

Sensory w Aplikacjach Wbudowanych

Kondycjonowanie sygnału z czujników

dr hab. inż. Cezary Worek, prof. AGH

(na bazie materiałów dra inż. Wojciech Maziarz)

Wydział IET, Instytut Elektroniki

Kontakt: worek@agh.edu.pl

Kondycjonowanie sygnału z czujnika

Sensory na ogół nie są podłączane bezpośrednio do układu rejestrującego, gdyż sygnał może być za słaby, zaszumiony lub niekompatybilny. Sygnał sensorowy musi być poddany **kondycjonowaniu**.

Znaczna większość sensorów jest typu rezystancyjnego, gdzie wartość rezystancji może się zmieniać w przedziale od omów do megaomów.

Przykład

termistor: zakres rezystancji $100\ \Omega - 10\ \text{M}\Omega$

W wielu przypadkach zmiany rezystancji są małe (platynowe czujniki RTD mają TWR ok. $0.385\%/^{\circ}\text{C}$, czujniki tensometryczne wykazują często zmianę rezystancji poniżej 1% w całym zakresie pomiarowym).

Stąd konieczność pomiaru małych zmian rezystancji jest czasami krytyczna.

Kondycjonowanie sygnału z czujnika

Sygnał wyjściowy z czujników:

- Rezystancyjny
- Indukcyjny
- Pojemnościowy
- Napięciowy,
- Prądowy
- Ładunkowy
- ...

Ogromna różnorodność układów kondycjonujących.

Należy dopasowywać je do konkretnego czujnika i zastosowania, biorąc pod uwagę **własności czujników oraz układów pośredniczących.**

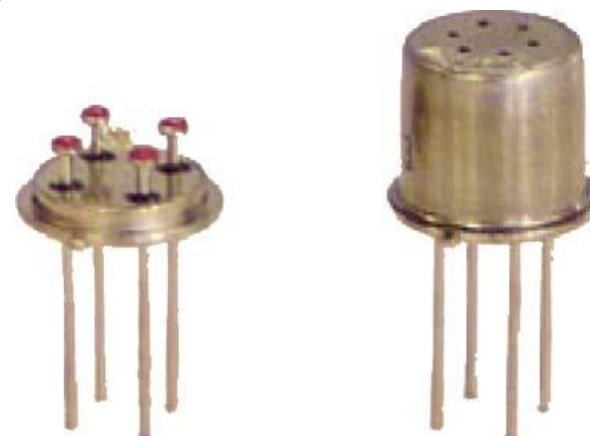
Problem 1

Dane:

- **rezystancyjny czujnik gazu**
- R warstwy w powietrzu = 10-100 k Ω
- w gazie redukującym R spada do 1 k Ω
- w gazie utleniającym R wzrasta do 1 M Ω
- zależność R od stężenia gazu jest nieliniowa
- istnieje wpływ napięcia zasilania, temperatury otoczenia, wilgotności, prędkości przepływu, innych gazów itd.

Jak zmierzyć R ?

- jakiego przyrządu pomiarowego użyć?
- jakiego układu, w jakiej konfiguracji?
- ew. jak kontrolować temperaturę pracy?



Problem 2

Dane:

- **rezystancyjny czujnik temperatury (RTD) Pt100**
- R czujnika = $100\ \Omega$ dla 0°C
- zakres temperatur pracy -200°C ($18,48\ \Omega$) – 850°C ($390,48\ \Omega$)
- czujnik prawie liniowy (jest tabela, są wzory: wielomiany)
- dodatni TWR ($0.00385\ \Omega/1^{\circ}\text{C}$)

Jak zmierzyć R ?

- jakiego przyrządu pomiarowego użyć?
- jakiego układu, w jakiej konfiguracji?



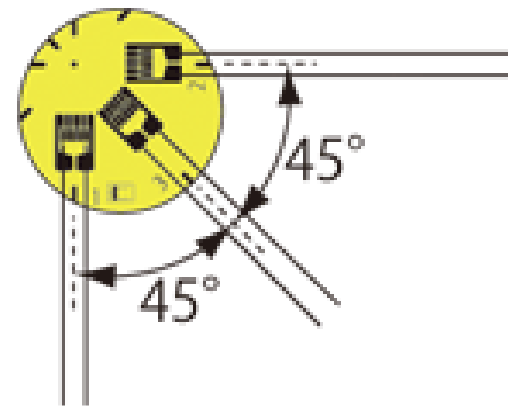
Problem 3

Dane:

- **Rezystancyjny czujnik naprężeń (tensometr)**
- R czujnika = $120\ \Omega$ dla 20°C
- zakres zmian R dla całego zakresu pomiarowego 2.2%
- liniowa zależność R od naprężeń
- istnieje wpływ temperatury

Jak zmierzyć R ?

- jakiego przyrządu pomiarowego użyć?
- jakiego układu, w jakiej konfiguracji?

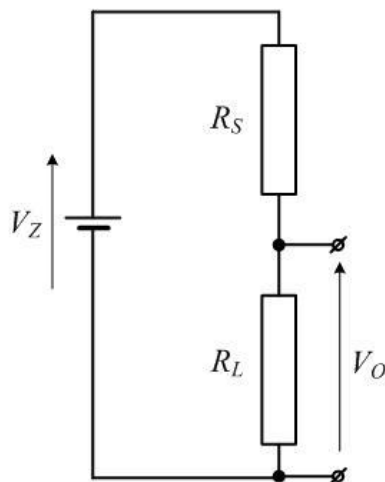


Pomiary czułości sensorów rezystancyjnych

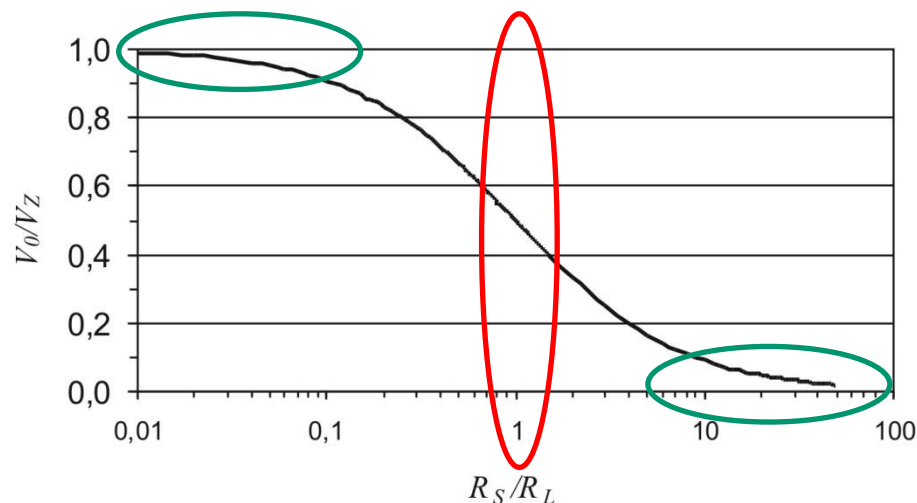
Sygnał użyteczny dla układu z dzielnikiem napięcia jest równy $V_0 = \frac{V_Z R_L}{R_S + R_L}$

Czułość związana ze zmianą sygnału użytecznego przy zmianie rezystancji sensora $\frac{dV_0}{dR_S} = \frac{-V_Z R_L}{(R_S + R_L)^2}$ Maksymalną czułość uzyskuje się dla $R_L = R_S$.

Dzielnik napięcia utworzony z sensora o rezystancji R_S połączonego szeregowo z rezystorem obciążenia R_L .



Układ korzystny we wskaźnikach przekroczenia wartości progowej.



Zależność sygnału użytecznego od R_S/R_L . Dobłą czułość uzyskuje się dla dużego zakresu R_S (maks. czułość dla $R_S = R_L$). Dla dużego R_S/R_L mała czułość.

Pomiary czułości sensorów rezystancyjnych

Dzielnik napięcia z wtórnikami napięciowym

Zalety:

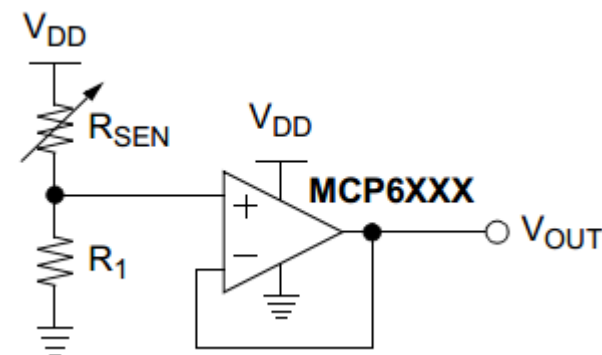
- prostota,
- wyjście ilorazowe (dla konwersji A/C i użycia U_{DD} jako U_{ref})
- możliwość wykrycia błędu sensora (przerwa)

Wady:

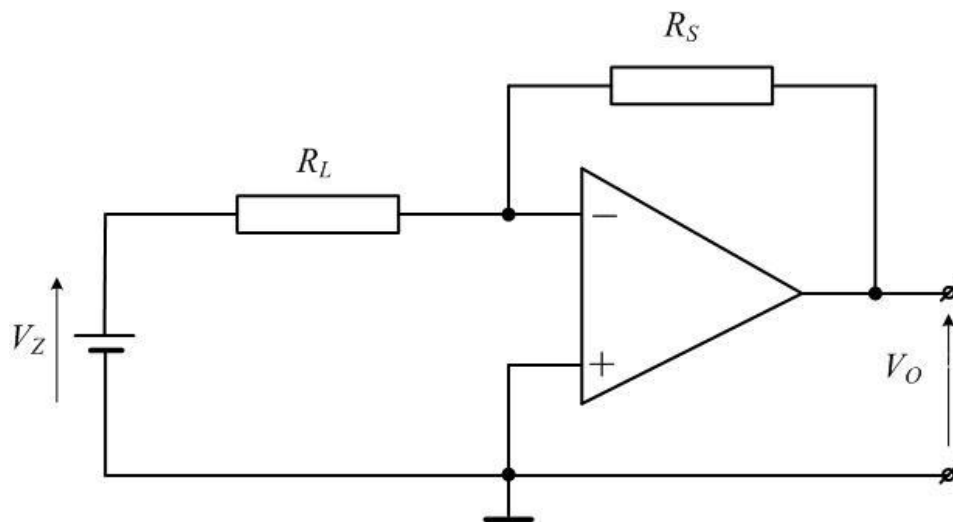
- słabe tłumienie sygnału wspólnego
- napięcie wyjściowe V_{OUT} jest nieliniową funkcją R_{SEN} !

Przykłady czujników/zastosowania:

Termistor, RTD, czujnik magnetorezystancyjny



Pomiary czułości sensorów rezystancyjnych

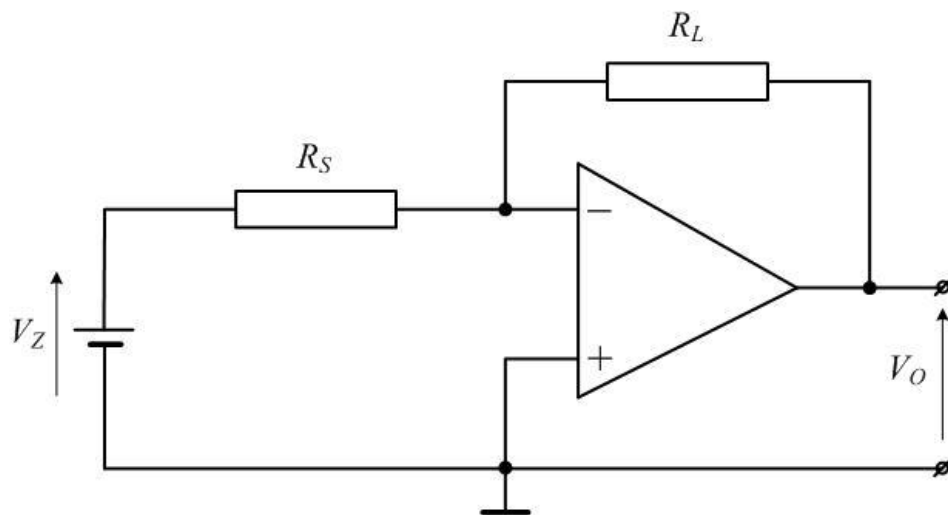


Sensor o rezystancji R_S w obwodzie napięciowego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza odwracającego fazę.

$$V_0 = -\frac{V_Z R_S}{R_L} \quad \frac{dV_0}{dR_S} = \frac{-V_Z}{R_L}$$

W takim pomiarze zwanym **potencjometrycznym** (prąd płynący przez sensor nie zależy od R_S), czułość nie zależy od rezystancji bazowej R_S , a jej wartość można regulować dobierając R_L .

Pomiary czułości sensorów rezystancyjnych

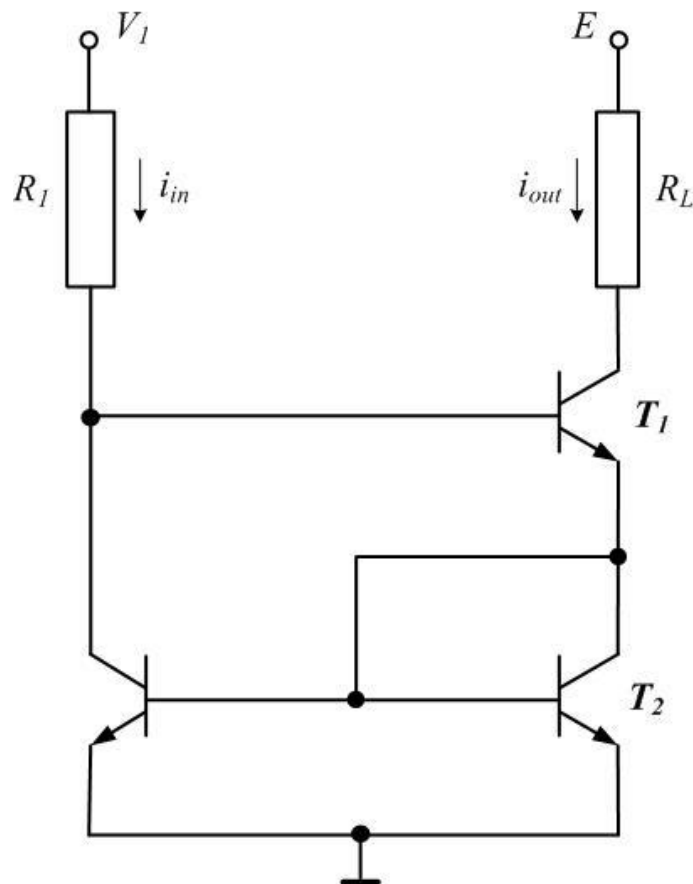


W obwodzie sprzężenia zwrotnego wzmacniacza odwracającego fazę umieszczony rezystor obciążenia R_L .

$$V_0 = -\frac{V_Z R_L}{R_S} \quad \frac{dV_0}{dR_S} = \frac{V_Z R_L}{R_S^2}$$

Na rezystancji R_S występuje stałe napięcie równe V_Z (pomiar **potencjostatyczny**). Napięcie wyjściowe jest iloczynem R_L i zmieniającego się prądu V_Z/R_L .
Czułość pomiaru zależy od R_S .

