

مقدمه ای بر مهندسی پزشکی

جلسه هشتم

آشنایی با تقویت کننده های عملیاتی

مقدمه

- تا کنون مثالهایی از کاربرد برخی از المانهای مداری همچون: مقاومت، سلف و خازن و همچنین منابع مستقل و وابسته (کنترل شده با جریان یا ولتاژ) را در مدارهای الکتریکی مورد بررسی قرار دادیم که همه ی این اجزاء مداری اصطلاحاً المانهایی دو پایه (two-terminal) بودند.
- به بررسی تحلیل مداری و کاربرد تقویت کننده های عملیاتی (Operational Amplifiers) می پردازیم که قطعه ی الکترونیکی چندپایه (multit-terminal) است.
- تقویت کننده های عملیاتی از تعدادی مقاومت، ترانزیستور و خازن تشکیل شده اند که بررسی ساختار درونی آنها موضوع درس ما نیست.
- اما بررسی چگونگی عملکرد این جزء بسیار حیاتی در تجهیزات پزشکی، به عنوان یک منبع ولتاژ کنترل شده، امکان پذیر است.

ادامه ...

- تقویت کننده های عملیاتی مورد استفاده در تجهیزات پزشکی، دارای امپدانس داخلی بسیار بالا برای کاهش هر چه بیشتر اثر بارگذاری (جریان کشی) هستند و از آنها در بخش الکترونیکی تجهیزات پزشکی (و غیر پزشکی) استفاده بسیاری می شود.

به عنوان مثال:

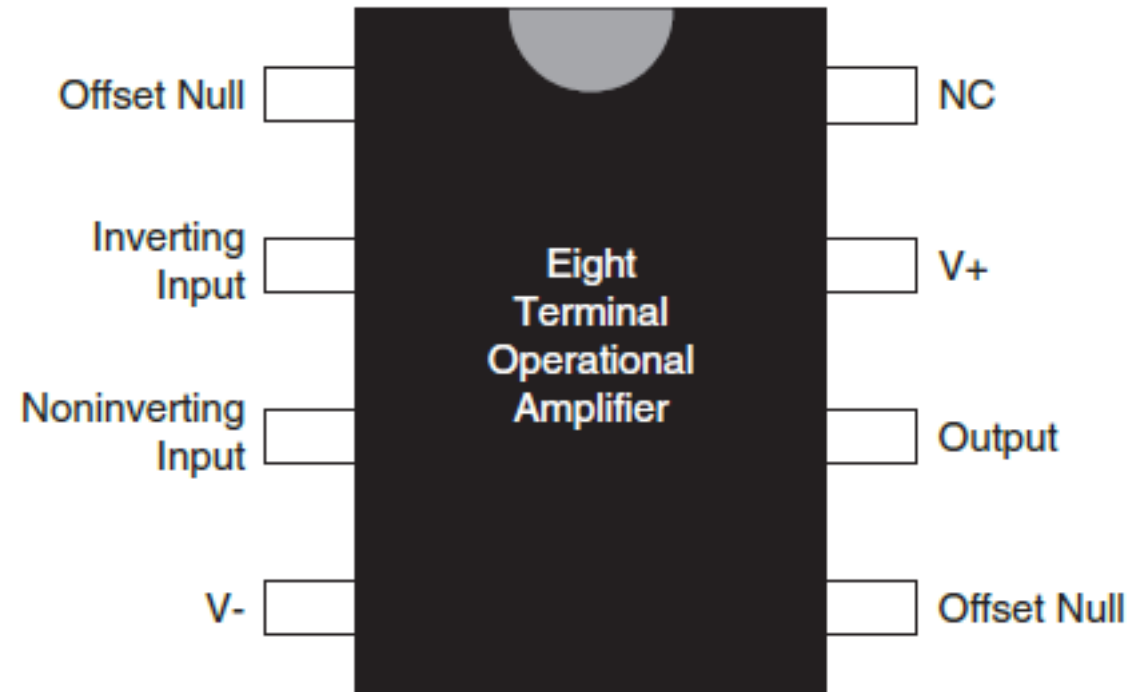
۱. در ساخت فیلترها که می توانند برای نویززدایی و رفع سیگنالهای ناخواسته همراه با سیگنالهای حیاتی استفاده شوند.

