حتماً چند تقطه op-AMP همراه آورده شود .

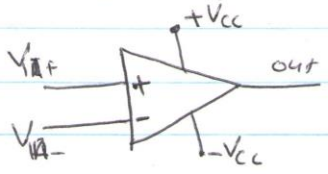
# فصل ۳
# تقویت کننده های عملیاتی

یکی از پرکاربردترین المانها در مدارهای کاربردی می باشد .
همانطور که منابع وابسته را با توجه به ماهیت وابستگی آنها معرفی کردیم این المان
کاربردی را هم معرفی می کنیم

۱- مدل های تقویت کننده عملیاتی (operational-Amplifier) (op-Amp)

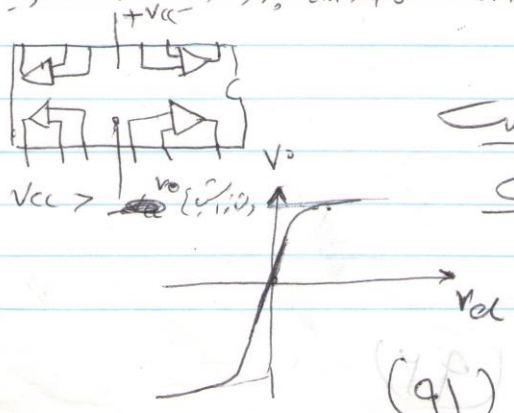
از نظر مداری و ساختمان داخلی یک op-Amp از چه تعداد مقاومت، ترانزیستور و خازن
ساخته می شود که در اینجا ما با ساختمان داخلی آن کار نداریم از نظر ما المانی است

که با شکل زیر




این المان به صورت IC ساخته
و در اختیار ما قرار می گیرد

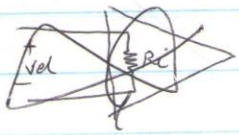
انواع چهارتایی آنها را هم داریم . lm324 و چهارتایی lm348 و ۱۴ پایه IC

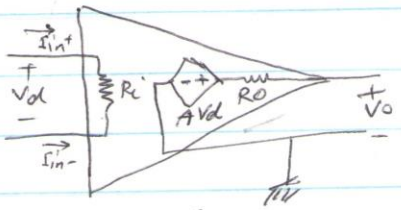



همانطور که از اسم آن پیداست
تقویت کننده تفاضلی است

از فیدبک مدار یک تقویت کننده مجتمع را در محدوده کار آن مورد مطالعه قرار

داده فیدبک گرفت





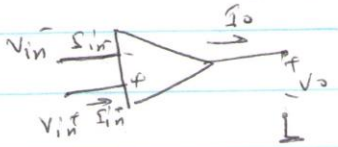

نکته مهم در تقویت کننده مجتمع این است که $R_i \gg$ و معمولاً $A \ggg$ و $R_o \ll$

## تعریف OP-AMP ایدال

$R_i = \infty$

$A_V = \infty$

$R_o = 0$




نتیجه ۱: در OP ایده‌آل $I_{in}^- = I_{in}^+$ تقریباً صفر، که مخالفت این با KCL را نقض نمی‌کند

چرا که جریان از طریق شاخه‌ها به داخل بسته می‌شود.

نتیجه ۲: OP مورد استفاده به عنوان یک المان عنصری استفاده می‌شود و الزاماً المان نیست

نتیجه ۳: محدودیت‌های مدار نقطه‌ها برای OP عبارت از

$|V_{o_{max}}| < E_{sat}$

$|I_o| < I_{sat}$

$\left|\frac{d(V_o(t))}{dt}\right| < SR$ slew Rate

سرعت چرخش

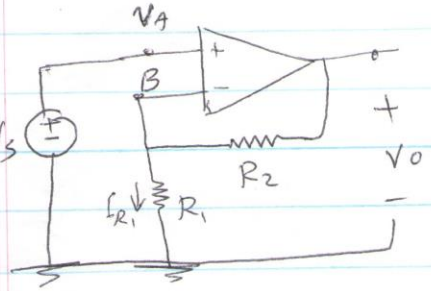
$V_{cc} = \pm 10 \Rightarrow E_{sat} = 12$ , $I_{sat} = 5mA$

$SR = 0.8\ V/\mu sec$

## مدارهای op-amp

### تقویت کننده غیرمعکوس کننده؛ علامت (با ضریب تقویت مثبت)

از آنجا که بهره تقویت op-amp بسیار زیاد است از آن در مدارهای با برخورد فیدبک استفاده می‌شود.




