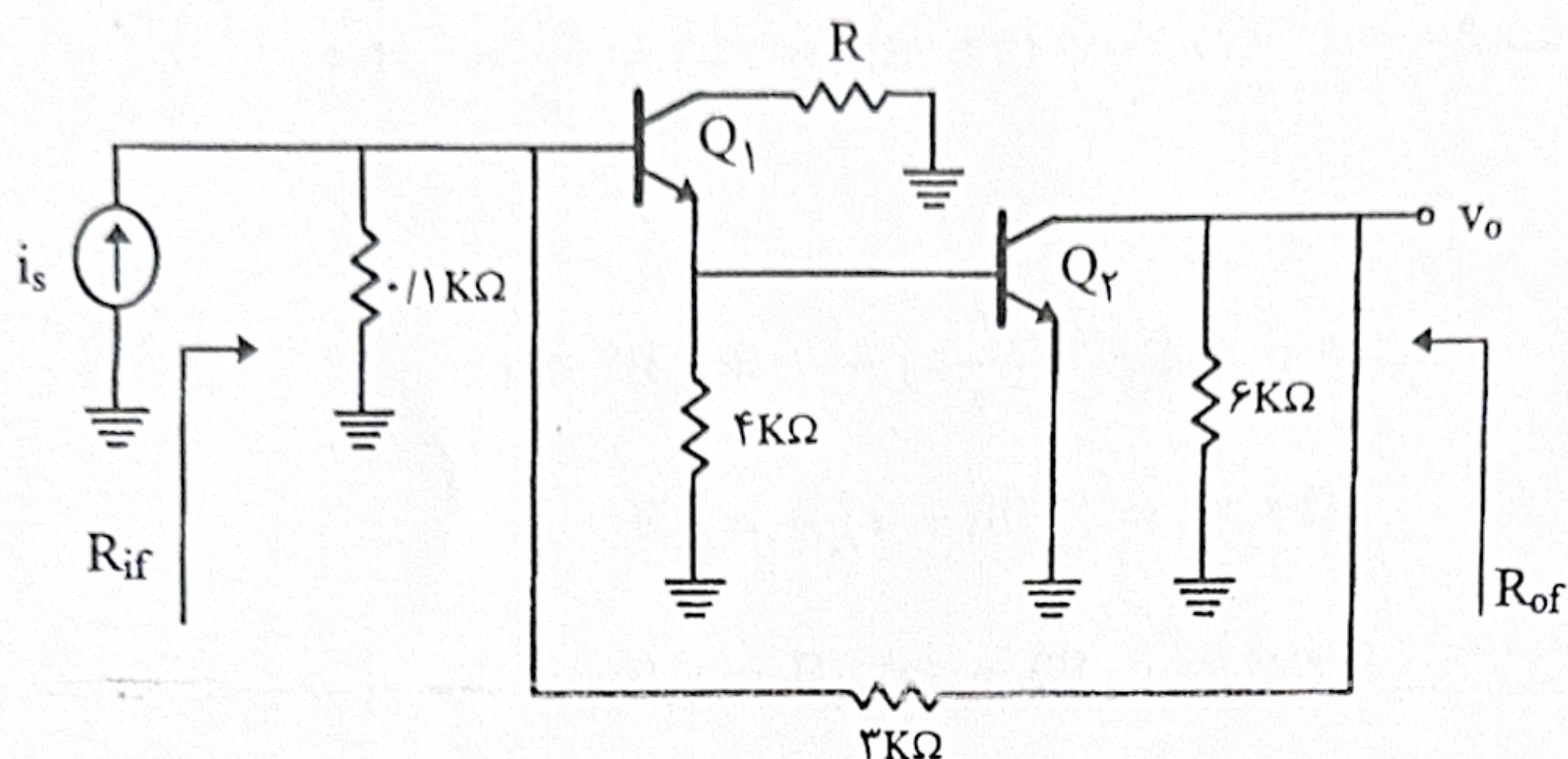
مثال ۷-۱۲ در تقویت‌کننده مدار شکل ۷-۷۸ ترانزیستورها مشابه بوده و دارای $h_{fe} = 100$ و $h_{ie} = 2 \text{ K}\Omega$ می‌باشند. مشخصات تقویت‌کننده را محاسبه نمایید.



شکل ۷-۷۸: مدار مثال ۷-۱۲

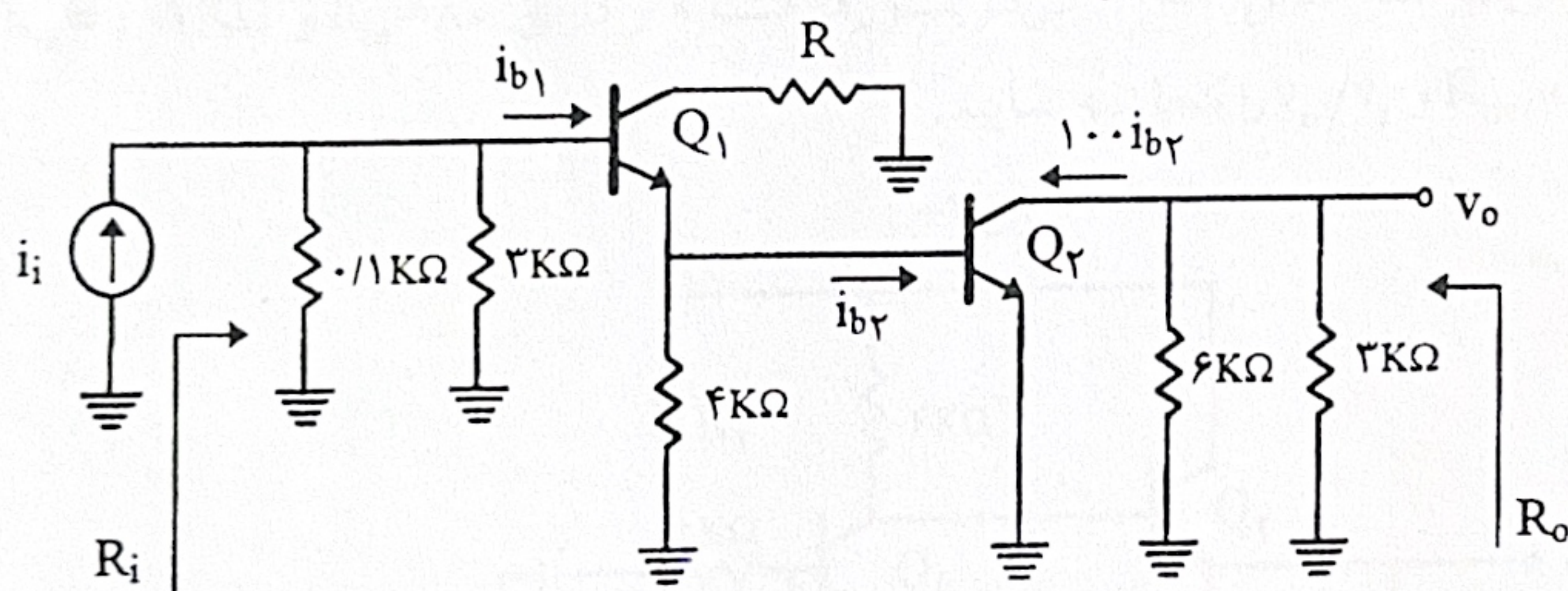
حل:

مدار معادل ac این تقویت کننده به صورت شکل ۷-۷۹ است.



