بنام خدا

Subject
Date

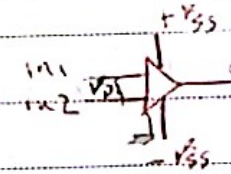
حل ۱

استاد محترم ان تاریخ امتحان ۹۶/۵/۲۰

سرفصل

۱- تقویت کننده های عملیاتی (op-amp)
۲- تقویت کننده های تفاضلی
۳- شیدپک
۴- تنظیم کننده های ولتاژ
۵- اتصال خروجی (صدرت) در تقویت کننده ها
۶- منابع جریان و باریهای فعال

- تقویت کننده عملیاتی : در واقع یک تقویت کننده ولتاژ با بهره ی ولتاژ بسیار زیاد است و معمولاً دارای یک سر خروجی و دو سر ورودی است.



$V_D = V_+ - V_-$

که سرهای ورودی به صورت تفاضلی عمل می کنند به عبارت دیگر این تقویت کننده اختلاف ولتاژ بین دو ورودی (V_D) را تقویت می کند. یکی از دو سر ورودی منفی (معکوس کننده) نامیده می شود زیرا تقویت کننده برای ورودی های اعلام شده به این سر ی (علامت منفی دارد) ضریب ولتاژ منفی دارا بهره منفی است. سر دیگر ورودی مثبت یا غیر معکوس کننده است و سیگنال های ورودی به این سر در خروجی با بهره ی مثبت وارد می شوند.

این تقویت کننده دارای مقاومت خروجی بسیار کوچک (حدود چند اهم) و از مقاومت ورودی بسیار زیادی (بیش از صد کیلو اهم) برخوردار است.

Subject
Date

حل ۲

چون تقویت کننده عملیاتی کیپ قطعه فعال است بنابراین انرژی مصرفی و بایاس توان مستقیم داخلی مورد نیاز تغذیه DC احتیاج دارد.

اتصال به ولتاژ تغذیه از دو سر مشخص صورت می‌گیرد. در بعضی از تقویت کننده‌ها یک سر نیز برای اتصال به زمین در نظر گرفته شده است. علاوه بر این ممکن است سرهایی برای جبران ولتاژ انحراف از میزان ورودی یا کاربردهای خاص دیگر پیش بینی شده باشد. (در مدل واقعی صدق می‌کند)

تقویت کننده‌های عملیاتی ایده‌آل. در واقع یک مدل ساده شده و یک مدل ساده‌ی تقویت کننده‌ی عملیاتی استاندارد برای آن

ویژگی‌های ایده‌آل زیر فرض می‌شود:

۱) بهره‌ی ولتاژ آن بی نهایت است. $A_V = \frac{V_o}{V_i} = \infty$

۲) مقاومت خروجی آن صفر است. $R_o = 0$

۳) مقاومت ورودی آن بی نهایت است. $R_{in} = \infty$

۴) پهنای باند آن بی نهایت است $f_L = \infty$

۵) ولتاژ انحراف از میزان ورودی صفر است. (یعنی برازای $V_D = 0$ ولتاژ خروجی برابر با صفر است ($V_o = 0$)

در حالی که هیچ یک از فرض‌های فوق با خواص واقعی تقویت کننده عملیاتی واقعی مطابقت

Subject
Date

س ۳

کامل ندارد اما نتایج به دست آمده از تحلیل مدارها با مدل ایده‌آل در واقعیت‌ها با این نتایج واقعی بسیار نزدیک است.

هم‌چنین فرض می‌شود که سیگنال‌های ورودی و خروجی به صورت زیر باهم در ارتباط هستند:

۱) for $V_D > 0 \Rightarrow V_o = V_{sat} = V_{SS}$

۲) for $V_D = 0 \Rightarrow -V_{sat} < V_o < V_{sat}$ (مدار خطی)

۳) for $V_D < 0 \Rightarrow V_o = -V_{sat} = -V_{SS}$

در روابط مذکور V_D اختلاف ولتاژ ورودی مثبت نسبت به ورودی منفی ($V_D = V_+ - V_-$) است. ولتاژ V_{sat} ولتاژ اشباع خروجی است و معمولاً محدودیتی بر روی آن از ولتاژ منبع تغذیه (V_{SS}) کمتر است.

در مورد بهره‌ی ۲ یا بالا نامیدن حلقه‌ی بسته تقویت کننده کاملاً درست است. به عبارت دیگر در این نامیدن تغییر ولتاژ خروجی با ورودی متناسب است و تغییر صفر بودن V_D در نامیدن حلقه این است که چون ولتاژ خروجی (V_o) همواره در اندازه محدود است با توجه به بی‌نهایت بودن بهره‌ی ولتاژ تقویت کننده عملاً برای ایده‌آل ولتاژ ورودی V_D الزاماً با یا صفر در نظر گرفته شود.

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \xrightarrow{\infty} V_i = \frac{V_o}{\infty} \approx 0$$

Subject
Date

ص ۴

صفر بودن V_d در تقویت کننده عملیاتی ایده‌آل به معنی برابر بودن ولتاژ بین ورودی‌های مثبت و منفی است که به عبارت دیگر در این تقویت کننده‌ها ($V_+ = V_-$) در نظر گرفته می‌شود.

از بی‌نهایت بودن مقاومت ورودی می‌توان نتیجه گرفت که جریان دو ورودی برابر صفر است.

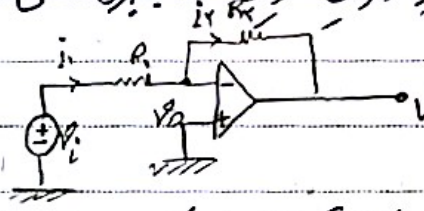
مثال $R=\infty$ ——— ≡ ——— ○ ○

$R=0$ ——— ≡ ○———○

به بیان دیگر ورودی تقویت کننده عملیاتی به صورت یک مدار باز عمل می‌کند ($i_+ = i_-$). بنابراین در تقویت کننده عملیاتی ایده‌آل دو سر ورودی تقویت کننده عملیاتی را اتصال کوتاه با جریان صفر یا مدار باز یا اختلاف پتانسیل صفر در نظر گرفته.

مدارهای پایه‌ای تقویت کننده عملیاتی:

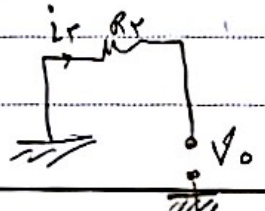
۱) تقویت کننده بابهره عملیاتی: در شکل زیر مدار یک تقویت کننده بابهره منفی نشان داده شده است:



در این تقویت کننده نشان خواهیم داد که بهره ولتاژ فقط بستگی به مقاومت‌ها R_1 و R_2 خواهد داشت.

$V_d = 0 \Rightarrow \begin{cases} V_+ = V_- \\ i_+ = i_- = 0 \end{cases}$

دو مدار در نظر می‌گیریم



$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1}$

PAPCO

Subject
Date

KVL در حلقه ورودی

$$-V_i + i_1 R_1 + i_2 R_2 + V_o = 0$$

(KVL برای حلقه ورودی به شکل صفحه قبل)

$$(1)\quad -V_i + i_1 R_1 - V_D = 0$$

$$(2)\quad V_D + R_2 i_2 + V_o = 0$$

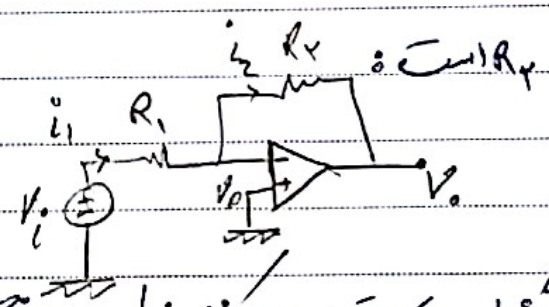
طبق فرض‌ها: $V_D = 0$ ، $i_+ = i_- \Rightarrow i_1 = i_2$

از رابطه (1): $V_i = R_1 i_1$

از رابطه (2): $V_o = -R_2 i_2$

$$\Longrightarrow A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_2 i_2}{R_1 i_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

مثال: در تقویت کننده‌ی شکل زیر $R_1 = 10K\Omega$ و $R_2 = 100K\Omega$ است:



الف) بهره‌ی ولتاژ A_V را محاسبه نمایید.

ب) حسن کنید با ازدیاد V_i چه محدوده‌ای از تغییرات دامنه‌ی سیگنال ورودی تقویت کننده خطی می‌ماند؟ (ولتاژ اشباع خروجی $V_{sat} = 12V$)

ابتدا رابطه بالا را اثبات می‌کنیم و بدست می‌آوریم و سپس به حل می‌پردازیم.

حل الف):

$$A_V = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{100}{10} = -10$$

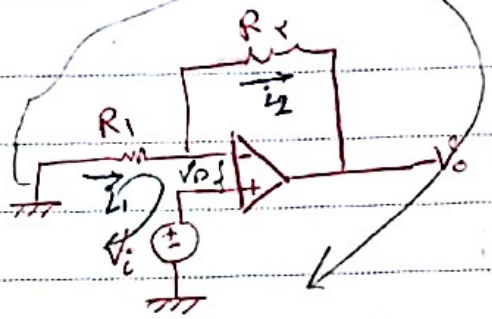
حل ب):

$$-V_{sat} < V_o < V_{sat}\ ,\ A_V = \frac{V_o}{V_i} = -10 \Rightarrow V_o = -10 V_i$$

$$-12 < -10 V_i < 12$$

$$-1.2 < V_i < 1.2$$

P4PCO



۲- تقویت کننده با بهره مثبت:

$A_V = \frac{V_o}{V_i}$ بهره

$R_1 i_1 - V_o + V_i = 0 \Rightarrow V_i = R_1 i_1$

$R_1 i_1 + R_2 i_2 + V_o = 0$

$V_o = -R_1 i_1 - R_2 i_2$

$i_1 = i_2 + i_- \Rightarrow i_1 = i_2$

از قسمت روابط بالا داریم

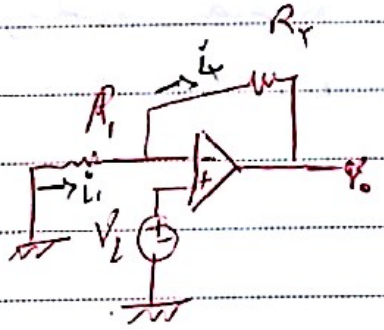
$V_o = -R_1 i_1 - R_2 i_1$

$V_o = -i_1 (R_1 + R_2)$

پس داریم:

$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-i_1 (R_1 + R_2)}{-i_1 R_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

مثال: مدار تقویت کننده شکل زیر را در نظر بگیرید:



الف) با فرض $R_1 = 10K\Omega$ و $R_2 = 180K\Omega$ بهره ولتاژ را محاسبه کنید.

ب) با فرض $R_1 = \infty$ و $R_2 = 0$ شکل تقویت کننده جدید را ترسیم نموده و بهره ولتاژ را به دست آورید.

Subject
Date

$V_c = -R i' \xrightarrow[i=i']{\text{از رابطه (۲)}} V_o = -R i$

$\xrightarrow{\text{از رابطه (۱)}}$ داریم $V_o = -R\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n}\right) \Rightarrow \boxed{V_o = -R \sum_{i=1}^{n} \frac{V_i}{R_i}}$

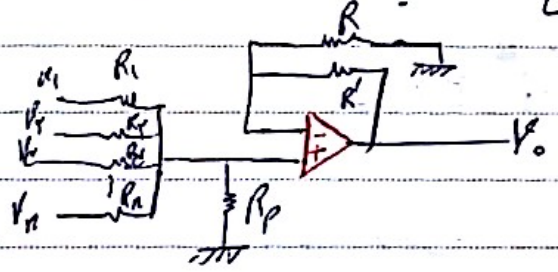
اگر همه مقاومت‌ها برابر باشند: $\Rightarrow R = R_1 = R_2 = \dots = R_n$

آنگاه داریم: $V_o = -R\left(\frac{V_1}{R} + \frac{V_2}{R} + \dots + \frac{V_n}{R}\right) = -\frac{R}{R}(V_1 + V_2 + \dots + V_n) =$

$= -(V_1 + V_2 + \dots + V_n) \Rightarrow \boxed{V_o = -\sum_{i=1}^{n} V_i}$

نکته: علامت منفی در روابط فوق بیان گر تقویت با بهره‌ی منفی می باشد. این بدان معنی است که سیگنال ورودی و خروجی با یکدیگر ۱۸۰° اختلاف فاز دارند.

