



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

الکترونیک ۲

۱- تقویت کننده‌های عملیاتی

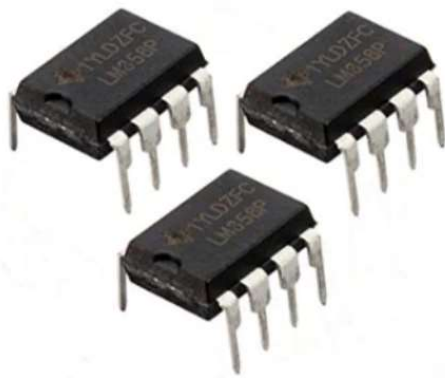
درس: مهندسی الکترونیک



Op Amp



- تقویت کننده عملیاتی یکی از پر کاربردترین آی سی ها در مدارات الکترونیکی است.
- کاربردها: تقویت کننده های ولتاژ جریان پایدار، عملیات ریاضی و مقایسه کننده ها



DIP

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

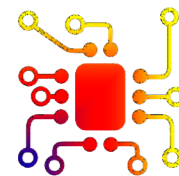


SMD

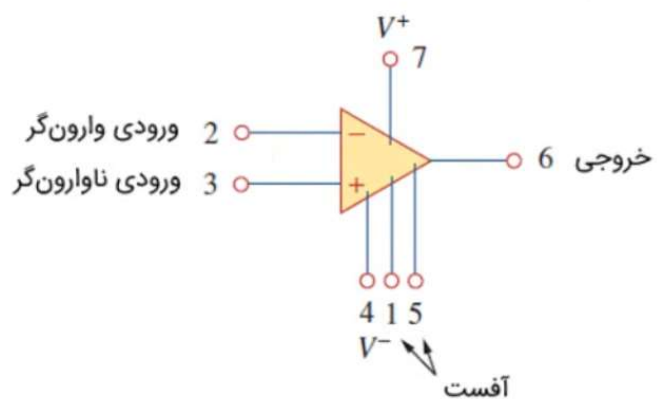


وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

Op Amp

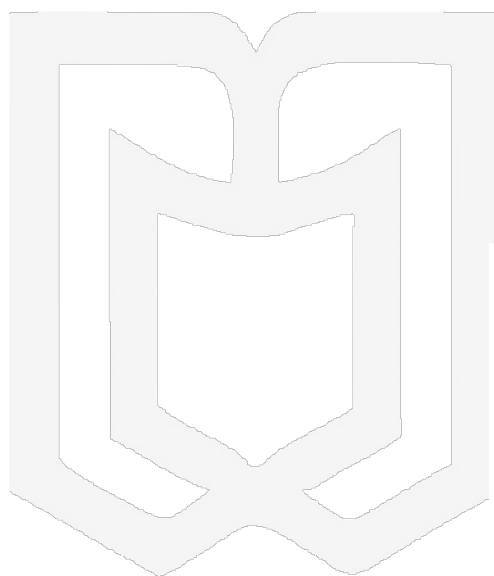


• پایه‌ها

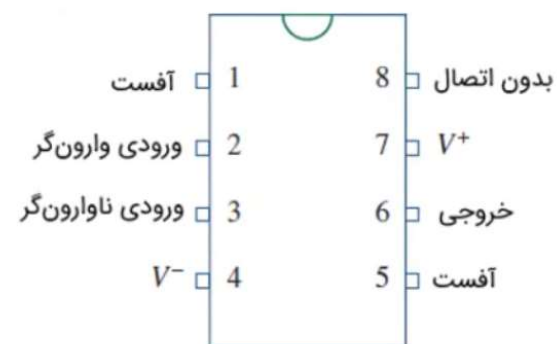


(ب)

نماد فنی



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



(الف)

Pinout

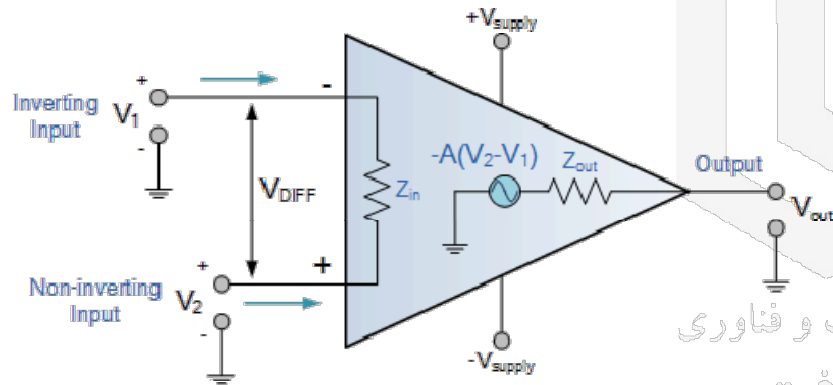
Ideal op-amp



Op Amp



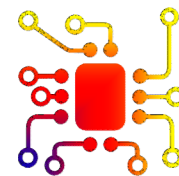
- تقویت کننده‌های عملیاتی جزو المانهای فعال (Active) هستند.
- چرا فعال؟ چون برای تقویت ولتاژ باید ولتاژهای تغذیه را به آن وصل کرد.
- قوانین KVL و KCL اینجا هم برقرار است.
- مدار معادل OpAmp
- یک منبع ولتاژ کنترل شده با ولتاژ است.
- $v_d = v_2 - v_1$ و $V_{out} = A \times v_d$



