

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Точните измервания на температурата се изискват в много индустриални системи, например в приложенията за контрол на процесите и инструментите. В повечето случаи, поради ниско ниво и/или нелинейност, изходният сигнал на сензора трябва да бъде правилно снет и усилен, преди да може да се извърши по-нататъшна обработка. Някои популярни типове температурни преобразуватели и техните характеристики са:

THERMOCOUPLE	RTD	THERMISTOR	SEMICONDUCTOR
Widest Range: −184°C to +2300°C	Range: −200°C to +850°C	Range: 0°C to +100°C	Range: −55°C to +150°C
High Accuracy and Repeatability	Fair Linearity	Poor Linearity	Linearity: 1°C Accuracy: 1°C
Needs Cold Junction Compensation	Requires Excitation	Requires Excitation	Requires Excitation
Low-Voltage Output	Low Cost	High Sensitivity	10mV/K, 20mV/K, or 1μA/K Typical Output

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

С изключение на интегрираните полупроводникови сензори, всички показани температурни сензори имат нелинейни предавателни характеристики. В миналото сложни аналогови схеми са проектирани да коригират нелинейността на сензора. Тези схеми често изискват ръчно калибриране и прецизни резистори за постигане на желаната точност. Днес обаче изходите на сензорите могат да бъдат преобразувани директно от АЦП с висока разделителна способност. След това линеаризацията и калибрирането могат да бъдат извършени цифрово, което значително намалява разходите и сложността.

Терморезисторите (RTD) са точни, но изискват възбуждащо напрежение или ток и обикновено се използват в мостови схеми. **Термисторите** имат най-голяма чувствителност, но са и най-нелинейни. Въпреки това, те са популярни в преносими приложения за измерване на температурата на батерията и други критични системни температури.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Съвременните **полупроводникови температурни сензори** предлагат както висока точност, така и линейност в работен диапазон от около -55°C до $+150^{\circ}\text{C}$. Вътрешните усилватели могат да мащабират изхода до подходящи стойности, като например $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Те също се използват в схеми за компенсация на студения край на термодвойки с широк температурен диапазон. Полупроводниковите температурни сензори също са интегрирани в ИС, които изпълняват други функции за наблюдение на хардуера - пример са вградените транзисторни сензори, използвани в съвременните микроконтролери.

Компактните преносими устройства с голяма мощност често имат охлаждане с вентилатор, за да се поддържа температурата на безопасна стойност. За да се удължи живота на батерията, вентилаторът трябва да работи само когато е необходимо. Точното управление на вентилатора изисква от своя страна измерване на температурата от подходящ температурен сензор.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

Термодвойките са много разпространени сензори за измерване на температурата. Тяхната работа се основава на факта, че два различни метала, свързани заедно, произвеждат изходно напрежение, приблизително пропорционално на температурата. Те са малки, здрави, сравнително евтини и работят в най-широк температурен диапазон от контактните сензори.

Термодвойките са особено полезни за извършване на измервания при изключително високи температури (до $+2300^{\circ}\text{C}$) и във враждебна среда.

Въпреки това, изходното напрежение на термодвойките е само няколко милivolта и затова те обикновено изискват прецизно усилване за по-нататъшна обработка. Те също така изискват техники за компенсиране на студения край (cold-junction-compensation - CJC). Те са по-линейни от много други сензори и тяхната нелинейност е добре характеризирана.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

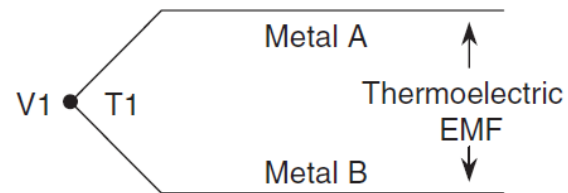
Принципът на работа на термодвойките се основава на генерирането на електродвижещо напрежение – $E_{ДН}$ (EMF) когато са съединени два различни метала, А и В, при всяка температура над абсолютната нула. Появява се потенциална разлика между тях, т.е. тяхното „термоелектрическо ЕДН“ или „контактен потенциал“, V_1 . Това напрежение е функция на температурата на измервателния край, T_1 . Ако се съединят два проводника от метал А с метал В на две места, се образуват два измервателни края, T_1 и T_2 . Ако двата края са при различни температури, ще има резултантно $E_{ДН}$ във веригата и ще тече ток I , както се определя от $E_{ДН} = V_1 - V_2$ и общото съпротивление R във веригата.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

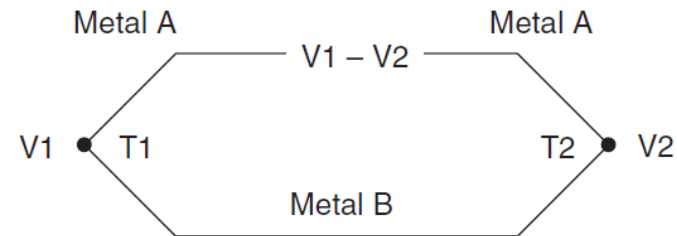
Измерване на температура

Измерване с термодвойки

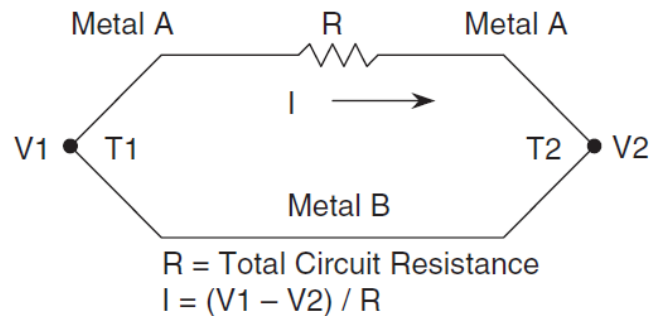
A. THERMOELECTRIC VOLTAGE



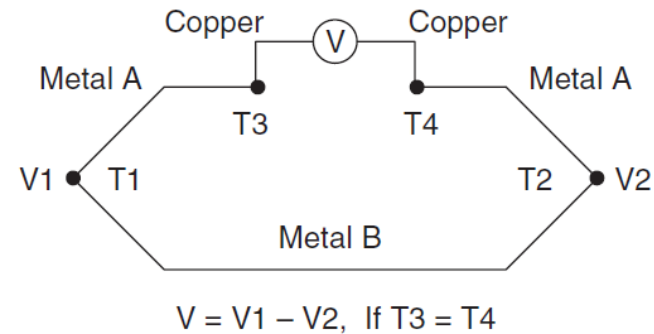
C. THERMOCOUPLE MEASUREMENT



B. THERMOCOUPLE



D. THERMOCOUPLE MEASUREMENT



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

Ако се отвори веригата, напрежението между прекъснатите краища ще бъде равно на резултантното термоелектрично *ЕДН* на веригата, и ако се измери това напрежение, може да се използва, за да се изчисли температурната разлика между двата края. Основният принцип е, че термодвойката винаги измерва температурната разлика между два края, а не абсолютната температура на един край. Може да се измери температурата на измервателния край само ако се знае температурата на другия край. Това е произходът на термините „референтен“ или „студен“ край.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

Най-често срещаните метали, използвани за термодвойки, са желязо, платина, родий, рений, волфрам, мед, алумел (съставен от никел и алуминий), хромел (съставен от никел и хром) и константан (съставен от мед и никел). Класификацията е според ANSI (American National Standards Institute).