تمرین: در مدار شکل زیر نشان دهید مدار یک جمع کننده با بهره‌ی منفی است؟



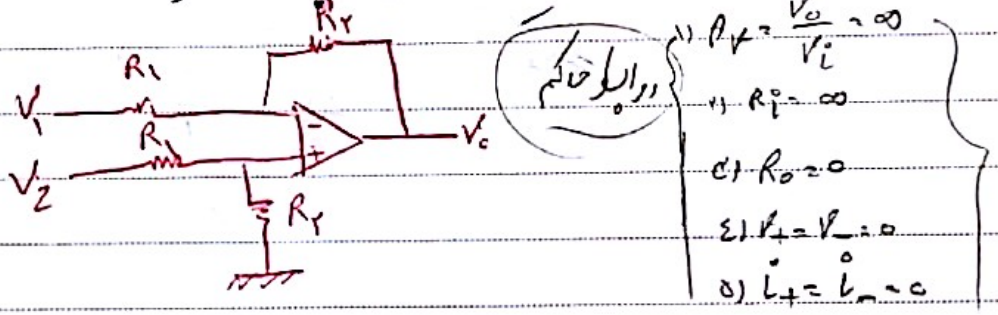
Subject
Date

۹

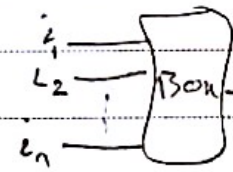
تقویت کننده تفاضلی:

منظور از تقویت کننده تفاضلی، تقویت کننده‌ای است که در خروجی آن، تفاضل دو سیگنال ورودی با بهره‌ی معینی ظاهر می‌شود. در تقویت کننده‌های تفاضلی معمولاً مقدار متوسط سیگنال‌های ورودی نیز تقویت شده و به صورت یک مؤلفه‌ی ناخواسته در خروجی ظاهر می‌شود.

در یک تقویت کننده‌ی تفاضلی ایده‌آل دامنه‌ی این مؤلفه در خروجی صفر است.



نکته:



طبق قضیه جمع آثار داریم: $i_o = i_{o_1} + i_{o_2} + \dots + i_{o_n}$

در مسائل تستی، به ازای دو ورودی اول

ابتدا از شکل بالا:

اصل جمع آثار

حالت اول: $V_2 = 0$ ، $V_1 \neq 0$

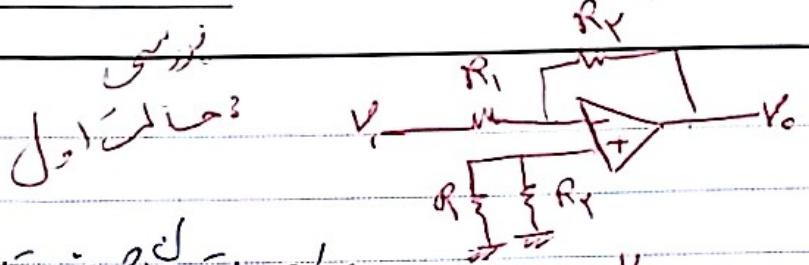
حالت دوم: $V_1 = 0$ ، $V_2 \neq 0$

ادامه در صفحه بعد

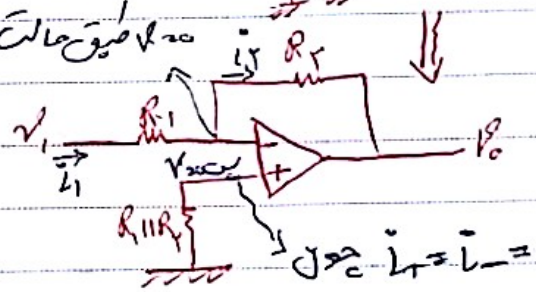
P4PCO

Subject
Date

بررسی حالت اول:



طبق حالت بیان شده صفحه قبل $V_- = 0$



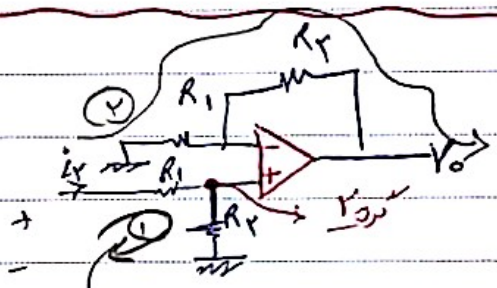
$i_1 = \frac{V_1 - 0}{R_1}$, $i_2 = \frac{0 - V_0}{R_2}$

$i_1 = i_2 + i_-^{\,0} \rightarrow i_1 = i_2$

$$\frac{V_1}{R_1} = \frac{-V_0}{R_2}$$

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} V_1$$

بررسی حالت دوم:



$$-V_2 + R_1 i_2 + R_2 i_2 = 0$$

$$V_2 = i_2 (R_1 + R_2) \rightarrow i_2 = \frac{V_2}{R_1 + R_2}$$

حذف i_2: $i_2 = \frac{V_2 - V_+}{R_1}$ = $i_2 = \frac{V_+ - 0}{R_2}$ $\rightarrow V_+ = i_2 R_2$

(۷)

KVL: $R_1 i_1 + R_2 i_1 + V_o = 0 \Rightarrow \boxed{V_o = -i_1 (R_1 + R_2)}$ (۱)

(۸) جایگذاری رابطه

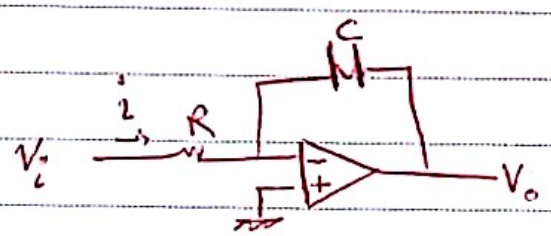
$$i_1 = \frac{0 - V_-}{R_1} = -\frac{V_-}{R_1} = -\frac{V_+}{R_1}$$

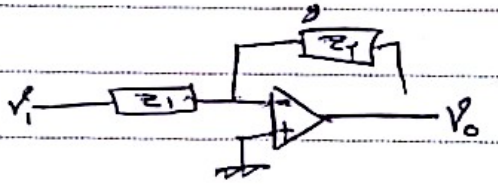
$$\boxed{V_+ = -\frac{R_2 i_2}{R_1} = -\frac{R_2}{R_1}\left(\frac{1}{R_1 + R_2}\right) V_2} \quad (۲)$$

(۹) رابطه (۱) و (۲) را در رابطه (۱) جایگذاری می‌کنیم

$$V_o = -\left(-\frac{R_2}{R_1}\left(\frac{1}{R_1+R_2}\right) V_2\right)(R_1 + R_2)$$

مدار انتگرال گیر:





Z_1, Z_2 امپدانس هستند

- R → فازور → $Z = R$
- C → فازور → $Z = \frac{1}{j\omega C}$
- L → فازور → $Z = j\omega L$

با توجه به اینکه مدار یک تقویت کننده با بهره منفی است:

$$\boxed{A_V = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{Z_2}{Z_1}}$$

$$\boxed{A_V = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{\frac{1}{j\omega}}{R} = -\frac{1}{j\omega RC} = -\frac{1}{j\omega}\frac{1}{RC}}$$

P4PCO

Subject
Date

فازور

دامنه زاویه

$\omega = 2\pi f$

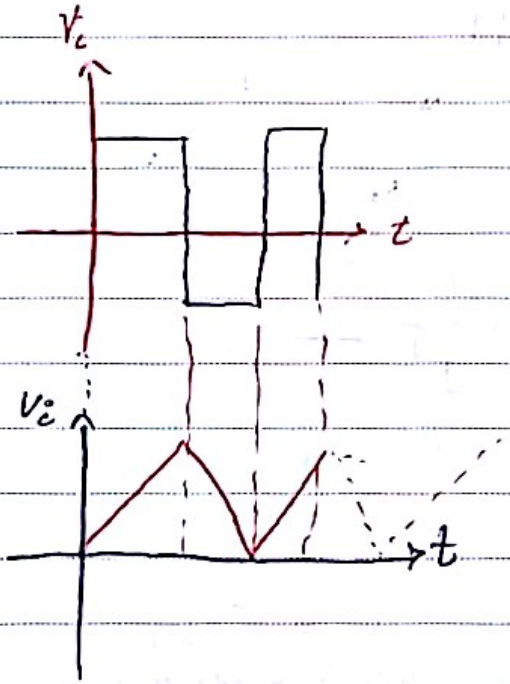
نکته: $\int \frac{1}{j\omega} \longleftrightarrow$ انتگرال

مشتق $\longleftrightarrow$ $j\omega$ $\longleftrightarrow$ d

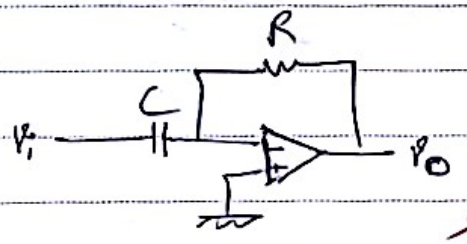
$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{1}{j\omega}\frac{1}{RC} \longrightarrow \boxed{V_o = -\frac{1}{j\omega}\frac{1}{RC}V_i}$$

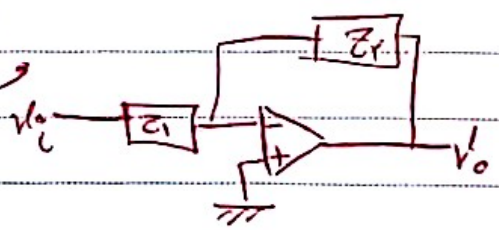
$$\boxed{V_o = -\int \frac{1}{RC} V_i(t)\,dt = -\frac{1}{RC}\int V_i(t)\,dt}$$

کاربرد مدار انتگرال گیر در اسکوپ:



مدار مشتق گیر:





Subject ع

Date

با توجه به اینکه تقویت کننده با بهره‌ی منفی است داریم:

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R}{\frac{1}{j\omega C}}$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = -j\omega RC \quad (1)$$

$$\boxed{V_o = -j\omega RC V_i}$$ حوزه فازور

در حوزه زمان ←

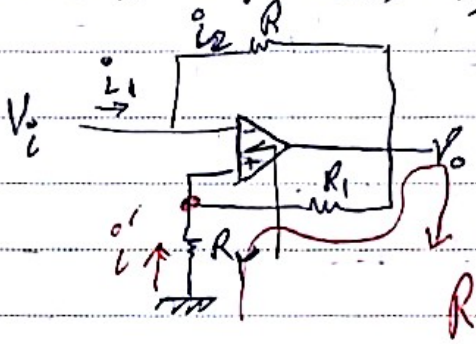
$$v_{o(t)} = -d(RC v_i) = -RC\, d(v_i) = -RC \frac{dv_i}{dt}$$

خروجی با ورودی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد.

نکته: همان‌طور که از رابطه (۱) می‌توان دریافت بهره‌ی ولتاژ مدار مشتق‌گیر با افزایش فرکانس زیاد می‌شود. این خصوصیت مدار مذکور را به یک تقویت کننده اختشاش (نویز) تبدیل می‌کند. به گونه‌ای که یک تغییر ناگهانی کوچک در ورودی باعث ایجاد ولتاژ زیادی در خروجی می‌شود. به علت این ناپایداری مدار مشتق‌گیر کاربرد چندانی ندارد.

مدار امپدانس منفی:

منظور این است که مداری داشته باشیم که بتواند با استفاده از مقاومت های معمولی در دو سر ورودی خاصیت یک مقاومت منفی ایجاد کند. به عبارت دیگر از سر ورودی مشبت مدار دارای مقاومت منفی است.



مقدار منفی $R_i = \frac{V_i}{i_{in}}$

$$i_i = i_2 = \frac{V_- - V_o}{R} = \frac{V_+ - V_o}{R} \quad (1)$$

و داریم:

$$V_+ = V_- = V_i \xrightarrow{\text{از رابطه (1)}} = \frac{V_i - V_o}{R}$$

$$KVL: R_2 i' + R_1 i' + V_o = 0$$

$$V_o = -i'(R_1 + R_2)$$

$$\text{و نیز } i' = \frac{0 - V_+}{R_2} = \frac{-V_+}{R_2} = -\frac{V_-}{R_2} = -\frac{V_i}{R_2}$$

$$\boxed{V_o = \frac{V_i}{R_2}(R_1 + R_2)}$$

ادامه صفحه بعد.

Subject 2/3
Date

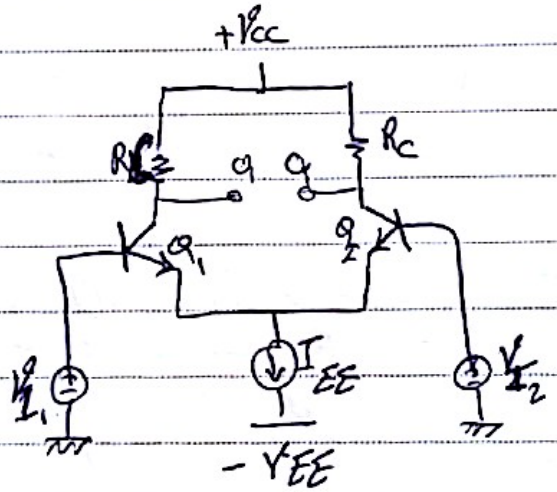
$$i_i = \frac{V_i - V_o}{R} = \frac{V_i - \frac{V_i}{R_2}(R_1+R_2)}{R}$$

$$i_i = V_i \left[\frac{1 - \left(\frac{R_1+R_2}{R_2}\right)}{R} \right]$$

$$i_i = V_i \left[\frac{1 - \left(\frac{R_1}{R_2}+1\right)}{R} \right] = V_i \left[\frac{1 - \frac{R_1}{R_2} - 1}{R} \right]$$

$$\Rightarrow i_i = V_i \left[-\frac{R_1}{R R_2} \right] \Rightarrow R_i = \frac{V_i}{i_i} = -\frac{R R_2}{R_1}$$

فصل دوم - تقویت کننده تفاضلی:



در شکل بالا Q_1 و Q_2 و مقاومت‌های یکسان هر دو ترانزیستور مشابه هم هستند. یک تقویت کننده تفاضلی فقط تفاضل دو سیگنال ورودی را تقویت نموده و مقدار متوسط دو سیگنال ورودی یا بهره‌ی کوچکی در خروجی ظاهر می‌گردد.

