

می توان مراحل محاسبات فیدبک ولتاژ - سری را به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. تشخیص مدار فیدبک و محاسبه بهره مدار فیدبک (β)
۲. به دست آوردن مدار A با در نظر گرفتن اثر مدار فیدبک در ورودی و خروجی
 - با اتصال کوتاه کردن شبکه فیدبک در طرف خروجی، یک مقاومت به صورت سری در ورودی قرار می گیرد.
 - با اتصال باز کردن شبکه فیدبک در طرف ورودی، یک مقاومت به صورت موازی در خروجی قرار می گیرد.

۳. محاسبه مشخصات تقویت کننده مدار A (R_o , R_i) و $A_v = v_o/v_i$

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

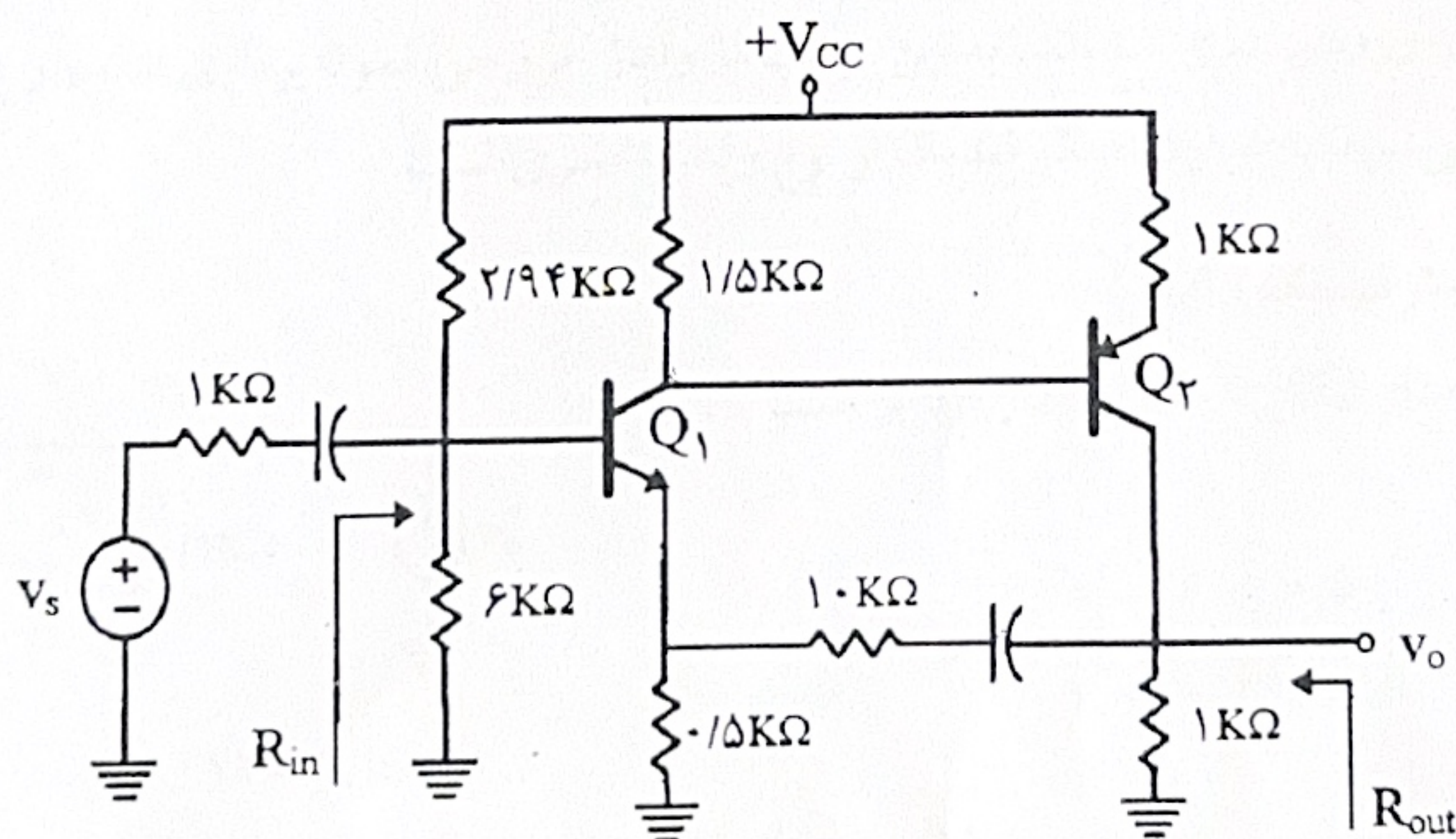
$$R_{if} = R_i (1 + \beta A_v)$$

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

$$A_{vf} = A_v / (1 + \beta A_v)$$

لازم به یادآوری است که در استفاده از روابط فوق باید به نحوه و محل صحیح تعریف مقاومت های R_{if} و R_{of} دقیقاً توجه گردد.

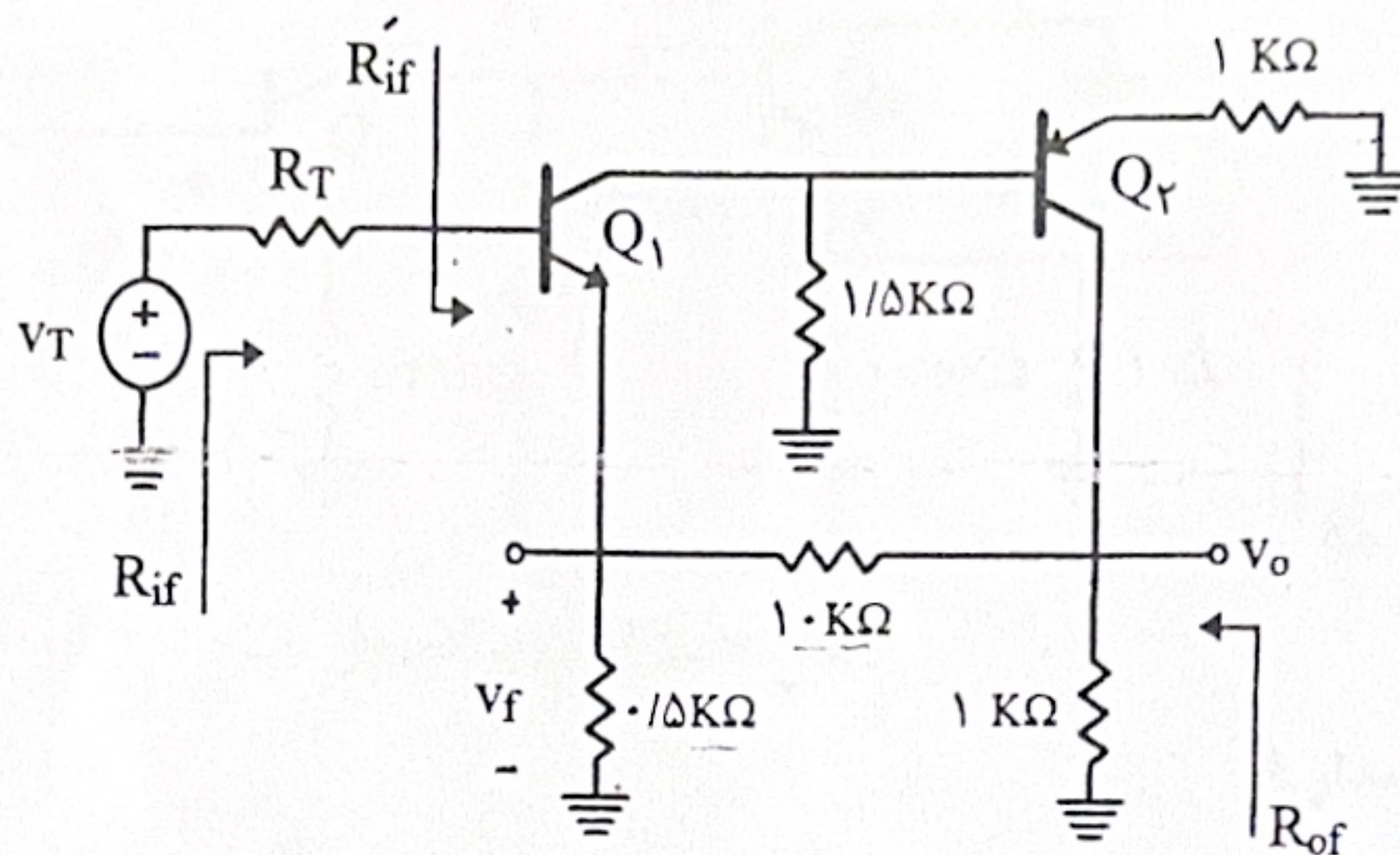
مثال ۷-۱ در تقویت کننده مدار شکل ۷-۱۲ ترانزیستورها مشابه و دارای $h_{fe} = 200$ و $h_{ie} = 2 \text{ K}\Omega$ می باشند. مقادیر R_{in} ، R_{out} و v_o/v_s را محاسبه کنید.



شکل ۷-۱۲: مدار مثال ۷-۱

حل:

با اتصال کوتاه گرفتن خازن‌ها و حذف منبع تغذیه DC، مدار معادل ac تقویت‌کننده به صورت شکل ۷-۱۳ خواهد بود. برای تطبیق با الگوی فیدبک ولتاژ - سری، مدار معادل تونن ورودی به کار رفته است. بنابراین محل تعریف مقاومت‌های R_{if} و R_{of} به صورت نشان داده شده صحیح می‌باشد.



شکل ۷-۱۳: مدار معادل ac مثال ۷-۱

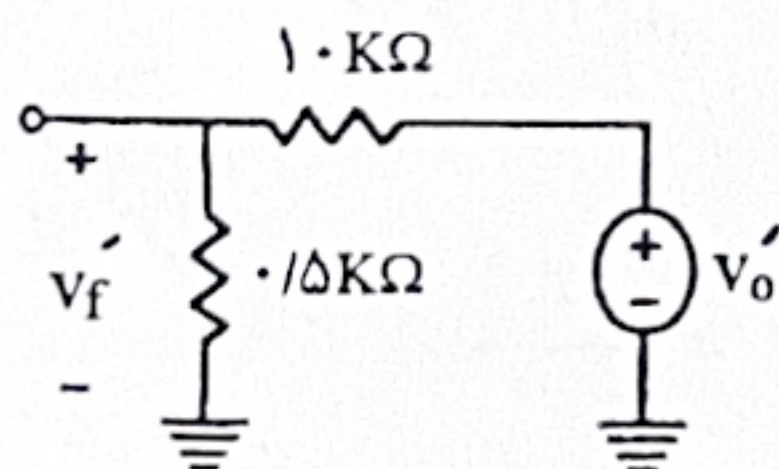
$$R_T = 1 \parallel 2.94 \parallel 6 = 0.664 \text{ K}\Omega$$

$$V_T = \frac{V_s}{1 + (6 \parallel 2.94)} (6 \parallel 2.94) = 0.664 V_s$$

در این مدار، مقاومت‌های ۱۰ و ۰.۵ کیلو اهم نقش شبکه فیدبک را به عهده دارند که با مدار خروجی موازی و با مدار ورودی سری شده‌اند. به این ترتیب از ولتاژ خروجی نمونه‌برداری شده و با ولتاژ ورودی جمع می‌شود. به عبارت دیگر فیدبک از نوع ولتاژ - سری است.

محاسبه بهره مدار فیدبک (β)

با توجه به مدار شکل ۷-۱۴، مقدار β برابر است با:



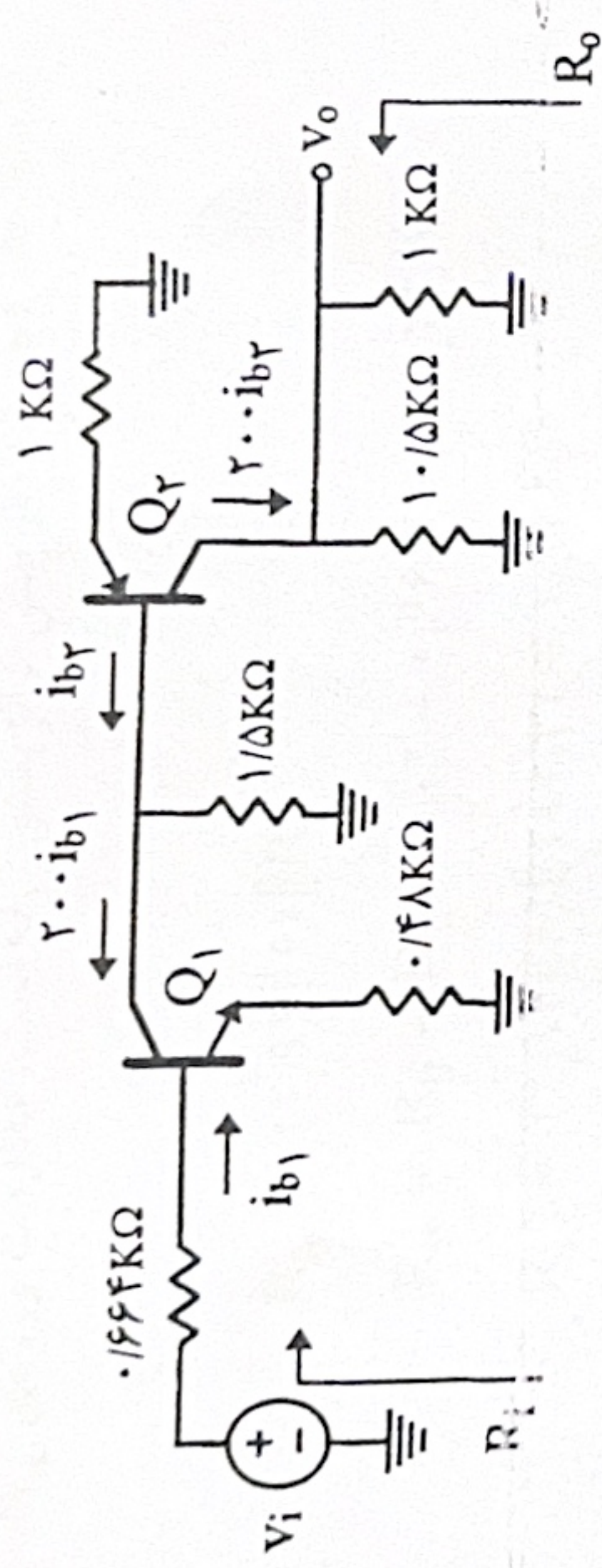
$$\beta = \frac{V_f'}{V_o'} = \frac{0.5}{10 + 0.5} = \frac{1}{21}$$

شکل ۷-۱۴: مدار محاسبه β

تعیین مدار A

با اتصال کوتاه کردن مدار فیدبک در طرف خروجی، مقاومت $10 \parallel 0.5 = 0.48 \text{ K}\Omega$ به صورت

سری با مدار ورودی قرار می‌گیرد و با اتصال باز کردن مدار فیدبک در طرف ورودی، مقاومت $10.5 K\Omega = (10 + 0.5)$ به صورت موازی در مدار خروجی قرار می‌گیرد. بنابراین مدار A به صورت شکل ۱۵-۷ خواهد بود.