با توجه به شکل:

$V_A = V_B = V_S$

$i_{in} = 0$ ← $i_{R_1} = i_{R_2}$

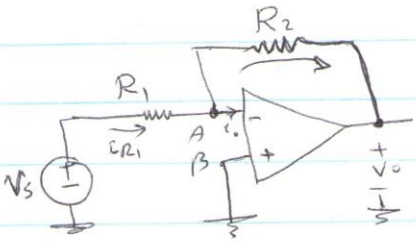
$\rightarrow i_{R_1} = \frac{V_B}{R_1} = \frac{V_S}{R_1}$

$V_o = (R_1+R_2) \times \frac{V_S}{R_1} = \frac{R_1+R_2}{R_1} \times V_S$

$$\frac{V_o}{V_S} = \frac{R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

این مدار یک تقویت کننده است که سیگنال ورودی را با ضریب بزرگتر از یک تقویت می‌کند.

### تقویت کننده معکوس کننده؛ علامت




$V_A = V_B = 0$

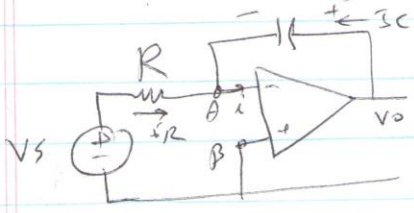
$i = 0 \quad I_{R_1} = V_S / R_1$

$I_{R_1} = I_{R_2}$

$$V_o = -I_{R_2} \times \frac{V_S}{R_1} = -\frac{R_2}{R_1} V_S$$

در اینجا بهره می‌تواند بزرگتر از یک یا کوچکتر از یک باشد.

### مدار انتگرال گیر

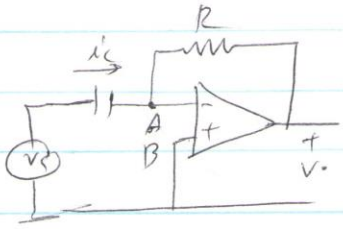



$V_A = V_B = 0 \quad I_R = \frac{V_S}{R} \quad I_C = -I_R$

$i = 0 \quad V_o = V_C = V_C(0) + \frac{1}{C}\int_0^t I_C dt$

$$= 0 + \frac{1}{C}\int_0^t \frac{-V_S}{R} dt = \frac{-1}{RC}\int_0^t V_S dt$$

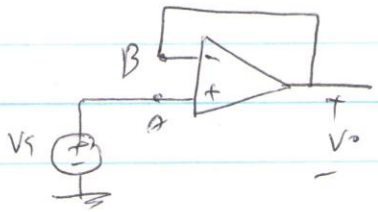
اگر جای خازن، مقاومت $R$ را به عنوان عضو فیدبک در مدار مشتق گیر خواسته شده




$$i_c = C\frac{dV_s}{dt}$$

$$V_o = -Ri_c = -RC\frac{dV_s}{dt}$$

تعقیب کننده ولتاژ (بافر)

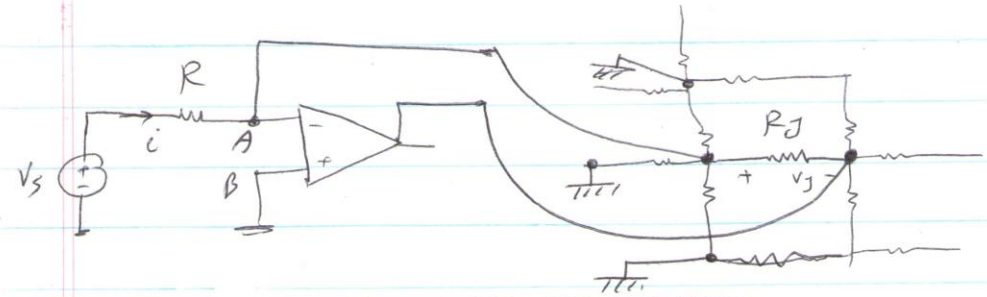



$$V_A = V_B$$

$$\begin{cases} V_A = V_S \\ V_B = V_o \end{cases} \longrightarrow V_o = V_S$$

جهت تقویت جریان و جلوگیری از بارگذاری طبقه استفاده می‌شود.

اندازه‌گیری مقاومت بدون برداشتن سیم‌ها




$$A_V = \frac{-R_J}{R} \rightarrow \boxed{R_J = -R \times A_V}$$

از آزمایش کردن سری دیگر مقاومت‌ها که به نقطه A وصل می‌شود فراموش نشود

# تحلیل گره در مدارهای با op-amp ایده‌ال

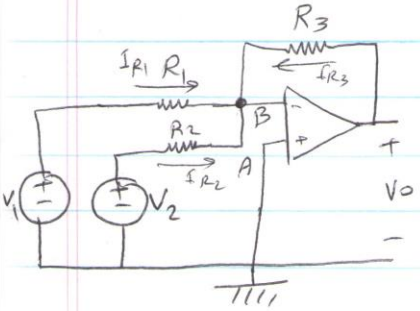
در تحلیل گره در مدارهای op-amp ایده‌ال توجه داشته باشید

۱- جریان وارد شونده به پایه‌های ورودی op-amp برابر صفر است

۲- اختلاف پتانسیل بین پایه‌های ورودی op-amp در صورت داشتن فیدبک منفی صفر است.