سیگنال ورودی تفاضلی $\Rightarrow V_{ID} = V_{I_1} - V_{I_2}$

سیگنال ورودی مشترک $V_{IC} = \frac{V_{I_1} + V_{I_2}}{2}$

PqPCO

۱۵

رابطه‌های دیگر از دو رابطه قبل:

$$V_{I_1} = V_{I_D} + V_{I_2}$$

$$V_{I_C} = \frac{V_{I_1}}{2} + \frac{V_{I_2}}{2} = \frac{1}{2}\left[V_{I_D} + V_{I_2}\right] + \frac{V_{I_2}}{2}$$

$$V_{I_C} = \frac{V_{I_D}}{2} + V_{I_2} \rightarrow \boxed{V_{I_2} = V_{I_C} - \frac{V_{I_D}}{2}}$$

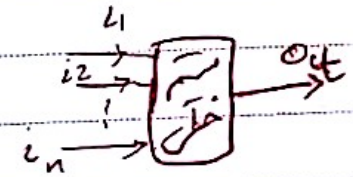
$$\boxed{V_{I_1} = V_{I_C} + \frac{V_{I_D}}{2}}$$

سیگنال وجه تفاضل $V_{o_D} = V_{o_1} - V_{o_2}$

" مشترک $V_{o_C} = \frac{V_{o_1} + V_{o_2}}{2}$

$$\boxed{V_{o_1} = V_{o_C} + \frac{V_{o_D}}{2}} \quad , \quad \boxed{V_{o_2} = V_{o_C} - \frac{V_{o_D}}{2}}$$

در شرایطی که پاسخ سیگنال کوچک تقویت‌کننده (AC) صورت خطی باشد و تقویت‌کننده به صورت خطی عمل کند می‌توان از اصل جمع آثار برای پیدا کردن خروجی بر اساس دو ورودی هم‌زمان استفاده نمود. در این شرایط خروجی به صورت یک ترکیب خطی از ورودی‌ها V_{I_1} و V_{I_2} و یا ترکیب خطی از V_{I_D} و V_{I_C} نوشته خواهد شد.



$i_1 \rightarrow o_1$

$i_2 \rightarrow o_2$

$i_n \rightarrow o_n$

$$o_t = o_1 + o_2 + \cdots + o_n$$

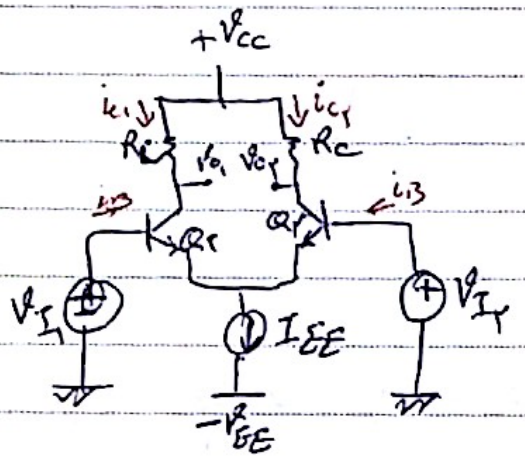
$V_o = \frac{1}{2} A_d V_{id} + A_c V_{ic}$

بهره وجه مشترک ها — بهره وجه تفاضلی

⊛ در حالت ایده آل $A_c = 0$

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

تقویت کننده های تفاضلی با ترانزیستورهای Bjt:



در شکل بالا هر دو ترانزیستور به کار رفته از نوع Bjt و مشابه هم می باشند. امیتر این دو ترانزیستور به هم متصل و به منبع جریان مستقل I_{EE} وصل شده اند. از این رو این تقویت کننده را،

تقویت کننده دو یا تز امیتری

تقویت کننده های تفاضلی با Bjt به دلیل اعوجاج کم در انواع مدارهای تقویت کننده عملیاتی به عنوان طبقه ورودی به کار می روند. هم چنین این تقویت کننده ها در کاربردهای غیر خطی به عنوان کلید به کار می روند.

$i_C = \alpha i_E$

i_B v_{in} v_{out}

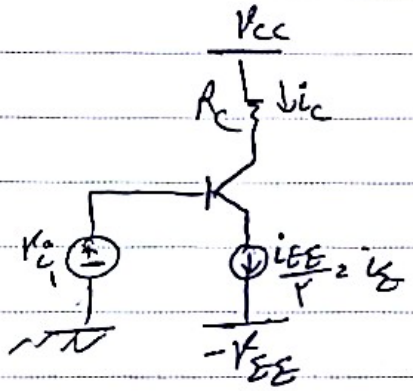
رابطه برای شکل قبل:

به علت تقارن و برابری سیگنال های ورودی:

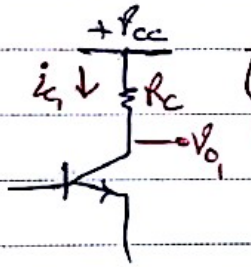
$$i_{C_1} = i_{C_2},\ i_{E_1} = i_{E_2},\ i_{B_1} = i_{B_2}$$

$$i_{EE} = i_{E_1} + i_{E_2} = 2i_{E_1},\ i_{E_1} = \frac{i_{EE}}{2} = i_{E_2}$$

$$\boxed{i_{C_1} = i_{C_2} = \frac{\alpha i_{EE}}{2} = \alpha i_{E_1} = \alpha i_{E_2}}$$



$$i_C = \alpha i_E = \alpha \frac{i_{EE}}{2}$$



$$v_x = V_{cc} - V_{o_1} = R_C i_C$$

$$V_{o_1} = V_{o_2} = V_{cc} - R_C i_C = V_{cc} - R_C\left[\frac{\alpha i_{EE}}{2}\right]$$

اگر سیگنال های ورودی برابر نباشند:

$$\Delta V_I \rightarrow \Delta I \longrightarrow i_{C_1} = \frac{\alpha i_{EE}}{2} + \Delta I$$

$$i_{C_2} = \frac{\alpha i_{EE}}{2} - \Delta I$$

Subject
Date

$$V_{O_1} = V_{CC} - R_C\left[\underbrace{\frac{\alpha i_{EE}}{2} + \Delta I}_{i_{C_1}}\right] = V_{CC} - \frac{\alpha i_{EE} R_C}{2} - R_C \Delta I$$

$$V_{O_2} = V_{CC} - R_C\left[\underbrace{\frac{\alpha i_{EE}}{2} - \Delta I}_{i_{C_2}}\right] = V_{CC} - \frac{\alpha i_{EE} R_C}{2} + R_C \Delta I$$

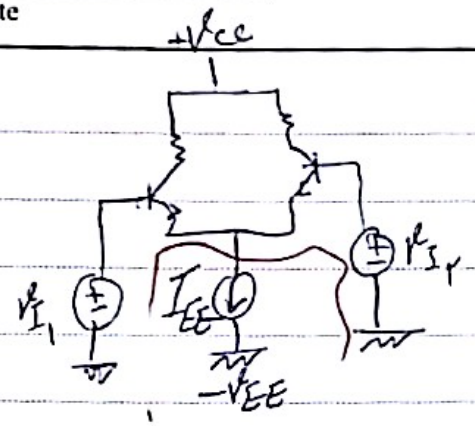
$$\boxed{V_{OD} = V_{O_1} - V_{O_2} = -2R_C \Delta I}$$

رابطه ی فوق نمایگر مدار شکل قبل را به صورت یک تقویت کننده برای سیگنال هایی که مک تفاضلی ورودی نمایش می دهد. زیرا V_{OD} متناسب است با ΔI و در نتیجه متناسب است با ΔV_I.

تذکر: در محدوده ی عملکرد خطی این تقویت کننده هر دو ترانزیستور در ناحیه فعال کار می کنند. در صورتی که سطح ولتاژ مد مشترک ورودی ها از یک ناحیه مشخص تجاوز کند ترانزیستورها از ناحیه ی خطی کار خود خارج می شوند و چنانچه تفاضل ورودی ها نیز از حدی بیشتر شود یکی از ترانزیستورها قطع شده و کل جریان I از ترانزیستور دیگر عبور می کند. در این حالت مدار می تواند به صورت یک کلید عمل کند.

در تجزیه و تحلیل سیگنال بزرگ یا DC نشان خواهیم داد که دامنه ی تغییر ورودی در محدوده ی خطی این تقویت کننده به ۲۶ میلی ولت میرسد این در حالی است که در یک مدار امیتر مشترک ساده چنانچه دامنه سیگنال ورودی به ۵ ، ۲ میلی ولت برسد تولید سیگنال خروجی از ۱۰ درصد تجاوز خواهد کرد به عبارت دیگر محدوده ی خطی یک تقویت کننده تفاضلی حدوداً ۱۰ برابر تقویت کننده امیتر مشترک است.

P4PC9



$$-V_{I_1} + V_{BE_1} - V_{BE_2} + V_{I_2} = 0$$

ولتاژ دیود $\rightarrow -V_D$

رابطه جریان دیود: $I_D = I_S e^{\frac{V_D}{\eta V_T}}$ ① جنس دیود / جریان اشباع / جریان دیود

در دمای اتاق $V_T = 26\,mV$

در صورتی که $I_C = I_E$ باشد:

$$i_C = I_S e^{\frac{-V_{BE}}{V_T}} \rightarrow \frac{i_C}{I_S} = e^{\frac{-V_{BE}}{V_T}}$$

از رابطه ① داریم:

$$\rightarrow \ln \frac{i_C}{I_S} = -\frac{V_{BE}}{V_T} \rightarrow \boxed{V_{BE} = -V_T \ln \frac{i_C}{I_S}} \quad ②$$

از جایگذاری رابطه ② در رابطه ①

$$\rightarrow -V_{I_1} - V_T \ln \frac{i_{C_1}}{I_{S_1}} + V_T \ln \frac{i_{C_2}}{I_{S_2}} + V_{I_2} = 0$$

$$V_T \left[\ln \frac{i_{C_2}}{I_{S_2}} - \ln \frac{i_{C_1}}{I_{S_2}} \right] = V_{I_1} - V_{I_2} \qquad \ln a - \ln b = \ln \frac{a}{b}$$

$$V_T \left[\ln \frac{\frac{i_{C_2}}{I_{S_2}}}{\frac{i_{C_1}}{I_{S_2}}} \right] = V_{I_1} - V_{I_2} \Rightarrow \ln \frac{i_{C_2} I_{S_1}}{i_{C_1} I_{S_2}} = \frac{V_{I_1} - V_{I_2}}{V_T}$$

به علت تقارن در مدار و یکسان بودن Q_1 و Q_2 خواهیم داشت: $I_{S_1} = I_{S_2}$

Subject

Date

۲۱

$\ln e^{x} = x$

$e^{\ln x} = x$

$$\ln \frac{i_{C_2}}{i_{C_1}} = \frac{V_{I_1} - V_{I_2}}{V_T}$$

$$\ln \frac{i_{C_2}}{i_{C_1}} = \frac{V_{I_1} - V_{I_2}}{V_T} \rightarrow \boxed{\frac{i_{C_2}}{i_{C_1}} = \exp\left[\frac{V_{I_1} - V_{I_2}}{V_T}\right]}$$

$V_{I_2} = V_{ID}$

$$i_{C_1} + i_{C_2} = \alpha i_{E_1} + \alpha i_{E_2} = \alpha (i_{E_1} + i_{E_2}) = \alpha i_{EE} \quad (1)$$

$$\frac{i_{C_2}}{i_{C_1}} = \exp\left[\frac{V_{ID}}{V_T}\right] \quad (2)$$

$$\frac{i_{C_1}}{i_{C_2}} = \exp\left(-\frac{V_{ID}}{V_T}\right) \quad (3)$$

از رابطه (2) و (1) داریم:

$$i_{C_1} + i_{C_1} \exp\left\{\frac{V_{ID}}{V_T}\right\} = \alpha i_{EE}$$

$$i_{C_1}\left\{1 + \exp\left(\frac{V_{ID}}{V_T}\right)\right\} = \alpha i_{EE}$$

$$\boxed{i_{C_1} = \frac{\alpha I_{EE}}{1 + \exp\left(\frac{V_{ID}}{V_T}\right)}}$$

