

كتاب الكترونيک او ۲ مارس

تهیه شده در الکترونیک باز | مرجع دانلود الکترونیک

www.gselectronic.ir

تهیه و تنظیم: صادق حیدری فراهانی

Sadegh.heidari.farahani@gmail.com

فصل ششم

تقویت کننده های با پس خورد منفی (فیدبک منفی)

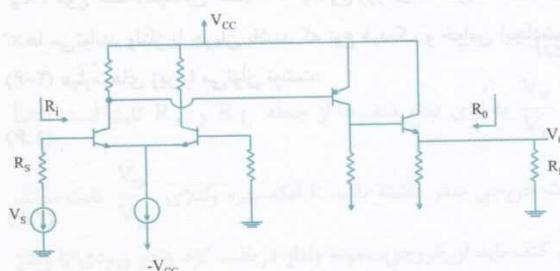
فصل ۶

همچنان

تقویت کننده حلقه باز شکل (۶-۱) را در نظر بگیرید.

اگر پارامترهای تقویت کننده نظیر $\frac{V_o}{V_s}$, R_i , R_o را

در نظر بگیریم، دیده می شود که این پارامترها به سبب تغییرات R_L و R_S و ولتاژ تغذیه و اثر دمایی ترانزیستورها و تغییر β ترانزیستورها و ... تغییر می کنند. علاوه بر این تغییرات، می توان حضور اعوجاج در موج خروجی را به سبب اجزای غیر خطی مدار انتظار داشت. این تقویت کننده پس خورد پهنای باندی دارد که متأثر از تغییرات گفته شده است. حال اگر از خروجی نمونه ای به ورودی چنان انتقال یابد که پس خورد منفی ایجاد شود، می توان خاصیت های زیر را از مدار جدید با پس خورد منفی ایجاد کرد.



شکل ۶-۱ یک تقویت کننده بدون فیدبک منفی

۱- بهره تقویت کننده تقریباً ثابت شده و به متغیرها حساسیت چندانی نداشته باشد.

۲- مقاومت های ورودی و خروجی بر حسب نوع فیدبک اعمال شده (۴ نوع فیدبک) زیاد یا کم بشود.

۳- اعوجاج غیر خطی ناشی از منحنی مشخصه غیر خطی ترانزیستورها کاهش یابد.

۴- تغییرات منبع تغذیه و دما و β و ... در عملکرد مدار تأثیر کمی بگذارند.

۵- پهنای باند تقویت کننده افزایش یابد.

برای ایجاد ویژگی های عنوان شده، بهره حلقه بسته کاهش می یابد. این کاهش بهره توانی است که باید پرداخت شود. برای افزایش

بهره در صورت نیاز، تعداد طبقات فیدبک دار اضافه می شوند. یک تقویت کننده با فیدبک منفی بر حسب ساختار آن و میزان بهره

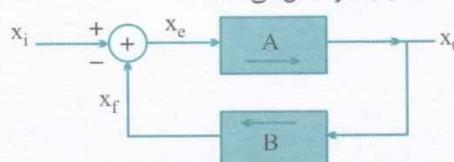
مورد نظر می تواند پاسخ فرکانس نایه هنجار داشته باشد و حتی در شرایطی نایپایدار شود. موضوع پاسخ فرکانسی مدارهای با

فیدبک منفی و چگونگی جبران سازی، فصل مجازی را می طلبد که در حوزه درس الکترونیک ۲ نیست و در درس الکترونیک ۳

بررسی می شود.

۱-۶ ساختار پسخورد منفی

شکل (۲-۶) ساختار اساسی تقویت‌کننده با فیدبک را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۶ ساختار اساسی تقویت‌کننده با فیدبک منفی

A : بهره حلقه باز تقویت‌کننده اصلی

B : شبکه پسخورد که به صورت β یا f هم نشان داده می‌شود.

x : موج ورودی (سیگنال ورودی)

x_o : موج خروجی (سیگنال خروجی)

x_f : موج برگشتی (سیگنال فیدبک)

x : موج خطأ (سیگنال خطأ) \leftarrow یا موج ورودی به تقویت‌کننده اصلی

x ها می‌توانند ولتاژ یا جریان باشند که نوع فیدبک و خواص ایجاد شده به وسیله مدار فیدبک شده را مشخص می‌کنند. در شکل (۲-۶) عبارت‌های زیر را می‌توان نوشت:

$$A_f = \frac{x_o}{x_i} \quad (1-6)$$

$$B = \frac{x_f}{x_o} \quad (2-6)$$

$$x_e = x_i - x_f \quad (3-6)$$

$$A = \frac{x_o}{x_e} \quad (4-6)$$

از جمع کردن روابط (۱-۶) الی (۴-۶) روابط زیر را می‌توان به دست آورد:

$$A_f = \frac{x_o}{x_i} = \frac{A}{1+AB} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} \quad (5-6) \quad (\text{بهره فیدبکی})$$

از رابطه (۵-۶) برمی‌آید که اگر AB خیلی بزرگ‌تر از ۱ باشد، آن‌گاه بهره فیدبکی تقریباً مستقل از تقویت‌کننده اصلی است و بهره تقریباً برابر می‌شود با:

$$A_f \approx \frac{1}{B} \quad (6-6)$$

غالباً B مقاومتی است؛ بنابراین می‌تواند مقدار ثابتی را می‌تواند داشته باشد با مشتق‌گیری از رابطه (۵-۶) و مرتب کردن آن خواهیم داشت:

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{\frac{dA}{A}}{1+AB} \quad (7-6)$$

تقویت کننده‌های با ...

۲۶۷

از رابطه (۷-۶) دیده می‌شود که اگر AB بزرگ باشد، تغییرات نسبی $\frac{dA_f}{A_f}$ نسبت به تغییرات بهره حلقه باز حساسیت‌زادایی می‌شود.

از روابط (۱-۶) الی (۴-۶) می‌توان نوشت:

$$x_e = x_i \frac{1}{1+AB} \quad (۸)$$

$$x_f = x_i \frac{AB}{1+AB} \quad (۹)$$

از رابطه (۸-۶) استنباط می‌شود که با داشتن AB بزرگ، سیگنال x_e بسیار کوچک می‌شود و چون $x_0 = A \cdot x_e$ است،

x_0 کم شده؛ از این‌رو بهره A_f کم می‌شود. از رابطه (۹-۶) استنباط می‌شود که با داشتن AB بزرگ، سیگنال فیدبک (x_f) به سیگنال (x_i) نزدیک می‌شود. می‌توان نشان داد که هارمونیک حاصل در خروجی مدار با فیدبک تقریباً عبارت است از:

$$\text{هارمونیک کلی حلقه باز} = \frac{\text{THD}}{1+AB} \quad (۱۰)$$

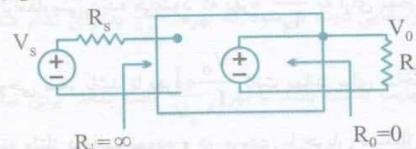
۲-۶ ساختارهای چهارگانه پس خورده (تپولوژی‌های چهارگانه)

الف) فیدبک نمونه ولتاژ - جمع ولتاژ (ولتاژ - سری)

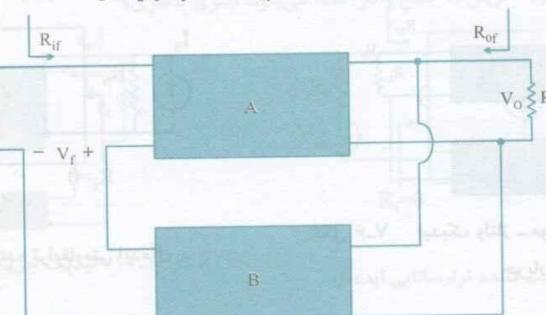
در شکل (۳-۶) تقویت کننده ایده‌آلی دیده می‌شود که بهره $\frac{V_o}{V_s}$ به ازای تمام متغیرها از جمله R_L و R_s ثابت است. الزاماً

چنین تقویت کننده‌ای باید مقاومت ورودی بی‌نهایت و مقاومت خروجی صفر داشته باشد تا آنکه بهره ولتاژی $\frac{V_o}{V_s}$ ثابت بماند.

برای ساختن مداری که بتواند تقریباً چنین خاصیتی را ایجاد کند، باید از خروجی، نمونه ولتاژ دریافت کرد و در ورودی با ولتاژ سیگنال جمع کرد، شکل (۴-۶). به این نوع مدار فیدبک ولتاژ - سری یا نمونه ولتاژ - جمع ولتاژ گفته می‌شود.



شکل ۴-۳ تقویت کننده ولتاژ ایده‌آل



شکل ۴-۴ فیدبک ولتاژ - سری (نمونه ولتاژ - جمع ولتاژ)

در مدار شکل (۴-۶) داریم:

(۱۱-۶)

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B}$$

A : بهره ولتاژی حلقه باز.

R : مقاومت ورودی حلقه باز:

(۱۲-۶)

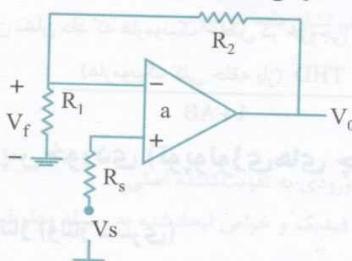
$$R_{if} = R_i (1 + AB)$$

R_o : مقاومت خروجی حلقه باز:

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + AB}$$

(۱۳-۶)

در شکل ۶-۵، فیدبک ولتاژ - سری با فیدبک مقاومتی نشان داده شده است.



شکل ۶-۵ فیدبک ولتاژ - سری

تقویت‌کننده A ممکن است یک‌طبقه یا چندطبقه با ورودی تفاضلی یا ورودی یک‌ترانزیستوری باشد.

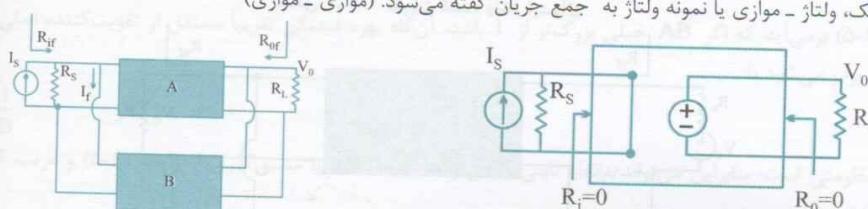
ب) فیدبک نمونه ولتاژ - جمع جریان (ولتاژ - موازی)

در شکل (۴-۶) تقویت‌کننده ایده‌آل ترا مقاومتی دیده می‌شود که بهره $\frac{V_o}{I_s}$ به ازای تمام متغیرها ثابت است. الزاماً این مدار باید

دارای مقاومت ورودی و مقاومت خروجی صفر باشد تا بهره $\frac{V_o}{I_s}$ ثابت بماند. برای ساختن مداری که بتواند چنین خاصیتی را

تقریباً ایجاد کند باید از خروجی نمونه ولتاژ دریافت نموده و در ورودی با جریان سیگنال ورودی جمع نمود، شکل ۶-۷.

به این نوع، فیدبک، ولتاژ - موازی یا نمونه ولتاژ به جمع جریان گفته می‌شود. (موازی - موازی)



شکل ۶-۷ فیدبک ولتاژ - موازی (نمونه ولتاژ - جمع جریان)

شکل ۶-۶ تقویت‌کننده ترا مقاومتی ایده‌آل

٢٦٩ تقویت کنندۀای با ...

در مدار شکل ٧-٦ داریم:

$$A_{rf} = \frac{V_o}{I_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{R_i} \quad (14)$$

A : بهره ترا مقاومتی حلقة باز

$$R_{if} = \frac{R_i}{1+AB} \quad (15)$$

R_i : مقاومت ورودی حلقة باز

$$R_{of} = \frac{R_o}{1+AB} \quad (16)$$

R_o : مقاومت خروجی حلقة باز

در شکل ٨-٦، فیدبک ولتاژ - موازی با فیدبک مقاومتی نشان داده شده است.

شکل ٨-٦ فیدبک ولتاژ - موازی

تقویت‌گننده A ممکن است یک طبقه یا چند طبقه با ورودی تفاضلی یا ورودی یک‌ترانزیستوری باشد.

ج) فیدبک نمونه جریان - جمع ولتاژ (جریان - سری)

در شکل ٩-٦) تقویت‌گننده ایده‌آل ترا رسانایی دیده می‌شود که بهره $\frac{I_o}{V_s}$ به ازای تمام متغیرها ثابت است. لذاً این مدار باید مقاومت ورودی و مقاومت خروجی بنهایت داشته باشد تا بهره $\frac{I_o}{V_s}$ ثابت بماند. برای ساختن مداری که تقریباً بتواند چنین خاصیتی را ایجاد کند باید از خروجی نمونه جریان دریافت کرد و در ورودی با ولتاژ سیگنال جمع کرد، شکل ١٠-٦). به این نوع، فیدبک جریان - سری یا نمونه جریان به جمع ولتاژ گفته می‌شود. (سری - سری)

شکل ١٠-٦ فیدبک جریان - سری (نمونه جریان - جمع ولتاژ)

در مدار شکل ١٠-٦) داریم:

شکل ٩-٦ تقویت‌گننده ترا رسانایی ایده‌آل

A : بهره تارسانایی حلقه باز:

$$A_{gf} = \frac{I_o}{V_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} \quad (17-6)$$

R : مقاومت ورودی حلقه باز:

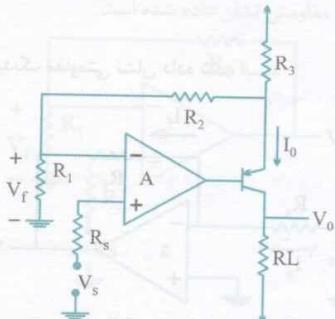
$$R_{if} = R_i (1 + AB) \quad (18-6)$$

R_o : مقاومت خروجی حلقه باز:

$$R_{of} = R_o (1 + AB) \quad (19-6)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o}{V_s} RL \quad (11-6)$$

در شکل (11-6)، فیدبک جریان - سری با فیدبک مقاومتی نشان داده شده است.



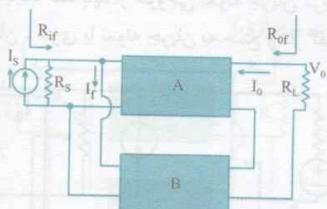
شکل ۱۱-۶ فیدبک جریان - سری

۵) فیدبک نمونه جریان - جمع جریان (جریان - موازی)

در شکل (12-6) تقویت‌کننده ایده‌آل جریان دیده می‌شود که بهره $\frac{I_o}{I_s}$ به ازای تمام متغیرها ثابت است. الزاماً این مدار باید

مقاومت ورودی صفر و مقاومت خروجی بی‌نهایت داشته باشد تا $\frac{I_o}{I_s}$ ثابت بماند. برای ساختن مداری که بتواند چنین خاصیتی را

تقریباً ایجاد کند، باید از خروجی نمونه جریان دریافت کرده و در ورودی با جریان سیگنال ورودی جمع کرد، شکل (13-6). به این نوع، فیدبک جریان موازی یا نمونه جریان به جمع جریان گفته می‌شود.



شکل ۱۳-۶ فیدبک جریان - موازی (نمونه جریان - جمع جریان)

شکل ۱۲-۶ تقویت‌کننده جریان ایده‌آل

در مدار شکل ۱۳-۶ داریم:

A : بهره جریانی حلقه باز.

$$A_{if} = \frac{I_o}{I_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} \quad (20-6)$$

R_i : مقاومت ورودی حلقه باز:

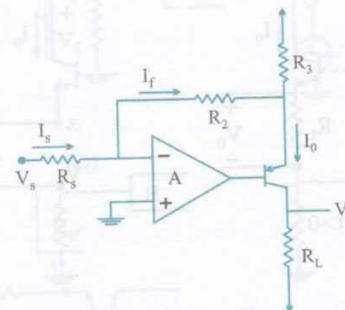
$$R_{if} = \frac{R_i}{1+AB} \quad (21)$$

R_o : مقاومت خروجی حلقه باز:

$$R_{of} = R_o (1+AB) \quad (22)$$

در شکل (۱۴-۶) فیدبک جریان موازی با فیدبک مقاومتی نشان داده شده است.

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{I_0}{I_s} \cdot \frac{R_L}{R_s}$$



شکل ۱۴-۶ فیدبک جریان - موازی

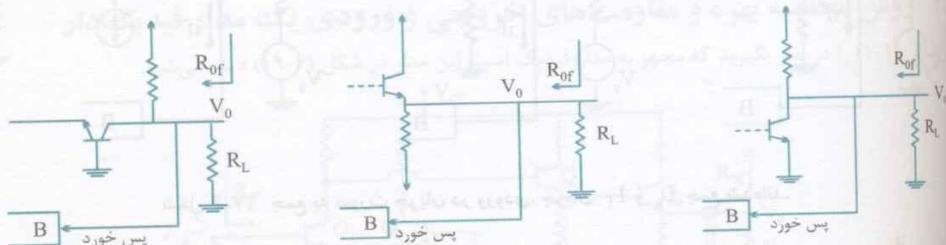
۶-۳ تشخیص نوع فیدبک

در هر مدار با فیدبک، برای آنکه فیدبک منفی باشد، با صفر کردن سیگنال ورودی، (اگر ولتاژ است اتصال کوتاه، اگر جریان است اتصال باز) در نقطه‌ای در داخل حلقه علامتی مثلاً (+) بگذارید و حلقه را دور بزنید تا به همان نقطه اولیه برسید، اگر علامت بگشتی (-) باشد، فیدبک منفی است در غیر این صورت فیدبک مثبت خواهد بود.

در یک تقویت‌کننده با فیدبک منفی، مقدار (AB) صرفنظر از نوع چهارگانه فیدبک ثابت است. انواع چهارگانه فیدبک بهره‌ها و امپدانس‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

الف) نمونه‌برداری از ولتاژ خروجی

در شکل (۱۵-۶) الف و ب و ج، سه نوع ممکن نمونه‌برداری از ولتاژ خروجی نشان داده شده است. ترانزیستور خروجی ممکن است BJT یا FET باشد.