Pomiary czułości sensorów rezystancyjnych



Źródło prądowe w postaci lustra prądowego (układ Wilsona)

Prąd wyjściowy i_{out} płynący przez sterowany tranzystor T_1 jest równy prądowi wejściowemu i_{in} , który zależy od napięcia V_1 i rezystancji R_1 . Tranzystor T_2 może ten prąd wielokrotnie zwiększyć.

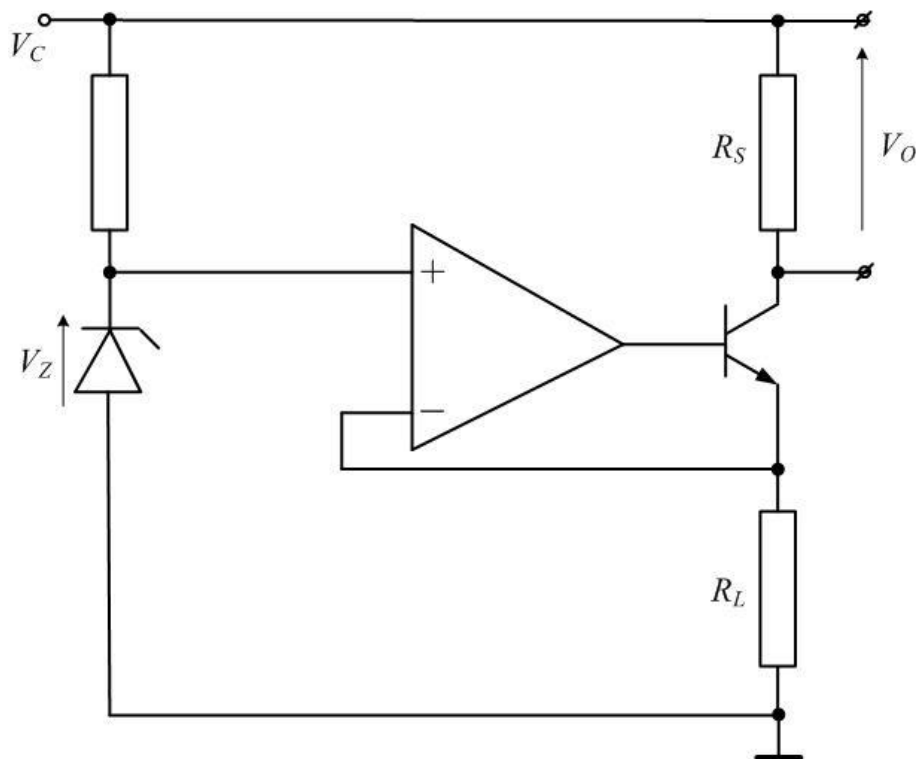
Pomiary czułości sensorów rezystancyjnych

Sensor zasilany ze źródła prądowego.

Wtórnik napięciowy spolaryzowany diodą Zenera wysterowuje tranzystor, który wytwarza prąd niezależny od R_S .

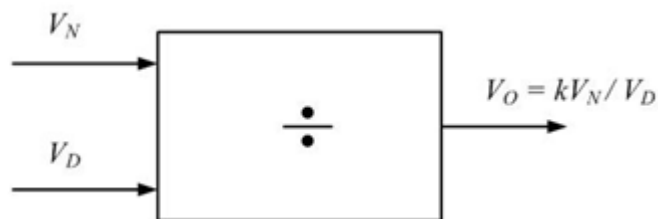
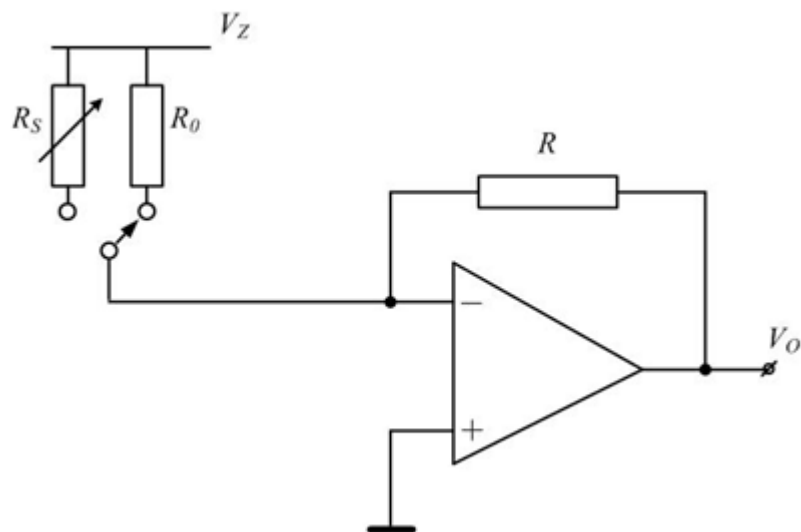
$$V_0 = \frac{V_Z R_S}{R_L} \quad \frac{dV_0}{dR_S} = \frac{V_Z}{R_L}$$

Czułość nie zależy od R_S .



Układy ilorazowe

Tego typu układy stosuje się wtedy, gdy źródła błędów mają charakter multiplikatywny (niestabilność zasilania, zmiany temp., efekty starzeniowe), a nie addytywny (np. szum termiczny). Przykładowo można wykorzystać dwa sensory, z których jeden jest aktywny, a drugi pełni rolę sensora odniesienia.



$$V_{01} = V_N = -V_Z \frac{R}{R_S}$$

$$V_{02} = V_D = -V_Z \frac{R}{R_0}$$

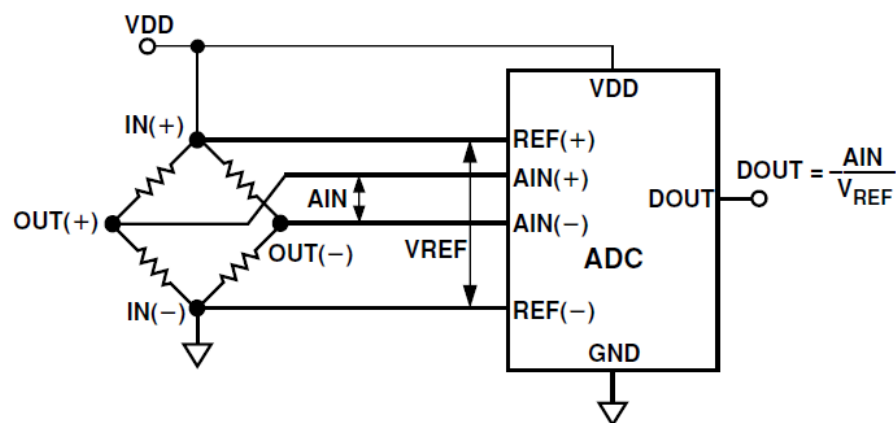
Z kolei dzielnik analogowy wykonuje operację dzielenia dając sygnał wyjściowy niezależny zarówno od napięcia zasilania V_Z , jak i wzmocnienia wzmacniacza.

$$V_O = k \frac{V_N}{V_D} = k \frac{R_0}{R_S}$$

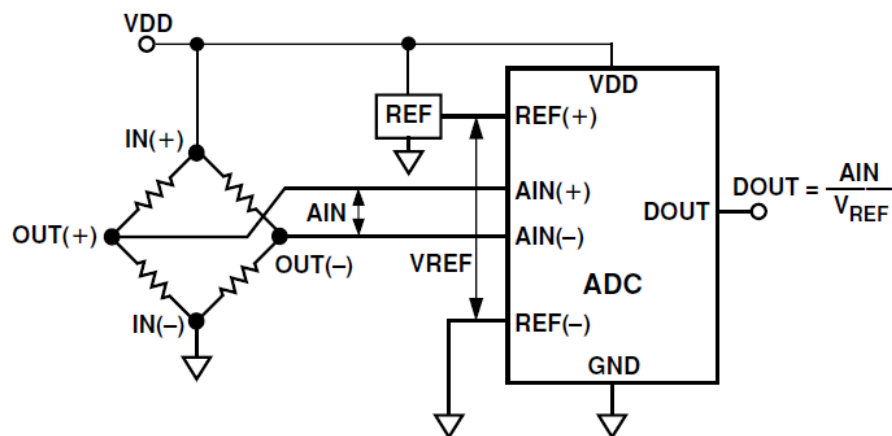
Operacja dzielenia może być realizowana cyfrowo.

Układy ilorazowe - przykłady

Typowy przykład - sensory w układzie mostka z konwersją sygnału w przetworniku ADC. Napięcie zasilania mostka oraz przetwornika pochodzą z tego samego źródła. Zmiana napięcia zasilania nie wpływa na sygnał wyjściowy. Do dokładnych pomiarów nie jest zatem konieczne źródło zasilania o wysokiej stabilności.



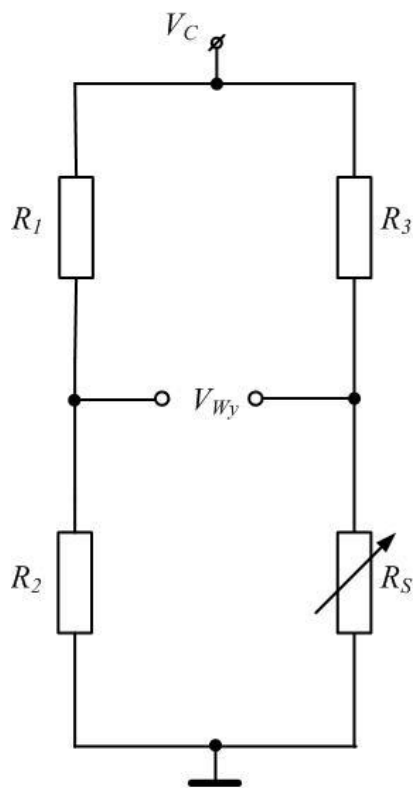
W **układzie ilorazowym** kod wyjściowy D_{OUT} na wyjściu przetwornika jest reprezentacją cyfrową stosunku sygnału wejściowego przetwornika AIN do sygnału odniesienia V_{REF} a zatem wahania nap. zasilania nie wpływają na wynik pomiaru.



W prezentowanym układzie wykorzystuje się dodatkowe źródło nap. odniesienia REF niezależne od V_{DD} i **układ przestaje być ilorazowy**. Tego typu rozwiązania stosuje się w przypadku dużej dynamiki zmian napięcia AIN.

Mostkowe układy pomiarowe

Typowy układ to mostek rezystancyjny, gdzie w jednym z ramion umieszczony jest sensor (piezorezystor, termistor). Rezystancje mogą być również zastąpione pojemnościami lub indukcyjnościami.



$$V_{wy} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_s} \right) V_c$$

Warunek równowagi: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_s}$

Maksymalną czułość pomiaru uzyskuje się dla $R_1 = R_2$ i $R_3 = R_s$.

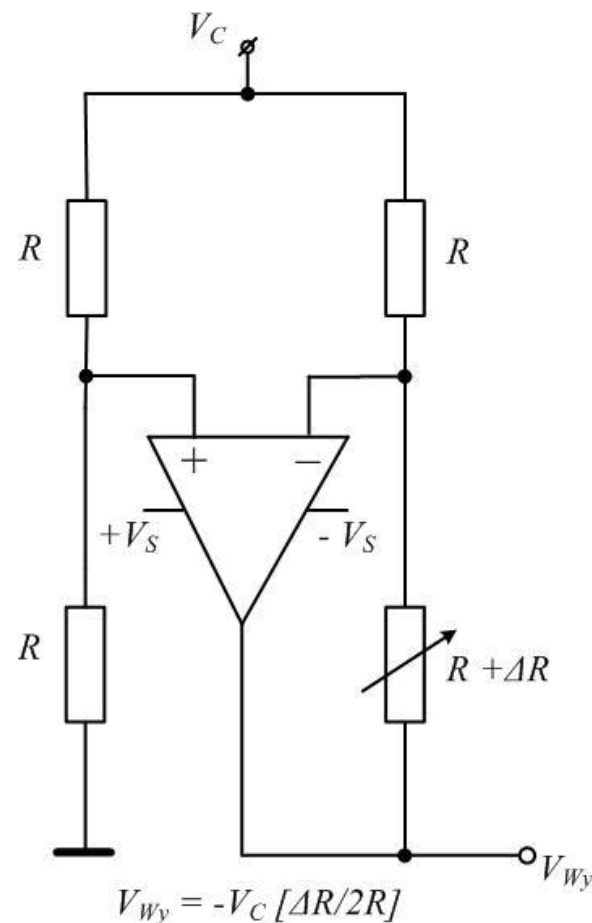
Ogólnie napięcie wyjściowe jest nieliniową funkcją **niezrównoważenia** $\Delta R = R_s - R$.

$$\frac{\delta V_{wy}}{V_c} = \frac{R_3 \Delta R}{(R_3 + R + \Delta R)^2}$$

Mostkowe układy pomiarowe

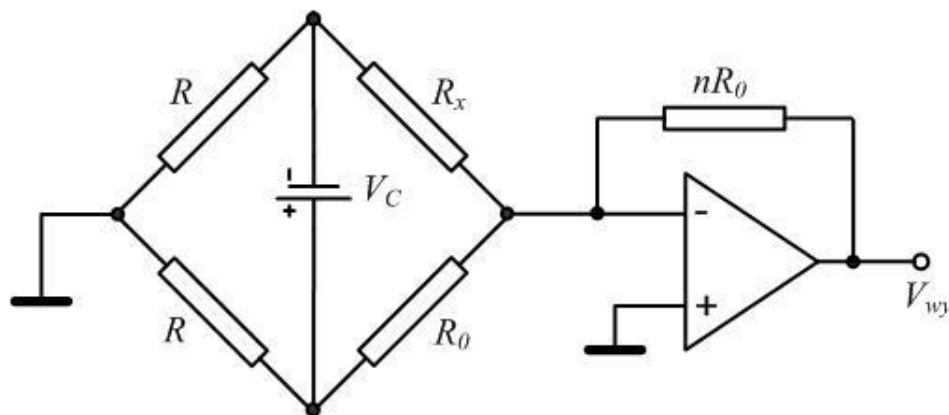
Wzmacniacz w układzie mostka aktywnego.