از رابطه (3) و (1) داریم:

$$i_{C_2} + i_{C_2} \exp\left\{-\frac{V_{ID}}{V_T}\right\} = \alpha i_{EE}$$

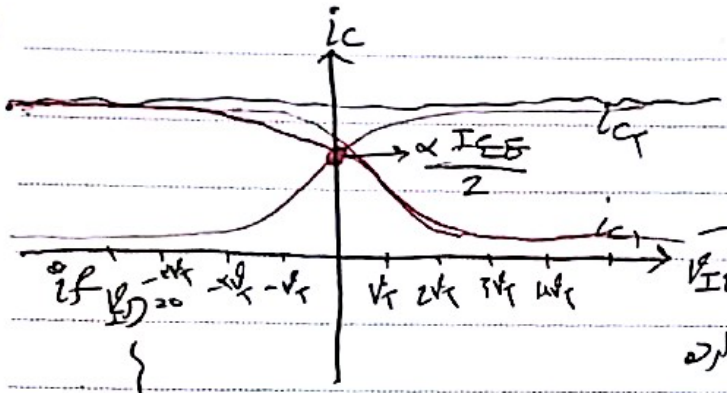
$$i_{C_2}\left\{1 + \exp\left(-\frac{V_{ID}}{V_T}\right)\right\} = \alpha i_{EE}$$

$$\boxed{i_{C_2} = \frac{\alpha\, i_{EE}}{1 + \exp\left(-\frac{V_{ID}}{V_T}\right)}}$$

$\frac{a}{b} = e^{x}$, $a = b e^{x}$

P4PCO

نمودارهای i_{C_1} و i_{C_2}:



از مقدار V_{ID} از این مقدار بیشتر شود، حکم سوئیچ دارد

if $V_{ID} > 4V_T \approx 0.1 V$

if $V_{ID} \geq 0$

$\alpha \frac{I_{EE}}{2}$

i_{C_2} سوئیچ

$$V_{O_1} = V_{CC} - R_C i_{C_1}$$

$$V_{O_2} = V_{CC} - R_C i_{C_2}$$

$$\boxed{V_{OD} = V_{O_1} - V_{O_2} = \alpha I_{EE} R_C \tanh\left(-\frac{V_{ID}}{2V_T}\right)}$$

با فرض: $\frac{V_{ID}}{2V_T} \ll 1$

$$V_{OD} \approx \alpha R_C I_{EE} \left\{ -\frac{V_{ID}}{2V_T} + \frac{V_{ID}^3}{24 V_T^3} - \cdots \right\}$$

هارمونیک اول (هارمونیک اصلی)

هارمونیک سوم

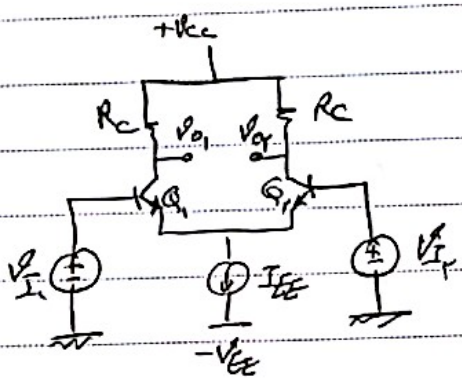
اعوجاج هارمونیک nام $= \frac{\text{دامنه هارمونیک } n\text{ام}}{\text{دامنه هارمونیک اصلی}}$

Subject
Date

اعوجاج هارمونیک سوم $= \frac{\frac{V_{ID}^3}{24 V_T^3}}{-\frac{V_{ID}}{2V_T}} = -\frac{1}{12}\frac{V_{ID}^2}{V_T^2}$

اگر $V_{ID} = V_T \Rightarrow$ اعوجاج $= -\frac{1}{12} < 10\%$

تجزیه و تحلیل سیگنال کوچک (AC):



$$i_{C_1} = \frac{\alpha I_{EE}}{1+\exp\left(\frac{V_{id}}{V_T}\right)}$$

$$i_{C_2} = \frac{\alpha I_{EE}}{1+\exp\left(-\frac{V_{id}}{V_T}\right)}$$

i_{C_1} را بدست آورید $\rightarrow$ صورت و مخرج را در $e^{\frac{V_{id}}{2V_T}}$ ضرب می‌کنیم.

$$i_{C_1} = \frac{\alpha I_{EE} e^{\frac{V_{id}}{2V_T}}}{\left(1+e^{\frac{V_{id}}{V_T}}\right) e^{\frac{V_{id}}{2V_T}}}$$

$$i_{C_2} = \frac{\alpha I_{EE} e^{\frac{V_{id}}{2V_T}}}{\left(1+e^{-\frac{V_{id}}{2V_T}}\right) e^{\frac{V_{id}}{2V_T}}}$$

با توجه به $V_{id} \ll 2V_T$ می‌توان نوشت:

$$i_{C_2} = \frac{\alpha I_{EE} e^{\frac{V_{id}}{2V_T}}}{e^{\frac{V_{id}}{2V_T}} + e^{-\frac{V_{id}}{2V_T}}} \Rightarrow i_{C_2} = \frac{\alpha I_{EE}\left(1+\frac{V_{id}}{2V_T}\right)}{\left(1+\frac{V_{id}}{2V_T}\right)+\left(1-\frac{V_{id}}{2V_T}\right)} = \frac{\alpha I_{EE}}{2}\left(1+\frac{V_{id}}{2V_T}\right)$$

PqPCO

Subject
Date

$$i_{C_1} = \frac{\alpha I_{EE}}{2} + \frac{\alpha I_{EE}}{2} \times \frac{v_{id}}{2V_T}$$ ✓

$$i_{C_2} = \frac{\alpha I_{EE}}{2} - \frac{\alpha I_{EE}}{2} \times \frac{v_{id}}{2V_T}$$ ✓

ترکیب سیگنال DC, AC برای جریان های کلکتور:

از تحلیل بالا برای بخش AC جریان داریم:

$$i_{C_1} = -\frac{\alpha I_{EE}}{2} \frac{v_{id}}{2V_T}$$

$$i_{C_2} = \frac{\alpha I_{EE}}{2} \frac{v_{id}}{2V_T}$$

بهره تبدیل هدایت انتقالی $g_m = \frac{i_{C_2}}{v_{i_2}} = \frac{\frac{\alpha I_{EE}}{2} \frac{v_{id}}{2V_T}}{\frac{v_{id}}{2}} = \frac{\alpha I_{EE}}{2V_T}$

تحلیل سیگنال کوچک به کمک مدل π: شکل مانند شکل صفحه قبل

تحلیل AC { تمام منابع DC صفر / منابع AC باقی می‌مانند

تحلیل DC { تمام منابع AC صفر / منابع DC باقی می‌مانند

⊛ صفر شدن منبع ولتاژ به معنی اتصال کوتاه آن است.

⊛ صفر شدن منبع جریان به معنی باز شدن آن است.

پس شکل به صورت استاندارد صفحه بعد تبدیل می‌شود.

PAPCO

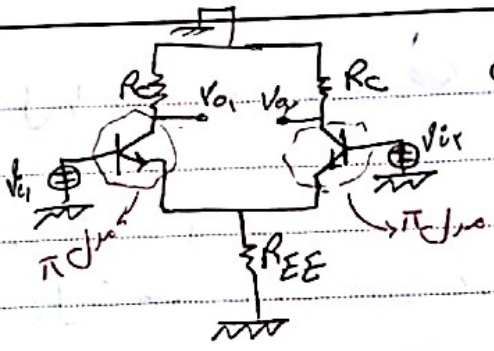
Subject

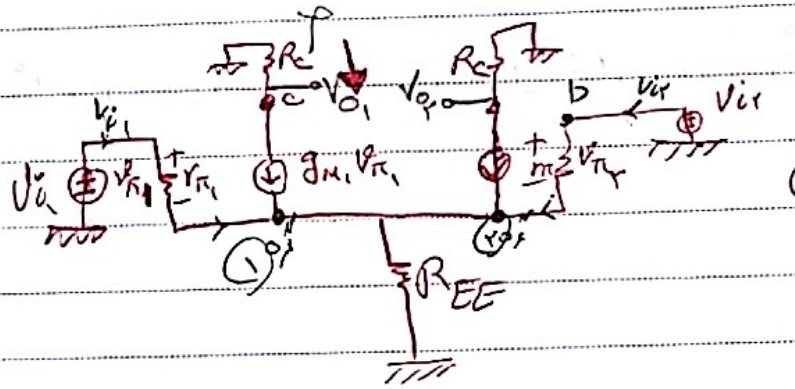
Date

منابع ولتاژ AC و DC

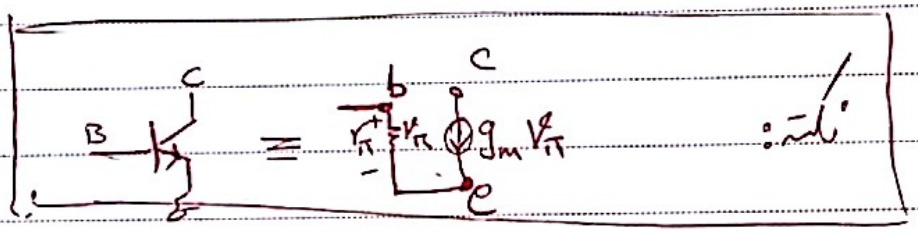
مدل AC

با هر منبع یک مقاومت درون موازی در نظر می‌گیریم.





مدل



چون عملاً ترانزیستورها به هم وصل شده‌اند پس $I_{S_1} = I_{S_2} = I_S$ و $h_{fe_1} = h_{fe_2} = h_{fe}$ بنابراین

$g_{m_1} = g_{m_2} = g_m$ و $r_{\pi_1} = r_{\pi_2} = r_\pi$

حال مشکل را بالا داریم:

با توجه به اینکه جریان‌های ورودی + هستند و جریان خروجی - هستند → KCL در گره ⓪ →

$$g_{m_1} V_{\pi_1} + g_{m_2} V_{\pi_2} + \frac{V_{\pi_1}}{r_{\pi_1}} + \frac{V_{\pi_2}}{r_{\pi_2}} - \frac{V_1}{R_{EE}} = 0$$

$$\begin{cases} V_{\pi_1} = V_{i_1} - V_1 \\ V_{\pi_2} = V_{i_2} - V_1 \end{cases}$$

$$V_1 = \frac{\frac{V_{i_1} + V_{i_2}}{1}}{2 + \frac{1}{g_m R_{EE}\left(1 + \frac{1}{h_{fe}}\right)}} \simeq \frac{\frac{V_{i_1} + V_{i_2}}{1}}{2 + \frac{1}{g_m R_{EE}}}$$

$$\begin{cases} V_{i_1} = \frac{V_d}{2} \\ V_{i_2} = -\frac{V_d}{2} \end{cases} \quad (1)$$

P4PCO

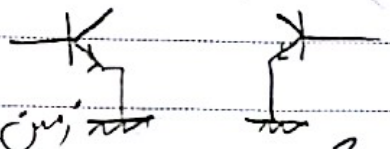
Subject
Date

اگر رابطه ① پایین صفحه قبل را دقت کنیم و دو فرمول ما بالا را کنیم صورت رابطه

صفری شود. (از منبع جریان مستقل مدار)

یا به صورت دیگر: از مطالب قبل مشخص است که برای دو بخش های مجزا تفاضلی (رابطه ①) و تمام دو ①

برابر صفر است بنابراین می توان این نقطه را زمین مجازی دو نقطه دانست.



از شکل ① صفحه قبل داریم

$$V_{od} = V_{o1} - V_{o2} = -g_m R_C (V_{\pi_1} - V_{\pi_2})$$

$$V_{\pi_1} = V_{i_1}, \quad V_{\pi_2} = V_{i_2}$$

داریم:

$$V_{od} = -g_m R_C (V_{i_1} - V_{i_2})$$

بهره تفاضلی:

$$A_d = \frac{V_{od}}{V_{id}} = -g_m R_C$$

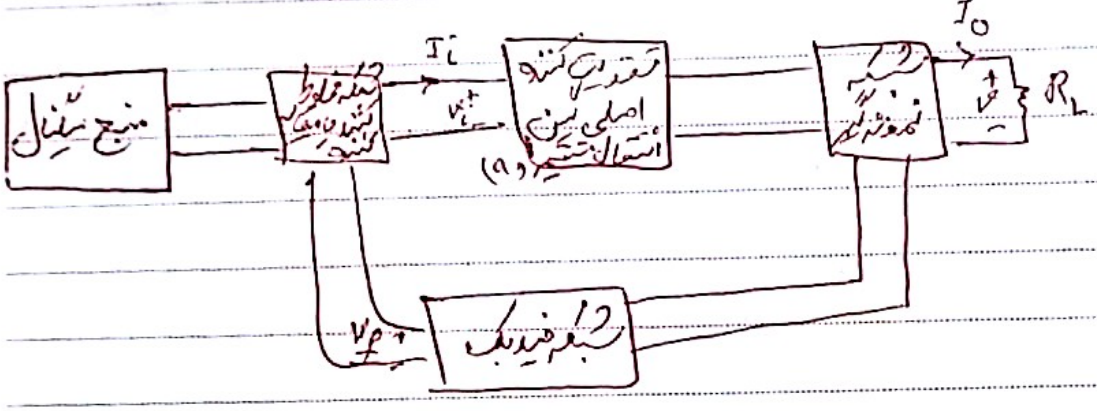
بهره حالت مشترک:

$$A_C = \frac{V_{o1}}{V_{ic}} = \frac{V_{o2}}{V_{ic}} = \frac{V_{oc}}{V_{ic}}$$

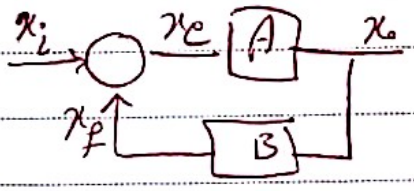
$$= \frac{-g_m R_C}{1 + 2\left(1 + \frac{1}{h_{fe}}\right) g_m R_{EE}} \simeq \frac{-g_m R_C}{1 + 2 g_m R_{EE}}$$

Subject
Date

فیدبک:

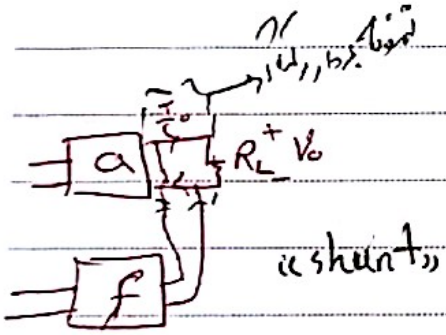


a: A_V, A_I, ...