طبقه خروجی بیس مشترک یا گیت

$$R_{of} = \frac{R_o}{1+AB}$$

طبقه خروجی کلکتور مشترک یا

درین مشترک (ب)

طبقه خروجی امپیر مشترک یا

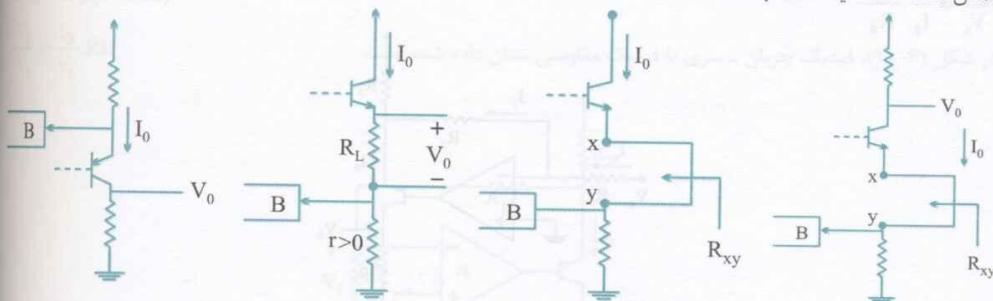
سورس مشترک (الف)

شکل ۱۵ نمونه‌برداری از ولتاژ خروجی

در هر یک از شکل‌های بالا ملاحظه می‌شود که اگر $V_0 = 0$ شود و یا به عبارتی دو سر R_L را اتصال کوتاه فرض کنیم پس خورد از بین می‌رود. بنابراین نمونه‌برداری از ولتاژ خروجی است. در حقیقت فیدبک با خروجی موازی شده است. خروجی موازی یا شانت است نمونه ولتاژ از خروجی سبب کاهش مقاومت خروجی می‌شود.

ب) نمونه‌برداری از جریان خروجی

در شکل (۱۶-۶) الف و ب و ج و د، چهار نوع مختلف نمونه‌برداری از جریان خروجی نشان داده است. ترانزیستور خروجی ممکن است NPN یا BJT یا FET باشد.



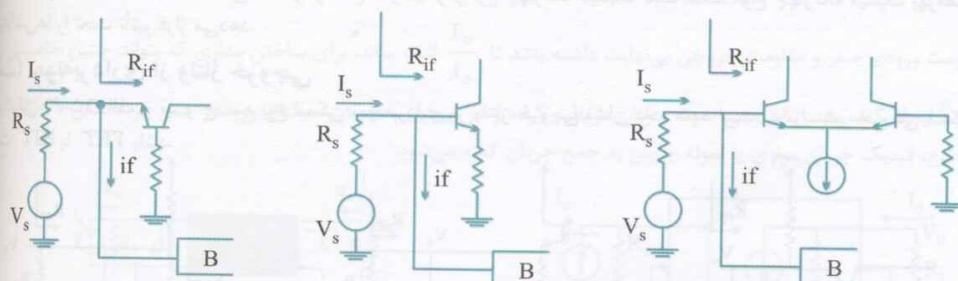
$$R_{xy} = [R_{x'y'}(jz)](1 + AB)$$

شکل ۱۶-۶ روش‌های مختلف نمونه‌برداری از جریان خروجی

در شکل (۱۶-۶) دیده می‌شود که اگر دو سر بار (V_0) اتصال کوتاه شود، فیدبک از بین نمی‌رود.

ج) جمع به صورت جریان در ورودی

در شکل (۱۷-۶) انواع مختلف جمع جریان در ورودی نشان داده شده است.



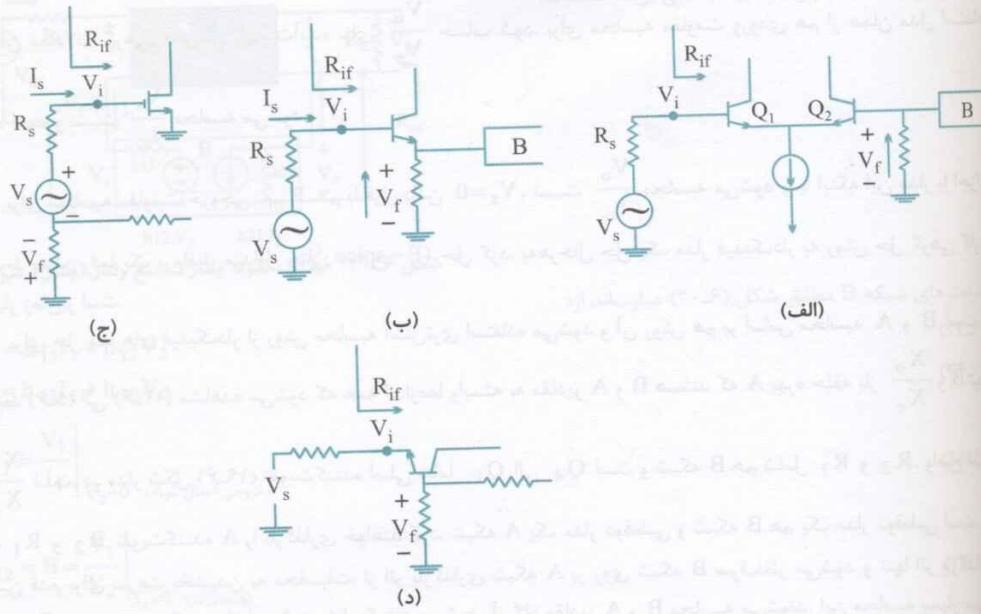
شکل ۱۷-۶ جمع به صورت جریان در ورودی، جریان I_f و I_s جمع شده‌اند.

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + AB}$$

در شکل (۱۷-۶) دیده می‌شود که جریان فیدبک با جریان I_s نقطه مشترک ساخته است؛ یعنی موازی شده‌اند که جمع جریان را مشخص می‌کند. ترانزیستور ورودی ممکن است BJT یا FET باشد.

۵) جمع به صورت ولتاژ در ورودی

در شکل (۱۸-۶) انواع مختلف جمع به صورت ولتاژ در ورودی نشان داده شده است. ترانزیستور ورودی ممکن است BJT یا FET باشد.



شکل ۱۸-۶ روش‌های مختلف جمع به صورت ولتاژ در ورودی (ورودی سری)

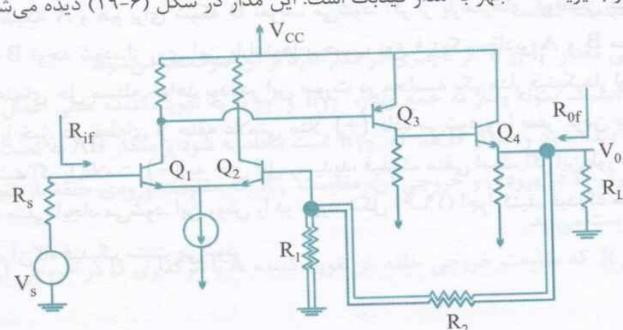
همان‌گونه که در شکل (الف) دیده می‌شود $i_c = g_m (V_b - V_e)$ و یا در شکل (ب)، (ج) و در شکل (د) $i_c = g_m (V_s - V_f)$ به گیت ترانزیستور داده شده است تا تقویت شود:

$$R_{if} = R_i (1 + AB)$$

در این صورت ورودی به صورت سری است.

۶) روش محاسبه بھره و مقاومت‌های خروجی و ورودی یک مدار فیدبک‌دار

مدار شکل (۱) را در نظر بگیرید که مجهز به مدار فیدبک است. این مدار در شکل (۱۹-۶) دیده می‌شود.



شکل ۱۹-۶

خروجی به وسیله مقاومت R_2 به ورودی Q_2 تفاضلی وصل شده است.

$$\text{چگونه می‌توان بهره } \frac{V_o}{V_s} \text{ و } R_{of} \text{ را محاسبه کرد؟ راه کلاسیک آن است که مدل ترانزیستورها رسم شوند و با}$$

نوشتن معادلات گرهی، ماتریس به دست آمده برای $\frac{V_o}{V_s}$ حساب شود. برای محاسبه مقاومت ورودی هم از همان مدل استفاده

$$\text{شده است و نسبت } \frac{V_s}{I_s} \text{ محاسبه می‌شود.}$$

برای محاسبه مقاومت خروجی R_{of} هم با قرار دادن $V_s = 0$ ، نسبت $\frac{V_o}{I_o}$ محاسبه می‌شود و یا اینکه این مدار با اجزای

مربوط به آن را با یک نرمافزار متداول مثلاً P-spice حل کرد. به هر حال حل یک مدار فیدبکدار به روش حل گرهی کاری بسیار زمان بر است.

برای حل مدارهای فیدبکدار از روش محاسبه آسان‌تری استفاده می‌شود و آن روش هم بر اساس محاسبه A و B است. از

روابط (۶-۱۳) می‌شود که همه اندازه‌ها وابسته به مقادیر A و B هستند که A بهره حلقه باز $\frac{X_o}{X_e}$ و B بهره

است. در مدار شکل (۶-۱۹) تقویت‌کننده اصلی شامل Q_1 و Q_4 است و شبکه B هم شامل R_1 و R_2 واضح است.

که R_1 و R_2 تقویت‌کننده A را بارگذاری خواهند کرد. شبکه A یک مدار دوقطبی و شبکه B هم یک مدار دوقطبی است. در اولین قدم برای سرعت بخشیدن به محاسبات، از اثر بارگذاری شبکه A بر روی شبکه B صرف‌نظر می‌شود و تنها اثر بارگذاری شبکه B بر روی تقویت‌کننده اصلی A در نظر گرفته می‌شود. آن‌گاه مقادیر A و B محاسبه می‌شوند. این محاسبه بسیار سریع است.

البته تقریب ایجاد شده مربوط به صرف‌نظر کردن از اثر بارگذاری شبکه A بر روی شبکه B است. هرچه تقویت‌کننده اصلی مقتدرتر باشد این تقریب هم کمتر می‌شود و با توجه به مشخصات ترانزیستورها که مقادیر حداقل و حداکثر دارند و همچنین تولرانس اجزایی به کار گرفته شده می‌توان گفت که این محاسبات جواب‌های تقریباً کاملی را ارائه می‌دهند. با توجه به اینکه چهار

نوع فیدبک وجود دارد. چهار نوع بهره هم دیده می‌شود که عبارت‌اند از بهره $\frac{V_o}{V_s}$ برای فیدبک ولتاژ - سری و بهره $\frac{V_o}{I_s}$ برای

فیدبک ولتاژ - موازی و بهره $\frac{I_o}{V_s}$ برای فیدبک جریان - سری و بهره $\frac{I_o}{I_s}$ برای فیدبک جریان - موازی. درنتیجه چهار نوع

پارامتر دوقطبی، هم برای شبکه A و هم برای شبکه B تعریف می‌شود. اگر از پارامترهای دوقطبی شبکه A صرف‌نظر شود و

صرف‌آ ب پارامترهای شبکه B توجه شود، از روی این پارامترها بر حسب نوع فیدبک مقادیر A و B محاسبه می‌شوند؛ بنابراین

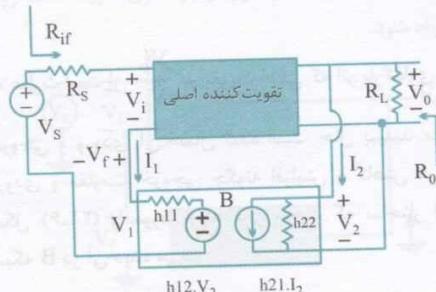
دانستن نوع فیدبک فوراً راهنمای حل مسئله خواهد بود. در این صورت در محاسبه یک مدار فیدبکدار اولین قدم آن است بیینم که آیا فیدبک منفی است یا خیر. در نقطه‌ای از حلقه علامتی مثلاً (+) داده می‌شود و با صفر کردن موج ورودی این علامت را

دور زده تا به محل اول برسید اگر با علامت (-) به جای اول رسیدید، فیدبک منفی است. اگر این طور نیست با اضافه کردن یک مدار معکوس کننده فیدبک منفی ایجاد می‌شود. این روش را در مورد شکل (۶-۱۹) اجرا کنید. فیدبک منفی است. اگر بیس Q3

به کلکتور Q_2 وصل شود، آن‌گاه فیدبک مثبت می‌شود.

الف) فیدبک ولتاژ - سری (فیدبک نمونه ولتاژ به جمع ولتاژ) و مسایل مربوط

در شکل (۶۰-۶) مدار فیدبک با حالت ولتاژ - سری رسم شده است و در شبکه (B) پارامترهای دوقطبی نوشته شده‌اند.



شکل ۶۰-۶ فیدبک نمونه ولتاژ - جمع ولتاژ (ولتاژ - سری)

پارامترهای شبکه B مطابق شکل (۶۰-۶) عبارت‌اند از:

(۲۳۶)

$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2 \quad (236)$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2 \quad (246)$$

$$h_{11} = \frac{V_1}{I_1} \Bigg|_{\substack{\text{(خروجی اتصال کوتاه)} \\ V_2=0}} \quad (256)$$

$$h_{12} = B = \frac{V_1}{V_2} \Bigg|_{\substack{\text{(ورودی باز)} \\ I_1=0}} \quad (266)$$

$$h_{21} = \frac{I_2}{I_1} \Bigg|_{\substack{\text{(خروجی اتصال کوتاه)} \\ V_2=0}} \quad (276)$$

$$h_{22} = \frac{I_2}{V_2} \Bigg|_{\substack{\text{(ورودی باز)} \\ I_1=0}} \quad (286)$$

: اثر بارگذاری شبکه B در ورودی تقویت‌کننده اصلی است.

: اثر بارگذاری شبکه B در خروجی تقویت‌کننده اصلی است.

: مقدار B شبکه فیدبک است.

از این‌جاکه در مدارات عملی مقدار I_1 در اثر ناچیزی در مدار دارد از آن صرف‌نظر می‌شود.

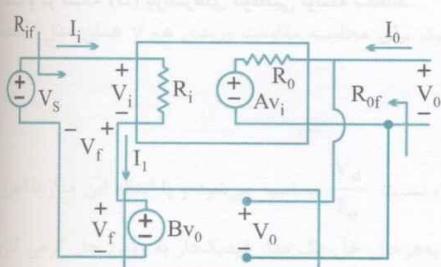
درنتیجه کافی است در فیدبک نمونه ولتاژ به جمع ولتاژ، h_{11} و h_{22} به تقویت‌کننده اصلی اعمال شوند تا بهره حلقه باز A با اثرگذاری B بر روی آن دیده شود و مقدار B هم که h_{12} است محاسبه شود و مقدار AB به دست باید. در مدار تقویت‌کننده اصلی با اعمال اثر بارگذاری B در ورودی و خروجی آن، مقاومت R_f که مقاومت ورودی حلقه باز تقویت‌کننده A با اثرگذاری B در ورودی آن است، به دست می‌آید.

به این ترتیب مقاومت R_f که مقاومت خروجی حلقه باز تقویت‌کننده A با اثرگذاری B در خروجی آن است، به دست می‌آید. در این صورت داریم:

$$A_{Vf} = \frac{A \cdot B}{1 + AB} \cdot \frac{1}{B}$$

$$R_{if} = \frac{R_o}{1+AB}$$

$$R_{if} = R_i(1+AB)$$



شکل ۲۱-۶ فیدبک ولتاژ - سری

$$R_{if} = \frac{V_s}{I_i} = \frac{V_s}{\frac{V_i}{R_i}} = R_i \frac{V_s}{V_i} = R_i \frac{V_i + V_f}{V_i}$$

$$R_{if} = R_i \frac{V_i + BV_o}{V_i} = R_i \frac{V_i + B \cdot AV_i}{V_i} = R_i(1+AB) \frac{V_i}{V_i}$$

$$R_{if} = R_i(1+AB)$$

اگر منبع سیگنال، R_s هم داشته باشد، مقاومت ورودی از دیدگاه V_s برابر است با:

$$R_{if} = (R_i + R_s)(1+AB)$$

برای محاسبه مقاومت خروجی R_{of} ، با توجه به شکل (۲۱-۶)، V_s را برابر صفر قرار داده و نسبت $\frac{V_o}{I_o}$ را به دست آورید:

$$R_{of} = \frac{V_o}{I_o}$$

$$I_o = \frac{V_o - AV_i}{R_o}$$

$$V_i = -V_f \quad (V_s = 0)$$

$$I_o = \frac{V_o + A \cdot V_f}{R_o} = \frac{V_o + A \cdot BV_o}{R_o} = \frac{V_o(1+AB)}{R_o}$$

$$R_{of} = \frac{V_o}{I_o} = \frac{R_o}{1+AB}$$

نتیجه: در هر نوع مدار فیدبک نمونه‌برداری از ولتاژ خروجی، مقاومت مؤثر یعنی R_{of} با نسبت $\frac{1}{1+AB}$ کم می‌شود. در هر

نوع مدار فیدبک با جمع ولتاژ در ورودی مقاومت ورودی با نسبت $1+AB$ زیاد می‌شود، هرگاه بار مصرفی کم‌اهم باشد، برای آنکه مقاومت داخلی تقویت‌کننده کم شود، از فیدبک نمونه ولتاژ استفاده می‌شود. به عنوان مثال در تقویت‌کننده‌های صوتی که بار به صورت بلندگو با مقاومت کم‌اهم وصل می‌شود، از فیدبک نمونه ولتاژ استفاده می‌شود. در تنظیم‌کننده‌های ولتاژ (رگولاتورهای ولتاژ) چه از نوع خطی چه از نوع سوئیچینگ، از فیدبک نمونه ولتاژ استفاده می‌شود تا امپدانس خروجی تا حد

عبارت است از $\frac{V'_o}{V_s}$ در تقویت اصلی که اثر بارگذاری B در خروجی و ورودی آن اعمال شده است. حال بینید مقاومت ورودی و مقاومت خروجی چگونه افزایش و کاهش می‌یابند. شکل (۲۱-۶) را مورد توجه قرار بدهید که ساختار ایده‌آل شبکه B در آن دیده می‌شود.