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

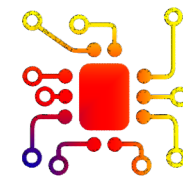


Op Amp



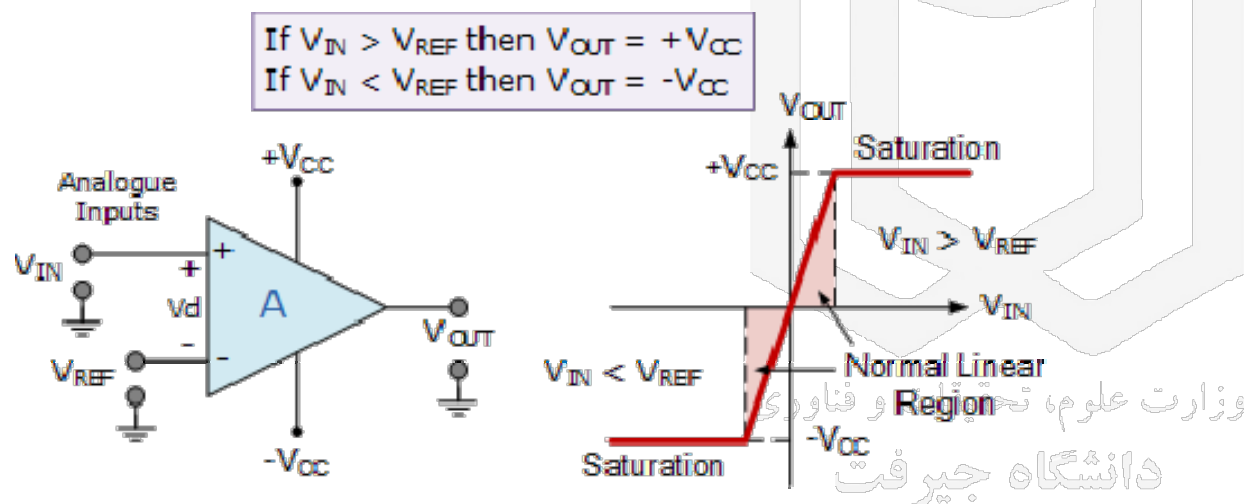
• محدوده پارامترها

پارامتر	محدوده متداول	مقادیر ایده‌آل
بهره حلقه باز، A	10^8 تا 10^5	∞
مقاومت ورودی، R_i	10^5 تا 10^{13} اهم	∞
مقاومت خروجی، R_o	10 تا 100 اهم	0
ولتاژ تغذیه، V_{cc}	5 تا 24 ولت	



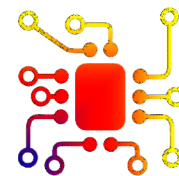
مدارهای op amp

- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- مقایسه کننده ولتاژ

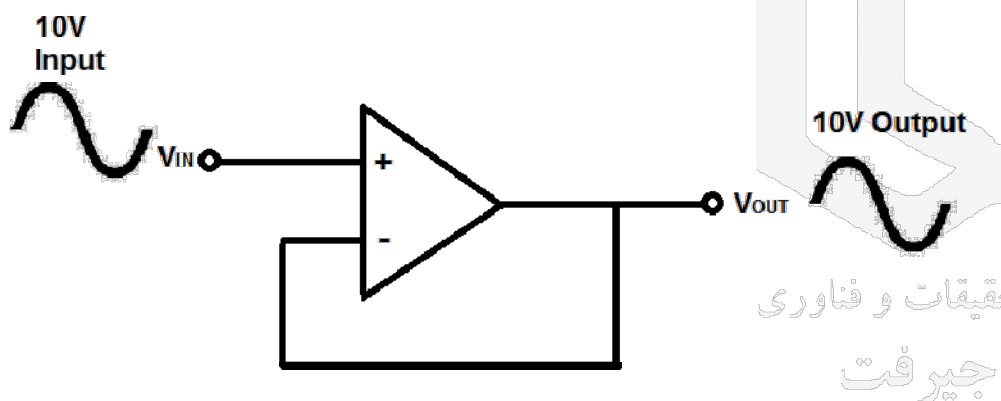




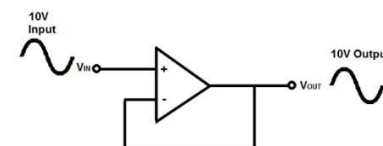
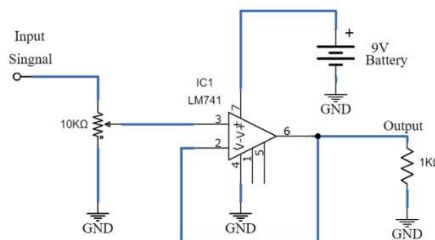
مدارهای op amp



- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- دنبال کننده ولتاژ



Voltage Follower Circuit

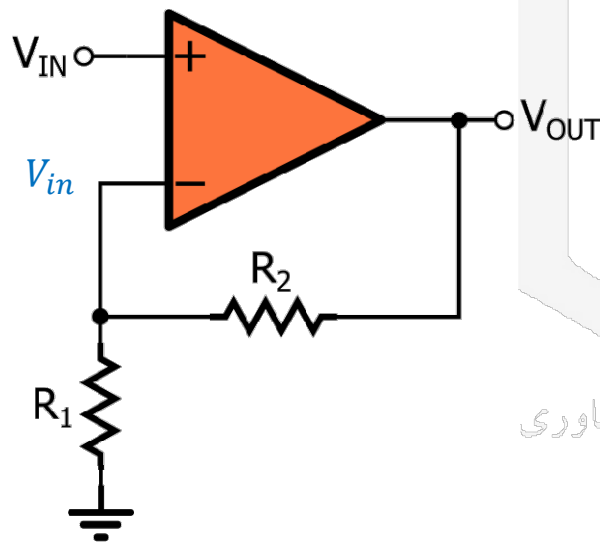


Ideal op-amp



مدارهای op amp

- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- تقویت کننده مستقیم



$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_1} \Rightarrow$$

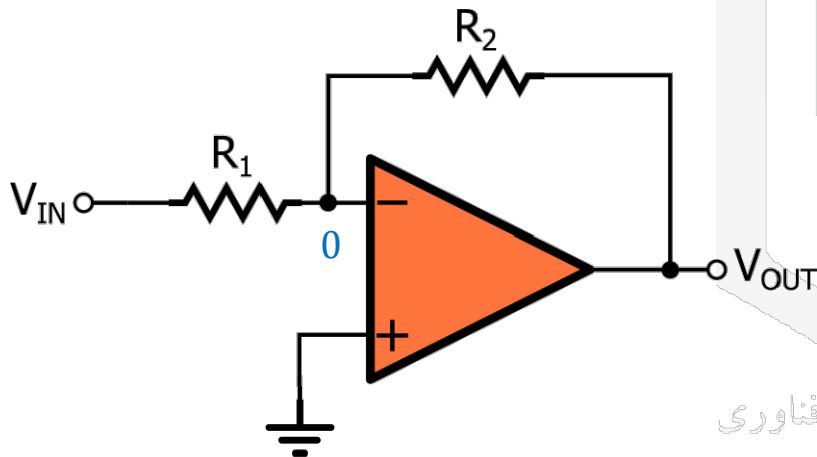
$$V_{out} = \frac{V_{in}}{R_1} \times (R_1 + R_2) \Rightarrow A_v = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



مدارهای op amp

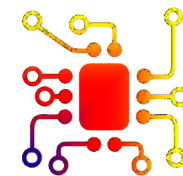
- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- تقویت کننده معکوس کننده



$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_1} \Rightarrow$$

$$V_{out} = 0 - I_{in} \times R_2 \Rightarrow$$

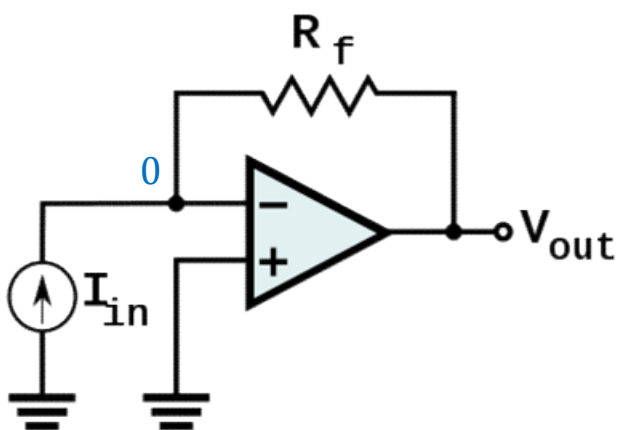
$$-\frac{V_{in}}{R_1} \times R_2 \Rightarrow A_v = -\frac{R_2}{R_1}$$



مدارهای op amp

- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- مبدل جریان به ولتاژ (مناسب جریانهای خیلی کم)