شکل ۷-۷۹: مدار معادل ac مثال ۷-۱۲

فیدبک از نوع ولتاژ - موازی است و بهره شبکه فیدبک برابر $\beta = \frac{-1}{3} \text{ mA/V}$ می باشد. اثر شبکه فیدبک در ورودی و خروجی یک مقاومت $3 \text{ k}\Omega$ به طور موازی است لذا مدار A به صورت شکل ۷-۸۰ خواهد بود.



شکل ۷-۸۰: مدار A مثال ۷-۱۲

$$R_i = 0.1 \parallel 3 \parallel [h_{ie1} + (1 + h_{fe}) R_{e1}], \quad R_{e1} = 4 \parallel h_{ie2} = 1.33 \text{ K}\Omega$$

$$\Rightarrow R_i = 97 \Omega$$

$$R_o = 6 \parallel 3 = 2 \text{ K}\Omega$$

$$v_o = (-100 i_{b2}) (6 \parallel 3) = -200 i_{b2}$$

$$i_{b2} = (1 + h_{fe}) (i_{b1}) \left(\frac{4}{4 + h_{ie2}} \right) = 67.33 i_{b1}$$

$$i_{b1} = i_i \frac{(0.1 \parallel 3)}{(0.1 \parallel 3) + [h_{ie1} + (1 + h_{fe}) R_{e1}]} = (7.09 \times 10^{-4}) i_i$$

$$\Rightarrow R_m = \frac{v_o}{i_i} = (-200)(67.33)(7.09 \times 10^{-4}) = -9.55 \text{ K}\Omega$$

محاسبات فیدبک

$$1 + \beta R_m = 1 + \left(-\frac{1}{3}\right)(-9.55) = 4.18$$

$$R_{if} = R_i(1 + \beta R_m) = 23.2 \Omega$$

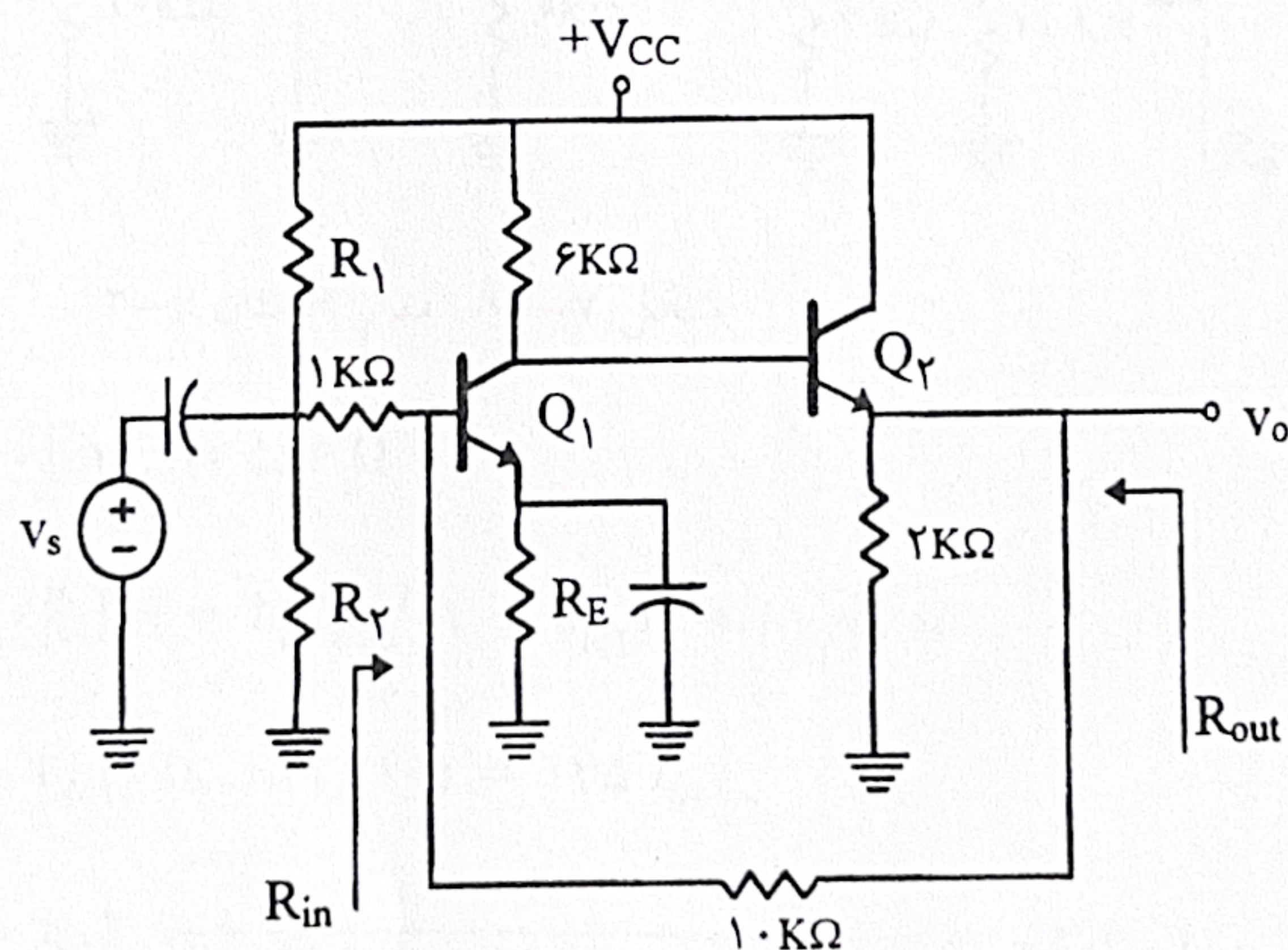
$$R_{oi} = R_o / (1 + \beta R_m) = 478 \Omega$$

$$R_{mf} = \frac{v_o}{i_s} = R_m / (1 + \beta R_m) = -2.28 \text{ K}\Omega$$

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{R_s i_s} = 10 R_{mf} = -22.8$$