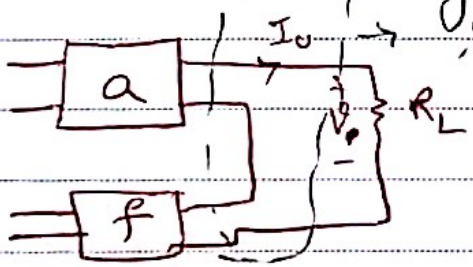
شناسایی شبکه نمونه گیر:

۱- نمونه برداری ولتاژ: باید به فرم سوازی در مدار قرار گیرد.



"shunt"

۲- نمونه برداری جریان: باید به فرم سری در مدار قرار گیرد.

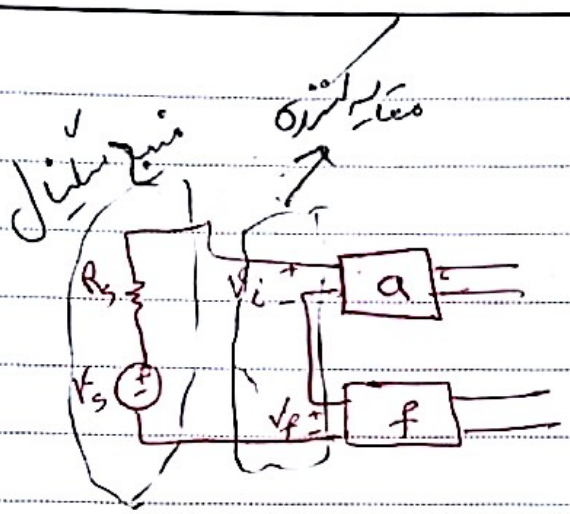


"series"

Subject
Date

شبکه‌های مخلوط‌کننده یا متسابه‌کننده:

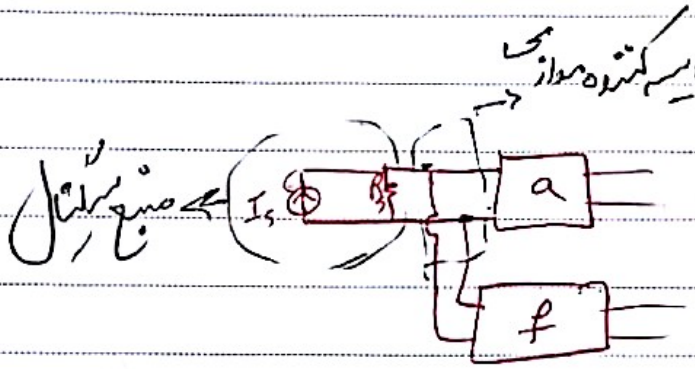
۱- متسابه‌کننده سری: (mixer)



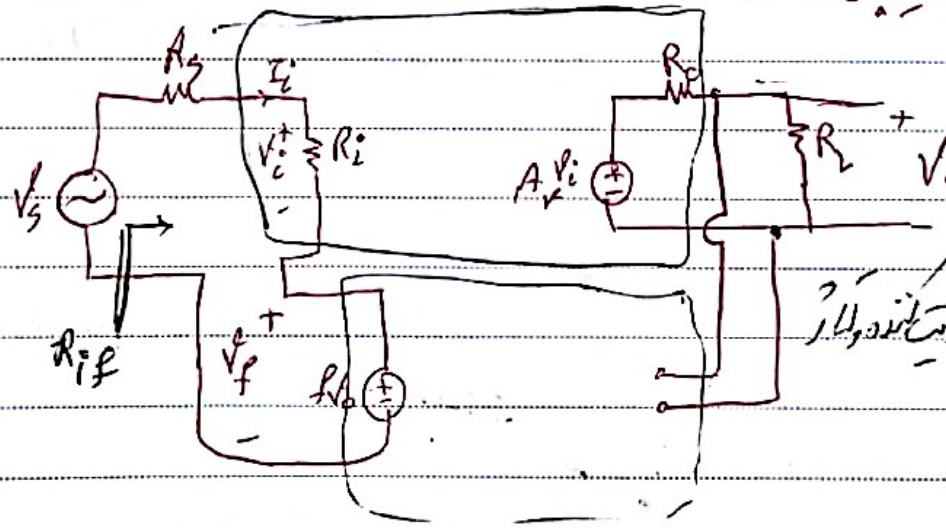
$$-V_s + V_i + V_f = 0$$

$$V_i = V_s - V_f$$

۲- متسابه‌کننده موازی:



۳- رابطه‌های اساسی فیدبک:



بهره شبکه فیدبک = f

مقاومت ورودی فیدبک = R_{if}

R_{of} = " خروجی "

بهره ولتاژ = $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

ولتاژ دو سر شبکه فیدبک = V_f

Subject
Date

روش های نمونه داری فیدبک: (مربوط به شکل پایین صفحه قبل)

نکته ①:

۱- نوع اتصال ورودی - نوع اتصال خروجی ۲- نوع نمونه گیر - نوع مقایسه کننده

فیدبک سری - موازی — فیدبک ولتاژ سری

با فرض $R_o \to 0$ و $R_2 \to \infty$ داریم: $V_o = A_f V_i$ ، $A = \frac{a}{1+af}$ ← بهره با فیدبک

اثبات فرمول بهره کیک:

$$V_o = A_f V_i = a_2 V_i \Rightarrow A = \frac{a}{1+af} \Rightarrow V_f = fV_o \Rightarrow V_i = V_s - V_f \Rightarrow V_s = V_i + V_f = V_i + fV_o$$

$$V_s = V_i + f(aV_i) = V_i + afV_i$$

$$V_s = V_i(1+af)$$

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{1}{1+af} \Rightarrow \frac{V_o}{\frac{a}{V_s}} = \frac{1}{1+af} \Rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_s} = \frac{a}{1+af} = A}$$

$$I_i = \frac{V_i}{R_i} = \frac{V_s}{R_i(1+af)} \Rightarrow R_{if} = \frac{V_s}{I_i} = \frac{V_s}{\frac{V_s}{R_i(1+af)}} = R_i(1+af)$$

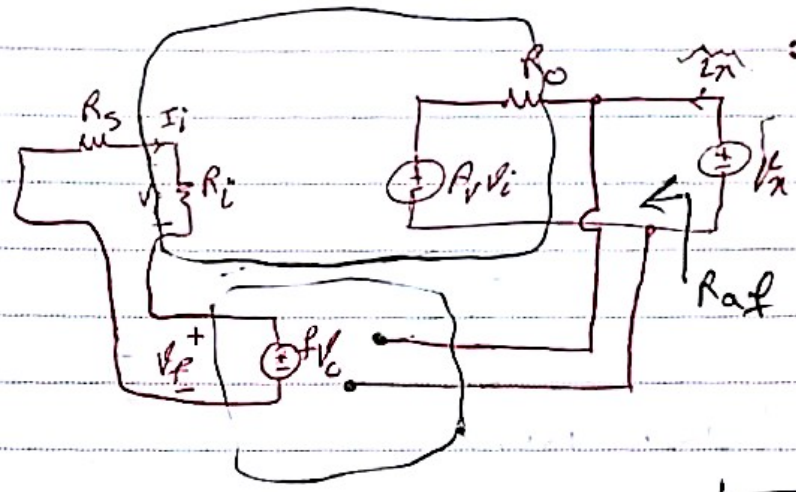
نتیجه: اگر مقایسه کننده سری باشد مقاومت ورودی (R_i) با ضریب ($1+af$) زیاد می شود و مقاومت ورودی فیدبک را از رابطه زیر بدست می آوریم:

$$\boxed{V_s = V_i(1+af)}$$

یکی از خصوصیات مدار فیدبک کنترل مقاومت ورودی و خروجی بود که به شکل بالا خواند.

Subject
Date

محاسبه مقاومت خروجی:



$$V_i^o + V_f = 0 \rightarrow V_i + fV_o = 0 \rightarrow V_i + fV_x = 0 \Rightarrow \boxed{V_i = -fV_x}$$

$$-V_x + R_o i_x + A_v V_i = 0 \longrightarrow R_o i_x = V_x - aV_i \rightarrow \boxed{i_x = \frac{V_x - aV_i}{R_o}} \rightarrow$$

$$\rightarrow i_x = \frac{V_x - a(-fV_x)}{R_o} \Rightarrow \boxed{i_x = \frac{V_x(1+af)}{R_o}}, \boxed{R_{of} = \frac{V_x}{i_x}} \Longrightarrow$$

$$\rightarrow R_{of} = \frac{R_o}{(1+af)}$$

نتیجه: اگر از نمونه بردار ولتاژ استفاده شود مقاومت خروجی با فیدبک $\frac{1}{1+af}$ کوچک می‌شود. (R_o)

Subject

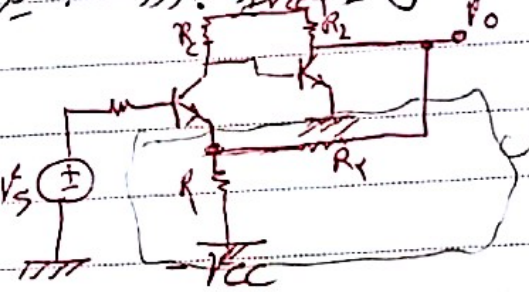
Date

مثال: در تقویت کننده شکل زیر متادیر A_f و R_{if} و R_{of} را محاسبه کنید.

$A = \frac{V_o}{V_s} = ?$

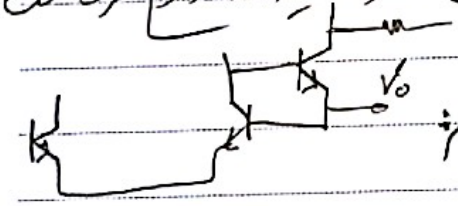
$R_{if} = ?$

$R_{of} = ?$



نکته ۱: در مدار فیدبک در ورودی به امیتر (E) وارد شود و مقایسه کننده از نوع سری و اگر به بیس (B) وارد شود از نوع موازی است.

نکته ۲: فقط یک استثنا وجود دارد که خروجی به بیس (B) وصل می‌شود و مقایسه کننده از نوع سری است و آن زمانی است که نوع دیفرانسیلی دو به دو داده شده باشد.



برای حل هر مسئله ی فیدبک دار باید گام های زیر را طی کرد:

۱) تعیین نوع فیدبک (شکل مثال: ولتاژ سری یا موازی سری)

۲) محاسبه ی β (از باز کردن مدار فیدبک ← ورودی به خروجی)

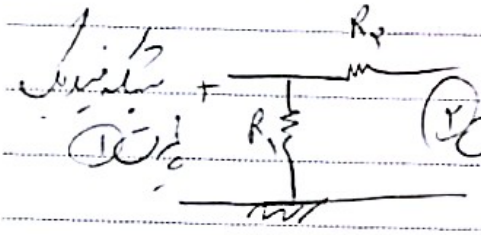
۳) محاسبه بهره ی فیدبک ($A\beta$)

۴) محاسبه بهره ی سیستم (A_f)

Subject
Date

حل مثال:

محاسبه امپدانس ورودی مدار فیدبک سری ولتاژ:



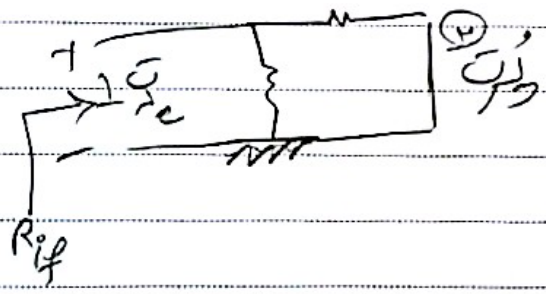
الف) جدا سازی شبکه فیدبک و کشیدن آن به صورت جدا.

ب) مدار کشیده شده را در حالت ac اصلاح کنید.

ج) پورت های ورودی و خروجی را مشخص کنید.

نکته: اگر در خروجی از ولتاژ نمونه برداری شود مدار به صورت پورت ۲ اتصال کوتاه می شود

نکته: اگر در خروجی از جریان نمونه برداری شود " " " " " باز "



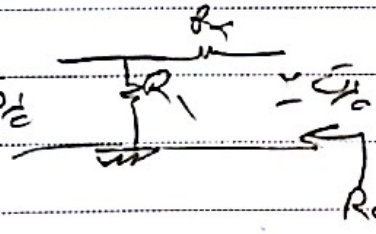
یعنی کمیتی که نمونه برداری می شود صفر می شود.

