به نام خدا

الکترونیک ۲

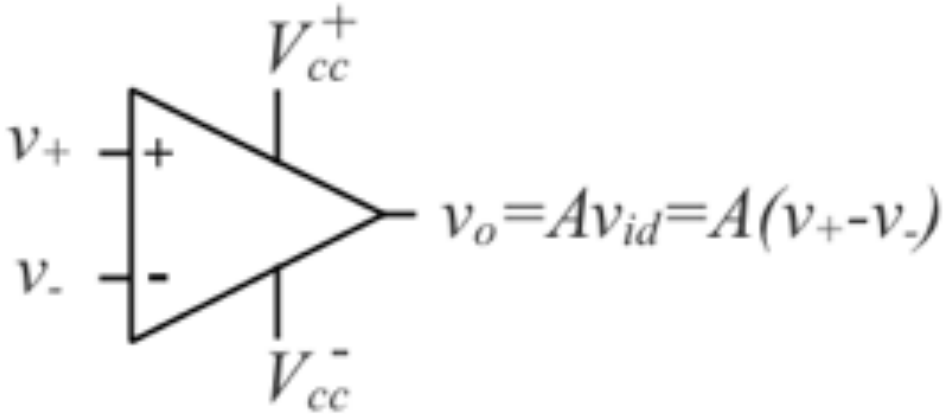
تقویت کننده های عملیاتی

ارائه دهنده:حسین کرمی طاهری

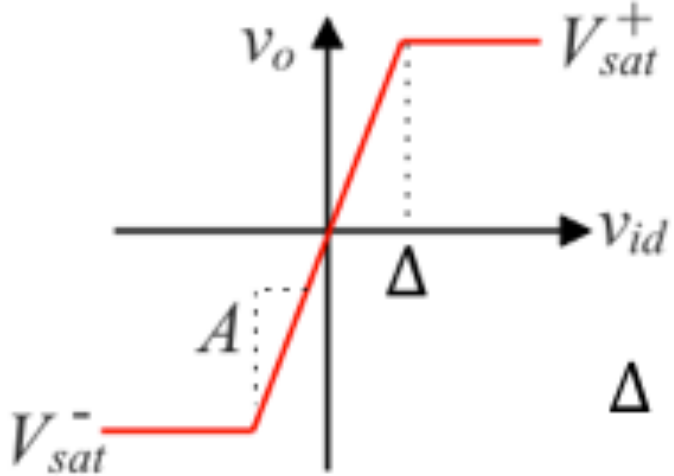
تقویت کننده عملیاتی

- **Operational Amplifier: OpAmp**

- تاریخچه و علت نامگذاری



- **ویژگی های تقویت کننده های عملیاتی واقعی**
  - بهره ولتاژ بالا (اما محدود)
  - مقاومت ورودی بالا (اما محدود)
  - مقاومت خروجی کوچک (اما غیر صفر)
  - اشباع شدن ولتاژ خروجی در سطوح خاص

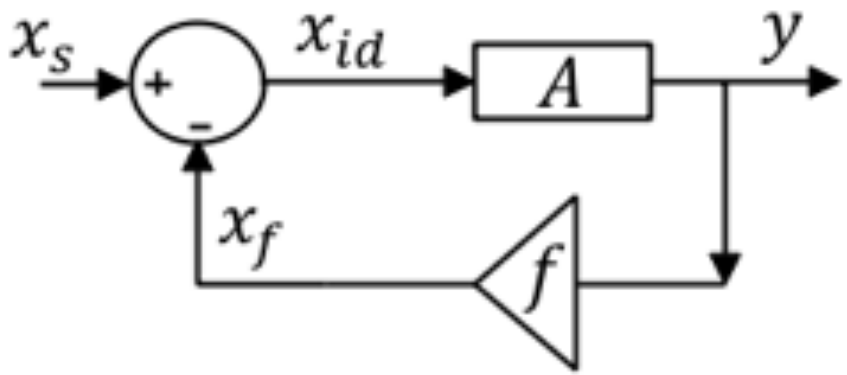


$$\Delta = \frac{V_{sat}}{A} \approx \frac{10}{10^6} = 10\mu V$$

استفاده از فیدبک منفی در کاربردهای آنالوگ

تقویت کننده علمیاتی ایده آل

- مقاومت خروجی صفر
- مقاومت ورودی بی نهایت (جریان پایه های ورودی صفر است)
- بهره ولتاژ بی نهایت (در صورت وجود فیدبک منفی، پایه های ورودی هم پتانسیل هستند)