۲۷۷ تقویت کننده‌های با ...

میلی‌اهم سقوط کند. پس می‌بینید که با استفاده از فیدبک نمونه ولتاژ آگر AB بزرگ انتخاب شود، مقاومت خروجی R_{of} به سمت صفر می‌کند. در مدارهایی که منبع سیگنال مقاومت R_s بزرگ دارد، برای جلوگیری از بارگذاری تقویت‌کننده روى منبع سیگنال، از فیدبک جمع ولتاژ استفاده می‌شود تا مقاومت ورودی زیاد شود.

مثال ۱: در مدار شکل (۲۲-۶)، حاصل ضرب AB خیلی بزرگ است. فرض کنید مقدار A نصف شود، کدامیک از پارامترهای مدار تغییر می‌کند؟

شکل ۲۲-۶

حل: فیدبک از نوع ولتاژ - سری است:

$$A_f = \frac{V_o}{V_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B}$$

از آنجاکه B ثابت است و AB بزرگ است؛ بنابراین $\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{B}$ است، چون این بهره ثابت است و $V_o = A \cdot V_i$ است، در این صورت برای ثابت ماندن V_o باید V_i دو برابر مقدارش در حلقه فیدبک بشود.

مثال ۲: در مدار شکل (۲۳-۶) باز بودن R_2 بهره $\frac{V_o}{V_1} = 10^6$ است. با بسته بودن R_2 بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ را به طور تقریبی مشخص کنید.

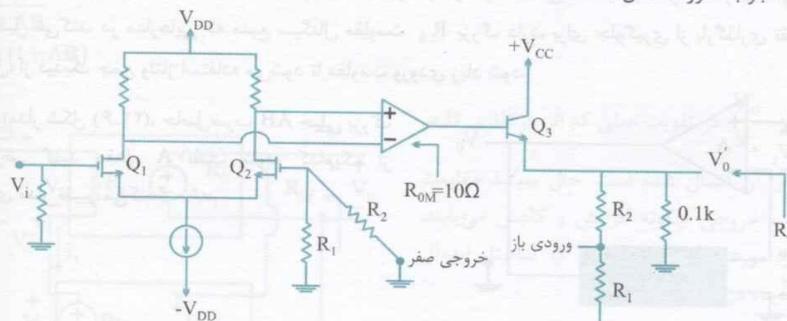
(Q₃) حریان بایاس یک میلی‌آمپر و β بزرگ دارد.)

حل: فیدبک منفی و از نوع ولتاژ سری است (نمونه ولتاژ - جمع ولتاژ). ابتدا B را حساب می‌کنیم:

شکل ۲۴-۶

$$B = \frac{V_f}{V_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{10}$$

بهره ولتاژی حلقة باز به صورت شکل (٢٥-٦) است.



شكل ٢٥-٦ مدار حلقة باز با اثر بارگذاری B در ورودی و خروجی

$$A = A_{ol} (بهره حلقة باز) = \frac{V'_0}{V_i} \approx 10^6$$

موازی شدن $R_2 + R_1$ با مقاومت $0.1k$ نمی‌تواند بهره حلقة باز را تغییر چندانی بدهد.

$$AB = 10^6 \times \frac{1}{10} = 10^5$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} \approx 10$$

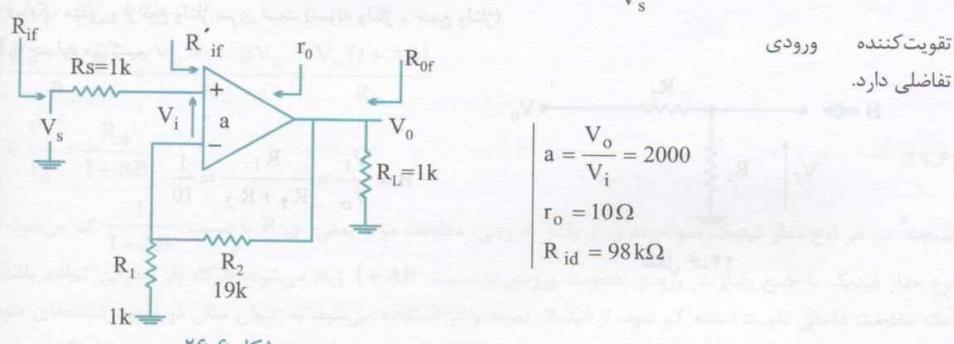
$$R_o = \left(\frac{R_{OM}}{1+\beta} + r_{e3} \right) \parallel (0.1k \parallel 10k) \approx 20\Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1+AB} = \frac{20\Omega}{10^5} \approx 200\mu\Omega \quad (\text{میکرو اهم})$$

در هر تقویت‌کننده با فیدبک، بزرگ‌ترین بهره ممکن در حالت ایده‌آل، $\frac{1}{B}$ است. در تقویت‌کننده بحث شده مطمئناً بهره ولتاژی از

$$\frac{1}{B} = 10 \quad \text{کوچک‌تر است.}$$

مثال ٣: در مدار شکل (٢٦-٦) بهره $\frac{V_o}{V_s}$ و R_{if} را محاسبه کنید.



شكل ٢٦-٦

$$\begin{cases} a = \frac{V_o}{V_i} = 2000 \\ r_o = 10\Omega \\ R_{id} = 98k\Omega \end{cases}$$

٢٧٩ نقویت کنندۀ های با ...

حل: فیدبک منفی از نوع ولتاژ - سری است.

$$B = \frac{V_f}{V_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{20}$$

شکل ٢٧-٦

حلقه باز مدار با اعمال اثرگذاری مانند شکل (٢٨-٦) است.

شکل ٢٨-٦ مدار حلقه باز با اثرگذاری B در ورودی و خروجی آن

بهره حلقه باز $\frac{V'_o}{V_s}$ عبارت است از:

$$\frac{V'_o}{V_s} = \frac{V'_o}{V_B} \cdot \frac{V_B}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s}$$

$$\frac{V'_o}{V_B} = \frac{R_L \parallel (R_1 + R_2)}{R_L \parallel (R_1 + R_2) + r_o} \approx 0.99$$

$$\frac{V_B}{V_i} = a = 2000$$

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{R_{id}}{R_{id} + R_s + R_1 \parallel R_2} = 0.98$$

$$\frac{V'_o}{V_s} = A \text{ (ولتاژ)} = A \approx 1940$$

$$AB = 97$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{AB}{1 + AB} \cdot \frac{1}{B} \approx 19.8$$

با توجه به شکل (٢٨-٦):

$$R_{if} = R_i (1 + AB)$$

$$R_j = R_s + R_{id} + R_1 \parallel R_2 = 100k$$

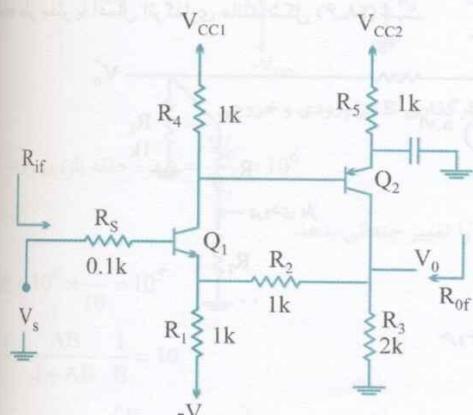
$$R_{if} \approx 9.8M\Omega$$

$$R'_{if} = R_{if} - R_s \approx 9.8M\Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1+AB} = \frac{r_o \parallel R_L \parallel (R_1 + R_2)}{1+AB} \approx 0.1\Omega$$

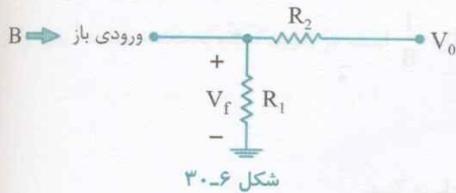
مثال ٤: در مدار شکل (٢٩-٦) بهره R_{of} و R_{if} را حساب کنید.

مدار آن چنان بایاس شده است که $r_{e1} = r_{e2} = 10\Omega$ و $\beta = 100$ است.



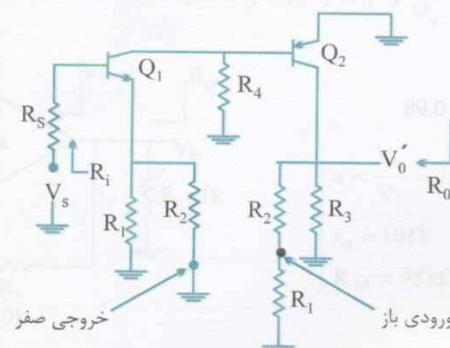
شكل ٢٩-٦

حل: فیدبک منفی از نوع ولتاژ - سری است.



شكل ٣٠-٦

$$B = \frac{V_f}{V_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{2}$$



شكل ٣١-٣ مدار حلقه باز با اثر بارگذاری B در ورودی و خروجی

۲۸۱

تقویت کننده های با ...

$A = \frac{V'_o}{V_s} = \frac{V'_o}{V_{b_2}} \cdot \frac{V_{b_2}}{V_{b_1}} \cdot \frac{V_{b_1}}{V_s}$

$\frac{V'_o}{V_{b_2}} = -\frac{R_3 \parallel (R_1 + R_2)}{r_{e_2}} \approx -100$

$\frac{V_{b_2}}{V_{b_1}} = -\frac{R_4 \parallel R_{in_2}}{r_{e_1} + (R_1 \parallel R_2)} \approx -\frac{500\Omega}{10\Omega + 500\Omega} \approx -1$

$\frac{V_{b_1}}{V_s} = \frac{R_{in_1}}{R_{in_1} + R_s} \approx 1$

$A \approx 100$

$AB \approx 50$

$\frac{V_o}{V_s} = \frac{AB}{1+Ab} \cdot \frac{1}{B} = \frac{50}{51} \times 2 \approx 1.96$

با توجه به شکل (۳۱-۶) :

$R_{if} = (R_s + R_{in_1})(1+AB) \approx 2.5M\Omega$

$R_{of} = \frac{R_o}{1+AB} \approx \frac{R_3 \parallel (R_1 + R_2) \parallel r_{ce_2}}{1+AB} \approx 20\Omega$

مثال ۵: در مدار شکل (۳۲-۶)، بهره $\frac{V_o}{V_i}$ را محاسبه کنید.

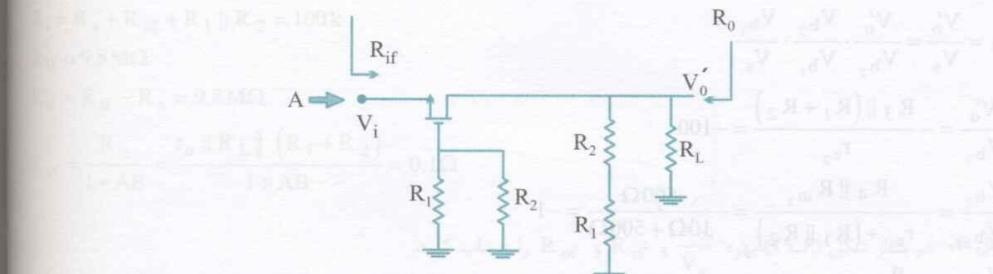
ترانزیستور بایاس شده با $r_d = \infty$ و $g_m = 10 \frac{mA}{V}$ است.

حل: فیدبک ولتاژ - سری است.

شکل ۳۲-۶

شکل ۳۳-۶

$B = \frac{V_f}{V_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{10}$



شكل ٣٤-٦ مدار حلقة باز با اثر بارگذاری

$$A = \frac{V'_o}{V_i} = g_m R'_L \approx 100$$

$$AB = 10$$

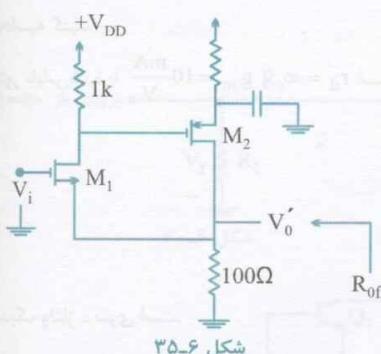
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} = 9$$

با توجه به شکل (٣٤-٦)

$$R_{if} = R_i (1 + AB) = \frac{1}{g_m} (1 + AB) = 1.1 \text{ k}\Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + AB} \approx \frac{10 \text{ k}}{11} \approx 900 \Omega$$

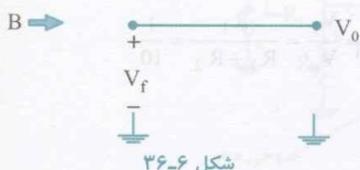
مثال ٦: در مدار شکل (٣٥-٦)، مقاومت خروجی و بهره $\frac{V_o}{V_i}$ را حساب کنید.



شكل ٣٥-٦

$$g_{m1} = g_{m2} = 10 \frac{\text{mA}}{\text{V}}, \quad V_A = \infty$$

حل: فیدبک منفی از نوع ولتاژ - سری است.

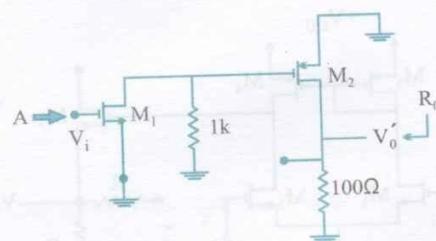


شكل ٣٦-٦

$$B = \frac{V_f}{V_o} = 1$$

تقویت کننده‌های با ...

۲۸۳



شکل ۳۷-۶ مدار حلقه باز با اثر بارگذاری B

$$A = \frac{V'_o}{V_i} = [g_m(100\Omega)][g_m(1k)] = 10$$

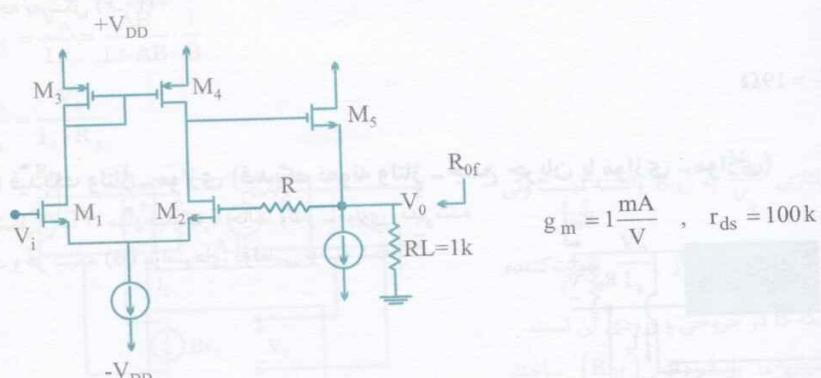
$$AB = 10$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{10}{11} \times \frac{1}{B} = 0.9$$

با توجه به شکل (۳۷-۶)

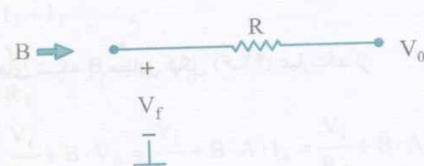
$$R_{of} = \frac{R_o}{1+AB} = \frac{100\Omega}{1+10} = 9\Omega$$

مثال ۷: در مدار شکل (۳۸-۶)، بهره $\frac{V_o}{V_i}$ و مقاومت خروجی R_{of} را محاسبه کنید.



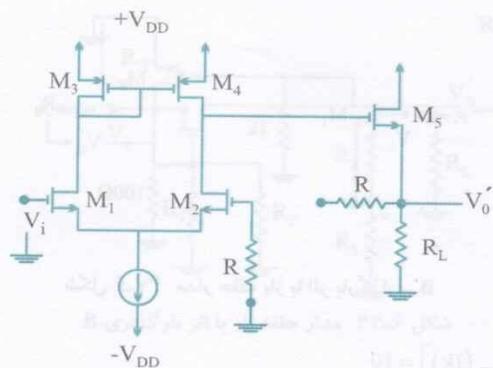
شکل ۳۸-۶

حل: فیدبک منفی از نوع ولتاژ - سری است.



$$B = \frac{V_f}{V_o} = 1$$

شکل ۳۹-۶



شکل ۴۰-۶ مدار حلقه باز با اثر بارگذاری

$$A = \frac{V'_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_{g_5}} \cdot \frac{V_{g_5}}{V_i} = \left(\frac{R_L}{\frac{1}{g_m} + R_L} \right) \left[\left(g_m \left(r_{ds_4} \parallel r_{ds_2} \right) \right) \right] \approx 25$$

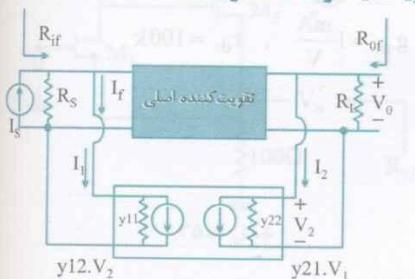
$$AB = 25$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{25}{26} \times 1 \approx 0.96$$

با توجه به شکل (۴۰-۶) :

$$R_{of} = \frac{R_L \parallel \frac{1}{g_m s}}{1 + AB} \approx 19 \Omega$$

ب) فیدبک ولتاژ - موازی (فیدبک نمونه ولتاژ - جمع جریان یا موازی - موازی)



در شکل (۴۱-۶) مدار فیدبک با حالت ولتاژ - موازی رسم شده است و در شبکه (B) پارامترهای دقیقی نوشته شده‌اند.

شکل ۴۱-۶ فیدبک نمونه ولتاژ - جمع جریان (ولتاژ - موازی)

پارامترهای شبکه B مطابق شکل (۴۱-۶) عبارت‌اند از:

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2$$

$$Y_{11} = \frac{I_1}{V_1} \Bigg|_{V_2=0} \quad (\text{خرجی اتصال کوتاه})$$

تقویت کننده های با ...