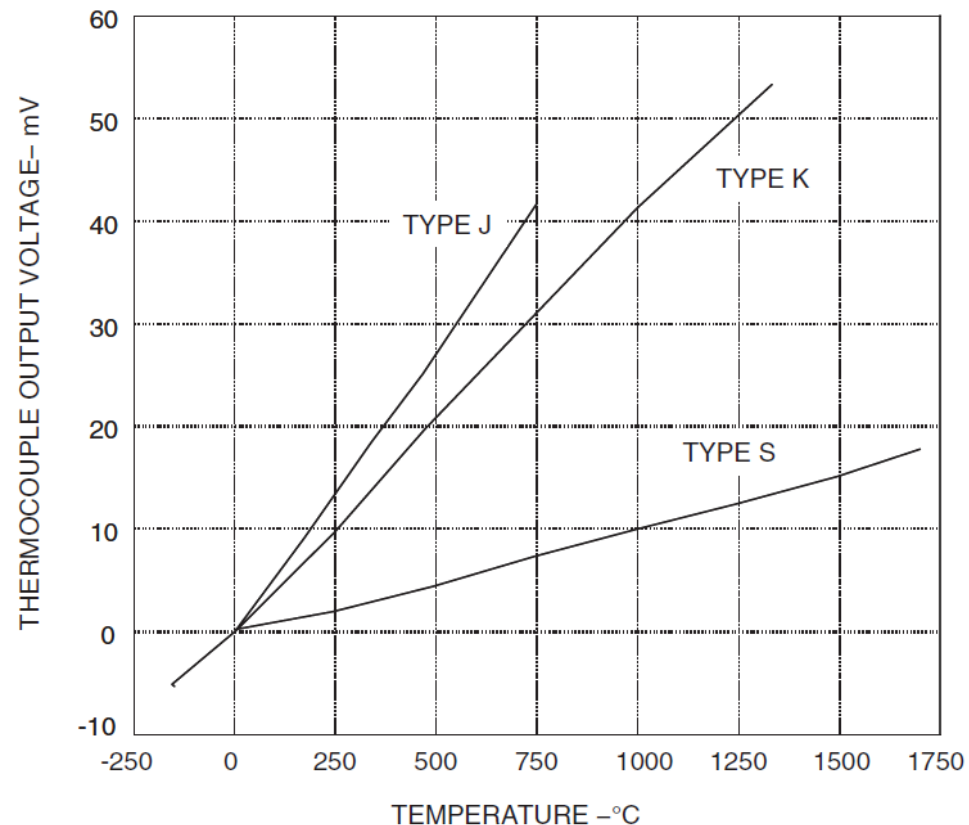
JUNCTION MATERIALS	TYPICAL USEFUL RANGE (°C)	NOMINAL SENSITIVITY ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	ANSI DESIGNATION
Platinum (6%)/ Rhodium- Platinum (30%)/Rhodium	38 to 1800	7.7	B
Tungsten (5%)/Rhenium- Tungsten (26%)/Rhenium	0 to 2300	16	C
Chromel-Constantan	0 to 982	76	E
Iron-Constantan	0 to 760	55	E
Chromel-Alumel	-184 to 1260	39	K
Platinum (13%)/Rhodium- Platinum	0 to 1593	11.7	R
Platinum (10%)/Rhodium- Platinum	0 to 1538	10.4	S
Copper-Constantan	-184 to 400	45	T

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

Сравнени са кривите напрежение-температура за три често използвани термодвойки, типове J, K и S, отнасящи се до 0°C фиксирана референтна температура на студения край. От тях с най-голяма чувствителност са термодвойки тип J, генериращи най-високото изходно напрежение за дадена температурна промяна, но в сравнително тесен температурен диапазон. От друга страна, термодвойките тип S са с най-малка чувствителност, но могат да работят в много по-широк температурен диапазон.



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

Тези характеристики са много важни за проектирането на схеми за обработване на сигнала от термодвойка. Основно съображение е фактът, че практически всяка използвана термодвойка ще има относително нисък изходен сигнал, поради което те обикновено изискват внимателно прилагане на стабилни усилватели с голямо усилване. За да се разбере по-пълно поведението на термодвойката, е необходимо също така да се вземат предвид нелинейностите в реакцията им на температурни разлики.

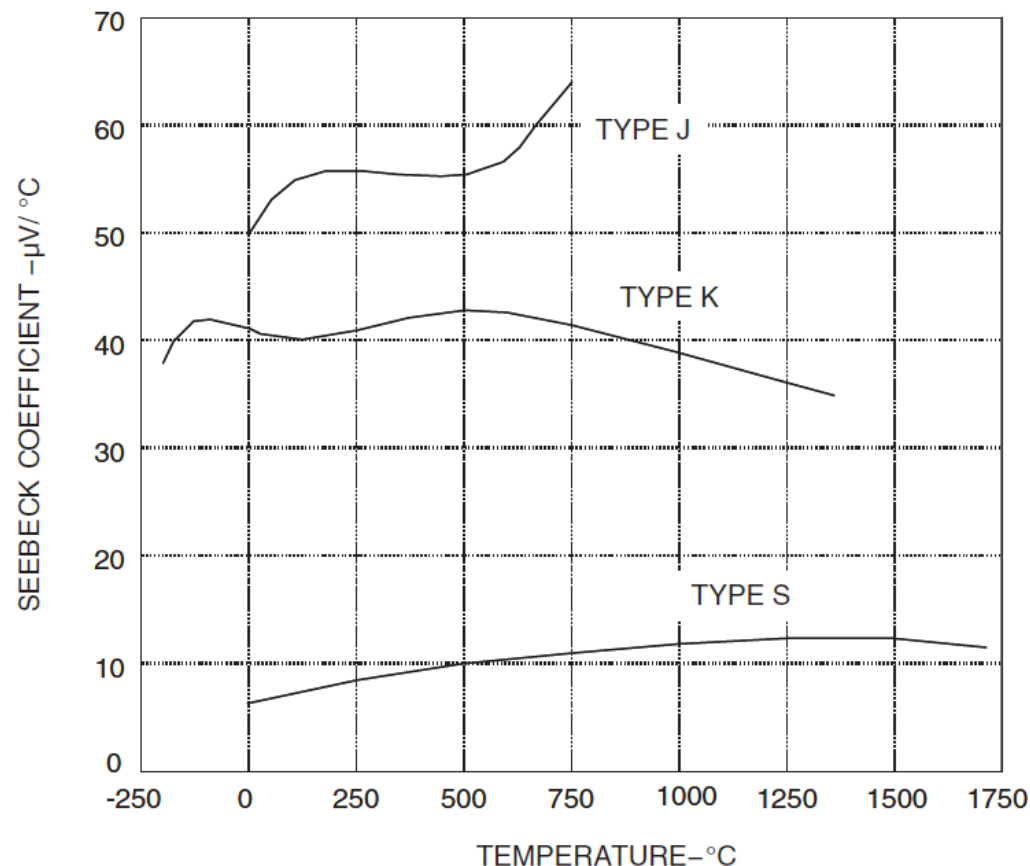
Въпреки че внимателното разглеждане на тези данни може да разкрие факта, че нито една от характеристиките не е съвсем линейна, точното естество на нелинейността не е толкова очевидно. Това, което е необходимо, е друга гледна точка на зависимостите, показани от тези криви, за да се получи по-добра представа за това как различните устройства могат да бъдат използвани най-добре.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

Коефициентът на Seebeck на термодвойката се променя в зависимост от температурата на горещия край. Той представлява промяната на изходното напрежение с промяната на температурата на горещия край (т.е. първата производна на изхода по отношение на температурата). Разглежда се случая, при който температурата на студения край се поддържа 0°C .



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

Една идеална линейна термодвойка би имала постоянен коефициент на Seebeck при различна температура, но на практика всички термодвойки са нелинейни до известна степен. При избора на измервателна термодвойка за конкретен температурен диапазон трябва да се избере такава, чийто коефициент на Seebeck варира възможно най-малко в този диапазон.

Например, термодвойка тип J има номинален коефициент на Seebeck от $55 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, който варира с по-малко от $1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ между 200°C и 500°C , което я прави идеална за измервания в този диапазон (плоската област на най-горната крива).