■

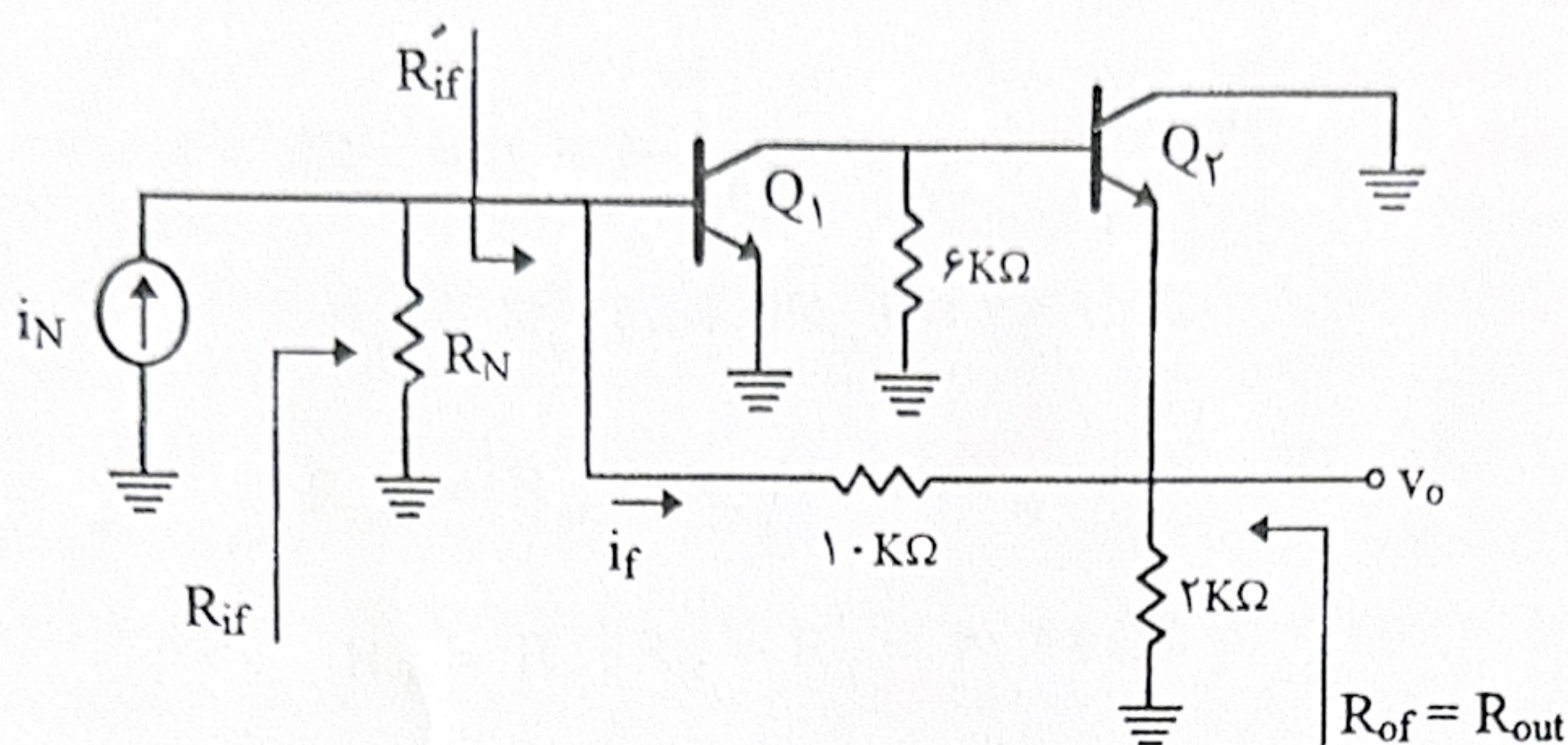
مثال ۷-۱۳ در تقویت‌کننده شکل ۷-۸۱ ترانزیستورها مشابه و دارای $h_{fe}=80$ و $h_{ie}=1.5 \text{ K}\Omega$ هستند. مقادیر R_{in} ، R_{out} و v_o/v_s را محاسبه نمایید.



شکل ۷-۸۱: مدار مثال ۷-۱۳

حل:

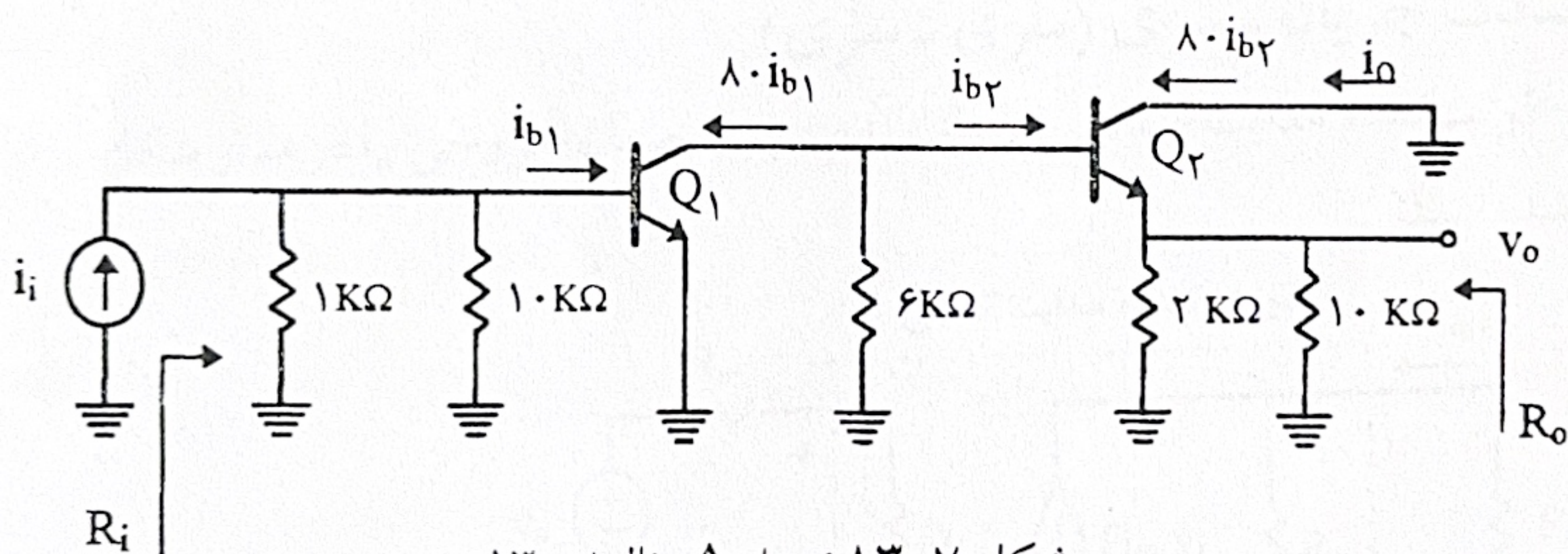
مدار معادل ac تقویت‌کننده در شکل ۷-۸۲ نمایش داده شده که با توجه به آن مشاهده می‌شود فیدبک از نوع ولتاژ - موازی است و بهره شبکه فیدبک $\beta = -0.1 \text{ mA/V}$ می‌باشد.



شکل ۵-۷: مدار معادل ac مثال ۵-۷

$$R_N = R_{\pi} = 1 \text{ K}\Omega, i_N = \frac{v_s}{R_{\pi}} = v_s$$

مدار A در شکل ۵-۷ نمایش داده شده است. اثر مدار فیدبک در ورودی و خروجی به صورت مقاومت موازی ظاهر می‌گردد.