$$x_{id} = x_s - x_f = x_s - x_{id}Af \implies$$

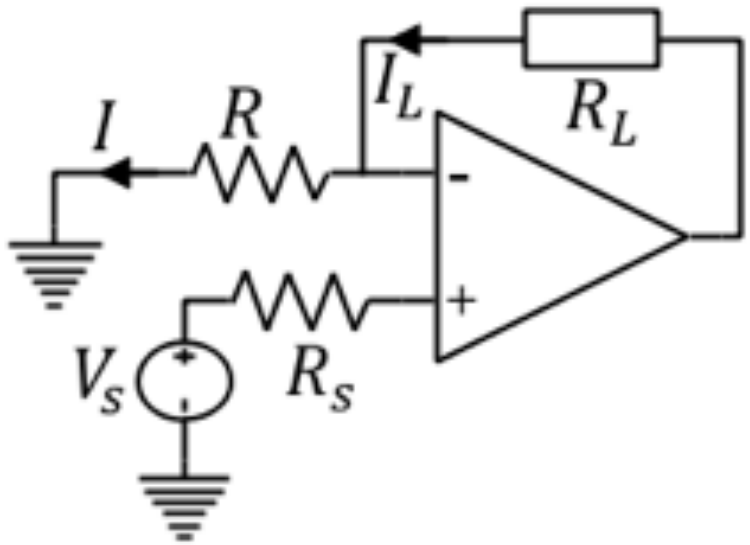
$$x_{id} = \frac{x_s}{1+Af} \xrightarrow{A\to\infty} x_{id} = 0 \implies x_s = x_f$$

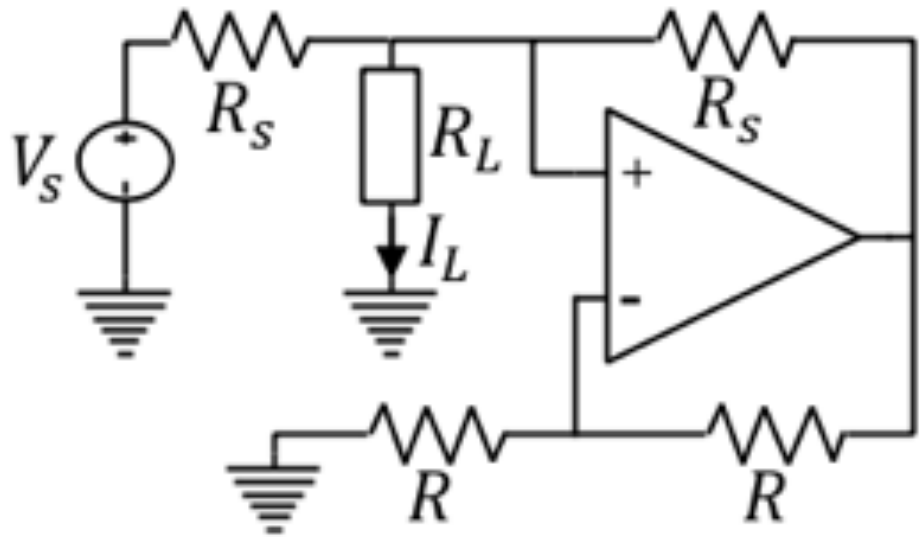
$$y = Ax_{id} = A(x_s - x_f) = A(x_s - fy) \implies A_f = \frac{y}{x_s} = \frac{A}{1+Af} \xrightarrow{Af\to\infty} A_f = \frac{1}{f}$$

با کاهش بهره، اشباع ولتاژ خروجی دیرتر اتفاق می افتد.

تمرین سری اول

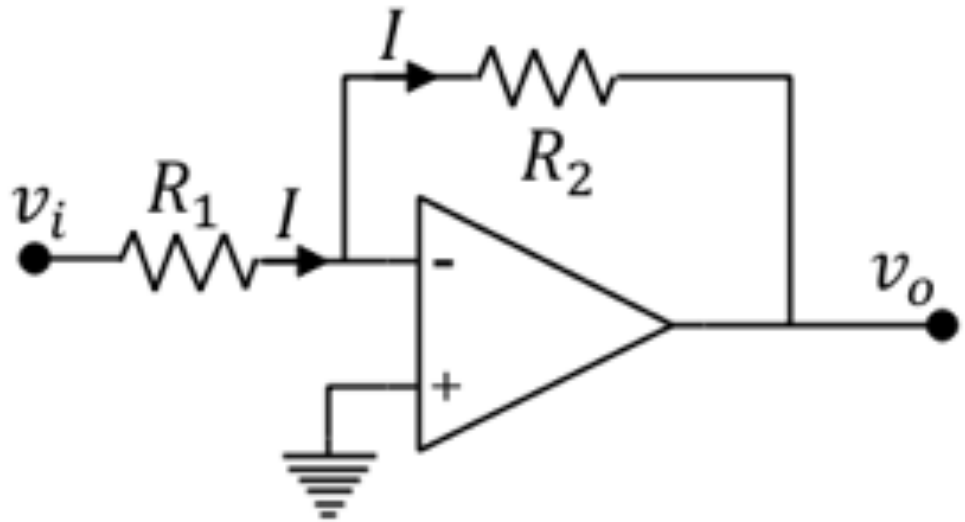
- مطلوب است محاسبه جریان I_L در مدارهای شکل زیر بر حسب V_s, R_s و R.