۲۸۵

$$Y_{12} = B = \frac{I_1}{V_2} \Bigg|_{V_1=0}$$

(ورودی اتصال کوئن)

$$Y_{21} = \frac{I_2}{V_1} \Bigg|_{V_2=0}$$

(خروجی اتصال کوئن)

$$Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} \Bigg|_{V_1=0}$$

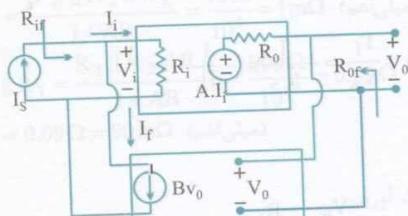
(ورودی اتصال کوئن)

 Y_{11} : اثر بارگذاری شبکه B در ورودی تقویت کننده اصلی است. Y_{22} : اثر بارگذاری شبکه B در خروجی تقویت کننده اصلی است. Y_{12} : مقدار B شبکه فیدبک است.

از آنجاکه در مدارات عملی مقدار V_1 شبکه B ناچیز است از آن صرف نظر می شود. درنتیجه کافی است در فیدبک نمونه ولتاژ به جمع جریان، Y_{11} و Y_{22} به تقویت کننده اصلی اعمال شوند تا بهره حلقه باز A با اثر بارگذاری B بر روی آن دیده شود و مقدار B هم که Y_{12} است محاسبه شود و مقدار AB به دست بیاید. در مدار تقویت کننده اصلی با اعمال اثر بارگذاری B در ورودی و خروجی آن، مقاومت R_i که مقاومت ورودی حلقه باز تقویت کننده A با اثر بارگذاری B در ورودی آن است، به دست می آید و مقاومت R_o که مقاومت خروجی حلقه باز تقویت کننده A با اثر بارگذاری B در خروجی آن است، به دست می آید. در این صورت داریم:

$$A_{rf} = \frac{V_o}{I_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} \quad (30)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{I_s \cdot R_s}$$



شکل (۴۲-۶) ساختار ایده‌آل فیدبک ولتاژ - موادی

دیده می شود که بهره ولتاژی $\frac{V_o}{V_s}$ به R_L وابسته نیست ولی

$\frac{V'_o}{I_s}$ بهره حلقه باز تقویت کننده

اصلی با اثر بارگذاری شبکه B در خروجی و ورودی آن است.

برای محاسبه مقاومت ورودی با فیدبک (R_{if}) ساختار

ابدأ شکل (۴۲-۶) را در نظر بگیرید.

با در نظر گرفتن شکل (۴۲-۶) داریم:

$$I_s = I_i + I_f$$

$$I_i = \frac{V_i}{R_i}, \quad I_f = B \cdot V_o$$

$$I_s = \frac{V_i}{R_i} + B \cdot V_o = \frac{V_i}{R_i} + B \cdot A \cdot I_i = \frac{V_i}{R_i} + B \cdot A \cdot \frac{V_i}{R_i}$$

$$I_s = V_i \left[\frac{1+A \cdot B}{R_i} \right]$$

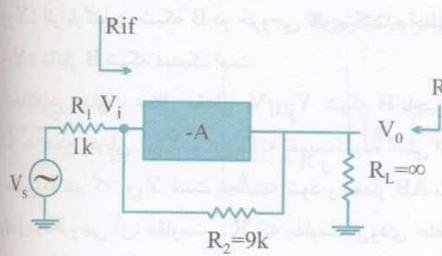
$$R_{if} = \frac{V_i}{I_s} = \frac{R_i}{1+AB} \quad (٣١-٦)$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1+AB} \quad (٣٢-٦)$$

در هر شکل مدار با حالت فیدبک ولتاژ - موازی (موازی - موازی) بهره تثبیت یافته $\frac{V_o}{I_s}$ است که عبارت است از:

$$\frac{V_o}{I_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B}$$

مقاومت خروجی و مقاومت ورودی به نسبت $\frac{1}{1+AB}$ کاهش می‌یابند.



شكل ٤٣-٦

مثال ٨: در مدار شکل (٤٣-٦)، تقویت‌کننده A با

بازشده دارای بهره $\frac{V_o}{V_i} = 10^5$ با ۱۰ درصد تغییرات است.

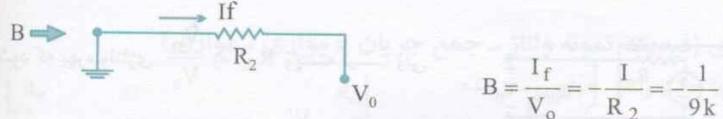
ورودی ترانزیستور FET است و مقاومت خروجی آن

۱۰ اهم است. تغییرات $\frac{V_o}{V_s}$ را به دست آورید و (R'_o)

مقاومت خروجی و ورودی R_{if} و R_{of} را هم تعیین کنید.

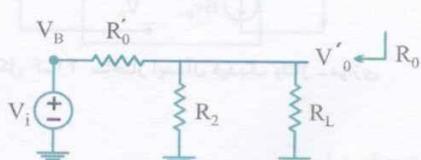
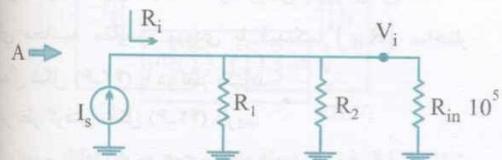
حل: فیدبک منفی ولتاژ - موازی است.

$$A_{if} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B}$$



شكل ٤٤-٦

$$B = \frac{I_f}{V_o} = -\frac{I}{R_2} = -\frac{1}{9k}$$



شكل ٤٥-٦ مدار حلقه باز با اثر بارگذاری B در ورودی و خروجی

$$A = \frac{V'_o}{I_s} = \frac{V'_o}{V_B} \cdot \frac{V_B}{V_i} \cdot \frac{V_i}{I_s}$$

$$A = \left(\frac{9k}{9k + 10\Omega} \right) \left(10^5 \right) \left(R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in} \right) \approx 9 \times 10^7 \frac{V}{A}$$

$$R_{in} (\text{FET ورودی}) = \infty$$

تقویت کننده های با ...

۲۸۷

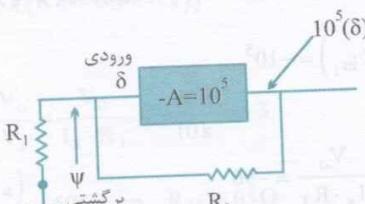
$$A \cdot B = 9 \times 10^7 \times \frac{1}{9000} = 10^4$$

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{\frac{dA}{A}}{1+AB} = \frac{10\%}{1+10^4} = \frac{1}{1000}\%$$

مقدار AB را می توان به روش زیر هم به دست آورد. V_s را برابر صفر قرار داده و در نقطه مناسبی در مدار مثلاً در ورودی A ، سیگنال δ داده شود. این سیگنال را دور زد تا به محل اولیه برسد. سیگنال برگشتی را ψ بنامید. آن گاه:

$$AB = \frac{\psi}{\delta}$$

این روش را غالباً نسبت برگشت می نامند.



شکل ۴۶-۶

$$\psi = 10^5 (\sigma) \frac{R_1}{R_1 + R_2} \Rightarrow \frac{\psi}{\delta} = 10^5 \frac{1k}{10k} = AB = 10^4$$

$$\frac{V_o}{I_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} \approx 9k\Omega$$

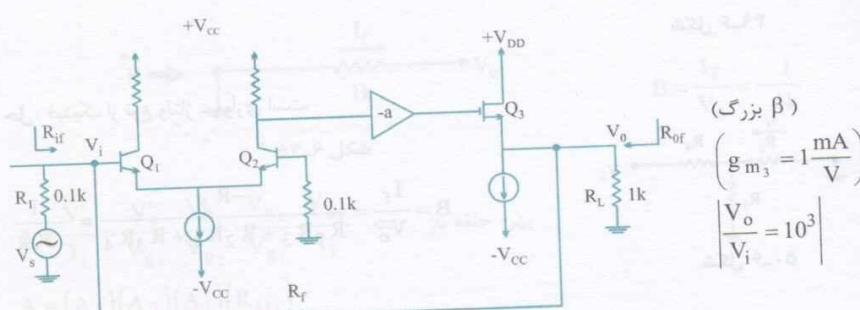
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{I_s \cdot R_1} = -\frac{9k}{1k} = -9 = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$R_{of} = \frac{R'_o \parallel R_2 \parallel R_L}{1+AB} = \frac{10\Omega}{10^4} = 1m\Omega \text{ (میلی‌اهم)}$$

$$R_{if} \parallel R_1 = \frac{R_1 \parallel R_2 \parallel R_{in}}{1+AB} = \frac{900\Omega}{10^4} = 0.09\Omega$$

$$R_{if} = 0.09\Omega = 90m\Omega \text{ (میلی‌اهم)}$$

مثال ۹: در مدار شکل (۴۷-۶) بفره R_{of} و R_{if} و $\frac{V_o}{V_s}$ را به دست آورید.

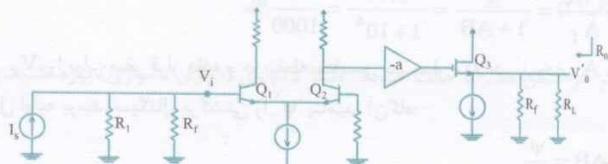


شکل ۴۷-۶

حل: فیدبک ولتاژ - موازی است.

$$B = \frac{I_f}{V_o} = -\frac{1}{R_f} = -\frac{1}{10k}$$

$$A = \frac{V'_o}{I_s} \Rightarrow$$



شكل ٤٨-٦ مدار حلقه باز با اثر بارگذاری B

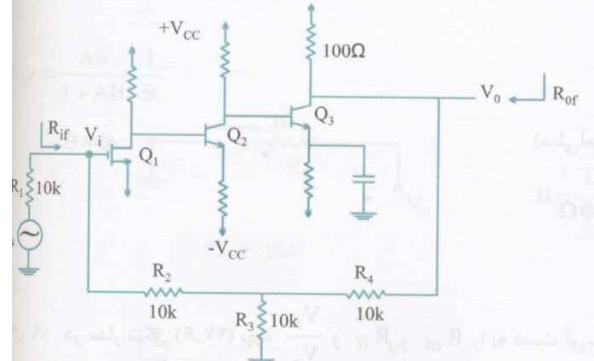
$$A = \frac{V'_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{I_s} = (10^3) (R_1 \parallel R_f \parallel R_{in1}) \approx -10^5$$

$$AB = 10$$

$$\frac{V_o}{I_s} = \frac{10}{11} \times \frac{1}{B} \approx 9000 \Rightarrow \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{I_s \cdot R_1} \approx -90$$

$$R_{if} \parallel R_1 = \frac{R_f \parallel R_{in1} \parallel R_1}{1+AB} \approx 9\Omega \Rightarrow R_{if} = 10\Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_L \parallel R_f \parallel \frac{1}{g_m}}{1+AB} \approx 45\Omega$$

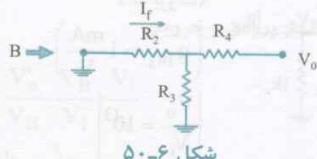


شكل ٤٩-٦

مثال ١: در مدار شکل (٤٩-٦) بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_s}$

$$\text{را به دست آورید.} \quad \left(\frac{V_o}{V_i} = -500 \right)$$

حل: فیدبک از نوع ولتاژ - موازی است.



شكل ٥٠-٦

$$B = \frac{I_f}{V_o} = \frac{-R_3}{R_2 R_3 + R_2 R_4 + R_3 R_4} = -\frac{1}{30k}$$

٢٨٩ تقویت کننده‌های با ...

شکل ٥١-٦ مدار حلقه باز با اثر بارگذاری B

$$A = \frac{V'_o}{I_s} = \frac{V'_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{I_s} = (-500) \left(R_1 \parallel (R_2 + R_3 \parallel R_4) \right) = -3M$$

$$AB = 100$$

$$\frac{V_o}{I_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} = -30k \Rightarrow \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{I_s \cdot R_1} \approx -\frac{30k}{10k} = -3$$

$$R_{if} \parallel R_1 = \frac{R_1 \parallel (R_2 + R_3 \parallel R_4)}{1+AB} = 59\Omega \Rightarrow R_{if} = 65\Omega$$

$$R_{of} \approx \frac{100\Omega}{1+AB} \approx 1\Omega$$

مثال ١١: در مدار شکل (٥٢-٦)، بهره $\frac{V_o}{V_i}$ و R_{if} را حساب کنید.

شکل ٥٢-٦

$$g_m = 1 \frac{mA}{V}, r_{ds} = 100k\Omega$$

حل: فیدبک ولتاژ - موازی است.

شکل ٥٣-٦

$$B = \frac{I_f}{V_o} = -\frac{1}{1k}$$

$$A = \frac{V'_o}{I_i} = \frac{V'_o}{V_{g_3}} \cdot \frac{V_{g_3}}{V_{g_2}} \cdot \frac{V_{g_2}}{V_{g_1}} \cdot \frac{V_{g_1}}{I_i} \Leftarrow \text{بهره حلقه باز}$$

$$A = (A_3)(A_2)(A_1)(R_{G_1})$$

$$A = (-g_m R'_{L_3})(-g_m R'_{L_2})(-g_m R'_{L_1})(R_{G_1})$$

$$A = (-1)(-50)(-50)(1k) = -25 \times 10^5 \frac{V}{A}$$

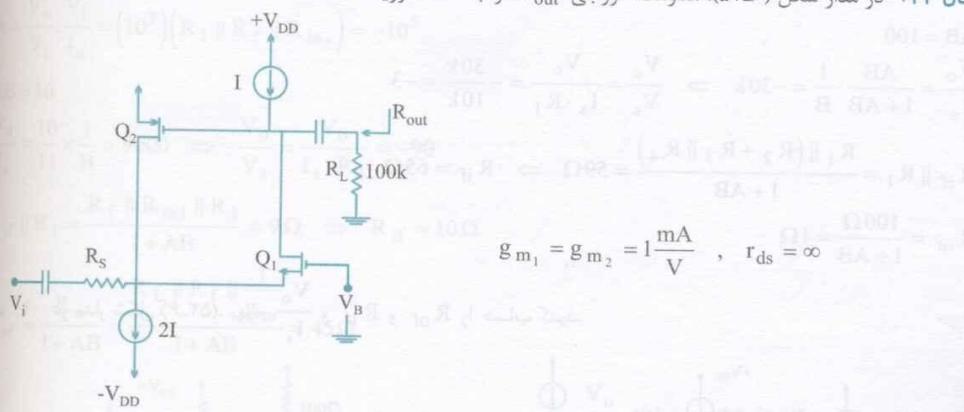
$$AB = 2500$$

$$\frac{V_o}{I_i} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} = 1000 \frac{V}{A}$$

$$R_{of} = \frac{R_L \parallel r_{ds} \parallel R_f}{1+AB} \approx 0.4\Omega$$

$$R_{if} = \frac{R_f}{1+AB} = 0.4\Omega$$

مثال ۱۲: در مدار شکل (۵۴-۶)، مقاومت خروجی R_{out} را به دست آورید.



شکل ۵۴-۶

$$g_{m_1} = g_{m_2} = 1 \frac{mA}{V}, \quad r_{ds} = \infty$$

حل: فیدبک از نوع ولتاژ - موازی است.

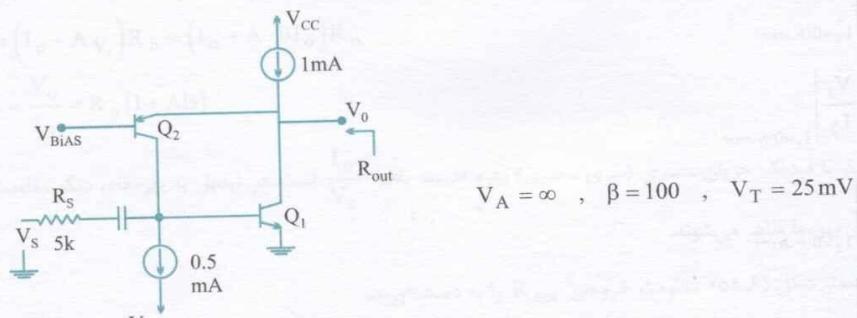
برای محاسبه AB می‌توانید $V_i = 0$ قرار دهید و با اعمال سیگنال δ در یک گره مقدار برگشتی ψ را به دست آورید.

$$\frac{\psi}{\delta} = A \cdot B = [A_1][A_2] \quad (\text{سورس مشترک})$$

$$AB = (g_{m_1} R_{L_1})(g_{m_2} \cdot R_{L_2}), \quad R_{L_1} = 100k, \quad R_{L_2} = R_s \parallel \frac{1}{g_{m_1}}$$

$$AB = 50, \quad R_{out} = \frac{R_L}{1+AB} \approx 2k\Omega$$

تقویت کننده‌های با ... ۲۹۱

مثال ۱۳: در مدار شکل (۵۵-۶) مقاومت خروجی R_{out} را به دست آورید.

شکل ۵۵-۶

حل: فیدبک از نوع ولتاژ - موازی است.

$$I_{E_1} = I_{E_2} = 0.5 \text{ mA} \Rightarrow r_e = 50 \Omega \Rightarrow r_\pi = 5 \text{ k}\Omega$$

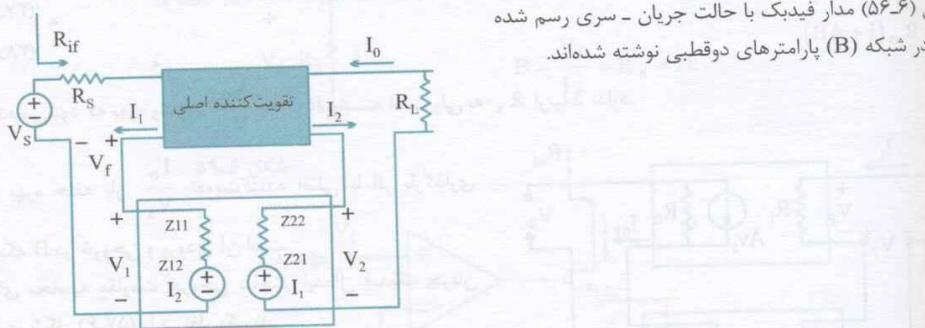
$$AB = \frac{\Psi}{\delta} = [A_1(CE)][A_2(CB)] = \left(\frac{r_{e_2}}{r_{e_1}}\right)\left(\frac{R_{L_2}}{r_{e_2}}\right) = \frac{R_s \parallel r_{\pi_1}}{r_e} \approx 50$$

$$R_{out} = \frac{r_{e_2}}{1 + AB} \approx 1 \Omega$$

مقدار AB از روش نسبت برگشت به دست آمده است. δ به بیس Q_1 داده شده و برگشت این سیگنال δ به نام Ψ در همان نقطه محاسبه شده است.