Wzmacniacz wytwarza napięcie równe i przeciwnego znaku niż zmiana powodowana ΔR . Napięcie to jest liniowe w funkcji ΔR (linearyzacja wyjścia).



Mostkowe układy pomiarowe

Wzmacniacz w układzie mostka z pływającym źródłem zasilania



$$V_{wy} \approx n \frac{V_C}{4} \frac{\Delta R_x}{R_x}$$

Zalety:

- liniowa zależność $U(R)$ w pewnym zakresie zmienności R
- wyjście ilorazowe (konwersja A/C + U_{DD} jako U_{ref})

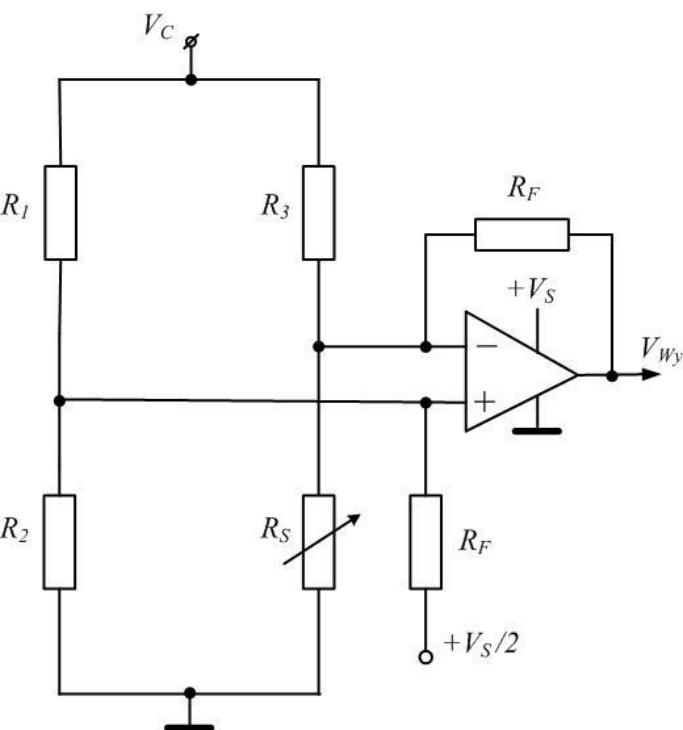
Wady:

- cena
- wymaga precyzyjnych R

Zastosowanie: termistor, RTD, anemometr

Mostkowe układy pomiarowe

Mostek może pracować w układzie **zrównoważonym** (na wyjściu istnieje wzmacniacz błędny, który poprzez sprzężenie zwrotne przywraca stan równowagi) lub **niezrównoważonym**, który jest częściej stosowany.



WO na wyjściu mostka niezrównoważonego (wpływ R_F i prądu polaryzacji na równowagę). Trudno uzyskać odp. wzm. i jednocześnie duże CMRR.

Zalety:

- prostota, dobre tłumienie CMRR
- wyjście ilorazowe (konwersja A/C + U_{DD} jako Uref)
- możliwość wykrycia błędu sensora (przerwa)

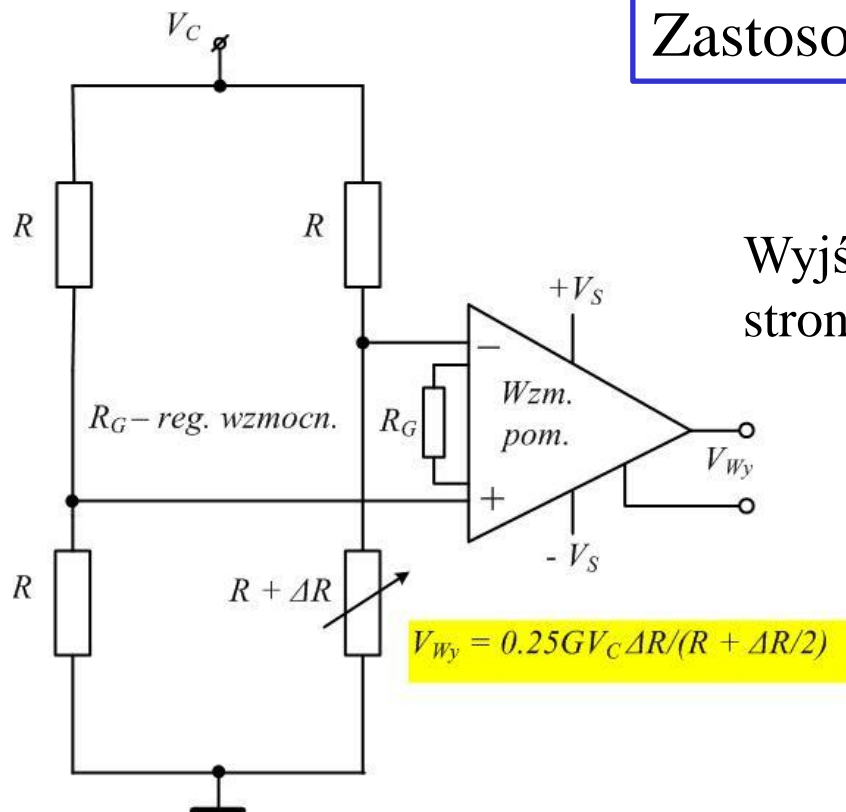
Wady:

- wzmacnienie jest funkcją R_s
- Należy stosować uC+ program
- Napięcie U_{wy} nieliniową funkcją R_s

Przykład: cz. ciśnienia, tensometr, cz. magneto rez.

Mostkowe układy pomiarowe

Zastosowanie wzmacniacza pomiarowego



Stosując na wyjściu **wzmacniacz pomiarowy** unika się rozrównoważenia mostka przy regulacji wzmacnienia (R_G), jednocześnie uzyskuje się duży CMRR (wsp. tłumienia sygnału sumacyjnego).

Kondycjonowanie sensorów z wyjściem napięciowym

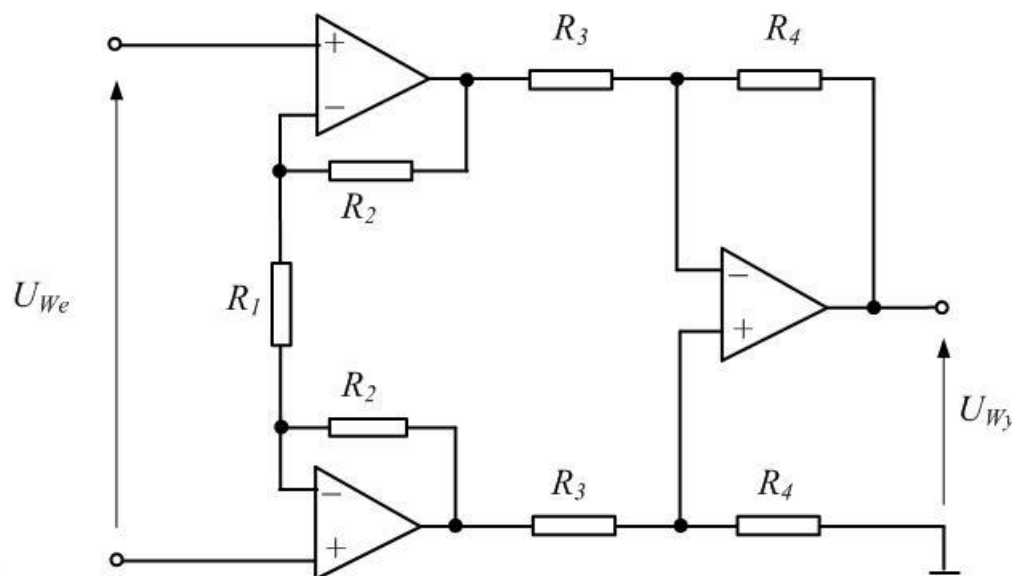
Wzmacniacz pomiarowy (*instrumentation amplifier*)

- szczególna postać wzmacniacza różnicowego o regulowanym wzmocnieniu.

Wejścia odizolowane są od wew. sprzężenia zwrotnego.

Impedancja wejściowa rzędu $10^9 \Omega$ lub większa.

Wzmacniane są sygnały mikrowoltowe z tłumieniem woltowego sygnału sumacyjnego (duży współcz. CMRR w przedziale 70 - 100 dB), co jest szczególnie istotne dla częstotliwości 50 Hz.



$$k = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right)$$

Wzmacniacz pomiarowy

Przykład: Analog Devices AMP04

Precision Single Supply Instrumentation Amplifier

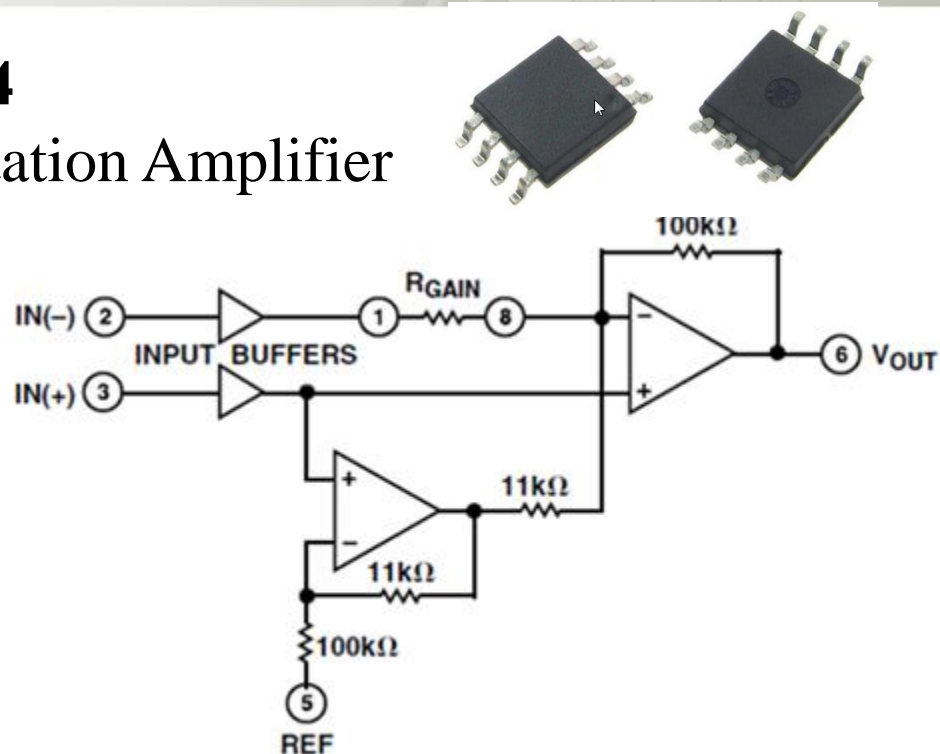
- Single Supply Operation
- Low Supply Current: 700 μA Max
- Wide Gain Range: 1 to 1000
- Low Offset Voltage: 150 μV Max
- Zero-In/Zero-Out
- Single-Resistor Gain Set
- 8-Lead Mini-DIP and SO Packages

SO-8 TANI! 14,20 zł (slawmir.com.pl)

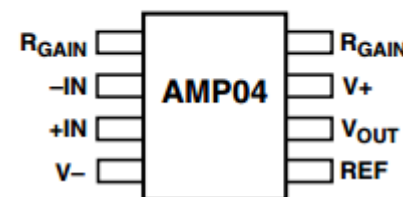
<https://slawmir.com.pl/ukl-scalony-amp04-so8-p-1957069.html>

ale 1Ku List Price \$7,93 na:

<https://www.analog.com/en/products/amp04.html#product-samplebuy>

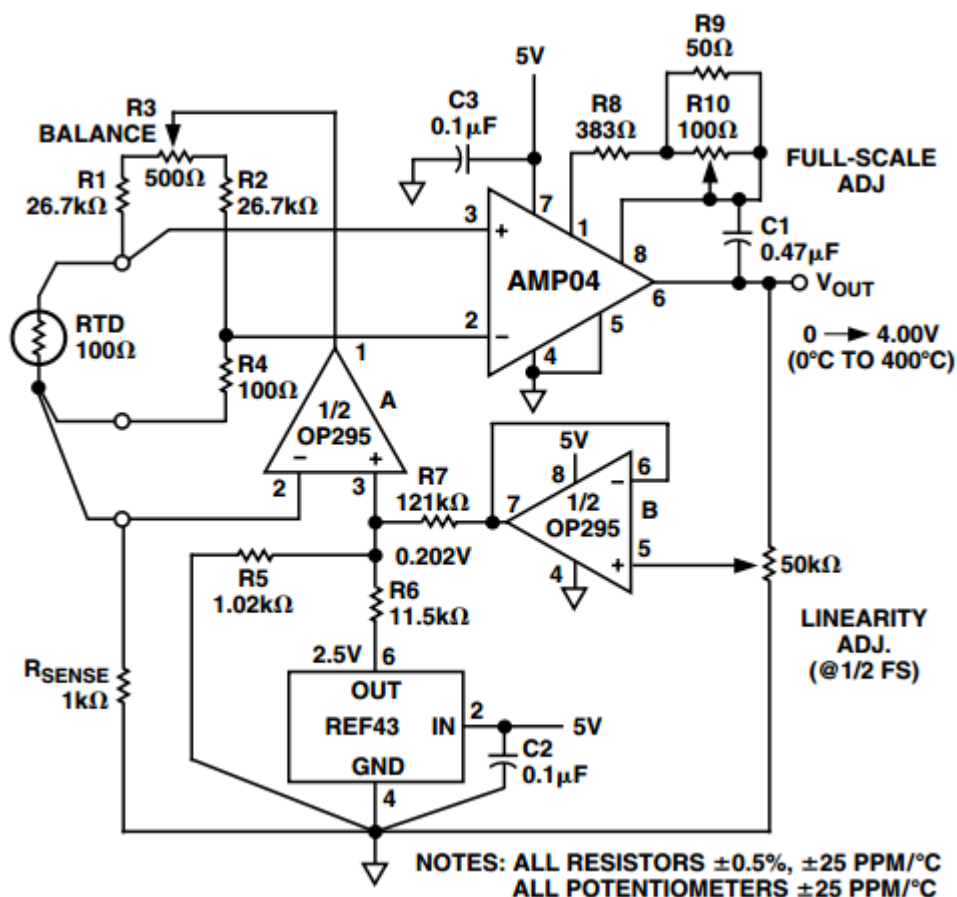


8-Lead Narrow-Body SO
(S Suffix)