شکل ۵-۷: مدار A مثال ۵-۷

$$R_i = 1 \parallel 10 \parallel h_{ie1} = 566 \Omega$$

$$R_o = 2 \parallel 10 \parallel [(6 + h_{ie2}) / (1 + h_{fe2})] = 177.72 \Omega$$

$$v_o = (1 + h_{fe2}) (i_{b2}) (2 \parallel 10) = 135 i_{b2}$$

$$i_{b2} = (-80 i_{b1}) \frac{6}{6 + [h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) (2 \parallel 10)]} = -3.37 i_{b1}$$

$$i_{b1} = (i_i) \frac{(1 \parallel 10)}{(1 \parallel 10) + h_{ie1}} = 0.38 i_i$$

$$R_m = \frac{v_o}{i_i} = (135) (-3.37) (0.38) = -172.88 \text{ K}\Omega$$

$$1 + \beta R_m = 1 + \left(\frac{-1}{10}\right) (-172.88) = 18.29$$

$$R_{if} = R_i / (1 + \beta R_m) = 30.95 \Omega$$

$$R_{out} = R_{of} = R_o / (1 + \beta R_m) = 4.80 \Omega$$

$$R_{if} = R_N \parallel R'_{if} \Rightarrow R'_{if} = 31.94 \Omega$$

$$R_{mf} = \frac{v_o}{i_N} = R_m / (1 + \beta R_m) = -9.45 K\Omega$$

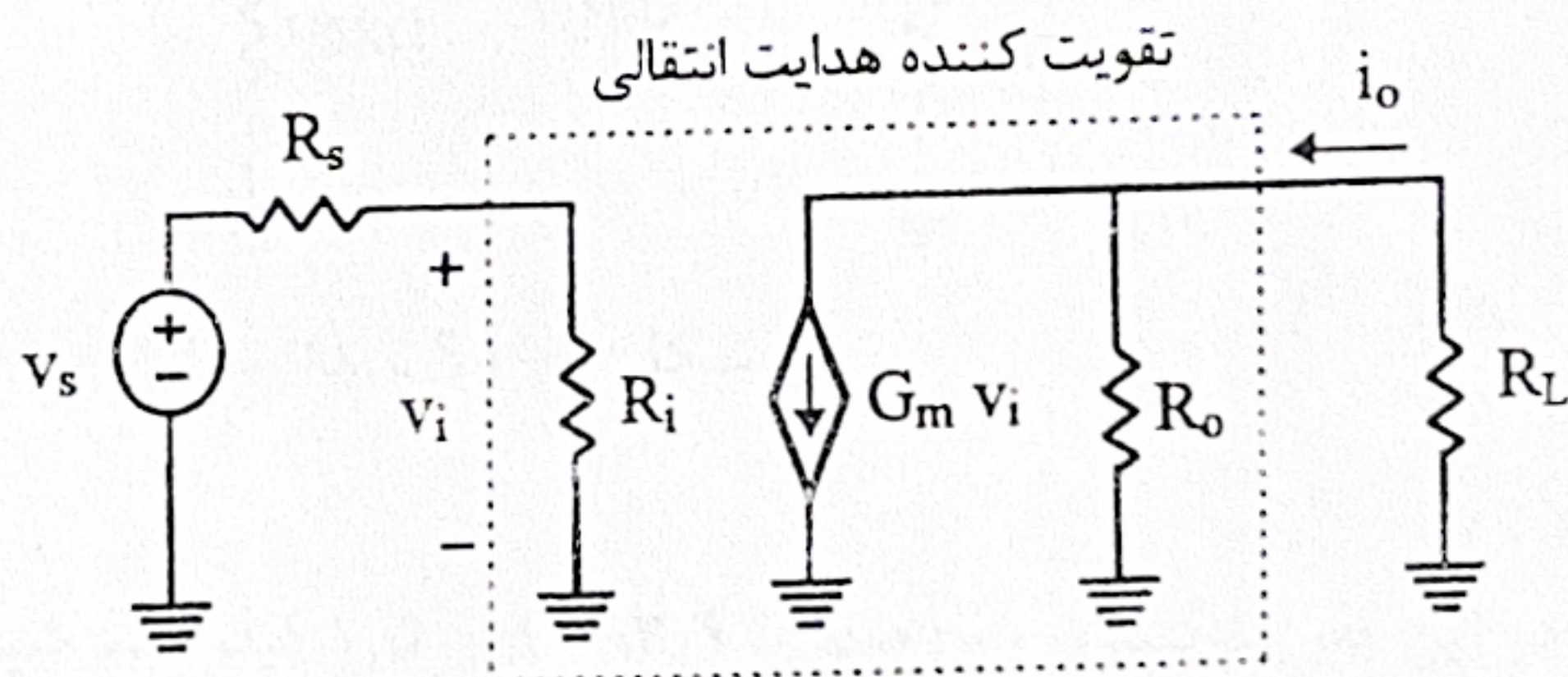
$$\Rightarrow A_{vf} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{R_N i_N} = R_{mf} = -9.45$$

$$R_{in} = R_r + R'_{if} = 1031.94 \Omega$$



۶-۷ تحلیل فیدبک جریان - سری (سری - سری)

مدار معادل یک تقویت‌کننده هدایت انتقالی با ولتاژ ورودی v_s و جریان خروجی i_o در مدار شکل ۷-۸۴ نمایش داده شده است.



شکل ۷-۸۴: مدل تقویت کننده هدایت انتقالی

شرایط ایده‌آل که در آن بارگذاری منبع سیگنال ورودی و مقاومت بار در بهره هدایت انتقالی تقویت‌کننده بی‌تأثیر است، عبارتند از

$$R_i = \infty \Rightarrow v_i = v_s$$

$$R_o = \infty \Rightarrow i_o = G_m v_i = G_m v_s \Rightarrow \frac{i_o}{v_s} = G_m$$

اعمال فیدبک از خروجی به ورودی تقویت‌کننده هدایت انتقالی با نمونه‌برداری از جریان خروجی و جمع با ولتاژ ورودی انجام می‌گیرد. بنابراین شبکه فیدبک به صورت شکل ۷-۸۵ هم با مدار خروجی

۳. محاسبه مشخصات مدار A (R_o , R_i) و $G_m = i_o / v_i$

۴. محاسبه مشخصات تقویت کننده با فیدبک منفی با استفاده از روابط زیر:

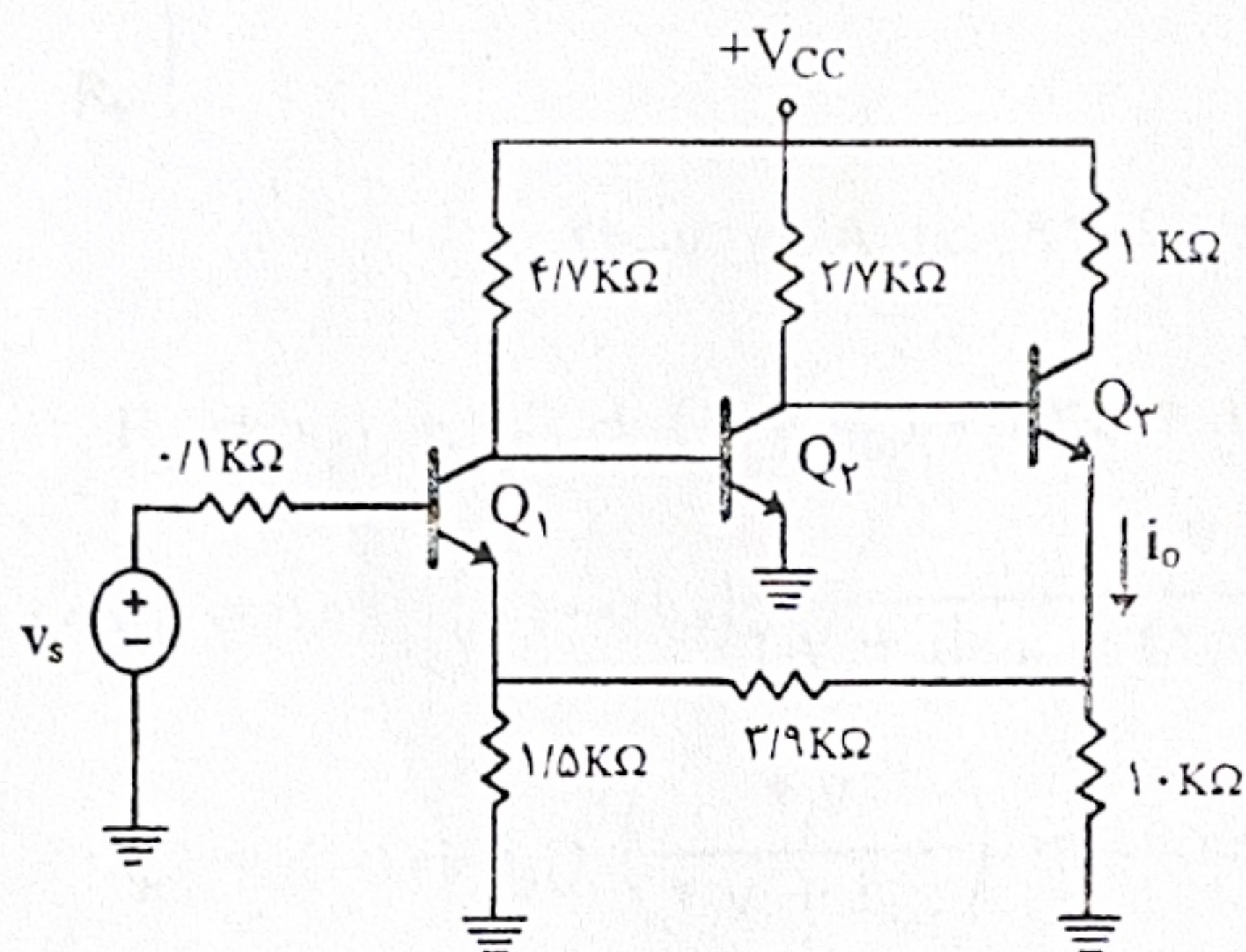
$$R_{if} = R_i (1 + \beta G_m)$$

$$R_{of} = R_o (1 + \beta G_m)$$

$$G_{mf} = \frac{i_o}{v_s} = G_m / (1 + \beta G_m)$$

مثال ۷-۱۴ در مدار تقویت کننده شکل ۷-۹۱ ترانزیستورها مشابه و دارای $h_{fe} = 100$ و

$h_{ie} = 1.5 K\Omega$ می باشند. با تعیین نوع فیدبک، مشخصات تقویت کننده را محاسبه نمایید.



شکل ۷-۹۱: مدار مثال ۷-۱۴

حل:

در این تقویت کننده، مقاومتهای ۳/۹، ۱۰ و ۱/۵ کیلو اهم شبکه فیدبک را تشکیل می دهند که از جریان خروجی نمونه برداری کرده و به صورت ولتاژ v_f با ولتاژ ورودی جمع می کند. بنابراین فیدبک از نوع جریان - سری است.

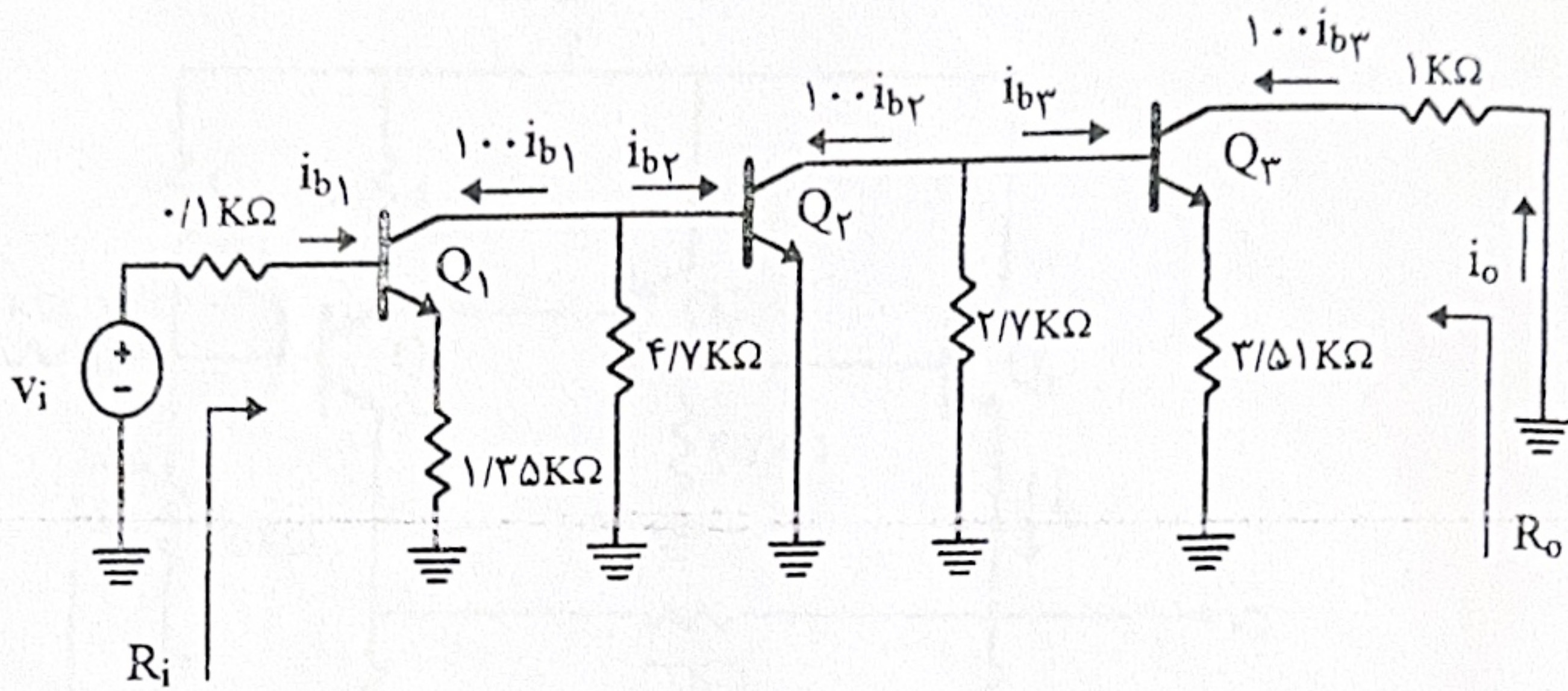
بهره مدار فیدبک با استفاده از مدار شکل ۷-۹۲ برابر است با