$$V_{out} = 0 - I_{in} \times R_f$$

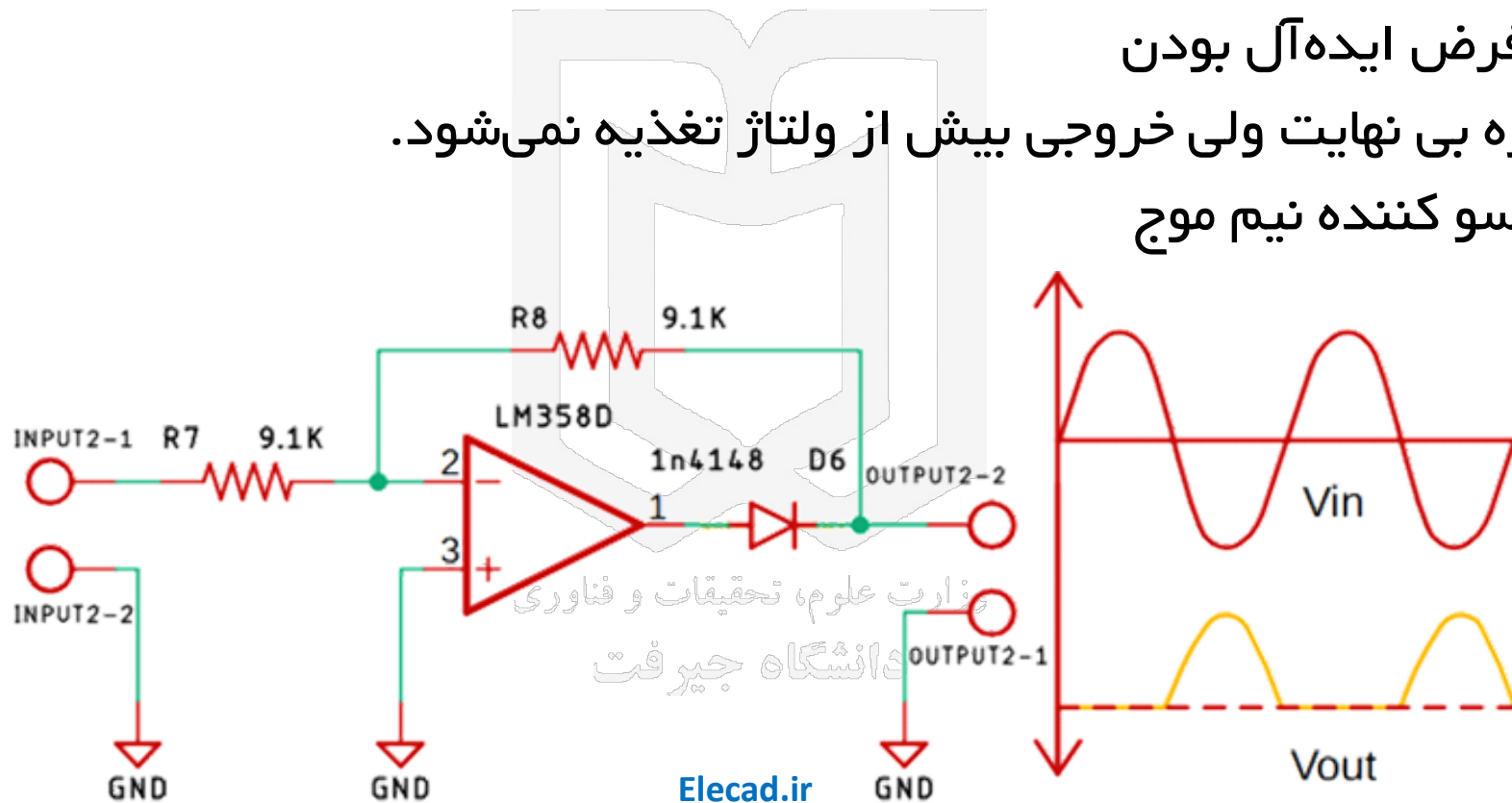




مدارهای op amp



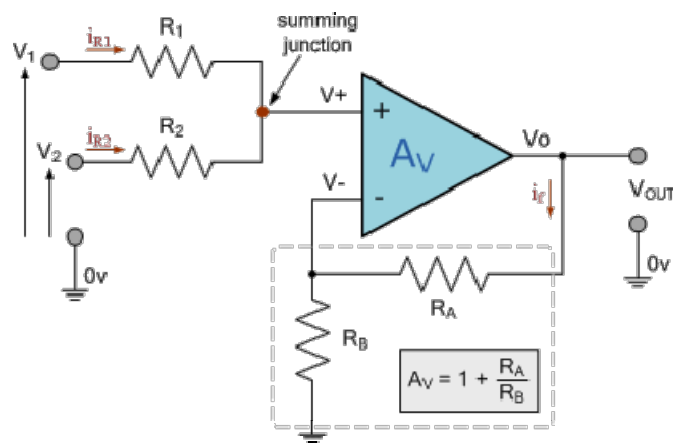
- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- یکسو کننده نیم موج



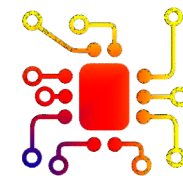


مدارهای op amp

- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- جمع کننده مستقیم (غیر معکوس)

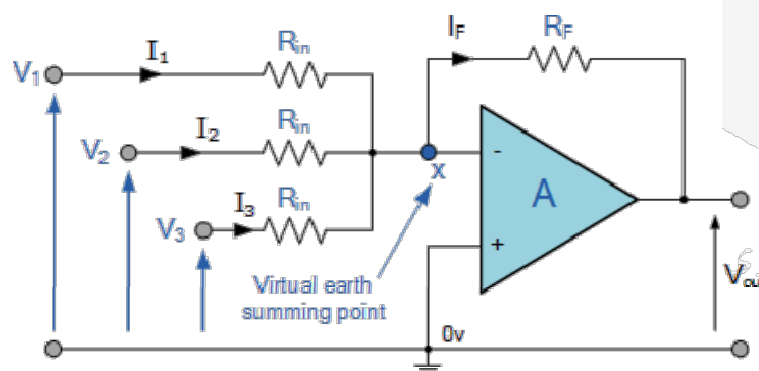


وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



مدارهای op amp

- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- جمع کننده معکوس



$$I_F = I_1 + I_2 + I_3 = - \left[\frac{V_1}{R_{in}} + \frac{V_2}{R_{in}} + \frac{V_3}{R_{in}} \right]$$

Inverting Equation: $V_{out} = - \frac{R_f}{R_{in}} \times V_{in}$

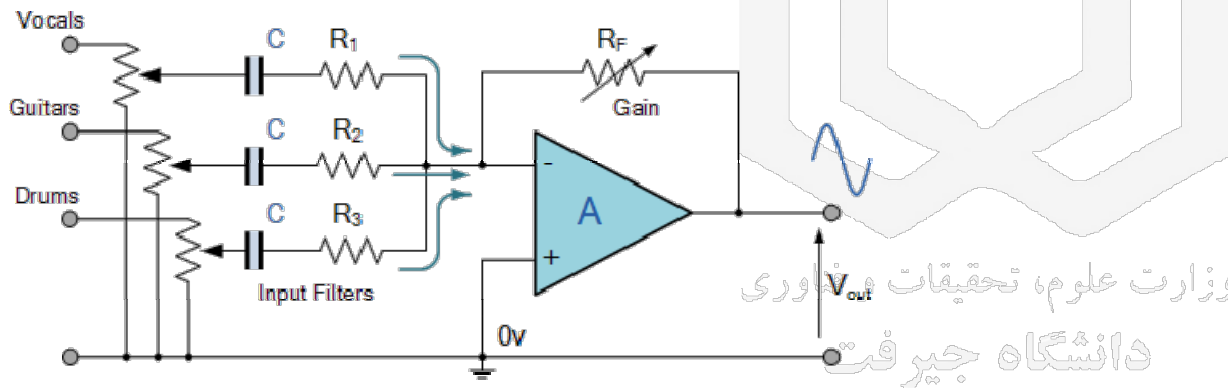
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

$$\text{then, } -V_{out} = \left[\frac{R_F}{R_{in}} V_1 + \frac{R_F}{R_{in}} V_2 + \frac{R_F}{R_{in}} V_3 \right]$$