ج) فیدبک جریان - سری (نمونه جریان به جمع ولتاژ یا فیدبک سری - سری)

در شکل (۵۶-۶) مدار فیدبک با حالت جریان - سری رسم شده است و در شبکه (B) پارامترهای دوقطبی نوشته شده‌اند.



شکل ۵۶-۶ فیدبک نمونه جریان - جمع ولتاژ (جریان - سری)

پارامترهای شبکه B مطابق شکل (۵۶-۶) عبارت‌اند از:

$$V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \quad (33-6)$$

$$V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \quad (34-6)$$

$$Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} \Bigg|_{I_2=0} \quad (\text{خروجی باز})$$

$$Z_{12} = B = \frac{V_1}{I_2} \Bigg|_{I_1=0} \quad (\text{ورودی باز})$$

$$Z_{21} = \frac{V_2}{I_1} \Bigg|_{I_2=0} \quad (\text{خروجی باز})$$

$$Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} \Bigg|_{I_1=0} \quad (\text{ورودی باز})$$

Z_{11} : اثر بارگذاری شبکه B در ورودی تقویت‌کننده اصلی است.

Z_{22} : اثر بارگذاری شبکه B در خروجی تقویت‌کننده اصلی است.

Z_{12} : مقدار B شبکه فیدبک است.

$Z_{21} I_1$: صرف‌نظر می‌شود.

در فیدبک نمونه جریان به جمع ولتاژ کافی است Z_{11} و Z_{22} به تقویت‌کننده اصلی اعمال شوند تا بهره حلقه باز A به دست آید و با محاسبه Z_{12} که B است، حاصل ضرب AB تعیین شود:

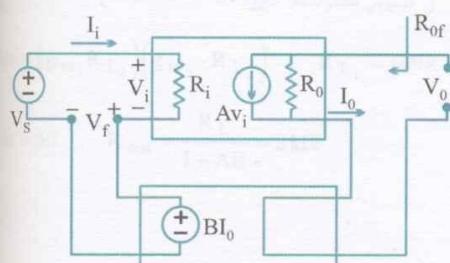
$$A_{gf} = \frac{I_o}{V_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} \quad (35-6)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o}{V_s} \cdot R_L \quad (36-6)$$

$$R_{if} = R_i (1+AB) \quad (37-6)$$

$$R_{of} = R_o (1+AB) \quad (38-6)$$

دیده می‌شود که بهره ولتاژی $\frac{V_o}{V_s}$ به R_L وابسته است ولی به R_s ارتباط ندارد.



شکل ۵۷-۶ ساختار ایده‌آل فیدبک جریان - سری

برای محاسبه مقاومت خروجی با فیدبک مطابق شکل (۵۷-۶) قرار داده شده و نسبت ولتاژ خروجی به جریان خروجی محاسبه می‌شود:

$$R_{of} = \frac{V_o}{I_o}$$

بهره حلقه باز $\frac{I'_o}{V_s}$ تقویت‌کننده اصلی با اثر بارگذاری شبکه B در خروجی و ورودی آن است. برای محاسبه مقاومت خروجی ساختار ایده‌آل فیدبک جریان سری شکل (۵۷-۶) را در نظر بگیرید.

تقویت کننده‌های با ...

۲۹۳

$$V_s = 0 \Rightarrow V_i = -V_f = -BI_o$$

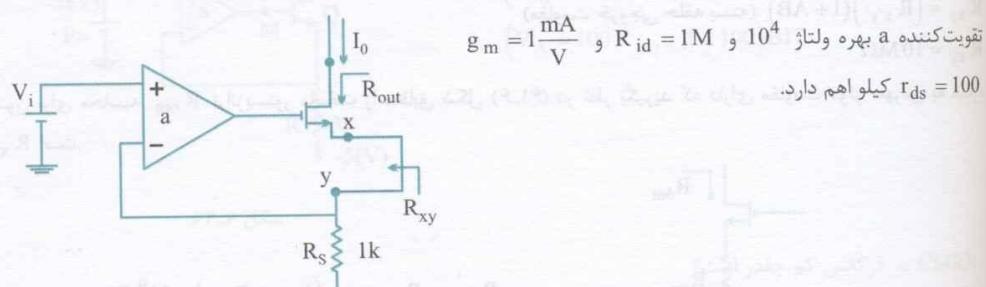
$$V_o = (I_o - A V_i) R_o = (I_o + A \cdot BI_o) R_o$$

$$R_{of} = \frac{V_o}{I_o} = R_o (1 + AB)$$

در هر شکل مدار با فیدبک جریان - سری (سری - سری) بهره ثابتی یافته $\frac{I_o}{V_s}$ است. در تبدیل به بهره‌های دیگر مقاومت‌های

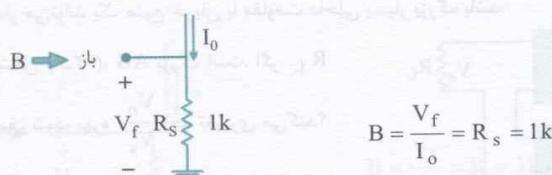
R_s و R_L در بهره‌ها ظاهر می‌شوند.

مثال ۱۴: در مدار شکل (۵۸-۶)، مقاومت خروجی R_{out} را به دست آورید.

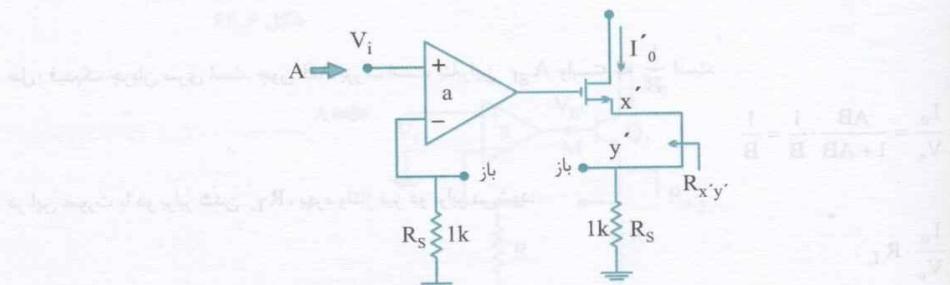


شکل ۵۸-۶

حل: فیدبک از نوع جریان - سری است.



شکل ۵۹-۶

شکل ۶۰-۶ مدار حلقه باز با اثر بارگذاری B در ورودی و خروجی

$$A = \frac{I'_o}{V_i} = \frac{I'_o}{V_g} \cdot \frac{V_g}{V_i} = \frac{I'_o}{V_g} \cdot \frac{V_g}{V_{id}} \cdot \frac{V_{id}}{V_i}$$

$$A = \left(\frac{1}{\frac{1}{g_m} + R_s} \right) (10^4) \left(\frac{R_{id}}{R_{id} + R_s} \right) = \frac{1}{2k} \times 10^4 = 5$$

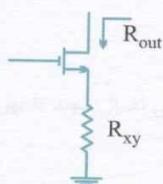
$$AB = 5000$$

$$R_{xy'} = R_s + \frac{1}{g_m} = 2k \quad (\text{مقاومت خروجی حلقه باز})$$

$$R_{xy} = (R_{xy'}) (1 + AB) \quad (\text{مقاومت خروجی حلقه بسته})$$

$$R_{xy} = 10M\Omega$$

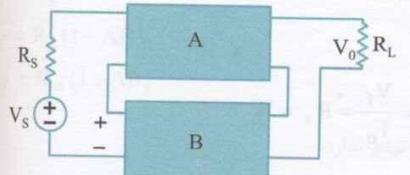
اکنون برای محاسبه R_{out} ترانزیستور ماسفت را مطابق شکل (۶۱-۶) در نظر بگیرید که دارای مقاومت مؤثر سورس به اندازه R_{xy} است.



$$R_{out} = R_{xy} + r_{ds} (1 + g_m R_{xy}) \approx 10^9 \Omega$$

شکل ۶۱-۶

توجه کنید که این مدار می‌تواند یک منبع جریان با مقاومت داخلی بسیار بزرگ باشد.



مثال ۱۵: در مدار شکل (۶۲-۶)، AB بزرگ است. اگر R_L

دو برابر و R_s نصف شود، بهره $\frac{V_o}{V_s}$ چه تغییری می‌کند؟

شکل ۶۲-۶

حل: فیدبک جریان سری است. چون AB بزرگ است، بنابراین A_{gf} وابسته به $\frac{1}{B}$ است:

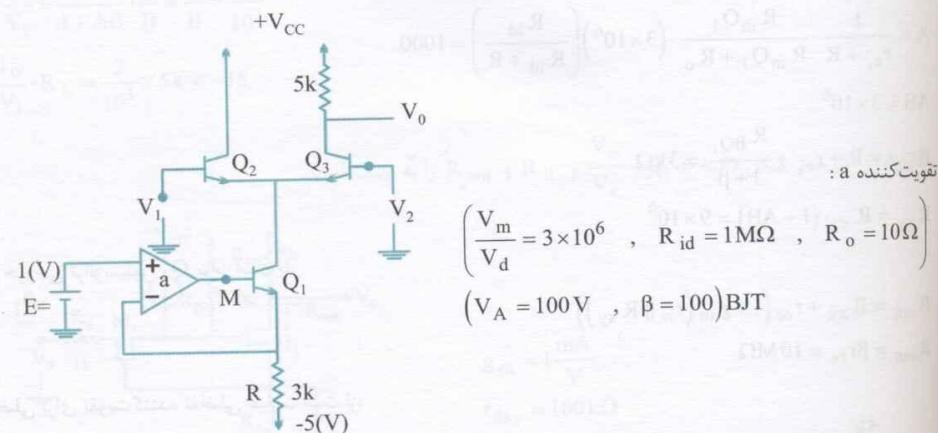
$$A_{gf} = \frac{I_o}{V_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} = \frac{1}{B}$$

در این صورت با دو برابر شدن R_L ، بهره ولتاژ نیز دو برابر می‌شود:

$$A_{vf} = \frac{I_o}{V_s} \cdot R_L$$

... تقویت کننده‌های با ۲۹۵

مثال ۱۶: در مدار شکل (۶۳-۶) مشخصات اجزا عبارت اند از:

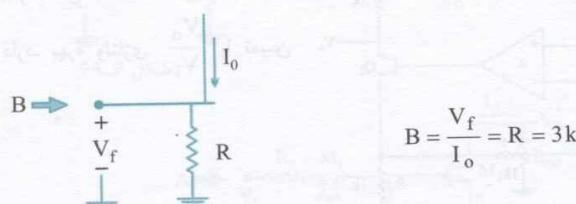


شکل ۶۳-۶

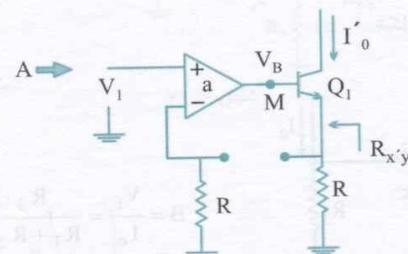
CMRR در فرکانس کم چقدر است؟

حل: Q_1 همراه با تقویت کننده a به صورت فیدبک جریان سری وصل شده‌اند. Q_1 به صورت منبع جریان با مقاومت داخلی R_{out} برای تقویت کننده تفاضلی کار می‌کند:

$$V_{(+)} = V_{(-)} \Rightarrow I_{Q_1} = 2mA$$

در مورد ترکیب Q_1 و a داریم:

شکل ۶۴-۶



شکل ۶۵

$$A = \frac{I_o}{V_b} \cdot \frac{V_b}{V_{id}} \cdot \frac{V_{id}}{V_i}$$

$$A = \frac{1}{r_{e_1} + R} \cdot \frac{R_{in} Q_1}{R_{in} Q_1 + R_o} \cdot \left(3 \times 10^6\right) \left(\frac{R_{id}}{R_{id} + R} \right) \approx 1000$$

$$AB = 3 \times 10^6$$

$$R_{xy'} = R + r_{e_1} + \frac{R_{BQ_1}}{1 + \beta} \approx 3 k\Omega$$

$$R_{xy} = R_{xy'} (1 + AB) \approx 9 \times 10^9$$

قاومت خروجی ترانزیستور Q_1 برابر است با:

$$R_{out} \approx R_{xy} + r_{ce} \left(1 + g_m (r_\pi \parallel R_{xy}) \right)$$

$$R_{out} \approx \beta r_{ce} = 10 M\Omega$$

بهره تفاضلی برای تقویت‌کننده تفاضلی عبارت است از:

$$A_d = \frac{5k}{2r_e} \approx 100$$

بهره وجه مشترک برای تقویت‌کننده تفاضلی عبارت است از:

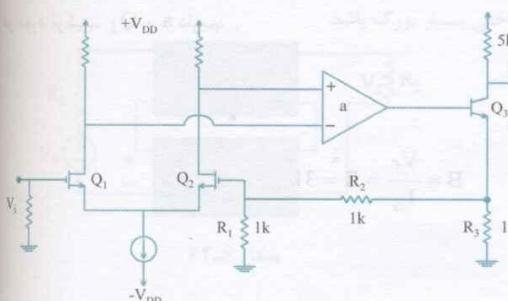
$$A_{CM} = -\frac{5k}{2R_{out}} \approx 2.5 \times 10^{-4}$$

$$CMRR = \frac{R_{out}}{r_e} = \frac{10 M\Omega}{25 \Omega} = 4 \times 10^5 \Rightarrow CMRR \approx 112 dB$$

مثال ۱۷: در مدار شکل (۶۶)، تقویت‌کننده

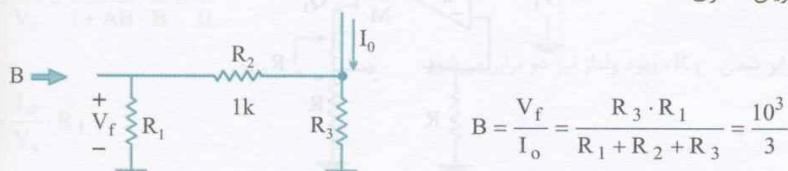
بهره بزرگی دارد. بهره ولتاژی $\frac{V_o}{V_i}$ را تعیین

کنید.



شکل ۶۶

حل: فیدبک از نوع جریان - سری است.



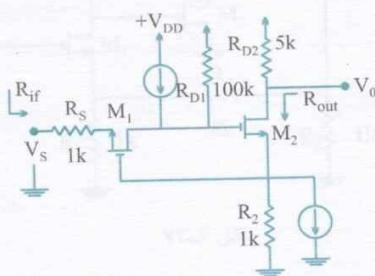
شکل ۶۷

٣٩٧ تقویت کننده‌های با ...

چون بهره a خیلی بزرگ است، انتظار می‌رود AB خیلی بزرگ باشد:

$$A_{gf} = \frac{I_o}{V_i} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} = \frac{1}{B} = \frac{3}{10^3}$$

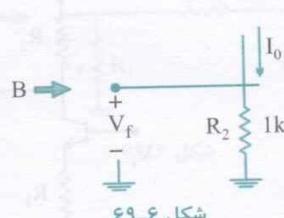
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{I_o}{V_i} \cdot R_L = \frac{3}{10^3} \times 5k = -15$$

مثال ۱۸: در مدار شکل (۶۸-۶)، بهره $\frac{V_o}{V_s}$ را به دست آورید.

شکل ۶۸-۶

$$g_m = 1 \frac{mA}{V}$$

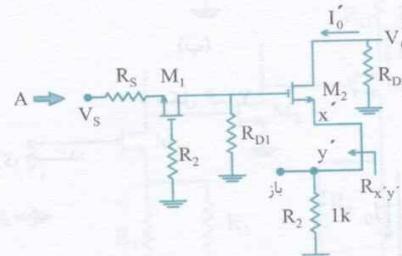
$$r_{ds2} = 100 k\Omega$$



شکل ۶۹-۶

حل: فیدبک از نوع جریان - سری است.

$$B = \frac{V_f}{I_0} = R_2 = 1k$$



شکل ۷۰-۶

$$A = \frac{I'_o}{V_s} = \frac{I'_o}{V_{g_2}} \cdot \frac{V_{g_2}}{V_{g_1}} \cdot \frac{V_{g_1}}{V_s}$$

$$A = \left(\frac{1}{\frac{1}{g_{m_2}} + R_2} \right) \left(g_m R_{D_1} \right) \left(\frac{\frac{1}{g_{m_1}}}{\frac{1}{g_{m_1}} + R_s} \right)$$

$$A = \left(\frac{1}{2k} \right) (100) \left(\frac{1}{2} \right) = \frac{100}{4k}$$

$$AB = \frac{100}{4k} \times 1k = 25$$

$$\frac{I_o}{V_s} = \frac{25}{26} \times \frac{1}{1k}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o}{V_s} \cdot R_{D_2} = \frac{25}{26} \times \frac{1}{1k} \times 5k = -4.8$$

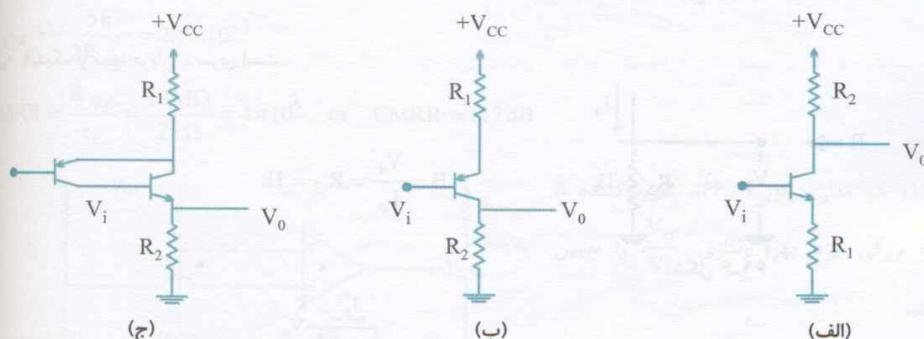
$$R_{x'y'} = R_2 + \frac{1}{g_m} = 2k\Omega$$

$$R_{xy} = R_{x'y'} (1 + AB) = 52k\Omega$$

$$R_{out} = r_{ds_2} (1 + g_m R_{xy}) \approx 5.2M\Omega$$

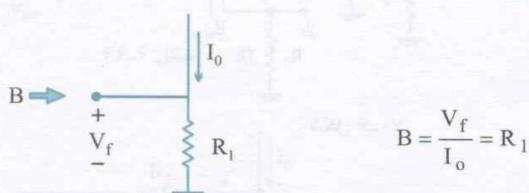
$$R_{if} = \left(R_s + \frac{1}{g_m} \right) (1 + AB) = 52k\Omega$$

مثال ١٩: در مدار شکل (٧١-٦) (الف و ب و ج)، مقدار B را به دست آورید.