شکل ۱۵-۷: مدار A مثال ۱-۷

مشخصات مدار A

$$R_i = 0.664 + h_{ie1} + (1 + h_{fe1})(0.48) = 99.14 K\Omega$$

$$R_o = 10.5 \parallel 1 = 0.91 K\Omega$$

$$V_o = (10.5 \parallel 1)(20 \cdot i_{b2}) = 182.61 i_{b2}$$

$$i_{b2} = (20 \cdot i_{b1}) \frac{1.5}{1.5 + [h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) \times 1]} = 1.47 i_{b1}$$

$$i_{b1} = \frac{V_i}{R_i} = \frac{V_i}{99.14}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \underbrace{(182.61)}_{V_o} \underbrace{(1.47)}_{i_{b2}} \underbrace{\left(\frac{1}{99.14}\right)}_{i_{b1}} = 2.71$$

محاسبات فیدبک

$$1 + \beta A_v = 1 + \frac{2.71}{1} = 1.13 \Rightarrow \beta = \frac{1}{2.1}$$

$$R_{if} = R_i (1 + \beta A_v) = 99.14 \times 1.13 = 112 K\Omega$$

$$R_{of} = R_o / (1 + \beta A_v) = \frac{0.91}{1.13} = 0.805 K\Omega$$

با توجه به مدار معادل ac تقویت کننده که با الگوی فیدبک ولتاژ - سری همخوان است، بهره ولتاژ

حلقه بسته A_{vf} به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_T} = \frac{A_v}{1 + \beta A_v} = \frac{2/7}{1/13} = 2/39$$

با توجه به اینکه R'_{if} مقاومت دیده شده از بیس ترانزیستور Q_1 است، مقاومت ورودی R_{in} چنین به دست می‌آید:

$$R_{in} = (2/94 \parallel 6) \parallel R'_{if}$$

$$R'_{if} = R_{if} - R_T = 112 - 0/664 = 111/34 \text{ K}\Omega$$

$$R_{in} = (2/94 \parallel 6) \parallel 111/34 = 1/94 \text{ K}\Omega$$

$$R_{out} = R_{of} = 805 \text{ } \Omega$$

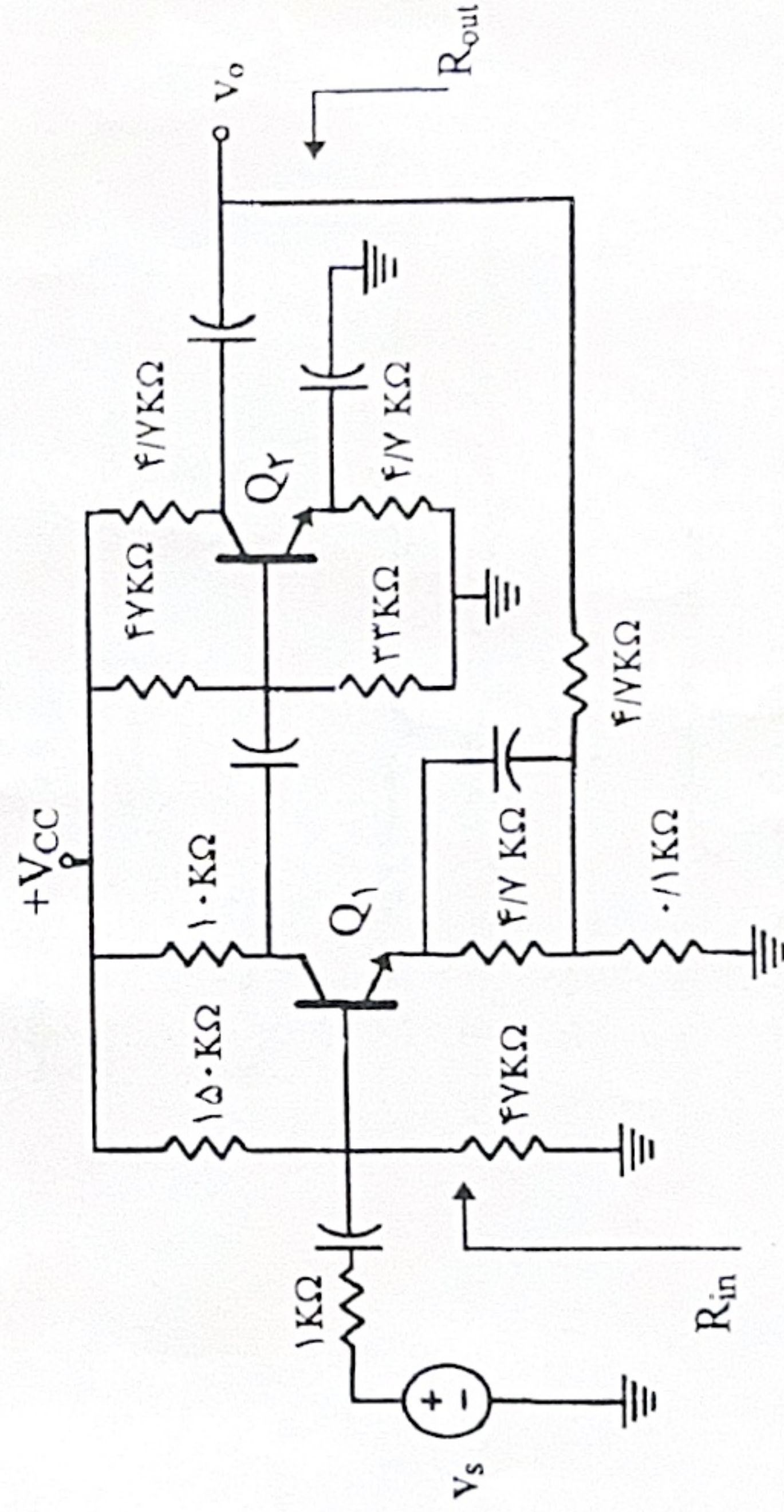
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{(V_T / 0/664)} = 0/664 A_{vf} = 1/59$$

مثال ۷-۲ در تقویت کننده ولتاژ نشان داده شده در شکل ۷-۱۶ ترانزیستورها مشابه بوده و دارای

$h_{fe} = 100$ و $h_{ie} = 1/1 \text{ K}\Omega$ می‌باشند.

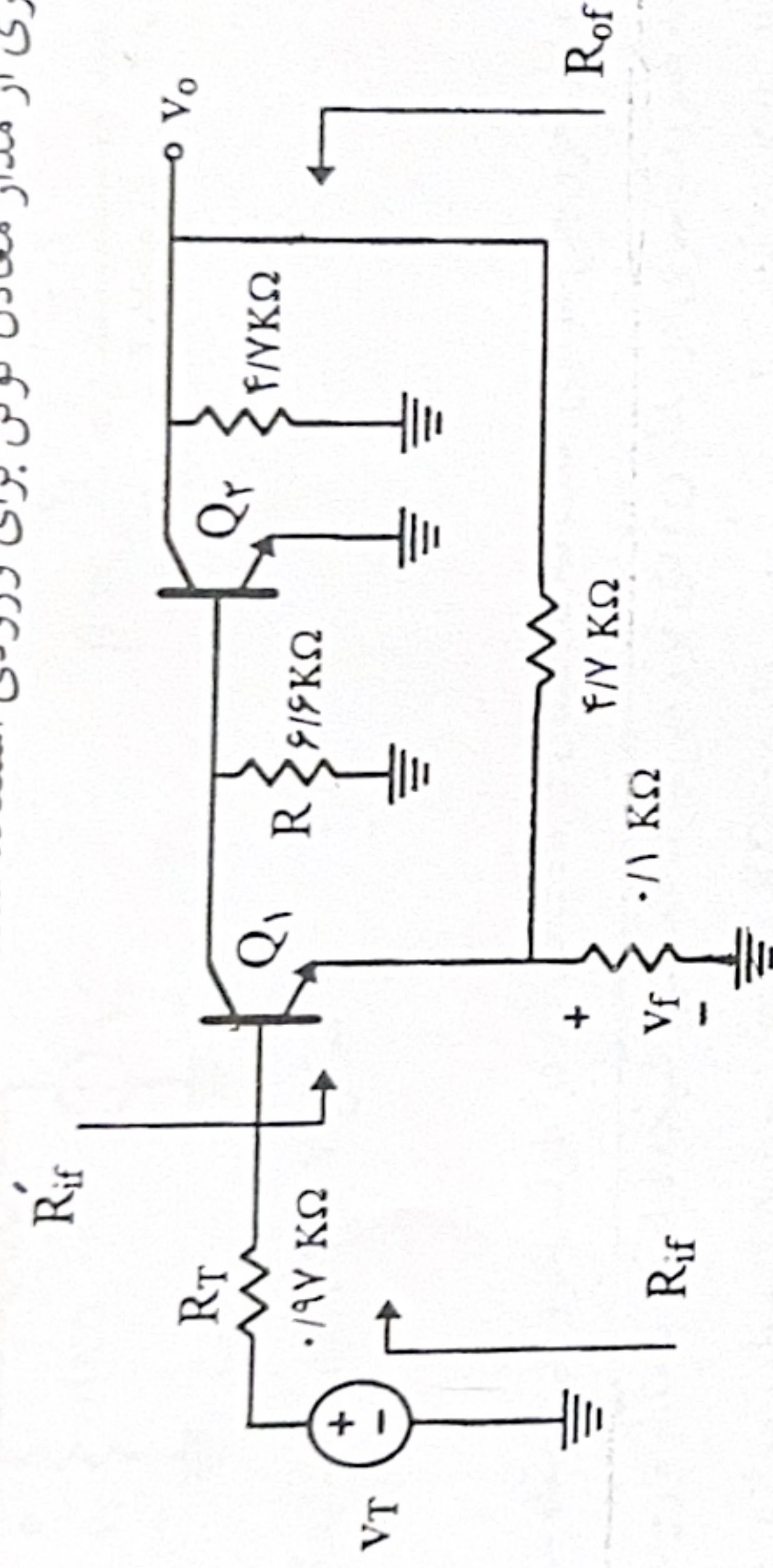
(الف) نوع فیدبک را تعیین و تحقیق کنید که فیدبک منفی است.

(ب) مقادیر R_{out} ، R_{in} و بهره ولتاژ V_o/V_s را محاسبه نمایید.



شکل ۷-۱۶: مدار مثال ۷-۲

حل:
الف) مدار معادل ac تقویت کننده به صورت شکل ۱۷-۷ می باشد که برای تطبیق با مدل فیدبک ولتاژ - سری از مدار معادل تونن برای ورودی استفاده شده است.



شکل ۱۷-۷: مدار معادل ac مثال ۲-۷

$$R = 10 \parallel 33 \parallel 47 = 6.6 \text{ K}\Omega, R_T = 1 \parallel 50 \parallel 47 = 0.97 \text{ K}\Omega$$

$$V_T = \left(\frac{V_s}{1 + 150 \parallel 47} \right) (150 \parallel 47) \approx 0.977 \text{ V}$$

در این تقویت کننده، مقاومت‌های 4.7 و 0.1 کیلو اهم شبکه فیدبک را تشکیل می دهند. شبکه فیدبک با مدار ورودی سری و با مدار خروجی موازی است؛ بنابراین از ولتاژ خروجی نمونه برداری کرده و با ولتاژ ورودی جمع می کند. لذا فیدبک از نوع ولتاژ - سری است و مقاومت‌های R_{if} و R_{of} به صورت نشان داده شده در شکل ۱۷-۷ تعریف می گردند. همچنین در اینجا بهره ولتاژ A_{vf} که در روابط فیدبک ولتاژ - سری به کار می رود برابر است با

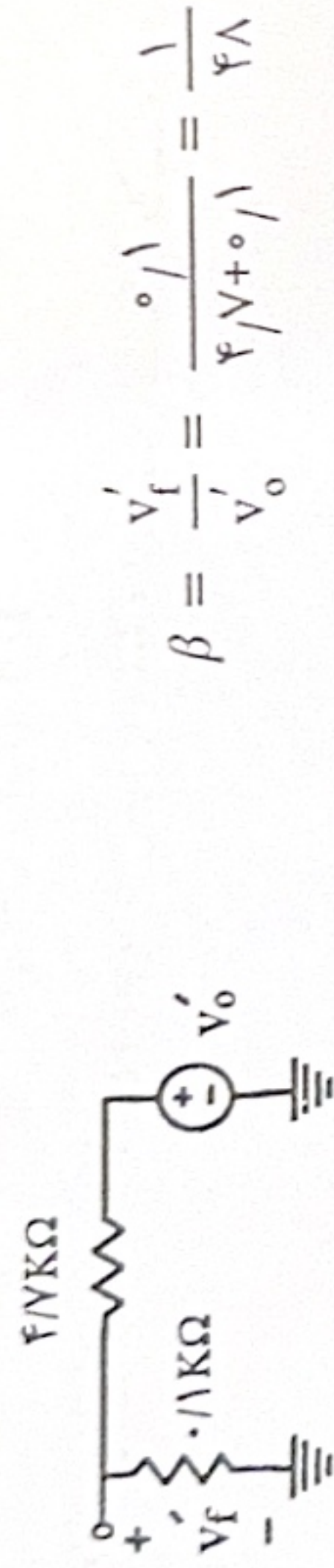
$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_T}$$

برای تحقیق اینکه فیدبک منفی است، باید تغییرات سیگنال‌های V_T و V_f بررسی گردد. با توجه به مدار معادل ac در صورت افزایش V_T روند زیر را می توان مشاهده نمود:

$$V_T \nearrow \Rightarrow I_{b1} \nearrow \Rightarrow V_{c1} = V_{b2} \Rightarrow I_{b2} \searrow \Rightarrow V_{c2} = V_o = V_{c2} \nearrow \Rightarrow V_f \nearrow$$

بنابراین فیدبک منفی خواهد بود. همچنین با توجه به تعریف V_f که در معادله KVL حلقه ورودی با فاز مخالف با V_T جمع می شود، برای منفی بودن فیدبک کافی است بهره حلقه باز یعنی βA مثبت باشد.

با استفاده از مدار شکل (۷-۱۸) و به کار بردن منبع آزمایش V_o' ، مقدار β برابر است با

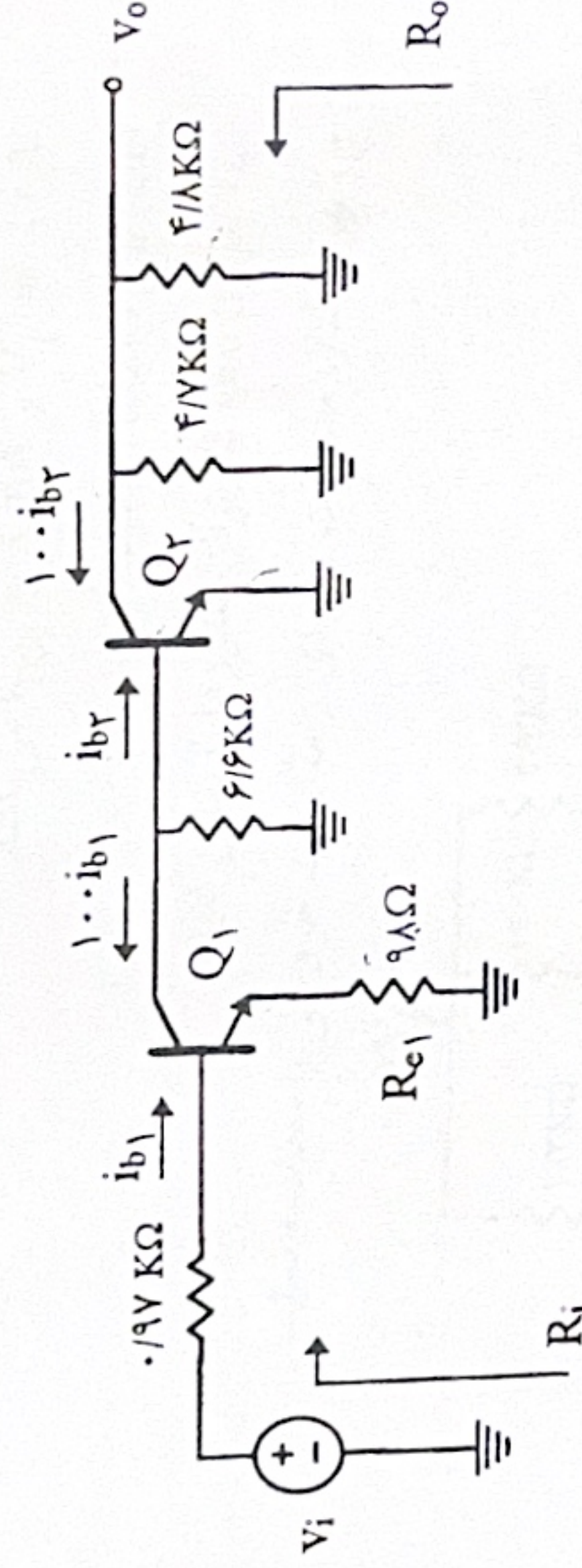


$$\beta = \frac{V_f'}{V_o'} = \frac{0.1}{4.7 + 0.1} = \frac{1}{48}$$

شکل ۷-۱۸: مدار محاسبه β

تعیین مدار A

شبکه فیدبک با مدار خروجی موازی است که با اتصال کوتاه کردن آن در طرف خروجی، مقاومت سری است که با اتصال باز کردن آن در طرف ورودی، مقاومت $4.7 + 0.1 = 4.8 \text{ K}\Omega$ به طور موازی در مدار خروجی قرار می‌گیرد. بنابراین مدار A به صورت شکل ۷-۱۹ است.