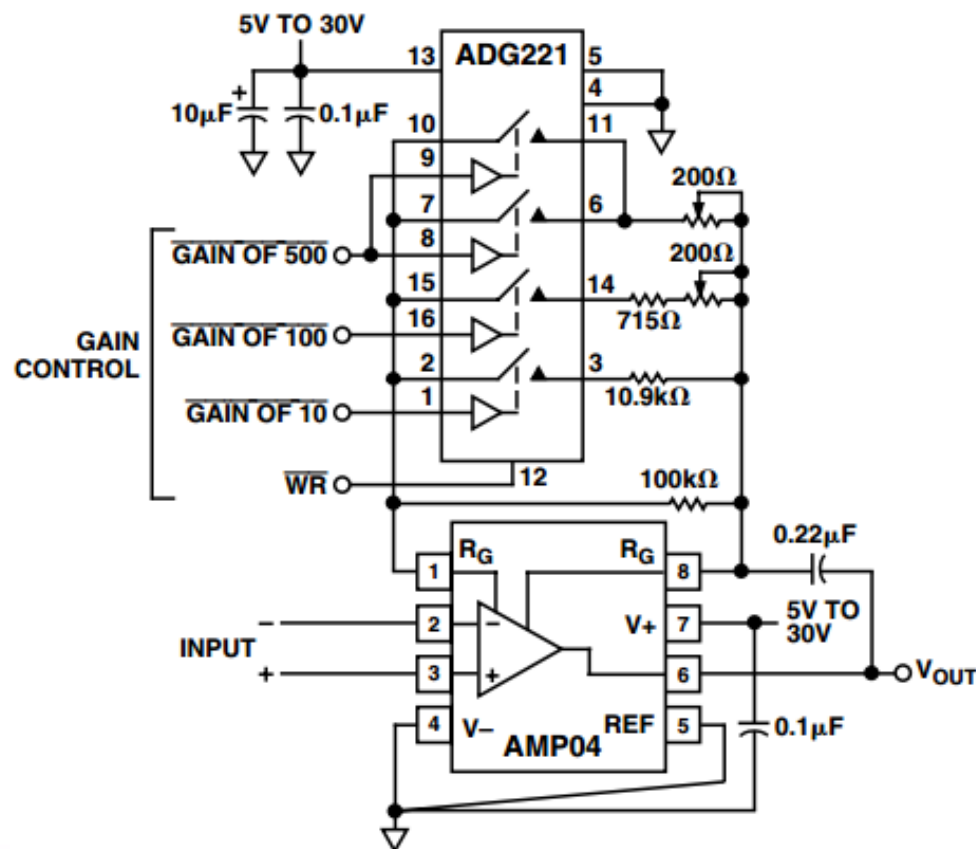
Wzmacniacz pomiarowy

Analog Devices AMP04 – zastosowanie do czujnika RTD



Wzmacniacz pomiarowy

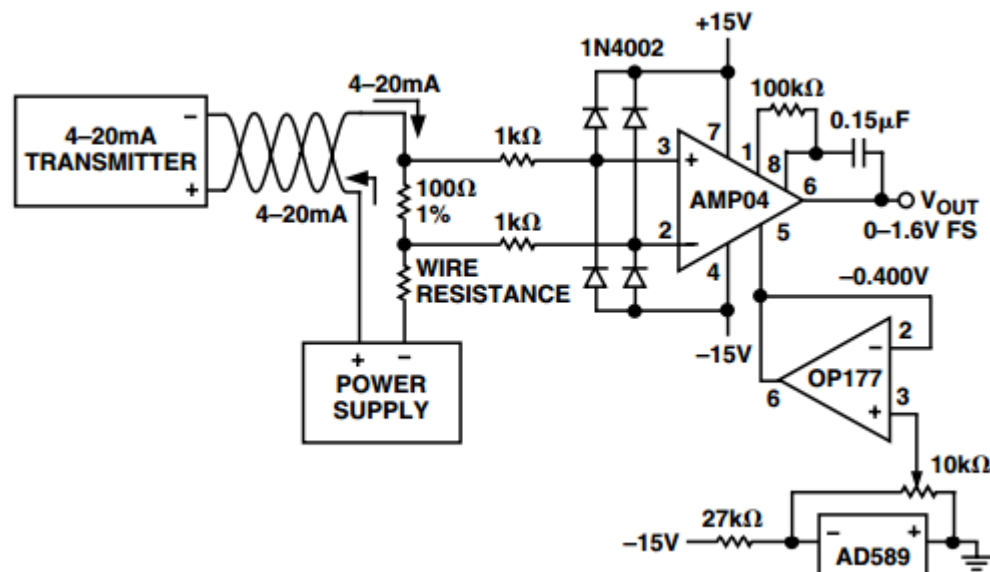
Analog Devices AMP04 – wzmacniacz o programowanym wzmacnieniu (PGA)



Wzmacniacz pomiarowy

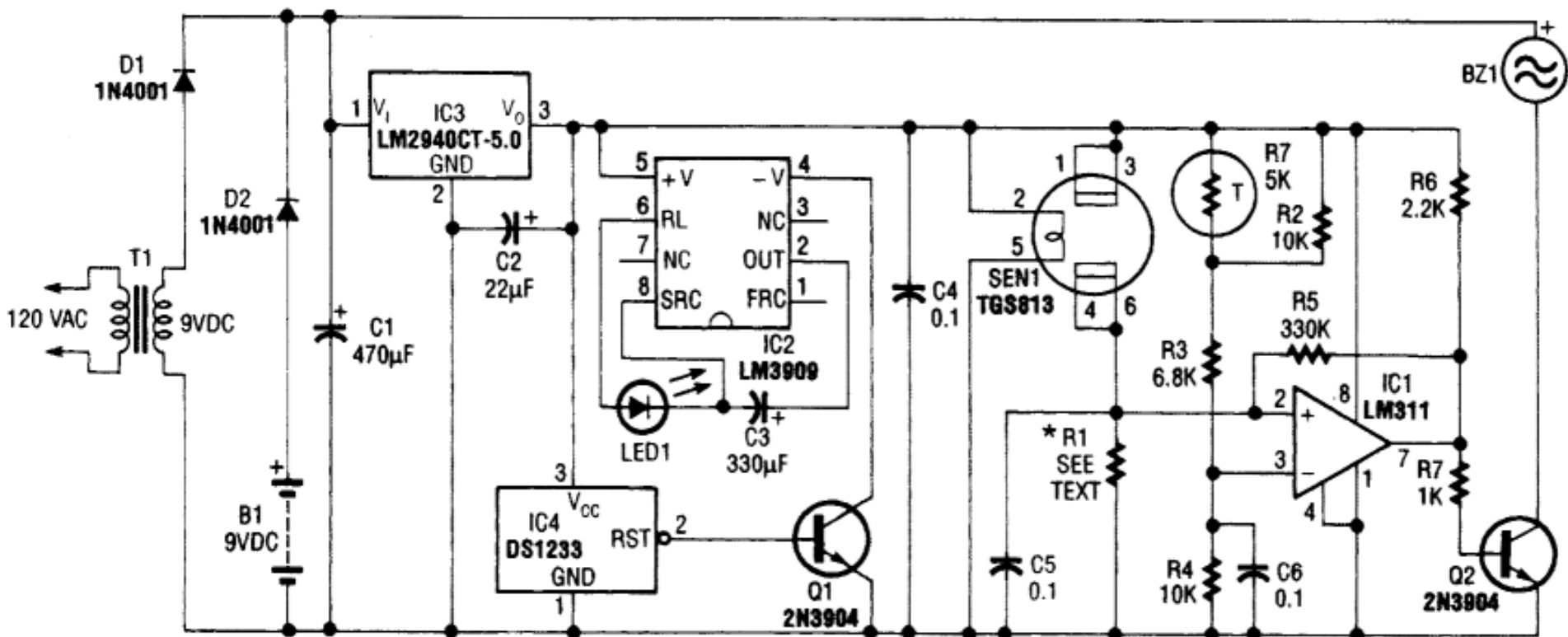
Analog Devices AMP04 – odbiornik w pętli pomiarowej 4-20 mA

- transformacja $I \rightarrow U$
- sygnał 4-20 mA płynie przez $R=100\ \Omega$ (sense resistor)
- różnicowe wzmacnianie napięcia przez AMP04
- offset 4mA usuwany przez układ przesuwania poziomu (op177)
- na wyjściu sygnał 0-1.6 V



Problem 1 – propozycja rozwiązania

Rezystancyjny czujnik gazu TGS 813

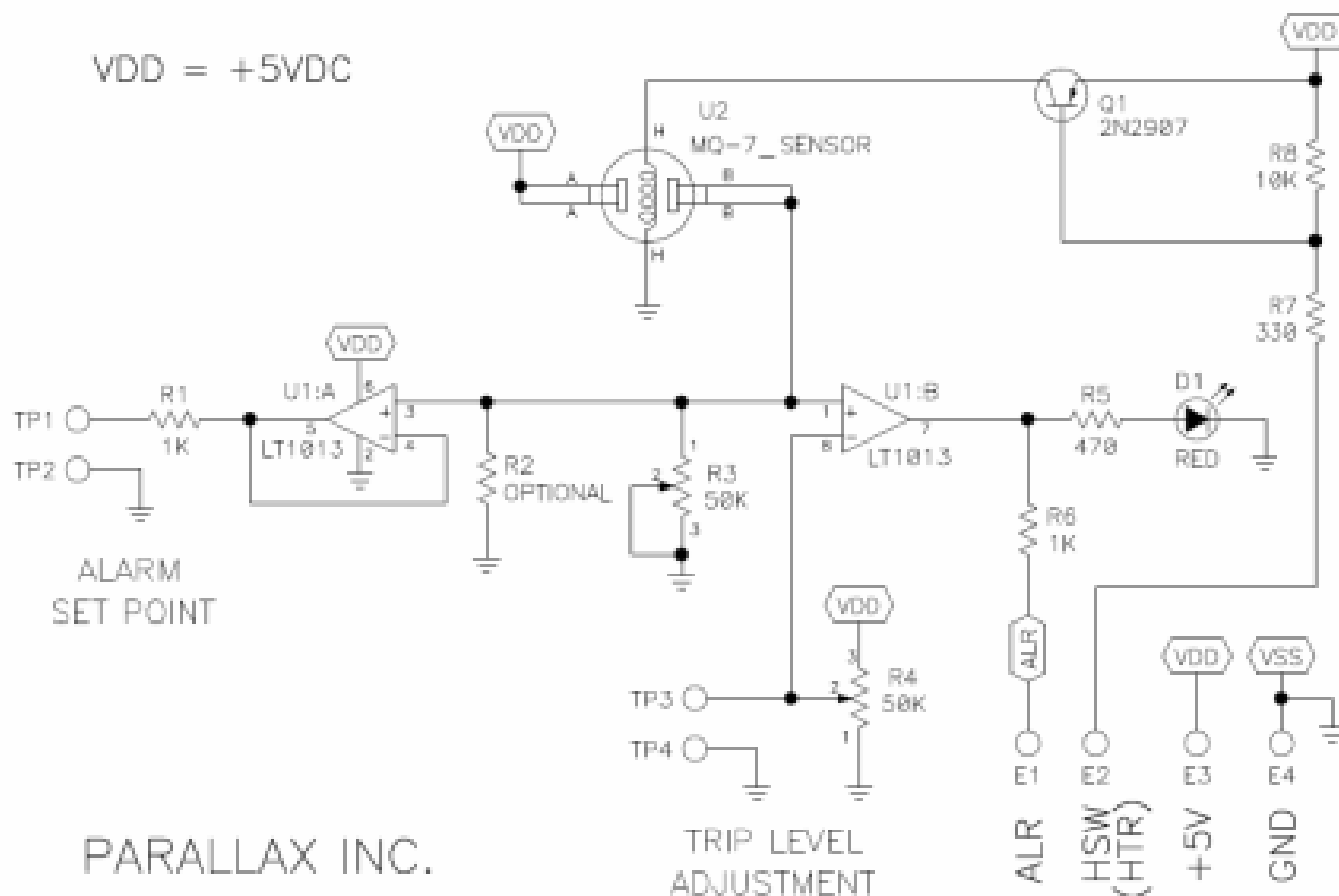


R_1 (w nocioe RL) dobrane z uwzgl. *Power of Sensitivity body* (P_s):

$$P_s = V_{c2} \times R_s / (R_s + R_L)^2$$

Problem 1 – propozycja rozwiązania

Rezystancyjny czujnik gazu



Problem 2 – propozycja rozwiązania

Rezystancyjny czujnik temperatury (RTD) Pt100

- należy zamienić R na U
- prąd pobudzenia stabilny i nie za duży ($< 1\text{mA}$), aby uniknąć błędu pomiarowego od samopodgrzewania
- dla -200°C błąd pomiaru nawet 5%