- روش کار نیز به این ترتیب است که در حوزه ی فرکانس (پس از گرفتن تبدیل فوریه از سیگنال)، معمولا سیگنال مطلوب و همینطور ناخواسته هر یک بخش جداگانه ای از طیف حاصل را اشغال می کنند. بدین ترتیب می توان با فیلترکردن و جداسازی بخش مطلوب طیف، اقدام به نوز زدایی کرد.

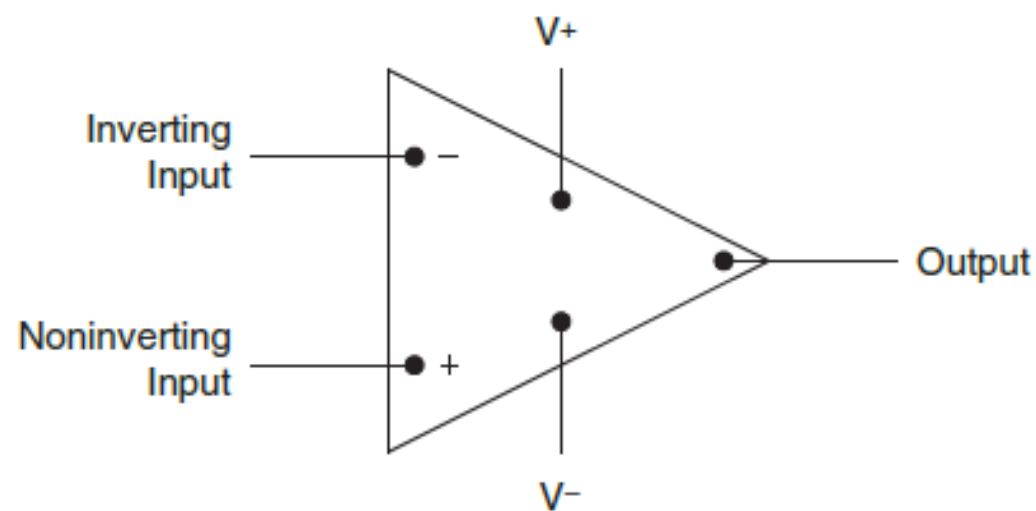
ادامه ...

۲. تقویت کننده هایی که برای دریافت و پردازش برخی سیگنالهای حیاتی بسیار ضعیف استفاده می شود. به عنوان نمونه دامنه ی سیگنال ECG (سیگنال الکتریکی حاصل از فعالیت قلب) در حد میلی ولت و دامنه ی سیگنال EEG (سیگنال الکتریکی حاصل از فعالیت مغز) در حد میکرو ولت است.

- چنانچه از نام یک تقویت کننده ی عملیاتی بر می آید، تقویت کننده ای است که در ترکیب با دیگر اجزا مداری می تواند به انجام عملیاتی همچون جمع، تفریق، انتگرال گیری و مشتق گیری و ... پردازد که کاربردهای مفیدی در طراحی مدارهای الکترونیکی دارند.
- شکل نمونه ای از یک تقویت کننده عملیاتی موجود در بازار به نمایش در آمده است. این نمونه ۸ پایه داشته و در هر IC دو تقویت کننده ی عملیاتی قرار داده شده است.