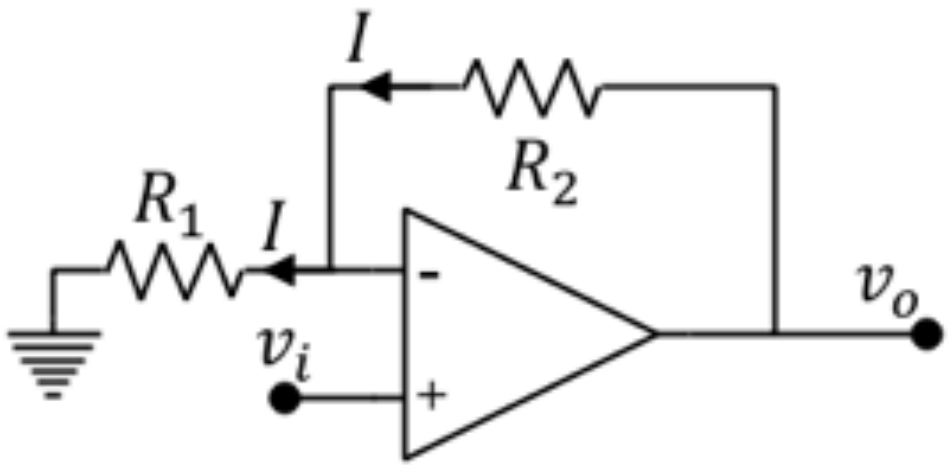
عملیات ریاضی

- تقویت کننده با بهره منفی:



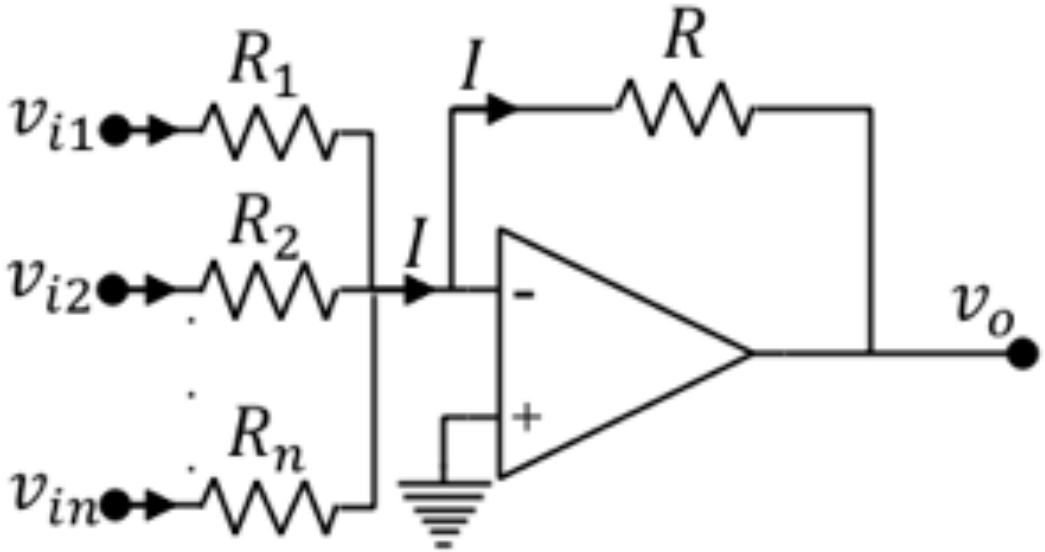
$$v_- = v_+ = 0 \Longrightarrow I = \frac{v_i}{R_1} \Longrightarrow v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_i$$

- تقویت کننده با بهره مثبت:



$$v_- = v_+ = v_i \Longrightarrow I = \frac{v_i}{R_1} \Longrightarrow v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_i$$

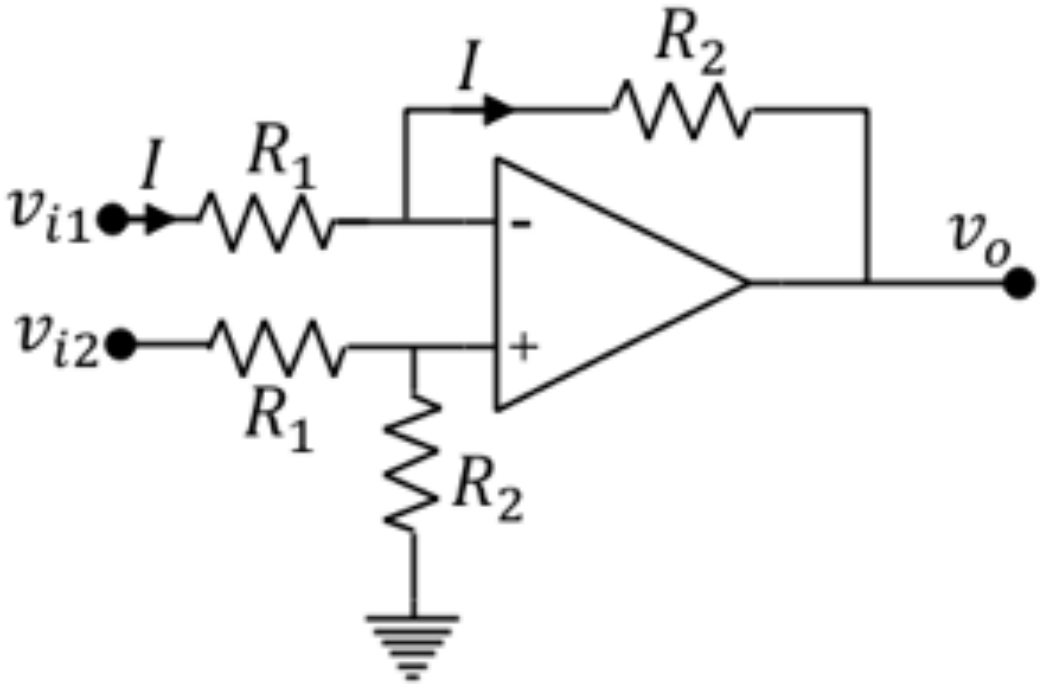
عملیات ریاضی (ادامه)