$$\beta = \frac{v_f'}{i_o} = \left(\frac{10}{10 + 3.9 + 1.5} \right) \times 1.5 = 0.974 K\Omega$$

شکل ۷-۹۲: مدار محاسبه β

با اتصال باز کردن مدار فیدبک در طرف ورودی، مقاومت $3.51 K\Omega = 10 \parallel (1.5 + 3.9)$ به طور

سری در خروجی قرار می‌گیرد و با اتصال باز کردن مدار فیدبک در طرف خروجی مقاومت $۱/۵ = ۱/۳۵ K\Omega \parallel (۳/۹ + ۱۰)$ به‌طور سری در ورودی قرار می‌گیرد. مدار A در شکل ۷-۹۳ نمایش داده شده است.



شکل ۷-۹۳: مدار A مثال ۷-۱۴

$$R_i = 0.1 + h_{ie1} + (1 + h_{fe}) \times 1/35 = 137.95 K\Omega, \quad R_o = \infty$$

$$i_o = 100 \cdot i_{b3} = 100 \cdot \left[\frac{(-100 \cdot i_{b2}) \frac{2/7}{2/7 + [h_{ie3} + (1 + h_{fe}) \times 3/51]}}{1} \right] = -75.27 i_{b2}$$

$$i_{b2} = (-100 \cdot i_{b1}) \left(\frac{4/7}{4/7 + h_{ie2}} \right) = -75.81 i_{b1}$$

$$i_{b1} = \frac{v_i}{R_i} = \frac{v_i}{137.95}$$

$$\Rightarrow G_m = \frac{i_o}{v_i} = (-75.25)(-75.81) / 137.95 = 41.36$$

محاسبات فیدبک

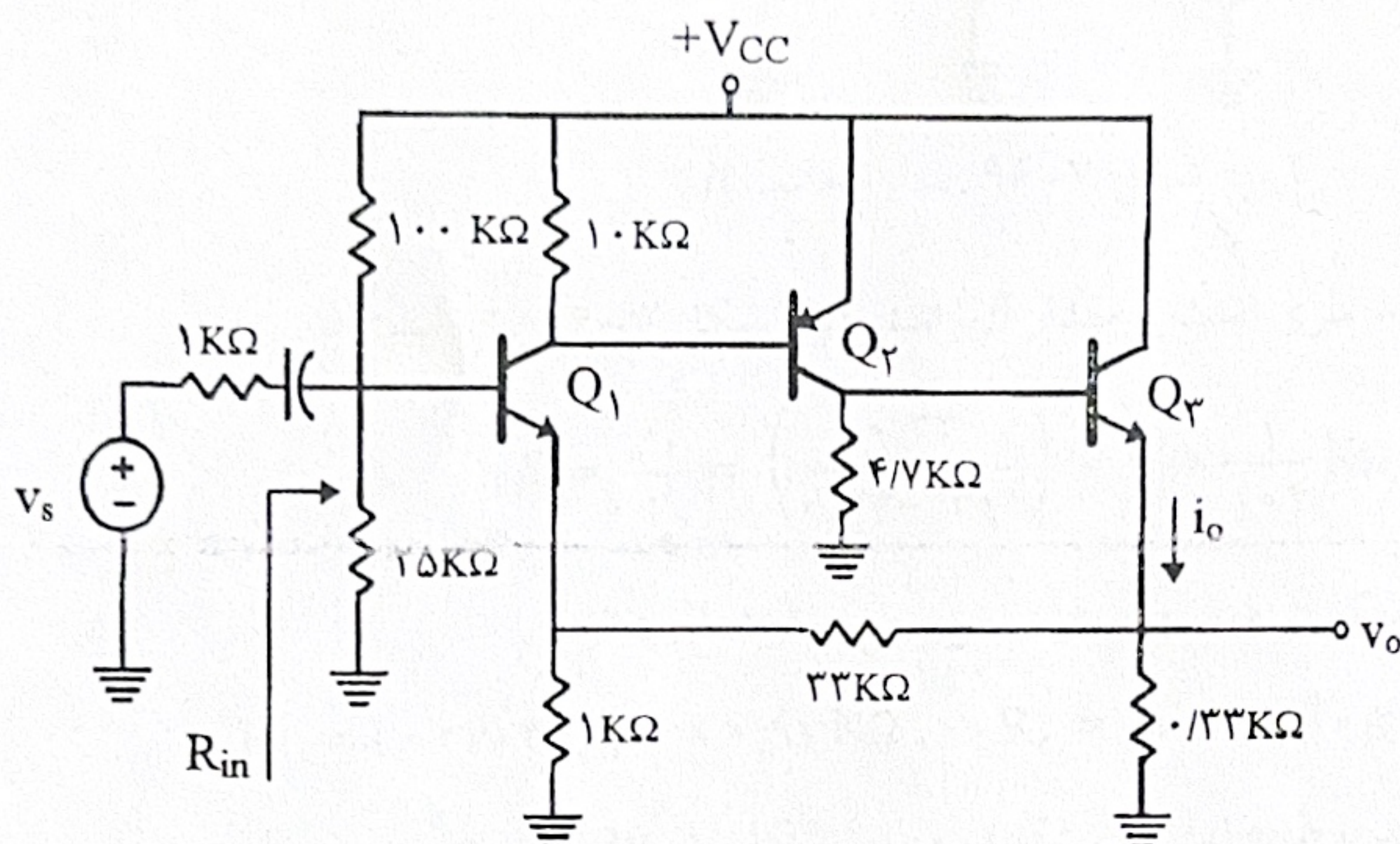
$$1 + \beta G_m = 1 + (0.974)(41.36) = 41.28$$