مدارهای op amp

- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- میکسر صوت از استفاده‌های جمع کننده

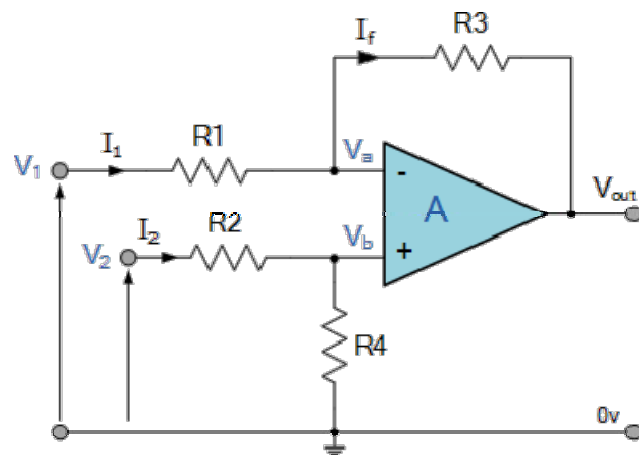


وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



مدارهای op amp

- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- تقویت کننده تفاضلی



$$I_1 = \frac{V_1 - V_a}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V_2 - V_b}{R_2}, \quad I_f = \frac{V_a - (V_{out})}{R_3}$$

$$\text{Summing point } V_a = V_b$$

$$\text{and } V_b = V_2 \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right)$$

$$\text{If } V_2 = 0, \text{ then: } V_{out(a)} = -V_1 \left(\frac{R_3}{R_1} \right)$$

$$\text{If } V_1 = 0, \text{ then: } V_{out(b)} = V_2 \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) \left(\frac{R_1 + R_3}{R_1} \right)$$

$$V_{out} = -V_{out(a)} + V_{out(b)}$$

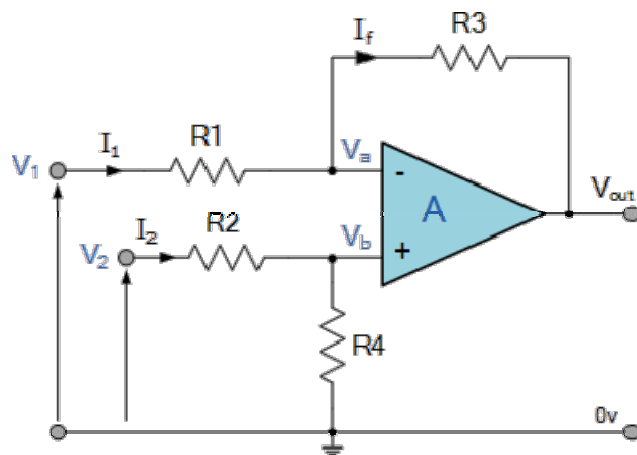
$$\therefore V_{out} = -V_1 \left(\frac{R_3}{R_1} \right) + V_2 \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) \left(\frac{R_1 + R_3}{R_1} \right)$$

Elecad.ir



مدارهای op amp

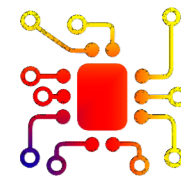
- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- تقویت کننده تفاضلی



$$R1 = R2 \text{ and } R3 = R4 \Rightarrow V_{OUT} = \frac{R_3}{R_1} (V_2 - V_1)$$

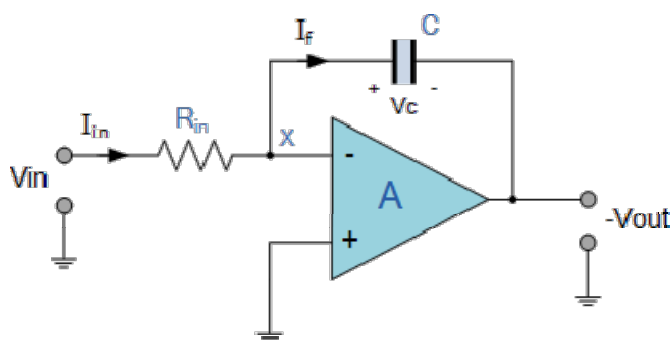
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

$$R1 = R2 = R3 = R4 \Rightarrow V_{out} = V_2 - V_1$$



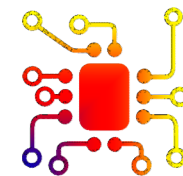
مدارهای op amp

- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- دیفرانسیل گیر



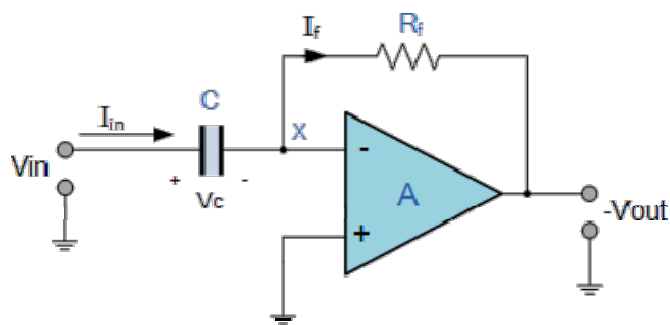
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

$$V_s = -\frac{1}{RC} \int V_e dt$$



مدارهای op amp

- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- مشتق گیر



$$I_{IN} = I_F \text{ and } I_F = -\frac{V_{OUT}}{R_F} \quad Q = C \times V_{IN}$$

$$\frac{dQ}{dt} = C \frac{dV_{IN}}{dt} \quad I_{IN} = C \frac{dV_{IN}}{dt} = I_F$$