- جمع کننده با بهره منفی:

$$v_- = v_+ = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{v_{i1}}{R_1}, \ldots\ldots, I_n = \frac{v_{in}}{R_n}$$

$$\Rightarrow v_o = -RI = -R\left(\frac{v_{i1}}{R_1} + \frac{v_{i2}}{R_2} + \cdots \frac{v_{in}}{R_n}\right)$$

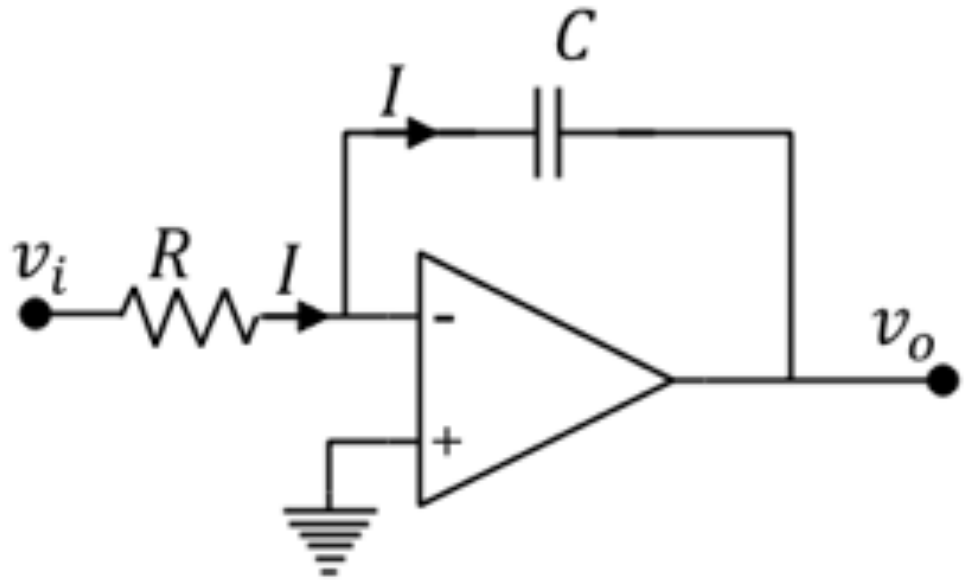


- تفریق کننده:

$$v_- = v_+ = v_{i2}\frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow I = \frac{v_{i1} - v_-}{R_1}$$

$$\Rightarrow v_o = v_- - R_2 I = -\frac{R_2}{R_1}(v_{i1} - v_{i2})$$

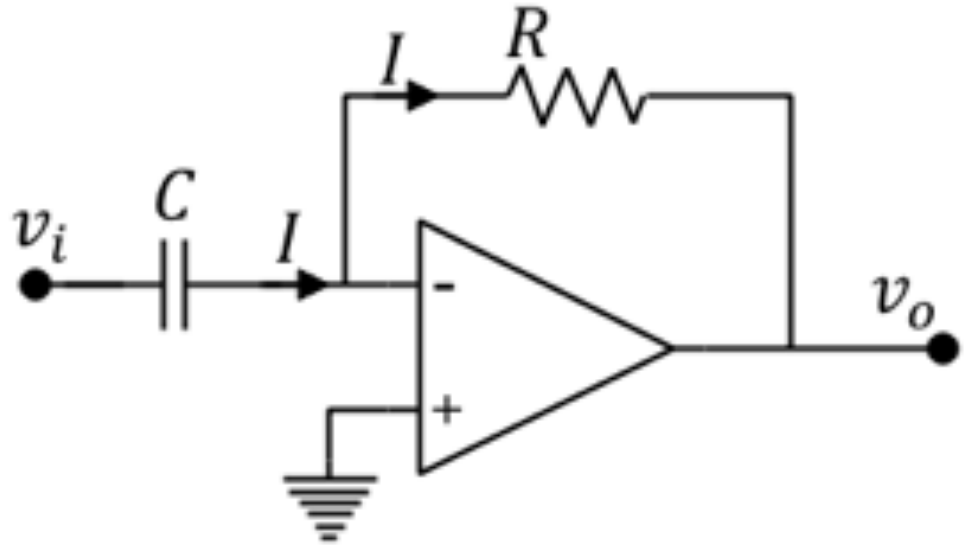
عملیات ریاضی



- انتگراگیر:

$$v_- = v_+ = 0 \Rightarrow I = \frac{v_i}{R_1}$$

$$\Rightarrow v_o = -V_{c0} - \frac{1}{RC}\int_0^t v_i d\tau$$



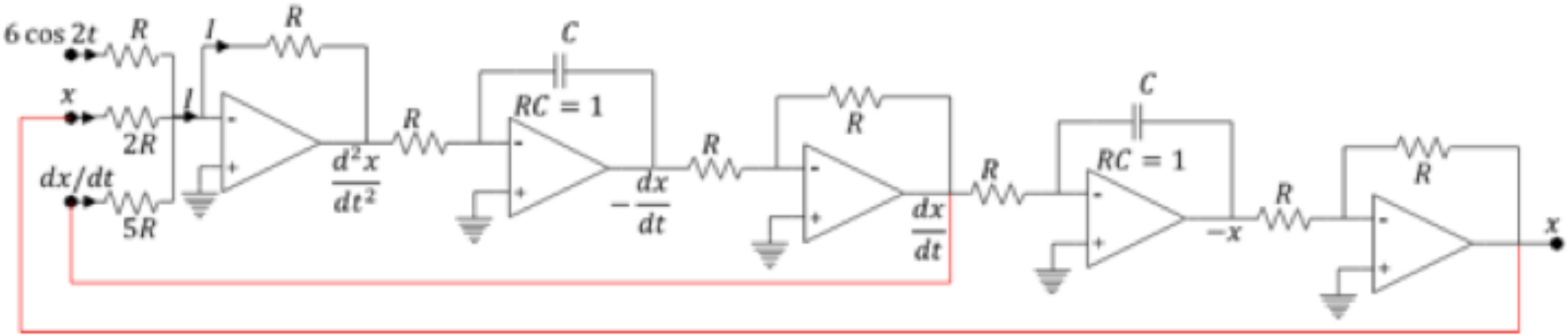
- مشتقگیر (!؟):

$$v_- = v_+ = 0 \Rightarrow I = C\frac{dv_i}{dt}$$

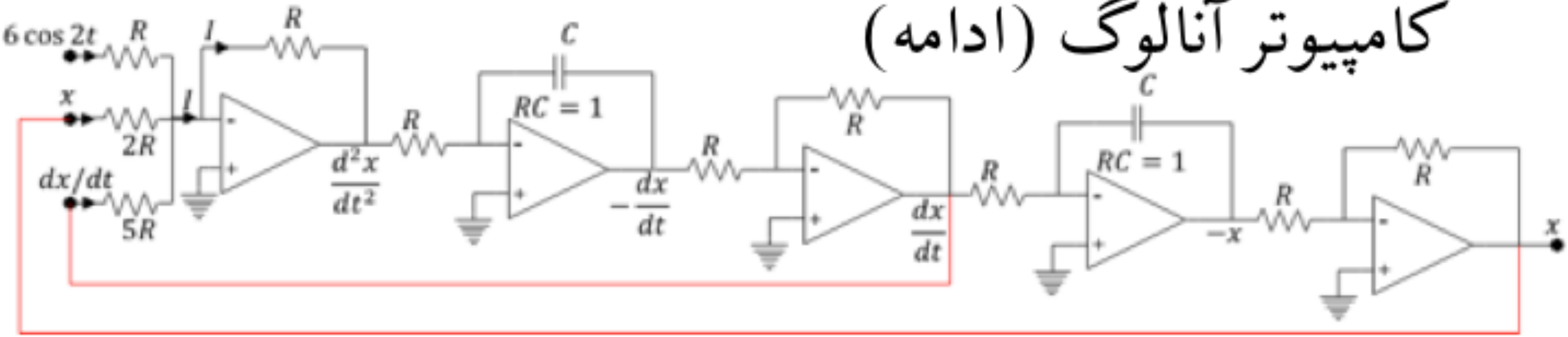
$$\Rightarrow v_o = -RI = -RC\frac{dv_i}{dt}$$