شكل ٧١-٦

هر سه مدار از نوع فیدبک جریان - سری هستند:

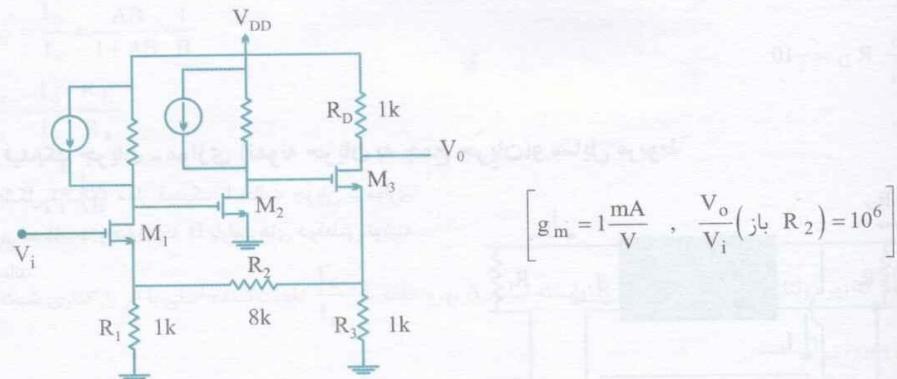


شكل ٧٢-٦

$$B = \frac{V_f}{I_o} = R_1$$

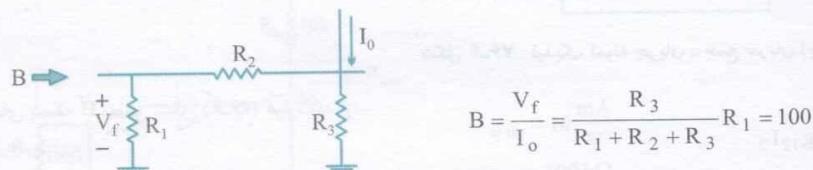
تقویت کننده‌های با ... ۲۹۹

مثال ۲۰: در مدار شکل (۷۳-۶) بهره ولتاژی $\frac{V_o}{V_i}$ را به دست آورید.

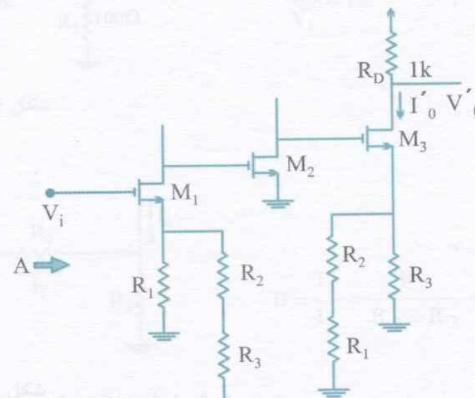


شکل ۷۳-۶

حل: فیدبک جریان - سری است.



شکل ۷۴-۶



شکل ۷۵-۶

$$A = \frac{V'_o}{V_i} \approx \frac{\frac{V'_o}{R_D}}{\frac{V_i}{R_3}} \approx \frac{1}{R_D} \cdot \frac{V'_o}{V_i} \approx \frac{10^6}{1k} = 1000$$

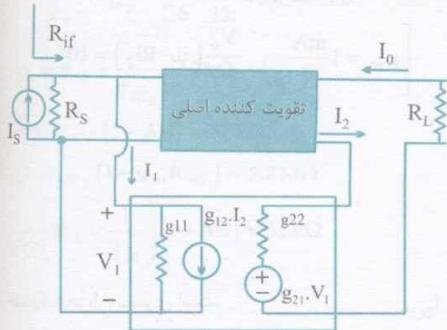
$$AB = 10^5$$

$$\frac{I_o}{V_i} = \frac{1}{B} = \frac{1}{100}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{I_o}{V_i} \cdot R_D = -10$$

د) فیدبک جریان - موازی (نمونه جریان به جمع جریان و مسایل مربوط)

در شکل (۷۶) مدار فیدبک با حالت جریان - موازی رسم شده است و در شبکه B پارامترهای دو نقطی نوشته شده‌اند.



شکل ۷۶-۶ فیدبک نمونه جریان - جمع جریان (جریان - موازی)

پارامترهای شبکه B مطابق شکل (۷۶-۶) عبارت‌اند از:

$$I_1 = g_{11}V_1 + g_{12}I_2 \quad (۳۹-۶)$$

$$V_2 = g_{21}V_1 + g_{22}I_2 \quad (۴۰-۶)$$

$$g_{11} = \frac{I_1}{V_1} \Bigg|_{I_2=0} \quad (\text{خروجی باز})$$

$$g_{12} = B = \frac{I_1}{I_2} \Bigg|_{V_1=0} \quad (\text{ورودی صفر})$$

$$g_{21} = \frac{V_2}{V_1} \Bigg|_{I_2=0} \quad (\text{خروجی باز})$$

$$g_{22} = \frac{V_2}{I_2} \Bigg|_{V_1=0} \quad (\text{ورودی صفر})$$

g_{11} : اثر بارگذاری شبکه B در ورودی تقویت‌کننده اصلی است.

g_{22} : اثر بارگذاری شبکه B در خروجی تقویت‌کننده اصلی است.

g_{12} : مقدار شبکه فیدبک.

از V_1 صرف‌نظر می‌شود.

٣٠١ تقویت کننده‌های با ...

در فیدبک نمونه جریان به جمع جریان کافی است $g_{11} + g_{22}$ به تقویت‌کننده اصلی اعمال شود تا بهره حلقه باز A به دست آید و با محاسبه g_{12} که B است، حاصل ضرب AB تعیین شود.

$$A_{if} = \frac{I_o}{I_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} \quad (41)$$

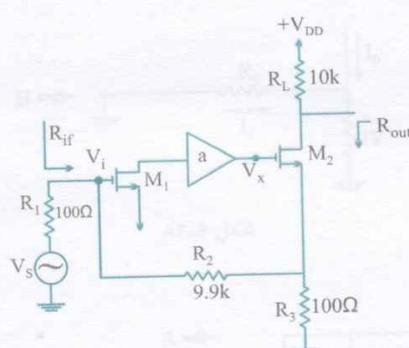
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o}{I_s} \cdot \frac{R_L}{R_s} \quad (42)$$

$$R_{if} = \frac{R_i}{1+AB} \quad (43)$$

$$R_{of} = R_o(1+AB) \quad (44)$$

دیده می‌شود که بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_s}$ به R_L و R_s وابسته است. A بهره حلقه باز تقویت‌کننده اصلی با اثر بارگذاری شبکه B در خروجی و ورودی آن است.

مثال ۷۷-۶: در مدار شکل (۷۷-۶)، بهره R_{out} و R_{if} را به دست آورید.



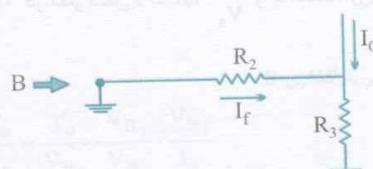
شکل ۷۷-۶

$$g_m = 10 \frac{mA}{V}$$

$$r_{ds} = 100 k\Omega$$

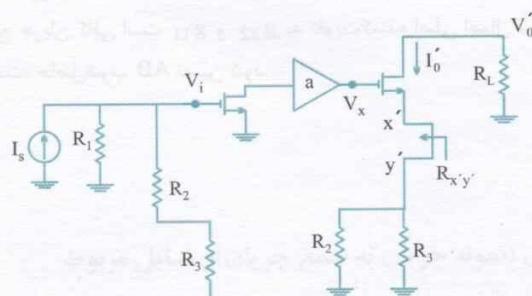
$$\frac{V_x}{V_i} = 10^5$$

حل: فیدبک جریان - موازی است.



شکل ۷۸-۶

$$B = \frac{I_f}{I_0} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{1}{100}$$



شكل ٦٩-٦ مدار حلقه باز با اثر بارگذاري B در ورودي و خروجي

$$A = \frac{I'_o}{I_s} = \frac{I'_o}{V_x} \cdot \frac{V_x}{V_i} \cdot \frac{V_i}{I_s}$$

$$A = \frac{1}{\frac{1}{g_m} + R_2 \parallel R_3} \cdot (10^5) (R_1 \parallel (R_2 + R_3)) = 50000$$

$$AB = 500$$

$$\frac{I_o}{I_s} = \frac{500}{501} \cdot \frac{1}{B} = 100$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o \cdot R_L}{I_s \cdot R_1} = 100 \frac{10k}{100\Omega} = 10^4$$

$$R_{xy'} = \frac{1}{g_m} + R_2 \parallel R_3 \approx 200\Omega$$

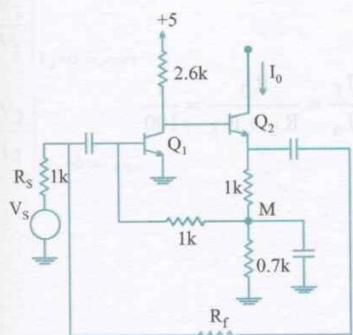
$$R_{xy} = R_{xy'} (1 + AB) \approx 200\Omega \times 500 \approx 10^5 \Omega$$

$$R_{out} \approx r_{ds} (1 + g_m R_{xy}) \approx 10^8 \Omega$$

$$R_{if} \parallel R_1 = \frac{R_1 \parallel (R_2 + R_3)}{1 + AB} \approx \frac{100\Omega}{500} \approx 0.2\Omega$$

$$R_{if} \approx 0.2\Omega$$

مثال ٤٢: در مدار شکل (٨٠-٦)، $\frac{I_o}{V_s}$ را به دست آورید.



$$\beta = 500, V_{BE} = 0.7$$

شكل ٨٠-٦

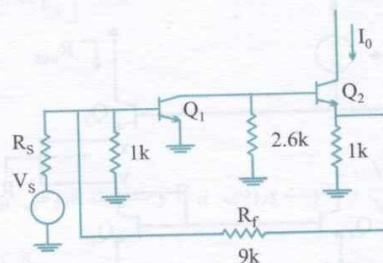
تقویت کننده‌های با ...

۳۰۳

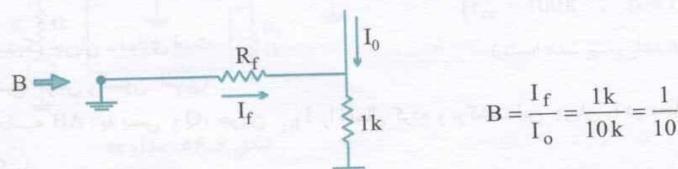
حل: فیدبک از نوع جریان - موازی است.

$$\begin{aligned} V_{B_1} &= 0.7 \Rightarrow V_M = 0.7(V) \\ I_2 &\approx 1\text{mA} \Rightarrow V_{E_2} \approx 1.7 \Rightarrow V_{B_2} \approx 2.4V \\ I_1 &\approx \frac{5-2.4}{2.6k} \approx 1\text{mA} \Rightarrow r_{e_1} = r_{e_2} \approx 25\Omega \end{aligned}$$

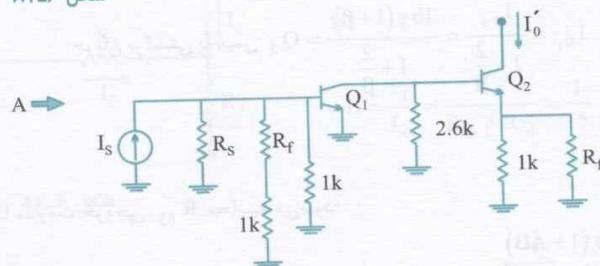
مدار ac در شکل (۸۱-۶) نشان داده شده است.



شکل ۸۱-۶



شکل ۸۲-۶



شکل ۸۳-۶ مدار حلقه باز با اثر بارگذاری B

$$\begin{aligned} A &= \frac{I'_o}{I_s} = \frac{I'_o}{V_{B_2}} \cdot \frac{V_{B_2}}{V_{B_1}} \cdot \frac{V_{B_1}}{I_s} \\ A &\approx \frac{1}{r_{e_2} + R'_{E_2}} \cdot \frac{R'_{L_1}}{r_{e_1}} \cdot (R_{B_1}) \\ R_{B_1} &= R_s \parallel (R_f + 1k) \parallel R_{in_1} \parallel 1k \end{aligned}$$

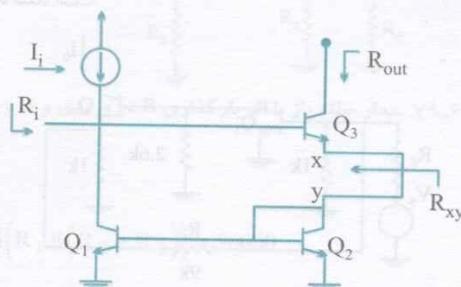
$$A \approx 50$$

$$AB = 5$$

$$\frac{I_o}{I_s} = \frac{5}{6} \cdot \frac{1}{B} \approx 8$$

$$\frac{I_o}{V_s} \approx \frac{I_o}{I_s} \cdot \frac{1}{R_s} \approx \frac{8}{1000}$$

مثال ۲۳: در مدار شکل (۸۴-۶) مقاومت R_i و R_{out} را به دست آورید.



شکل ۸۴-۶

حل: فیدبک جریان - موازی است.

(مدار منبع جریان ویلسون است.)

برای محاسبه AB : به بیس Q_3 ، جریان I_{b_3} را اعمال کرده و برگشت این جریان را در محل بیس Q_3 به I_{b_3} ، مقدار

تعیین کنید.

وروودی $\Rightarrow I_{b_3}$

$$I_{e_3} = i_{b_3}(1 + \beta) \Rightarrow I_{c_1} = \frac{I_{e_3}}{1 + \frac{2}{\beta}} = \frac{I_{b_3}(1 + \beta)}{1 + \frac{2}{\beta}} = Q_3$$

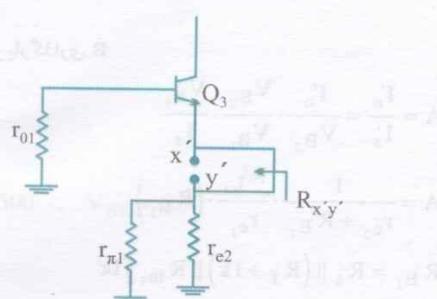
جریان برگشتی به بیس Q_3

$$AB = \frac{I_{c_1}}{I_{b_3}} = \frac{(1 + \beta)\beta}{2 + \beta}$$

برای محاسبه R_{out} ، ابتدا مقاومت خروجی R_{xy} محاسبه می‌شود:

$$R_{xy} = R_{x'y'}(1 + AB)$$

$A(y')$ \Rightarrow



شکل ۸۵-۶

... تقویت کننده‌های با

۳۰۵

$$R_{xy'} = r_{e_3} + r_{e_2} + \frac{R_{b_3}}{1+\beta} = 2r_e + \frac{r_{o_1}}{1+\beta} \approx \frac{r_o}{1+\beta}$$

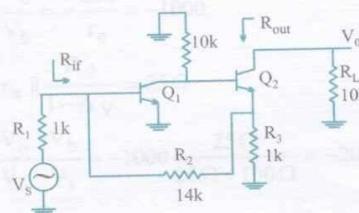
$$R_{xy} = \frac{r_o}{1+\beta}(1+AB) = r_o$$

$$R_{out} = r_{o_3} \left[1 + g_m \frac{r_{\pi_3} (R_{xy})}{r_{\pi_3} + R_{xy} + R_{b_3}} \right] \approx \frac{\beta r_o}{2}$$

برای محاسبه مقاومت ورودی R_i

$$R_i = \frac{r_{\pi_3} + r_{e_2} (1+\beta)}{1+AB} \approx 2r_e$$

مثال ۲۴: در مدار شکل (۸۶-۶) بهره $\frac{V_o}{V_s}$ و مقاومت ورودی R_{if} و مقاومت خروجی R_{out} را محاسبه کنید.

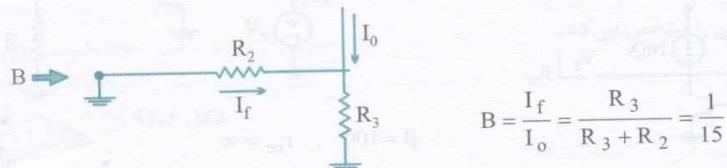


$$(r_{ce} = 100k, \beta = 100, r_e = 10\Omega)$$

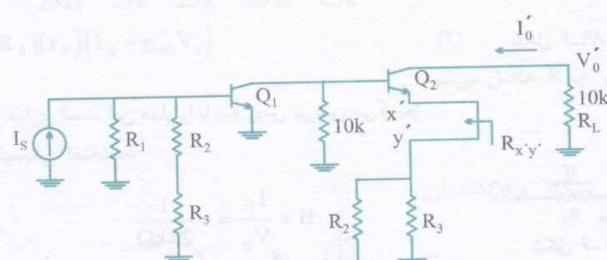
(Model drawn ac circuit diagram)

شکل ۸۶-۶ مدل ac

حل: فیدبک از نوع جریان - موازی است.