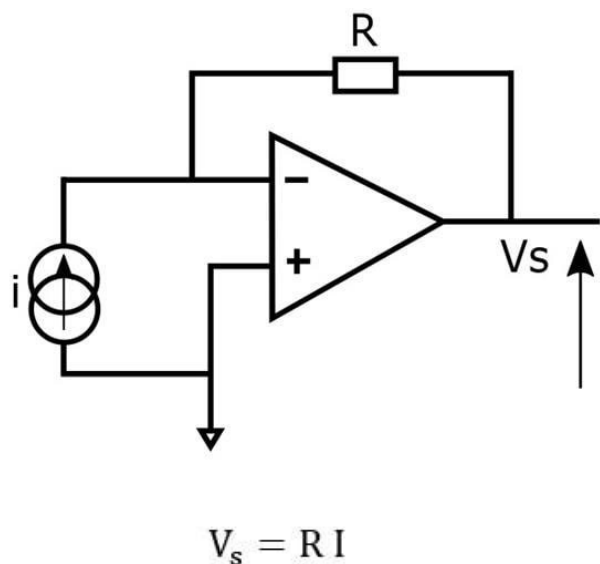
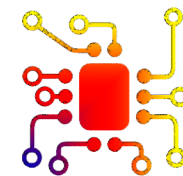
$$\therefore -\frac{V_{OUT}}{R_F} = C \frac{dV_{IN}}{dt}$$

$$V_{OUT} = -R_F C \frac{dV_{IN}}{dt}$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



مدارهای op amp



- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- مبدل جریان به ولتاژ

• یک ردیاب نوری نور را به جریان تبدیل می‌کند. برای تبدیل جریان به ولتاژ، یک مدار ساده با یک تقویت کننده عملیاتی، یک حلقه بازخورد از طریق یک مقاومت روی غیر معکوس، و دیود متصل بین دو پایه ورودی به شما امکان می‌دهد ولتاژ خروجی متناسب با جریان تولید شده توسط فوتودیود دریافت کنید. ، که با ویژگی های نور مشهود است.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

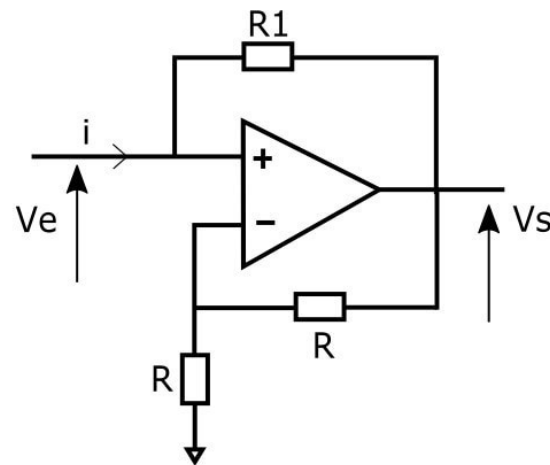


مدارهای op amp

- با فرض ایده‌آل بودن

- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.

- مقاومت منفی

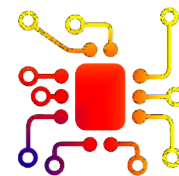


$$V_e = -R_1 I$$

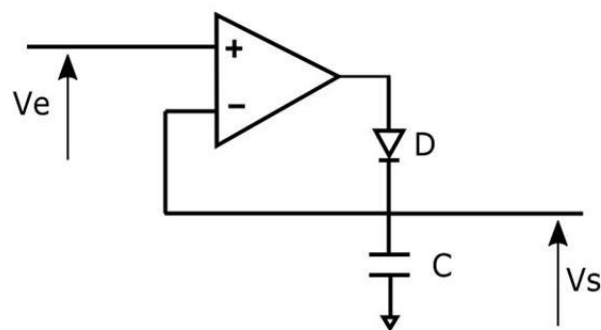
مقاومت منفی در کنترل سرعت موتور و ترمزهای الکترونیکی استفاده می‌شود.



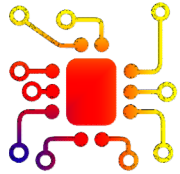
مدارهای op amp



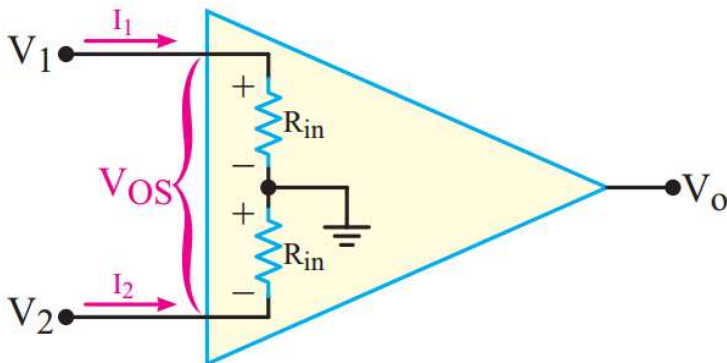
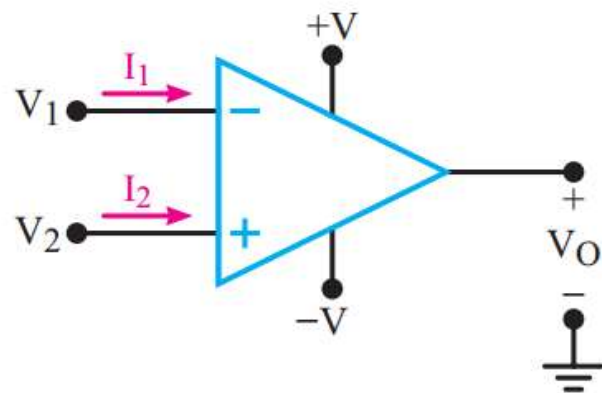
- با فرض ایده‌آل بودن
- بهره بی نهایت ولی خروجی بیش از ولتاژ تغذیه نمی‌شود.
- حسگر قله موج



خازن به عنوان حافظه استفاده می شود. هنگامی که ولتاژ ورودی در ورودی غیر معکوس بیشتر از ولتاژ ورودی معکوس است که ولتاژ دو طرف خازن نیز می باشد، تقویت کننده وارد حالت اشباع شده و دیود به سمت جلو می رود و خازن را شارژ می کند. با فرض اینکه خازن تخلیه سریع خود را نداشته باشد، زمانی که ولتاژ ورودی V_e کمتر از ولتاژ دو طرف خازن باشد، دیود مسدود می شود. از این رو پیک ولتاژ به لطف خازن ثبت می شود.