شکل ۷-۱۹: مدار A مثال ۷-۲

$$R_i = 0.97 + h_{ie1} + (1 + h_{fe}) R_{e1} = 11.97 \text{ K}\Omega$$

$$R_o = 4.7 \parallel 4.8 = 2.37 \text{ K}\Omega$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = (-100)(4.7 \parallel 4.8)(-100) \left(\frac{6.6}{6.6 + h_{ie2}} \right) \left(\frac{1}{R_i} \right) = 1697.1$$

محاسبات فیدبک

$$1 + \beta A_v = 1 + \left(\frac{1}{48} \right) (1697.1) = 36.36$$

$$R_{if} = R_i (1 + \beta A_v) = 435.23 \text{ K}\Omega$$

$$R_{of} = R_o / (1 + \beta A_v) = 65.2 \Omega$$

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_T} = A_v / (1 + \beta A_v) = 46,675$$

$$R'_{if} = R_{if} - R_T = 434,26 \text{ K}\Omega$$

با توجه به اینکه R'_{if} مقاومت دیده شده از بیس ترانزیستور Q_1 است، بنابراین مقاومت R_{in} برابر

است با

$$R_{in} = 150 \parallel 47 \parallel R'_{if} = 33,1 \text{ K}\Omega$$

$$R_{out} = R_{of} = 65 \Omega$$

$$A'_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{(V_T / 0,9V)} = 0,97 A_{vf} = 45,275$$

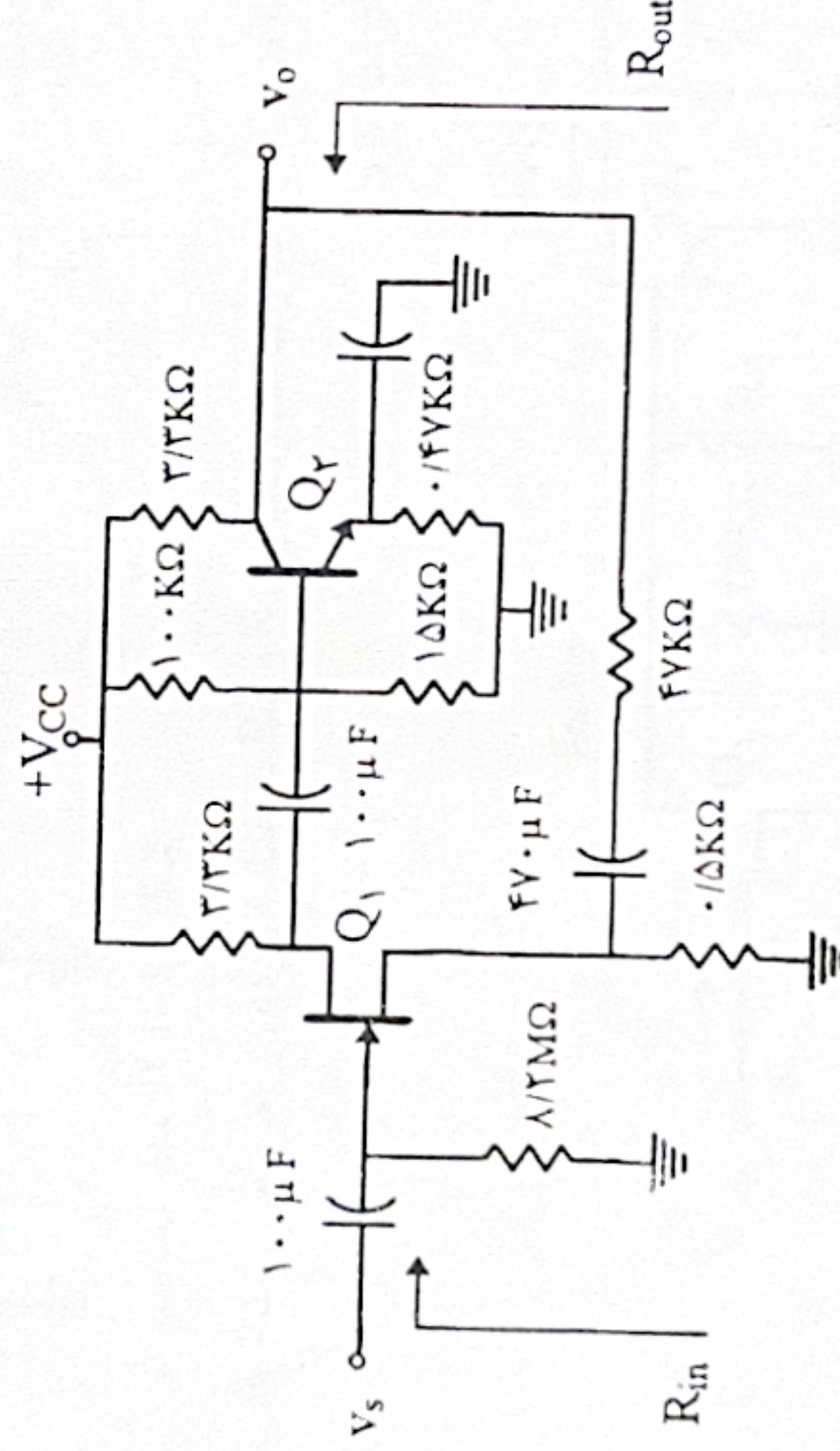
مثال ۳-۷ در تقویت کننده دو طبقه مدار شکل ۳-۷-۲۰ ترانزیستور Q_1 دارای $h_{fe} = 100$ و Q_2 دارای

$V_P = -2 \text{ V}$ و $I_{DSS} = 8 \text{ mA}$ می باشد.

الف) نوع فیدبک را تعیین کنید.

ب) جریان نقطه کار ترانزیستورها را تعیین کنید.

ج) بهره ولتاژ، مقاومت ورودی و مقاومت خروجی را محاسبه نمایید.



شکل ۳-۷-۲۰: مدار مثال ۳-۷

حل:

الف) فیدبک از نوع نمونه برداری ولتاژ و جمع با ولتاژ می باشد (ولتاژ - سری).

ب) در تحلیل DC خازنها اتصال باز خواهند بود. بنابراین برای JFET داریم

$$V_{GS} = -0.5 I_D, I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 8 \left(1 + \frac{V_{GS}}{2}\right)^2$$

$$\Rightarrow I_D = 2 \text{ mA}, V_{GS} = -1 \text{ V}$$

$$g_m = \frac{2}{|V_P|} \sqrt{I_D I_{DSS}} = 4 \text{ mA/V}$$

جریان نقطه کار ترانزیستور Q_2 به صورت زیر به دست می‌آید:

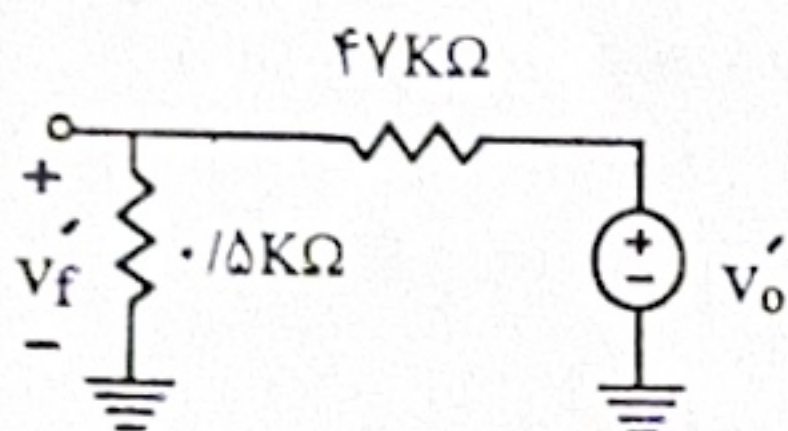
$$V_{BB} = \frac{15}{100+15} \times 15 = 1.96 \text{ V}$$

$$R_B = 100 \parallel 15 = 13.75 \text{ K}\Omega$$

$$V_{BB} = R_B \frac{I_E}{1 + h_{fe}} + V_{BE} + 0.4 V I_E \Rightarrow I_E = 2.1 \text{ mA}$$

$$h_{ie} = h_{fe} \frac{V_T}{I_E} = 1.19 \text{ K}\Omega$$

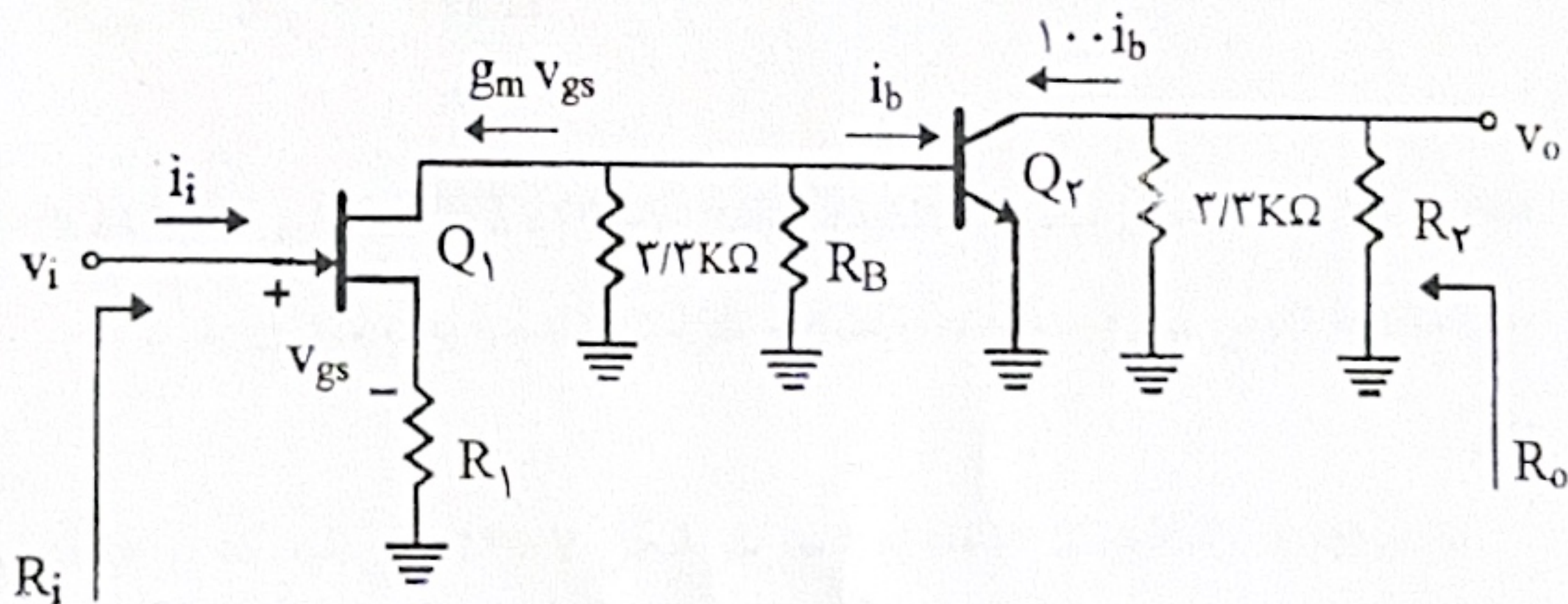
ج) ضریب انتقال شبکه فیدبک با توجه به شکل ۷-۲۱ برابر است با



$$\beta = \frac{v_f'}{v_o'} = \frac{0.5}{0.5 + 47} = \frac{1}{95}$$

شکل ۷-۲۱: مدار محاسبه β

با در نظر گرفتن اثر شبکه فیدبک به صورت مقاومتهای R_1 و R_2 در مدار ورودی و خروجی، مدار A به صورت شکل ۷-۲۲ خواهد بود.



شکل ۷-۲۲: مدار A مثال ۷-۳

$$R_1 = 0.5 \parallel 47 = 495 \Omega, \quad R_2 = 0.5 + 47 = 47.5 \text{ K}\Omega$$

در این مدار با توجه به اینکه $i_i = 0$ است، مقاومت ورودی بی نهایت خواهد بود.

$$R_i = \infty, \quad R_o = 3.3 \parallel R_2 = 3.3 \parallel 47.5 = 3.1 \text{ K}\Omega$$

$$v_o = (-100 \cdot i_b)(3.3 \parallel 47.5) = -308.6 i_b$$

$$i_b = (-g_m v_{gs}) \frac{3.3 \parallel R_B}{3.3 \parallel R_B + h_{ie}} = -2.76 v_{gs}$$

از معادله KVL در حلقه ورودی، v_{gs} بر حسب v_i به صورت زیر به دست می آید:

$$v_i = v_{gs} + (g_m v_{gs}) R_1 = 2.98 v_{gs}$$

$$\Rightarrow v_o = (-308.6)(-2.76) \left(\frac{v_i}{2.98} \right) = 285.82 v_i$$

$$\Rightarrow A_v = v_o / v_i = 285.82$$

محاسبات فیدبک

$$1 + \beta A_v = 1 + (1/95)(285.82) \approx 4$$

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

$$R_{of} = R_o / (1 + \beta A_v) = 3.1 / 4 = 0.775 \text{ K}\Omega$$

$$A_{vf} = v_o / v_s = A_v / (1 + \beta A_v) = 71.455$$

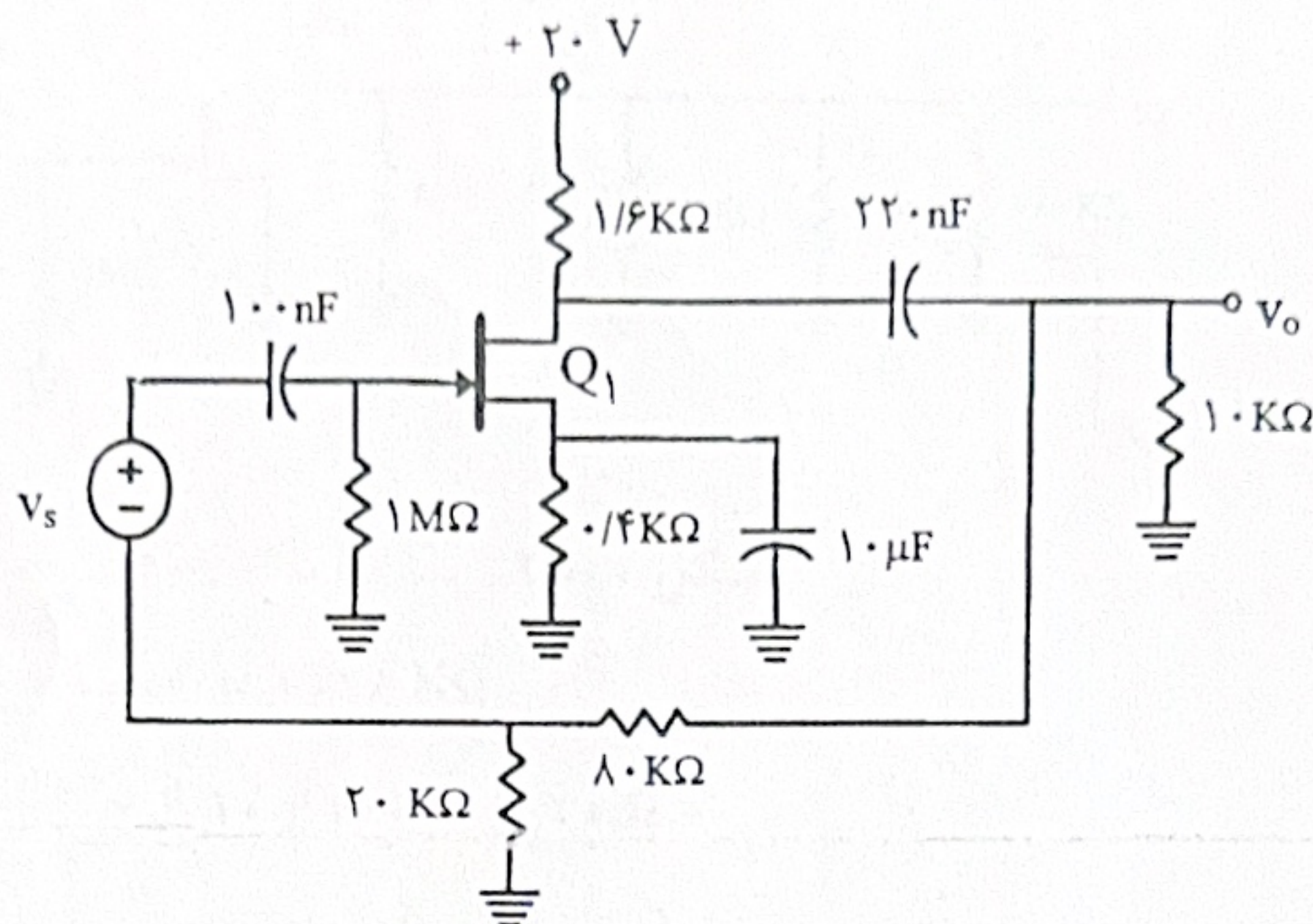
$$R_{in} = 8.2 \parallel R_{if} = 8.2 \text{ M}\Omega$$

$$R_{out} = R_{of} = 775 \Omega$$

■

مثال ۷-۴ در مدار تقویت کننده شکل ۷-۲۳، JFET دارای $g_m = 4 \text{ mA/V}$ و $r_d = 10 \text{ K}\Omega$ می باشد. با تعیین نوع فیدبک مشخصات تقویت کننده را به دست آورید.
حل:

مدار معادل ac تقویت کننده به صورت شکل ۷-۲۴ می باشد که با توجه به آن فیدبک از نوع ولتاژ - سری است.