Представянето на тези данни илюстрира диапазона и чувствителността на трите типа термодвойки, така че проектантът на системата да може с един поглед да определи, че термодвойка тип S има най-широк полезен температурен диапазон, но термодвойка тип J е по-чувствителната от трите.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

Thermocouple Type	Lead Metal A (+)	Lead Metal B (–)	Temperature Range (°C)	EMF over Temperature Range (mV)	Seebeck Coefficient ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ at 0°C)
J	Iron	Constantan	–210 to 1200	–8.095 to 69.553	50.37
K	Chromel	Alumel	–270 to 1370	–6.458 to 54.886	39.48
T	Copper	Constantan	–200 to 400	–6.258 to 20.872	38.74
E	Chromel	Constantan	–270 to 1000	–9.385 to 76.373	58.70
S	Platinum and 10% Rhodium	Platinum	–50 to 1768	–0.236 to 18.693	10.19

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

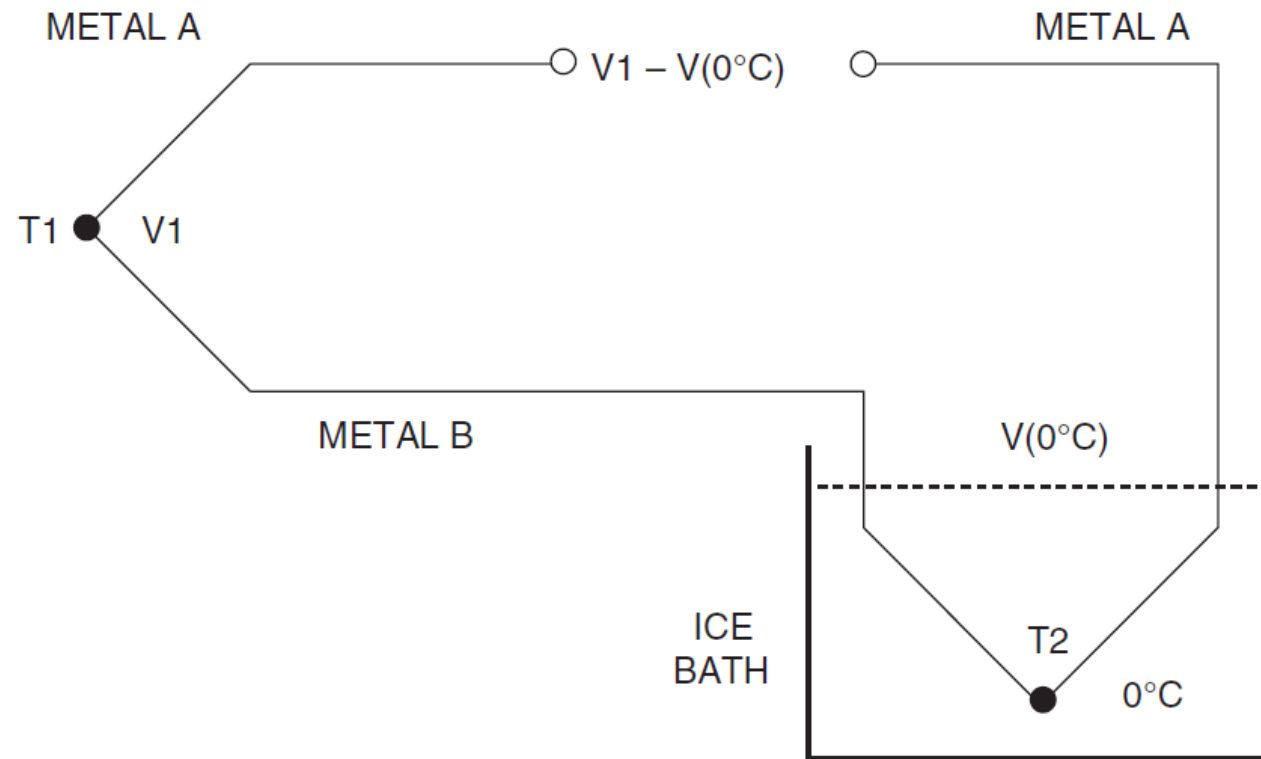
Термодвойките генерират напрежение, макар и много малко, и не изискват възбуждане за тази най-основна операция. Обаче, винаги са включени два края ($T1$, температурата на измервателния край и $T2$, референтната температура на другия край). Ако $T2 = T1$, тогава $V2 = V1$ и изходното напрежение $V = 0$. Изходните напрежения на термодвойките често се дефинират по отношение на референтна температура на края от 0°C (оттук и терминът студен или леден край). В такава система термодвойката осигурява подходящо изходно напрежение от 0V при 0°C . Очевидно, за да се поддържа точността на системата, еталонният край трябва да остане при добре дефинирана температура (но не непременно 0°C).

Концептуално лесен подход е когато температурата на края $T2$ се поддържа 0°C поради потапянето му в топящ се лед, това е доста неудобно за поддръжка.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

