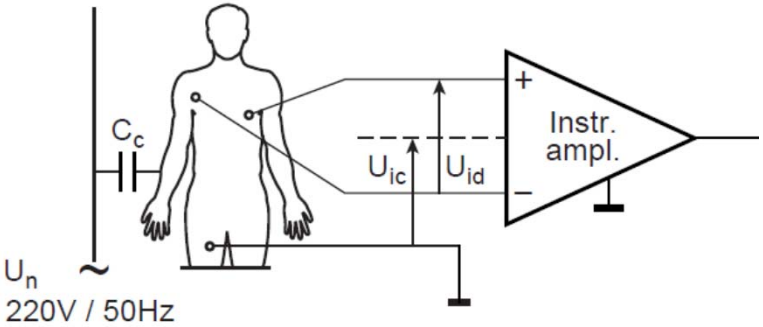
تقویت کننده های تفاضلی و ابزار دقیق

ابزار دقیق پیشرفته الکترونیکی

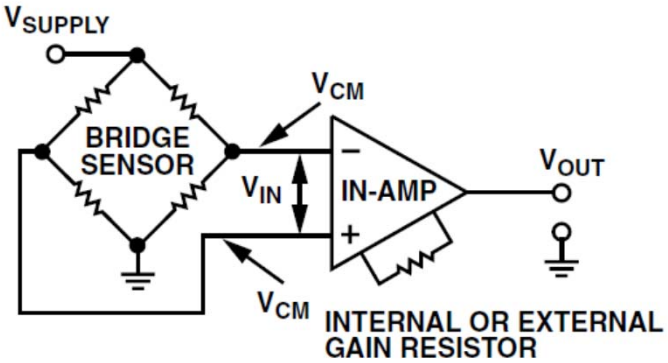
معرفی مباحث

- مبانی تقویت تفاضلی
  - کاربرد
  - CMRR به عنوان مشکل بیرونی
  - رابطه CMRR اپ-امپ و تقویت کننده
- تقویت کننده ابزاردقیق
  - معرفی
  - انواع تقویت کننده ها
  - بررسی CMRR
  - مباحث مربوط به دقت
  - مدارات کاربردی

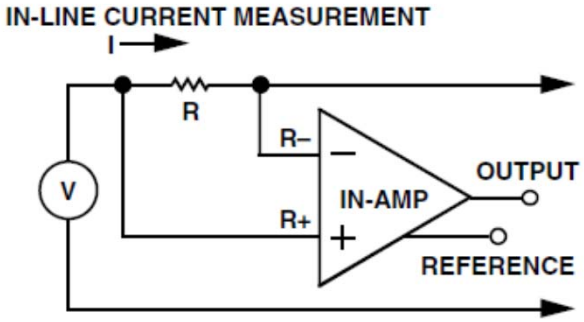
کاربرد هایی از تقویت کننده تفاضلی در ابزاردقیق



- تقویت سیگنال های زیستی (ECG,EEG, EMG)
  - حضور نویز مد مشترک قوی و سیگنال تفاضلی ضعیف
  - مثال دامنه 10uV ECG که برروی 1mV نویز 50Hz برق شهر سوار شده است!

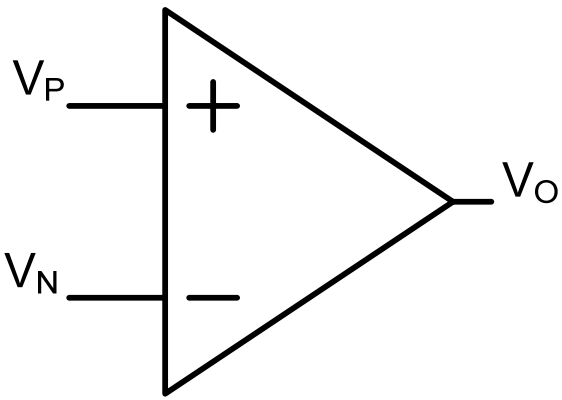


- تقویت خروجی سنسور های مقاومتی و خازنی مبتنی بر پل (وتستون)



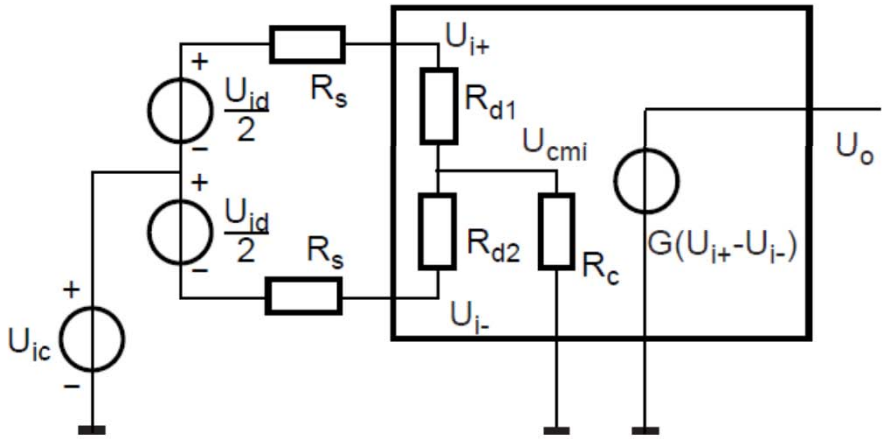
- حسگر جریان مقاومتی

تقویت کننده تفاضلی: CMRR



- آنچه می دانیم:
  - $V_O=A_d(V_P-V_N)+A_C(V_P+V_N)/2$
  - $CMRR=A_d/A_C$
  - $V_O=A_d(V_P-V_N+V_{CM}/CMRR) \rightarrow V_{error}(input)=V_{CM}/CMRR$
- سوال:
- آیا داشتن یک تقویت کننده تفاضلی یا آپ-امپ با CMRR بی نهایت مشکل نویز مد مشترک را حل می کند؟
- مقاومت های ورودی چه تاثیری در مشکل نویز مد مشترک دارد؟
- عدم تطابق مقاومتها چقدر موثر است؟
- راههای افزایش CMRR ***کل مدار*** چیست؟

مثال: تقویت کننده ایده ال ولی غیر بالانس



$$U_{cmi} = \frac{R_c}{R_c + \frac{(R_s+R_{d1})(R_s+R_{d2})}{2R_s+R_{d1}+R_{d2}}} U_{ic} + \left(\frac{\frac{R_c(R_s+R_{d2})}{R_c+R_s+R_{d2}}}{\frac{R_c(R_s+R_{d2})}{R_c+R_s+R_{d2}} + R_s + R_{d1}} - \frac{\frac{R_c(R_s+R_{d1})}{R_c+R_s+R_{d1}}}{\frac{R_c(R_s+R_{d1})}{R_c+R_s+R_{d1}} + R_s + R_{d2}} \right) \frac{U_{id}}{2}$$

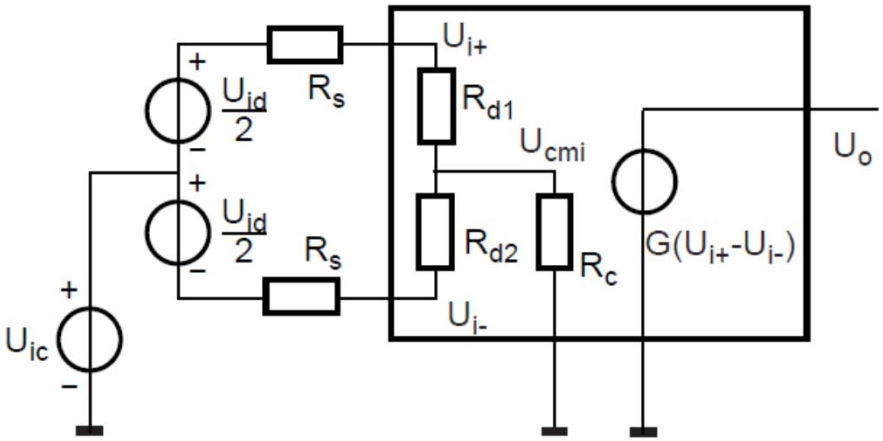
$$U_+ - U_- = \frac{U_{ic} - U_{cmi}}{R_s + R_{d1}} R_{d1} - \frac{U_{ic} - U_{cmi}}{R_s + R_{d2}} R_{d2} + \frac{R_{d1} + R_{d2}}{R_{d1} + R_{d2} + 2R_s} U_{id}$$

- فرض: $R_{d1} = R_d + \Delta R_d/2$, $R_{d2} = R_d - \Delta R_d/2$ and $R_c \gg R_d$

$$U_{cmi} = \frac{R_c}{R_c + \frac{\left(R_s + R_d + \frac{\Delta R_d}{2}\right)\left(R_s + R_d - \frac{\Delta R_d}{2}\right)}{2(R_s + R_d)}} U_{ic} + \frac{\Delta R_d}{R_s + R_d + R_s(1 + R_s/R_c + R_d/R_c)} U_{id} =$$

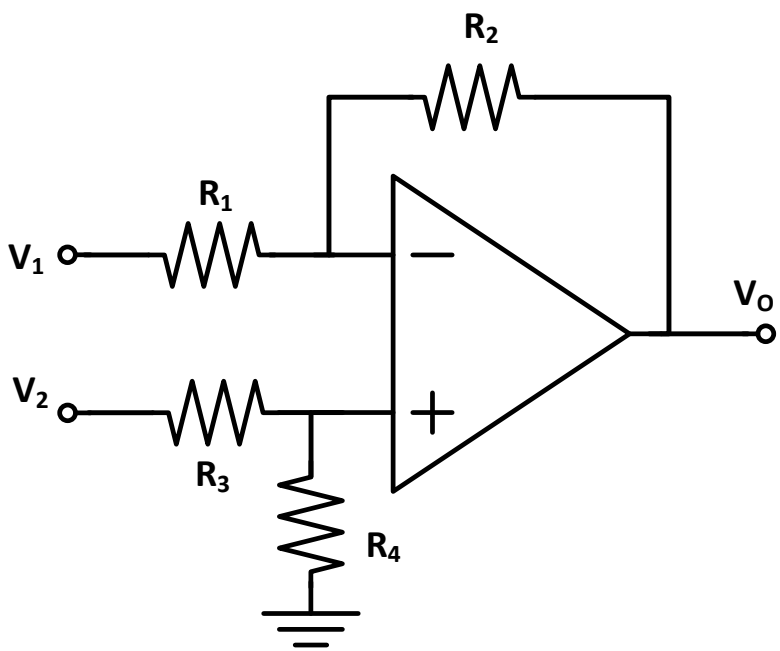
$$\frac{2R_c U_{ic}}{2R_c + R_s + R_d} + \frac{\Delta R_d U_{id}}{2R_s + R_d} \approx \frac{2R_c U_{ic}}{2R_c + R_s + R_d}$$

مثال: تقویت کننده ایده ال ولی غیر بالانس



- نتیجه نهایی:
- $\frac{V_i^+ - Vi^-}{V_{CM}} \approx \frac{\Delta R_d}{R_s+R_d}\left(1-\frac{R_C}{R_C+(R_s+R_d)/2}\right)$
- $\frac{V_i^+ - Vi^-}{V_d} \approx \frac{R_d}{R_s+R_d}$
- $CMRR = \left(\frac{R_d}{\Delta R_d}+\frac{R_s}{\Delta R_s}\right)\frac{2R_C+R_S+R_d}{R_s+R_d}$
- عدم تقارن ورودی (مقاومت بار یا منبع) حتی در صورت ایده آل بودن تقویت کننده تفاضلی باعث ایجاد نویز مود مشترک می شود
- کاهش مود مشترک: $\Delta R_d \to 0$ و یا $R_C \to \infty$
  - **افزایش تقارن (matching) و افزایش مقاومت مود مشترک ورودی (isolation)**

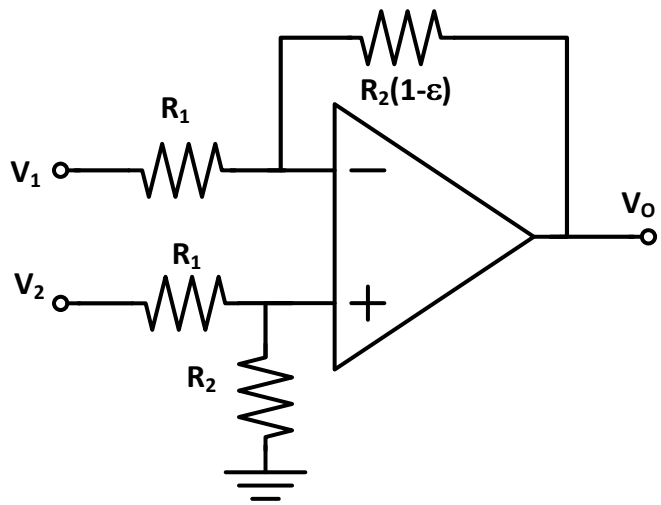
تقویت کننده تفاضلی ساده



- بهره تقویت کننده:
- $V_O = -\frac{R_2}{R_1}V_1 + \frac{R_4}{R_4+R_3}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)V_2$
- اگر:
- $\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$
- در این صورت:
- $V_O = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1)$

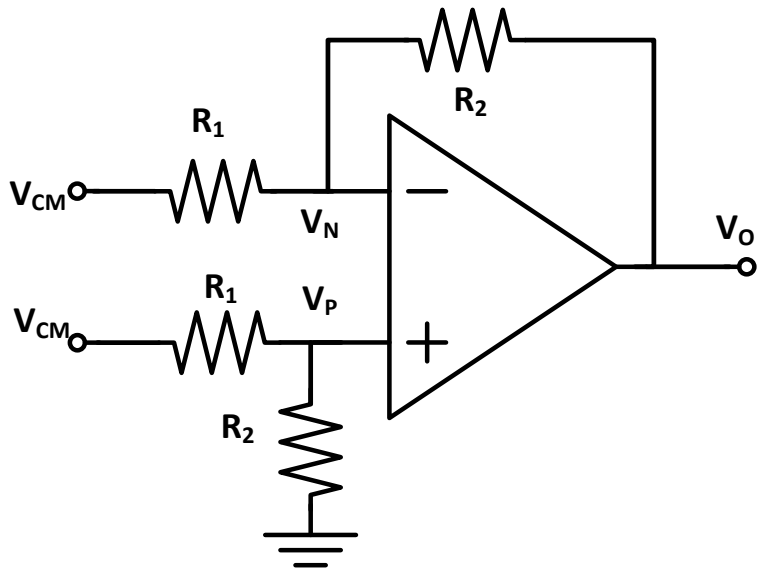
- معمولا $R_4=R_2, R_3=R_1$
- مقاومت ورودی محدود
- مولفه مد مشترک خروجی بزرگ در صورت عدم دقت مقاومتها

تقویت کننده تفاضلی ساده



- مولفه مد مشترک خروجی بزرگ در صورت عدم دقت مقاومتها:
- فرض آپ-امپ ایده آل CMRR=∞
- فرض کنید آپ-امپ ایده آل باشد ولی مقاومتها دارای mismatch باشد: $R_2, R_2(1-\varepsilon)$
- $Vo = -\frac{R_2}{R_1}(1-\varepsilon)(V_{CM} - Vd/2) + \frac{R_1+R_2(1-\varepsilon)}{R_1}\frac{R_2}{R_1+R_2}(VCM + Vd/2)$
- $A_d = \frac{R_2}{R_1}\left(1 - \frac{R_1+2R_2}{R_1+R_2}\frac{\varepsilon}{2}\right)$ $\qquad A_{cm} = \frac{R_2}{R_1+R_2}\varepsilon$
- $CMRR \cong \frac{1+R_2/R_1}{\varepsilon}$
- مثال: $R_1=R_2$ و $\varepsilon=5\%$: CMRR=40,(32dB)
- تاثیر قابل ملاحظه matching مقاومتها در CMRR کل تقویت کننده

تقویت کننده تفاضلی ساده



- فرض آپ-امپ با CMRR محدود

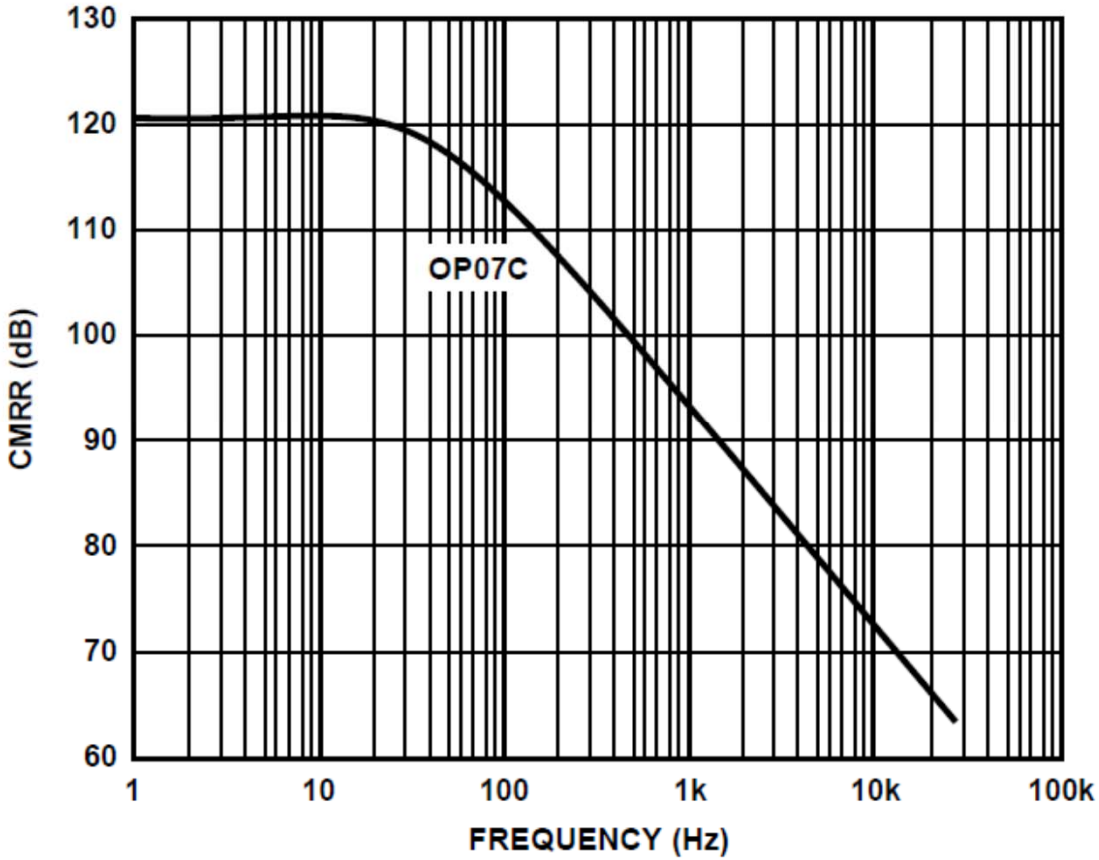
- $V_P = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{CM}$, $V_N = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{CM} + \frac{R_1}{R_1+R_2} V_O$,
- $V_O = a_d \left(V_P - V_N + \frac{V_P+V_N}{2CMRRo} \right)$

- با فرض $a_d \rightarrow \infty$

- $A_d = \frac{R_2}{R_1}$ $\quad A_{cm} = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{CMRR_o}$
- $CMRR = CMRRo$

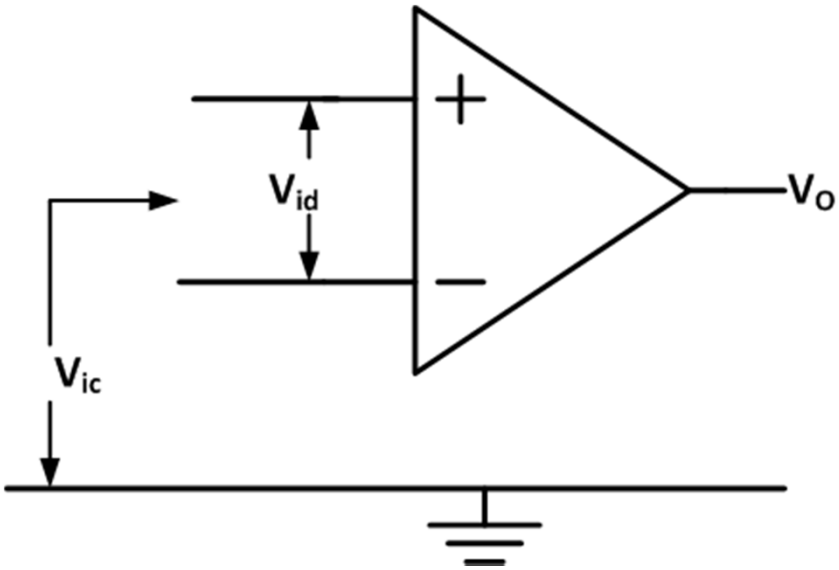
- مثال LM358 : $CMRR_o$@DC=85dB → CMRR=17780