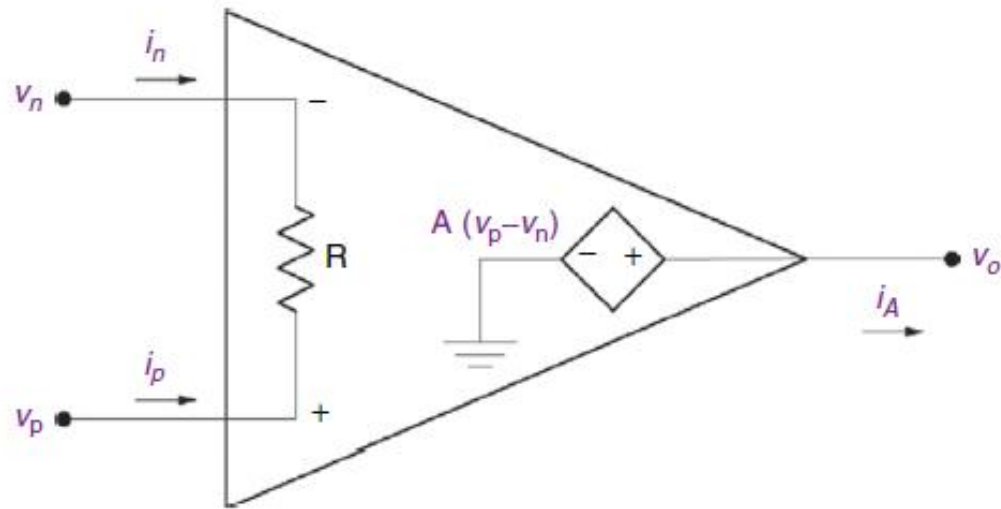


نماد



- برخلاف سایر اجزاء مداری، تقویت کننده های عملیاتی دارای دو ورودی و یک خروجی هستند. در مدارهای الکترونیکی از نمادی مطابق شکل برای نمایش آنها استفاده می شود. پایه های ورودی با ورودی معکوس کننده (-) و ورودی غیر معکوس کننده (+) مشخص شده و پایه های منبع تغذیه ی آن نیز با مشخص می شوند، که معمولاً نیز به نمایش در نمی آیند و جز در رفتار تقویت کننده در شرایط اشباع تأثیری در عملکرد مدار ندارند.

ساختار مداری



- تقویت کننده های عملیاتی (Operational Amplifiers) را به اختصار Op Amp می نامند.
- در ادامه به ارائه ی روشی ساده برای تحلیل الکتریکی عملکرد تقویت کننده های عملیاتی می پردازیم.
- در شکل مدلی از تقویت کننده عملیاتی را می بینیم که بر رفتار درونی آن تمرکز دارد.

ادامه ...

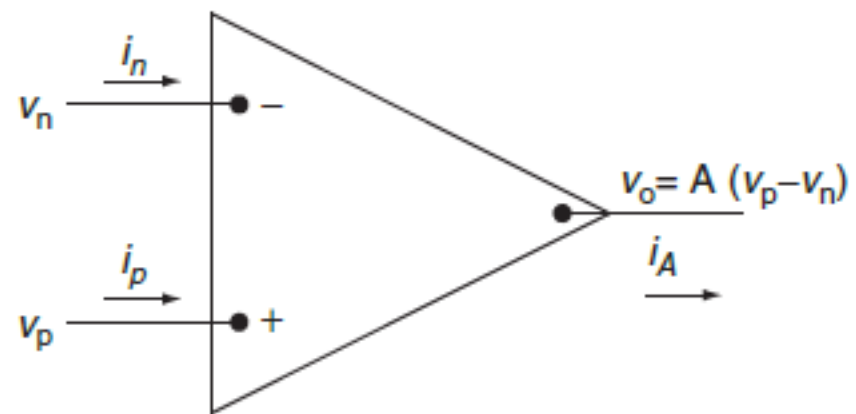
رابطه ی بین خروجی و ورودی تقویت کننده عملیاتی عبارتست از:

$$v_o = A(v_p - v_n)$$

از آنجا که مقاومت ورودی تقویت کننده عملیاتی بسیار بزرگ است، برای سادگی محاسبات آن را مطابق شکل با مدار باز جایگزین می کنیم. در نتیجه ی این جایگزینی داریم:

$$i_n = i_p = 0 \text{ A.}$$

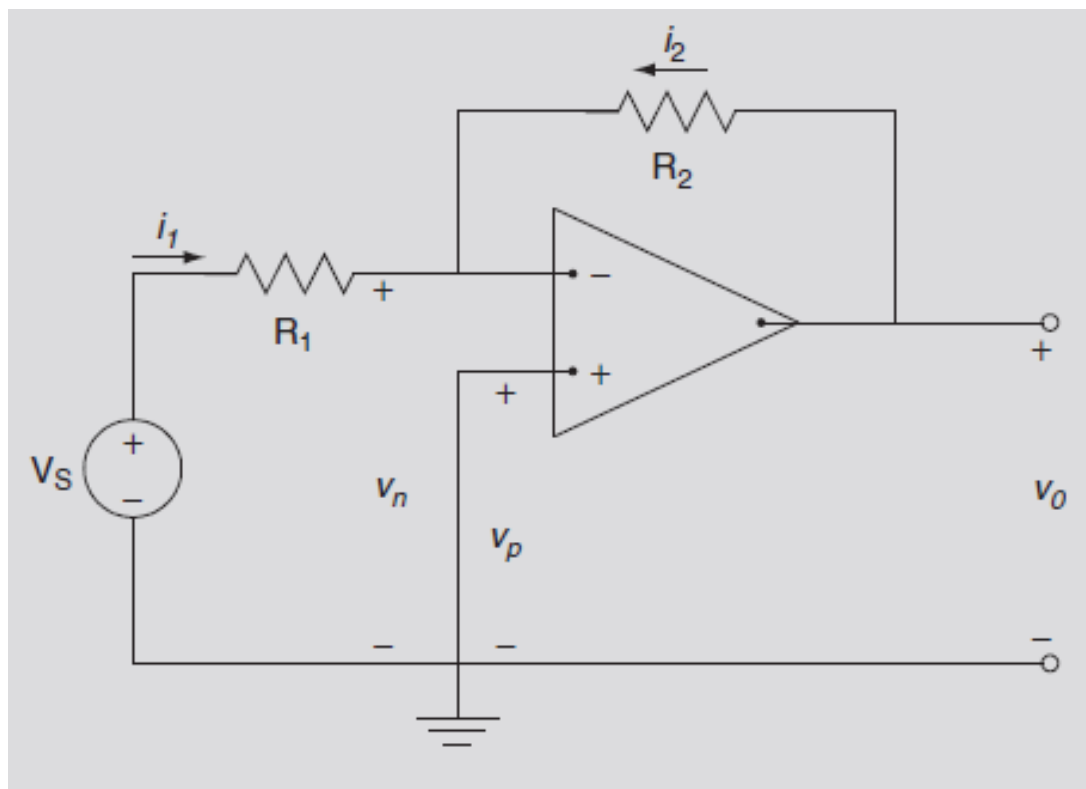
علاوه بر این، جریان خروجی تقویت کننده عملیاتی غیر صفر است.



محاسبات مداری

- از آنجا که این جریان نامعلوم است، به ندرت رابطه ی KCL برای گره ی خروجی نوشته می شود و معمولاً محاسبات مداری با نوشتن رابطه ی KCL برای گره ورودی انجام می شود.
- تقویت کننده عملیاتی را در حالتی ایده آل می نامیم که بهره ی آن بی نهایت باشد.
- برای جلوگیری از اشباع تقویت کننده عملیاتی در این حالت، نمی توان منبع سیگنال را مستقیماً به ورودی های آن وصل کرد (چرا؟) و باید در این حالت مسیر فیدبک بین خروجی و ورودی برقرار باشد.
- یکی دیگر از نکات کلیدی در حل مسائل تقویت کننده عملیاتی، برابر فرض کردن ولتاژ دو پایه ی ورودی V_p و V_n است.
- یادآور می شود این تقریب، تنها به ازای گین بسیار بزرگ (نا محدود) تقویت کننده عملیاتی و وجود مسیر فیدبک، معتبر است.