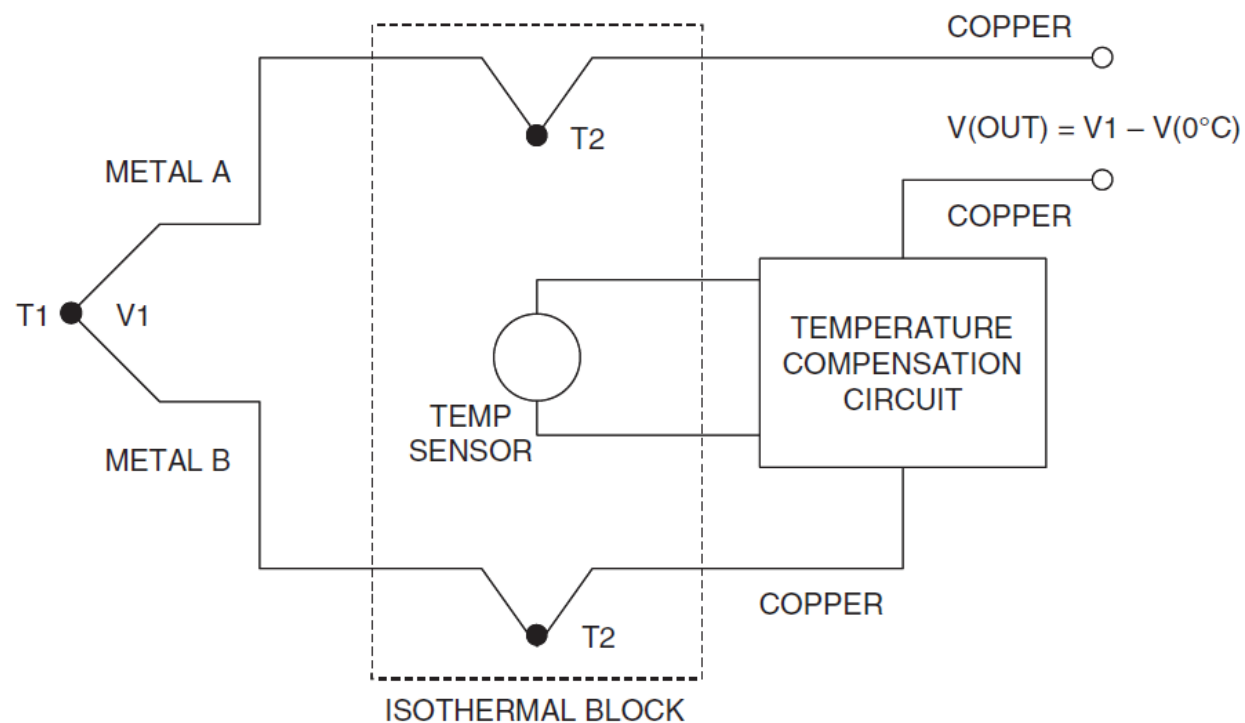


ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

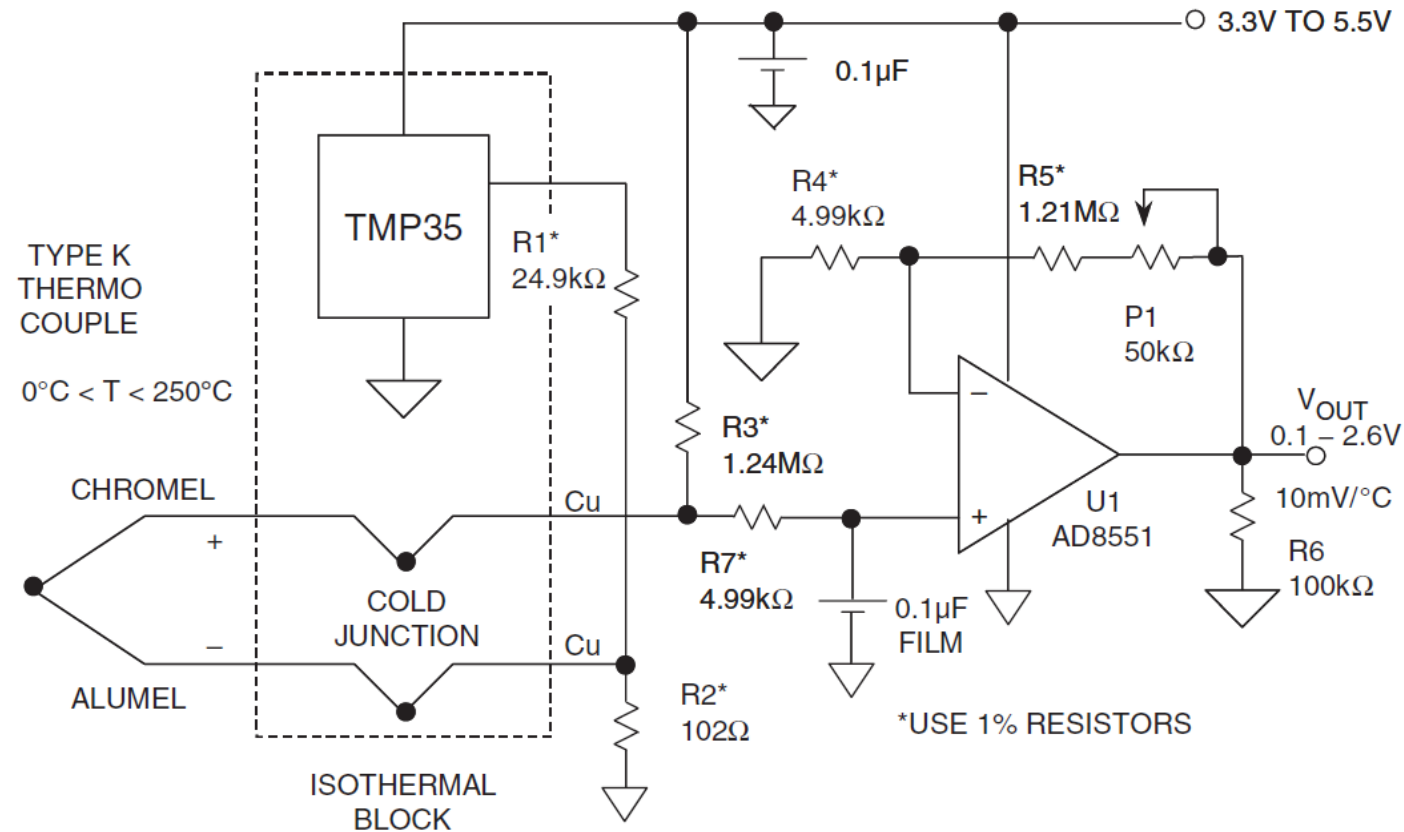
В съвременните схеми неудобната еталонна температура на топящ се лед е заменена от електронен еквивалент. Температурен сензор от друг вид (често полупроводников сензор, понякога термистор) измерва температурата на студения край. В този случай обичайна практика е да се елиминира допълнителният проводник на термодвойката и нейните проводници да постъпват в изотермичен блок.



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

Изходът на термодвойка тип К е свързан към схема за преобразуване в диапазона между 0°C и 250°C , като същевременно се осигурява компенсация на студения преход. Схемата работи с операционен усилвател AD8551 с еднополярно захранване от $+3,3\text{V}$ до $+5,5\text{V}$ и е проектирана да има базова предавателна характеристика от $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Термодвойката тип К има коефициент на Seebeck от приблизително $40\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, следователно при студения край се използва делител с $R1$ и $R2$, за да се въведе противоположен температурен коефициент на студения край от $-40\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, тъй като сензорът TMP35 е с температурен коефициент от $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Това предотвратява изотермичната, студена връзка между пистите на печатната платка и проводниците на термодвойката от въвеждане на грешка в измерената температура. Тази компенсация работи изключително добре за околни температури от 20°C до 50°C .