$R_{if} = R_1 \parallel R_2$

محاسبه امپدانس خروجی مدار فیدبک سری ولتاژ:

اگر مقایسه کننده از نوع سری با شد ← پورت ۱ اتصال باز می شود.

" " " موازی " ← " 1 " " کوتاه "



$R_{of} = R_1 + R_2$

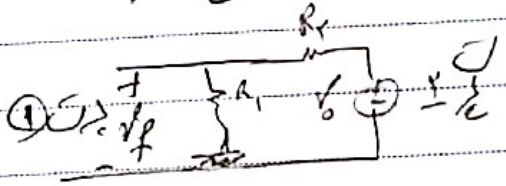
P4PCO

نتیجه: کمیتی که با آن مقایسه ورودی ها سری است صفر می شود

Subject
Date

محاسبه f:

نکته: حلقه‌ای که شامل یک منبع مستقل باشد به صورت منبع مستقل ظاهر می‌شود.



ولتاژ کنترل کننده کمیت ورودی ما است صفر شده و کمیت دیگر را اعمال می‌کنیم.

$$\beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{R_1}{R_1+R_f}$$

$$-V_f + R_1 i + V_o = 0 \rightarrow i(R_1+R_f) + V_o = 0 \rightarrow i = \frac{V_o}{R_1+R_f}$$

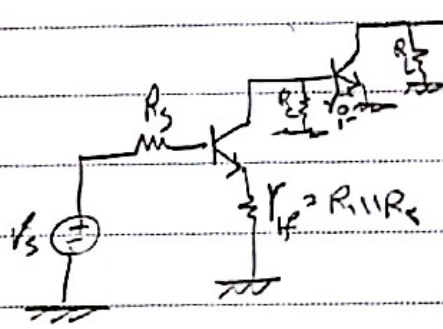
$$R_f\left(\frac{V_o}{R_1+R_f}\right) = V_o - V_f \rightarrow \frac{R_f}{R_1+R_f} = 1 - \frac{V_f}{V_o} \rightarrow \frac{V_f}{V_o} = 1 - \frac{R_f}{R_1+R_f} = \frac{R_1}{R_1+R_f}$$

محاسبه A:

$$a = A_o \beta \quad , \quad A = \frac{a}{1+a\beta}$$

برای محاسبه a با تحلیل AC سورس کیرد.

$$a = \frac{V_o}{V_s}$$



$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_{o_1}} \times \frac{V_{o_1}}{V_s}$$

$$= \frac{-h_{fe}(R_L \| r_{of})}{h_{ie}} \times \frac{-h_{fe}(R_C \| h_{ie})}{h_{ie} + R_s + (1+h_{fe}) r_{if}}$$

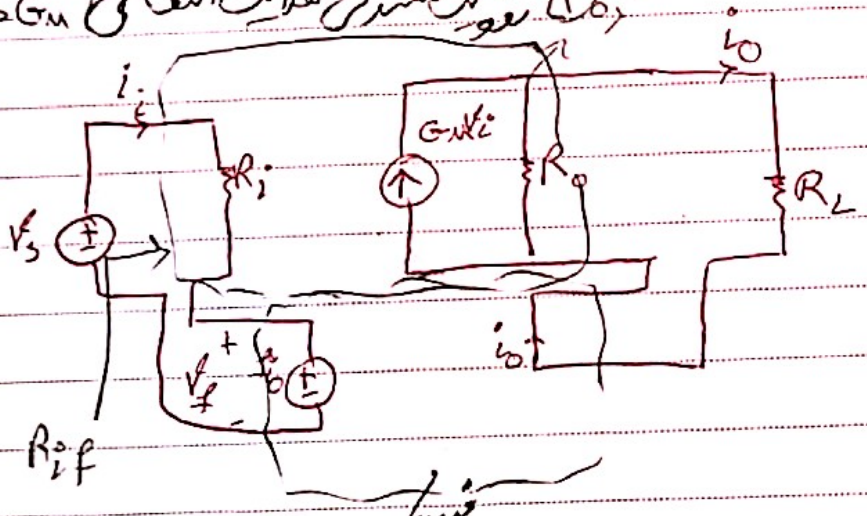
بدون تحلیل ترانزیستور، همان مراحل تغییر پذیری

$$\begin{cases} R_{if} = R_i(1+a\beta) \\ R_{of} = \frac{R_o}{1+a\beta} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_i = R_s + h_{ie} + (1+h_{fe}) r_{if} \\ R_o = R_L \| r_{of} \end{cases}$$

Subject
Date

تقویت کننده جریان سری با سری = سری سری:

$a = G_M$ تقویت کننده جریان ایده آل



شبیه تک

$$R_{if} = \frac{V_s}{i_i} \quad , V_s = V_i + V_f \Rightarrow V_i + f i_o$$

$$R_o >> R_L \Rightarrow i_o = G_M V_i$$

$$V_s = V_i + f(\underbrace{G_M V_i}_{a}) = V_i + af V_i = V_i(1+af)$$

$$R_{if} = \frac{V_s}{i_i} = \frac{V_s}{V_i} \cdot \left(\frac{V_i}{i_i}\right) \qquad R_i' = (1+af) R_i$$

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

$$\text{KCL}: G_M V_i + i_x = \frac{V_x}{R_o}$$

$$i_x = \frac{V_x}{R_o} - G_M V_i \Rightarrow i_x = \frac{V_x}{R_o} - a R_i i_i$$

$$\text{KVL}: V_i + V_f = 0 \rightarrow V_i = -V_f = -f i_o = f i_x \Rightarrow i_x = \frac{V_x}{R_o} - af i_x$$

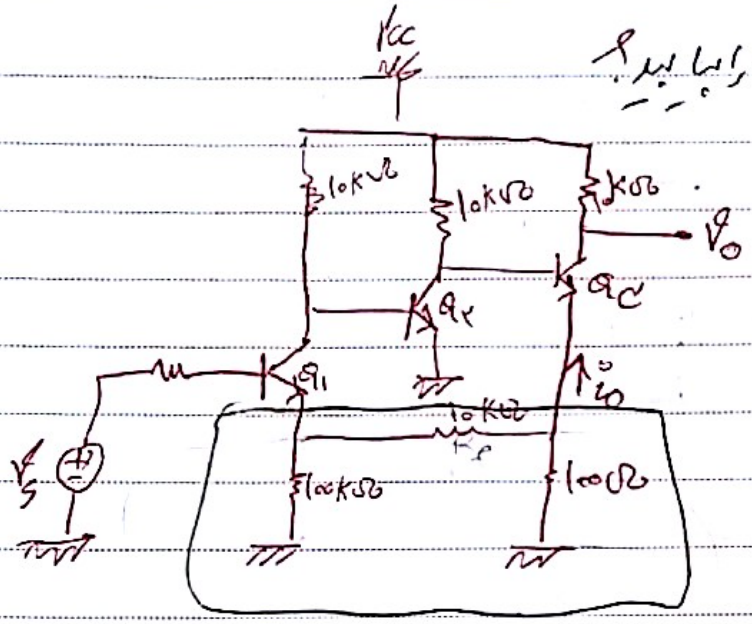
P4PCO

$$R_{of} = \frac{V_x}{i_x} = R_o(1+af)$$

Subject
Date

Common base

مثال: در مدار زیر مقادیر R_{in} و A_v را بیابید.



$h_{fe} = 100$

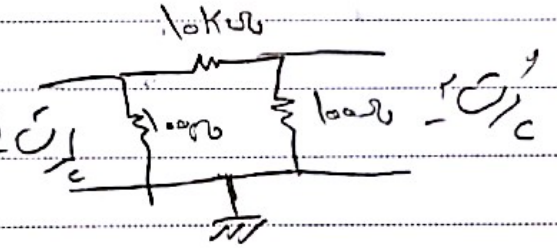
$g_m = 40mS$

حل:

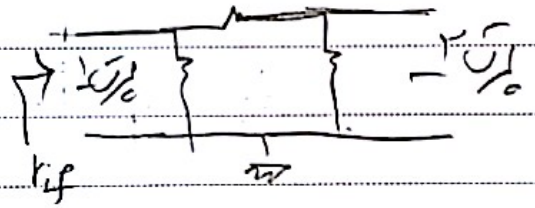
فیدبک جریان - سری : نوع فیدبک ۱

فیدبک ولتاژ - سری : نوع فیدبک ۲

اثر بارگذاری مدار بر روی A_v و R_{in} را بررسی می‌کنیم.

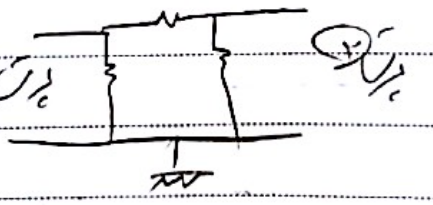


بدون اثر بارگذاری



$r_{if} = (10k\Omega + 100\Omega \,||\, 100\Omega) \simeq 100\Omega$

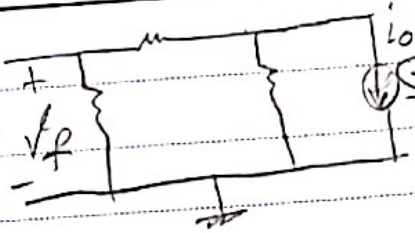
با در نظر گرفتن اثر بارگذاری



$r_{if} = (10k\Omega + 100\Omega \,||\, 100\Omega) \simeq 100\Omega$

Subject
Date

ج) f محاسبه

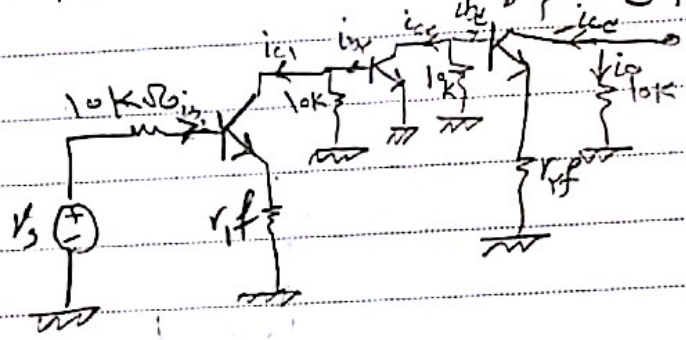


$$f = \frac{v_f}{i_o} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = \frac{v_f}{i_o} = \frac{-0.1\,k\Omega}{10.1\,k + 0.1\,k} \times 0.1^{k} = \frac{-1}{102}$$

د) A محاسبه

تحلیل AC انجام می دهیم



$$h_{ie} = r_\pi = \frac{h_{fe}}{g_m} = 1.5\,k\Omega$$

$$G_M = a = \frac{i_o}{v_s} = \frac{i_o}{i_{c_4}} \times \frac{i_{c_4}}{i_{b_4}} \times \frac{i_{b_4}}{i_{c_2}} \times \frac{i_{c_2}}{i_{b_2}} \times \frac{i_{b_2}}{i_{c_1}} \times \frac{i_{c_1}}{i_{b_1}} \times \frac{i_{b_1}}{v_s}$$

$$= (-1)(h_{fe})\left(\frac{-10^{k}}{10^{k} + h_{ie} + (1+h_{fe})r_1 f}\right)(h_{fe})\left(\frac{-10^{k}}{10^{k} + h_{ie}}\right)(h_{fe}) \times$$

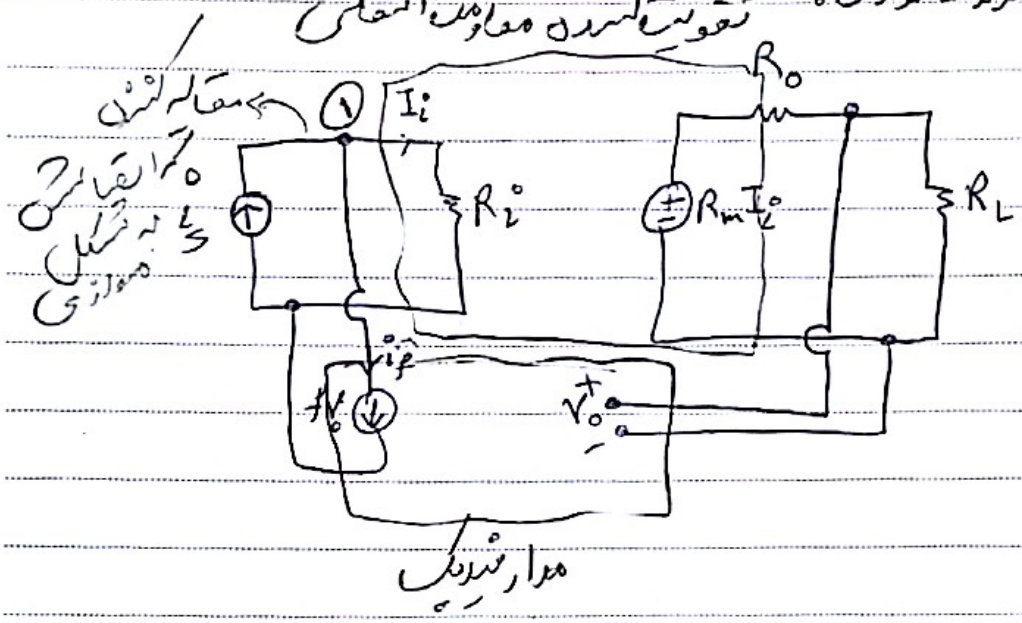
$$\times \left(\frac{1}{10^{k} + h_{ie} + (1+h_{fe})r_f}\right) = -1.5 \times 10^{2} \times 1.5$$

$$A = \frac{a}{1+af} = -95.1$$

$$\text{ضریب} \begin{cases} \text{if } af > 0 & \text{ضریب منفی} \\ \text{if } af < 0 & \text{ضریب مثبت} \end{cases}$$