مثال ۱



- مطلوبست محاسبه ی V_O بر حسب V_S ؟

- با فرض برابر بودن ولتاژ V_p و V_n ,

$$i_1 = (V_S - V_n) / R_1,$$

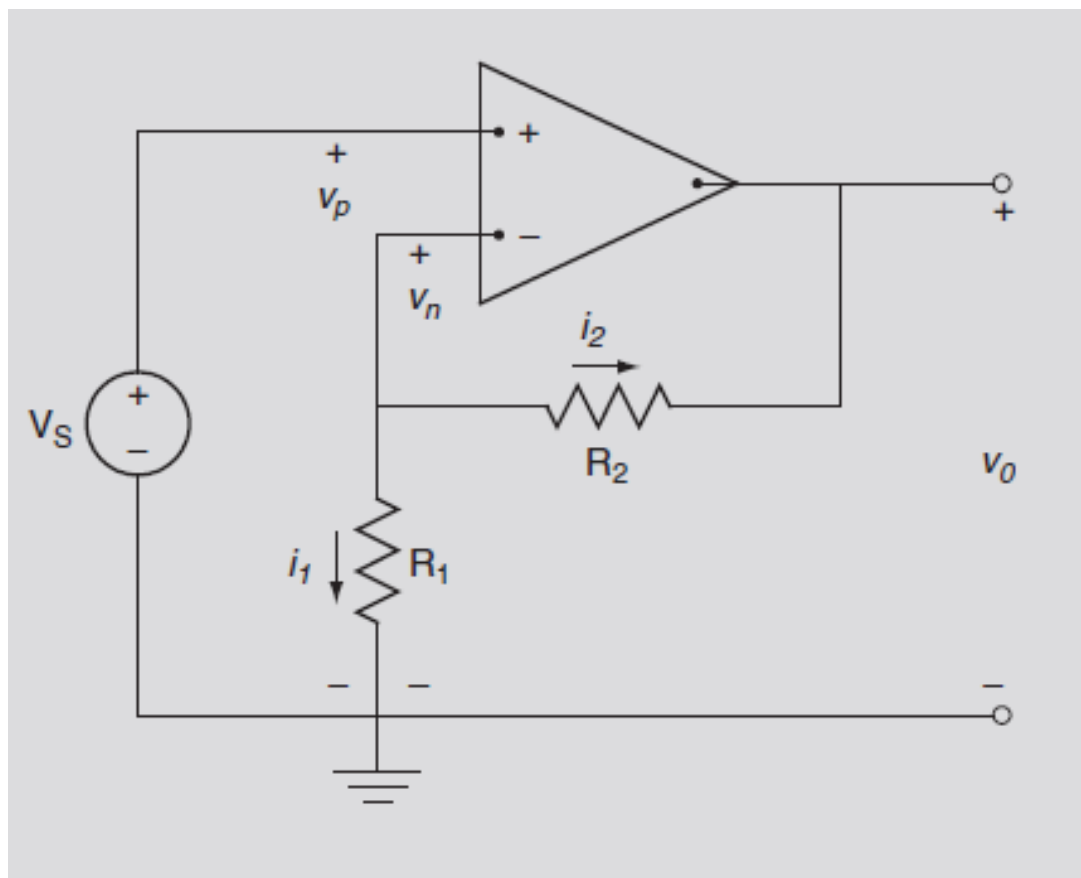
$$i_2 = (V_O - V_n) / R_2,$$

$$i_1 = -i_2, V_n = V_p = 0;$$

$$V_S / R_1 = -V_O / R_2$$

$$\mathbf{V_O = - R_2/R_1 V_S}$$

مثال ۲



• مطلوبست محاسبه ی V_o بر حسب V_s ؟

• با فرض برابر بودن ولتاژ V_p و V_n ,

$$i_1 = (V_s) / R_1,$$

$$i_2 = (V_s - V_o) / R_2,$$

$$i_1 = - i_2,$$

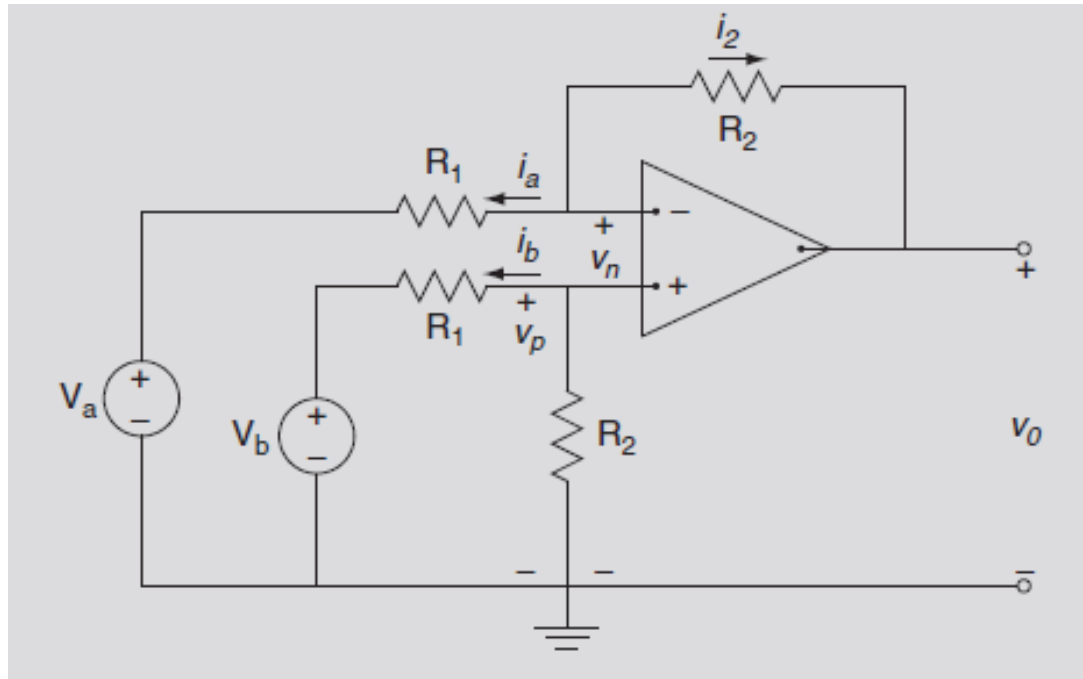
$$V_s / R_1 = -V_s / R_2 + V_o / R_2$$

$$\mathbf{V_o = (1 + R_2 / R_1) V_s}$$

نکات

- ملاحظه شد که در هر دو مدار جریان ورودی Op Amp را صفر فرض کردیم.
- بهره (نسبت خروجی به ورودی) در مدار اول که سیگنال ورودی به سر منفی Op Amp اعمال شد، منفی و در حالت دوم که به سر مثبت اعمال شد، مثبت به دست آمد.
- بهره در هر دو حالت فوق، بر اساس نسبت مقاومتهای شبکه ی مقاومتی (مسیر فیدبک) محاسبه شد.
- در ادامه مثال مهم تقویت کننده ی تفاضلی (differential Amplifier) را بررسی می کنیم.

مثال ٣



$$i_a = -i_2$$

$$\frac{v_n - V_a}{R_1} + \frac{v_n - v_o}{R_2} = 0$$

$$(R_1 + R_2)v_n - R_2V_a = R_1v_o$$

$$v_p = \frac{R_2}{R_1 + R_2}v_b = v_n$$