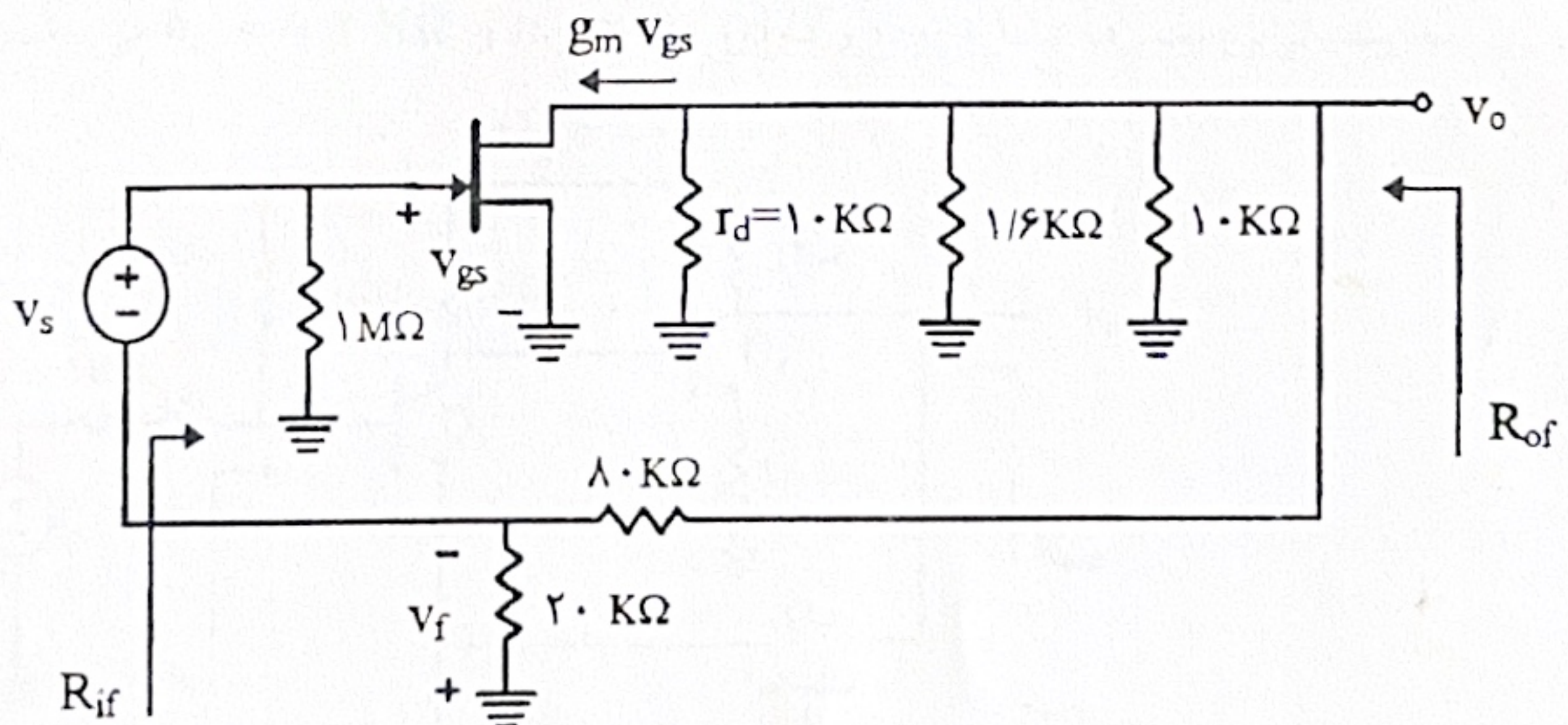


شکل ۷-۲۳: مدار مثال ۷-۴

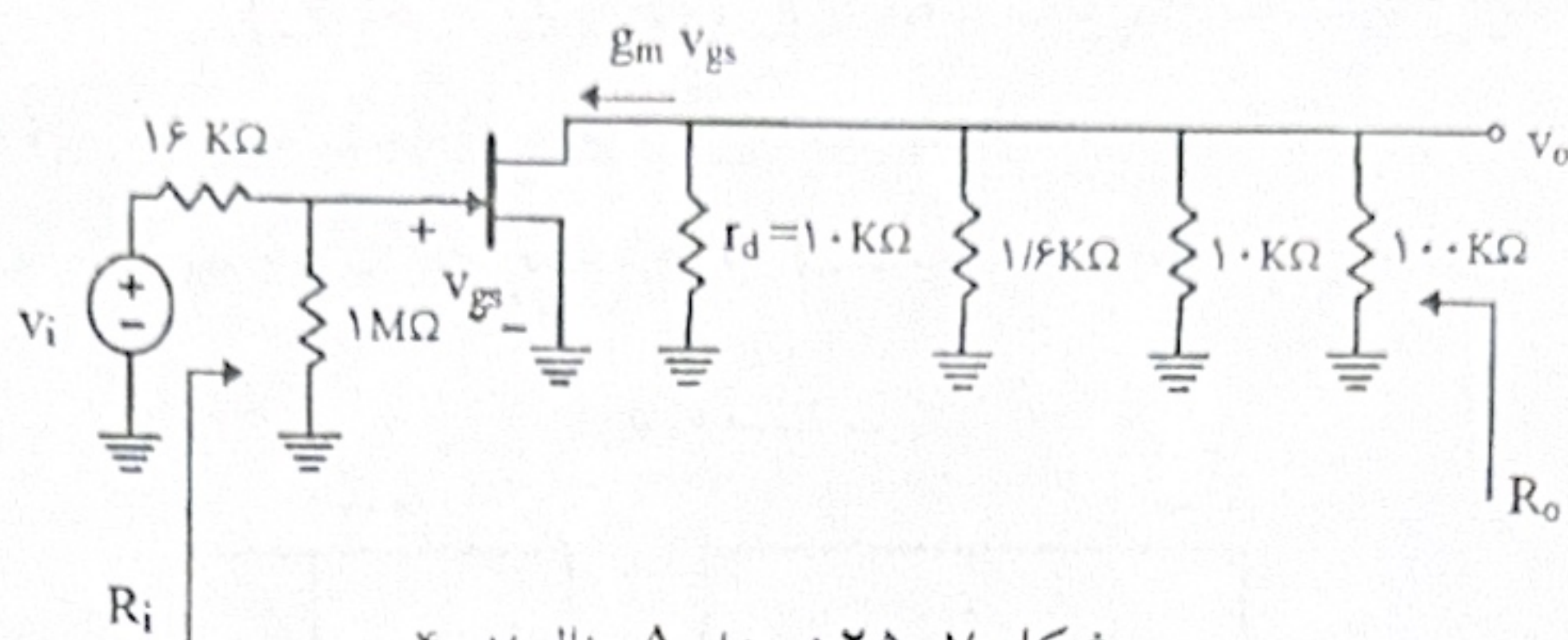
مقدار β با توجه به شبکه فیدبک برابر است با

$$\beta = \frac{v_f'}{v_o} = \frac{-20}{20 + 80} = -\frac{1}{5}$$

با اتصال کوتاه کردن شبکه فیدبک در طرف خروجی، مقاومت $20 \parallel 80 = 16\text{ K}\Omega$ به صورت سری در ورودی قرار می‌گیرد. همچنین با اتصال باز کردن شبکه فیدبک در طرف ورودی، مقاومت $20 + 80 = 100\text{ K}\Omega$ به صورت موازی در خروجی قرار می‌گیرد. بنابراین مدار A به صورت شکل ۷-۲۵ خواهد بود.



شکل ۷-۲۴: مدار معادل ac مثال ۷-۴



شکل ۷-۲۵: مدار A مثال ۷-۴

$$R_i = 16 + 1000 = 1016\text{ K}\Omega$$

$$R_o = 10 \parallel 1/6 \parallel 10 \parallel 100 = 1/2\text{ K}\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = (-g_m)(R_o) \left(\frac{1000}{1000+16} \right) = -4/72$$

محاسبات فیدبک

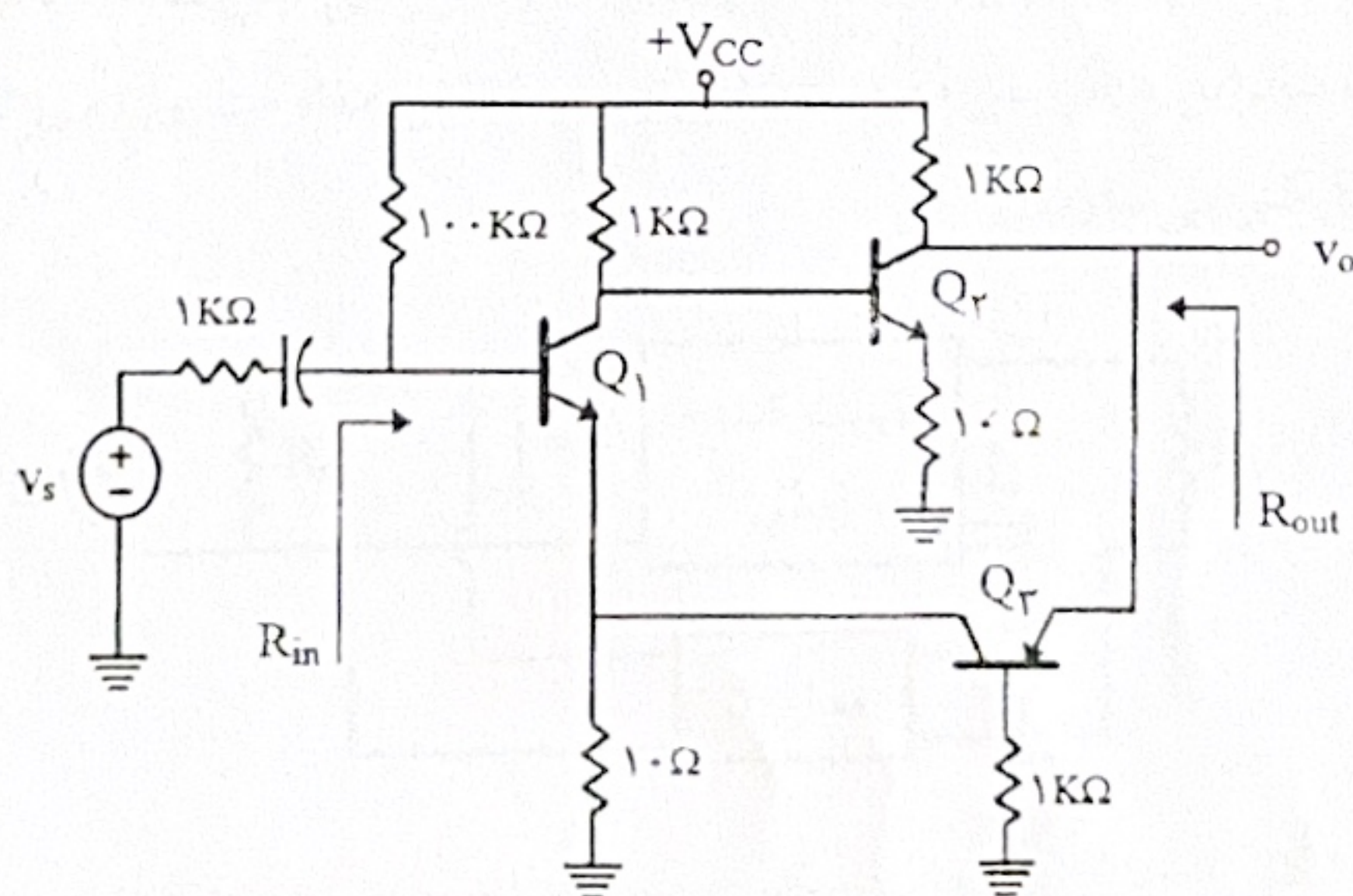
$$1 + \beta A_v = 1 + (-1/5)(-4/72) = 1/94$$

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_s} = A_v / (1 + \beta A_v) = -2/43$$

$$R_{if} = R_i (1 + \beta A_v) = 1/94\text{ M}\Omega$$

$$R_{of} = R_o / (1 + \beta A_v) = 618\text{ }\Omega$$

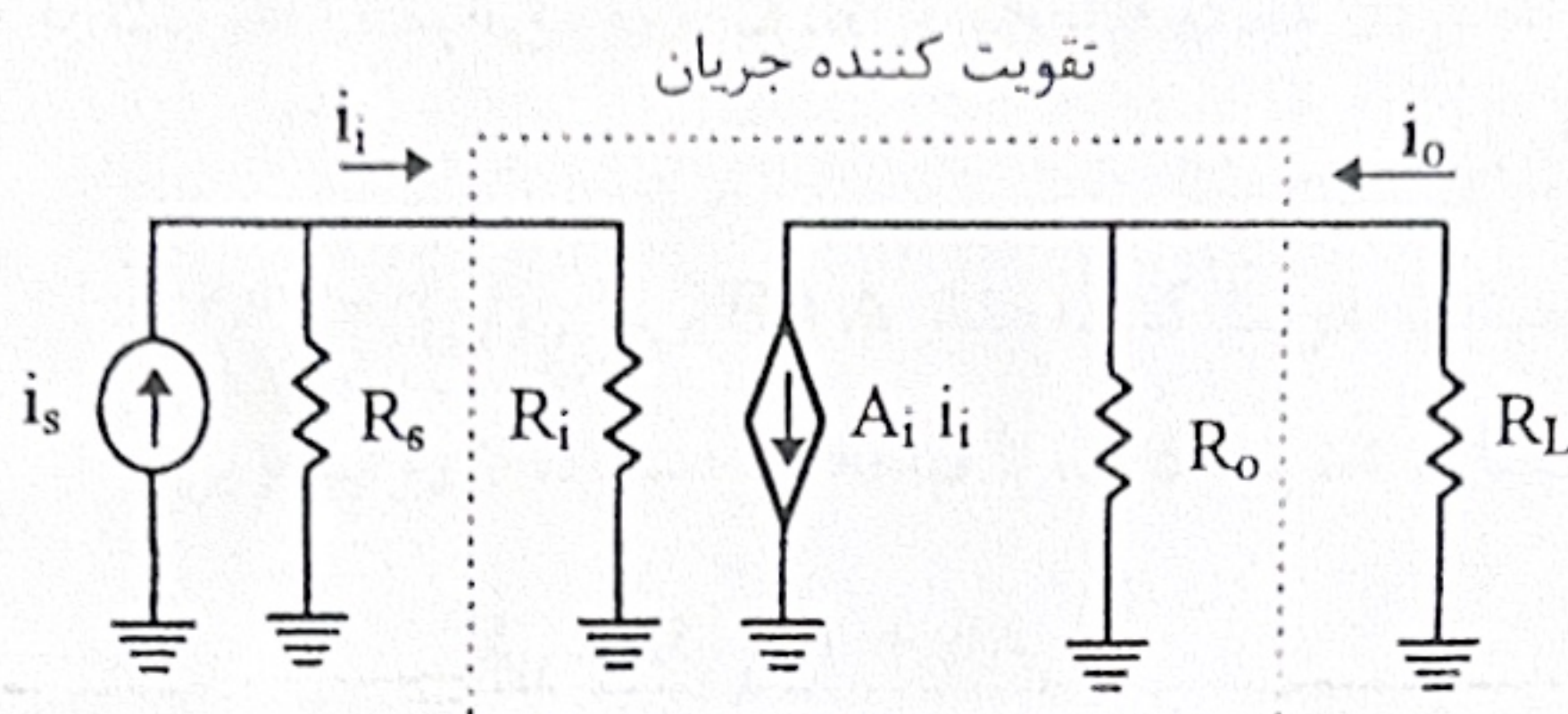
مثال ۷-۵ در مدار تقویت کننده شکل ۷-۲۶، بهره ولتاژ و مقاومتهای ورودی و خروجی را محاسبه نمایید. ترانزیستورها مشابه بوده و دارای $h_{fe} = 40$ و $h_{ie} = 0/4\text{ K}\Omega$ می باشند.



شکل ۷-۲۶: مدار مثال ۷-۵

۴-۷ تحلیل فیدبک جریان - موازی (موازی - سری)

مدل یک تقویت کننده جریان بامقاومت ورودی R_i ، مقاومت خروجی R_o و بهره جریان A_i در شکل ۳۴-۷ نمایش داده شده است. سیگنال ورودی، منبع جریان i_s و سیگنال خروجی، جریان بار i_o می باشد.



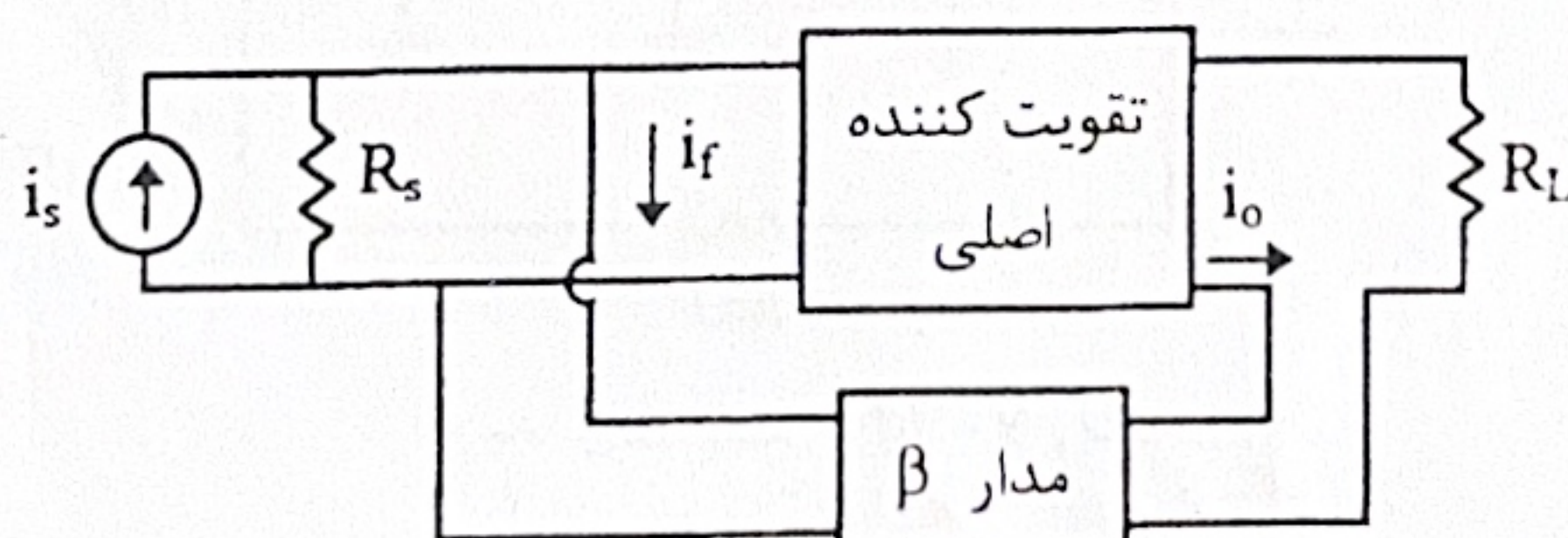
شکل ۳۴-۷: مدل تقویت کننده جریان

برای اینکه بارگذاری منبع سیگنال ورودی و مقاومت بار R_L در بهره جریان بی تأثیر باشد، یا به عبارت دیگر تقویت کننده جریان، ایده آل باشد، باید شرایط زیر برقرار باشند:

$$R_i = 0 \Rightarrow i_i = i_s$$

$$R_o = \infty \Rightarrow i_o = A_i i_i = A_i i_s \Rightarrow \frac{i_o}{i_s} = A_i$$

مدار شکل ۳۵-۷ ساختار فیدبک جریان - موازی برای تقویت کننده جریان را نشان می دهد که در آن شبکه فیدبک به صورت سری با مدار خروجی و به صورت موازی با مدار ورودی قرار گرفته است. به این ترتیب سیگنال فیدبک یعنی جریان i_f متناسب با سیگنال جریان خروجی ایجاد و از سیگنال جریان ورودی کاسته می شود. چون شبکه فیدبک با مدار خروجی تقویت کننده سری و با مدار ورودی آن موازی است، بنابراین با افزایش مقاومت خروجی و کاهش مقاومت ورودی تقویت کننده، آن را به حالت ایده آل نزدیکتر می سازد.