تقویت کننده عملیاتی واقعی

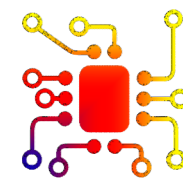


• جریان‌های بایاس ورودی:

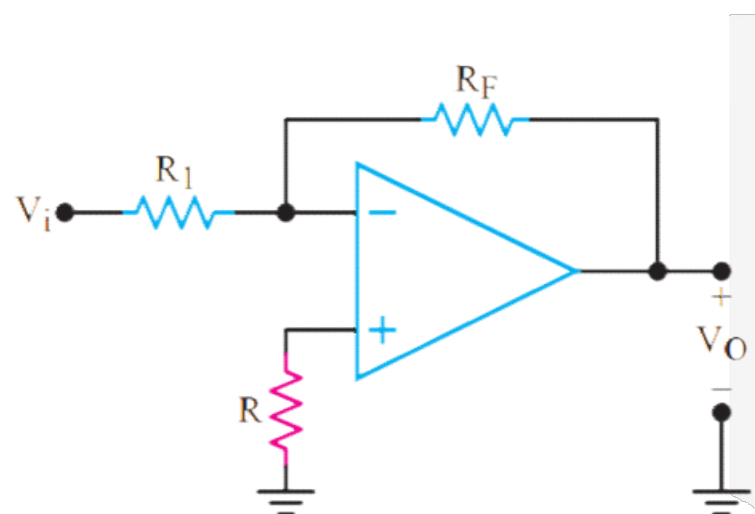
- مقاومت ورودی بینهایت نیست
- مقداری جریان ورودی به نام جریان بایاس داریم.
- جریان دو پایه معمولا برابر نیستند.
- کارخانه جریان میانگین را می‌دهد.

• می‌توان مقاومت ورودی را به این صورت مدل کرد.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



جبران خطای ناشی از جریان آفست



مدار تقویت کننده معکوس کننده با مقاومت جبران کننده

- مقاومت R را به مدار اضافه می‌کنیم.
- مقدار مقاومت R :

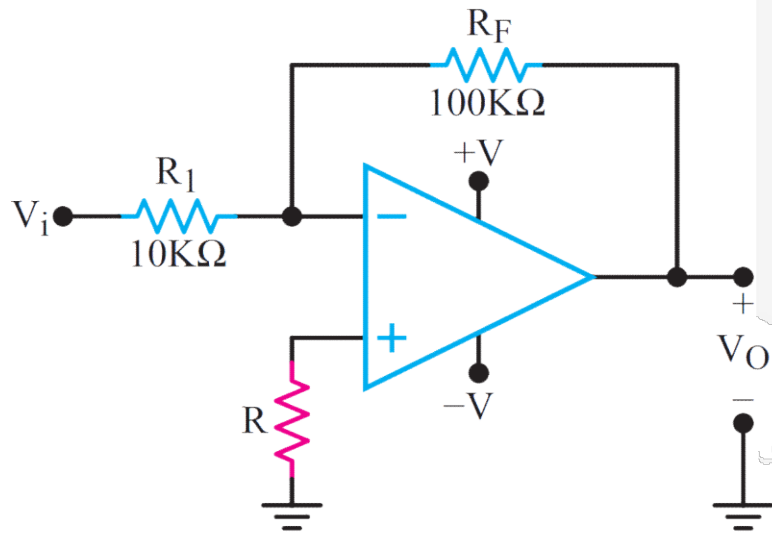
$$R = R_1 \parallel R_F = \frac{R_1 R_F}{R_1 + R_F}$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



حل تمرین

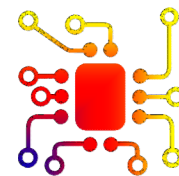
- در مدار زیر مقدار مقاومت R چقدر باشد تا خطای ناشی از جریان آفست جبران شود.



$$R = \frac{R_1 R_F}{R_1 + R_F} \Rightarrow \frac{100 \times 10}{100 + 10} = 9.1 K\Omega$$



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



ولتاژ آفست

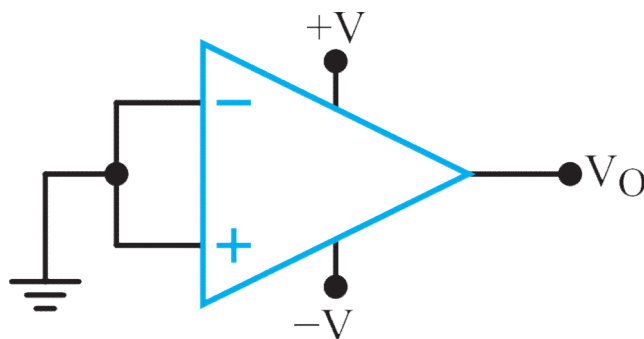


• ولتاژ آفست خروجی V_o

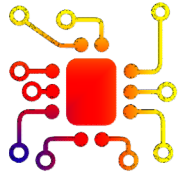
• رانش ولتاژ آفست $\frac{\Delta V_{IOS}}{\Delta T}$