یادآوری در مورد CMRR آپ-امپ



- کاهش CMRR با فرکانس

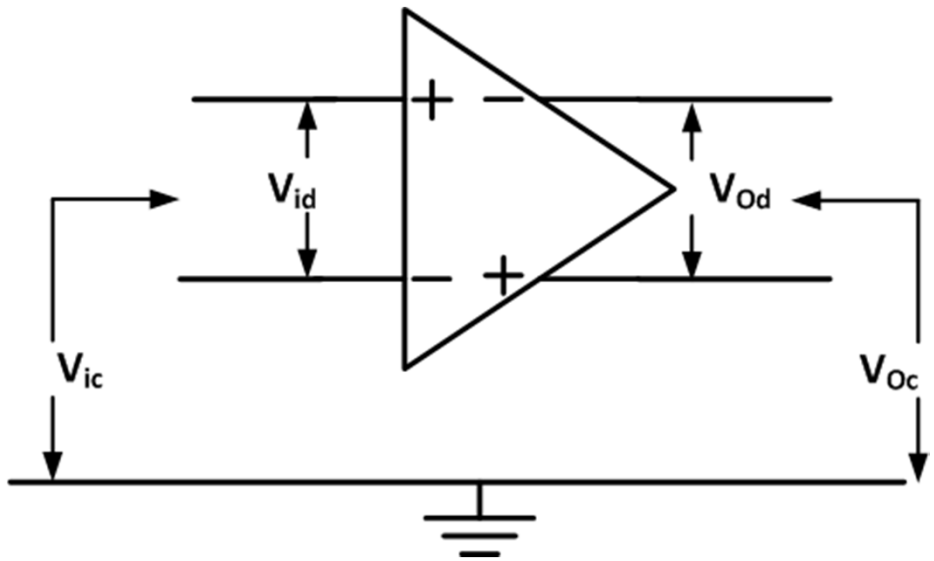
معرفی Discrimination Factor



- طبقه بهره تفاضلی خروجی تک سر (Single-ended):

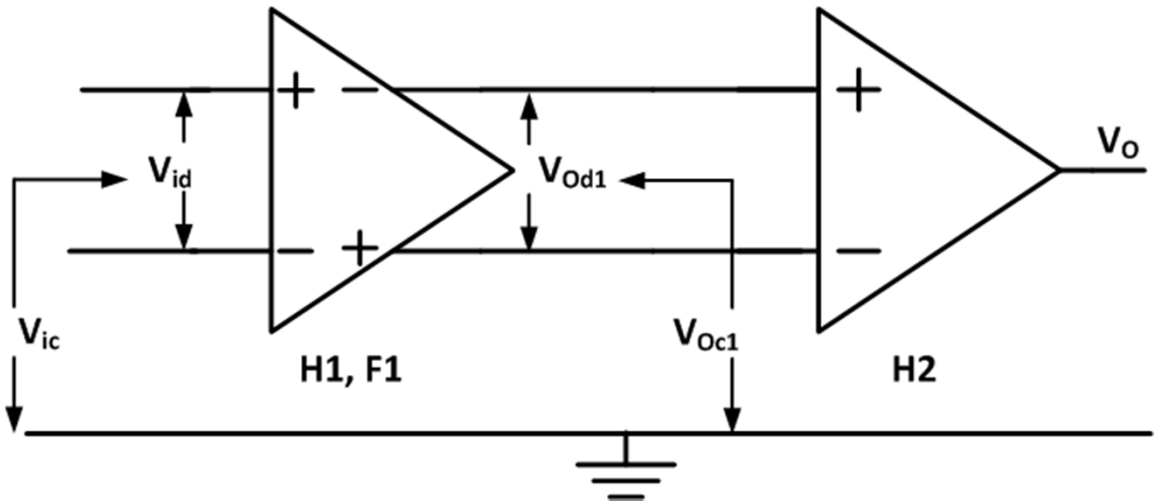
- $A_d = \frac{V_O}{V_{id}}$
- $A_c = \frac{V_O}{V_{ic}}$
- $V_O = A_d V_{id} + A_C V_{ic}$
- $CMRR = H = \frac{A_d}{A_c}$

معرفی Discrimination Factor



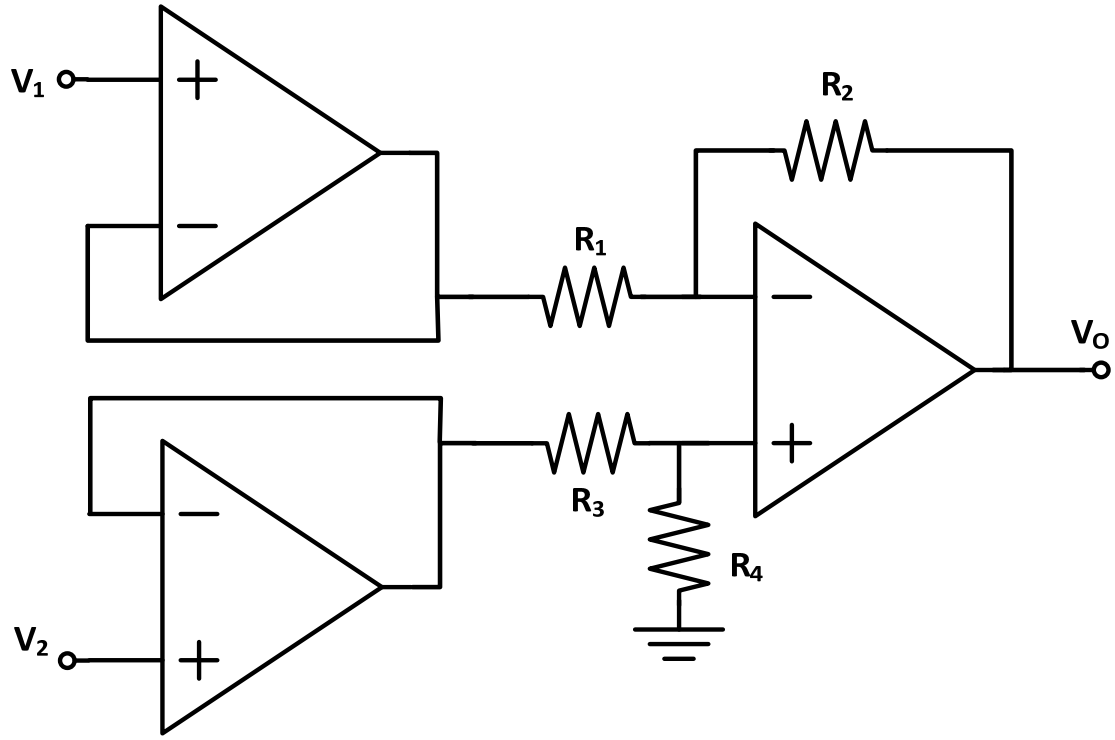
- طبقه بهره تمام تفاضلی (Fully Differential):
- $A_{dd} = \frac{V_{Od}}{V_{id}}$ $\quad A_{cd} = \frac{V_{Od}}{V_{ic}}$
- $A_{CC} = \frac{V_{OC}}{V_{ic}}$ $\quad A_{dc} = \frac{V_{oc}}{V_{id}}$
- $V_{Od} = A_{dd}V_{id} + A_{cd}V_{ic}$ $\quad V_{Oc} = A_{cc}V_{ic} + A_{dc}V_{id}$
- معمولا A_{dc}≈0
- $CMRR = H = \frac{A_{dd}}{A_{cd}}$ $\quad$ *Discrimination Factor*: $F = \frac{A_{dd}}{A_{CC}}$

سری کردن طبقات تفاضلی



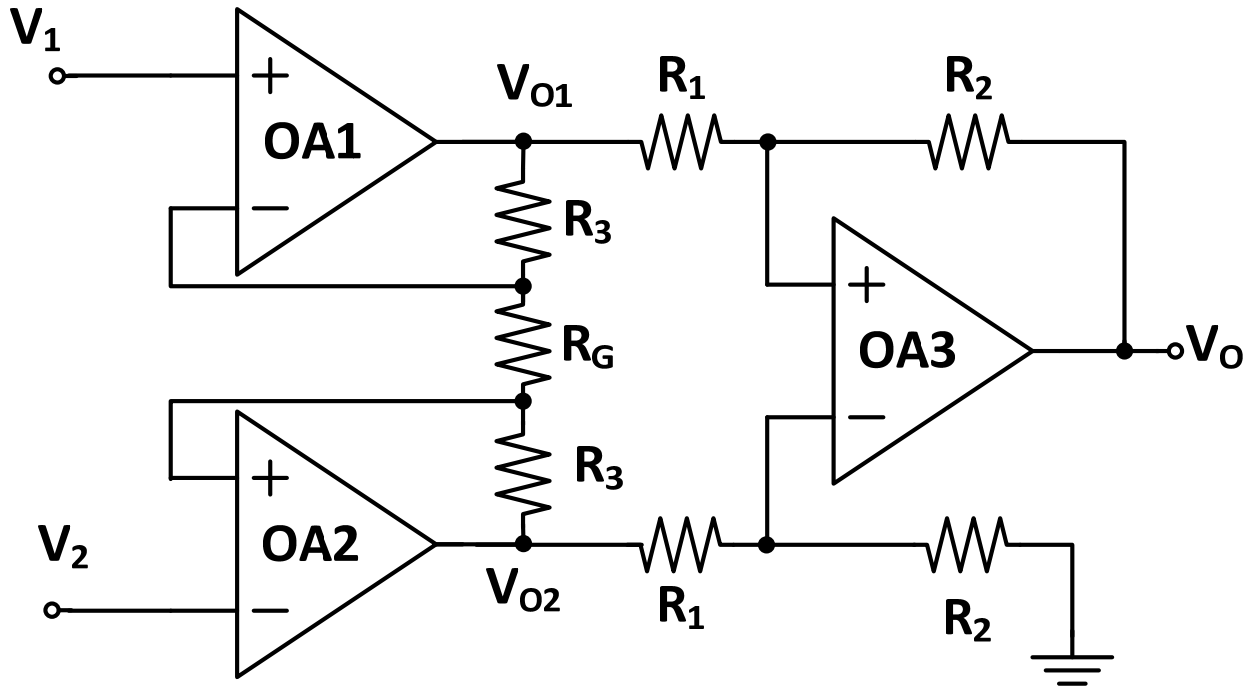
- $V_O = A_{d2}V_{Od1} + A_{c2}V_{oc1}$
- $V_{Od1} = A_{dd1}V_{id} + A_{cd1}V_{ic}$
- $V_{Oc1} = A_{cc1}V_{ic}$
- $V_o = A_{dd1} \times A_{d2} \times \left(V_{id} + \frac{V_{ic}}{A_{dd1}/A_{cd1}} + \frac{V_{ic}}{(A_{dd1}/A_{cc1})\times(A_{d2}/Ac_2)}\right)$
- $CMRR_{total} = HT \rightarrow \frac{1}{H_T} = \frac{1}{H_1} + \frac{1}{F_1H_2}$

تقویت کننده ابزار دقیق: ایده اولیه



- استفاده از بافر ولتاژ در ورودی
  - مقاومت ورودی بزرگ
  - به جا ماندن مشکل CMRR
- ایده بهتر: استفاده از تقویت کننده های غیر معکوس کننده در ورودی به جای بافر

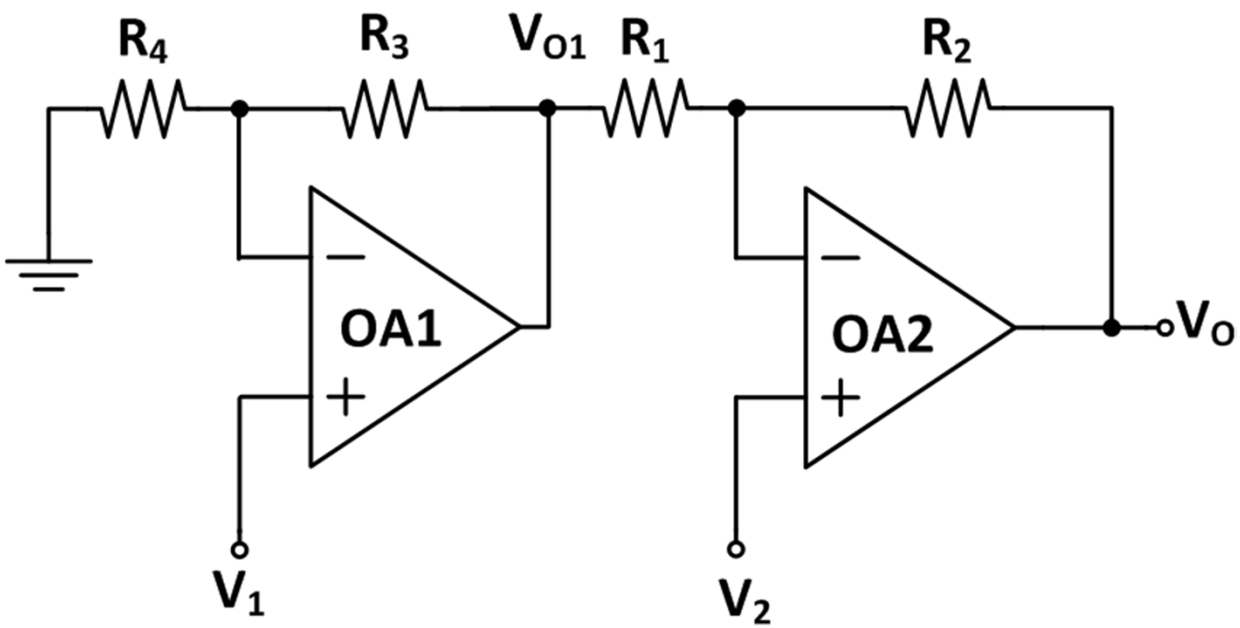
تقویت کننده ابزار دقیق: مدار استاندارد



- استفاده از تقویت کننده های غیر معکوس کننده در ورودی

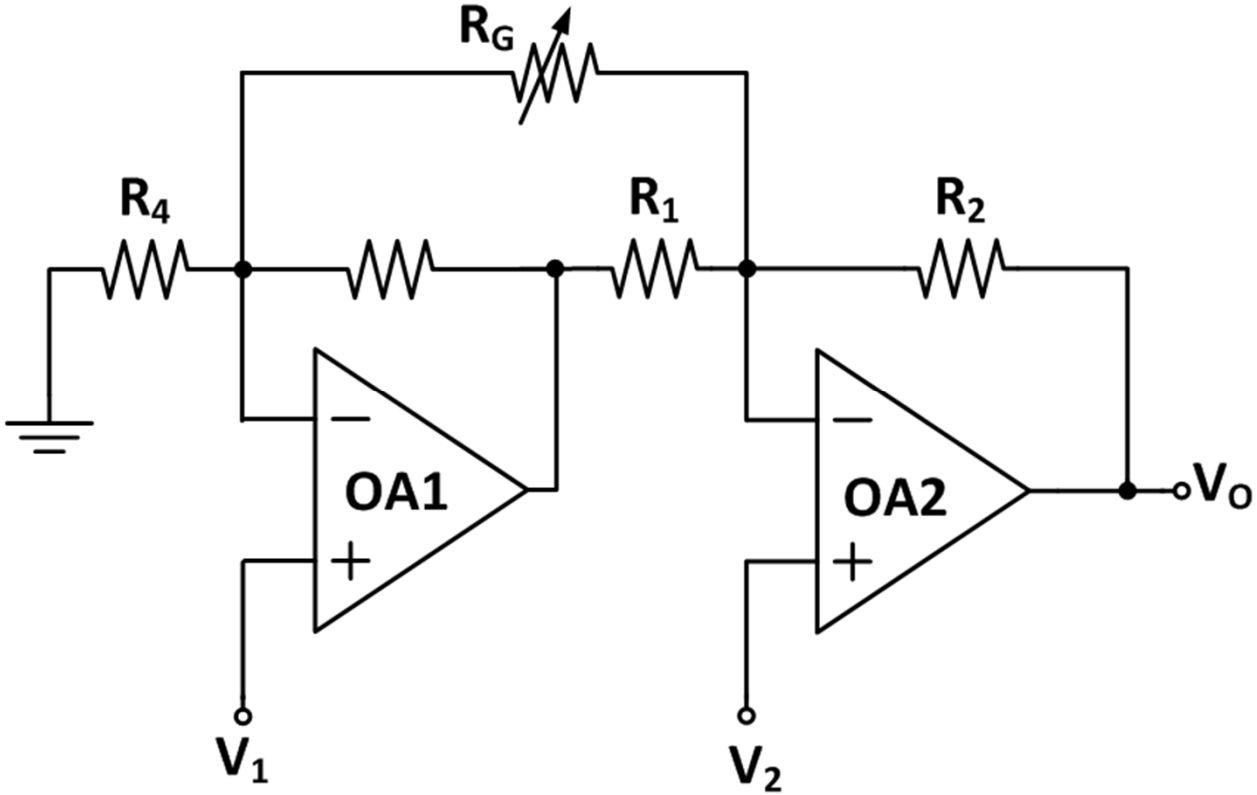
- $V_{O1} - V_{O2} = \left(1 + \frac{2R_3}{R_G}\right)(V_1 - V_2)$
- $V_O = \frac{R_2}{R_1}(V_{O2} - V_{O1})$
- $A = A_1 \times A_2 = \left(1 + \frac{2R_3}{R_G}\right) \times \left(\frac{R_2}{R_1}\right)$

تقویت کننده ابزار دقیق: مدار دو آپ-امپی



- سری کردن دو تقویت کننده غیر معکوس کننده
- $V_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\left(V_2 - \frac{1+R_3/R_4}{1+R_1/R_2} V_1\right)$
- اگر $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$
- $V_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)(V_2 - V_1)$

تقویت کننده ابزار دقیق: مدار دو آپ-امپی



- تقویت کننده ابزار دقیق دو آپ-امپی با بهره متغیر

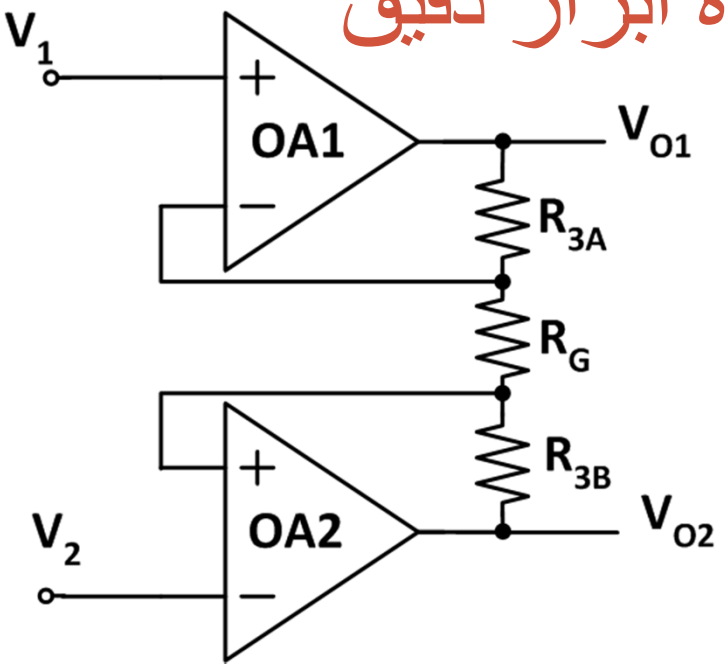
- $A = 1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{2R_2}{R_G}$

مقایسه تقویت کننده سه و دو آپ امپی

- نکات مثبت تقویت کننده دو آپ امپی
  - تعداد آپ امپ کمتر
  - تعداد مقاومت کمتر
  - مناسب برای پکیج های دو آپ-امپی

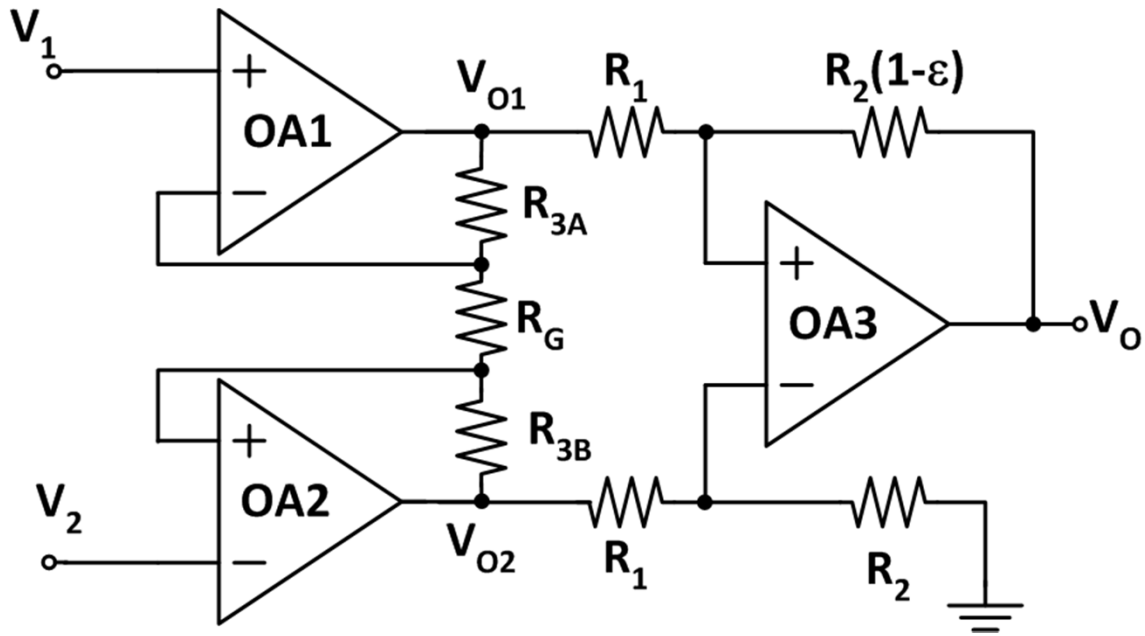
- نکات منفی تقویت کننده دو آپ امپی
  - عدم تقارن کامل مداری: ضعف در CMRR
  - اختلاف تاخیر در مسیر های ورودی تا خروجی: ضعف در CMRR در فرکانس بالا