شکل ۳۵-۷: ساختار فیدبک جریان - موازی برای تقویت کننده های جریان

۲. به دست آوردن مدار A با در نظر گرفتن اثر مدار فیدبک در ورودی و خروجی تقویت کننده
- با اتصال باز کردن شبکه فیدبک در طرف خروجی، یک مقاومت به صورت موازی در مدار ورودی قرار می گیرد.
 - با اتصال کوتاه کردن شبکه فیدبک در طرف ورودی، یک مقاومت به صورت سری در مدار خروجی قرار می گیرد.

۳. محاسبه مشخصات تقویت کننده مدار A ($A_i = i_o/i_i$, R_o , R_i)

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

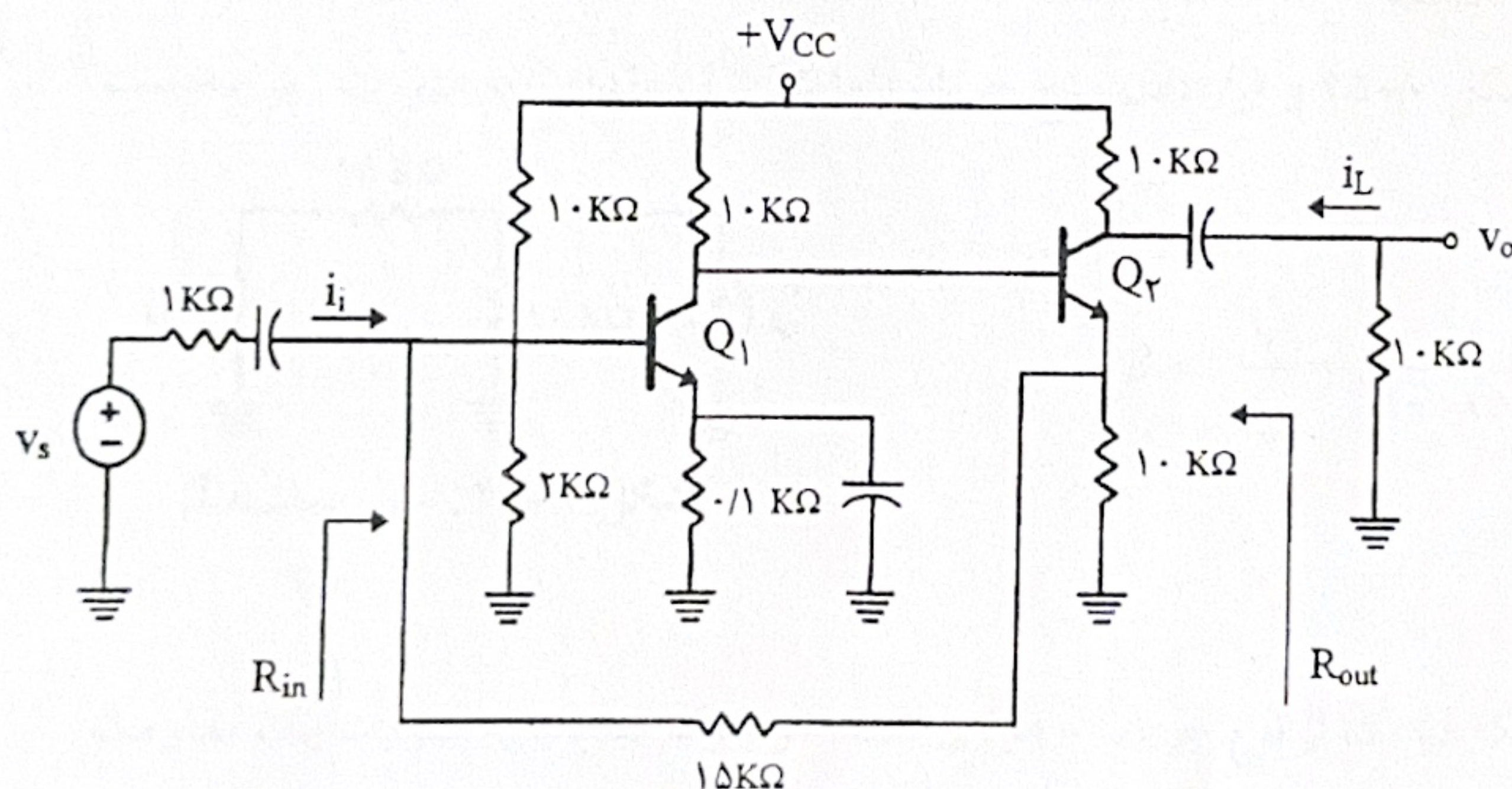
$$R_{if} = R_i / (1 + \beta A_i)$$

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

$$A_{if} = A_i / (1 + \beta A_i)$$

جهت استفاده از روابط فوق لازم است که به نحوه و محل صحیح تعریف مقاومت های R_{if} و R_{of} دقیقاً توجه گردد.

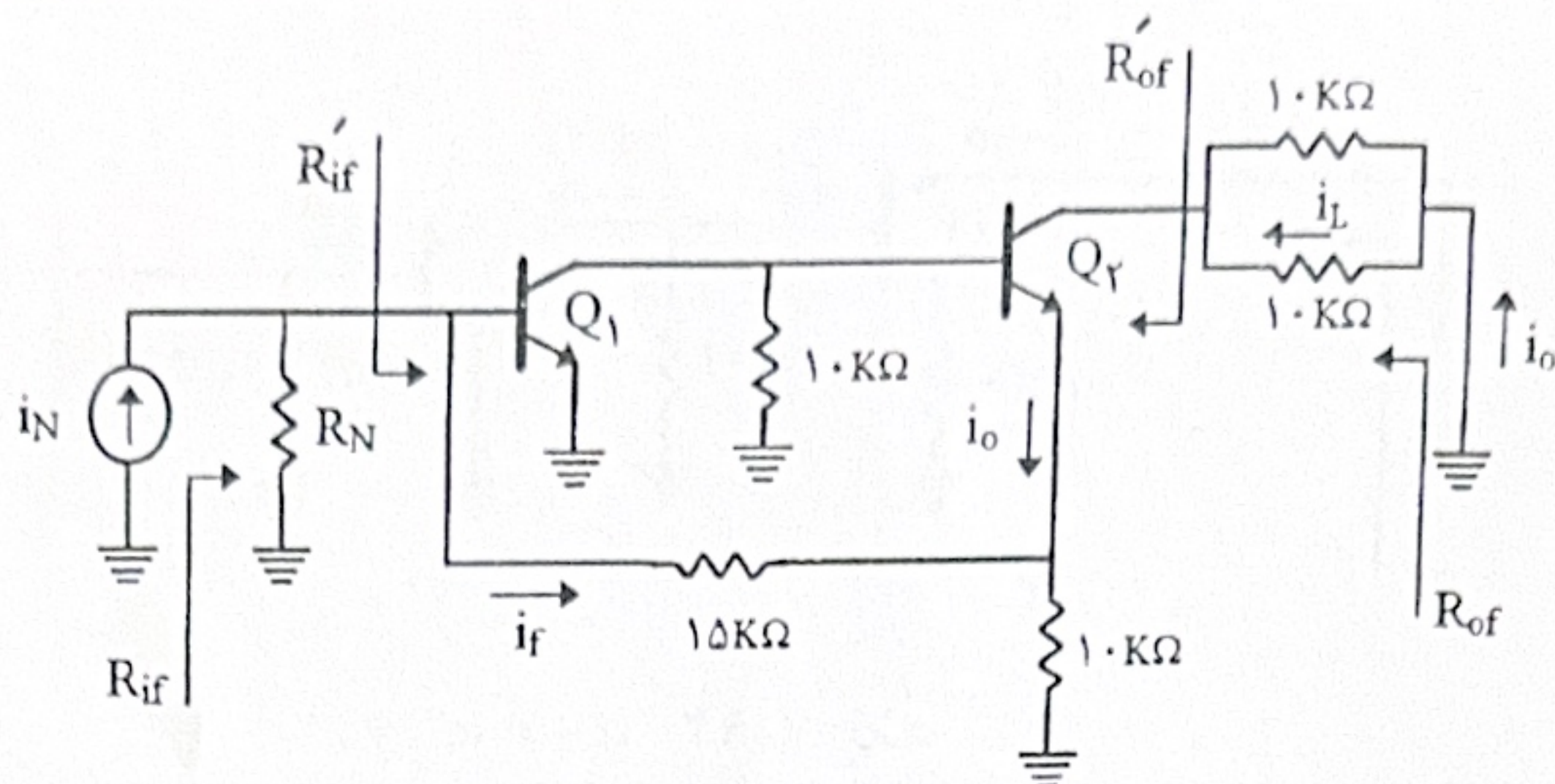
مثال ۷-۶ در مدار تقویت کننده شکل ۷-۴۳ ترانزیستورها مشابه بوده و دارای $h_{fe} = 100$ و $h_{ie} = 1 \text{ K}\Omega$ هستند. مقادیر R_{in} ، R_{out} ، v_o/v_s و i_L/i_i را بیابید.



شکل ۷-۴۳: مدار مثال ۷-۶

حل:

مدار معادل ac تقویت کننده به صورت شکل ۷-۴۴ است که برای تطبیق با مدل فیدبک



شکل ۷-۴۴: مدار معادل ac مثال ۷-۶

جریان - موازی از معادل نرتن مدار ورودی استفاده شده است. در این مدار نحوه صحیح تعریف مقاومت‌های R_{if} و R_{of} نشان داده شده است.

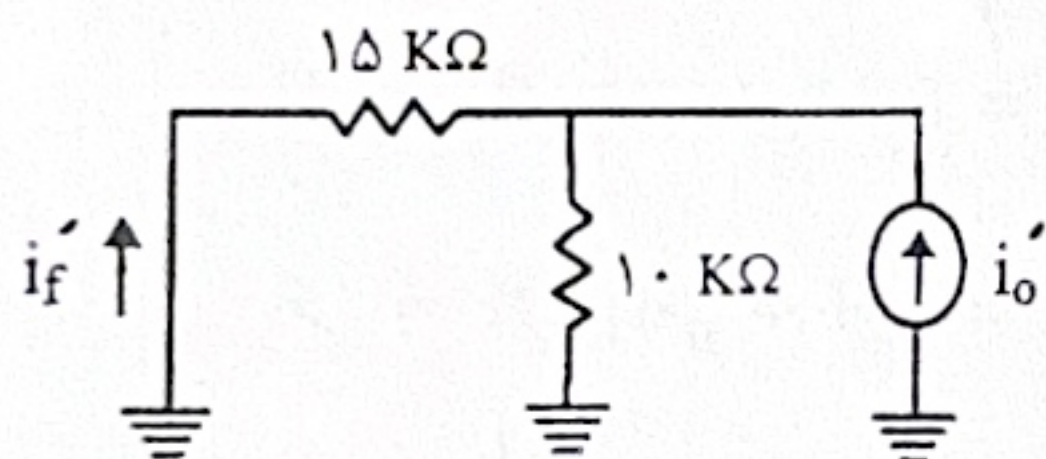
$$R_N = 1 \parallel 10 \parallel 2 = 625 \Omega$$

$$i_N = v_s / R_s = v_s$$

مدار فیدبک شامل مقاومت‌های $10 \text{ K}\Omega$ و $15 \text{ K}\Omega$ است که با سری شدن در مدار خروجی از جریان i_o نمونه‌برداری کرده و جریان i_f را از جریان ورودی کم می‌کند.

محاسبه بهره مدار فیدبک

با استفاده از شکل ۷-۴۵ و قرار دادن منبع جریان آزمایشی i_o' ، مقدار β به صورت زیر به دست می‌آید:

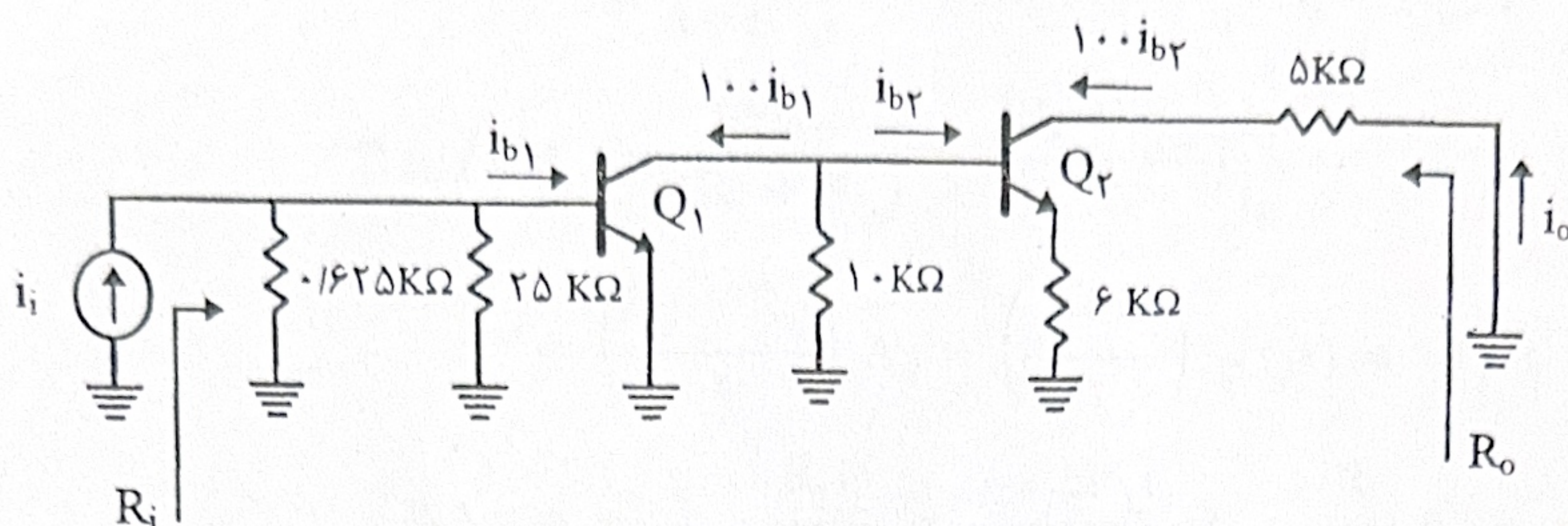


$$\beta = \frac{i_f'}{i_o'} = \frac{-10}{10+15} = -0.4$$

شکل ۷-۴۵: مدار محاسبه β

تعیین مدار A

با توجه به اینکه فیدبک از نوع جریان - موازی است، اثر شبکه فیدبک به صورت یک مقاومت موازی در ورودی و یک مقاومت سری در خروجی ظاهر خواهد شد. شبکه فیدبک به صورت سری در مدار خروجی قرار دارد که با اتصال باز کردن آن، مقاومت $10 + 15 = 25 \text{ K}\Omega$ به صورت موازی در مدار ورودی قرار خواهد گرفت. همچنین شبکه فیدبک به صورت موازی با مدار ورودی قرار دارد که با اتصال کوتاه کردن آن، مقاومت $10 \parallel 15 = 6 \text{ K}\Omega$ به صورت سری در مدار خروجی قرار می‌گیرد.