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

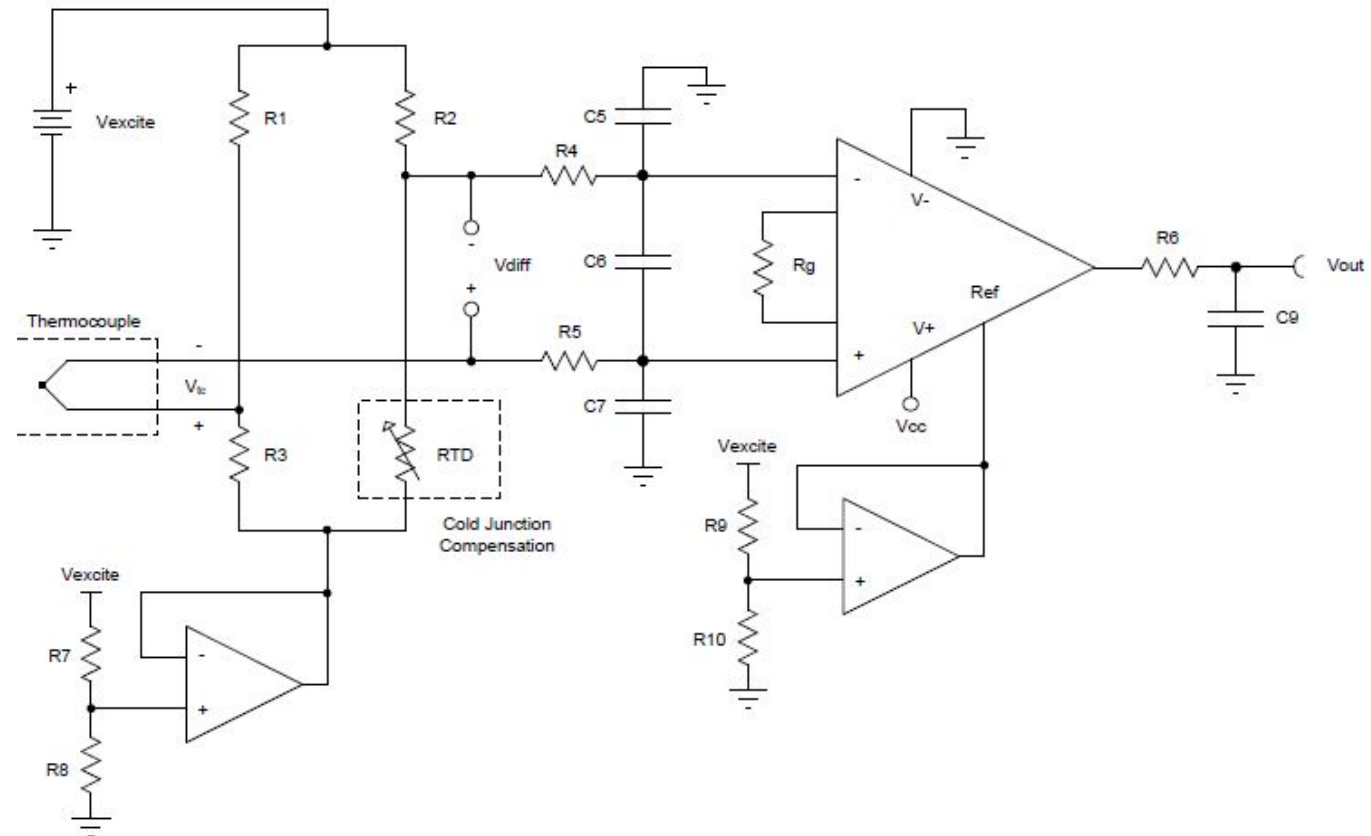
Измерване с термодвойки

В температурен диапазон на измерване от 250°C , схемата произвежда промяна на изходното напрежение от $\sim 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Тъй като необходимата максимална стойност на изходното напрежение е $2,5\text{V}$, коефициентът на усилване е ~ 250 . При стойност на $R4$ $4,99\text{k}\Omega$, стойността на $R5$ е около $1,24\text{M}\Omega$. С фиксирана стойност от $1,21\text{M}\Omega$ за $R5$ и потенциометър от $50\text{k}\Omega$ последователно се настройва точно максималното изходно напрежение. Усилвателят трябва да има малък дрейф и много голямо усилване. Подходящ е AD8551 или прецизен биполярен операционен усилвател OP777. Резисторът $R3$ се добавя за подобряване на линейността като прибавя изходно компенсиращо напрежение от около $0,1\text{V}$ (за номинално захранващо напрежение от 5V). $R3$ има полезна функция за откриване на прекъсната термодвойка. Тогава изходното напрежение надвишава 3V .

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

В този пример компенсацията на студения край е с използване на мостова схема. Термочувствителният елемент за компенсация в моста е Pt100 (RTD). Елементите са изчислени така, че в диагонала да се генерира напрежение, което да отговаря на чувствителността на съответната термодвойка при температурата на студения ѝ край. И тук студеният край на термодвойката трябва да е при същата температура като RTD – изотермичен блок. Това обикновено са медни плочки, на които се закрепват елементите.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с термодвойки

Последователност на работа при измерване с термодвойки:

1. Измерва се напрежението на термодвойката;
2. Измерва се температурата на студения край (с друг сензор);
3. Изчислява се (от таблица или по формула) напрежението, което би генерирала термодвойката при така измерената температура на студения край;
4. Изчисленото (т.3) и измереното (т.1) напрежения се събират;
5. От получената сума се изчислява (или отчита от таблица) температурата на топлия край на термодвойката, това е резултатът от измерването.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с терморезистори

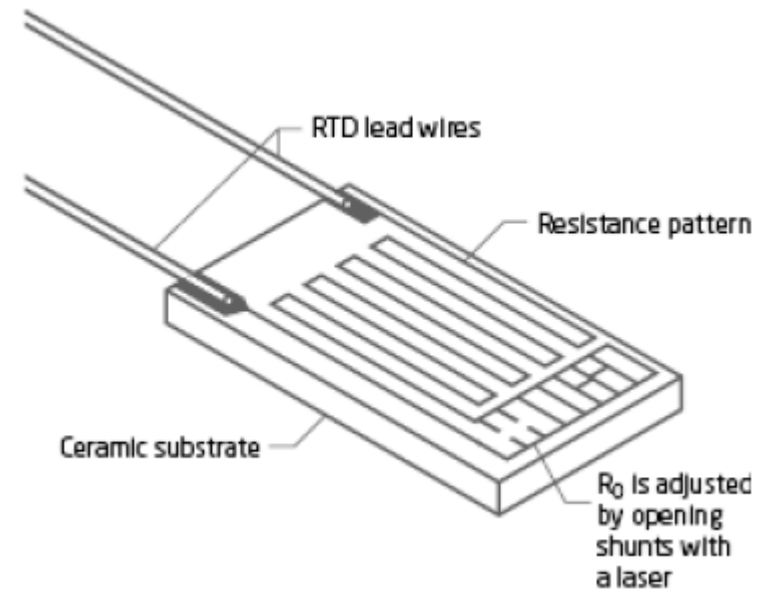
За разлика от термодвойката обаче, терморезисторът (RTD - Resistance Temperature Detector) е пасивен сензор и е необходимо възбуждане с напрежение или ток, за да се произведе изходно напрежение. Ниският температурен коефициент на RTD от $0,385\%/^{\circ}\text{C}$ изисква схема с голям коефициент на усилване, подобна на тази, използвана от термодвойка. Въпреки това, типичният пад на напрежението, наблюдаван в RTD, е много по-голям от изходното напрежение на термодвойка. Може да се избере RTD с голяма стойност и по-голяма мощност, но RTD с голяма стойност имат бавно време за реакция. Освен това, въпреки че цената на RTD е по-висока от тази на термодвойките, те използват медни проводници и термоелектричните ефекти от крайните съединения не влияят на тяхната точност. И накрая, тъй като тяхното съпротивление е функция на абсолютната температура, RTD не изискват компенсация на студения край.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с терморезистори

Ice Point, Alpha Value & RTD Type	1000 Ω 0.00375 Pt Thin Film	100 Ω 0.00385 Pt Thin Film	100 Ω 0.00385 Pt WW	100 Ω 0.003902 Pt WW
Temperature °C	Resistance (Ω)			
-200	199.49	18.10	18.10	19.76
-180	284.87	26.81	26.81	28.01
-160	368.57	35.35	35.35	36.17
-140	450.83	43.75	43.75	44.27
-120	531.83	52.04	52.04	52.31
-100	611.76	60.21	60.21	60.31
-80	690.78	68.30	68.30	68.27
-60	769.01	76.32	76.32	76.22
-40	846.58	84.27	84.27	84.15
-20	923.55	92.16	92.16	92.08
0	1000.00	100.00	100.00	100.00
20	1075.96	107.79	107.79	107.92
40	1151.44	115.54	115.54	115.84
60	1226.44	123.24	123.24	123.76
80	1300.96	130.89	130.89	131.69
100	1375.00	138.50	138.50	139.61
120	1448.56	146.06	146.06	147.53
140	1521.63	153.57	153.57	155.45
160	1594.22	161.04	161.04	163.37
180	1666.33	168.46	168.46	171.29
200	1737.96	175.83	175.83	179.21
220	1809.11	183.16	183.16	187.14



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с терморезистори

Трябва да се внимава с големината на възбудителната величина, приложена към RTD, тъй като прекомерният ток може да причини самонагриване. Всяко самонагриване променя температурата на RTD и следователно води до грешка в измерването. Следователно трябва да се обърне специално внимание на проектирането на схемата за снемане на сигнала, така че грешките при самонагриване да се поддържат под $0,5^{\circ}\text{C}$. Производителите определят грешки при самонагриване за различни стойности и размери на RTD, както в неподвижен, така и в движещ се въздух. За да се намали грешката, дължаща се на самонагриване, трябва да се използва минималният ток за постигане на необходимата разделителна способност на системата и да се избере най-голямата стойност на RTD, която води до приемливо време за реакция.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с терморезистори