$$R_2V_b - R_2V_a = R_1v_o$$

$$v_o = \frac{R_2}{R_1}(V_b - V_a)$$

CMMR

- در مثال آخر، تقویت کننده ی عملیاتی تفاضلی (differential Amp.) می توان خروجی را به دو بخش تفاضلی و مشترک تقسیم کرد، اگر قرار دهیم:

$$v_{dm} = v_b - v_a$$

$$v_{cm} = \frac{(v_a + v_b)}{2}$$

$$v_a = v_{cm} - \frac{v_{dm}}{2}$$

$$v_b = v_{cm} + \frac{v_{dm}}{2}$$

و در نتیجه ی آن:

ادامه ...

- با جایگذاری در رابطه ی تقویت کننده ی تفاضلی:

$$v_0 = \left(\frac{R_1 R_2 - R_1 R_2}{R_1 (R_1 + R_2)} \right) v_{cm} + \left(\frac{R_2 (R_1 + R_2) + R_2 (R_1 + R_2)}{2R_1 (R_1 + R_2)} \right) v_{dm} = A_{cm} v_{cm} + A_{dm} v_{dm}$$

- در اینجا کمیتی به نام نسبت رد حالت مشترک

(Common-mode Rejection Ratio: CMRR) را تعریف می کنیم:

$$CMRR = 20 \log_{10} \left| \frac{A_{dm}}{A_{cm}} \right|$$

ادامه ...

- برای تقویت کننده های عملیاتی این نسبت هر چه بزرگتر باشد بهتر است و
- مفهوم آن این است که سیگنال مطلوب به نسبت سیگنال نامطلوب (نویز، سیگنال پیش زمینه، ...) چقدر بیشتر تقویت می شود.
- برای یک تقویت کننده ی عملیاتی امروزی که در ثبت سیگنالهای حیاتی ECG، EEG، EMG و ... به کار میرود، نسبت CMRR در حد ۱۰۰ الی ۱۲۰ dB است.