شکل ۴۶-۷: مدار A مثال ۶-۷

بنابراین مدار تقویت کننده اصلی را می توان به صورت مدار شکل ۴۶-۷ در نظر گرفت.

$$R_i = 0.625 \parallel 25 \parallel h_{ie1} = 379 \Omega, \quad R_o = \infty$$

$$i_o = 100 i_{b2} = 100 \left[(-100 i_{b1}) \frac{10}{10 + h_{ie2} + (1 + h_{fe}) \times 6} \right] = -162.1 i_{b1}$$

$$i_{b1} = i_i \frac{0.625 \parallel 25}{0.625 \parallel 25 + h_{ie1}} = 0.38 i_i$$

$$\Rightarrow A_i = \frac{i_o}{i_i} = (-162.1) (0.38) = -61.60$$

محاسبات فیدبک

$$1 + \beta A_i = 1 + (-0.4) (-61.60) = 25.64$$

$$R_{if} = R_i / (1 + \beta A_i) = 14.78 \Omega$$

$$R_{if} = R_N \parallel R'_{if} \Rightarrow R'_{if} = 15.14 \Omega$$

$$A_{if} = \frac{i_o}{i_N} = A_i / (1 + \beta A_i) = -2.4$$

$$R_{of} = R_o (1 + \beta A_i) = \infty, \quad R'_{of} = R_{of} - 5 = \infty$$

R'_{if} مقاومت دیده شده از بیس ترانزیستور Q_1 می باشد. بنابراین مقاومت ورودی R_{in} برابر است با

$$R_{in} = 10 \parallel 2 \parallel R'_{if} = 15 \Omega$$

R_{out} مقاومت دیده شده بعد از مقاومت بار R_L است. بنابراین

$$R_{out} = 10 \parallel R'_{of} = 10 K\Omega$$

برای محاسبه بهره جریان و ولتاژ داریم

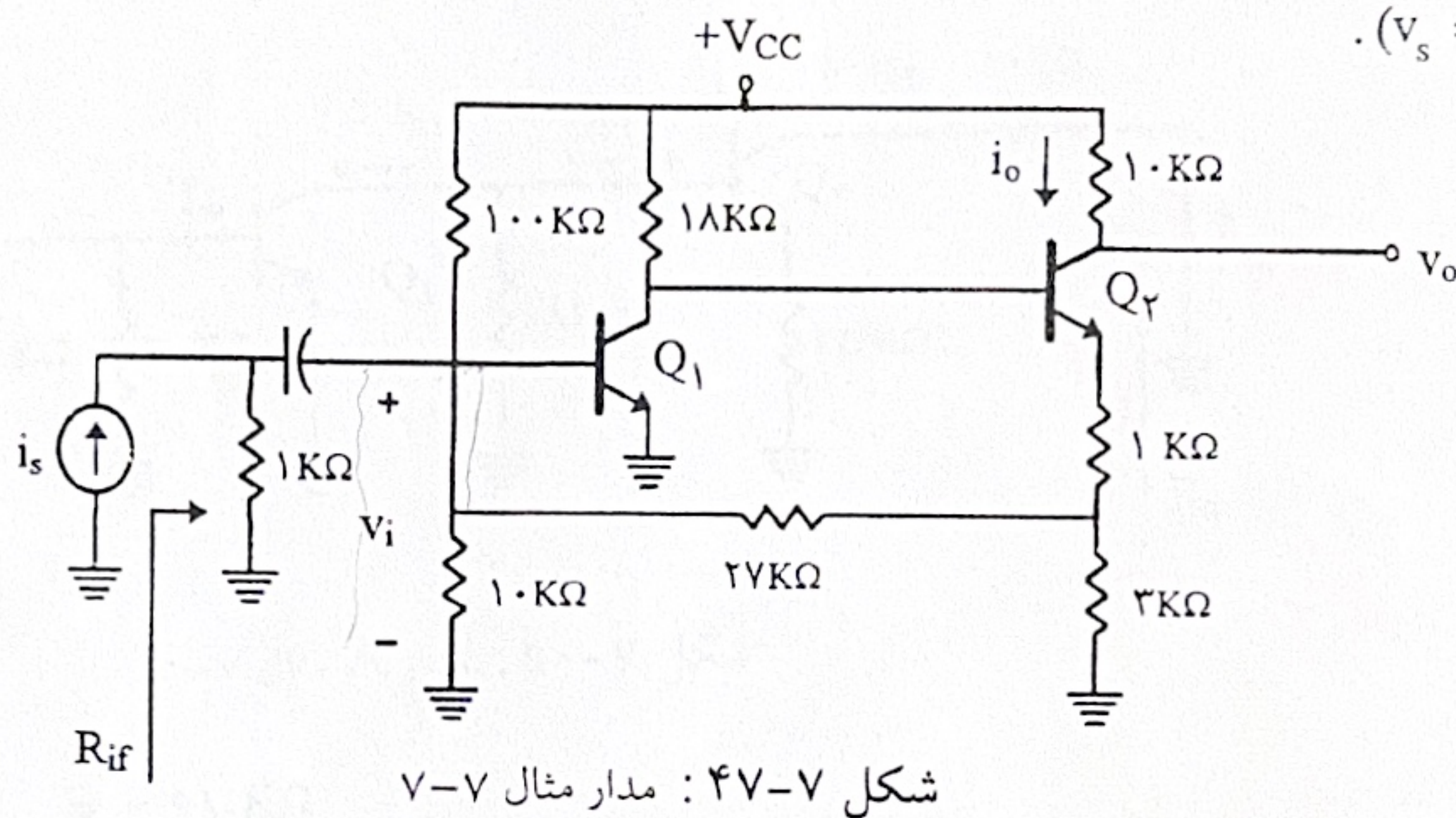
$$i_L = i_o \frac{10}{10 + 10} = 0.5 i_o, \quad i_i = v_s / (R_s + R_{in}), \quad v_s = 1 \times i_N$$

$$\Rightarrow i_L / i_i = \frac{0.5 i_o}{i_N / (R_s + R_{in})} = \left(\frac{R_s + R_{in}}{2} \right) \frac{i_o}{i_N}$$

$$= \left(\frac{R_s + R_{in}}{2} \right) A_{if} = \left(\frac{10 + 10}{2} \right) (-2/4) = -1/2$$

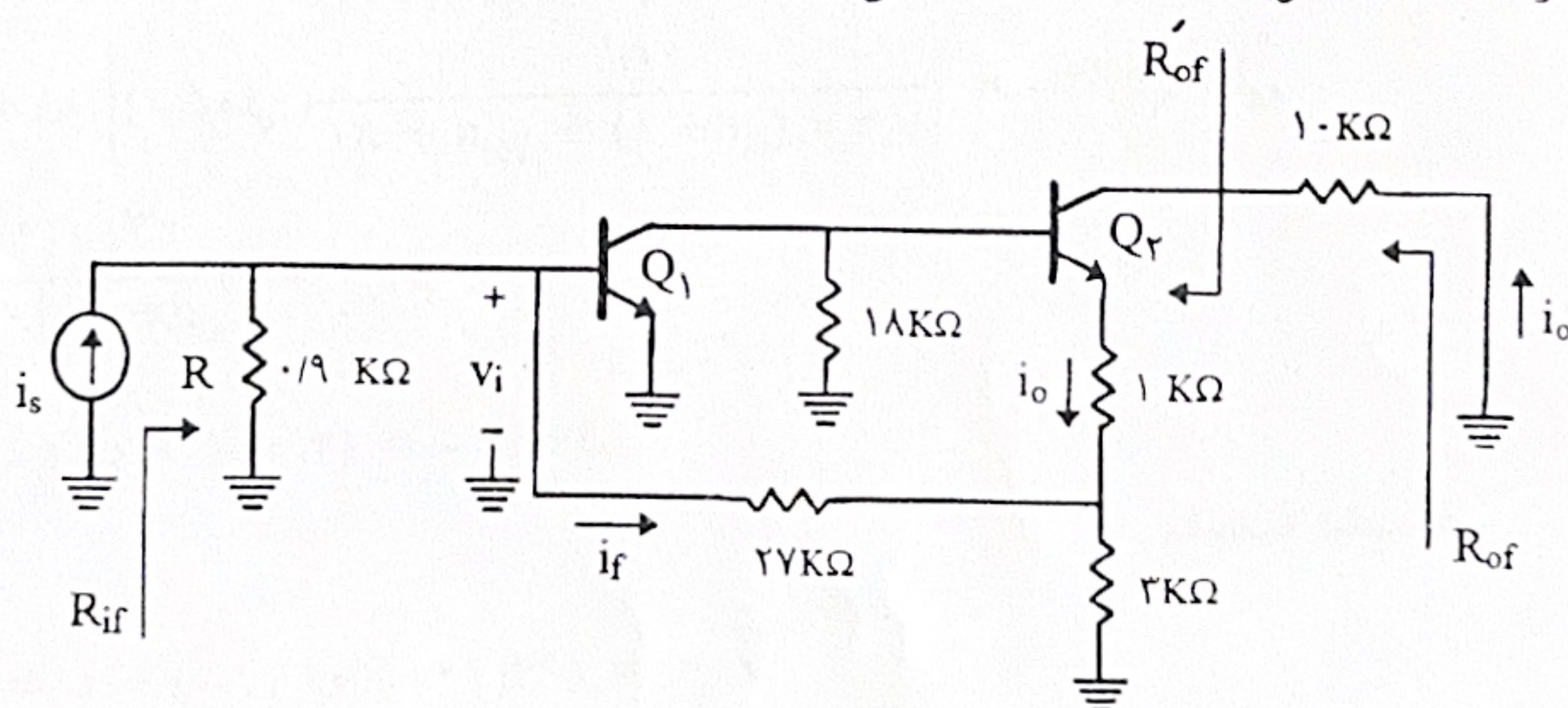
$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{-R_L i_L}{1 \times i_N} = \frac{-0.5 R_L i_o}{i_N} = - \frac{R_L}{2} A_{if} = 12$$

مثال ۷-۷ برای تقویت‌کننده با فیدبک شکل ۷-۴۷ مقادیر R_{of} ، R_{if} ، $A_{if} = i_o / i_i$ ، $A_{vf} = v_o / v_s$ و $h_{ie} = 2 \text{ K}\Omega$ و $h_{fe} = 50$ را محاسبه نمایید. ترانزیستورها مشابه و دارای $h_{fe} = 50$ هستند. $(v_s = R_s i_s)$



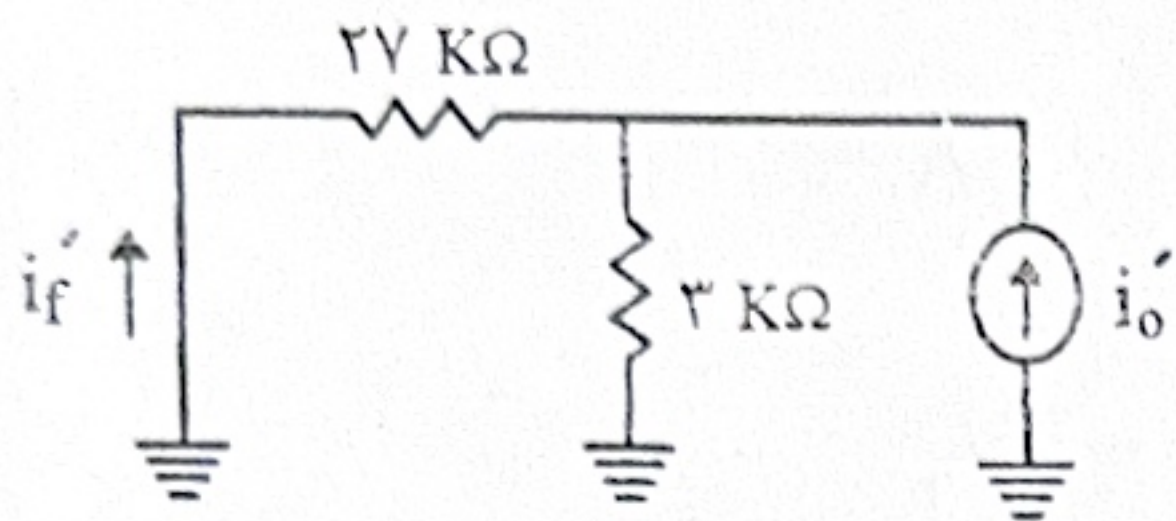
حل:

مدار معادل ac تقویت‌کننده مطابق شکل ۷-۴۸ است.



$$R = R_s \parallel 100 \parallel 10 = 0.90 \text{ K}\Omega$$

فیدبک از نوع جریان - موازی است و شبکه فیدبک برای محاسبه β در شکل ۴۹-۷ نشان داده شده است.

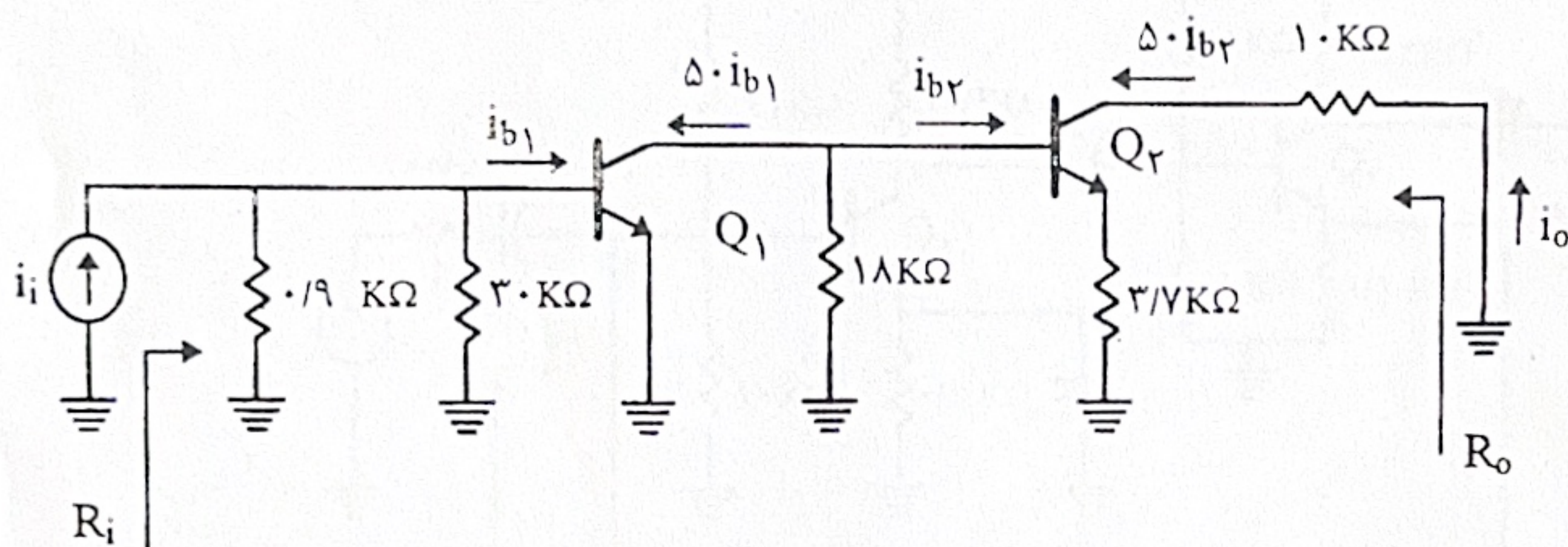


$$\beta = \frac{i_f'}{i_o'} = \frac{-3}{3+27} = \frac{-1}{10}$$

شکل ۴۹-۷: مدار محاسبه β

تعیین مدار A

اثر مدار فیدبک در ورودی مقاومت $27+3=30 \text{ K}\Omega$ به طور موازی و در خروجی مقاومت $27 \parallel 3 = 2.7 \text{ K}\Omega$ به طور سری می باشد. مدار A در شکل ۵۰-۷ رسم شده است.



شکل ۵۰-۷: مدار A مثال ۷-۷

$$R_i = 0.9 \parallel 30 \parallel h_{ie1} = 0.61 \text{ K}\Omega$$

$$R_o = \infty$$

$$i_o = 50 i_{b2} = 50 \left[(-50 i_{b1}) \frac{18}{18 + h_{ie2} + (1 + h_{fe}) \times 3.7} \right] = -215.62 i_{b1}$$

$$i_{b1} = (i_i) \frac{0.9 \parallel 30}{0.9 \parallel 30 + h_{ie1}} = 0.3 i_i$$

$$\Rightarrow A_i = \frac{i_o}{i_i} = (-215.62) (0.3) = -64.69$$

محاسبات فیدبک

$$1 + \beta A_i = 1 + (-1/10)(-64.69) = 7.47$$

$$R_{if} = R_i / (1 + \beta A_i) = 81.7 \Omega$$

$$R_{of} = R_o (1 + \beta A_i) = \infty, \quad R'_{of} = R_{of} - 10 = \infty$$

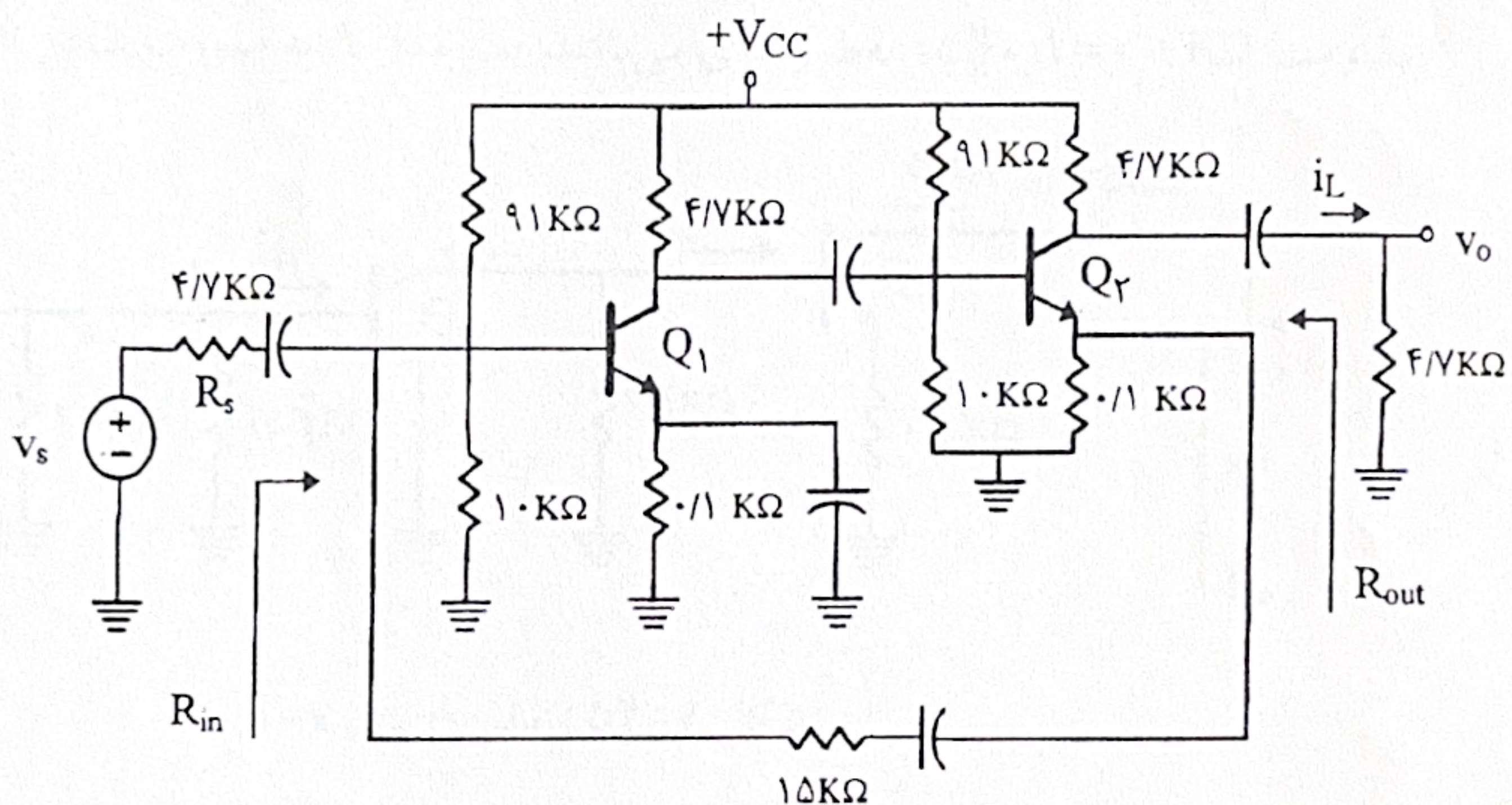
$$A_{if} = \frac{i_o}{i_s} = A_i / (1 + \beta A_i) = -166$$