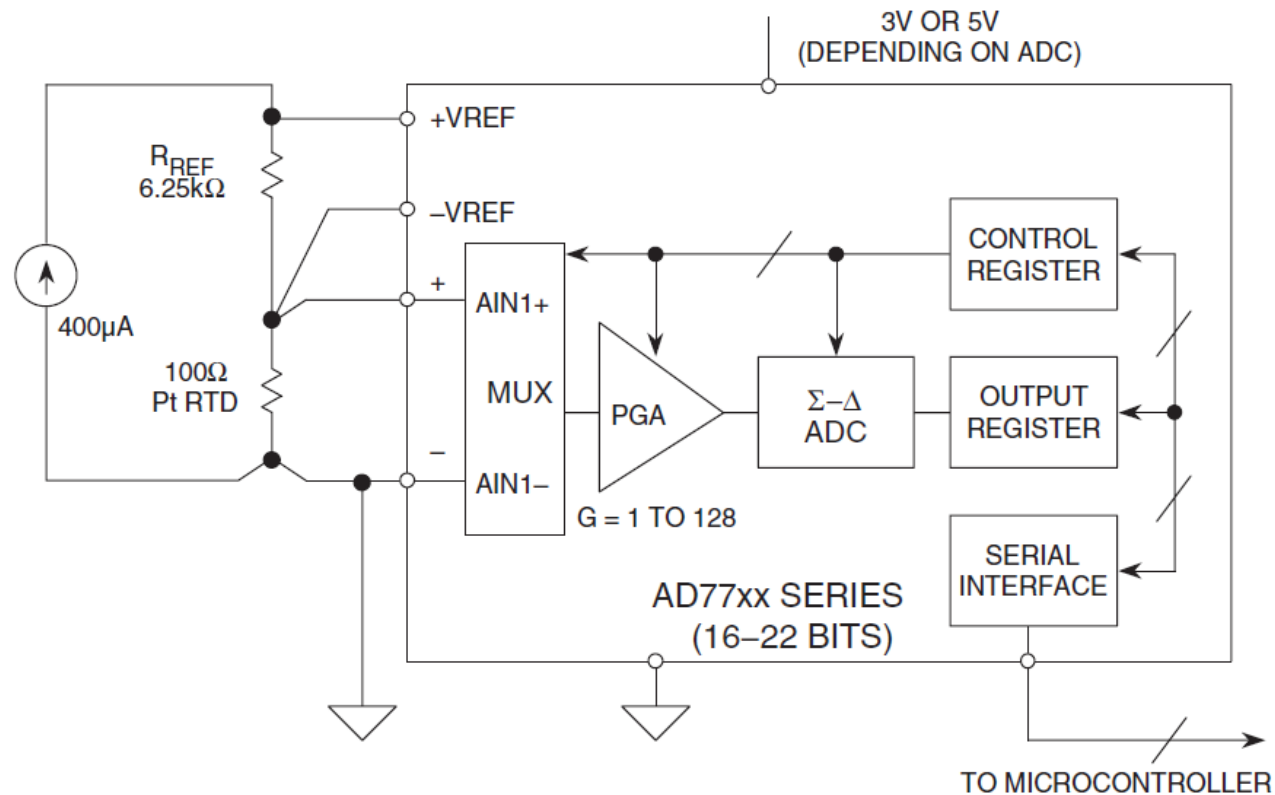
RTD обикновено се конфигурират в мостова схема с четири резистора. Изходното напрежение на моста се усилва от инструментален усилвател за по-нататъшна обработка.

Измервателните АЦП с висока разделителна способност обаче позволяват изходът на RTD да бъде преобразуван директно. Така линеаризацията може да се извърши цифрово, като по този начин се облекчават значително изискванията на аналоговата схема. Например, изходът на RTD може да бъде преобразуван от един представител на AD77xx серията АЦП с висока разделителна способност. Показан е 100Ω Pt RTD, възбуждан от източник на ток със стойност $400\mu\text{A}$. Източникът на възбудителен ток от $400\mu\text{A}$ за RTD също генерира $2,5\text{V}$ опорно напрежение за АЦП, благодарение на протичането на тока през резистор от $6,25\text{k}\Omega$, R_{REF} , като падът върху това съпротивление се подава към входните клеми V_{REF} (+) и (–) на АЦП.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

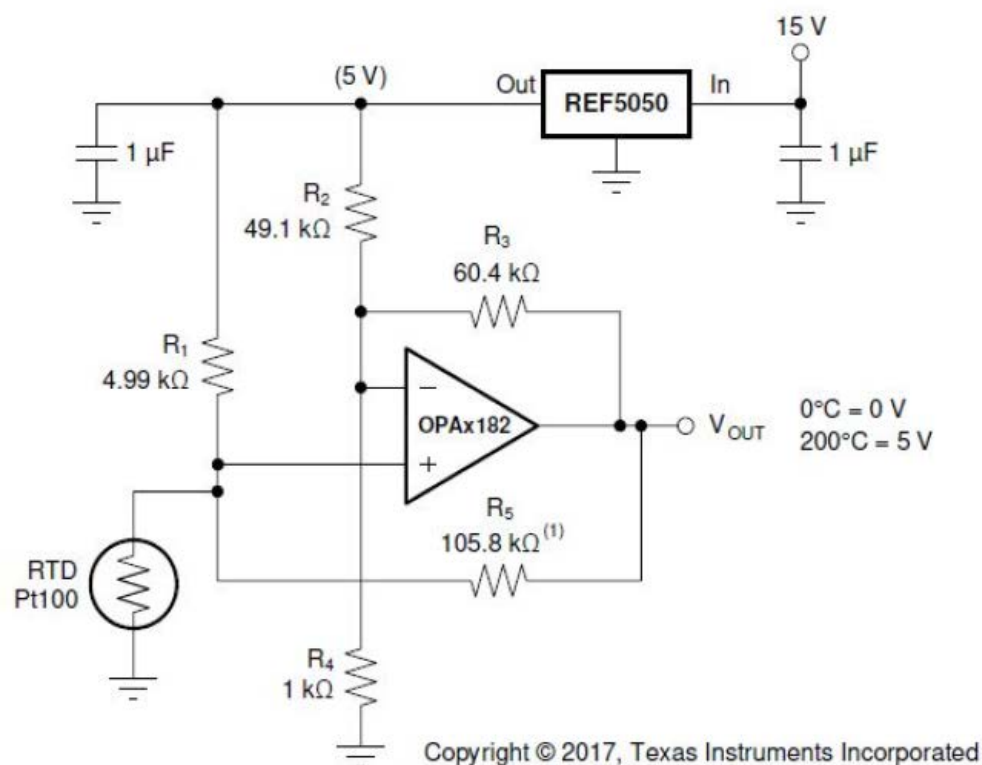
Измерване с терморезистори



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с терморезистори

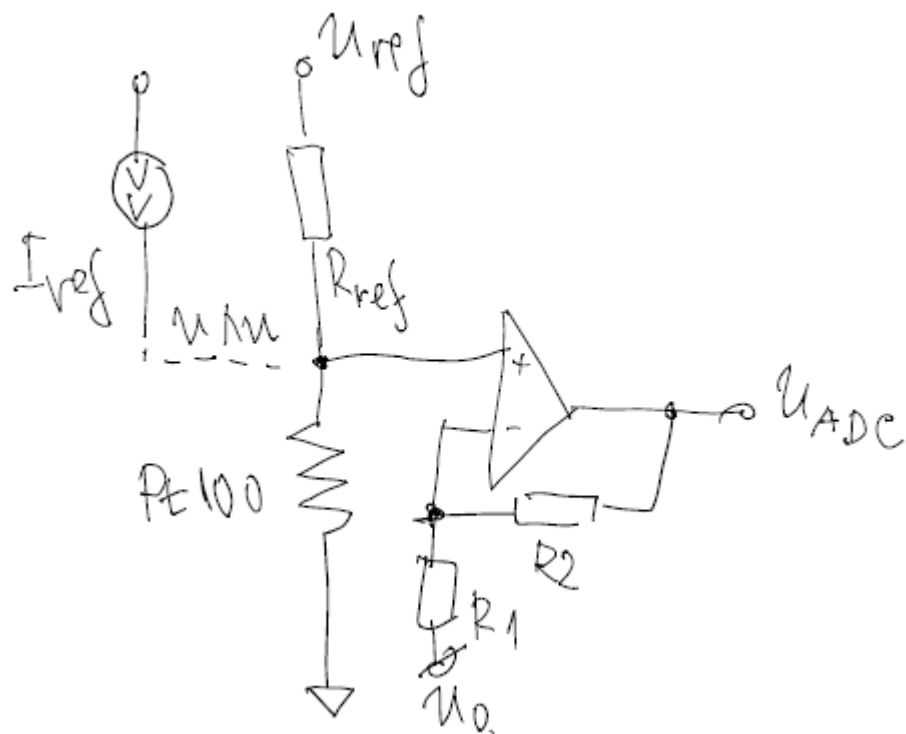


Мостова схема (R_1 , R_2 , R_4 , Pt100) е балансирана при 0°C. Усилването ($R_3/(R_2||R_4)$) е така изчислено, че при 200°C в изхода да се получат 5V. Положителната обратна връзка през R_5 променя предавателната характеристика и по този начин се компенсира нелинейността. Компенсира се нелинейността не само на сензора, но и на схемата