بررسی CMRR درتقویت کننده ابزار دقیق



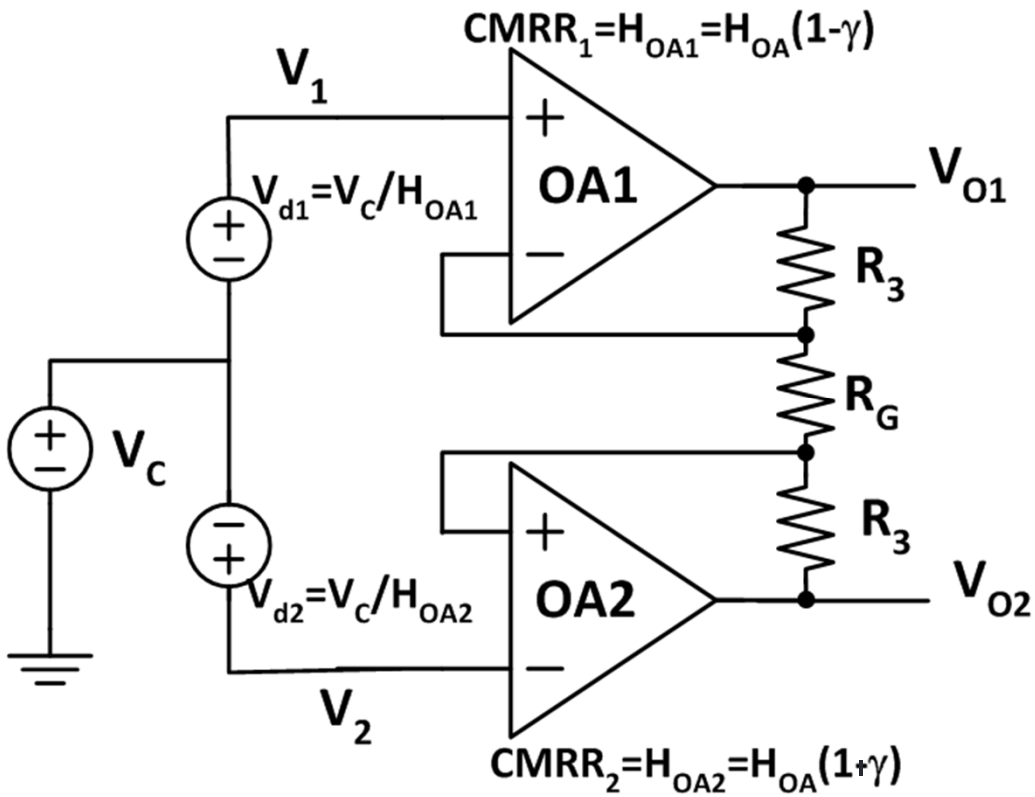
- بررسی طبقه اول با آپ-امپ ایده آل
  - $V_{O1} = \left(1 + \frac{R_{3A}}{R_G}\right) V_1 - \frac{R_{3A}}{R_G} V_2$
  - $V_{O2} = \left(1 + \frac{R_{3B}}{R_G}\right) V_2 - \frac{R_{3B}}{R_G} V_1$
  - $V_{O1} - V_{O2} = \left(1 + \frac{R_{3A}}{R_G} + \frac{R_{3B}}{R_G}\right)(V_1 - V_2)$
- ولتاژ تفاضلی خروجی تنها تابع تفاضل ورودی
  - ولتاژ مد مشترک خروجی:
  - $V_{CMO} = \frac{V_{O1}+V_{O2}}{2} = \frac{V_1+V_2}{2} + \frac{R_{3A}-R_{3B}}{R_G}\frac{V_1-V_2}{2} \cong \frac{V_1+V_2}{2}$
  - $A_{dd} = \frac{V_{O1}-V_{O2}}{V_1-V_2} = \left(1 + \frac{R_{3A}}{R_G} + \frac{R_{3B}}{R_G}\right)$ $\quad A_{cd} = 0 \quad A_{cc} = 1$
  - $CMRR = H = \frac{A_{dd}}{A_{cd}} = \infty$ $\quad F = \frac{A_{dd}}{A_{cc}} = \left(1 + \frac{R_{3A}}{R_G} + \frac{R_{3B}}{R_G}\right)$
- CMRR بی نهایت: ایزولاسیون کامل ورودی ها تا زمین

بررسی CMRR درتقویت کننده ابزار دقیق



- محاسبه برای کل مدار: سری شدن دو طبقه تفاضلی:
- $\frac{1}{H_T} = \frac{1}{H_1} + \frac{1}{F_1 H_2}$ $\quad H_1 = \infty \quad F_1 = \left(1 + \frac{R_{3A}}{R_G} + \frac{R_{3B}}{R_G}\right) \quad H_2 = \frac{1+R_2/R_1}{\varepsilon}$
- $H_T = F_1 H_2 = \left(1 + \frac{R_{3A}}{R_G} + \frac{R_{3B}}{R_G}\right)\frac{1+R_2/R_1}{\varepsilon}$
- نسبت به تقویت کننده تفاضلی ساده، CMRR به اندازه بهره طبقه اول افزایش می یابد

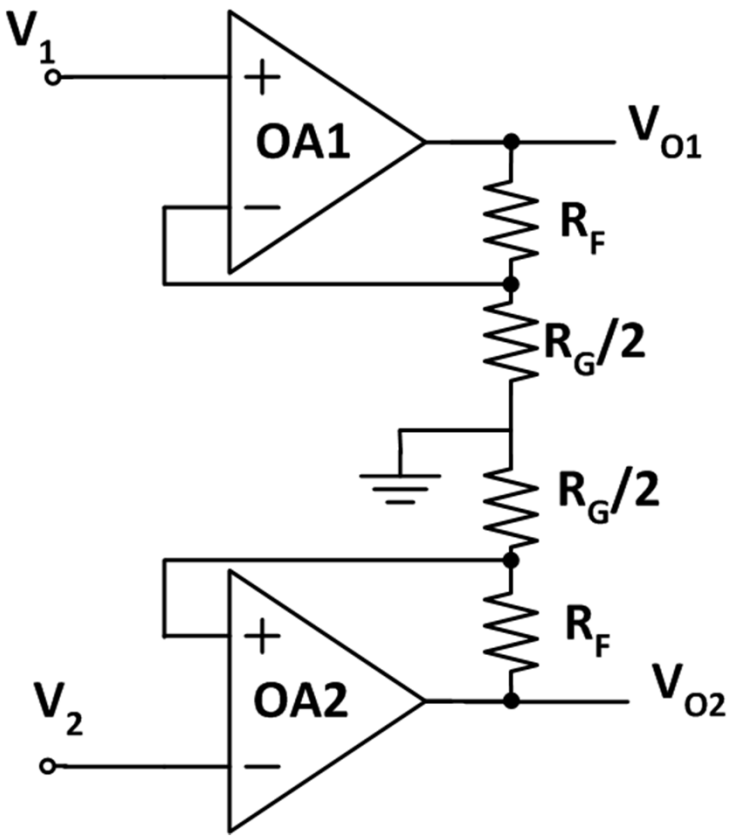
بررسی CMRR درتقویت کننده ابزار دقیق



- بررسی حالت CMRR محدود آپ-امپ ها (مقاومتها ایده ال)
- تبدیل CMRR به آفست ← ولتاژ تفاضلی
- $CMRR = \frac{1}{\frac{V_1 - V_2}{V_C}} = \frac{1}{\frac{1}{H_{OA2}} - \frac{1}{H_{OA1}}}$
- $CMRR = \frac{H_{OA}}{2\gamma}$

- عدم تطابق CMRR آپ-امپ ها اهمیت دارد
- CMRR کل طبقه اول همچنان بسیار بزرگ است

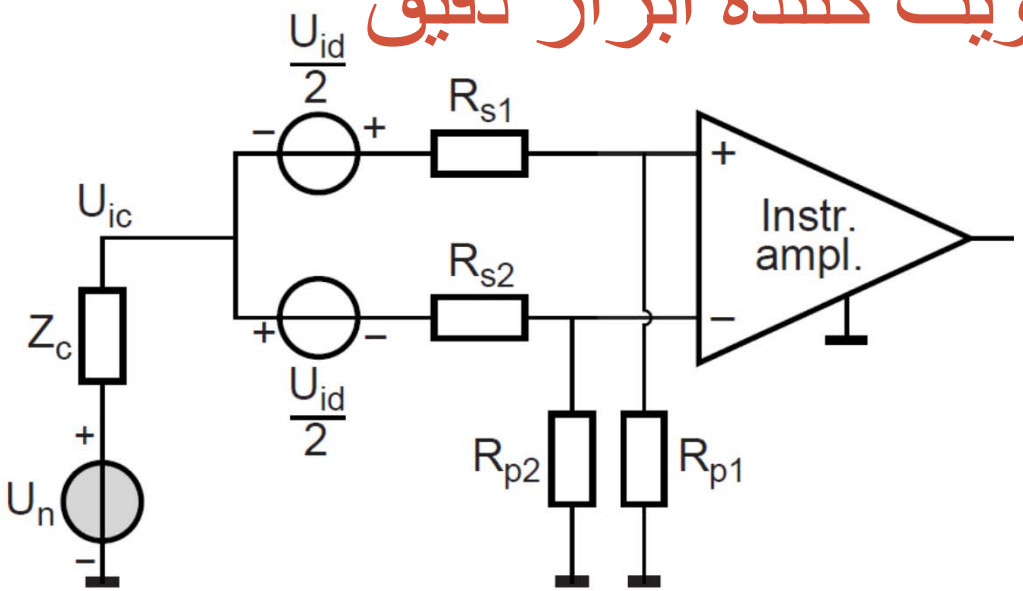
بررسی CMRR درتقویت کننده ابزار دقیق



- اثر شناور نبودن مقاومت R_G طبقه اول
- اثر عدم تطابق $R_G/2$ ها:$R_G/2(1\pm\varepsilon)$
- $V_{O1} = \frac{2R_F+R_G\,(1+\varepsilon)}{R_G(1+\varepsilon)} V_1$
- $V_{O2} = \frac{2R_F+R_G\,(1-\varepsilon)}{R_G(1-\varepsilon)} V_2$
- $V_{O1} - V_{O2} \cong \frac{2R_F+R_G}{R_G}(V_1 - V_2) - \frac{4\varepsilon R_F}{R_G}\left(\frac{V_1+V_2}{2}\right)$
- $\frac{V_{O1}+V_{O2}}{2} \cong \frac{2R_F+R_G}{R_G}\frac{V_1+V_2}{2}$
- $CMRR = H = \frac{R_F+R_G/2}{2\varepsilon R_F} \qquad F = 1$

- زمین کردن مقاومت R_G، تاثیر مخربی روی CMRR و F دارد
- ایزولاسیون ورودی به خروجی کاهش یافته است.

بررسی CMRR درتقویت کننده ابزار دقیق



- تاثیر مقاومت های منبع و مقاومتهای بایاس ورودی در CMRR

$$U_+ = \frac{R_{p1}}{R_{p1}+R_{s1}}\left(U_{ic}+\frac{U_{id}}{2}\right)$$

$$U_- = \frac{R_{p2}}{R_{p2}+R_{s2}}\left(U_{ic}-\frac{U_{id}}{2}\right)$$

$$U_+ - U_- = \left(\frac{R_{p1}}{R_{p1}+R_{s1}} - \frac{R_{p2}}{R_{p2}+R_{s2}}\right)U_{ic} + \left(\frac{R_{p1}}{R_{p1}+R_{s1}} + \frac{R_{p2}}{R_{p2}+R_{s2}}\right)\frac{U_{id}}{2}$$

$$H = \frac{R_p\left(R_p+R_s\right)}{R_s\Delta R_p - R_p\Delta R_s} = \frac{\frac{R_p+R_s}{R_s}}{\frac{\Delta R_p}{R_p} - \frac{\Delta R_s}{R_s}}$$

$$F = \frac{\frac{U_+ - U_-}{U_{id}}}{\frac{(U_+ + U_-)/2}{U_{ic}}} = \frac{\frac{R_{p1}}{R_{p1}+R_{s1}} + \frac{R_{p2}}{R_{p2}+R_{s2}}}{\frac{R_{p1}}{R_{p1}+R_{s1}} + \frac{R_{p2}}{R_{p2}+R_{s2}}} = 1$$

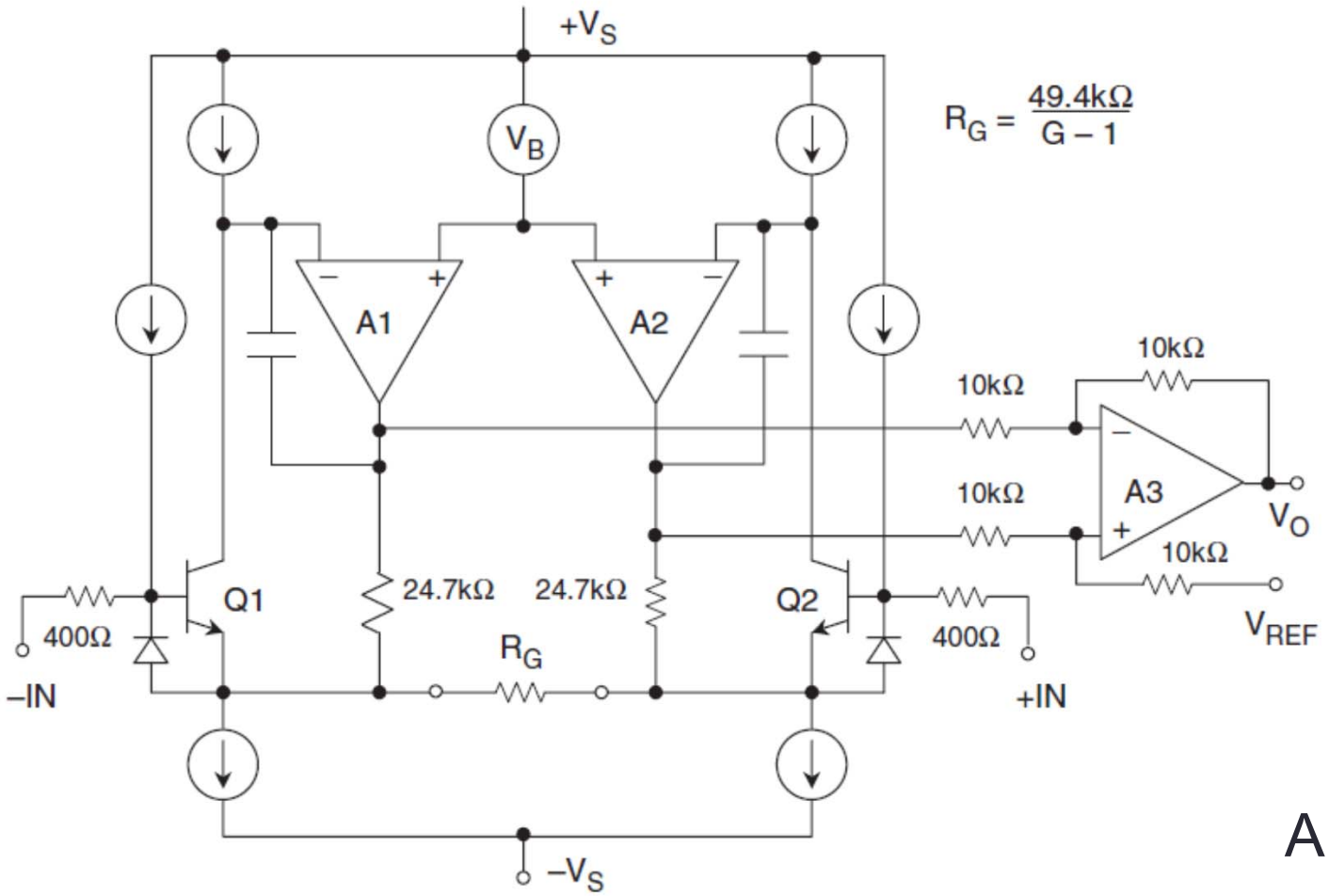
- عدم تطابق مقاومتهای بار و ورودی می تواند CMRR کل را به شدت تحت تاثیر قرار دهد

تقویت کننده های ابزار دقیق monolithic

- استفاده از تقویت کننده ابزار دقیق monolithich
  - استفاده از مقاومتهای laser-trimmed ← CMRR بالا
  - دریفت حرارتی پایین
  - قیمت کم و ابعاد کوچک
- ساخت: تقویت کننده ابزار دقیق با آپ-امپ: هنگامی که انواع monolithic مشخصه های لازم را ندارند (کاربرد خاص)

- تقسیم بندی؟
- CMRR بالا: LTC1167
- Single-Supply: AD623
- Micro-power: AD627
- Low-offset (precision)
- Auto-Zero (Ultra Low Offset): AD8230
- FET input: INA110
- Fixed Gain: LT1101
- Digitally Controlled Gain: AD8555

تقویت کننده های ابزار دقیق monolithic



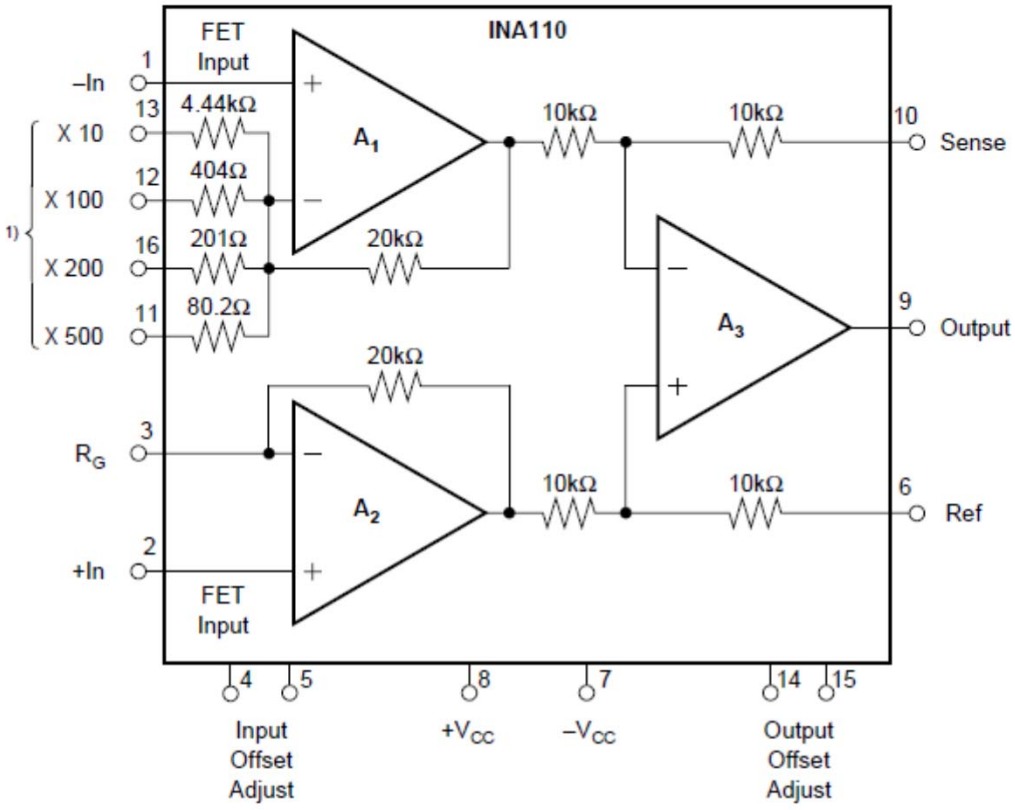
AD620 •

تقویت کننده های ابزار دقیق monolithic

- جدول مقایسه

	توضیح	جریان مصرفی	عرض باند G=10	CMRR G=10	V_{OS}	I_B
AD620	General purpose	0.9mA	800kHz	110dB	30uV	0.5nA
AD8230	Zero-Drift	2.7mA	2kHz	120dB	10uV	0.15nA
AD623	Single Supply	375uA	100kHz	100dB	25uV	17nA
INA110	FET Input	3mA	2.5MHz	110dB	50uV	50pA
INA128	GP	0.7mA	700kHz	106dB	25uV	10nA
LTC1167	GP-precision	0.9mA	800kHz	115dB	15uV	50pA