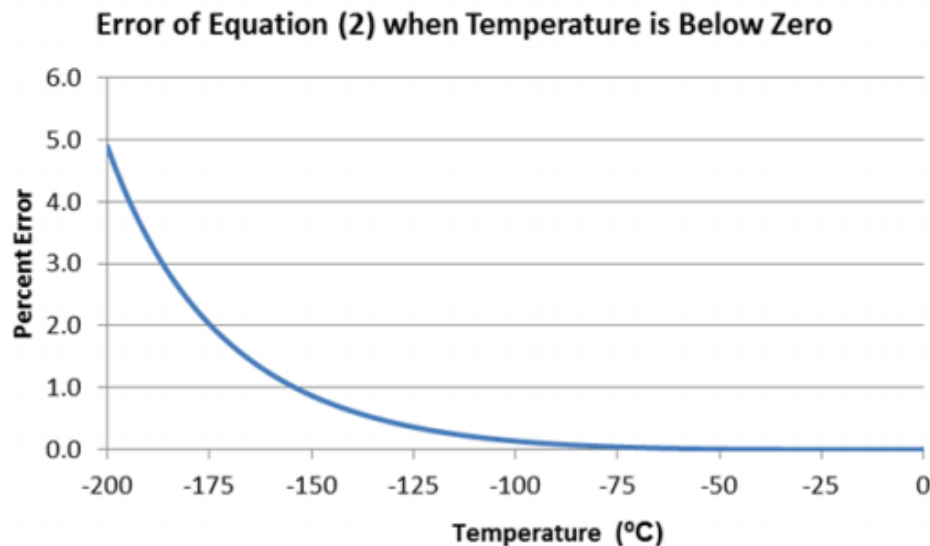
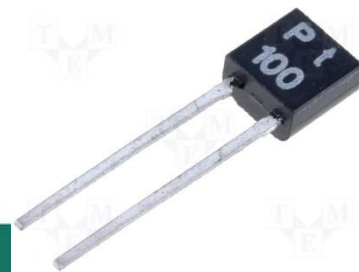


FIGURE 1: Callendar-Van Dusen Equation Comparison; Error Caused by Using Equation (2) for Temperatures Below Zero



Problem 2 – propozycja rozwiązania

Dla wyższej dokładności stosujemy równanie Callendar-Van Dusen

$$R_{RTD(T_A)} = R_{RTD(T_0)} [1 + aT_A + bT_A^2 + cT_A^3(100 - T_A)], \text{ gdzie}$$

$R_{RTD(T_A)}$ to rezystancja RTD w temp. pokojowej;

$R_{RTD(T_0)}$ to rezystancja RTD w temp. 0°C; a, b, c - stałe podawane przez producenta

A₁ i A₂ + REF5025 + 5xR
tworzą źródło referencyjne 1mA

A₃

- mierzy napięcie na RTD,

- likwiduje wpływ R

doprowadzeń : R_{W1}, R_{W2} i R_{W3}

A₄

- wzmacnia sygnał

- filtruje go

- dostarcza sygnału dla ADC

(ADS8634)

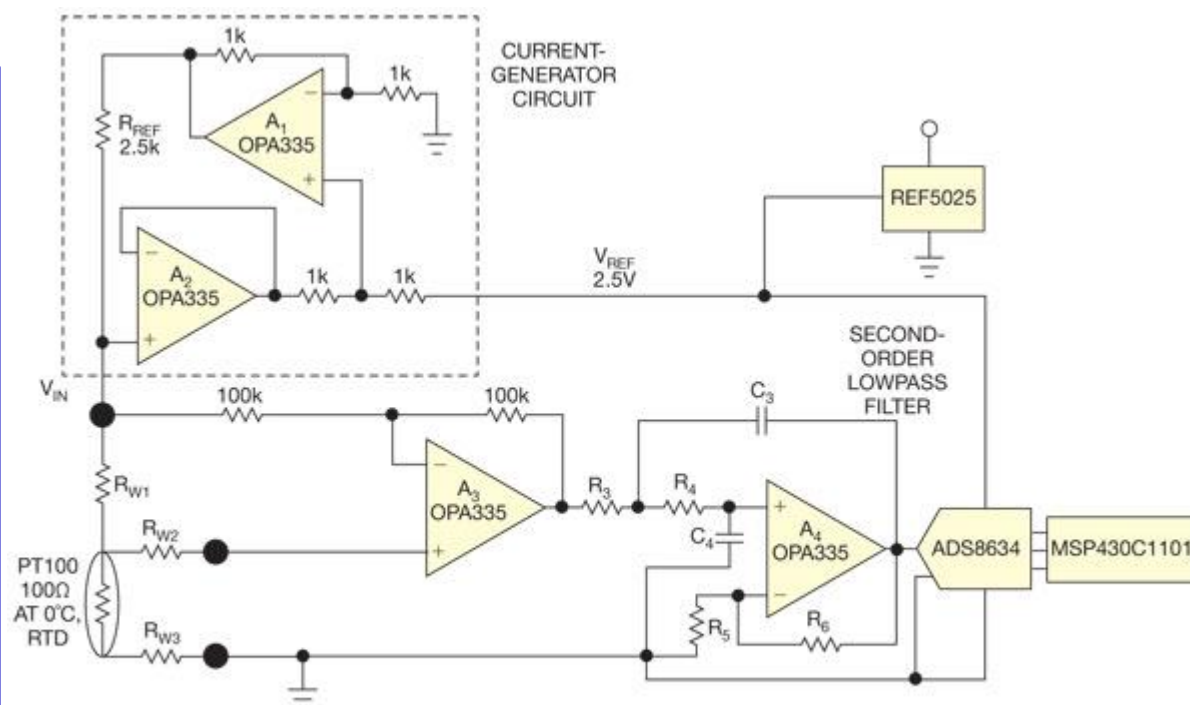
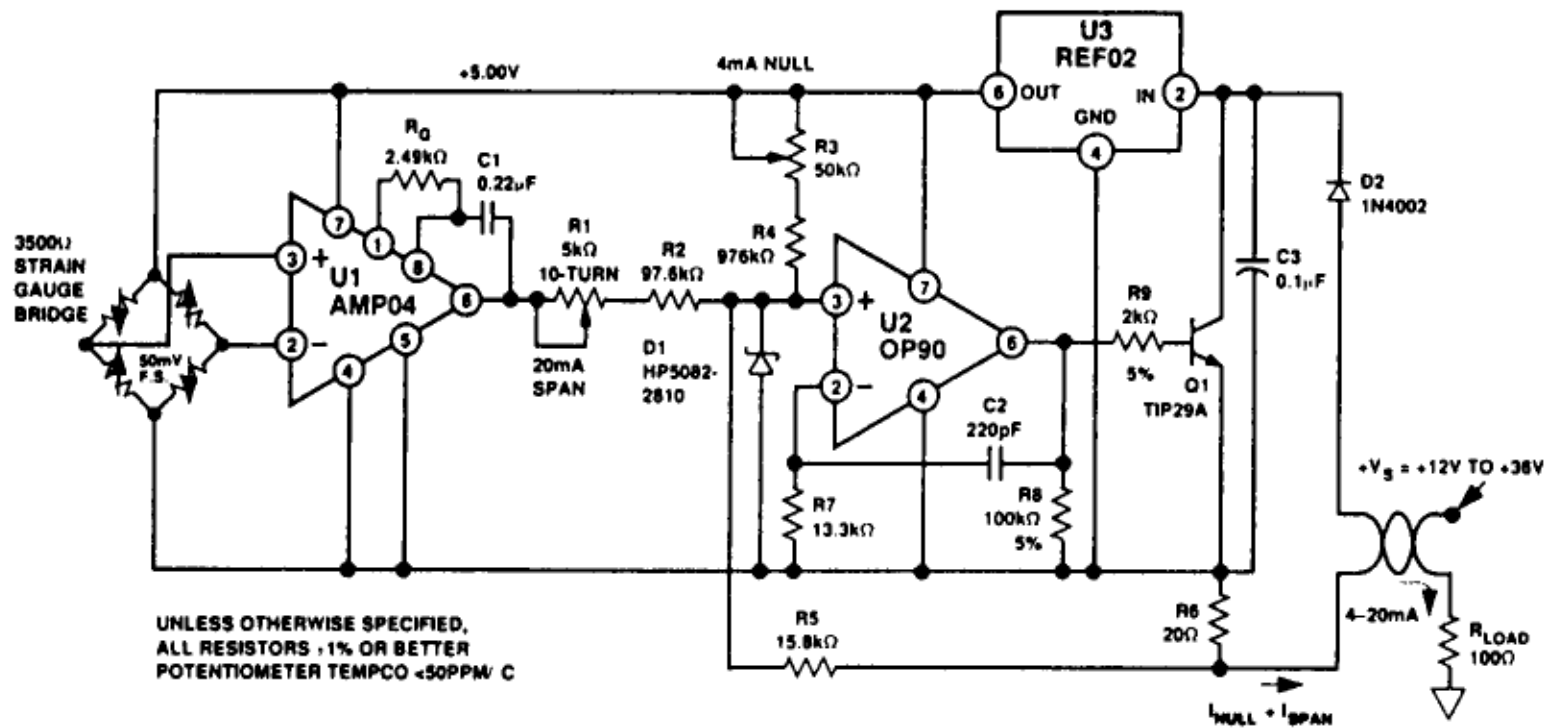


Figure 1 This implementation of an RTD circuit uses four amplifiers, a voltage reference, an ADC, a microcontroller, and a PT100 RTD.

Problem 3 – propozycja rozwiązania

Rezystancyjny czujnik naprężeń (tensometr)

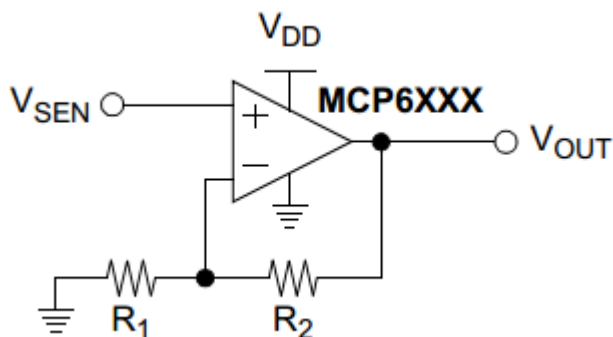
STRAIN-GAGE SENSOR



In this loop-powered strain-gage sensor application, a 50-mV full-scale (FS) bridge output is amplified and calibrated for a 4–20-mA transmitter output. Power is furnished by the remote loop supply of 12 to 36 V.

Kondycjonowanie sensorów z wyjściem napięciowym

Wzmacniacz nieodwracający



Zalety:

- duża imp. wejściowa
- niski prąd polaryzacji (wzm. CMOS)
- dodatnie wzmocnienie
- prostota

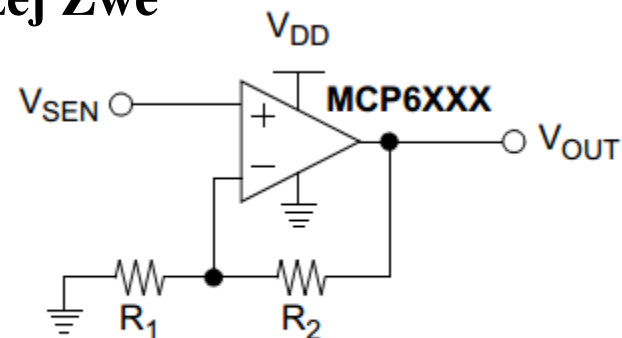
Wady:

- Ograniczony zakres U_{wy} (V_{sen} do V_{out})
- Zniekształcenia stopnia wejściowego
- Wzmacnianie sygnału wspólnego

Przykłady czujników/zastosowania:

Termopara, termostos, warstwa piezoelektryka

Wzmacniacz nieodwracający dla czujników o dużej Z_{we}



FET Input Op Amp

Zalety:

- BARDZO duża imp. wejściowa
- BARDZO niski prąd polaryzacji (wzm. CMOS)
- dodatnie wzmocnienie
- prostota

Wady:

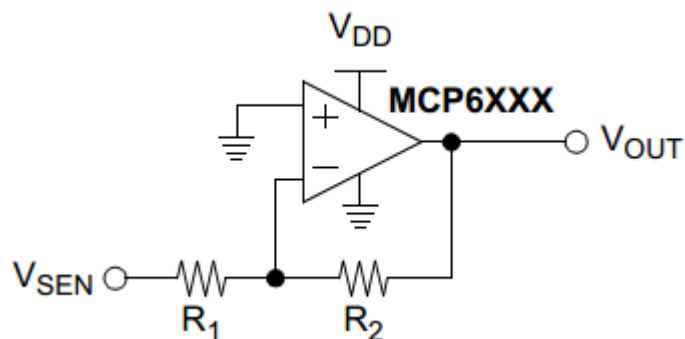
- Ograniczony zakres U_{wy} (V_{sen} do V_{out})
- Zniekształcenia stopnia wejściowego
- Wzmacnianie sygnału wspólnego

Przykłady czujników/zastosowania:

elektroda pH

Kondycjonowanie sensorów z wyjściem napięciowym

Wzmacniacz odwracający



Zalety:

- izolacja rezystancyjna od źródła
- możliwy duży zakres U_{SEN}
- brak zniekształceń stopnia wejściowego
- prostota

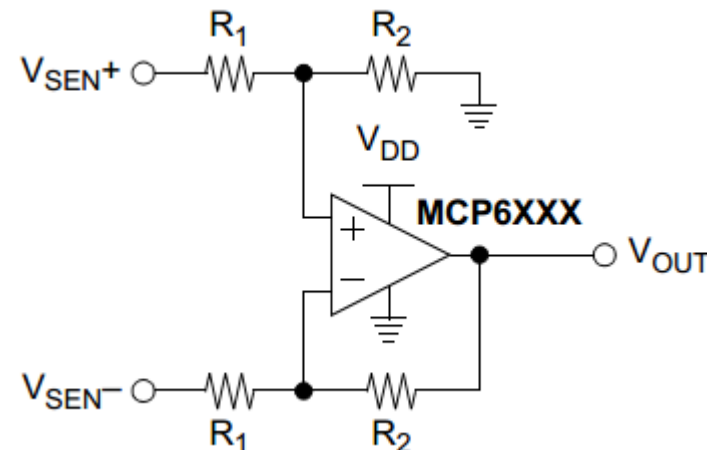
Wady:

- Obciążenie rezystancyjne źródła
- Wzmocnienie ujemne
- Wzmacnianie sygnału wspólnego

Przykłady czujników/zastosowania:

Termosy, czujnik napięcia

Wzmacniacz różnicowy



Zalety:

- izolacja rezystancyjna od źródła
- możliwy duży zakres U_{SEN}
- tłumí CMRR (dobre do czujników zdalnych)
- prostota

Wady:

- Obciążenie rezystancyjne źródła
- Zniekształcenia sygnału wejściowego

Przykłady czujników/zastosowania:

Zdalna termopara, mostek Wheatstone'a

Kondycjonowanie sensorów z wyjściem napięciowym

Wzmacniacz pomiarowy

Zalety:

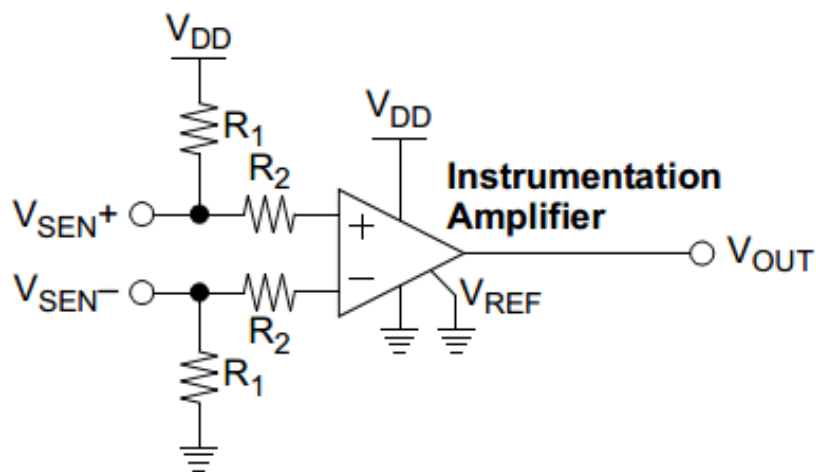
- znakomite tłumienie CMRR,
- dobry do czujników zdalnych
- izolacja rezystancyjna od źródła
- wykrywanie uszkodzeń czujnika

Wady:

- Obciążenie rezystancyjne źródła
- Cena

Przykłady czujników/zastosowania:

Zdalna termopara, zdalny RTD (źródło prądu lub dzielnik napięcia – na wyjściu RTD musi być napięcie), mostek Wheatstone’a (czujniki ciśnienia, naprężeń – tensometry)



Kondycjonowanie sensorów z wyjściem napięciowym

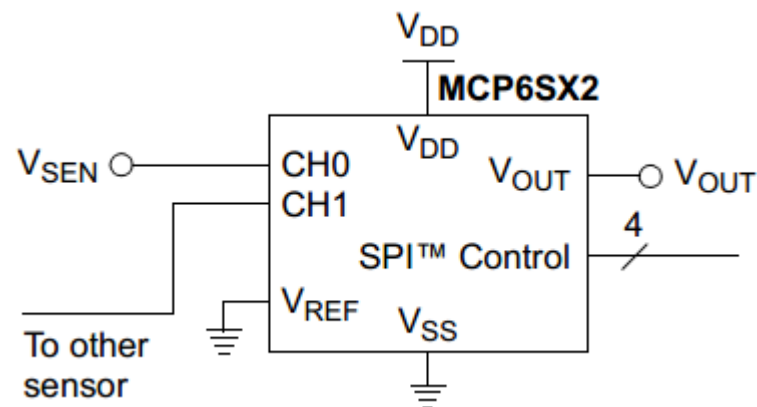
Wzmacniacz o regulowanym wzmacnieniu (PGA)

Zalety:

- pomiar wielu czujników
- wejście CMOS (duże Z_{we} , mały I_{bias})
- cyfrowa kontrola wejścia i wzmacnienia (interfejs SPI)
- Linearyzacja źródeł nieliniowych

Wady:

- Zniekształcenia stopnia wejściowego
- Wzmocnienie sygnału wspólnego
- Konieczność użycia uC i firmware



Przykłady czujników/zastosowania:

Termistor, termostos, warstwa piezoelektryka

Kondycjonowanie sensorów z wyjściem prądowym

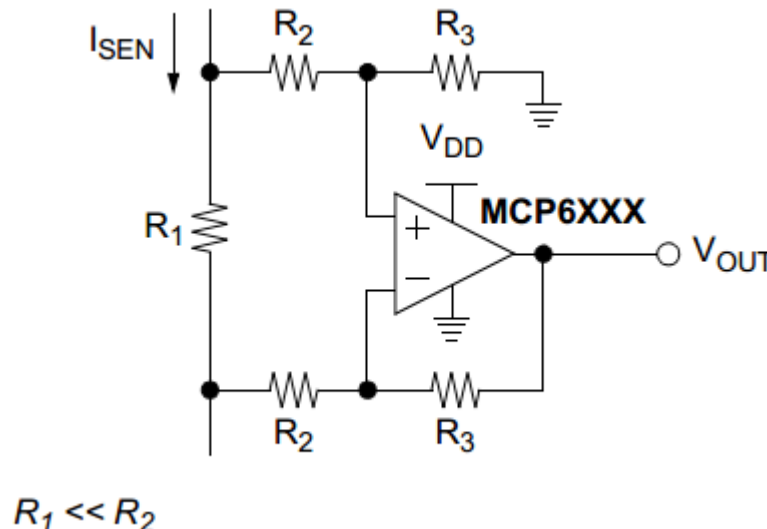
Wzmacniacz prądu

Zalety:

- dobre tłumienie CMRR
- rezystancyjna izolacja od źródła
- szeroki zakres U_{we}

Wady:

- Rezystancyjne obciążenie wejścia
- Zniekształcenia w stopniu wejściowym



Przykłady czujników/zastosowania:

Czujnik prądu (AC), czujnik napięcia V_{DD} (konieczny $R_{szeregowy}$)

Kondycjonowanie sensorów z wyjściem prądowym

Wzmacniacz transimpedancyjny

Zamiana I_{SEN} na U_{OUT}

Zalety:

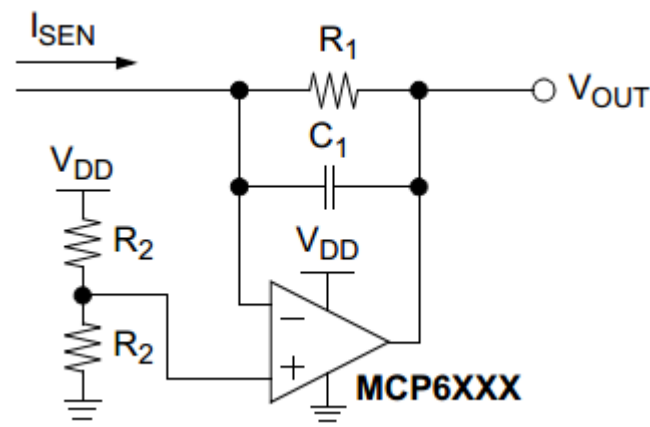
- dobre dopasowanie do źródła sygnału
- prostota

Wady:

- układ można/należy stabilizować
- C_1 konieczny dla dużych pojemności źródła

Przykłady czujników/zastosowania:

Detektor dymu IR, fotodioda, fototranzystor

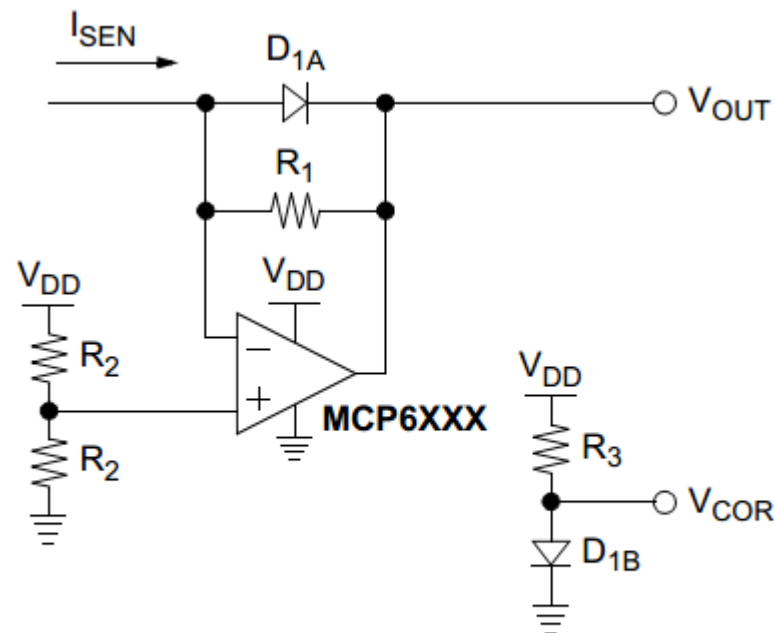


Kondycjonowanie sensorów z wyjściem prądowym

Wzmacniacz logarytmujący

$$U_{OUT} \sim \ln(I_{SEN})$$

- D1B kompensuje zmiany temperatury
- Jeśli źródło ma obie polaryzacje, należy dodać przeciwsobnie diodę || do D1A
- Szeroki zakres dynamiczny prądów

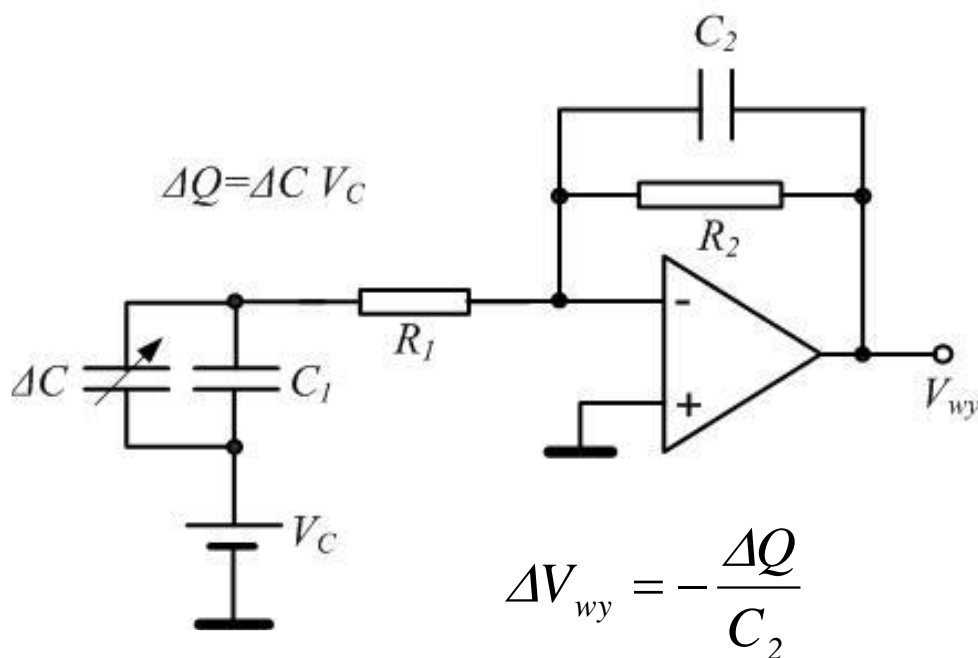


D_{1A} and D_{1B} are a matched pair in the same package.

Przykłady czujników/zastosowania:
Fotodioda

Kondycjonowanie sensorów z wyjściem ładunkowym

Stosowany w przypadku sensorów wysokoimpedancyjnych, takich jak piezoelektryczne.



Zalety:

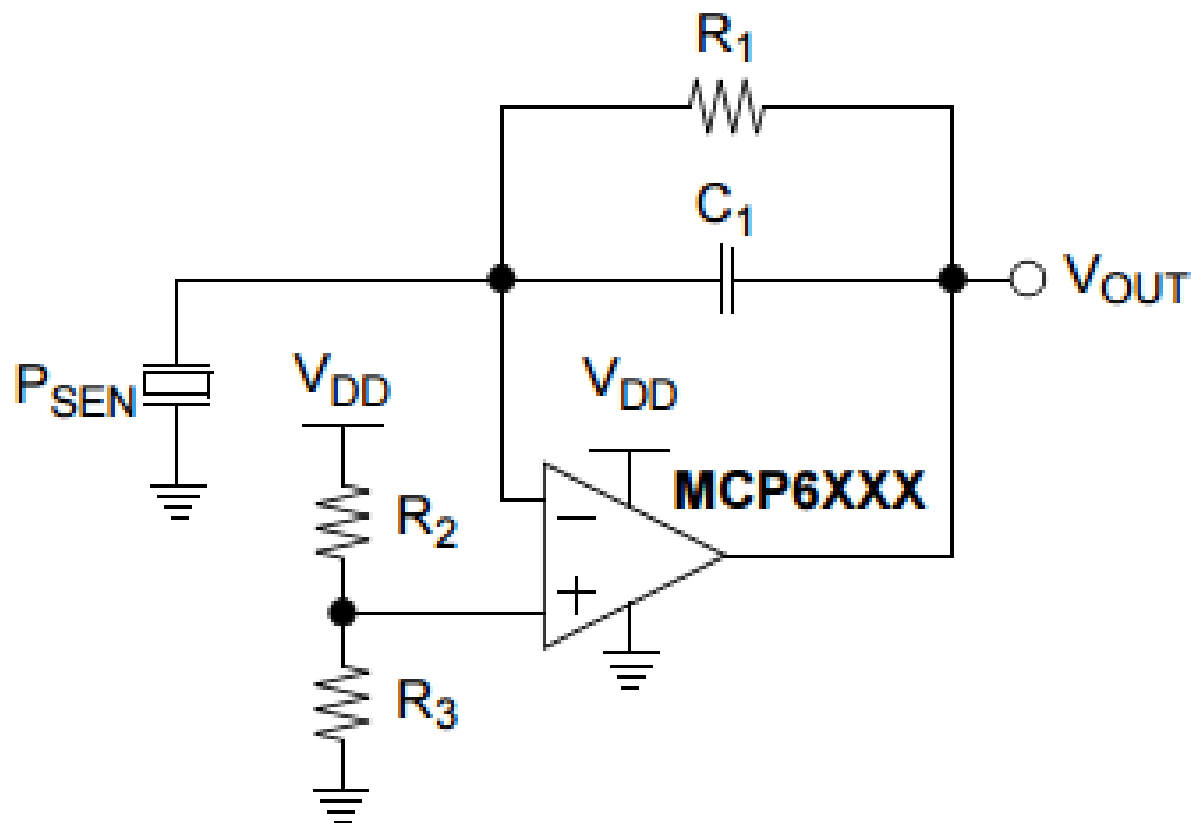
- Wysoki CMRR
- Wyjście stosunkowe (z ADC wykorzystującym VDD jako Uref)
- Detekcja zwarcia/rozwarcia czujnika