• ΔV_{IOS} = تغییرات ولتاژ آفست ورودی

• ΔT = تغییر درجه حرارت (سانتی‌گراد)

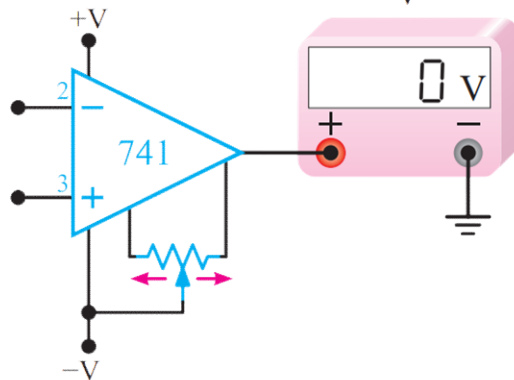
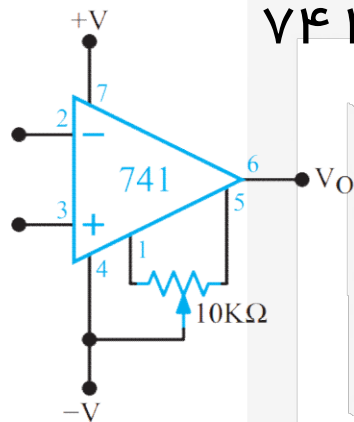
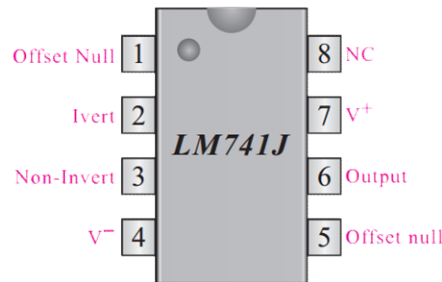


وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت

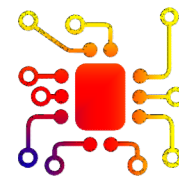


تنظیم ولتاژ آفست

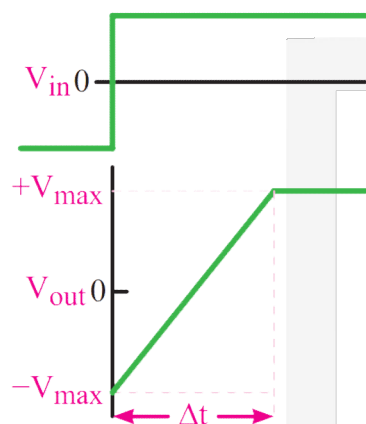
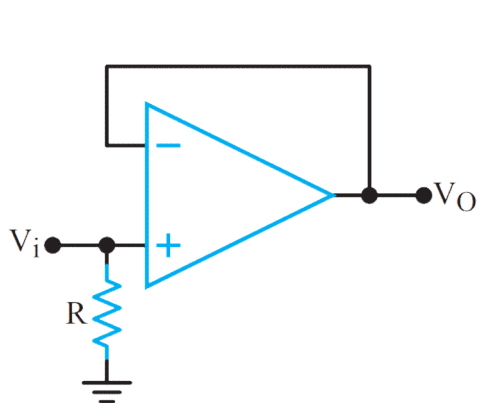
- وجود پایه‌های تنظیم ولتاژ آفست در آی سی ۷۴۱
- تنظیم با پتانسیومتر
- پایه‌های ۱ و ۵



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه جیرفت



سرعت چرخش (Skew rate)

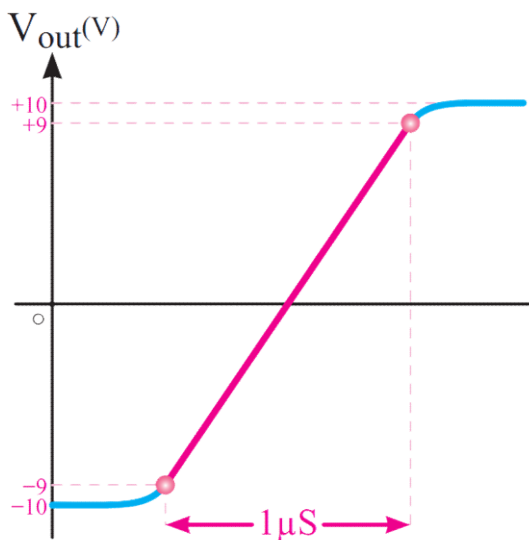
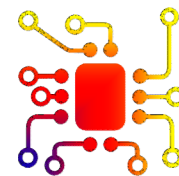


$$SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t}$$

- وجود تأخیر در مدار بافر مثبت
- سرعت چرخش از رابطه زیر بدست می‌آید:
- واحد سرعت چرخش ولت بر میکروثانیه است.



حل تمرین



• اگر موج ورودی یک آپ امپ به صورت پله‌ای و شکل ولتاژ خروجی به صورت شکل زیر باشد سرعت چرخش را محاسبه کنید:

• چون ولتاژ خروجی ایده‌آل نیست، حداکثر تغییرات ولتاژ خروجی را در ۹۰ درصد دامنه ماکزیمم آن یعنی ± 9 ولت در نظر می‌گیریم. تغییر زمان از -9 ولت تا $+9$ ولت برابر یک میکروثانیه است لذا تغییرات ولتاژ خروجی ولت $\Delta V_O = +9 - (-9) = 18$

• تغییر زمان: $\Delta t = 1 \mu sec$ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه جیرفت

$$SR = \frac{\Delta V_O}{\Delta t} = \frac{18}{1} = 18V/\mu sec$$