نمونه: ورودی JFET

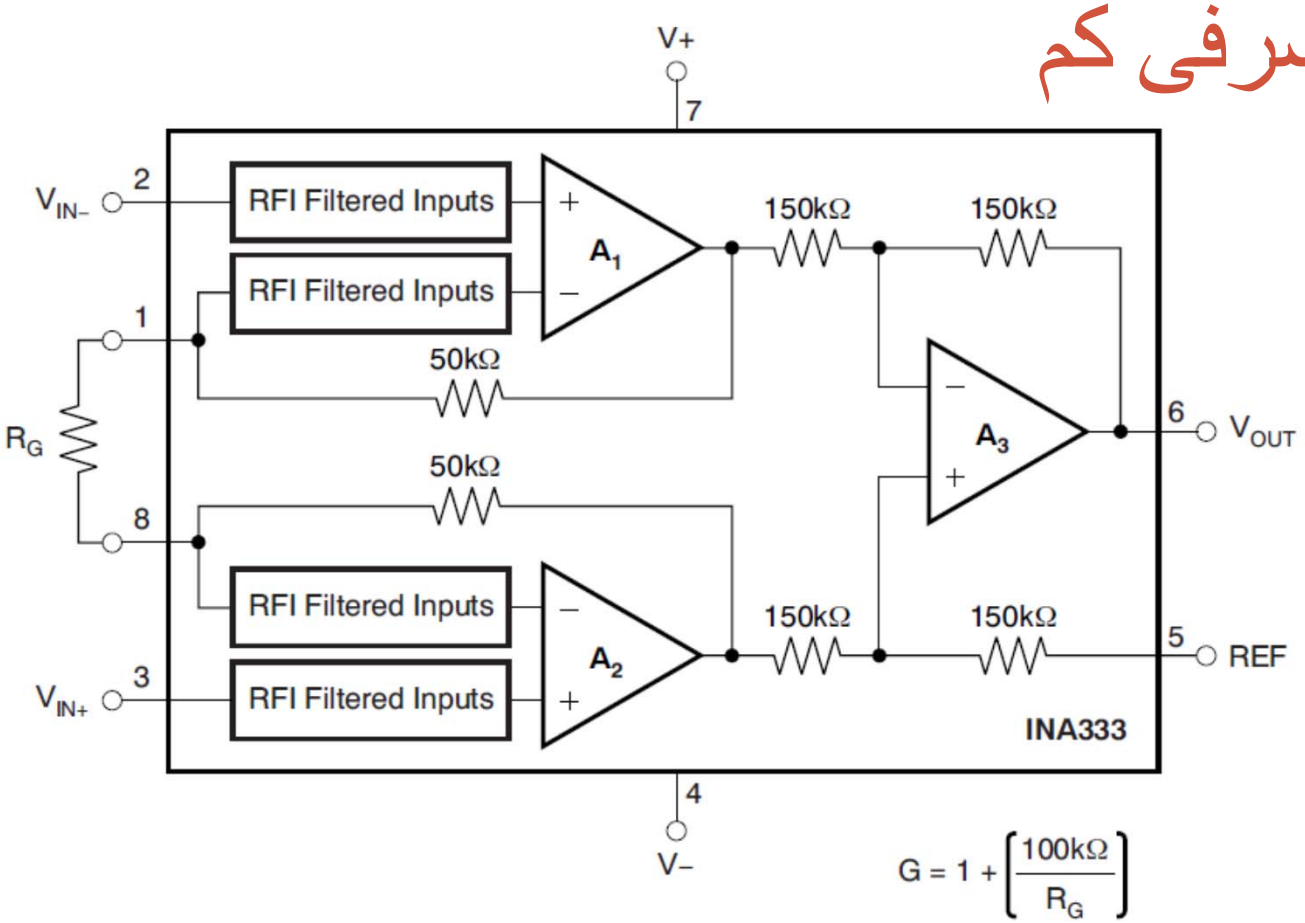


- INA110
- جریان بایاس کم
- بهره های مشخص با مقاومت داخلی

- یکی از معدود تقویت کننده ها با پایه sense

	جریان مصرفی	عرض باند G=10	CMRR G=10	V_{OS}	I_B	نویز
INA110	3mA	2.5MHz	110dB	50uV	50pA	65nV/sqrHz @ 1kHz

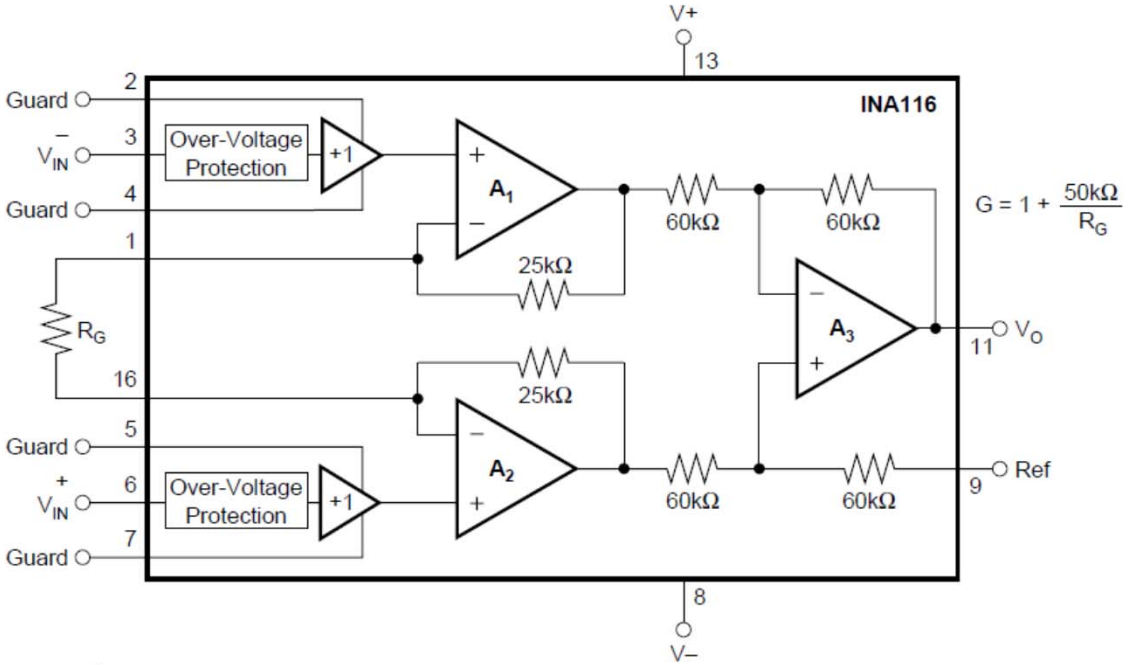
نمونه: توان مصرفی کم



- INA333
- جریان مصرفی 50uA
- آفست و دریفت بسیار کم
- فیلتر RFI درونی

	جریان مصرفی	عرض باند G=10	CMRR G=10	V_{OS}	I_B	نویز
INA333	50uA	35 kHz	110 dB	25uV	±70pA	50nV/sqrHz @ 1kHz

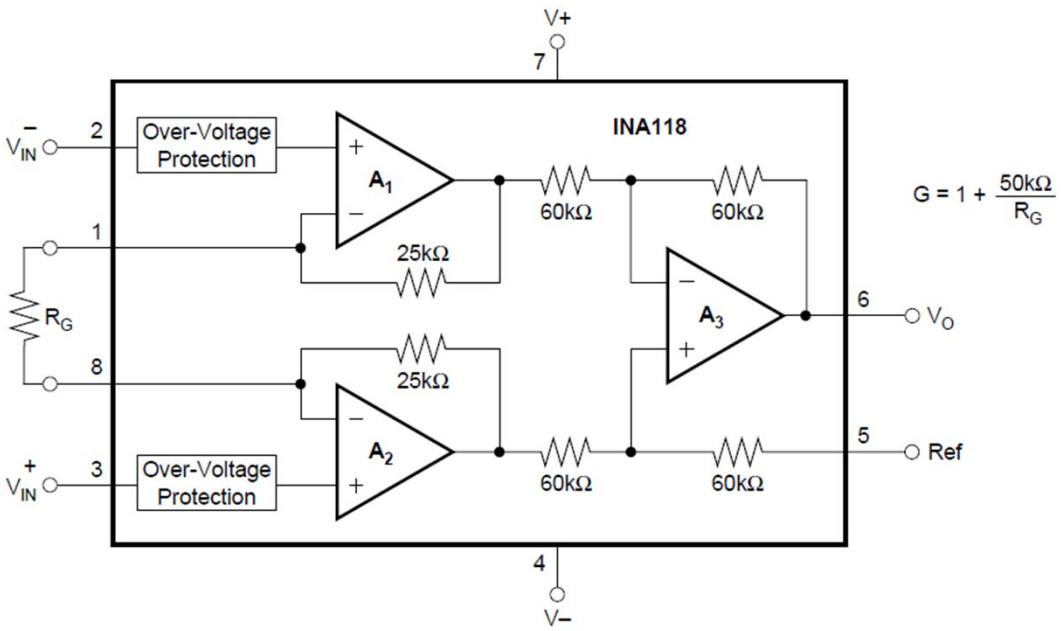
نمونه: جریان ورودی بسیار کم



- INA116
- بافر ورودی مخصوص و گارد-رینگ داخلی
- مناسب برای تجهیزات آزمایشگاهی
- قیمت بالا

	جریان مصرفی	عرض باند G=10	CMRR G=10	V_{OS}	I_B	نویز
INA116	1mA	500 kHz	110dB	2mV	±3fA	28nV/sqrHz @ 1kHz

نمونه: قابلیت کار در ولتاژ پایین



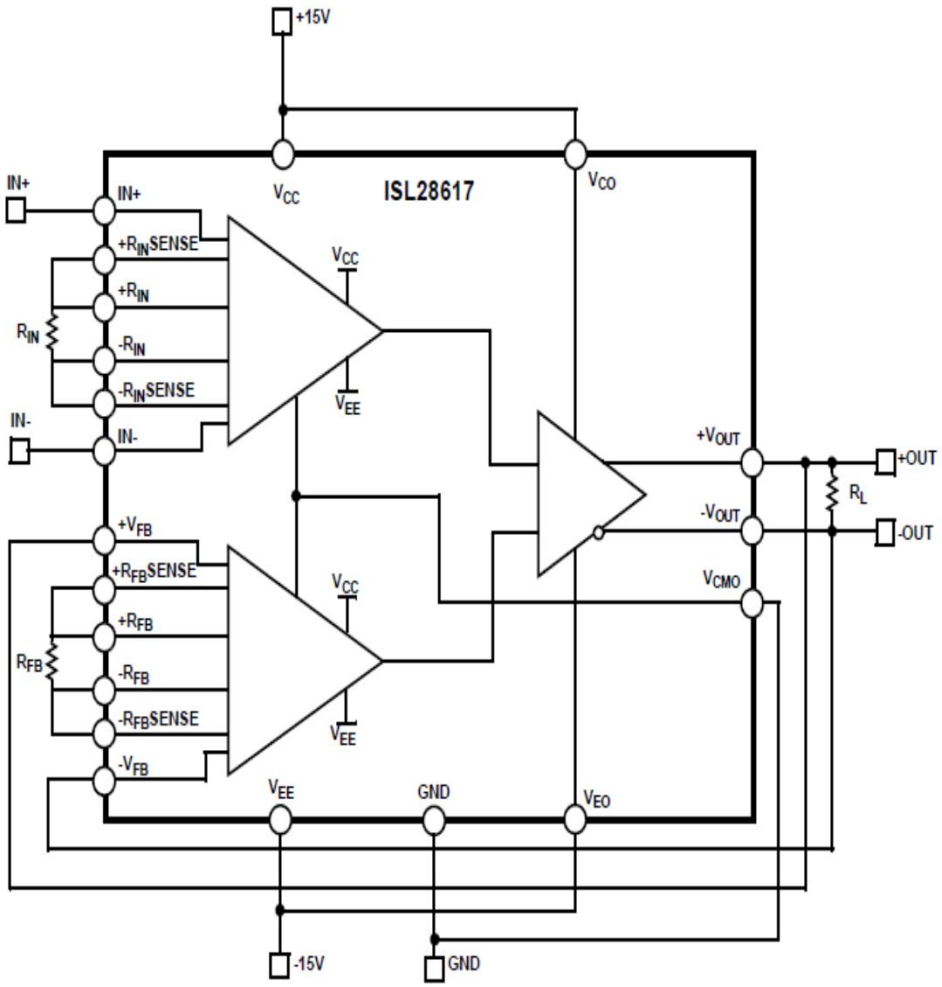
- INA118
- ولتاژ تغذیه از ±1.35V تا ±18V
- قیمت متوسط
- مناسب برای تغذیه باتری (3.3V)

	جریان مصرفی	عرض باند G=10	CMRR G=10	V_{OS}	I_B	نویز
INA118	0.35mA	500 kHz	92dB	50uV	5nA	10nV/sqrHz @ 1kHz

نمونه: ورودی Rail-to-Rail

- AD8230
- دامنه مد مشترک ورودی از Vs– تا Vs+
- دامنه ولتاژ خروجی: Vs+0.1- تا Vs-0.2+
- قابلیت Auto-Zero
- عرض باند کم

	جریان مصرفی	عرض باند G=10	CMRR G=10	V_{OS}	I_B	نویز
AD8230	2.7 mA	3kHz	110dB	10uV	0.15nA	240nV/sqrHz @ 1kHz

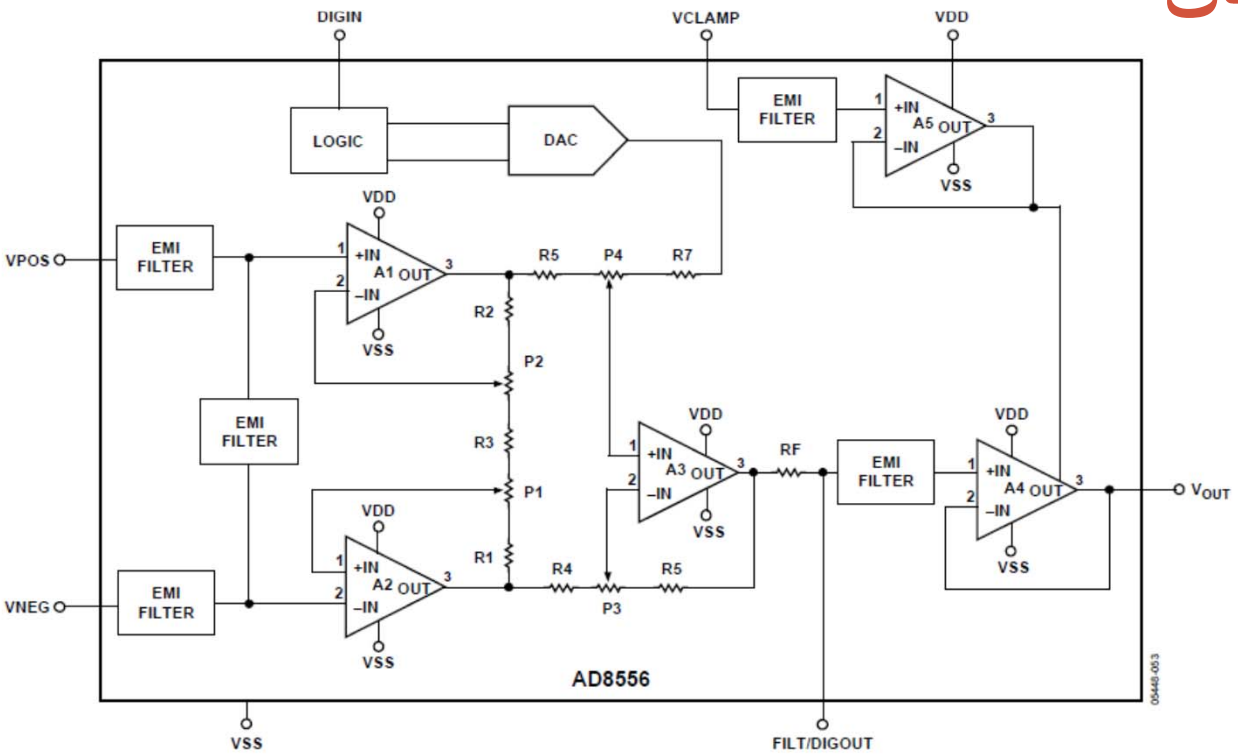


نمونه: تمام تفاضلی

- ISL28617
- خروجی تمام تفاضلی با فیدبک مد مشترک
- حداکثرولتاژتغذیه ±20V
- مناسب برای درایو ADC
- حذف آفست ورودی

	جریان مصرفی	عرض باند G=10	CMRR G=10	V_{OS}	I_B	نویز
ISL28617	2.9mA	2.3MHz	114dB	5uV	15nA	13nV/sqrHz @ 1kHz

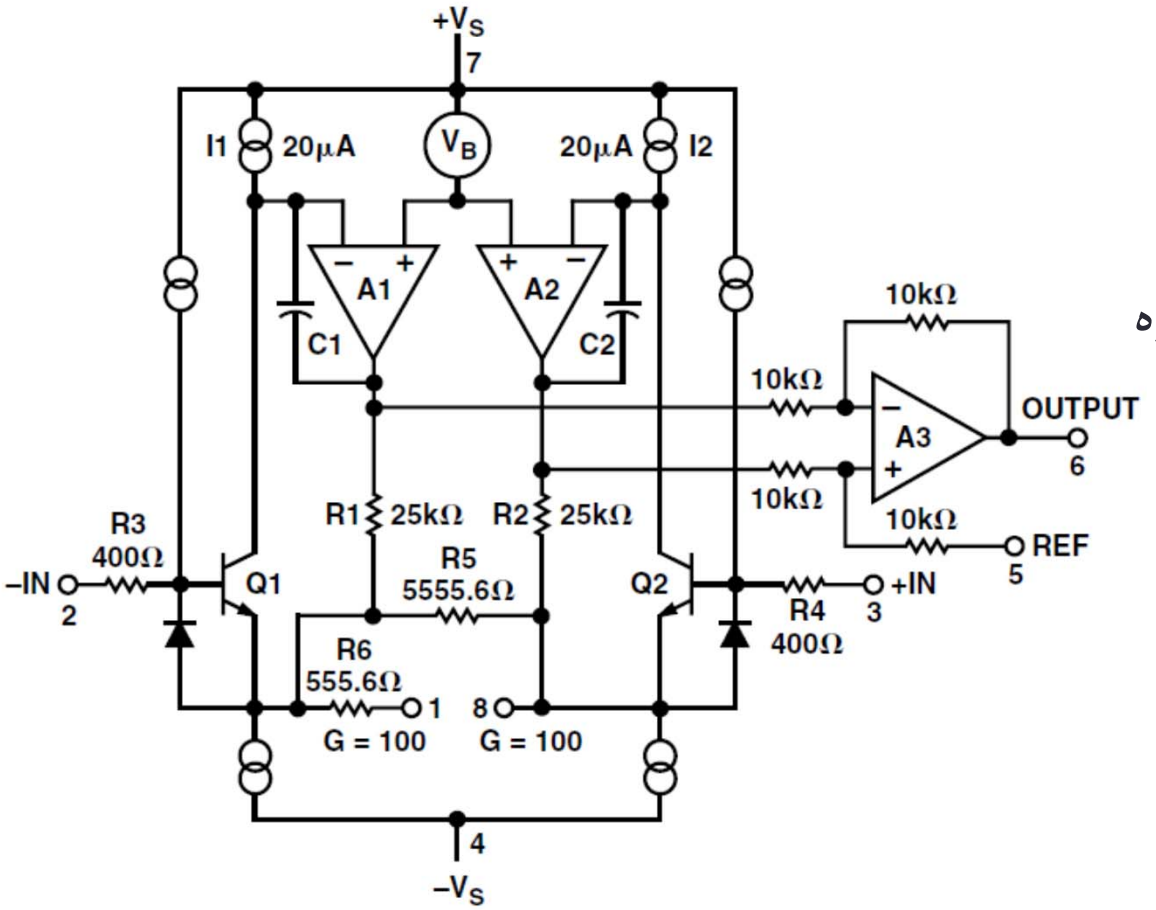
نمونه: بهره دیجیتال



- AD8556
- تنظیم بهره دیجیتال
  - بهره از 70 تا 1280
- تنظیم دیجیتال REF
- Auto-Zero
- فیلتر RFI/EMI درونی

	جریان مصرفی	عرض باند G=70	CMRR G=70	V_{OS}	I_B	نویز
AD8556	2 mA	1.5 MHz	92dB	2uV	49nA	32nV/sqrHz @ 1kHz