Wady:

Straty mocy
Konieczne użycie sygnału AC

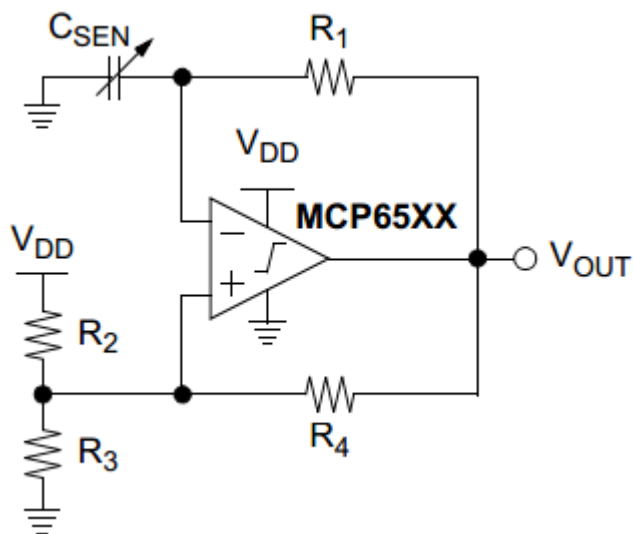
Są to wzmacniacze AC z częstotliwościami odcięcia:
górną $f_2 = 1/(2\pi R_2 C_2)$ i dolną $f_1 = 1/(2\pi R_1 C_1)$.

Kondycjonowanie sensorów z wyjściem ładunkowym



Kondycjonowanie sensorów z wyjściem pojemnościowym

Oscylator - f zależna od C



Zalety:

Niski koszt

Wyjście ilorazowe

Łatwe połączenie z μC

Wada:

mała dokładność

Zastosowanie:

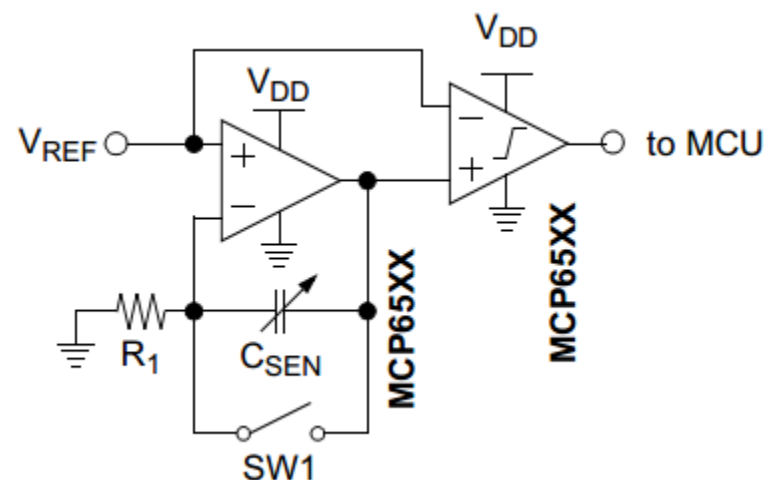
czujnik wilgotności, dotyku, poziomu cieczy

Kondycjonowanie sensorów z wyjściem pojemnościowym

Układ z pojedynczym całkowaniem prądu

Działanie:

- SW1 (sterowany z uC) zwiera napięcie na C_{SEN} i rozpoczyna całkowanie
- napięcie U_{wy} liniowo narasta w czasie
- czas narastania zależy od V_{REF} i R_1
- po osiągnięciu $U=U_{REF}$ sygnał z komparatoraysterowuje MCU



Zalety:

możliwość pracy z uC

Dokładność zależy od V_{REF} i R_1

Wada: cena

Zastosowanie:

czujnik wilgotności, dotyku, poziomu cieczy

Zabezpieczenie wejść przeciwko:

- ESD (Electrostatic Discharge),
- przepięciom, przetężeniom

Wykrywanie uszkodzenia czujnika

Filtracja:

-Filtry analogowe na wejściu (polepszają pracę ADC, dzięki nim można uniknąć aliasingu, zmniejszyć pasmo i częstotliwość próbkowania → oszczędność mocy obliczeniowej) – typu RC lub aktywne

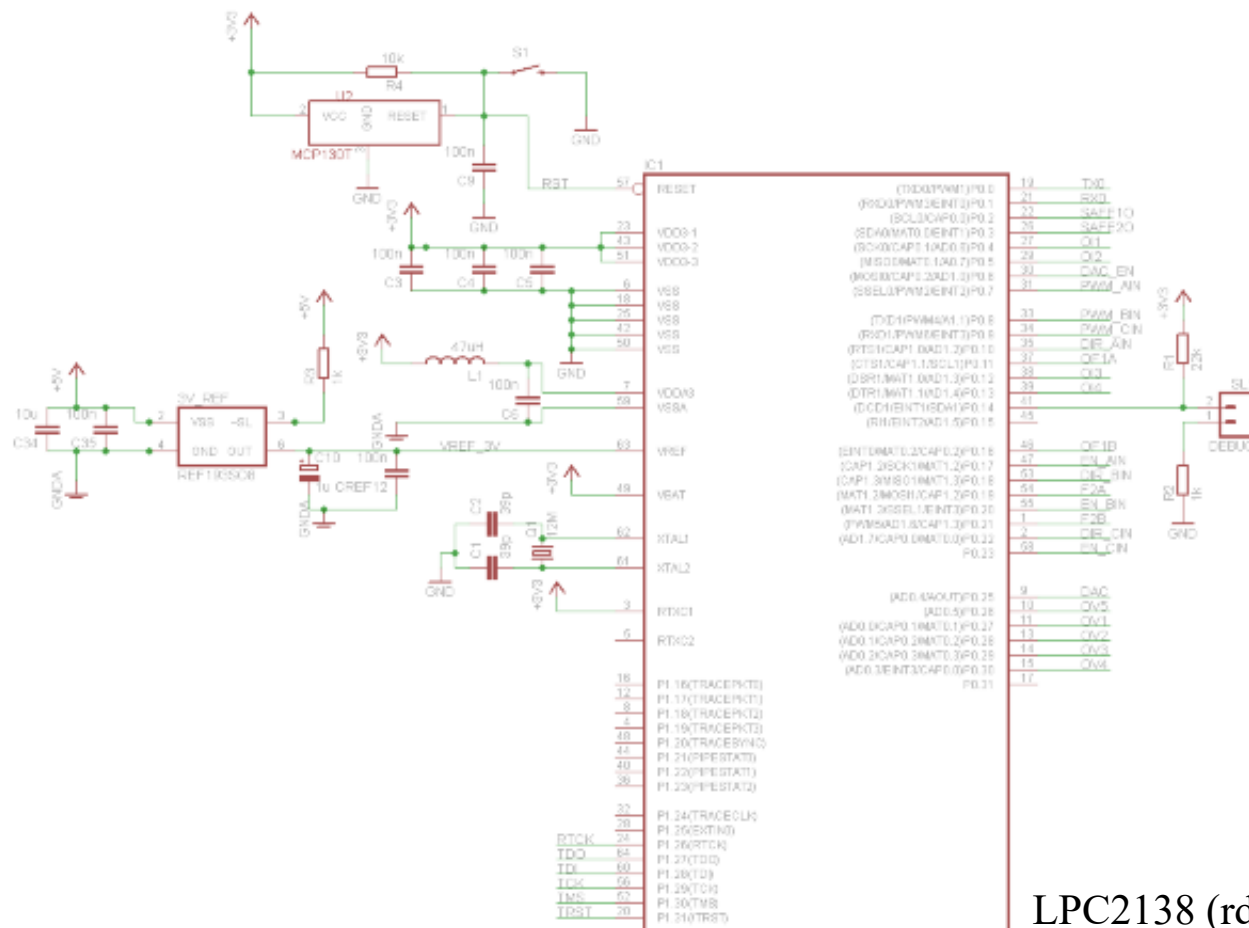
Konwersja ADC

Korekcja (błędów, charakterystyk nieliniowych (wielomiany))

Kalibracja (sprzętowa, np. rezystor nastawczy lub programowa – firmware)

Kondycjonowanie – przykłady

Przykład realizacji układu współpracującego z czujnikami różnego typu:



1. Sygnały napięciowe:

- (a) 0-10V,
- (b) $\pm 10V$,
- (c) $\pm 5V$,

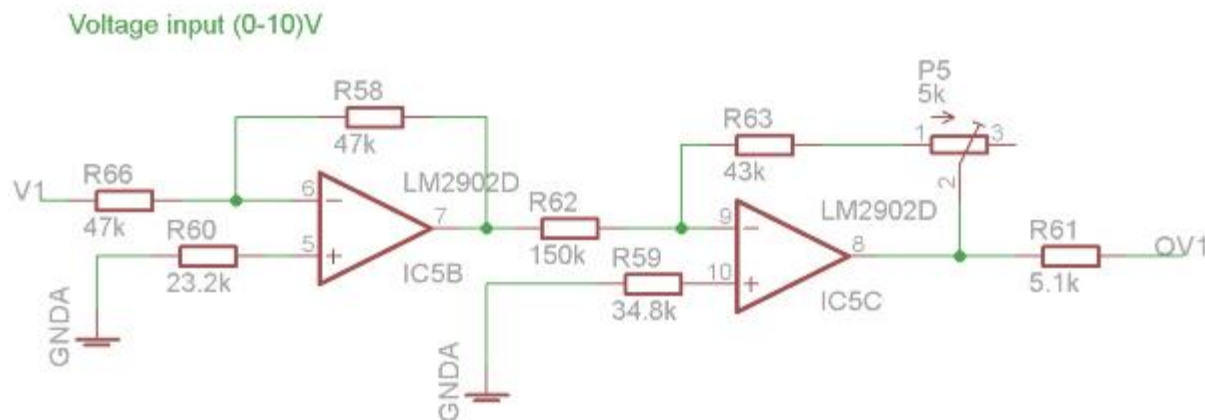
2. Sygnały prądowe:

- (a) 0-20mA,
- (b) 4-20mA.

Kondycjonowanie – przykłady

Dostosowanie poziomów napięcia 0-10 V do 0-3 V

$$K = \frac{R63 + P5}{R62} = 0.33$$

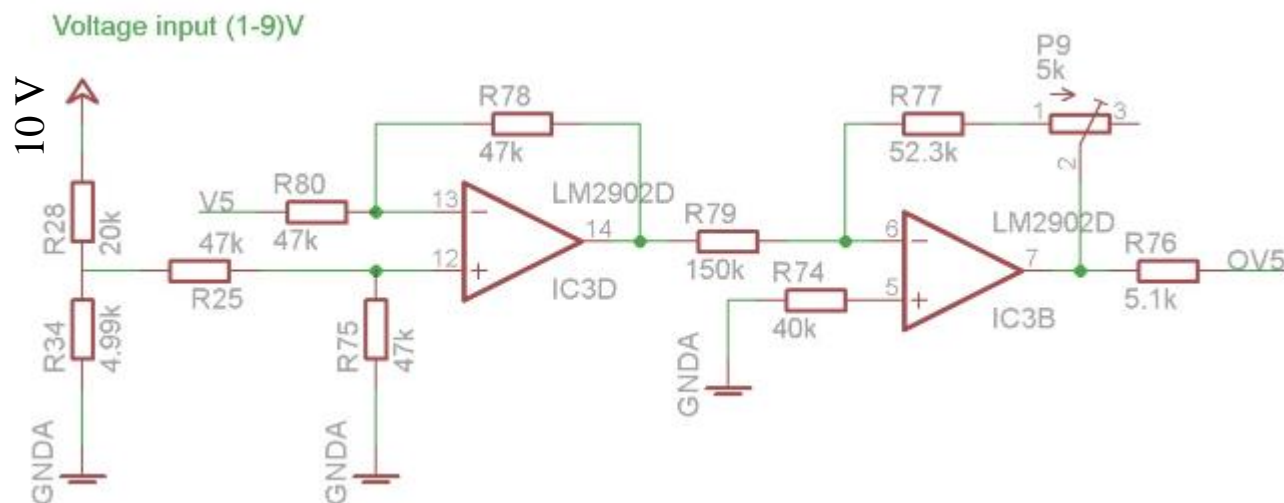


I stopień: WO odwracający, wzmacnienie -1

II stopień: WO odwracający – dopasowanie poziomu sygnału do zakresu 0-3 V i odwrócenie go

Kondycjonowanie – przykłady

Dostosowanie poziomów napięcia 1-9 V do 0-3 V



$$K = \frac{R77 + P9}{R79} = 0.375$$

1. Sygnały napięciowe:

- (a) 0-10V,
- (b) $\pm 10V$,
- (c) $\pm 5V$,

2. Sygnały prądowe:

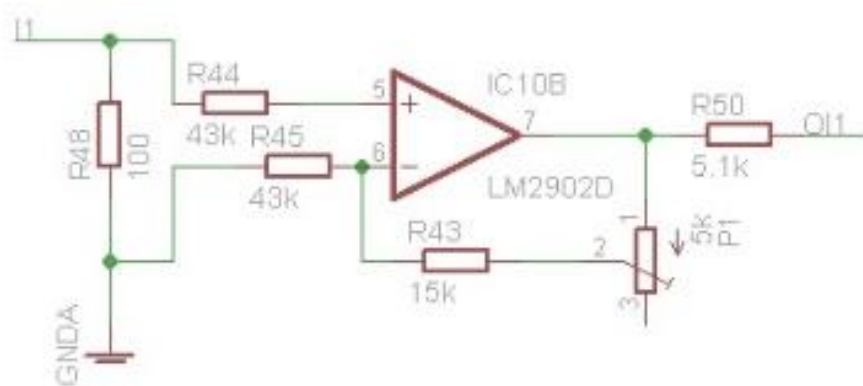
- (a) 0-20mA,
- (b) 4-20mA.