Subject
Date

فیدبک ولتاژ-موازی یا مولد ی-موازی: تقویت کننده مقاومت انتقالی



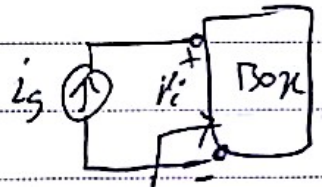
① دور KCL:

$$i_s = I_i + I_f$$

$$i_s = I_i + fV_o$$

$$i_s = I_i + f(R_m V_i)$$

$$i_s = I_i + f(aV_i) = I_i(1+af)$$



$$R_{if} = \frac{V_i}{I_s} = \frac{V_i}{I_i(1+af)} = \frac{V_i}{I_i} \times \frac{1}{(1+af)} \rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{R_{if} = R_i \times \frac{1}{(1+af)}}$$

$$\boxed{R_{of} = R_o \frac{1}{(1+af)}}$$

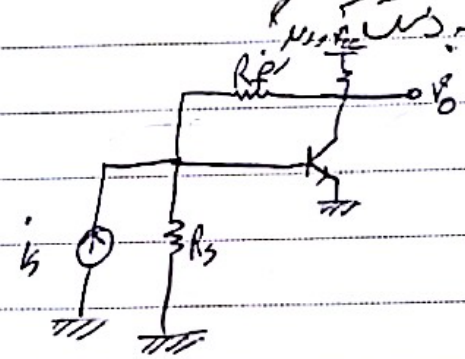
Subject
Date

۱) بررسی دو حالت فیدبک شیل می توان نتیجه گرفت:

① در فیدبک سوازی امپدانس های ورودی و خروجی به میزان $\frac{1}{1+af}$ کاهش می یابد.

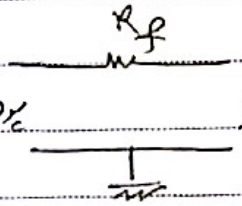
② در فیدبک سری امپدانس های ورودی و خروجی به میزان $\frac{1}{1+af}$ افزایش می یابد.

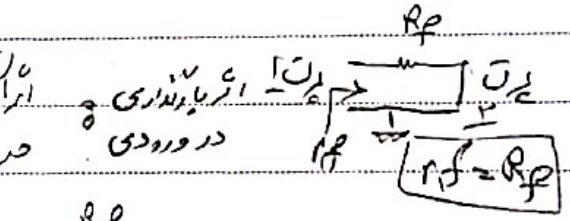
مثال: دنباله مثال های شیل تمام مقادیر فیدبک را به دست آورید.



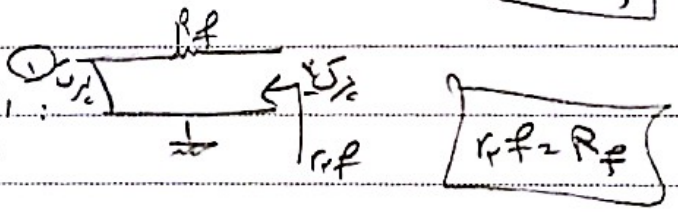
فیدبک ولتاژ - سوازی : نوع فیدبک ①

سوازی - سوازی



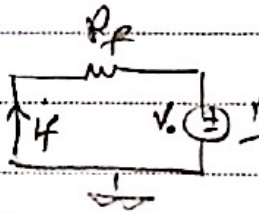


اثر بارگذاری ③ اثر بارگذاری ④
در ورودی در ورودی و خروجی



اثر بارگذاری : ⑤
در خروجی

⑥ محاسبه f :



$KVL: R_f i_f + V_o = 0$

$R_f i_f = -V_o$

$f = \frac{i_f}{V_o} = -\frac{1}{R_f}$

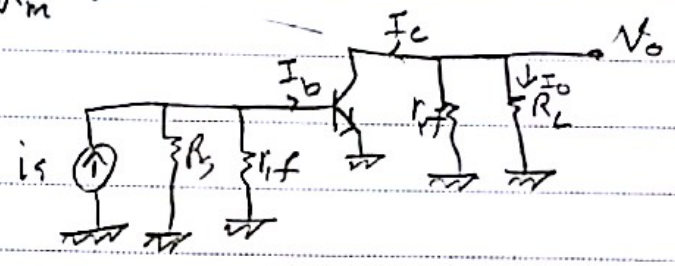
$\frac{V_f}{V_o} = -\frac{1}{R_f}$

PqPCO

Subject
Date

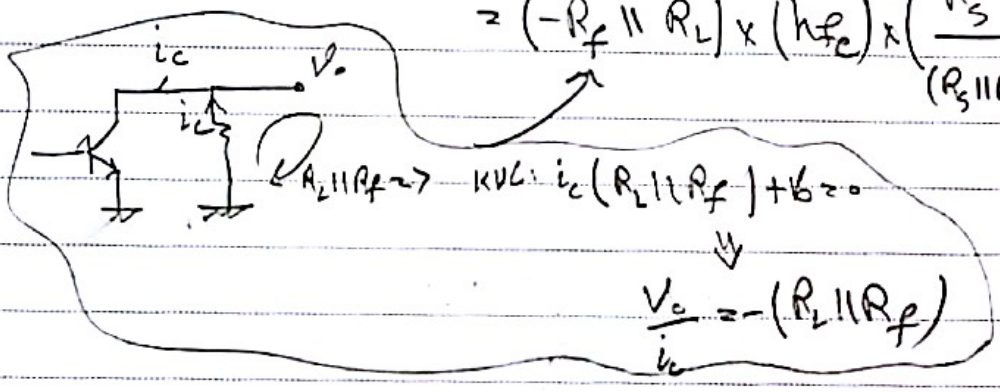
1) $A_{S/C}$: $A = \frac{a}{1+af}$

$a = R_m$:



$$a = R_m = \frac{V_o}{I_s} = \frac{V_o}{I_c} \cdot \frac{i_c}{i_b} \cdot \frac{i_b}{I_s}$$

$$= (-R_f \parallel R_L) \times (h_{fe}) \times \left(\frac{R_s \parallel R_F}{(R_s \parallel R_F) + h_{ie}} \right)$$



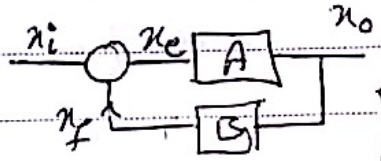
$$A = \frac{a}{1+af}$$

$$R_{of} = R_o \frac{1}{(1+af)} \rightarrow R_o = (R_L \parallel R_f)$$

$$R_{if} = R_i \frac{1}{(1+af)} \rightarrow R_i = (r_{if} \parallel h_{ie})$$

Subject
Date

مدوری پیرامون مسائل فیدبک:



(۱)

$$\begin{cases} x_f = Bx_o \\ x_e = x_i - x_f = x_i - Bx_o \\ x_o = Ax_e \end{cases}$$

$$x_e = x_i - Bx_o = x_i - B(Ax_e) = x_i - ABx_e$$

$$x_e + ABx_e = x_i \rightarrow x_e(1+AB) = x_i$$

$$\boxed{\frac{x_e}{x_i} = \frac{1}{1+AB}} \qquad \boxed{\frac{x_o}{x_i} = \frac{A}{1+AB}}$$

(۲)

if $AB > 0$ → فیدبک منفی

if $AB < 0$ → سیستم ناپایدار → فیدبک مثبت

if $AB \gg$ بزرگ → $\frac{x_o}{x_i} = \frac{1}{B}$

$$x_e = x_i - x_f \rightarrow \frac{x_e}{x_i} = 1 - \frac{x_f}{x_i} \rightarrow \frac{x_f}{x_i} = 1 - \frac{x_e}{x_i} = 1 - \frac{1}{1+AB} =$$

$$= \frac{AB}{1+AB}$$

if $AB \gg$ بزرگ → $\frac{x_f}{x_i} = \frac{AB}{AB} \simeq 1 \Rightarrow \boxed{x_f \simeq x_i}$

Subject
Date

③ فیدبک کلکتوری: ① ولتاژ ② جریان

موازی در مدار: اگر دو سر بار اتصال کوتاه شود. : ولتاژ ①

سری در مدار: در غیر این صورت جریان است. : جریان ②

مقایسه کننده‌ی:

اتصال به امیتر : سری ①

اتصال به بیس : موازی ②

④ تشخیص نوع فیدبک:

① باید دید فیدبک به صورت سری در حلقه ورودی قرار می‌گیرد یا به گره ورودی می‌رود.

② حلقه خروجی این است که شامل منبع سیگنال و بخش ورودی تقویت کننده باشد.

③ منظور از بخش ورودی یک تقویت کننده BJT پیوند B-E اولین BJT است و برای تقویت کننده‌ی FET پیوند G-S اولین FET.

④ چنانچه در حلقه ورودی یک منبع به صورت سری با یک قرار گیرد و به نحوی با خروجی در ارتباط باشد مقایسه کننده‌ی سری است.

PqPCO

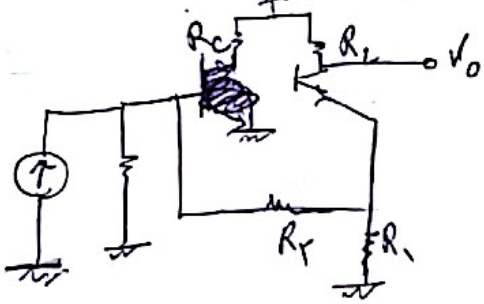
۵) اگر فیدبک وارد سر منفی تقویت کننده مدار شود، مقاومت کننده سری است.

۶)

if $V_o = 0$ → حتی با R_L اتصال کوتاه شود → if $V_o = 0$ شود نمونه گیر ولتاژ است

if $i_o = 0$ → حتی با R_L اتصال باز شود → if $V_o = 0$ شود نمونه گیر جریان است.

۷) اگر فیدبک به جایی وارد شود که به خروجی با V_o وصل شود نمونه گیر ولتاژ است و اگر فیدبک به جایی وارد شود که به خروجی با V_o وصل نشود نمونه گیر جریان است.



۸) نامگذاری فیدبک:

۱) اتصال ورودی - اتصال خروجی

۲) نوع نمونه گیر - نوع مقایسه کننده

⑥ اگر مقایسه کننده‌ی سری باشد ⇐

$$\begin{cases} R_{if} = R_i(1+AB) \\ V_s = V_i(1+AB) \end{cases}$$

اگر مقایسه کننده‌ی موازی باشد ⇐

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

اگر نمونه‌گیری ولتاژ باشد ⇐

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

اگر نمونه‌گیری جریان باشد ⇐

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

⑦ حل فیدبک:

① تعیین نوع فیدبک

② محاسبه اثر بارگذاری

③ محاسبه f

④ محاسبه A_f یا A

⑧ محاسبه اثر بارگذاری بر ورودی:

مدار ورودی

- اگر در خروجی از ولتاژ نمونه‌گیری شود پرت ۲ اتصال کوتاه و اگر در خروجی از جریان نمونه‌گیری شود پرت ۲ اتصال باز و کمیت نمونه‌گیر را صفر می‌کنیم.

مدار خروجی

- اگر در ورودی مقایسه سری بود ⇐ پرت ۱ اتصال باز ⇐ کمیت برگشتی ورودی برابر است را صفر می‌کنیم
- " " " " موازی " ⇐ پرت ۲ " کوتاه

Subject
Date

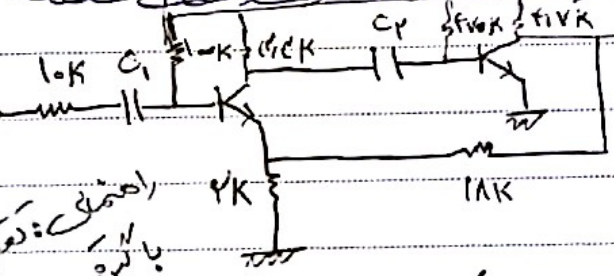
محاسبه f:

- در پرت ۱ کمیتی که با کمیت ورودی

برابر است را صفر کرده و کمیت دیگر محاسبه می‌شود.

- در پرت ۲ کمیت نمونه برداری به صورت منبع سیگنال وارد می‌دهیم.