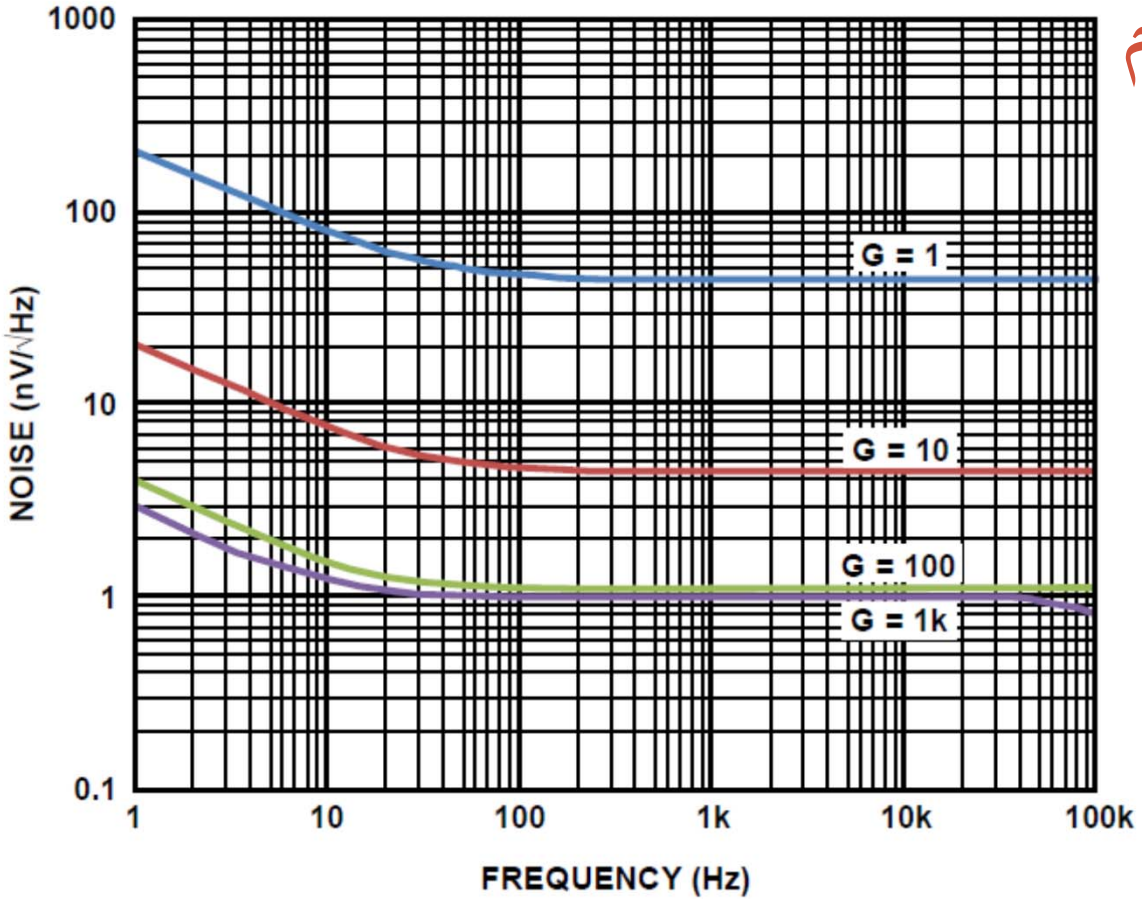
نمونه: بهره دقیق



- نیاز به بهره دقیق:
- استفاده از تقویت کننده با بهره ثابت
- مقاومت R_G درونی
  - تریم لیزری
  - ضرایب حرارتی یکسان
  - حداقل اثر ترمو الکتریک
- مثال: AD621
  - بهره 10 یا 100

	جریان مصرفی	عرض باند G=10	CMRR G=10	V_{OS}	I_B	نویز
AD621	0.9mA	800kHz	110dB	75uV	0.5nA	13nV/sqrHz @ 1kHz

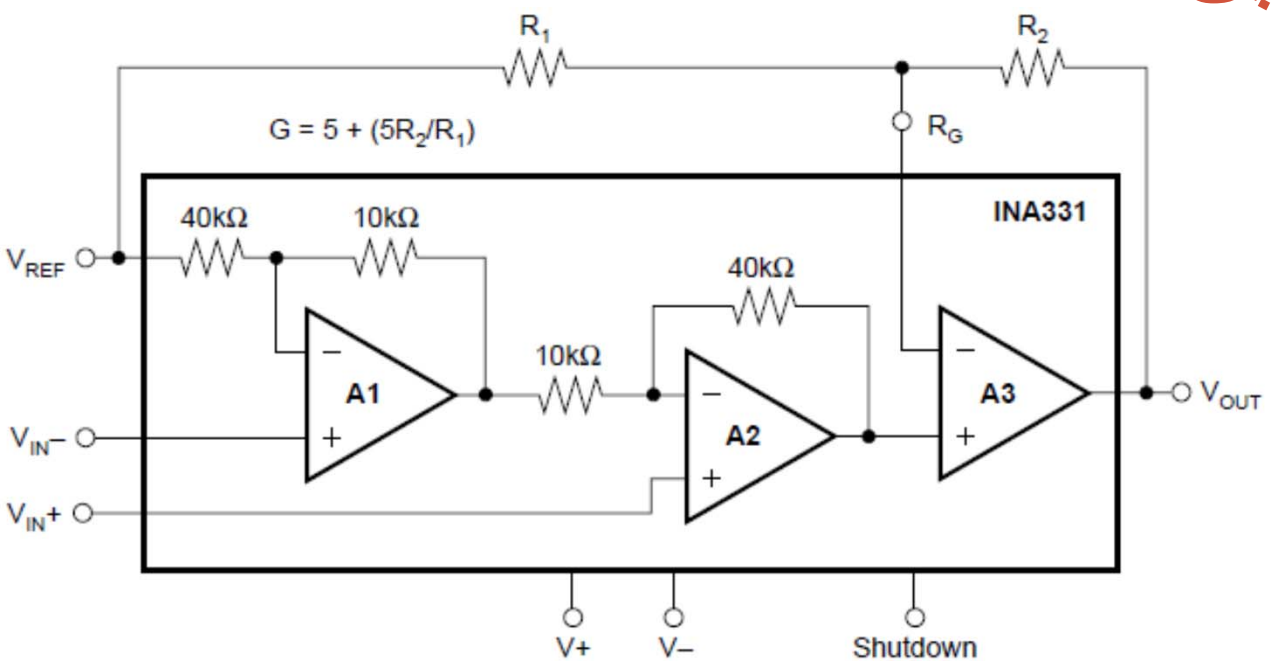
نمونه: نویز ولتاژ کم



- AD8429
- جزء کم نویز ترین تقویت کننده های موجود
- عرض باند وسیع

	جریان مصرفی	عرض باند G=10	CMRR G=10	V_{OS}	I_B	نویز
AD8429	6.7 mA	4 MHz	100dB	150uV	300nA	1nV/sqrHz @ 1kHz

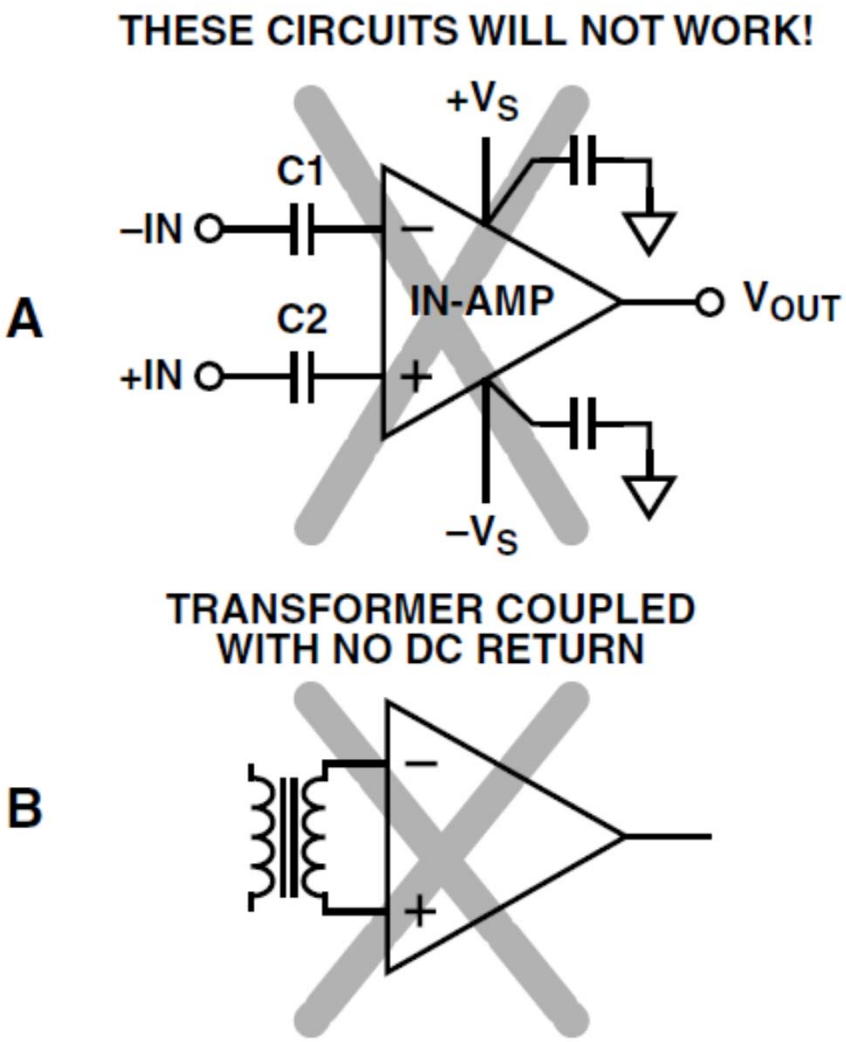
نمونه: دو آپ-امپی



- INA331
- تکنولوژی CMOS
- عرض باند زیاد
- جریان بایاس کم
- توان مصرفی کم
- مود کاری خاموش
  - جریان 0.01uA

	جریان مصرفی	عرض باند G=25	CMRR G=25	V_{OS}	I_B	نویز
INA331	0.4 mA	2 MHz	94dB	250uV	0.5pA	46nV/sqrHz @ 1kHz

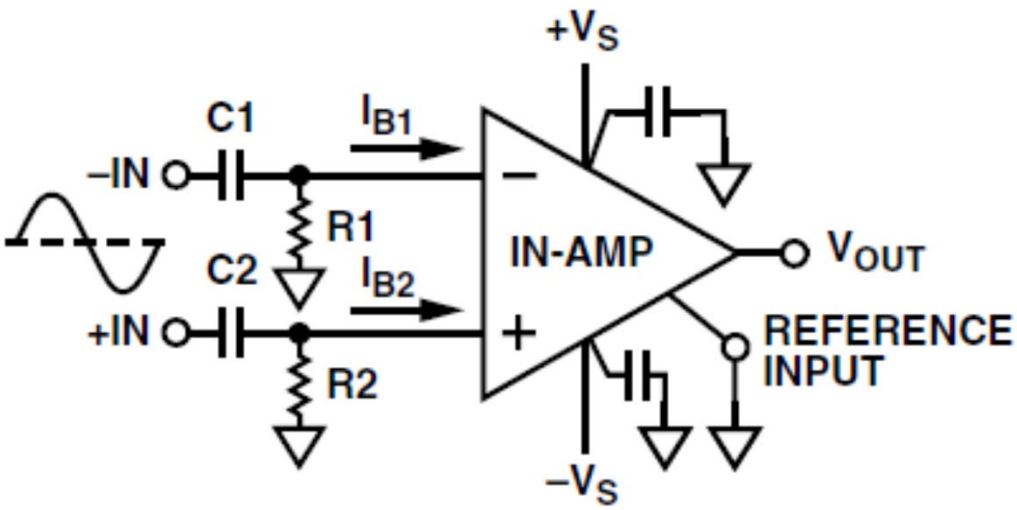
نکاتی در استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق



- کوپلاژ AC:
- مورد استفاده بخصوص در مورد بیوسیگنال ها
- عدم امکان استفاده از کوپلاژ مستقیم خازن یا ترانس
- نیاز به وجود مسیر بایاس DC ورودی

نکاتی در استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق

- کوپلاژ AC:



- استفاده از مقاومت ورودی
- (مقاومت بزرگ)

- عدم تطابق R1 وR2:

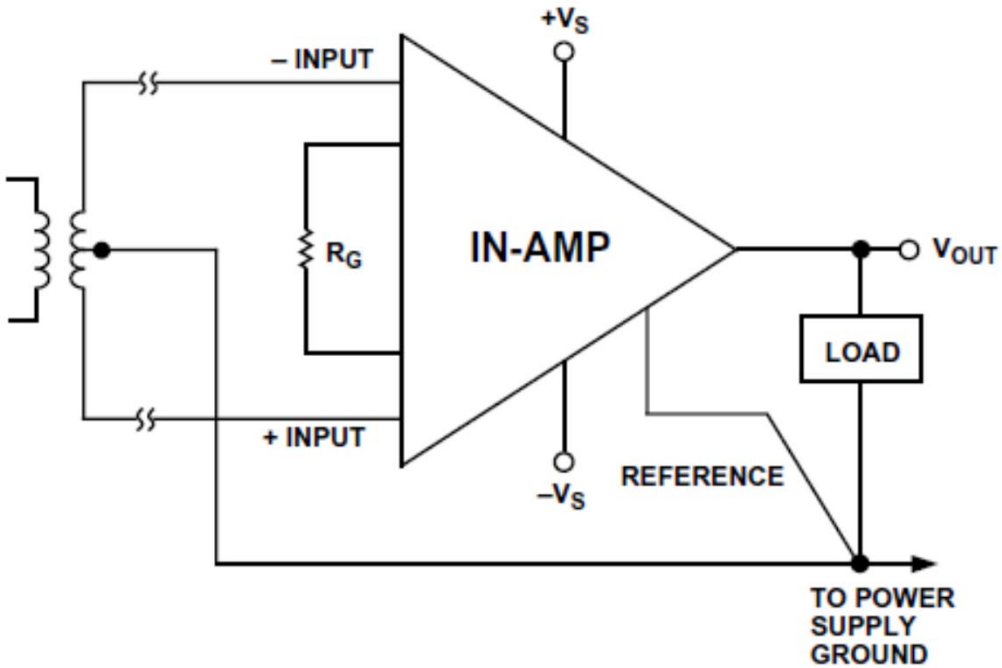
$$V_{OS} = (I_{B1} \times R_1) - (I_{B1} \times R_2)$$

- کاهش CMRR کل مدار به دلیل کاهش ایزولاسیون ورودی
- ولتاژ آفست به دلیل عدم تطابق مقاومتها و جریان های بایاس ورودی

- استفاده از مقاومت سوم بین ورودی های مثبت و منفی جهت کاهش آفست

- نیاز به روشهای پیشرفته کوپلاژ خازنی در کاربردهای بسیار دقیق

نکاتی در استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق

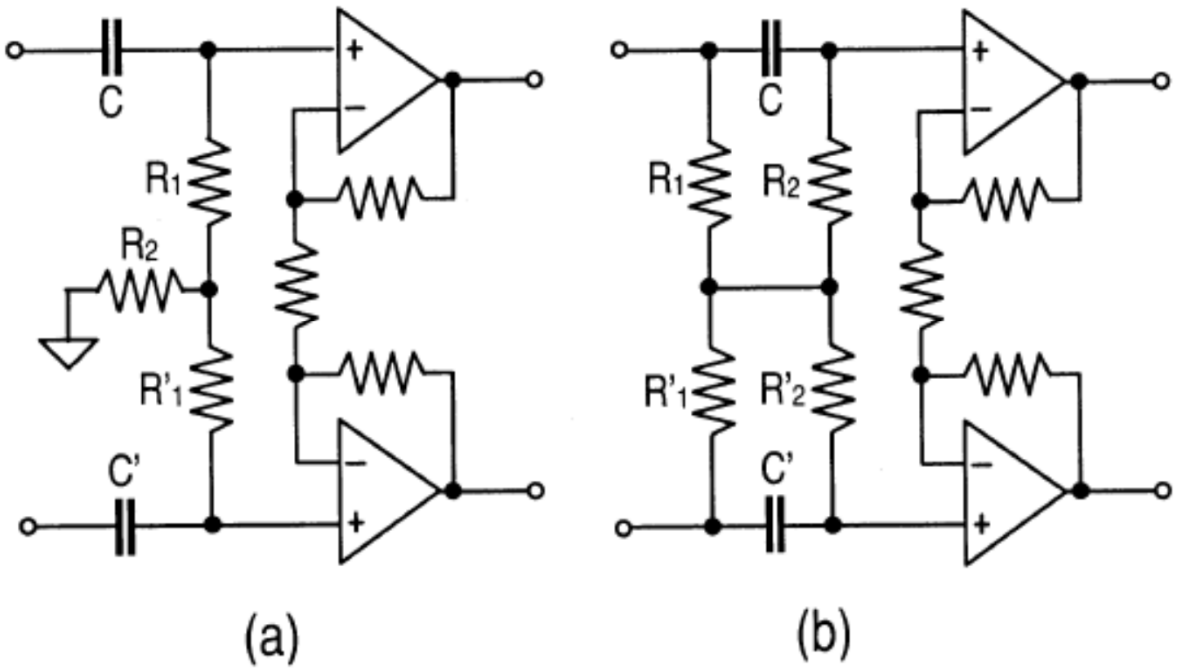


- کوپلاژ AC:
- روش استفاده از ترانس
- ایجاد ایزولاسیون کامل ورودی
- ایمنی نسبت به ولتاژ تغذیه

- اسفتاده از ترانس با سر وسط و اتصال آن به زمین یا ولتاژ مد مشترک خروجی
- اتصال پایه های مثبت و منفی با دو مقاومت بزرگ به زمین در صورت عدم وجود ترانس با سر مشترک

نکاتی در استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق

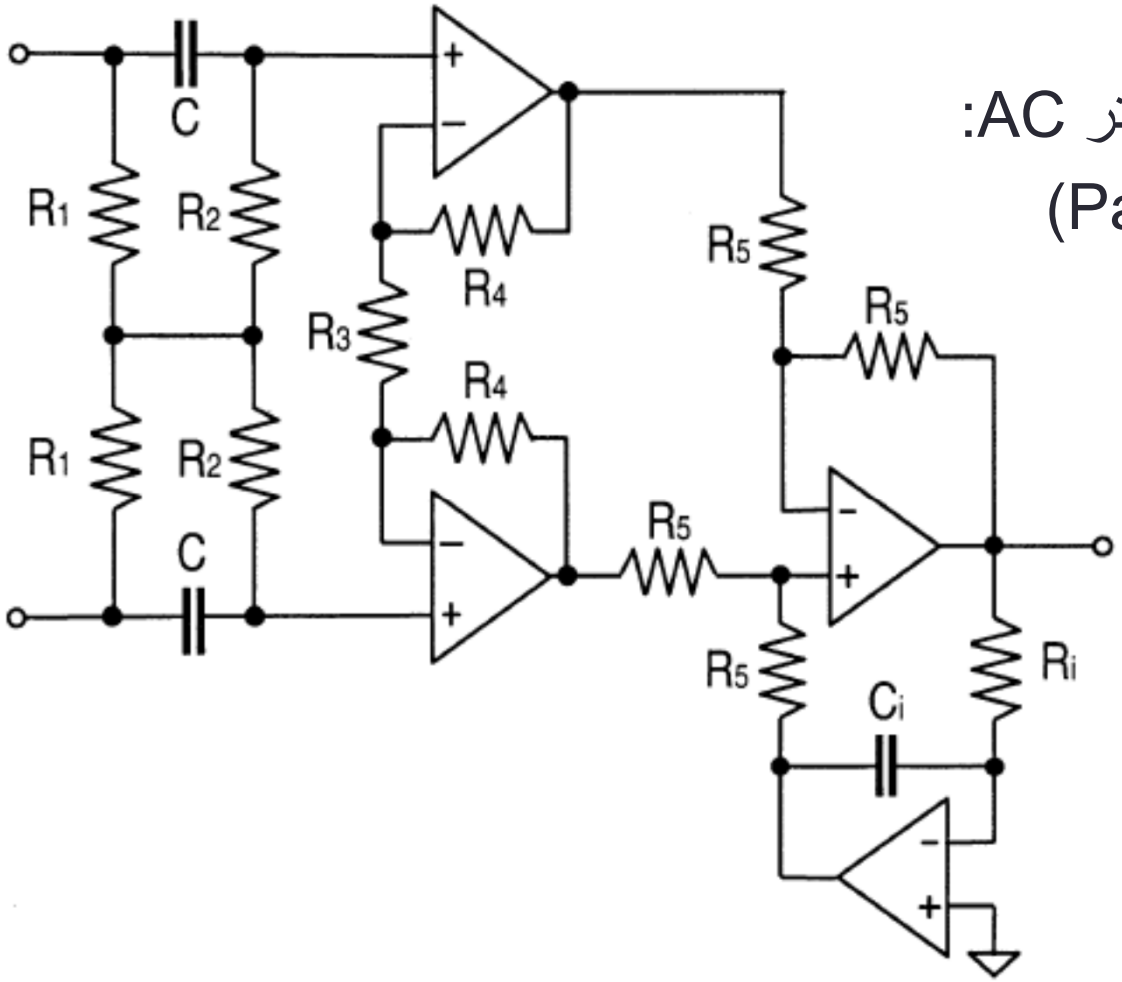
- کوپلاژپیشرفته تر AC:
- (Pallas, 2003)