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с терморезистори

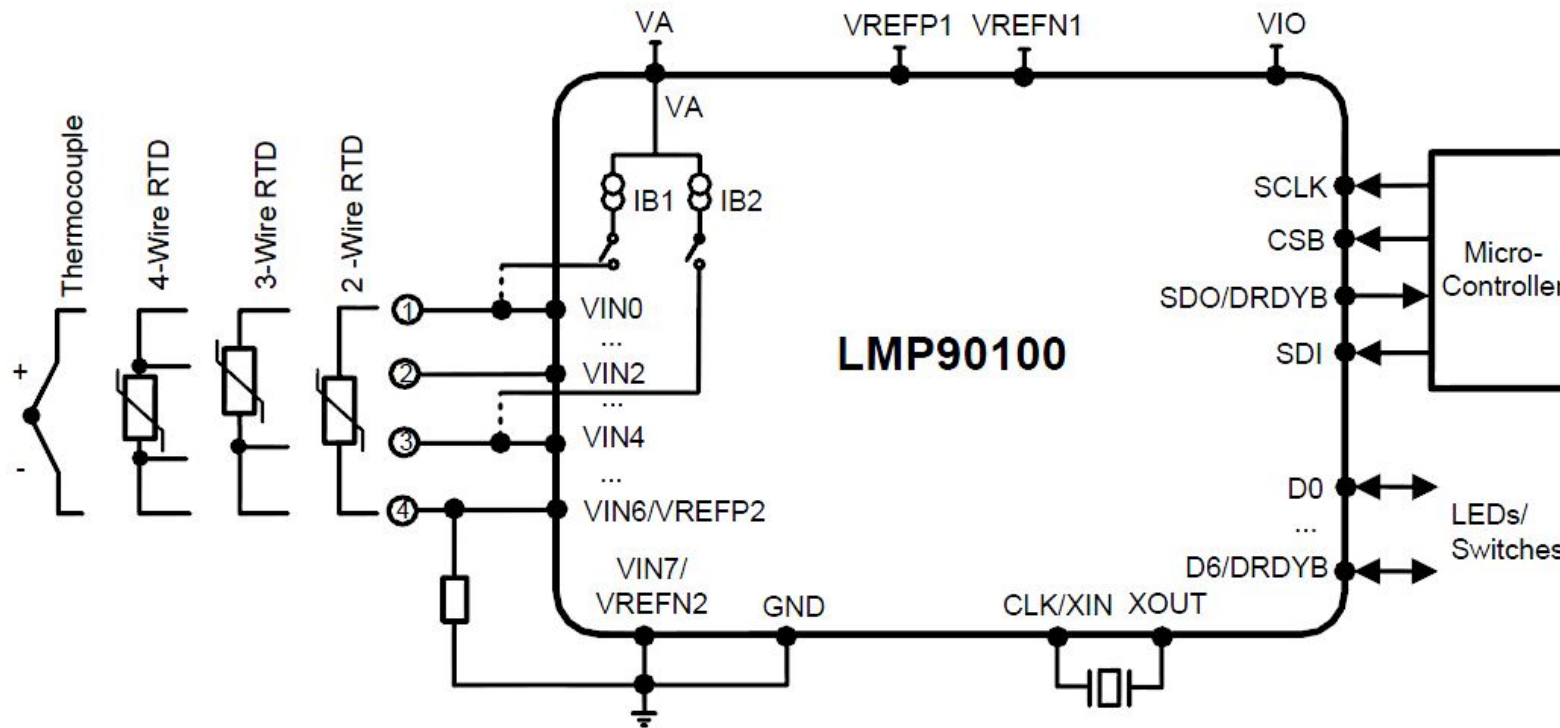


Пример за измерване на температура с Pt100. Обхватът е от 0°C до 200°C . Избира се ток $I_{ref}=1\text{mA}$. Стойността на Pt100 се променя от 100Ω до $175,8\Omega$, следователно $\Delta U_x=75,8\text{mV}$. За постигане на $U_{ADCmax}=5\text{V}$, усиляването $(1+R_2/R_1)$ е около 65. Напрежението на отместване U_0 трябва да компенсира напрежението на Pt100 при 100Ω или неговата стойност се намира $U_0=100\text{mV} \cdot 65/64$.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с терморезистори

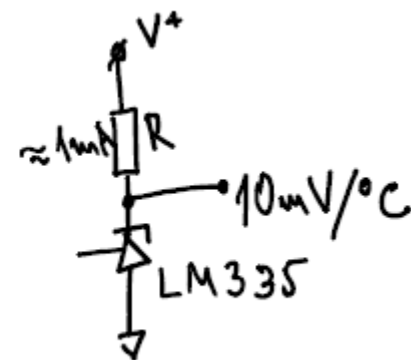
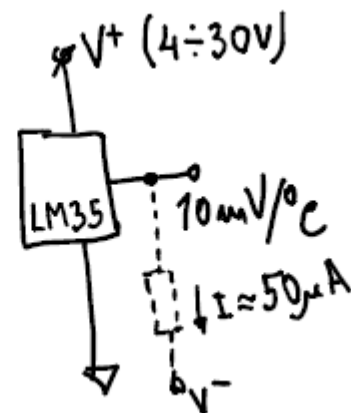
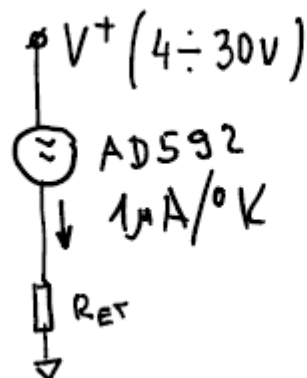
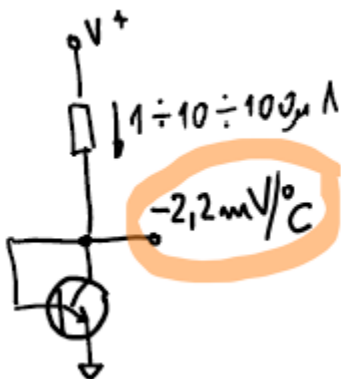


ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с полупроводникови сензори

Интегралните сензори източници на напрежение са от шунтов (LM335) или последователен тип (LM35). Повечето полупроводникови сензори за измерване на температура са генератори на напрежение, т.е. с напрежителен изход. Има и с токов изход. Температурният коефициент обикновено е 5-10 mV/°C (има във Фаренхайт, Целзий или Келвин).