کامپیوتر آنالوگ

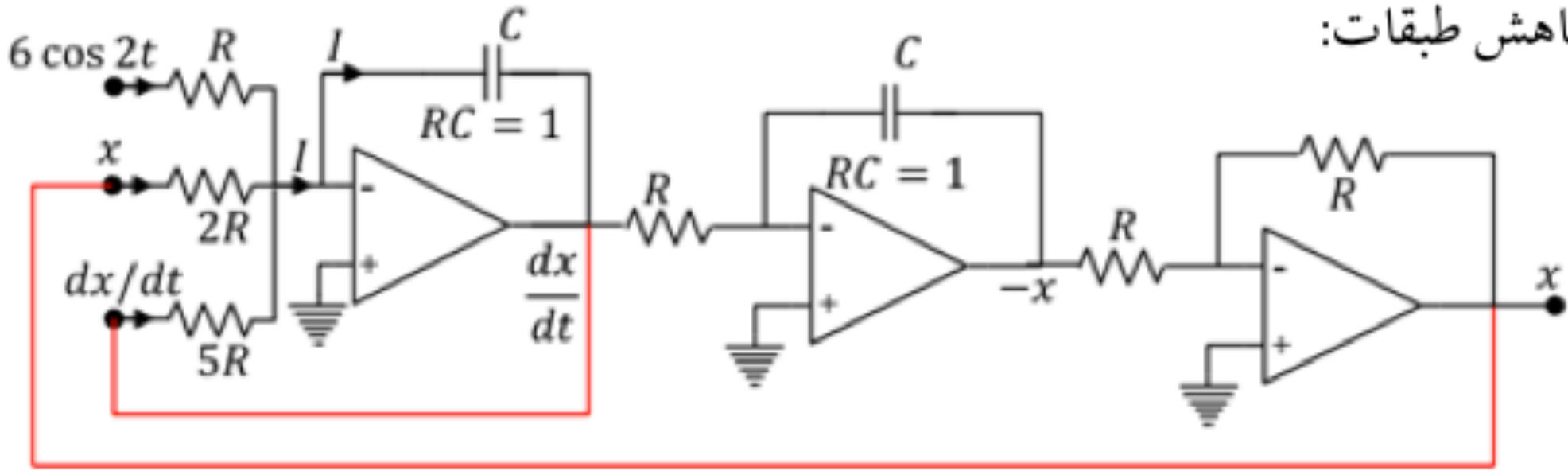
- مطلوب است طراحی کامپیوتر آنالوگ برای حل معادله دیفرانسیلی حاکم بر سیستم جرم، فنر و اصطکاک: $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{1}{5}\frac{dx}{dt} + \frac{x}{2} + 6\cos 2t = 0$
- حل: به دست آوردن بالاترین مشتق را بر حسب مابقی $\frac{d^2x}{dt^2} = -(\frac{1}{5}\frac{dx}{dt} + \frac{x}{2} + 6\cos 2t)$



کامپیوتر آنالوگ (ادامه)

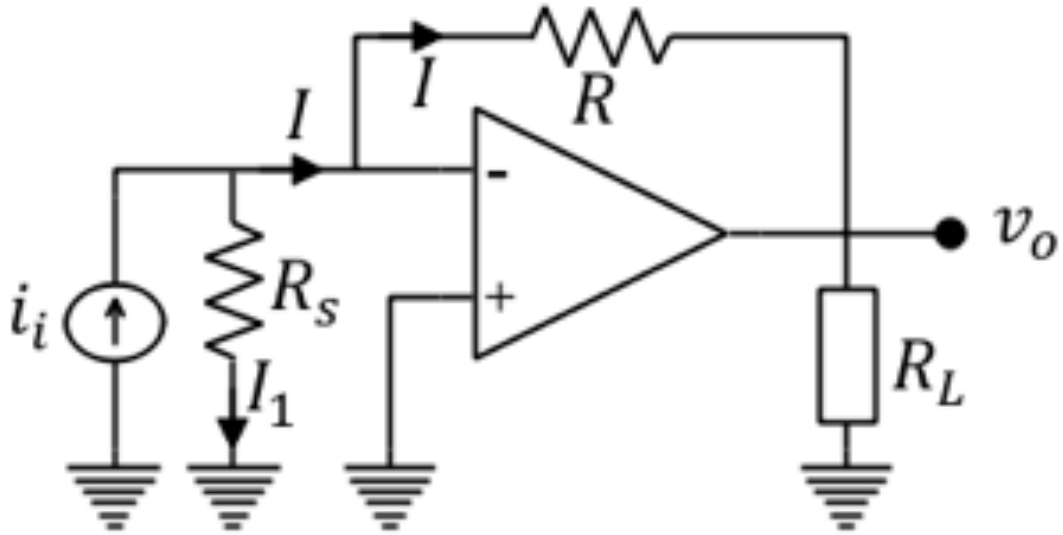


- کاهش طبقات:



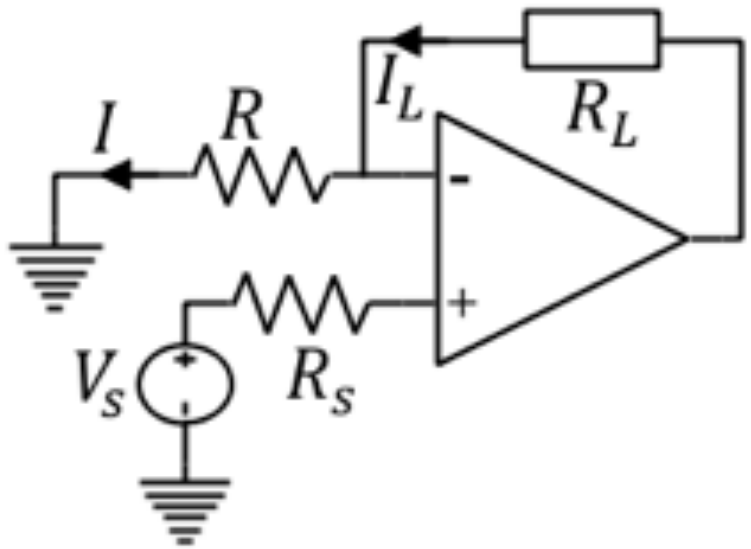
- کاهش بیشتر؟

چند مثال کاربردی



- مبدل جریان به ولتاژ ایده آل:

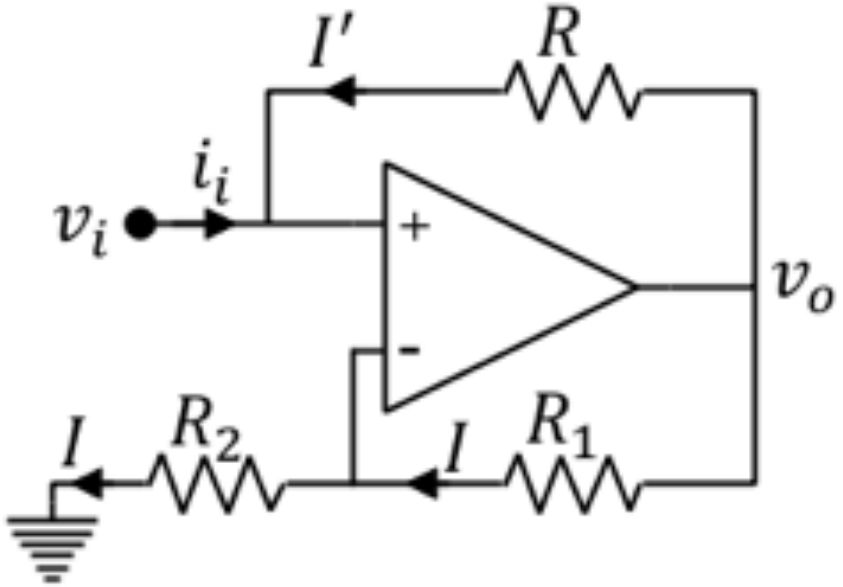
$$v_- = v_+ = 0 \Rightarrow I_1 = 0 \Rightarrow$$
$$I = i_i \Rightarrow v_o = -Ri_i$$



- منبع جریان ایده آل برای بار زمین نشده:

$$v_- = v_+ = V_s \Rightarrow I = \frac{V_s}{R} \Rightarrow I_L = I = \frac{V_s}{R}$$

چند مثال کاربردی (ادامه)

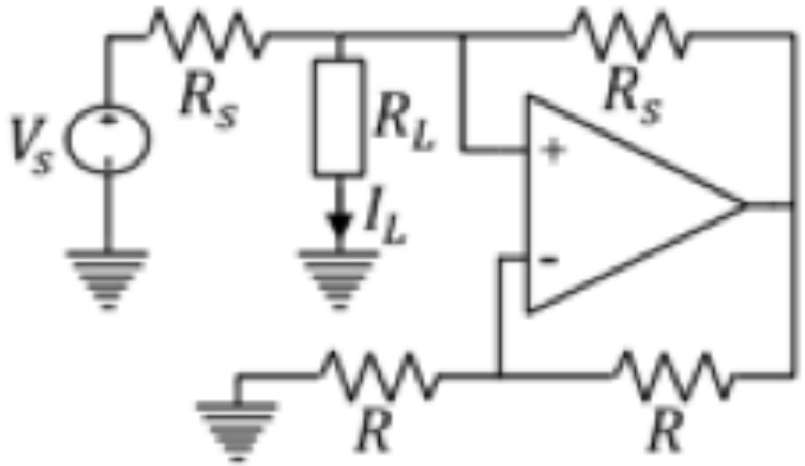


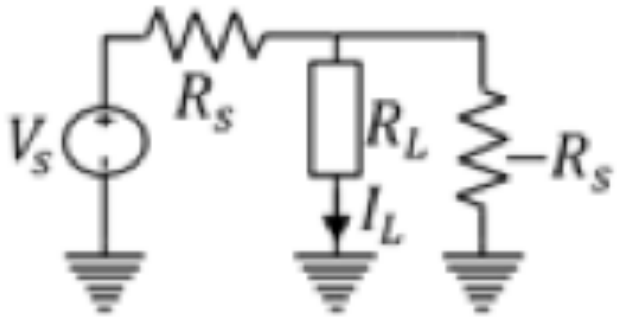
- مبدل مقاومت منفی:

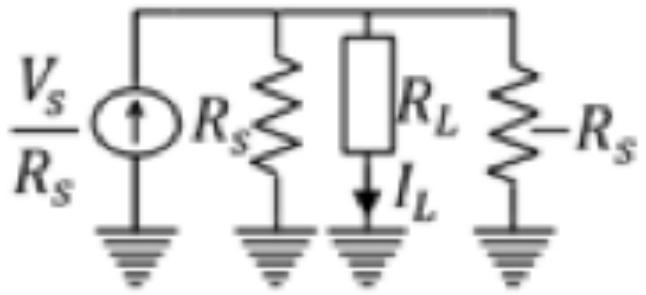
$$v_- = v_+ = v_i \Rightarrow I = \frac{v_i}{R_2} \Rightarrow v_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) v_i$$

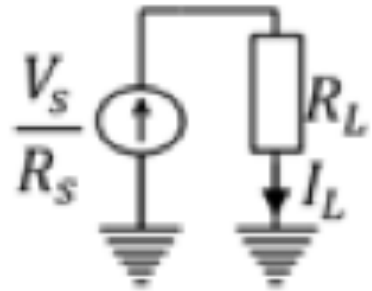
$$\Rightarrow I' = \frac{R_1}{RR_2} v_i = -i_i \Rightarrow R_i = \frac{v_i}{i_i} = -R\frac{R_2}{R_1}$$

- منبع جریان ایده آل بار زمین شده:





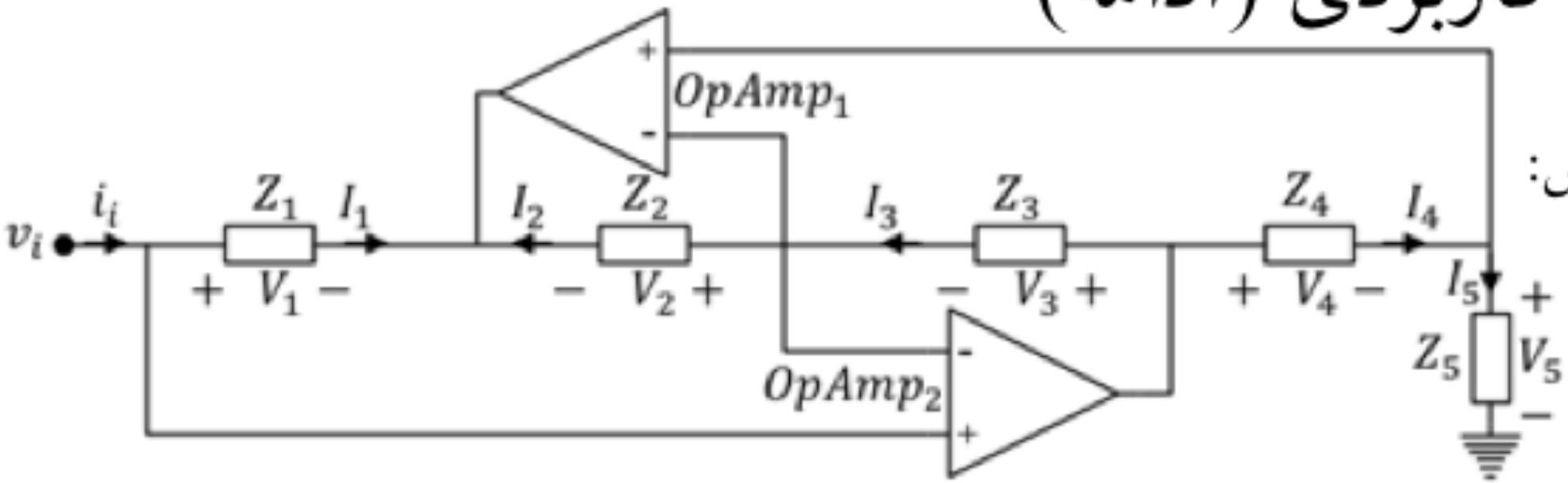




$$I_L = V_s/R_s$$

چند مثال کاربردی (ادامه)

- مبدل امپدانس:



- $v_{+,2} = v_{-,2} = v_{-,1} = v_{+,1} = V_5 = v_i \Rightarrow I_5 = \frac{v_i}{Z_5} = I_4 \Rightarrow V_4 = \frac{Z_4}{Z_5} v_i$
- $v_{o,2} = \left(1 + \frac{Z_4}{Z_5}\right) v_i \Rightarrow I_3 = \frac{Z_4}{Z_3 Z_5} v_i = I_2 \Rightarrow v_{o,1} = \left(1 - \frac{Z_2 Z_4}{Z_3 Z_5}\right) v_i$
- $I_1 = \left(\frac{Z_2 Z_4}{Z_1 Z_3 Z_5}\right) v_i = i_i \Rightarrow Z_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{Z_1 Z_3 Z_5}{Z_2 Z_4}$
- If $Z_1 = R_1, Z_2 = \frac{1}{j\omega C_2}, Z_3 = R_3, Z_4 = R_4, Z_5 = R_5 \Rightarrow Z_i = j\omega C_2 \frac{R_1 R_3 R_5}{R_4}$ سلف

مدار ساده شده داخل تقویت کننده های عملیاتی