- مدارb: مدار بالانس: کوپلاژ AC برای سیگنال تفاضلی
- بایاس از طریق مسیر مد مشترک
- امپدانس بی نهایت تا زمین: CMRR بی نهایت در مدار کوپلاژ

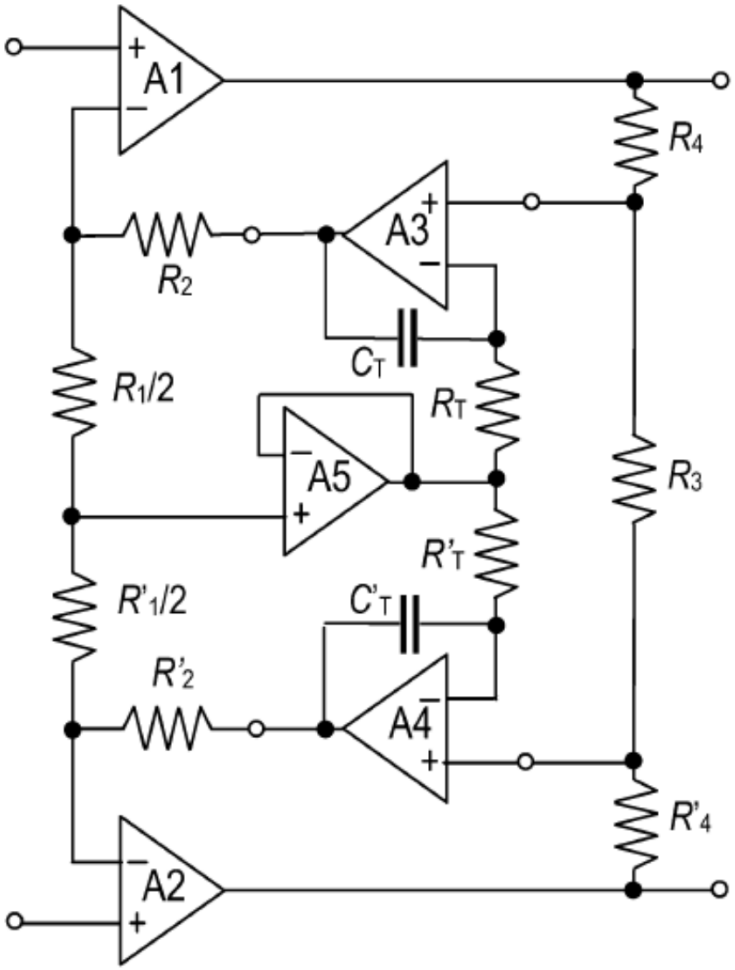
نکاتی در استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق

- کوپلاژپیشرفته تر AC:
- (Pallas, 2003)

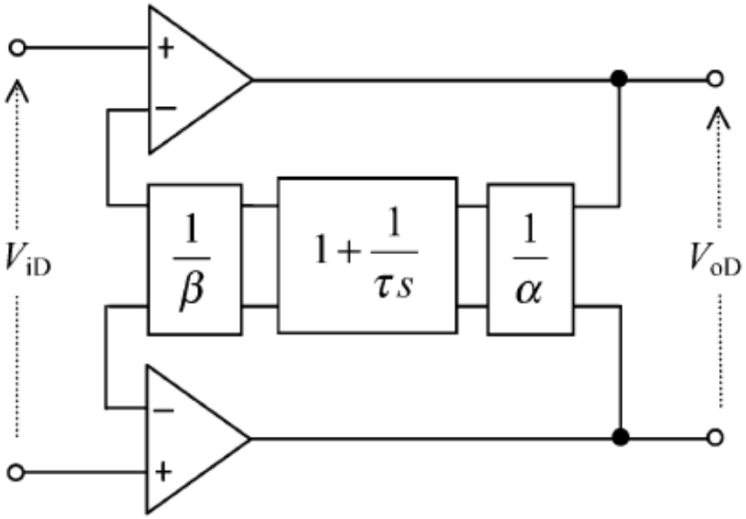


- حذف DC خروجی طبقه اول از طریق فیدبک انتگرالگیر در طبقه دوم

نکاتی در استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق

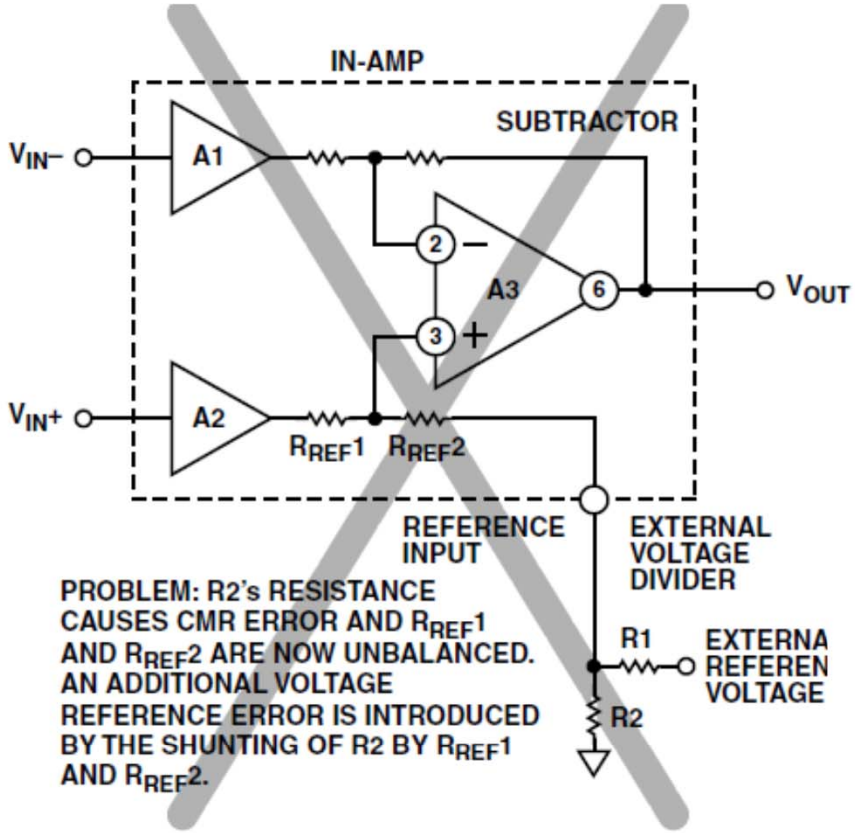


- کوپلاژپیشرفته تر AC:
- (Pallas, 2004)

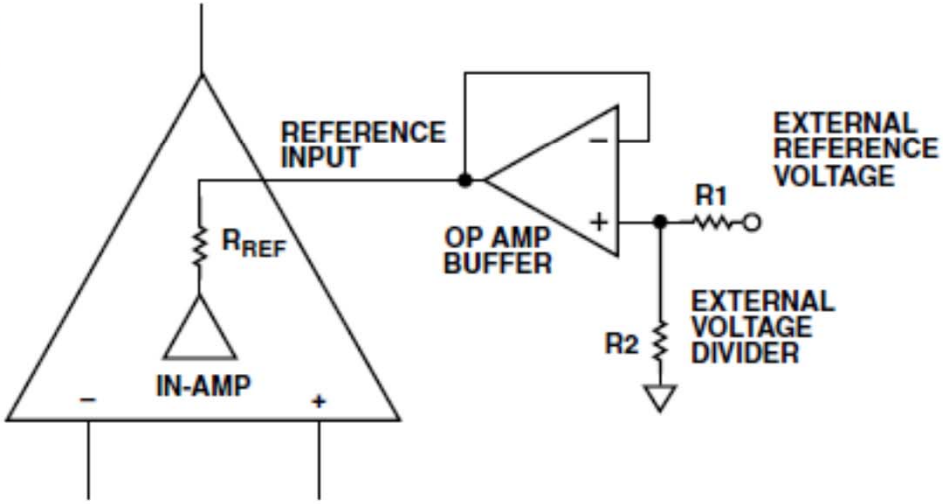


- حذف DC خروجی طبقه اول از طریق فیدبک انتگرالگیر در طبقه اول

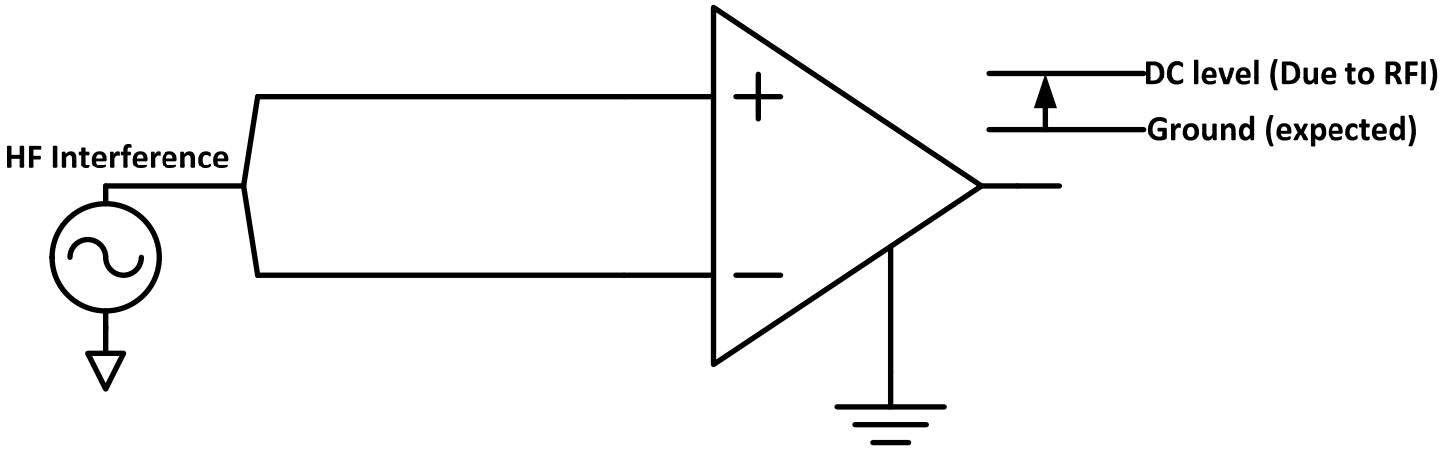
نکاتی در استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق



- تولید ولتاژ مرجع ($V_{CC}/2$) در تقویت کننده single-supply
- استفاده از بافر ولتاژ جهت تولید ولتاژ مد مشترک خروجی (Vcc/2) با مقاومت خروجی کم

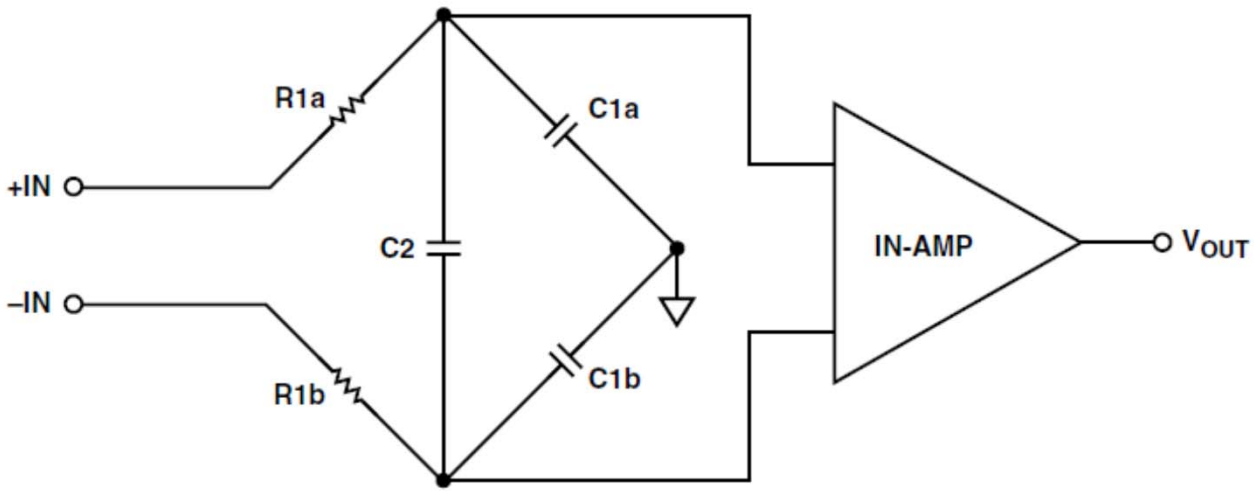


نکاتی در استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق



- تداخل «رادیویی» فرکانس بالا: Radio Frequency Interference (RFI)
- القای سیگنال بر سیمهای انتقال سیگنال از سنسور تا IA
- عدم توانایی حذف مولفه های فرکانس بالای مود مشترک بوسیله IA
- امکان یکسو سازی RFI به DC بوسیله IA و ایجاد خطای آفست
  - خطای بیشتر در تقویت کننده های BJT به نسبت JFET و CMOS
  - خطای بیشتر در تقویت کننده های کم توان
- استفاده از فیلتر RFI در ورودی

نکاتی در استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق

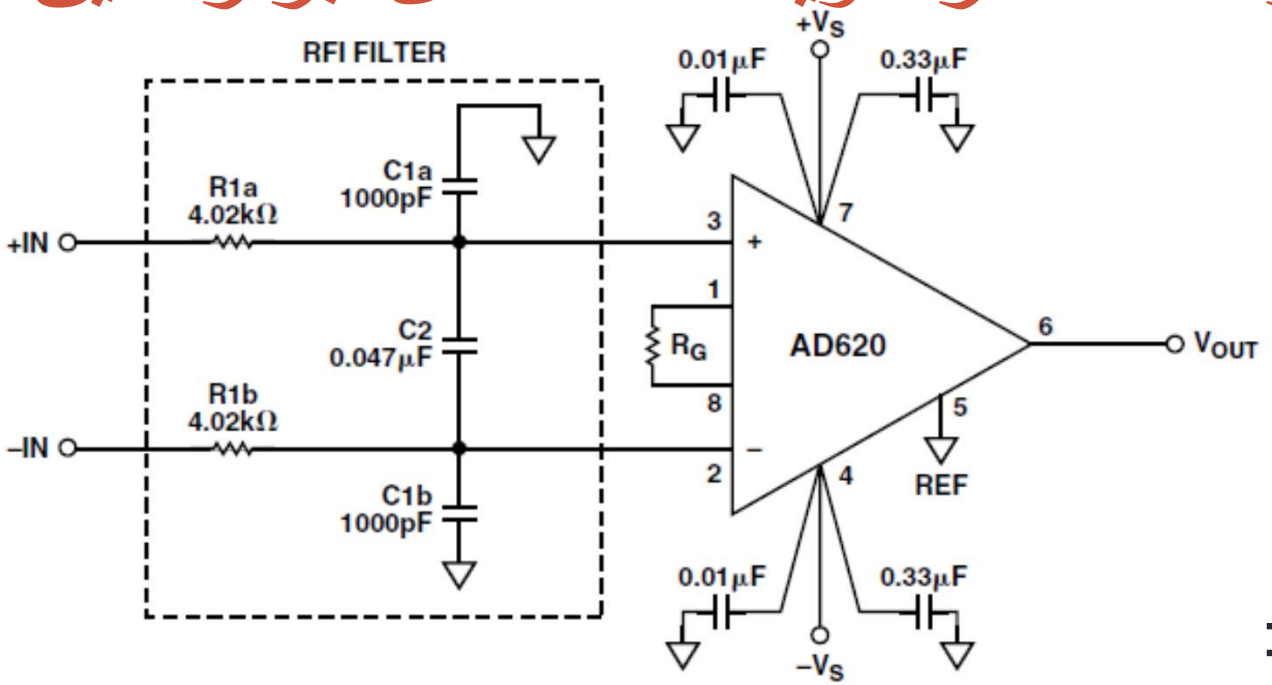


$$BW_{DIFF} = \frac{1}{2\pi R(2C2 + C1)}$$

$$BW_{CM} = \frac{1}{2\pi R1C1}$$

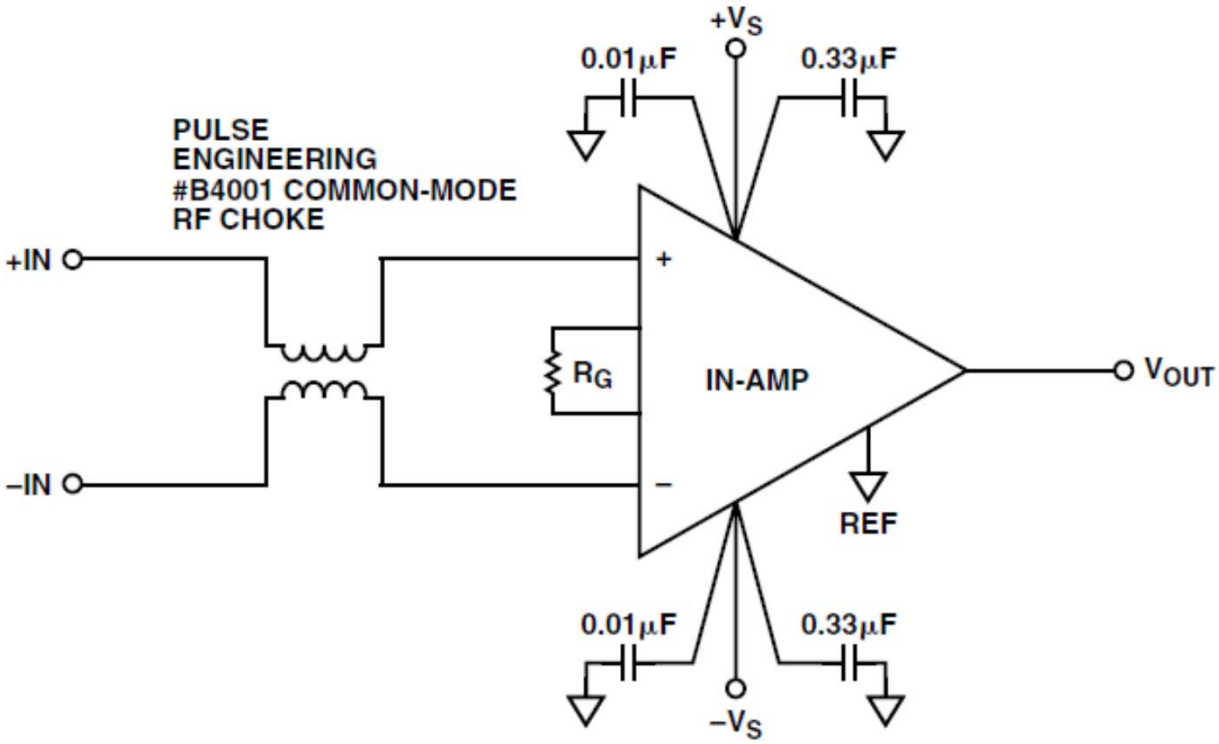
- استفاده از فیلتر RFI
- کاهش نویز مد مشترک فرکانس بالا
- عدم تاثیر بر سیگنال تفاضلی
- حداقل تاثیر بر نویز و آفست وامپدانس ورودی