$$R_{if} = R_i (1 + \beta G_m) \approx 5.7 M\Omega$$

$$R_{of} = R_o (1 + \beta G_m) = \infty$$

$$G_{mf} = \frac{i_o}{v_s} = G_m / (1 + \beta G_m) \approx 1 K\Omega$$

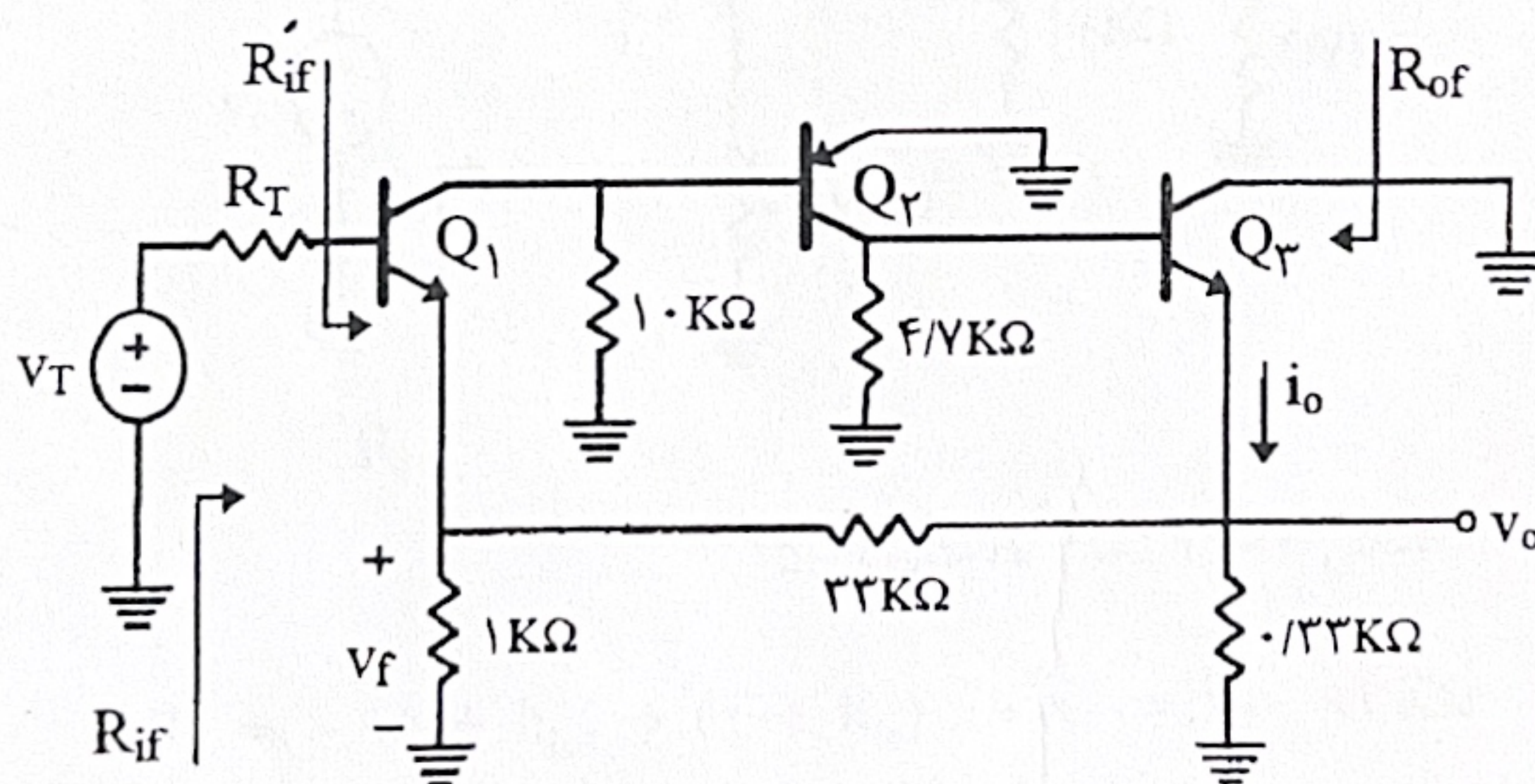
مثال ۷-۱۵ در مدار تقویت کننده شکل ۷-۹۴ ترانزیستورها مشابه بوده و دارای $h_{fe} = 100$ و $h_{ie} = 2 \text{ K}\Omega$ می باشند. با تشخیص نوع فیدبک مقاومت ورودی R_{in} و i_o/v_s را به دست آورید.



شکل ۷-۹۴: مدار مثال ۷-۱۵

حل:

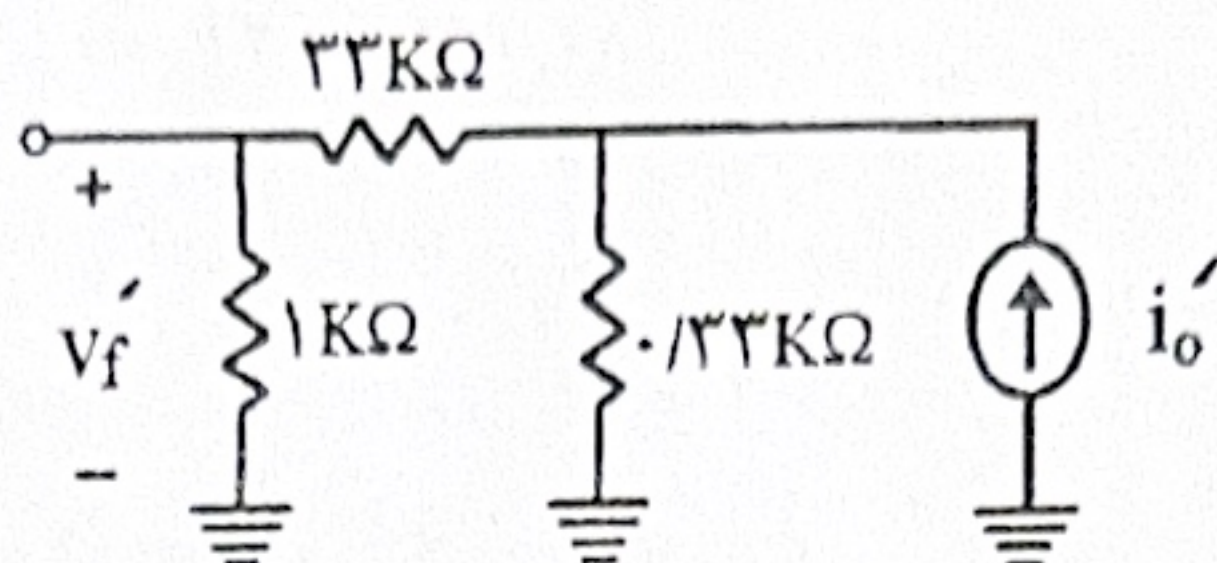
مدار معادل ac تقویت کننده به صورت شکل ۷-۹۵ می باشد.