۳- جریان خروجی op-amp صفر نیست. روی معمولاً شیارهای آن نیست

مثال: ولتاژ خروجی $V_o$ را در مدار زیر محاسبه نمایید




$V_A = V_B = 0$

$I_{R_1} + I_{R_2} + I_{R_3} = 0$

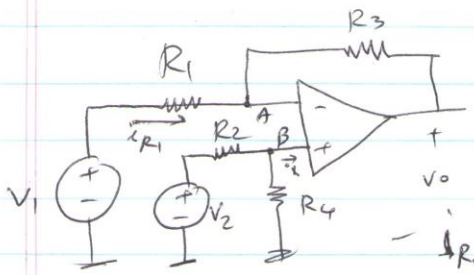
$$\frac{V_1 - 0}{R_1} + \frac{V_2 - 0}{R_2} + \frac{V_o - 0}{R_3} = 0$$

$$V_o = -R_3\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}\right) = \frac{-R_3}{R_1}V_1 - \frac{R_3}{R_2}V_2$$

این مدار ورودی $V_1$ و $V_2$ را با ضرایب $\frac{-R_3}{R_1}$ و $\frac{-R_3}{R_2}$ تقویت می‌کند

اگر $R_1$ و $R_2$ مساوی اختیار شوند هر دو را با ضریب برابر تقویت می‌کند.

مثال $V_o$ را محاسبه نمایید



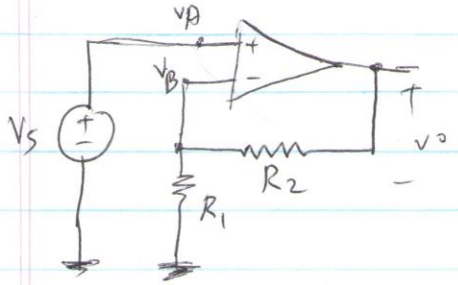

$$i_2 = 0 \rightarrow V_B = \frac{R_4}{R_2+R_4}V_2 = V_A$$

$$i_{R_1} = \frac{V_1 - \frac{R_4}{R_2+R_4}V_2}{R_1} = \frac{V_1R_2 + R_4(V_1 - V_2)}{R_1(R_2+R_4)}$$

$$V_o = V_A - R_3 i_{R_1} = \frac{R_4}{R_2+R_4}V_2 - \frac{R_2R_3}{R_1(R_2+R_4)}V_1 - \frac{R_3R_4}{R_1(R_2+R_4)}V_1 + \frac{R_3R_4}{R_1(R_2+R_4)}V_2$$

$$= V_2\frac{R_4(R_1+R_3)}{(R_2+R_4)R_1} - V_1\frac{R_3(R_2+R_4)}{R_1(R_2+R_4)} \quad (49) \quad \overset{\substack{R_1=R_2\\R_3=R_4}}{=} \frac{R_3}{R_1}(V_2 - V_1)$$

# تقویت کننده محاسباتی با بهره ولتاژ حلقه باز محدود




$$V_o = A(V_A - V_B)$$

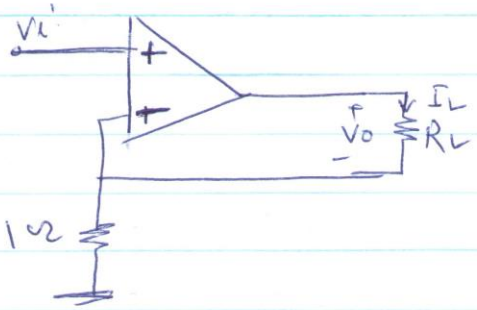
$$V_B = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_o$$

$$V_A = V_S$$

$$V_o = A\left(V_S - \frac{R_1}{R_1+R_2} V_o\right)$$

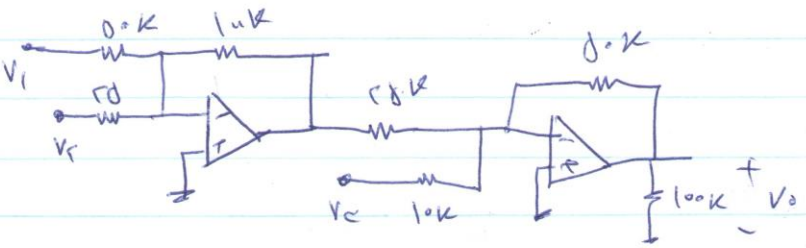
$$V_o\left(1+\frac{R_1 A}{R_1+R_2}\right) = AV_S \rightarrow \frac{V_o}{V_S} = \frac{A}{1+\frac{R_1 A}{R_1+R_2}}$$

$$\frac{V_o}{V_S} = \frac{A}{1+AB} \underset{A\to\infty}{=} \frac{1}{B} \qquad B = \frac{R_1}{R_1+R_2}$$




مطلوب است

$$\frac{I_L}{V_i}, \frac{V_o}{V_i}$$




$$V_o = F(V_1, V_2, R_c)$$