نکاتی در استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق



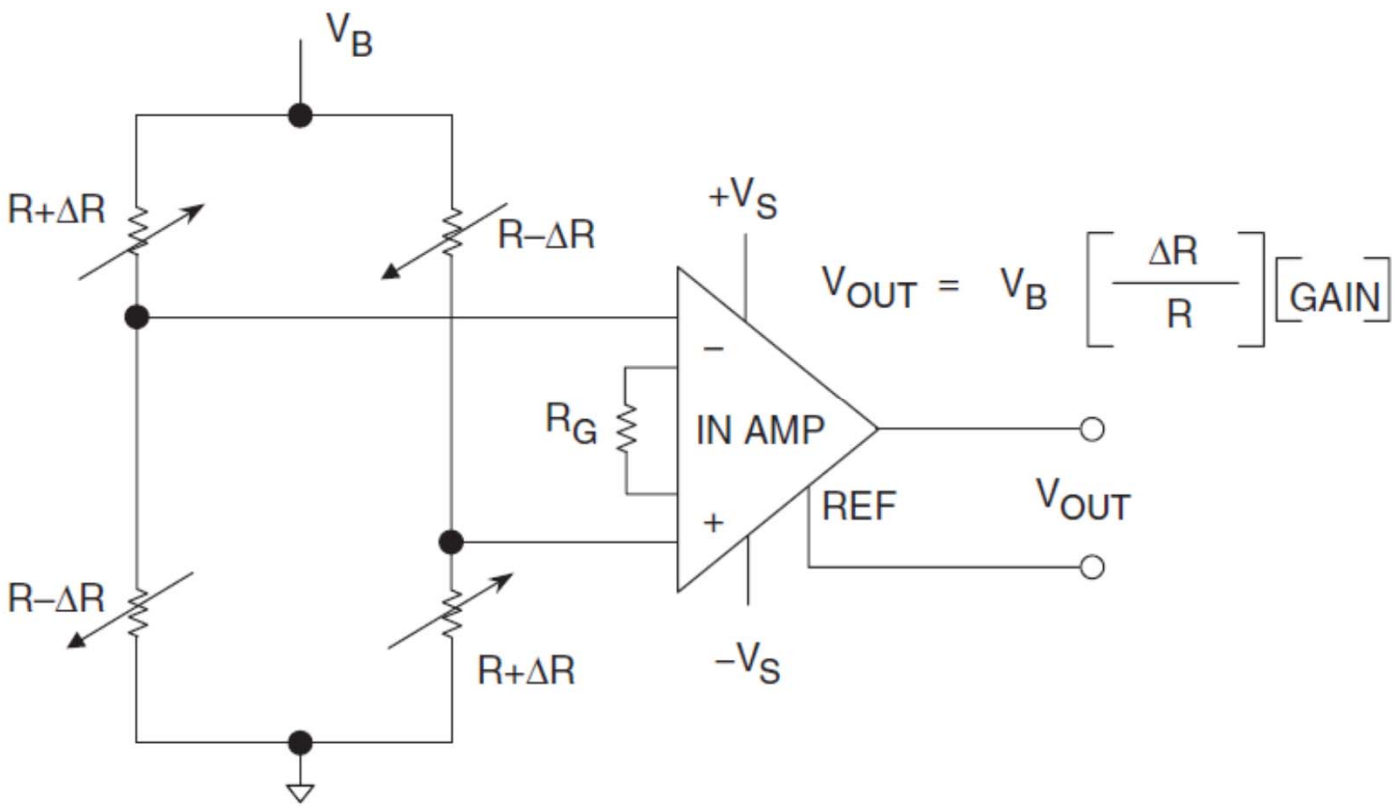
- روند طراحی:
- 1-انتخاب مقاومت (بین 2k تا 10k): استفاده از حداقل مقاومت به شرط توانایی درایو طبقه قبل، بررسی نویز ناشی از مقاومت
- 2-انتخاب C2 برای تعیین عرض باند تفاضلی (معمولا 10 برابر حداکثر فرکانس تفاضلی)
- 3-انتخاب C1 برای تعیین عرض باند مد مشترک: عرض باند کمتر از 10% فرکانس بهره واحد تقویت کننده

نکاتی در استفاده از تقویت کننده های ابزار دقیق



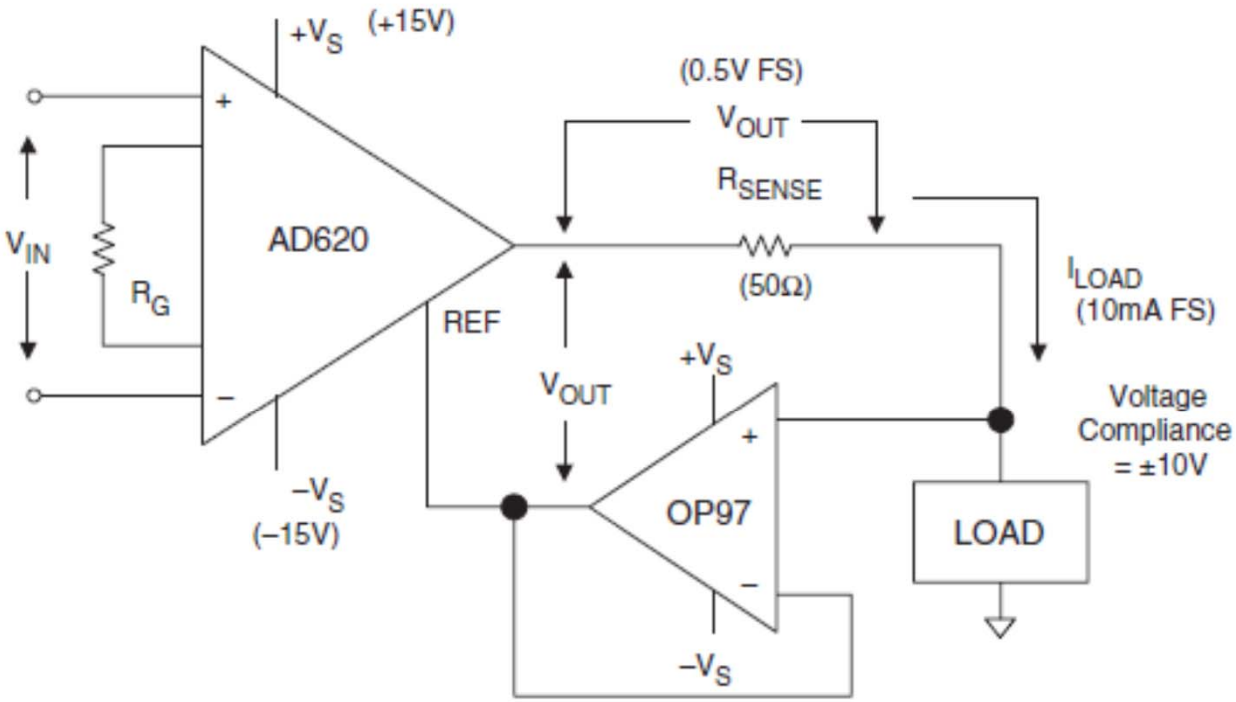
- استفاده از چوک مود مشترک
- تضعیف سیگنال مود مشترک با چوک
- نویز کمتر، تضعیف کمتر RFI نسبت به فیلتر
- نیاز به تطبیق دقیق سیم پیچ ها

برخی مدار های کاربردی



- تقویت کننده پل (Bridge Amplifier)

برخی مدار های کاربردی

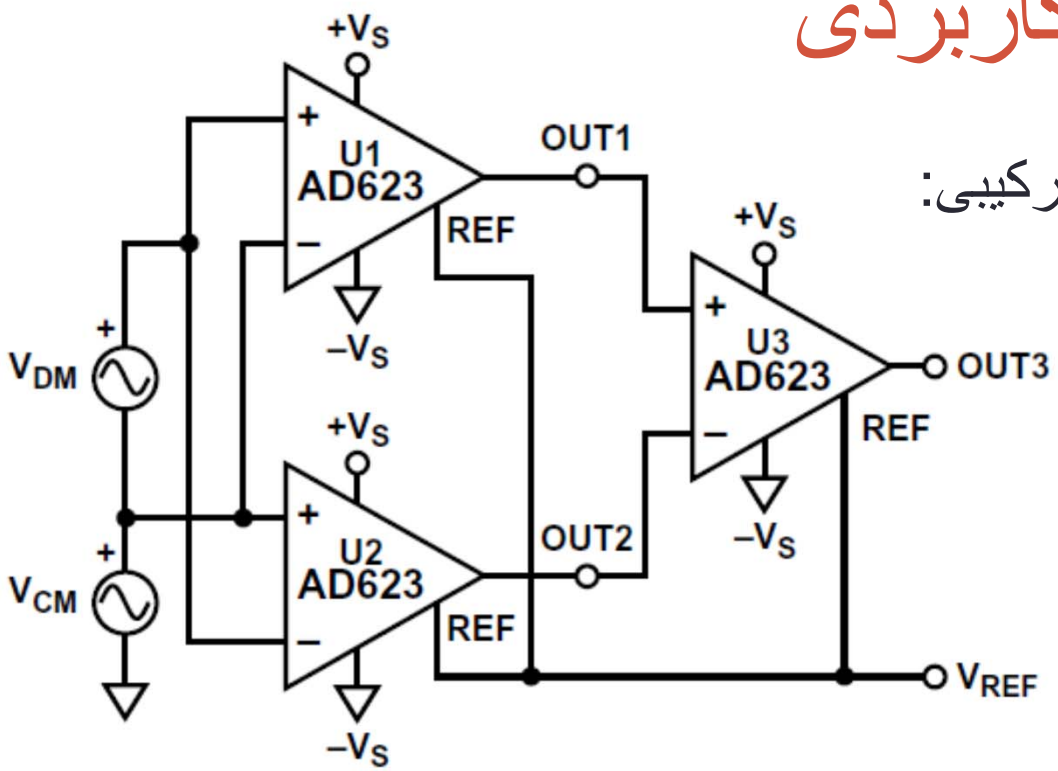


$$I_{LOAD} = \frac{V_{OUT}}{R_{SENSE}} = \frac{G\,V_{IN}}{R_{SENSE}}$$

- منبع جریان دقیق: عدم نیاز به تطابق بالای مقاومتها

برخی مدار های کاربردی

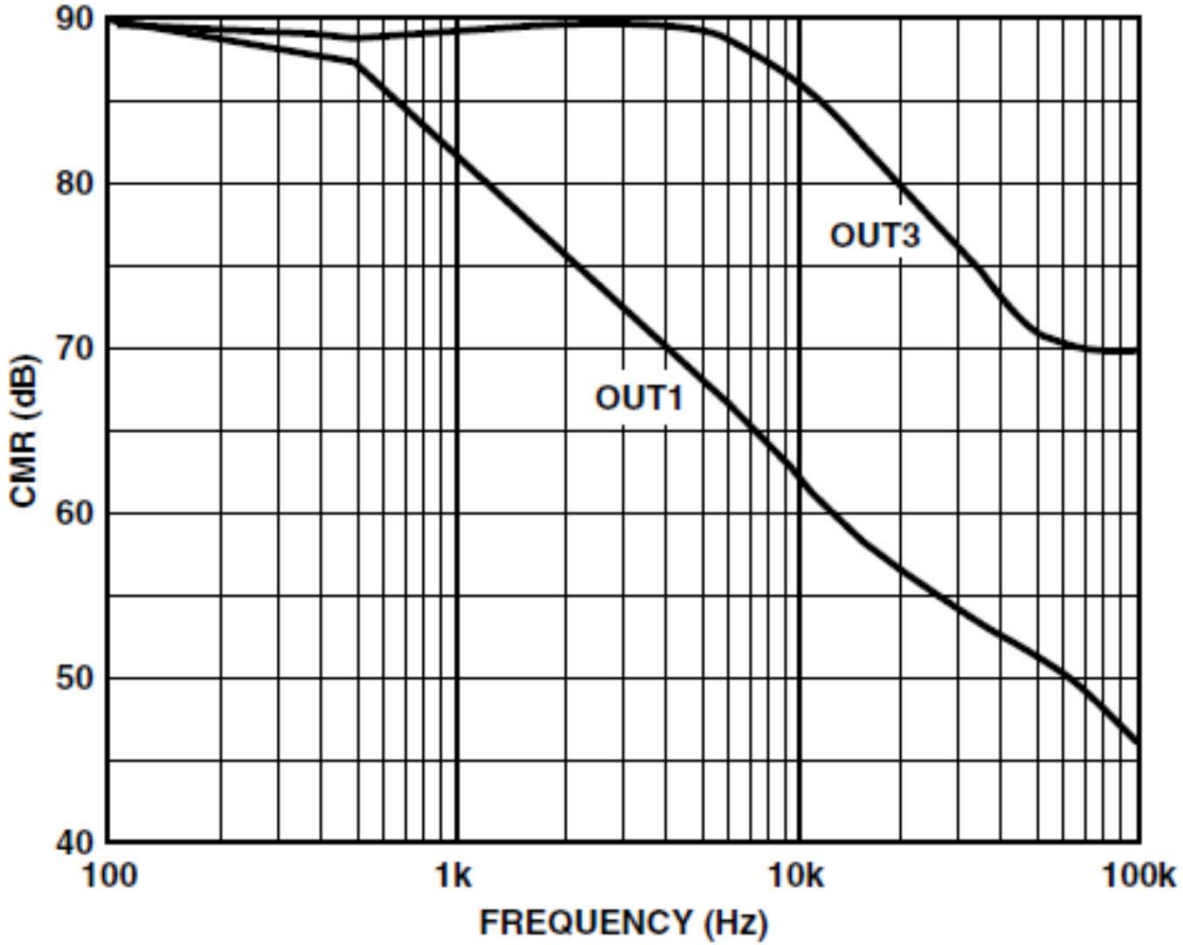
- تقویت کننده ابزار دقیق ترکیبی:



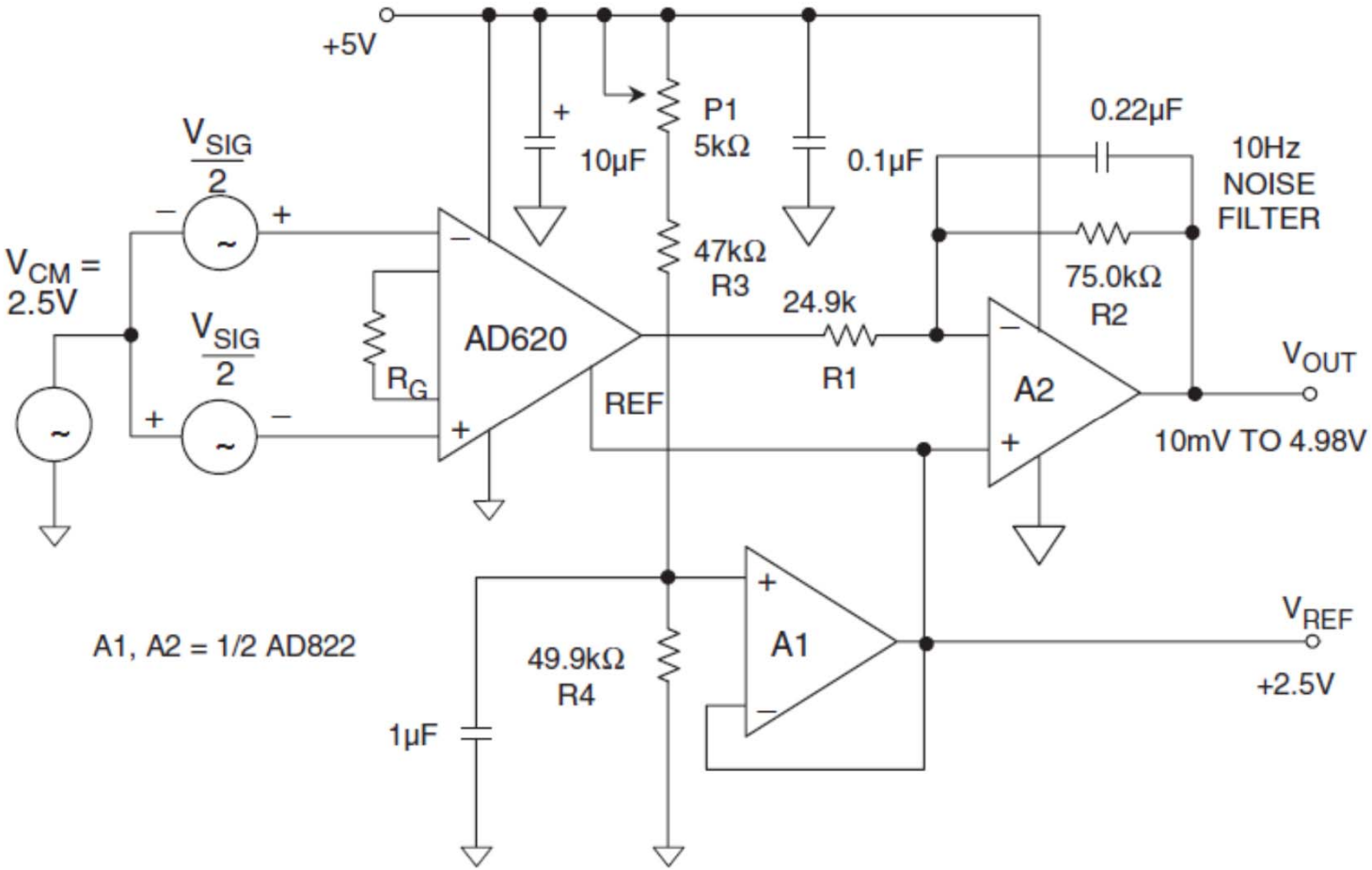
- ترکیب تقویت کننده های ابزار دقیق برای ساخت تقویت کننده ابزار دقیق ترکیبی
- افزایش CMRR در فرکانس بالا
- U1 و U2 باید در یک پکیج باشند تا خطای CMRR یکسان داشته باشند

برخی مدار های کاربردی

- تقویت کننده ابزار دقیق ترکیبی: مقایسه CMRR ترکیبی



برخی مدار های کاربردی



- تقویت کننده ابزار دقیق single-supply با استفاده از AD620

برخی مدار های کاربردی

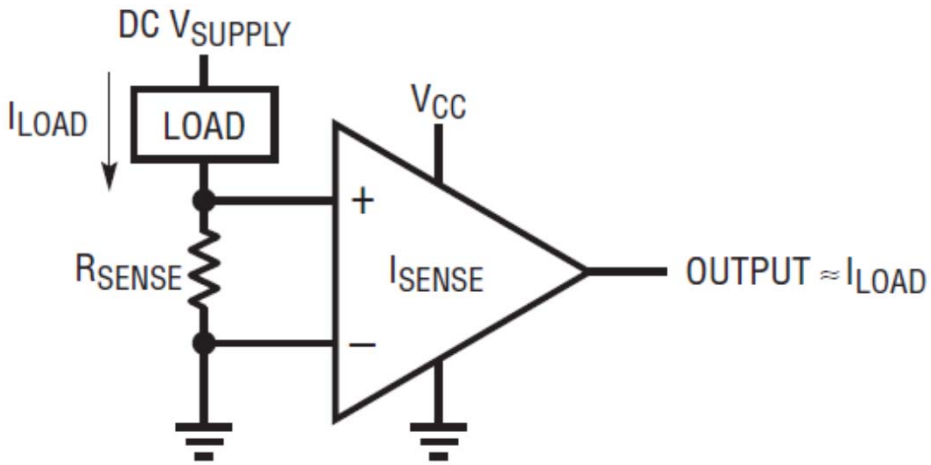


Figure 1. Low Side Current Sensing

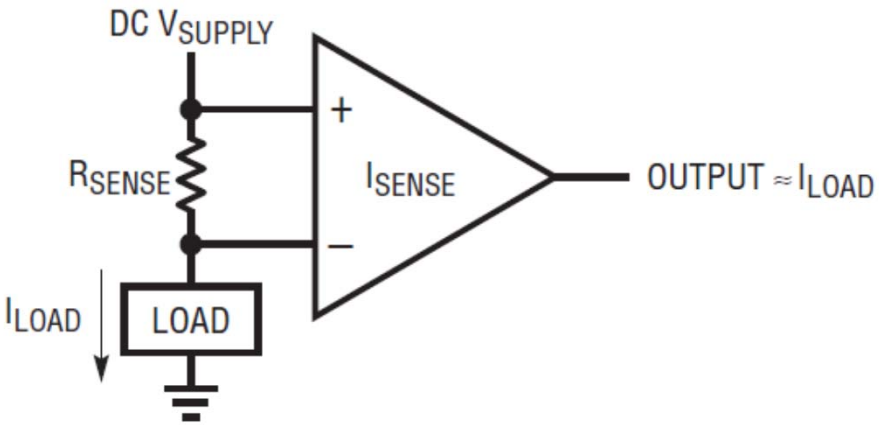
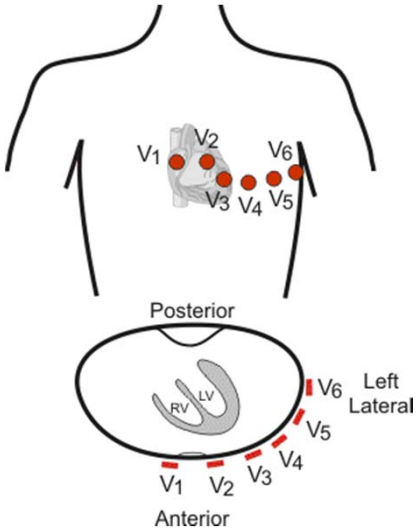
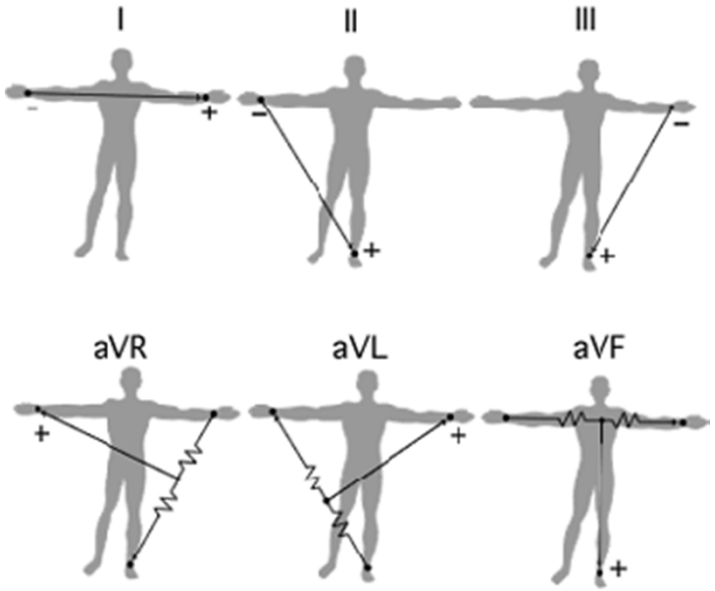