شکل ۷-۹۵: مدار معادل ac مثال ۷-۱۵

$$R_T = 1 \parallel 25 \parallel 100 = 0.95 \text{ K}\Omega$$

$$v_T = \frac{v_s}{1 + (100 \parallel 25)} = 0.95 v_s$$

شکل ۷-۹۶: مدار محاسبه β

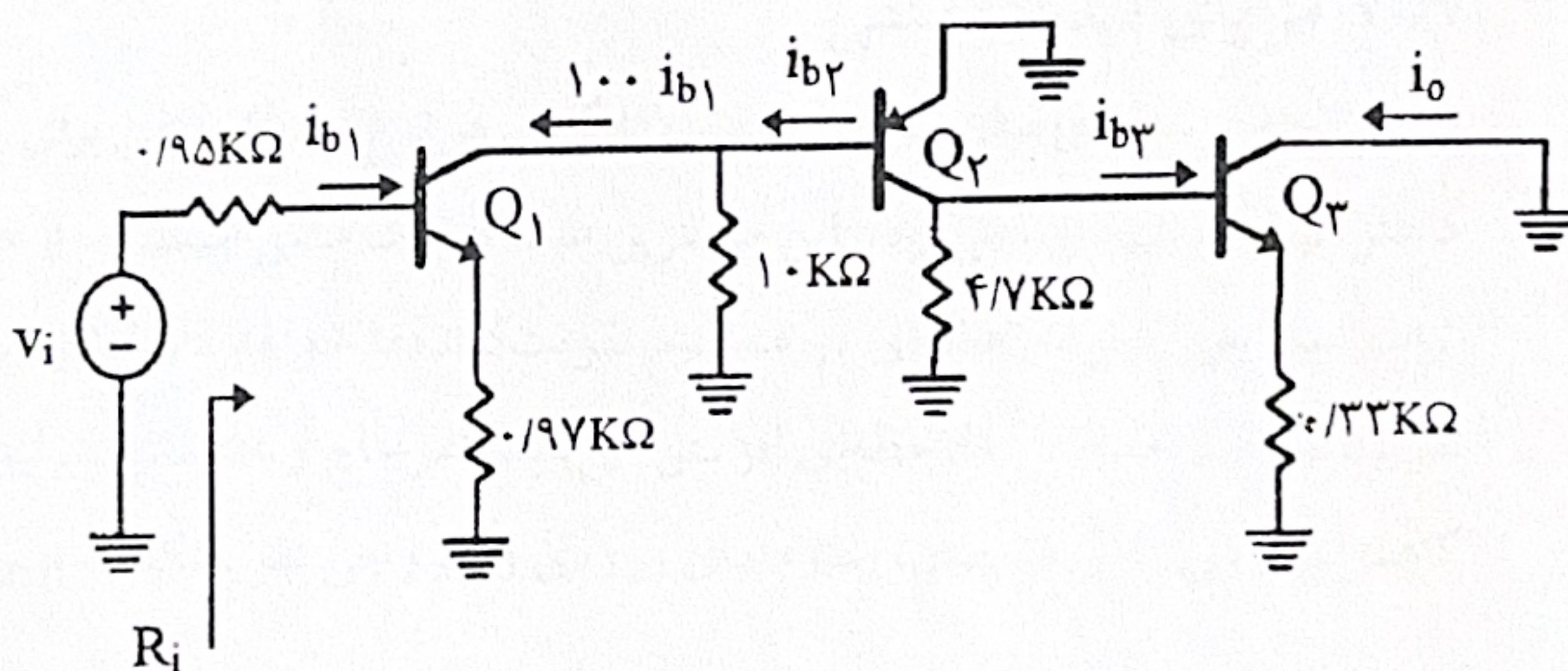
فیدبک از نوع جریان - سری است و مقدار β با استفاده از شکل ۷-۹۶ برابر است با

$$\beta = \frac{v_f'}{i_o'} = \left(\frac{0.33}{0.33 + 33 + 1} \right) \times 1 \approx \frac{1}{104} K\Omega$$

اثر بارگذاری شبکه فیدبک در مدار ورودی و خروجی عبارت است از

$$R_i = (0.33 + 33) \parallel 1 = 0.97 K\Omega, \quad R_o = (1 + 33) \parallel 0.33 \approx 0.33 K\Omega$$

به این ترتیب مدار A مربوط به این تقویت‌کننده مطابق شکل ۷-۹۷ است.



شکل ۷-۹۷: مدار A مثال ۷-۱۵

$$R_i = 0.95 + h_{ie1} + (1 + h_{fe}) \times 0.97 = 100.92 K\Omega$$

$$i_o = 100 i_{b3} = 100 \left[(100 i_{b2}) \frac{4.7}{4.7 + [h_{ie3} + (1 + h_{fe}) \times 0.33]} \right] = 1174.12 i_{b2}$$

$$i_{b2} = (100 i_{b1}) \left(\frac{10}{10 + h_{ie2}} \right) = 83.33 i_{b1}$$

$$i_{b1} = v_i / R_i = v_i / 100.92$$

$$\Rightarrow G_m = \frac{i_o}{v_i} = (1174/12)(83/33)/100/92 = 969/48$$

محاسبات فیدبک

$$1 + \beta G_m = 1 + (969/48/104) = 10/32$$

$$R_{if} = R_i (1 + \beta G_m) \approx 1/041 \text{ M}\Omega$$

$$R'_{if} = R_{if} - R_T \approx 1/039 \text{ M}\Omega$$

$$G_{mf} = \frac{i_o}{v_T} = G_m / (1 + \beta G_m) = 93/94$$

$$\frac{i_o}{v_s} = \frac{i_o}{v_T / 0/95} = 0/95 G_{mf} = 89/25$$

$$R_{in} = 100 \parallel 25 \parallel R'_{if} = 19/62 \text{ K}\Omega$$

۷-۷ مزایای فیدبک منفی

چنانچه در بحثهای قبلی مشاهده شد، به کارگیری هر نوع فیدبک منفی برای یک تقویت کننده، باعث کاهش بهره تقویت کننده می گردد. این مهمترین عیب فیدبک منفی است. اما از طرف دیگر فیدبک منفی اثرات اصلاحی قابل ملاحظه ای در عملکرد تقویت کننده ها خواهد داشت. به عنوان مثال پایداری بهره تقویت کننده تا حد قابل ملاحظه ای افزایش می یابد، اعوجاج و اغتشاش تولید شده در حلقه فیدبک کاهش پیدا می کند و همچنین، مقاومتهای ورودی و خروجی تقویت کننده بهبود می یابد.

پایداری بهره

در بسیاری از کاربردها داشتن یک بهره ثابت حتی با وجود تغییراتی در پارامترهای مختلف تقویت کننده مثل منبع تغذیه و بهره جریان ترانزیستور، دارای اهمیت است. به کارگیری فیدبک منفی اثر تغییرات این گونه مشخصه ها در بهره کلی تقویت کننده را به طور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد.

مثال ۷-۱۶ در یک تقویت کننده با بهره ولتاژ ۱۰۰۰ به میزان ۳٪ از ولتاژ خروجی به ولتاژ ورودی فیدبک می شود. چنانچه بهره تقویت کننده قبل از فیدبک دارای ۵۰٪ تغییرات باشد، بعد از اعمال فیدبک مقدار تغییرات بهره را به دست آورید.