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{-10 i_o}{R_s i_s} = -10 A_{if} = 1666$$

$$A'_{vf} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-10 i_o}{R_{if} i_s} = \frac{-10}{0.0081 V} A_{if} = 1060$$

■

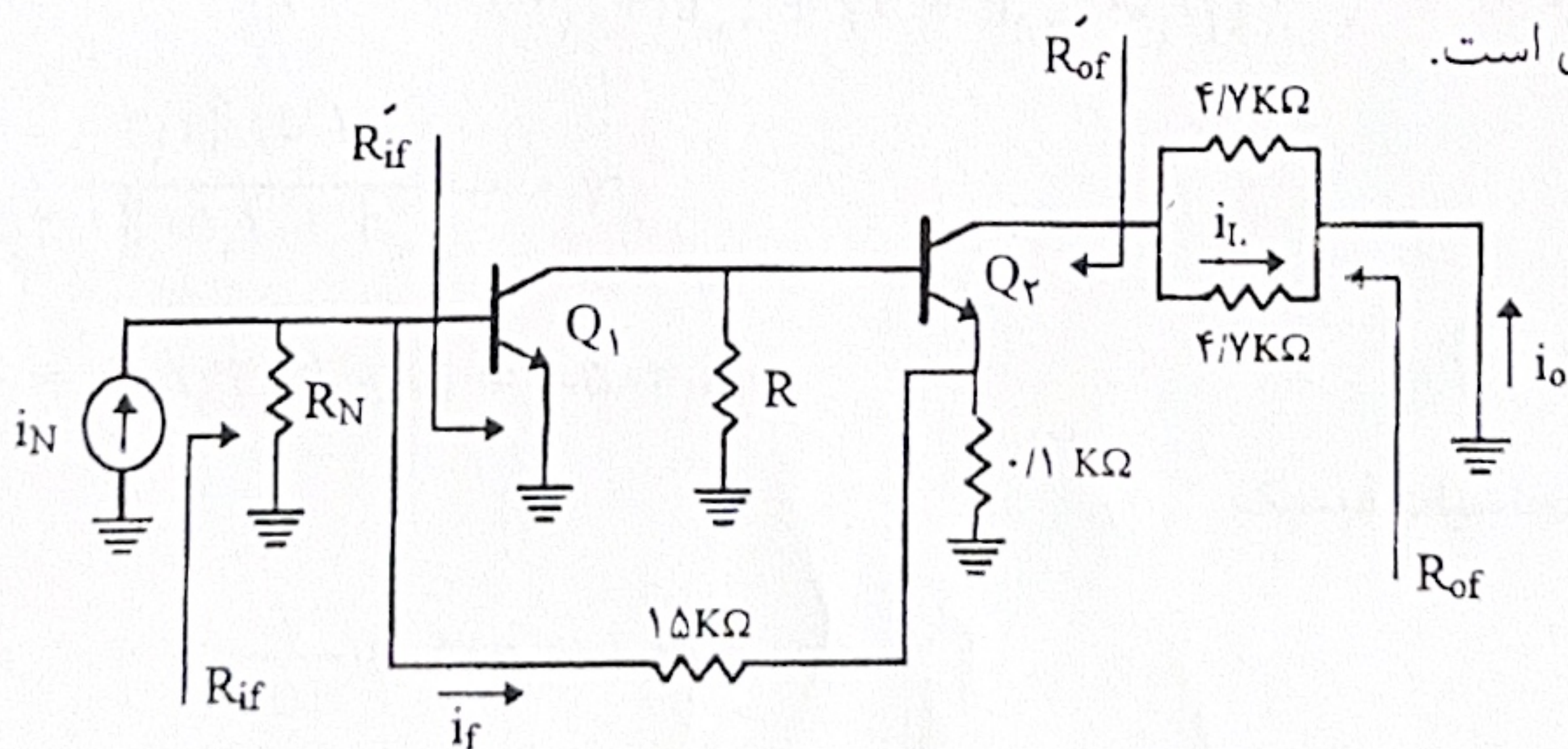
مثال ۸-۷ در مدار تقویت‌کننده شکل ۷-۵۱، نوع فیدبک را مشخص کنید و مقادیر v_o/v_s ، i_o/i_L ، R_{out} و R_{in} را محاسبه نمایید. ترانزیستورها مشابه و دارای $h_{fe} = 50$ و $h_{ie} = 1.1 K\Omega$ می‌باشند ($v_s = R_s i_s$).



شکل ۷-۵۱: مدار مثال ۸-۷

حل:

با توجه به مدار معادل ac تقویت‌کننده که در شکل ۷-۵۲ نشان داده شده است؛ فیدبک از نوع جریان - موازی است.

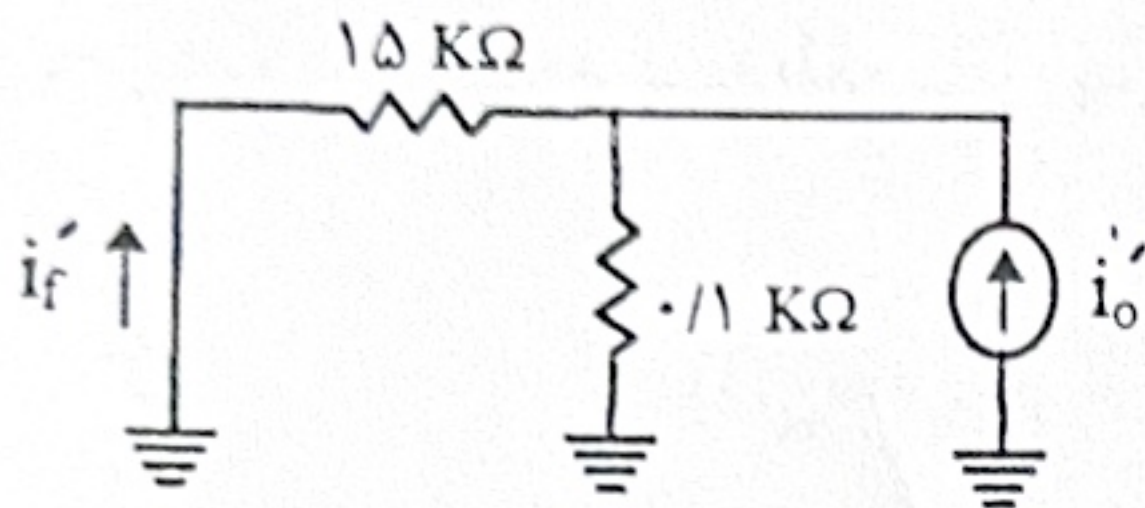


شکل ۷-۵۲: مدار معادل ac مثال ۸-۷

$$R_N = 4.7 \parallel 91 \parallel 10 = 3.1 \text{ K}\Omega, \quad i_N = \frac{V_s}{4.7}$$

$$R = 4.7 \parallel 91 \parallel 10 = 3.1 \text{ K}\Omega$$

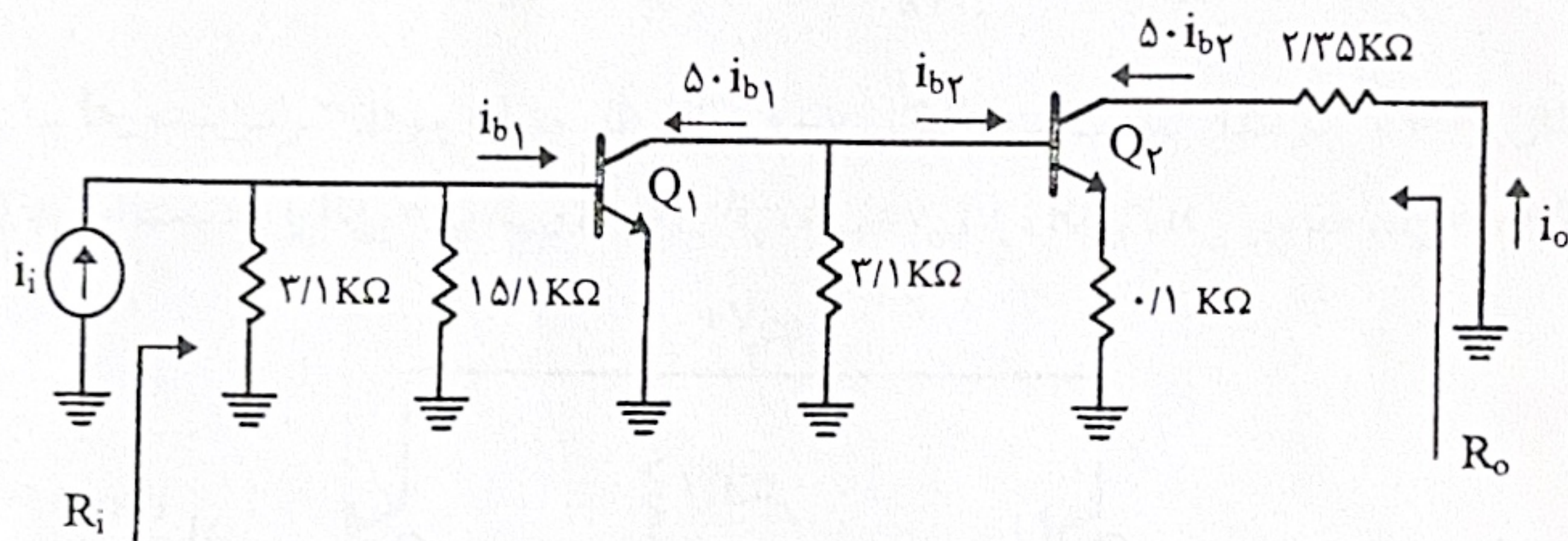
در شکل ۵۳-۷ شبکه فیدبک جهت محاسبه β نشان داده شده است.



$$\beta = \frac{i_f'}{i_o'} = \frac{-0.1}{0.1 + 15} = \frac{-1}{151}$$

شکل ۵۳-۷: مدار محاسبه β

از شبکه فیدبک در مدار ورودی و خروجی به ترتیب مقاومت $15.1 \text{ K}\Omega$ به $15 + 0.1$ به طور موازی و مقاومت $0.1 \text{ K}\Omega$ به $15 \parallel 0.1$ به طور سری می باشد. پس مدار A به صورت شکل ۵۴-۷ خواهد بود.



شکل ۵۴-۷: مدار A مثال ۷-۸

$$R_i = 3.1 \parallel 15.1 \parallel h_{ie1} = 0.77 \text{ K}\Omega, \quad R_o = \infty$$

$$i_o = 5 \cdot i_{b2} = 5 \cdot \left[(-5 \cdot i_{b1}) \frac{3.1}{3.1 + [h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) \times 0.1]} \right] = -833.3 i_{b1}$$

$$i_{b1} = i_i \frac{3.1 \parallel 15.1}{3.1 \parallel 15.1 + h_{ie1}} = 0.7 i_i$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = (-833.3)(0.7) = -583.67$$

محاسبات فیدبک

$$1 + \beta A_i = 1 + \left(-\frac{1}{151} \right) (-583.67) = 4.87$$

$$R_{if} = R_i / (1 + \beta A_i) = 158 \Omega$$

۲. تعیین مدار A با در نظر گرفتن اثر شبکه فیدبک در ورودی و خروجی به صورت زیر:

• با اتصال کوتاه کردن شبکه فیدبک در طرف خروجی یک مقاومت به طور موازی در ورودی قرار می گیرد.

• با اتصال کوتاه کردن شبکه فیدبک در طرف ورودی یک مقاومت به طور موازی در خروجی قرار می گیرد.

۳. محاسبه مشخصات تقویت کننده مدار A (R_o , R_i) و $R_m = v_o / i_i$

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

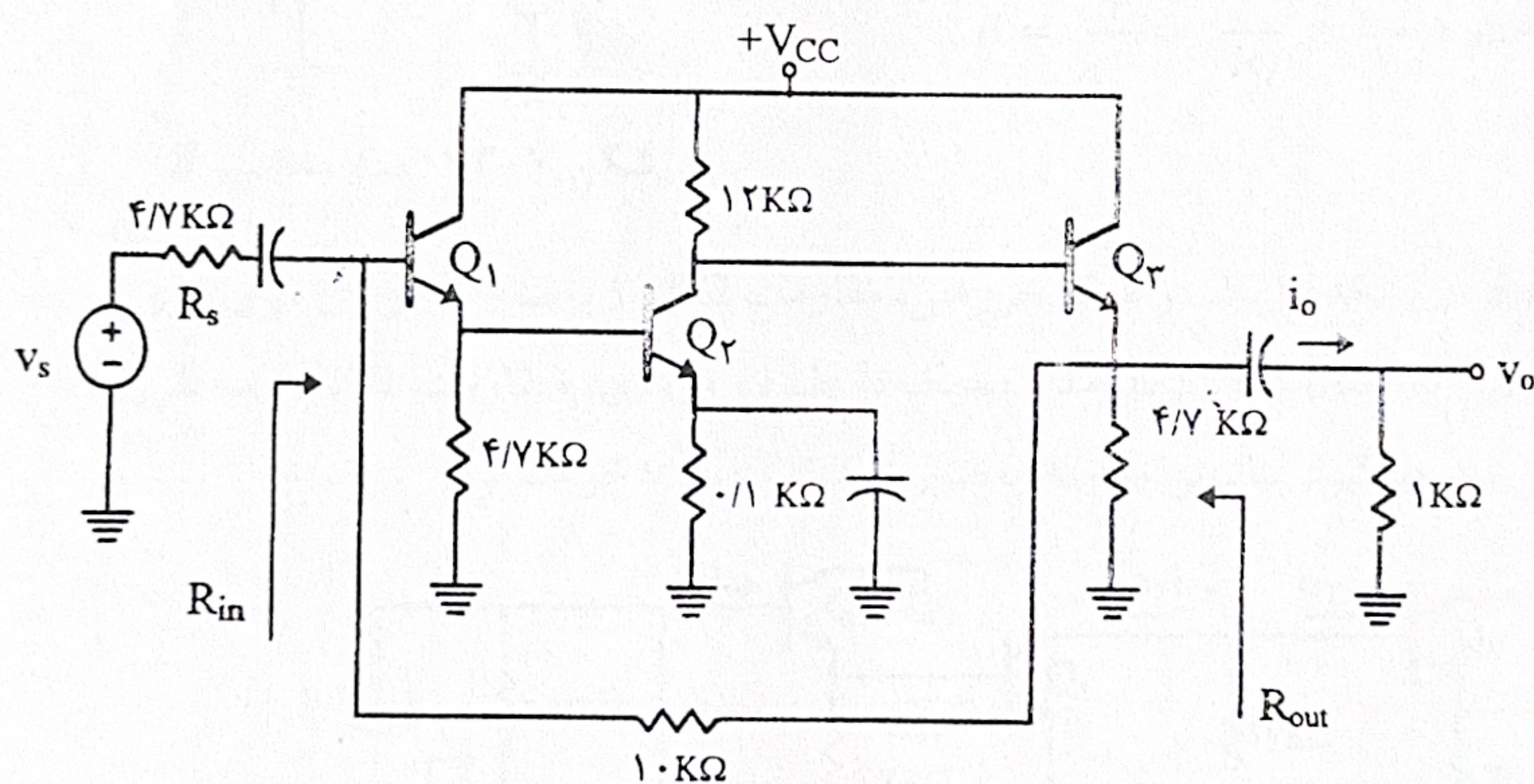
$$R_{if} = R_i / (1 + \beta R_m)$$

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

$$R_{mf} = R_m / (1 + \beta R_m)$$

مثال ۷-۱۰ در مدار تقویت کننده شکل ۷-۷۱ با فرض مشابه بودن ترانزیستورها با $h_{ie} = 50$ و