مثال ۱: در مدار شکل زیر با فرض داده شده در سوال مقدار $\frac{V_o}{V_s}$ کدام است؟



$I_{C_1} = 2mA$

$I_{C_2} = 11.3mA$

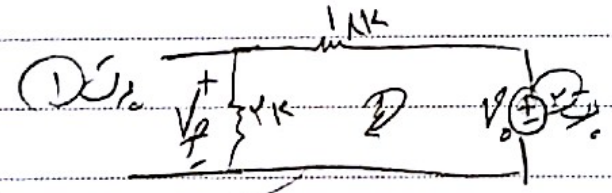
$\beta = 100$

راهنمایی: تقویت کننده با بازخورد بالا

$\frac{V_o}{V_s} = ?$

نوع فیدبک: سری ـ سری

$$A = \frac{a}{1+af} \xrightarrow{af \gg 1} \frac{a}{af} = \frac{1}{f}$$



$$2i + 18i + V_o = 0$$

$$(2+18)i = -V_o$$

$$i = -\frac{V_o}{2+18}$$

$$f = \frac{V_f}{V_o} = \frac{2}{18+2} = \frac{2}{20} = \frac{1}{10} = 0.1$$

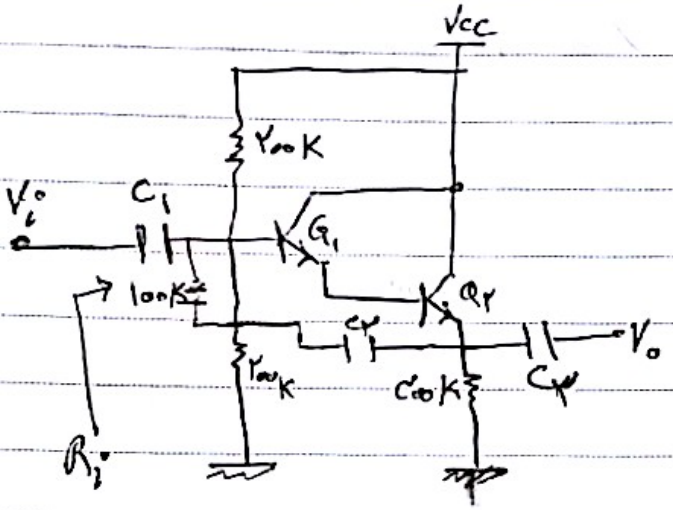
$$A = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.1} = 10$$

PqPCO

$$V_f = -2i = \frac{2V_o}{18+2} \rightarrow \frac{V_f}{V_o} = \frac{2}{18+2}$$

Subject
Date

مثال ۲: امپدانس ورودی مدار تقویت کننده شکل زیر چند کیلو اهم است؟
(ضریب‌ها ترانزیستورها)



$A_V = 0.98$

$h_{ie_1} = 1\,K\Omega$

$h_{ie_2} = 500\,\Omega$

$h_{fe_1} = h_{fe_2} = 50$

$R_i = ?$

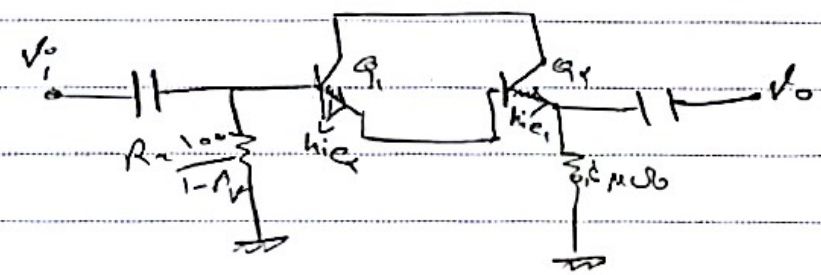
(با استفاده از قضیه میلر مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم در ورودی مانند به صورت $\frac{100}{1-A_V}$ عمل می‌کند.)

اگر مقاومت معادل آن را در خروجی در نظر بگیریم داریم:

در تحلیل DC $\leftarrow f = 0$

پس $\omega = 0 \Rightarrow X_C = \frac{1}{\omega C} = \infty$ مدار باز

پس در تحلیل مدارهای DC که خازن‌ها باز هستند مدار باز و در تحلیل AC اتصال کوتاه



$$R = \frac{100^K}{1-A_V} = \frac{100^K}{1-0.98} = \frac{100^K}{0.02} = \frac{100 \times 100}{2} = 50 \times 100^K = 5000\,K = 5\,M\Omega$$

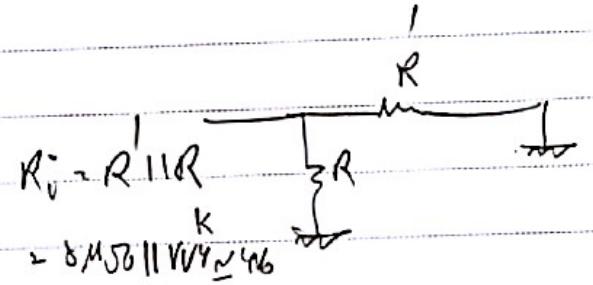
PqPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

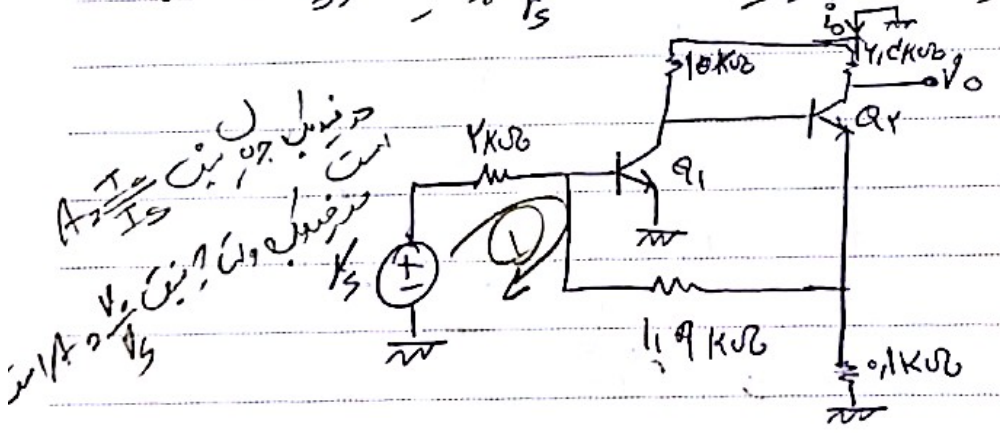
۱) $K_s \equiv K_{hie}$

۲) h_{fe} هر مقاومتی که در امیتر بود را در h_{fe} ترانزیستور ضرب کرده و به بین مشتق نامیم.

در حل مثال داریم: $R' = (10 \, h_{fe_2} + h_{ie_2}) \, h_{fe_1} \, h_{ie_1} = 774 K\Omega$



مثال ۳: مدار معادل AC زیر را دوباره تغییر دهید، بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_s}$ برای این مدار چقدر است؟



جریان - موازی نوع فیدبک ۱۱

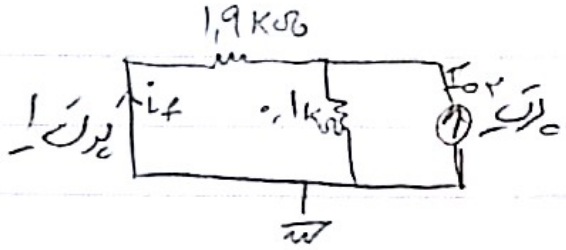
سری - موازی

بزرگ A_2 تقویت کنندگی ایده‌آل

$$\frac{I_o}{I_s} = A = \frac{a}{1 + af} \xrightarrow{a \gg} \frac{1}{f}$$

Subject:

Year. Month. Date.



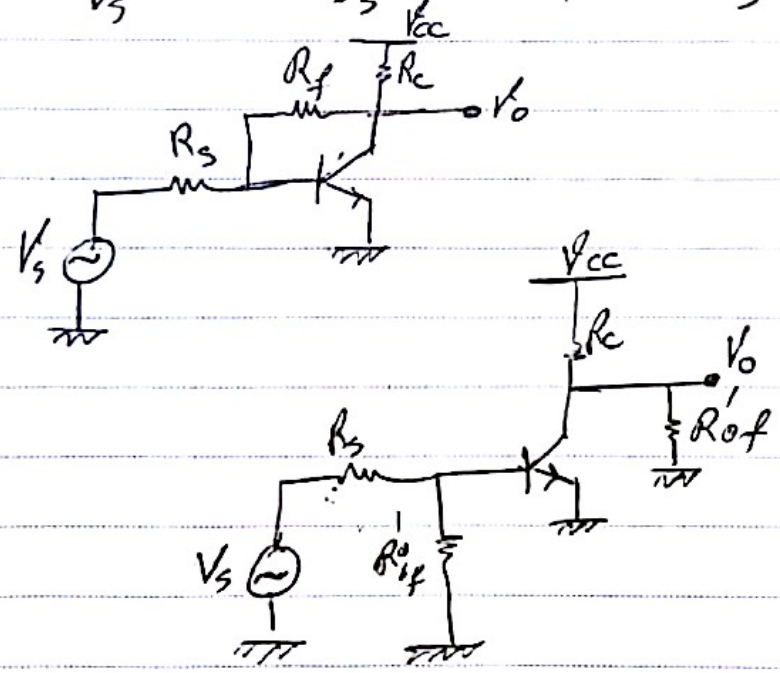
$$f = \frac{i_f}{I_o} = \frac{-0.1}{0.1+1.9} = -0.05$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{-40 \times i_o}{4_o}$$

$$\text{KVL}: V_s + 2I_s + V_{sE} = 0 \rightarrow V_s = 2I_s$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{-40 \times i_o}{2I_s} = \frac{-40}{2} \times \frac{I_o}{I_s} = 4$$

تقسیم‌بار:

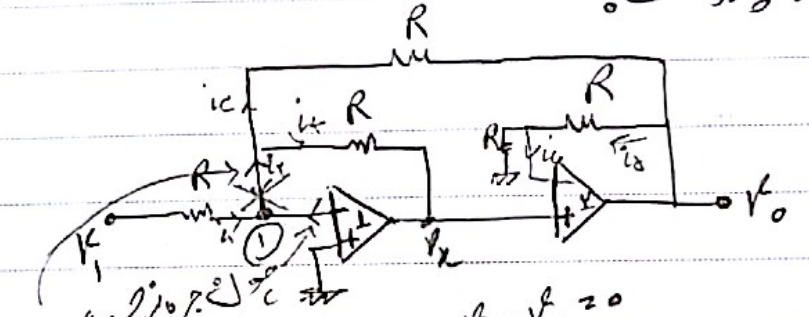


$$R'_{if} = \frac{R_f}{1 - A_v}$$

$$R'_{of} = \frac{R_f}{1 - \frac{1}{A_v}}$$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مثال ۴: بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_I}$ در مدار روبرو چقدر است؟



$\frac{V_o}{V_I} = ?$

$V_+ = V_- = 0$

$i_1 = i_2$

$i_2 = i_C + i_4$

$\Rightarrow i_1 = i_C + i_4$

①

$$\frac{V_i - 0}{R} = \frac{0 - V_o}{R} + \frac{0 - V_x}{R}$$

$$i_4 = i_o \rightarrow \frac{V_x - 0}{R} = \frac{V_o - V_x}{R}$$

$$V_x = V_o - V_x$$

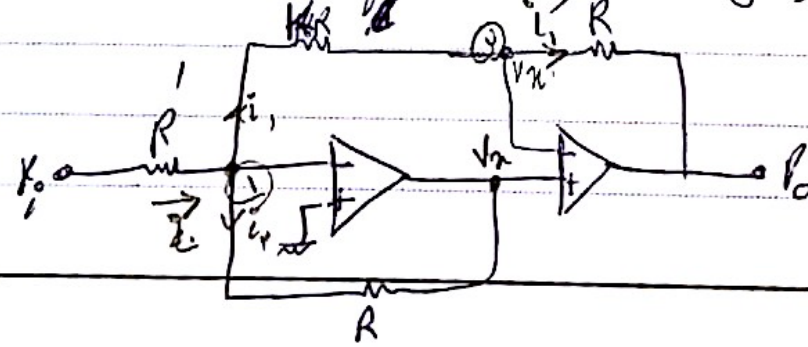
$$2V_x = V_o \rightarrow V_x = \frac{V_o}{2}$$

①

$$V_i = -V_o - V_x \rightarrow V_i = -\frac{3}{2} V_o$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{2}{3}$$

مثال ۵: در مدار متعادل شده op-amp ایده‌آل زیر بهره ولتاژ $\frac{V_o}{V_i}$ را به دست آورید.



$A_v = \frac{V_o}{V_i} = ?$

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

① گره KCL $i' = i_1 + i_2$

$$\frac{V_i - 0}{R'} = \frac{0 - V_x}{KR} + \frac{0 - V_x}{R}$$

② گره KCL $\frac{0 - V_x}{KR} = \frac{V_x - V_o}{R} \rightarrow \frac{-V_x}{K} = V_x - V_o$

$$V_o = V_x + \frac{V_x}{K} = V_x\left(1 + \frac{1}{K}\right) = V_x\left(\frac{1+K}{K}\right)$$

$$V_x = V_o \frac{K}{1+K}$$

از رابطه ① $\frac{V_i}{R'} = -\frac{1}{KR}\left(V_o \frac{K}{1+K}\right) - \frac{1}{R}\left(V_o \frac{K}{1+K}\right)$

$$\frac{V_i}{R'} = V_o\left[\frac{-1}{R(1+K)} - \frac{K}{R(1+K)}\right] = V_o\left[\frac{-1-K}{R(1+K)}\right]$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R(1+K)}{-R(1+K)} = -\frac{R}{R'}$$

P4PCO