Figure 2. High Side Current Sensing

- اندازه گیری جریان
- Low side: اتصال مقاومت اندازه گیری به زمین
  - ؟
- High side: تصال مقاومت اندازه گیری به VCC
  - ؟

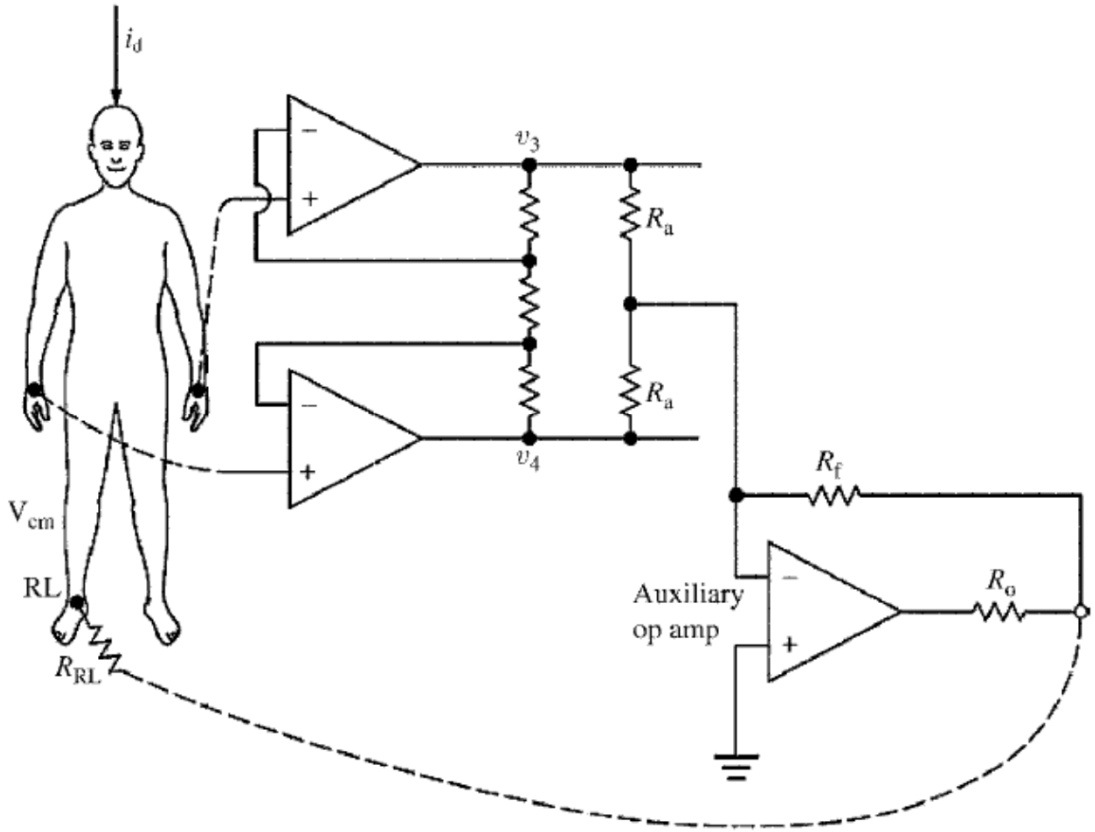
کاربرد تقویت کننده ابزار دقیق در ECG





- ورودی های تفاضلی از دستها و پای چپ: 6 ورودی
- ورودی های قفسه سینه نسبت به میانگین دستها و پای چپ
- ورودی های تفاضلی: استفاده از تقویت کننده ابزار دقیق
  - تداخل از برق شهر: CMRR بالا
  - ولتاژ DC الکترود ها
  - ولتاژ مد مشترک بدن

کاربرد تقویت کننده ابزار دقیق در ECG

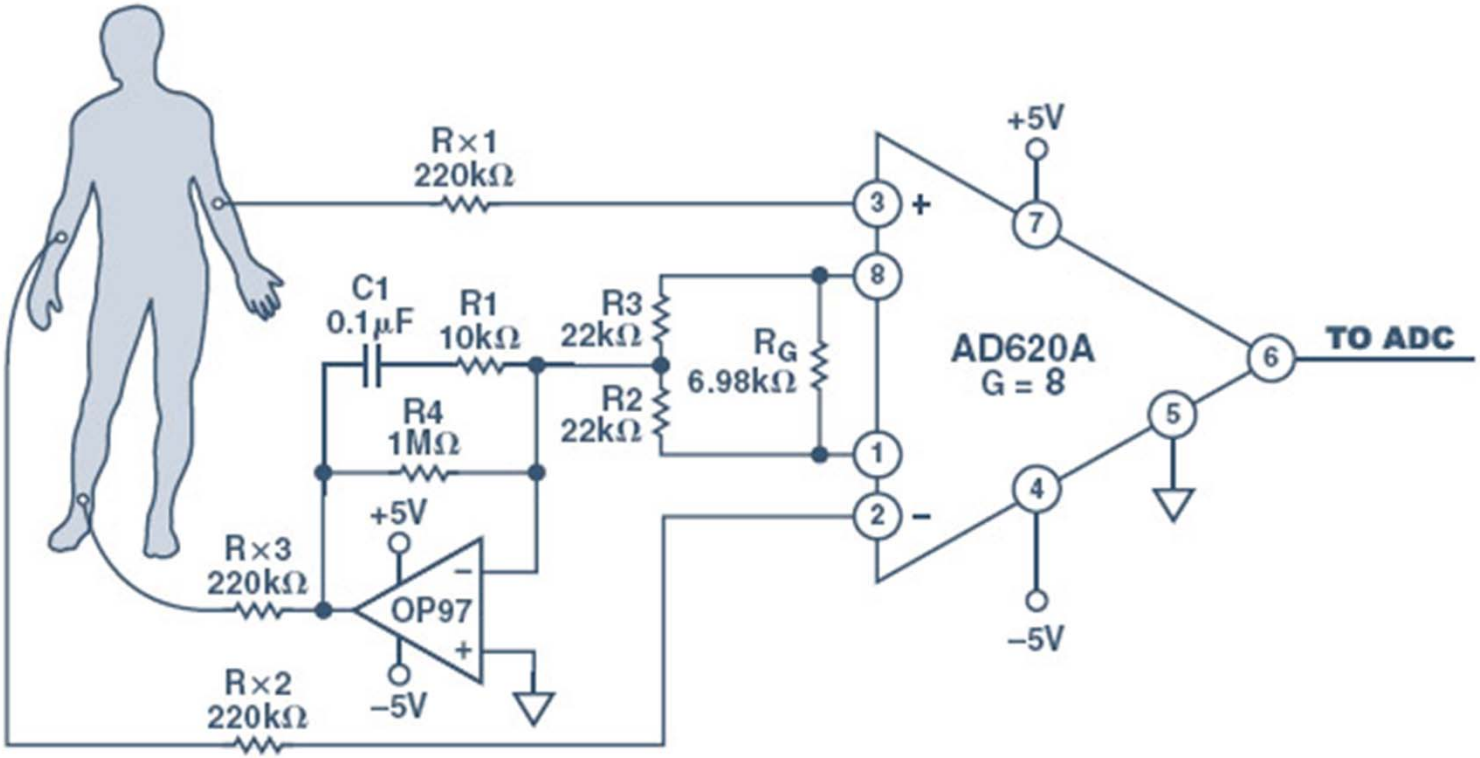


- تحریک پای راست
- Driven right leg
- عدم اتصال بدن به زمین یا ولتاژ ثابت برای تنظیم ولتاژ مد مشترک
- استخراج ولتاژ مد مشترک خروجی طبقه اول ، منفی و تقویت و اعمال به پای راست

- تنظیم دینامیک ولتاژ مد مشترک ورودی (بدن) نزدیک صفر
- کاهش اثر تداخل برق شهر از طریق جریان جابجایی (id)
- $R_F >> R_a$

$$v_{cm} = \frac{R_{RL} i_d}{1 + 2R_f/R_a}$$

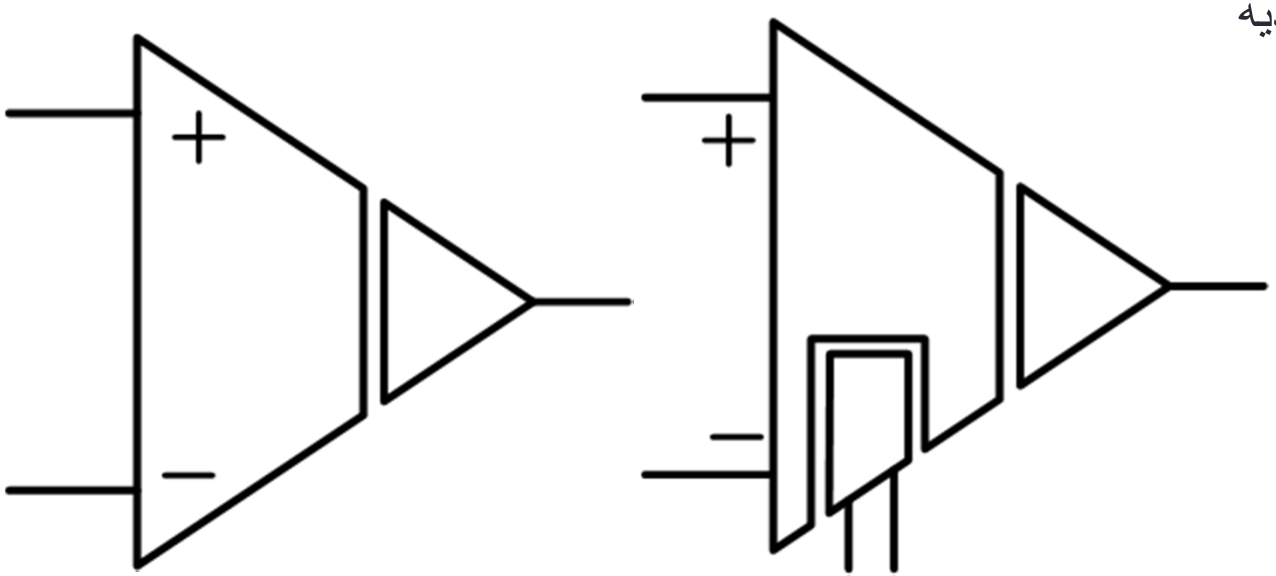
کاربرد تقویت کننده ابزار دقیق در ECG



- مدار کاربردی با AD620
- محدودیت بهره طبقه اول (IA): ولتاژ DC الکترود ها
- حذف ولتاژ DC: فیلتر بالا گذر در طبقه بعد

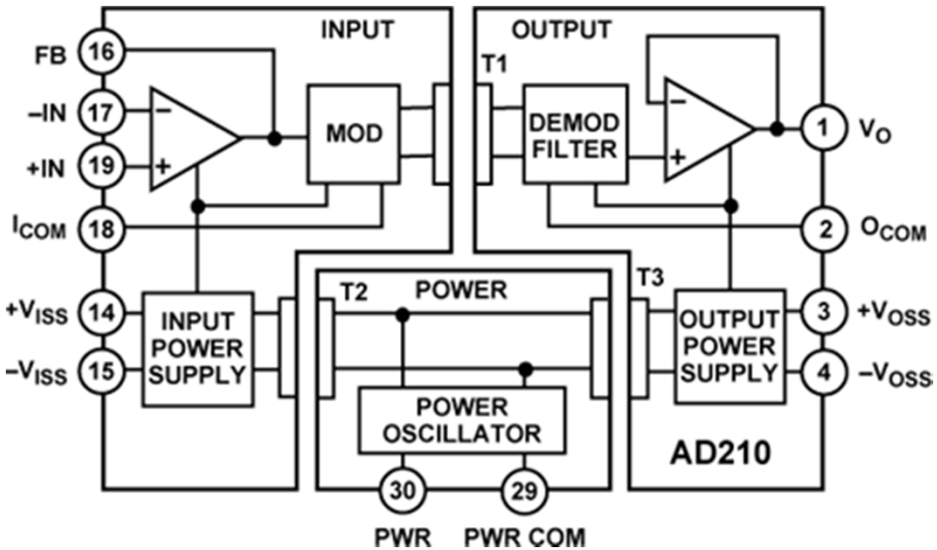
تقویت کننده های جدا کننده (Isolation Amplifiers)

- جداسازی کامل سنسور و باقی مدار نسبت به ولتاژ های بزرگ (چند کیلو ولت)
- کاربردها:
  - سنسور در پتانسیل بسیار بالاتری از مدار کار می کند
  - نیاز به حفاظت سنسور از احتمال اتصال ولتاژ بالا باشد (بدن انسان)
  - حذف حلقه های زمین
  - جداسازی از منبع تغذیه



- روشهای پیاده سازی
  - ترنسفورماتوری
  - نوری
  - خازنی
- قیمت بسیار بالا
- کارایی پایین

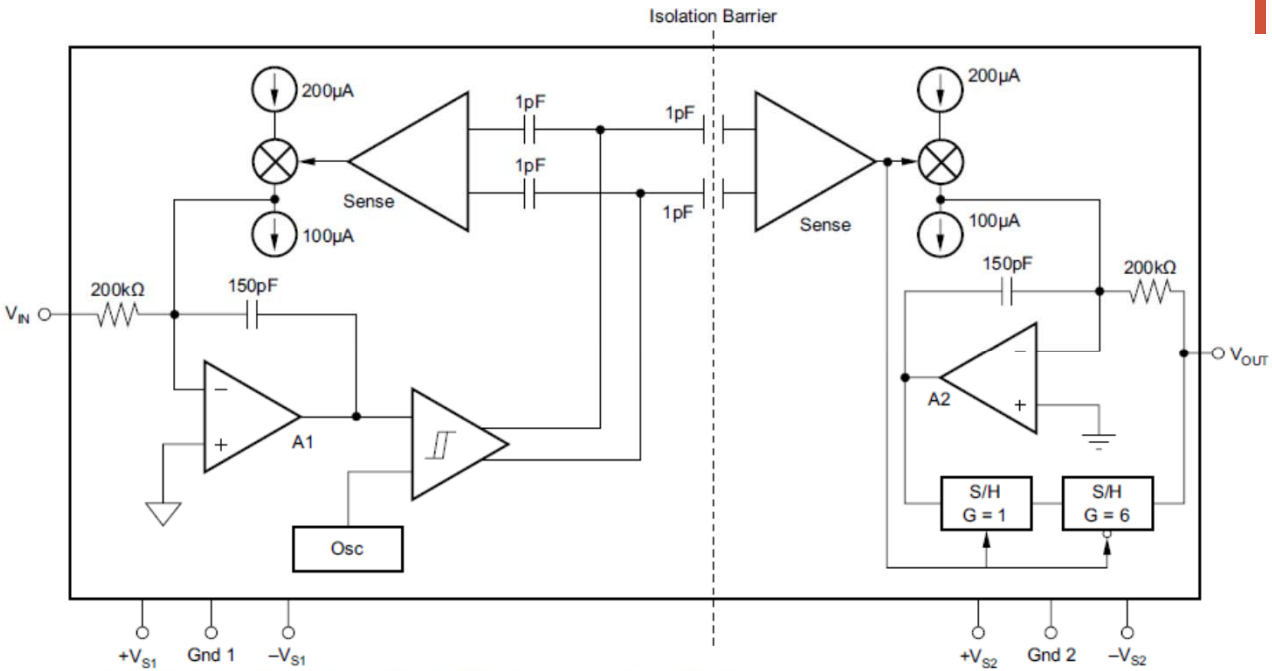
AD210

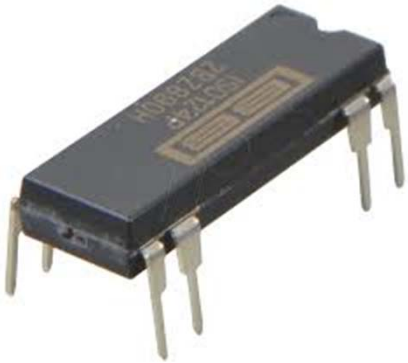


- Isolation Amp ترانسفورمری
- ایزولاسیون ورودی –خروجی و منبع تغذیه

High CMV Isolation: 2500 V rms
Continuous ±3500 V Peak Continuous
Sive: 1.00" x 2.10" x 0.350"
Low Nonlinearity: ±0.012% max
Bandwidth: 20kHz Full-Power
Gain Drift: ±25 ppm/°C max
CMRR: 120 dB (G = 100 V/V)
Isolated Power: ±15 V @ ±5 mA

ISO124 (TI)

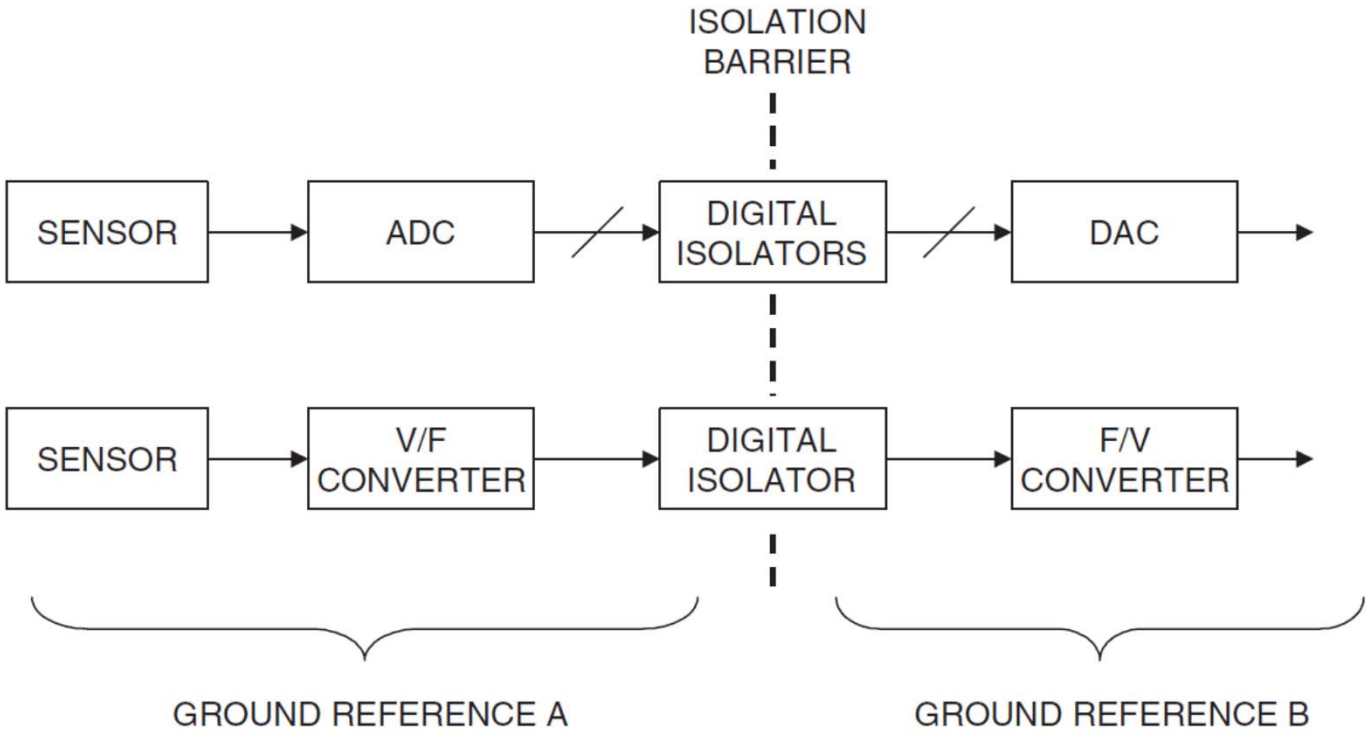




100% Tested for High-Voltage Breakdown
Rated 1500 Vrms
High IMR: 140 dB at 60 Hz
0.010% Maximum Nonlinearity
Bipolar Operation: V_O = ±10 V
DIP-16 and SO-28
Ease of Use: Fixed Unity Gain Configuration
±4.5-V to ±18-V Supply Range

- مدولاسیون ورودی به فرکانس بالا
- عبور سیگنال از مجزا کننده خازنی
- دمدولاسیون در خروجی

ایزولاسیون آنالوگ با اپتوکوپلر دیجیتال



- ساخت بر روی برد
- امکان دستیابی به قیمت پایین تر