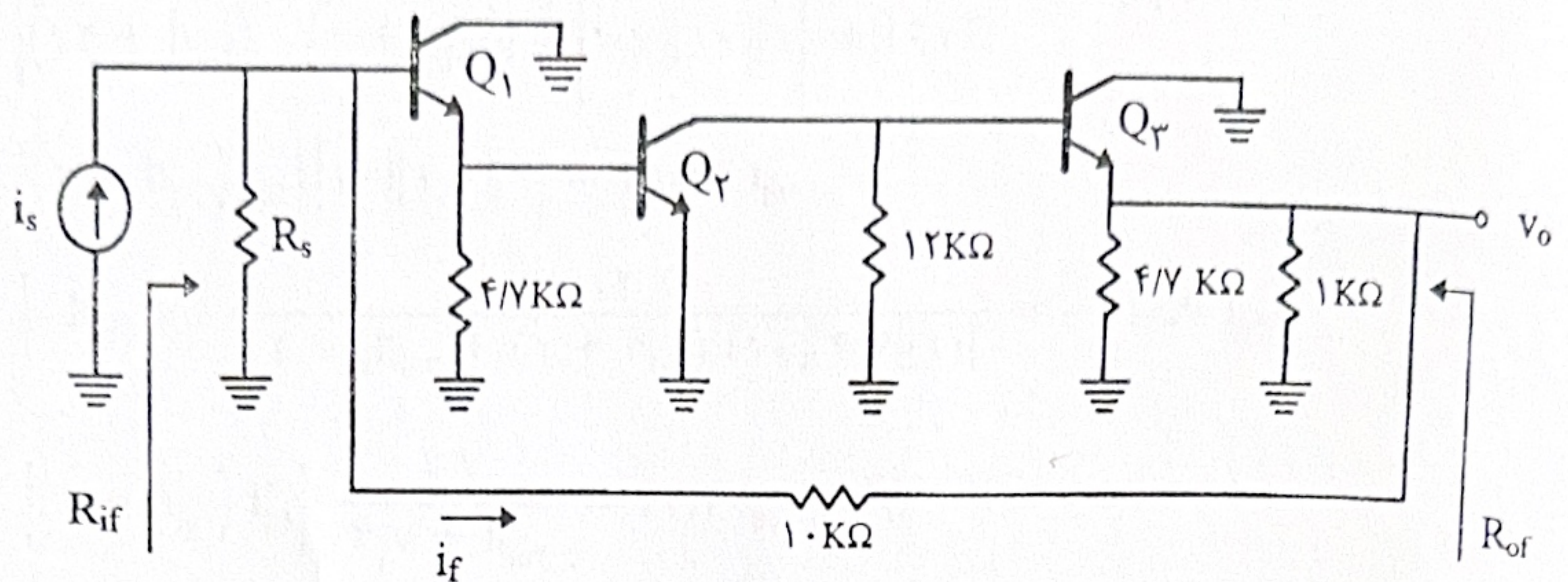
$h_{ie} = 1 \text{ K}\Omega$ ، مقادیر R_{in} ، R_{out} ، $A_{vf} = v_o / v_s$ ، $A_{if} = i_o / i_s$ و $R_{mf} = v_o / i_s$ را به دست آورید ($v_s = R_s i_s$).



شکل ۷-۷۱: مدار مثال ۷-۱۰

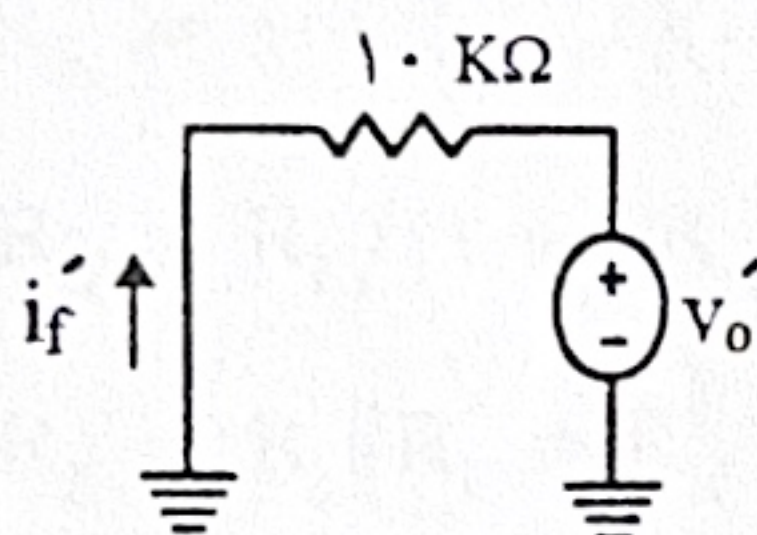
حل:

مدار معادل ac این تقویت کننده به صورت شکل ۷-۷۲ می باشد که در آن از معادل نرتن برای منبع سیگنال ورودی استفاده شده است.



شکل ۷-۷۲: مدار معادل ac مثال ۷-۱۰

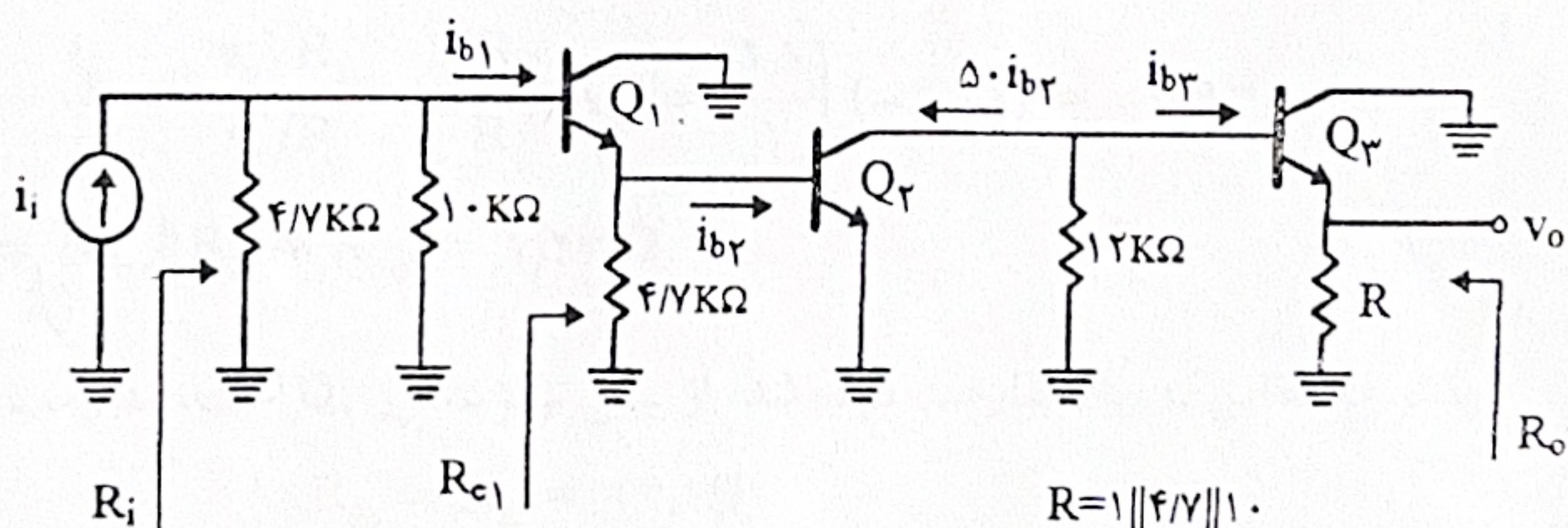
مشاهده می‌گردد که مدار فیدبک (مقاومت $10\text{K}\Omega$) از ولتاژ خروجی نمونه‌برداری نموده و با جریان ورودی جمع می‌کند. بنابراین فیدبک از نوع ولتاژ - موازی است و مقاومتهای R_{if} و R_{of} به صورت نشان داده شده تعریف می‌شوند. در شکل ۷-۷۳ مدار فیدبک جهت محاسبه بهره β نشان داده شده است، بنابراین β برابر است با



$$\beta = \frac{i_f'}{v_o'} = \frac{-1}{R_f} = -0.1 \text{ mA/V}$$

شکل ۷-۷۳: مدار محاسبه β

با اتصال کوتاه کردن شبکه فیدبک در طرف خروجی، مقاومت $10\text{K}\Omega$ به صورت موازی در ورودی قرار می‌گیرد. همچنین با اتصال کوتاه کردن مدار فیدبک در طرف ورودی، مقاومت $10\text{K}\Omega$ به طور موازی در خروجی قرار می‌گیرد. بنابراین مدار A به صورت شکل ۷-۷۴ خواهد بود.



شکل ۷-۷۴: مدار A مثال ۷-۱۰

$$R_i = [4.7 \parallel 10] \parallel [h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) R_{e1}], \quad R_{e1} = 4.7 \parallel h_{ie2} = 0.82 \text{ K}\Omega$$

$$\Rightarrow R_i = 2.98 \text{ K}\Omega$$

$$R_o = \left[(12 + h_{ie2}) / (1 + h_{fe2}) \right] \parallel [4.7 \parallel 10 \parallel 1] = 191 \Omega$$

$$v_o = \left[(1 + h_{fe2}) i_{b2} \right] [10 \parallel 4.7 \parallel 1] = 38.85 i_{b2}$$

$$i_{b2} = \left[-h_{fe2} i_{b1} \right] \frac{12}{12 + [h_{ie2} + (1 + h_{fe2}) (10 \parallel 4.7 \parallel 1)]} = -11.57 i_{b1}$$

$$i_{b1} = \left[(1 + h_{fe1}) i_{b1} \right] \frac{4.7}{4.7 + h_{ie2}} = 42.1 i_{b2}$$

$$i_{b1} = (i_i) \frac{(4.7 \parallel 10)}{(4.7 \parallel 10) + [h_{ie1} + (1 + h_{fe1}) (4.7 \parallel h_{ie2})]} = 0.07 i_i$$

$$\Rightarrow R_m = \frac{v_o}{i_i} = (38.85)(-11.57)(42.1)(0.07) \approx -1325 K\Omega$$

محاسبات فیدبک

$$1 + \beta R_m = 1 + (-0.1)(-1325) = 133.5$$

$$R_{if} = R_i / (1 + \beta R_m) \approx 22 \Omega$$

$$R_{if} = R_s \parallel R'_{if} \Rightarrow R'_{if} = 22.1 \Omega$$

$$R_{of} = R_o / (1 + \beta R_m) \approx 1.43 \Omega$$

$$R_{mf} = \frac{v_o}{i_s} = R_m / (1 + \beta R_m) = -9.93 K\Omega$$

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{R_s i_s} = \frac{1}{R_s} R_{mf} = \frac{-9.93}{4.7} = -2.11$$

$$A_{if} = \frac{i_o}{i_s} = \frac{v_o / R_L}{v_s / R_s} = \frac{R_s}{R_L} A_{vf} = \left(\frac{4.7}{1} \right) (-2.11) = -9.93$$

$$R_{of} = R_{out} \parallel R_L \Rightarrow R_{out} = 1.43 \Omega$$

با توجه به این که R'_{if} مقاومت دیده شده از بیس ترانزیستور Q_1 است، مقاومت R_{in} برابر است با

$$R_{in} = R'_{if} = 22.1 \Omega$$

مثال ۷-۱۱ در تقویت‌کننده مدار شکل ۷-۷۵ ترانزیستورها دارای $h_{fe1} = 200$ ، $h_{fe2} = 400$ و

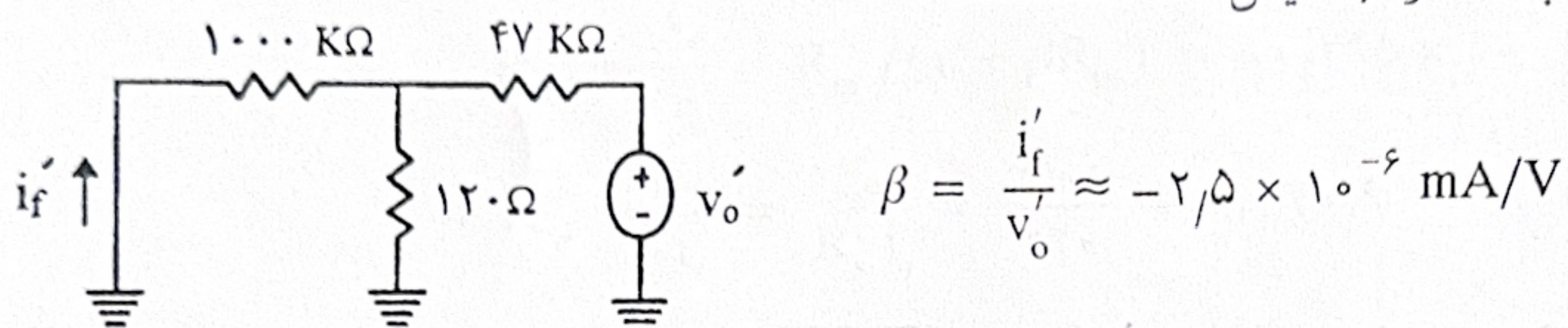
$h_{fe3} = 500$ می‌باشند. بهره ولتاژ، مقاومت ورودی و مقاومت خروجی تقویت‌کننده را تعیین کنید.

$|V_{BE}|$ ترانزیستورها را 0.7 ولت فرض کنید.

$$I_{Cr} = \frac{V_{Cr}}{1} = 4.94 \text{ mA}$$

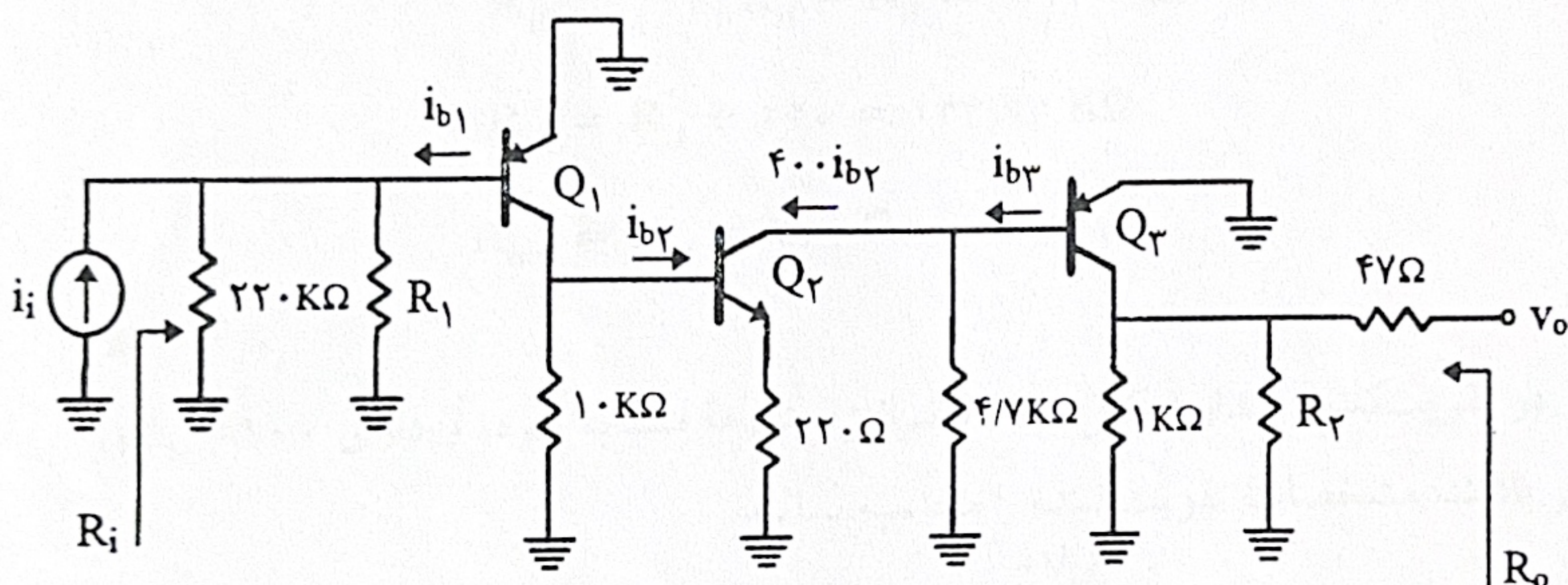
$$h_{ier} = \frac{h_{fer} V_T}{I_{Er}} = \frac{500 \times 0.025}{4.94} = 2.5 \text{ K}\Omega$$

با توجه به مدار تقویت‌کننده، فیدبک از نوع ولتاژ - موازی است که در شکل ۷-۷ شبکه فیدبک جهت محاسبه مقدار β نمایش داده شده است.



شکل ۷-۷: مدار محاسبه β

با در نظر گرفتن اثر شبکه فیدبک در ورودی و خروجی، مدار A به صورت شکل ۷-۷۷ خواهد بود.



شکل ۷-۷۷: مدار A مثال ۷-۱۱

$$R_1 = 1000 + 47 \parallel 0.12 \approx 1 \text{ M}\Omega, \quad R_r = 1000 \parallel 0.12 + 47 \approx 47.12 \text{ K}\Omega$$

$$i_{b1} = (-i_i) \frac{R_1 \parallel 220}{R_1 \parallel 220 + h_{ie1}} = -0.725 i_i$$

$$i_{b2} = (200 i_{b1}) \frac{10}{10 + [h_{ier} + (1 + h_{fer}) \times 0.22]} = 12.1 i_{b1}$$

$$i_{b3} = (400 i_{b2}) \frac{4.7}{4.7 + h_{ier}} = 261.1 i_{b2}$$

$$v_o = (R_r \parallel 1)(500 i_{b3}) = 489.61 i_{b3}$$

$$\Rightarrow R_m = \frac{v_o}{i_i} = (-0.725)(12.1)(261.1)(489.61) \approx -1.12 \times 10^6 \text{ K}\Omega$$