I stopień: WO odwracający i odejmujący - usunięcie składowej stałej 1 V (konwersja do poziomów -8 – 0 V)

II stopień: WO odwracający – dopasowanie poziomu sygnału do zakresu napięcia wyj. i odwrócenie go

Kondycjonowanie – przykłady

Zamiana sygnału z wyjścia prądowego 4-20 mA na zakres 0,6-3 V

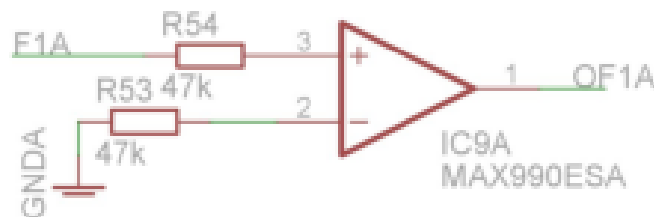


$$K = 1 + \frac{R43 + P1}{R45} = 1.5$$

- I stopień – zamiana I/U - na R48 odkłada się napięcie 0,4-2 V
- II stopień: WO nieodwracający – dopasowanie poziomu sygnału do zakresu 0,6-3 V

Kondycjonowanie – przykłady

Zamiana sygnału sinusoidalnego na prostokątny



MAX990ESA – detektor przejścia przez 0

Wykorzystany dla sygnałów bez składowej stałej (napięcia 0,7 – 5 V)

Wyjście podane bezpośrednio na wejścia cyfrowe uC.

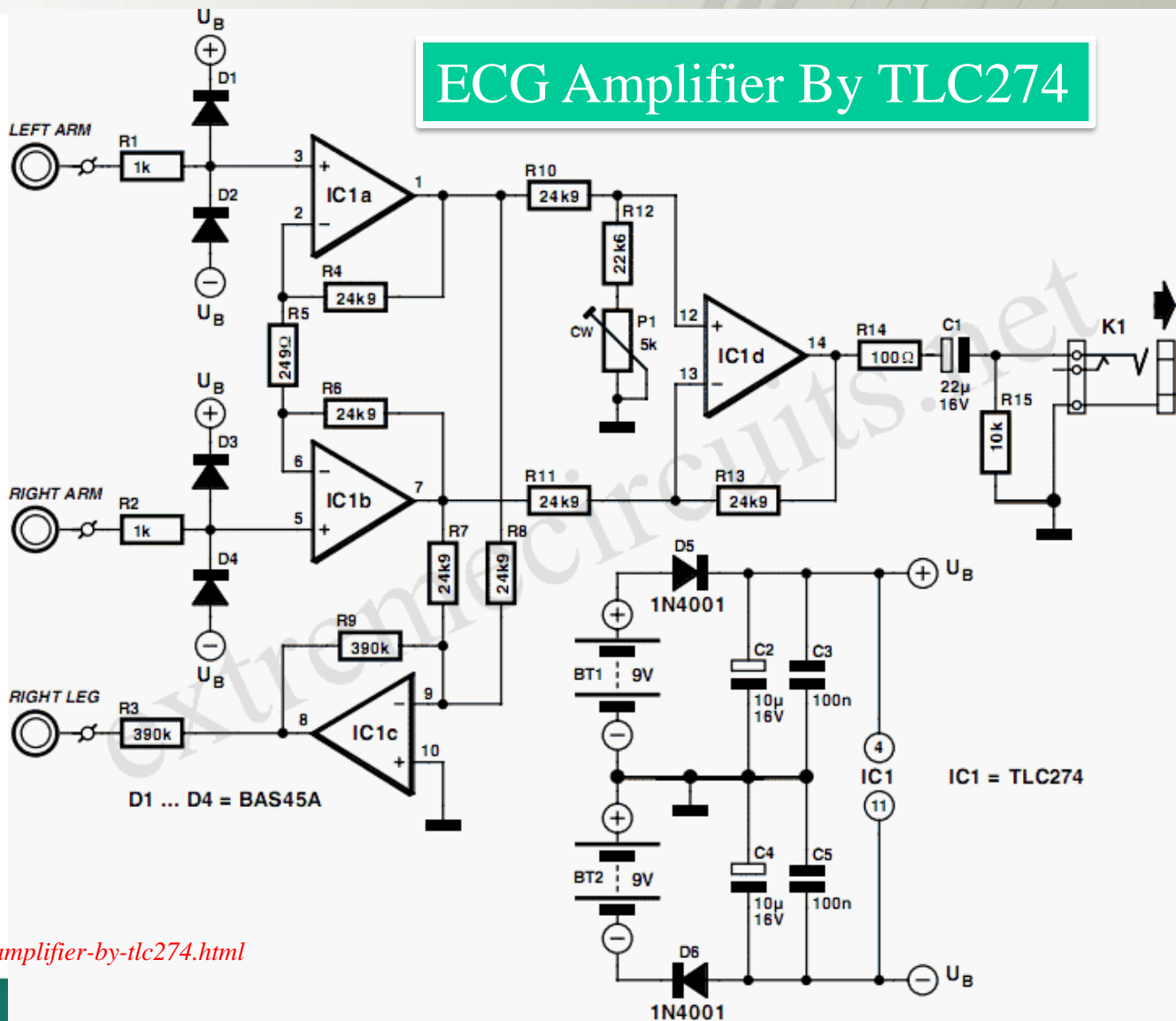
Kondycjonowanie – przykłady

D1-D4 – zabezpieczenie przeciw ESD

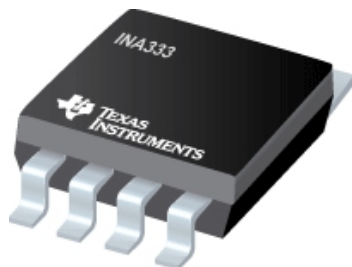
Ustawienie CMRR:

- zewrzeć L i R,
- podać 100mV 50Hz na te wejścia
- zminimalizować poziom sygnału Uwyj (pot. P1)

prawa noga – poziom odniesienia



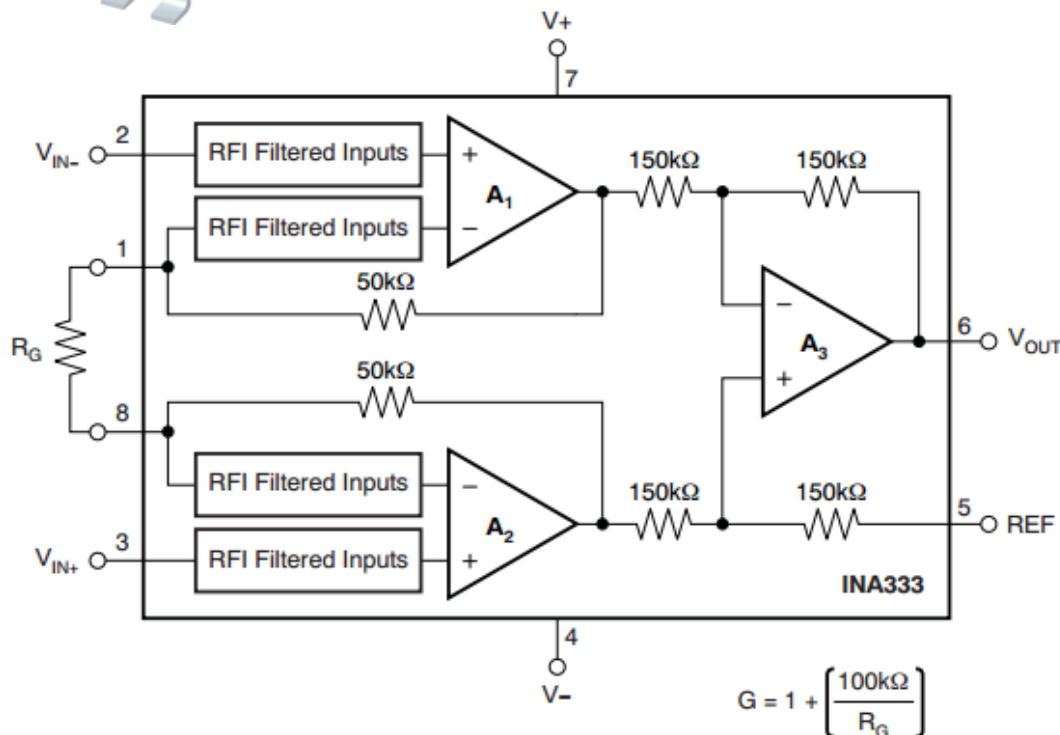
Kondycjonowanie – przykłady



INA333 (26.69 zł netto w TME):

Low Power, Precision Instrumentation Amplifier

Micro-Power (50μA), Zero-Drift, Rail-to-Rail Out Instrumentation Amplifier (Rev. B)



FEATURES

- **LOW OFFSET VOLTAGE:** 25μV (max), $G \geq 100$
- **LOW DRIFT:** 0.1μV/°C, $G \geq 100$
- **LOW NOISE:** 50nV/√Hz, $G \geq 100$
- **HIGH CMRR:** 100dB (min), $G \geq 10$
- **LOW INPUT BIAS CURRENT:** 200pA (max)
- **SUPPLY RANGE:** +1.8V to +5.5V
- **INPUT VOLTAGE:** (V-) +0.1V to (V+) -0.1V
- **OUTPUT RANGE:** (V-) +0.05V to (V+) -0.05V
- **LOW QUIESCENT CURRENT:** 50μA
- **OPERATING TEMPERATURE:** -40°C to +125°C
- **RFI FILTERED INPUTS**
- **MSOP-8 AND DFN-8 PACKAGES**

APPLICATIONS

- **BRIDGE AMPLIFIERS**
- **ECG AMPLIFIERS**
- **PRESSURE SENSORS**
- **MEDICAL INSTRUMENTATION**
- **PORTABLE INSTRUMENTATION**
- **WEIGH SCALES**
- **THERMOCOUPLE AMPLIFIERS**
- **RTD SENSOR AMPLIFIERS**
- **DATA ACQUISITION**

Kondycjonowanie – przykłady

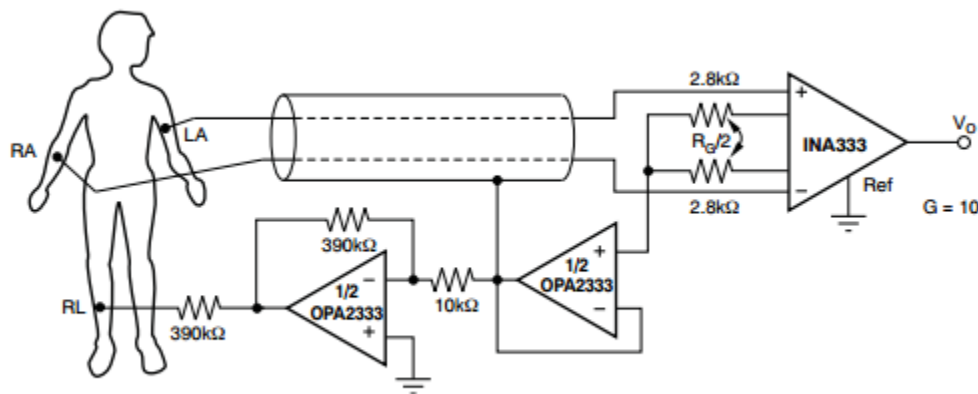


Figure 36. ECG Amplifier With Right-Leg Drive

Table 1. Commonly-Used Gains and Resistor Values

DESIRED GAIN	R_G (Ω)	NEAREST 1% R_G (Ω)
1	NC ⁽¹⁾	NC
2	100k	100k
5	25k	24.9k
10	11.1k	11k
20	5.26k	5.23k
50	2.04k	2.05
100	1.01k	1k
200	502.5	499
500	200.4	200
1000	100.1	100

(1) NC denotes no connection. When using the SPICE model, the simulation will not converge unless a resistor is connected to the R_G pins; use a very large resistor value.

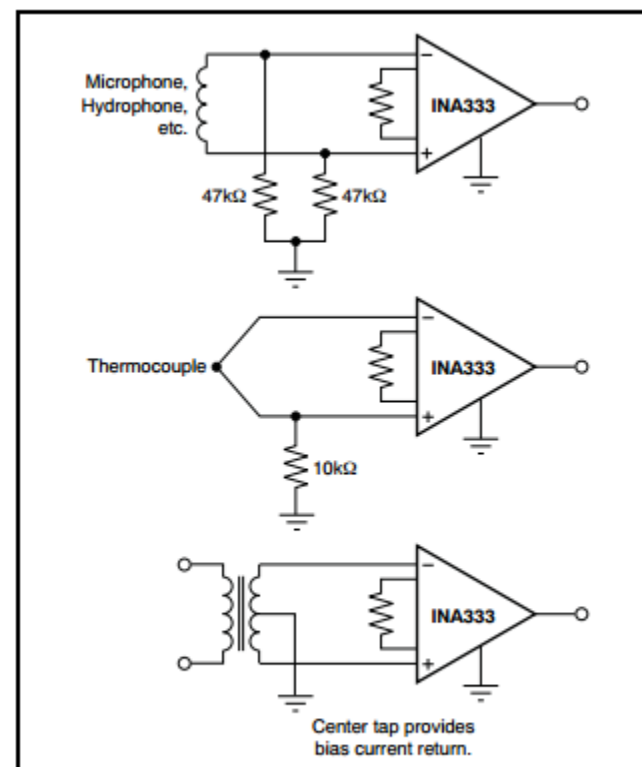


Figure 34. Providing an Input Common-Mode Current Path