شکل ۸۷-۶



شکل ۸۸-۶ مدار حلقه باز با اثر بارگذاری B در ورودی و خروجی

$$A = \frac{I'_0}{I_s} = \frac{I'_0}{V_{b_2}/V_{b_1}} \cdot \frac{V_{b_2}}{V_{b_1}} \cdot \frac{V_{b_1}}{I_s}$$

$$A = \frac{1}{r_{e_2} + (R_2 \parallel R_3)} \cdot \frac{10k \parallel R_{in_2}}{r_{e_1}} \cdot (R_1 \parallel (R_2 + R_3) \parallel R_{in_1}) = 450$$

$$AB = 30$$

$$A_{if} = \frac{I_o}{I_s} = \frac{30}{31} \cdot \frac{1}{B} \approx 15$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o}{I_s} \cdot \frac{R_L}{R_1} = 15 \cdot \frac{10k}{1k} = 150$$

$$R_{if} \parallel R_1 = \frac{R_1 \parallel (R_2 + R_3) \parallel r_{\pi_1}}{1 + AB} \approx 15\Omega \Rightarrow R_{if} \approx 15\Omega$$

$$R_{xy'} = r_{e_2} + \frac{R_{b_2}}{1 + \beta} + R_2 \parallel R_3 \approx 1k\Omega$$

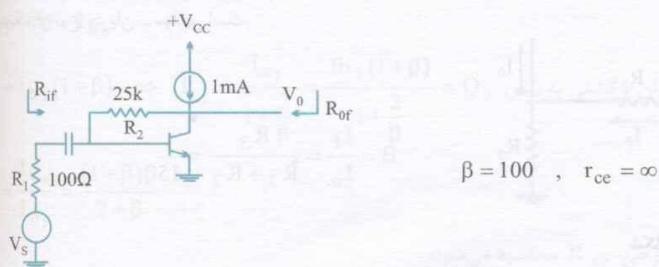
$$R_{xy} = R_{x'y'}(1 + AB) \approx 31k\Omega$$

$$R_{out} = r_{ce} \left[1 + g_m \frac{r_{\pi} \cdot R_{xy}}{r_{\pi} + R_{xy} + R_{b_2}} \right] \approx 7.5M\Omega$$

$$R_{b_2} = R_{c_1} \parallel r_{ce_1}$$

$$r_{\pi} = r_e(1 + \beta) \approx 1k\Omega$$

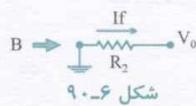
مثال ٢٥: در مدار شکل (٨٩-٦) بهره $\frac{V_o}{V_s}$ را به دست آورید.



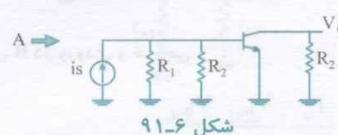
شکل ٨٩-٦

حل: فیدبک از نوع ولتاژ موازی است. این مدار را با سه روش بررسی می کنیم:

روش اول: حل از روش فیدبکی گفته شده:



$$B = \frac{I_f}{V_o} = -\frac{1}{25k\Omega}$$



شکل ٩١-٦

تقویت کنندۀ‌های با ...

۳۰۷

$$A = \frac{V'_o}{I_s} = \frac{25k}{r_e} [R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi] \approx -100k\Omega$$

$$AB = 4$$

$$\frac{V_o}{I_s} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} = -20000$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{I_s} \cdot \frac{1}{R_1} \approx -200$$

$$R_{if} \parallel R_1 = \frac{R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi}{1+AB} = 20\Omega \Rightarrow R_{if} = 25\Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1+AB} = \frac{25k\Omega}{5} \approx 5k\Omega$$

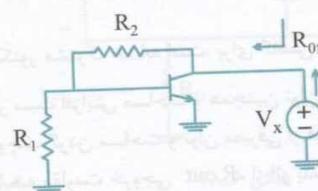
روش دوم: حل از روش میلر:

$$A_V = \frac{V_o}{V_b} \approx -\frac{25k}{r_e} \approx -1000$$

$$R_{in} = r_\pi \parallel \frac{R_2}{1-A_V} \approx 25\Omega$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_b} \cdot \frac{V_b}{V_s} = -1000 \frac{25\Omega}{25\Omega + 100\Omega} \approx -200$$

از پلهه با حالت قبل مطابقت دارد.

با روش میلر نمی‌توان مقاومت خروجی R_{of} را اندازه‌گیری کرد بلکه در مدار اصلی $V_s = 0$ قرار داده شود و نسبت $\frac{V_x}{I_x}$ اندازه مقاومت خروجی را مشخص می‌کند.

شکل ۹۲-۶

$$V_x = V_o$$

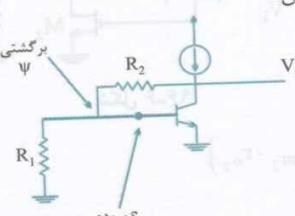
$$I_x = g_m V_i + \frac{V_o - V_i}{R_2} \approx \frac{V_i}{25\Omega} + \frac{V_o}{25k} - \frac{V_i}{25x} \approx \frac{V_i}{25\Omega} + \frac{V_o}{25k} \quad (1)$$

$$V_i = [R_1 \parallel r_\pi] I_i = (R_1 \parallel r_\pi) (I_x - g_m V_i) \quad (2)$$

(روابط (1) و (2)، مقدار R_{of} حاصل می‌شود:

$$R_{of} = \frac{V_x}{I_x} \approx 5000\Omega$$

تعیین مقدار AB با انتقال سیگنال و برگشت آن:



شکل ۹۳-۶

$$\Psi = \delta \Rightarrow V_o \approx g_m \cdot \delta [R_2 + R_1 \| r_{\pi}] = 1000(\delta)$$

$$\Psi = \frac{V_o}{R_2 + R_1 \| r_{\pi}} (R_1 \| r_{\pi}) = 4(\delta)$$

$$\frac{\Psi}{\delta} = AB = 4$$

$$AB = [R_2 \| R_1 \| r_{\pi}] \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_i} = A$$

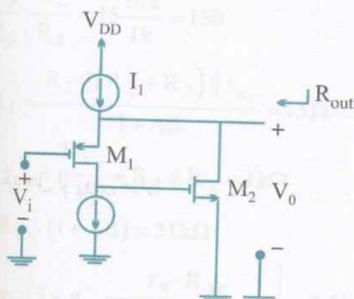
$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1+AB} = \frac{1}{1+4} = \frac{1}{5}$$

که با محاسبه AB در روش فیدبکی مطابقت دارد.

مثال ۲۶: در مدار شکل (۹۴-۶) که به نام آبر دنیال کننده

سورس است، مقاومت خروجی و بهره $\frac{V_o}{V_i}$ را به دست

آورید.



شکل ۹۴-۶

حل: اگر ترانزیستور M_2 وصل نباشد، مقاومت خروجی M_1 برابر با $\frac{1}{g_{m_1} + g_{m_b}}$ است که این مقاومت خوبی بزرگتر از

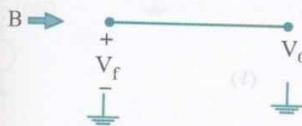
کلکتور مشترک مشابه است. برای کاهش مقاومت خروجی M_1 می‌توان $\frac{W}{L}$ را زیاد کرد تا جریان بایاس زیاد شود. این

امر سبب افزایش مساحت و همچنین توان تلفاتی (صرف توان) ترانزیستور می‌شود. برای کم کردن مقاومت خروجی ضریب

کوچک کردن مساحت و توان مصرفی از فیدبک منفی مطابق شکل (۹۴-۶) استفاده می‌شود.

برای محاسبه مقاومت خروجی R_{out} ، از اثر بدنی g_{m_b} و مقاومت داخلی منبع جریان‌ها صرف‌نظر می‌شود.

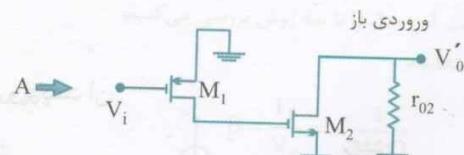
فیدبک ولتاژ - سری است:



شکل ۹۵-۶

$$A = (A_2)(A_1) = \frac{V'_o}{V'_i} = g_{m_1}(r_{o_1})(g_{m_2} \cdot r_{o_2})$$

$$B = 1$$



شکل ۹۶

ورودی باز

V'_o

r_{o_2}

V_o

تقویت کننده‌های با ...

۳۰۹

$$AB = g_{m_1} \cdot g_{m_2} (r_{o_1} \cdot r_{o_2})$$

$$R_{out} = \frac{R_o}{1+AB} = \frac{r_{o_2}}{1+g_{m_1} \cdot g_{m_2} (r_{o_1} \cdot r_{o_2})} \approx \frac{1}{g_{m_1} \cdot g_{m_2} \cdot r_{o_1}}$$

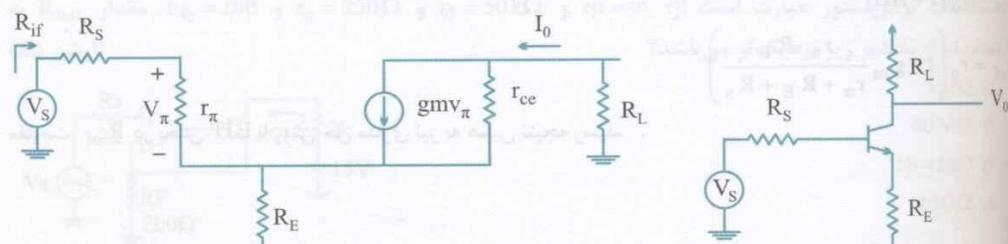
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} = \frac{g_{m_1} \cdot g_{m_2} (r_{o_1} \cdot r_{o_2})}{1+g_{m_1} \cdot g_{m_2} (r_{o_1} \cdot r_{o_2})} \times \frac{1}{1}$$

فرض کنید $r_{o_1} = r_{o_2} = 100\text{k}\Omega$ و $g_{m_1} = g_{m_2} = 1\frac{\text{mA}}{\text{V}}$

$$R_{out} \approx 10\Omega$$

$$\frac{V_o}{V_i} = 0.999$$

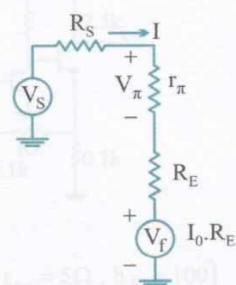
مثال ۲۷: در شکل (۹۷-۶)، تقویت کننده امپیتر مشترکی دیده می‌شود. این مدار به صورت فیدبک موضعی جریان - سری (نمونه جریان - جمع ولتاژ) است. در شکل (۹۸-۶) مدار معادل آن دیده می‌شود. در مدار شکل (۹۹-۶) و (۱۰۰) مدار B و مدار A حلقه باز رسم شده است:



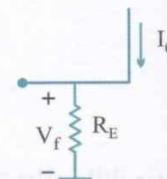
شکل ۹۸-۶

شکل ۹۷-۶

برای سهولت محاسبات از $r_o = r_{ce}$ صرف نظر شده است:



شکل ۱۰۰-۶



شکل ۹۹-۶

$$B = \frac{V_f}{I_0} = R_E$$

$$\frac{V_s - V_f}{R_s + r_\pi + R_E} = I$$

طرفین رابطه را در $g_m V_\pi$ ضرب کنید:

$$g_m V_\pi \frac{V_s - V_f}{R_s + r_\pi + R_E} = g_m \cdot V_\pi (I)$$

$$g_m V_\pi = I_o$$

$$I_o \frac{V_s - V_f}{R_s + r_\pi + R_E} = g_m (r_\pi)$$

$$A = \frac{I_o}{V_s - V_f} = \frac{g_m r_\pi}{R_s + r_\pi + R_E} \quad (\text{بهره حلقه باز})$$

$$AB = g_m \frac{r_\pi \cdot R_E}{r_\pi + R_E + R_s} = \frac{\beta R_E}{r_\pi + R_E + R_s}$$

$$R_{if} = (R_s + r_\pi + R_E)(1 + AB)$$

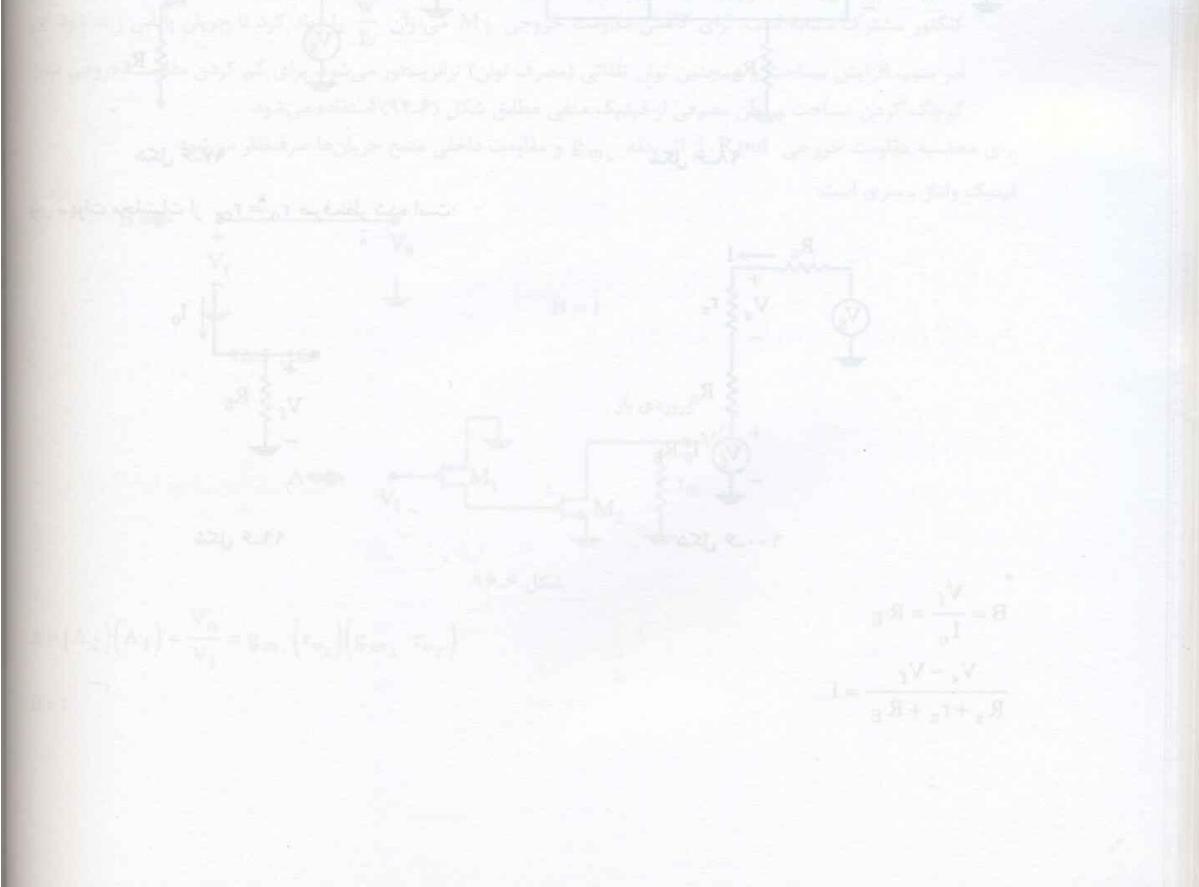
$$R_{if} = R_s + r_\pi + R_E(1 + AB)$$

$$R_{if} = R_s + (r_e + R_E)(1 + \beta)$$

$$R_{of} = r_o(1 + AB)$$

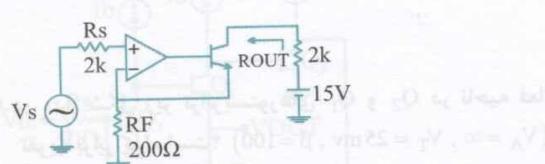
$$R_{of} \approx r_o \left(1 + g_m \frac{r_\pi \cdot R_E}{r_\pi + R_E + R_s} \right)$$

مقاومت R در بخش BJT با روش حل مداری نیز به همین نتیجه رسید.

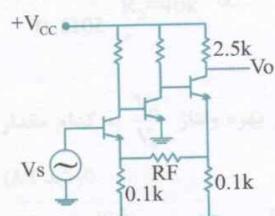


مجموعه تست‌های آزمون سراسری

۱. در شکل مقابل مشخصات OP-AmP عبارت است از: $R_i = 2\text{ M}\Omega$ و $R_o = 50\Omega$ و $AV = 10^5 \frac{\text{V}}{\text{V}}$. همچنین مشخصات ترانزیستور عبارت است از: $r_{\pi} = 250\Omega$ و $r_0 = 50\text{k}\Omega$ و $r_{\mu} = \infty$ و $h_{fe} = 100$. مقدار R_{out} به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر می‌باشد؟ (۸۵)

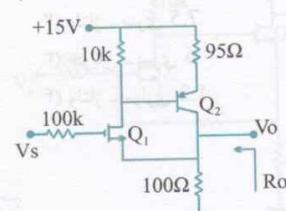


۲. در مدار شکل مقابل R_F را برای بهره ولتاژ مدار ۱۰۰- محاسبه کنید. بهره ولتاژ تقویت‌کننده اصلی -۵۰۰۰ است. (۸۶)

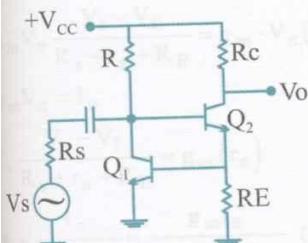


۳. برای مدار مقابل بهره ولتاژ و مقاومت خروجی تقریباً برابر است با: (۸۶)

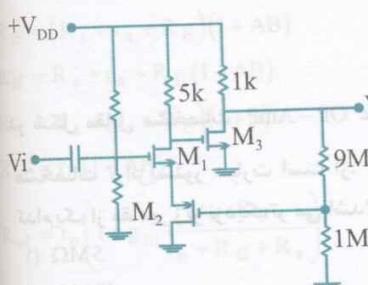
$$(g_m1 = 2m\text{S}, r_{e2} = 5\Omega, h_{f_e} = 100)$$



(ارشد ۶)

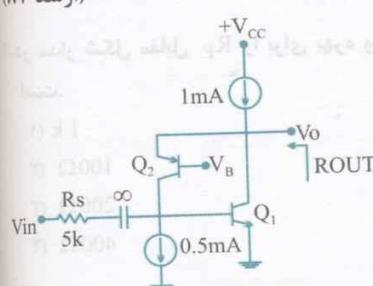


(ارشد ۷)

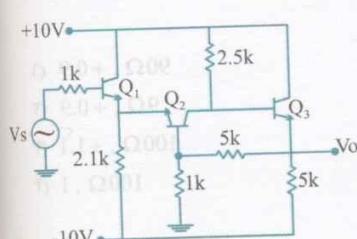


۶. در مدار شکل زیر ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیه فعال بایاس شده‌اند. مقدار مقاومت خروجی آن تقریباً برابر کدام است؟ ($V_A = \infty$, $V_T = 25\text{ mV}$, $\beta = 100$)

(ارشد ۷)



۷. در شکل روبرو نوع فیدبک و مقدار تقریبی بهره عبارت است از: ($\beta = 100$, $V_{BE} = 0.7\text{ V}$)



۴. نوع فیدبک را در مدار زیر، مشخص کنید.

- ۱) فیدبک مثبت از نوع جریان - ولتاژ
- ۲) فیدبک مثبت از نوع جریان - جریان
- ۳) فیدبک منفی از نوع جریان - ولتاژ
- ۴) فیدبک منفی از نوع جریان - جریان

$$5. \text{ مقدار بهره } \frac{V_o}{V_i} \text{ کدام است؟ (} g_m = 4 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \text{)}$$

10 (۱)

9 (۲)

8 (۳)

7 (۴)

0.5Ω (۱)

1Ω (۲)

25Ω (۳)

50Ω (۴)

۱) ولتاژ - سری 5.5

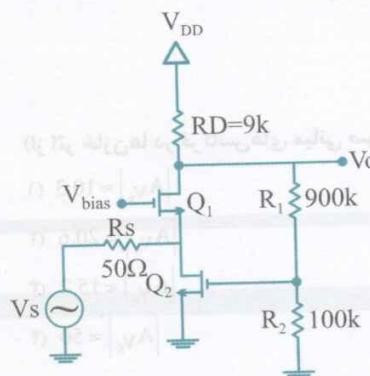
۲) ولتاژ - سری 7.5

۳) جریان - سری 6

۴) ولتاژ - موازی 1.2

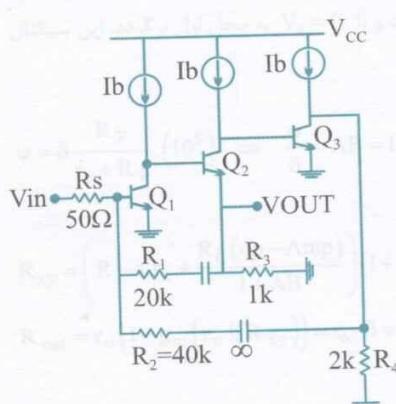
٣١٣ تقویت کننده‌های با ...

(ارشد ۸۸) ۸. در مدار شکل زیر مقدار $\frac{V_0}{V_s}$ برابر با کدام مقدار است؟ $r_0 = \infty$, $g_{m1} = g_{m2} = 20 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$



۹. در مدار شکل زیر همه ترانزیستورهای مدار در ناحیه فعال بایاس شده‌اند و منابع جریان I_b ایده‌آل هستند. بهره ولتاژ تقریباً برابر است با: $(V_A = \infty, V_T = 25 \text{ mV}, \beta = 100, I_b = 1 \text{ mA})$

$$(ارشد ۸۸) \quad |A_V| = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$



$$|A_V| = 3.0 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

$$|A_V| = 4.0 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

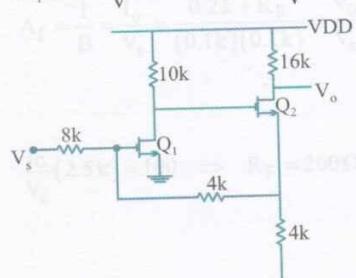
$$|A_V| = 5.0 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

$$|A_V| = 6.0 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

۱۰. در شکل مقابله ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در ناحیه اشباع بایاس شده‌اند، مقدار بهره ولتاژ به کدام مقدار نزدیک‌تر است؟

(ارشد ۸۹)

$$g_{m1} = 10 \frac{\text{mA}}{\text{V}}, \quad g_{m2} = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$



2 (۱)

8 (۲)

4 (۳)

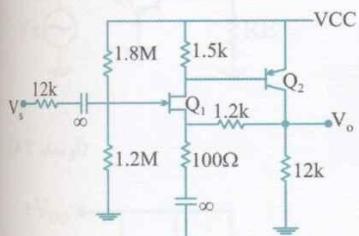
16 (۴)

(۸۹) (ارشد) ۱۱. در شکل روبرو مقدار بهره ولتاژ $A_{V_s} = \frac{V_o}{V_s}$ چقدر است؟

$$\beta = 50, \quad I_C = 1\text{mA}, \quad V_P = -3\text{V}$$

$$g_{m_{FET}} = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}}, \quad r_{ds} = 50\text{k}\Omega$$

(از اثر خازن‌ها در فرکانس‌های میانی صرف‌نظر شود)



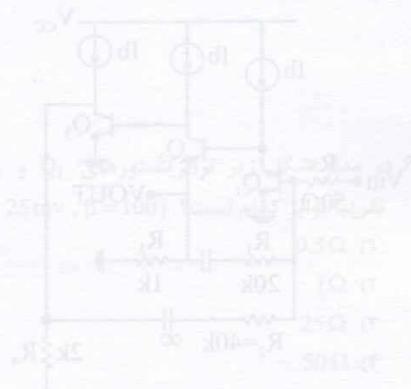
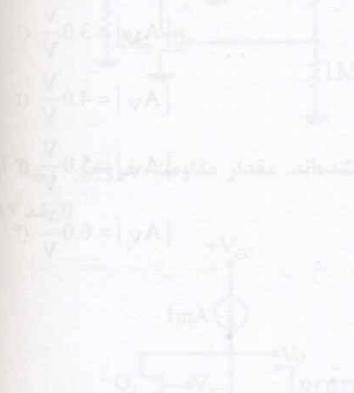
$$|A_{V_s}| \approx 10.3 \quad (1)$$

$$|A_{V_s}| \approx 20.6 \quad (2)$$

$$|A_{V_s}| \approx 15.2 \quad (3)$$

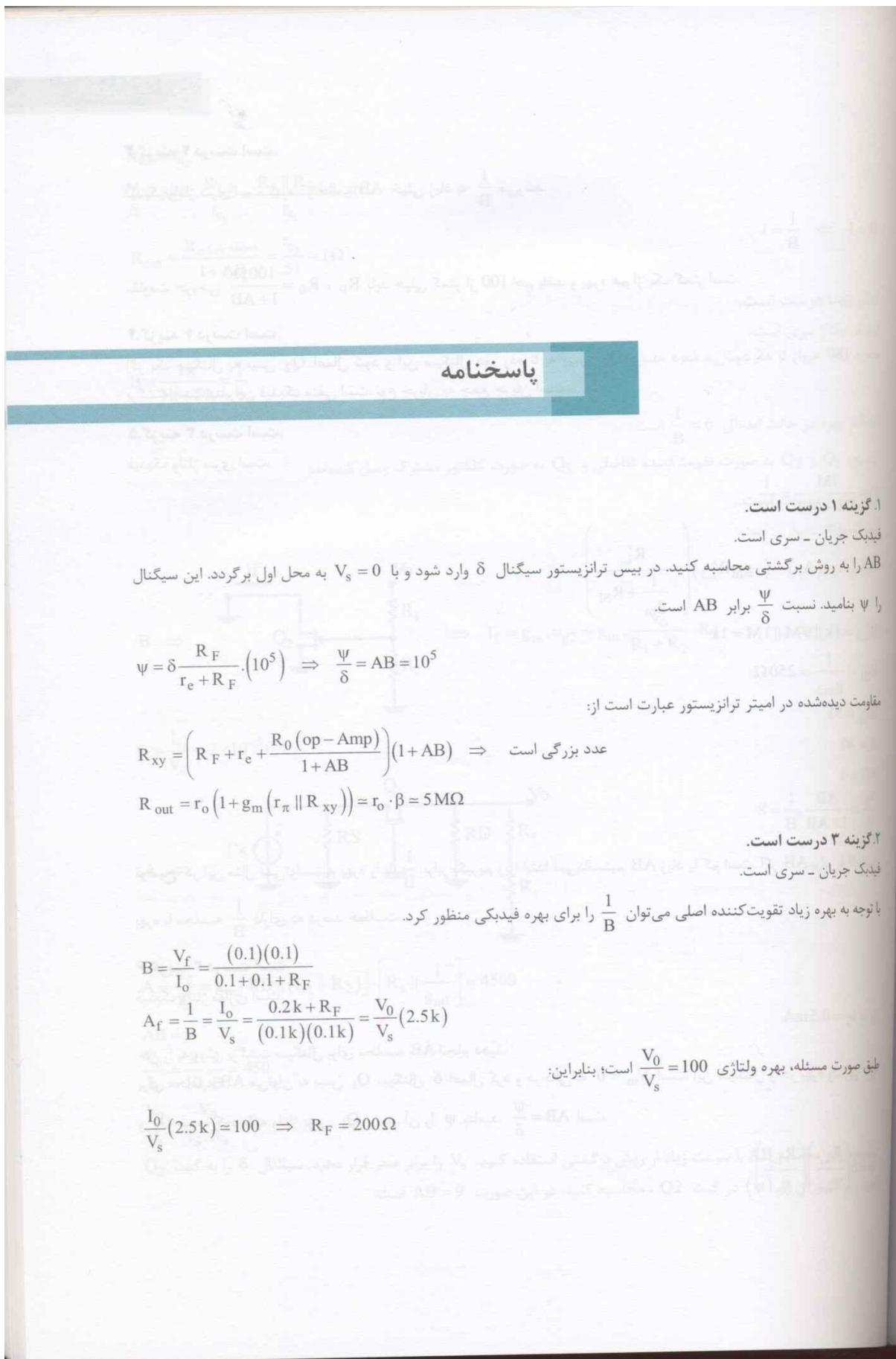
$$|A_{V_s}| \approx 50 \quad (4)$$

$$(A_m = 1,001 = 1,000 + 1 = 1\text{V})$$



$$(A_m = 1,001 = 1,000 + 1 = 1\text{V})$$





۳. گزینه ۲ درست است.

فیدبک ولتاژ سری است. بهره در حالت AB خیلی زیاد به $\frac{1}{B}$ می‌رسد.

$$B=1 \Rightarrow \frac{1}{B}=1$$

مقاومت خروجی $R_0 = \frac{100\Omega}{1+AB}$ ، R_0 باید خیلی کمتر از 100 اهم باشد و بهره هم از یک کمتر است.

۴. گزینه ۴ درست است.

اگر یک سیگنال به بیس Q2 اعمال شود و این سیگنال دور زده تا به بیس Q2 برسد، دیده می‌شود که با زاویه 180 درجه برگشته است؛ بنابراین فیدبک منفی است. نوع جریان به جمع جریان است.

۵. گزینه ۳ درست است.

فیدبک ولتاژ سری است.

$$B = \frac{1M}{1M + 9M} = \frac{1}{10}$$

$$A = (A_3)(A_1) = (-g_m R'_{L3}) \left(-\frac{R'_{L1}}{\frac{1}{g_m} + R_{S1}} \right)$$

$$R'_{L3} = 1k \parallel 9M \parallel 1M = 1k$$

$$R_{S1} = \frac{1}{g_m 2} = 250\Omega$$

$$R'_{L1} = 5k$$

$$A = 40$$

$$AB = 4$$

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{1}{B} = 8$$

توضیح: در این مثال نمی‌توانستیم بهره را با $\frac{1}{B}$ برابر بگیریم زیرا ابتدا نمی‌دانستیم AB زیاد یا کم است. اگر AB برابر با 9 باشد، بهره با محاسبه $\frac{1}{B}$ دارای ده درصد خطایست.

۶. گزینه ۲ درست است.

فیدبک ولتاژ موازی است.

$$I_1 = I_2 = 0.5mA$$

حل را به روش برگشت سیگنال برای محاسبه AB انجام دهید.

برای محاسبه AB می‌توان به بیس Q1 سیگنال δ اعمال کرد و در حالی که $V_{in} = 0$ است، این سیگنال را در بهره ولتاژی Q2

و Q_1 ضرب کرد تا به ولتاژ بیس Q1 برسد. آن را ψ بنامید. $AB = \frac{\psi}{\delta}$ است.

$$\psi = \delta \left(\frac{R_{L1}}{r_{e_1}} \right) \left(\frac{R_{L2}}{r_{e_2}} \right)$$

تفویت کننده‌های با ...

۳۱۷

$$R_{L1} = r_{e_2}$$

$$\frac{\Psi}{\delta} = AB = \frac{R_{L2}}{r_{e_1}} = \frac{R_s \parallel R_{in1}}{r_{e_1}} = 50$$

$$R_{out} = \frac{R_o}{1 + AB} = \frac{r_{e_2}}{51} = 1\Omega$$

$$AB = (20k)(10A) = 200A$$

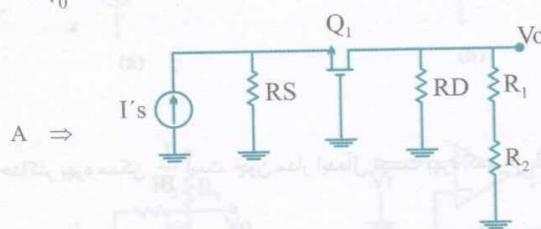
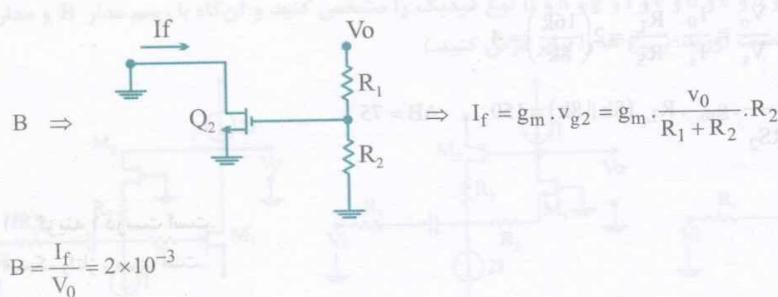
۷. گزینه ۱ درست است.
فیدبک ولتاژ سری است.

$$B = \frac{1k}{1k + 5k} = \frac{1}{6}$$

حداکثر بهره در حالت ایده‌آل $\frac{1}{B}$ است.

نوضیح: Q_1 و Q_2 به صورت تقویت‌کننده تفاضلی و Q_3 به صورت کلکتور مشترک وصل شده‌اند.

۸. گزینه ۳ درست است.
فیدبک ولتاژ - موازی است.



$$AB = 9$$

$$\frac{V_0}{I_s} = \frac{9}{10} \cdot \frac{1}{B} = 450$$

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{V_0}{I_s \cdot R_s} = 9$$

نوضیح: برای محاسبه AB با سرعت زیاد از روش برگشتی استفاده کنید. V_s را برابر صفر قرار دهید. سیگنال δ را به گیت Q_2 نهاده و برگشت آن را (ψ) در گیت Q_2 ، محاسبه کنید. در این صورت $AB = 9$ است.

۹. گزینه ۲ درست است.

فیدبک‌ها از R_1 و R_2 از نوع ولتاژ موازی هستند. برای سرعت در حل، می‌توان مقاومت‌های R_1 و R_2 را به صورت میلر بر حسب بھره‌ها در ورودی قرار داد و مقاومت R_{if} را اندازه‌گیری کرد.

$$\frac{V_0}{V_{BL}} = A_1 = \frac{(A_{Q1})(A_{Q2})}{(CE)(CC)} \approx -4000$$

$$\frac{V_{C3}}{V_{BL}} = A_2 = (AQ_1)(AQ_2)(AQ_3) = -8 \times 10^5$$

(CE) (CE) (CE)

$$R_{if}(\text{مؤثر}) = \frac{R_1}{1+4000} = 5\Omega, R_2(\text{مؤثر}) = \frac{R_2}{1+8 \times 10^5} \approx 0.05\Omega$$

۱۰. گزینه ۳ درست است.

فیدبک، جریان موازی است.

$$B = \frac{I_f}{I_s} = \frac{4k}{4k + 4k} = \frac{1}{2}$$

$$A_f = \frac{I_o}{I_s} \approx \frac{1}{B} \approx 2 \Rightarrow \frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o}{I_s} \cdot \frac{R_L}{R_S} = 2 \left(\frac{16k}{8k} \right) = 4$$

$$A = \frac{1}{\frac{1}{g_m_1} + R_{S2}} \cdot g_m_1 \cdot R_{L_1} (8k \parallel 8k) = 150, AB = 75$$

۱۱. گزینه ۱ درست است.

فیدبک ولتاژ - سری است.

$$B = \frac{100\Omega}{100\Omega + 1.2k} = \frac{1}{13}$$

$$\frac{V_o}{V_s} \approx \frac{1}{B} \approx 13$$

حداکثر بھره ممکن $\frac{1}{B}$ است. چون مدار ایده‌آل نیست بھره کمتر از 13 است که تنها جواب موجود ممکن گزینه (۱) است.

$$\frac{V_o}{V_{in}} \approx A_I \left(\frac{R_2(\text{مؤثر})}{R_2(\text{مؤثر}) + R_S} \right) \approx -4$$