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

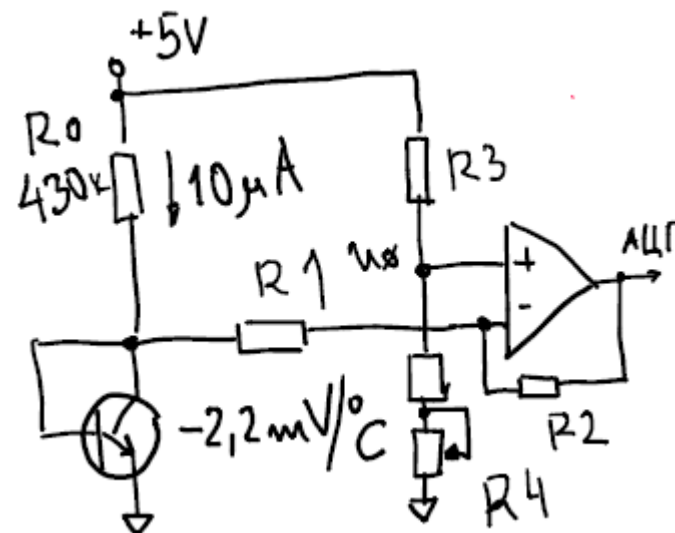
Измерване с полупроводникови сензори

Ако за измерване на температура (непрецизно приложение) се ползва p - n преход на дискретен прибор, се препоръчва да не се ползва обратният ток или коефициента на усилване по ток, а напрежението на прехода U_{AK} . Най-добре е това да е транзистор в диодно свързване, като напрежението U_{be} има чувствителност $-2,2\text{mV}/^\circ\text{C}$, т.е. с увеличаване на температурата, напрежението намалява.

Пример за изчисляване:

Начални данни:

- сензорът е p - n преход, $-2,2\text{mV}/^\circ\text{C}$;
- падът върху диода е 550mV при 0°C ;
- обхват от -40°C до $+60^\circ\text{C}$ ($\Delta t=100^\circ\text{C}$);
- 10-битов АЦП (10 разряда);
- разрешаваща способност $\sim 0,1^\circ\text{C}$.



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с полупроводникови сензори

Максималната разрешаваща способност на измерването ще се получи, когато изменението на напрежението на сензора в диапазона от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$ ($\Delta t = 100^{\circ}\text{C}$) доведе до изменение на входното напрежение на АЦП от 0 до U_{ref} (целия обхват е 5,12V). Напрежението на транзистора, при промяна на температурата със 100°C се променя с 220mV. Усилвателят трябва да усилва около $5120\text{mV}/(220\text{mV}) = 23,2$. С малко запас, заради толеранса на елементите, за да не се излиза извън обхвата, се приема усилване 23. Отношението $R2/R1$ може да се постигне със стойности 158k и 6,8k.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с полупроводникови сензори

Отместването U_o се определя като се има предвид, че в средата на обхвата $+10^{\circ}\text{C}$ (528mV) напрежението на входа на АЦП трябва също да е в средата $+2560\text{mV}$. Изчислението може да се направи и в краищата на обхвата (-40°C или 60°C). Резултатът трябва да е един и същ. Получената стойност за U_o е 613mV . Изчислява се отношението $R3/R4$, което е равно на 7,35. Ако се избере стойност за $R3$ 100k, за $R4$ се получава 13,6k. За настройка и компенсиране на толерансите на елементите тази стойност се разделя между един резистор със съпротивление 13k и потенциометър за донастройка със съпротивление 1k.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на температура

Измерване с полупроводникови сензори

Ако опорното напрежение на АЦП е 5,12V при 10-битов АЦП, ще има 1024 нива, т.е. тежестта на LSB ще бъде точно 5mV.

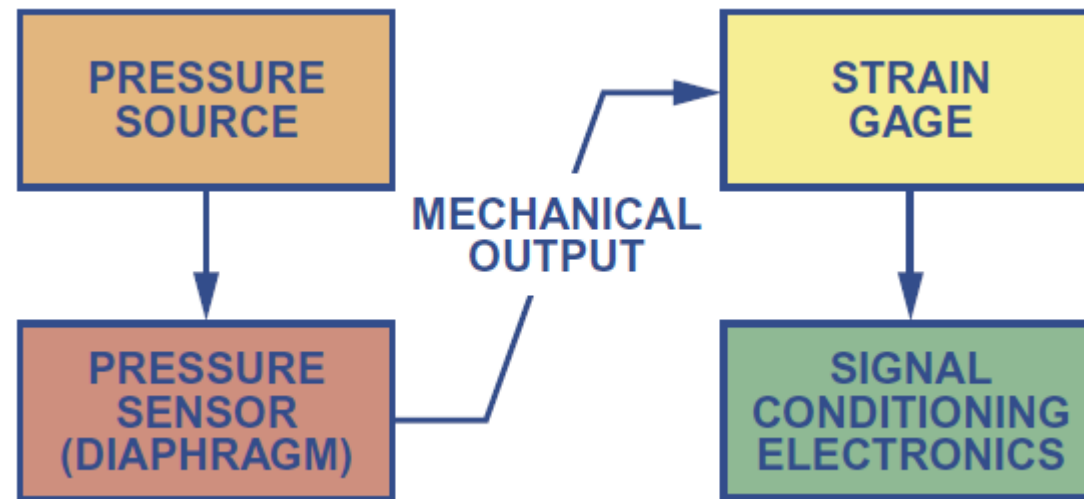
Ако сигналът не се усили, а се мери директно, разрешаващата способност на измерването (стъпката) ще бъде $5/2,2 \sim 2,3^{\circ}\text{C}$, което е значително по-малко от зададеното.

Тъй като температурният коефициент е отрицателен, подходяща е схема на инвертиращ усилвател. Така скалата „ще се обърне“ и когато температурата се увеличава и изходното напрежение (към АЦП) ще нараства.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на налягане

Налягането се преобразува чрез движението на механични елементи, като диафрагми, тръби на Бурдон, силфони и капсули, всички от които се отклоняват при прилагане на натиск. Това отклонение причинява промяна в съпротивленията на тензодатчика.



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на налягане

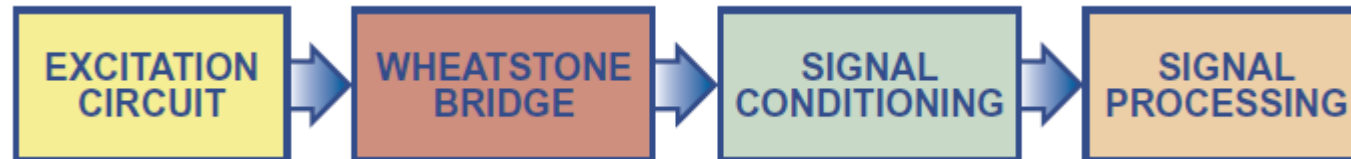
Най-популярните сензори за налягане използват тензодатчици в съпротивителен мост на Wheatstone, в която и четирите елемента са променливи, като по този начин се осигуряват оптимална линейност и чувствителност. Когато се прилага натиск върху диафрагмата, два калибриращи елемента на моста са подложени на разтягане, а другите два елемента са подложени на свиване. Съответните промени в съпротивлението е мярка за падащото налягане. Мостът се възбужда от постоянно напрежение или ток, произвеждайки електрически сигнал.

Технологично тензометричните елементи са свързани към метална диафрагма и се получава максимално изменение на съпротивлението, обикновено от порядъка на 0,1% от номиналната стойност. Когато към моста се приложи постоянно напрежение или ток, се получава промяна, която се измерва като диференциално напрежение (или ток). При друга технология полупроводниковите тензометрични датчици са свързани в силициева диафрагма и могат да генерират много по-голяма реакция - в много случаи около 1% от основното съпротивление.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на налягане

Сигналът, произведен от моста, обикновено е малък и е подложен на шум, отместване и грешки на усилването. Преди изходът на моста да може да бъде цифровизиран, той трябва да бъде усилен, с коригирано отместване, за да съответства на обхвата на АЦП, и филтриран, за да се премахне шумът.



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на налягане

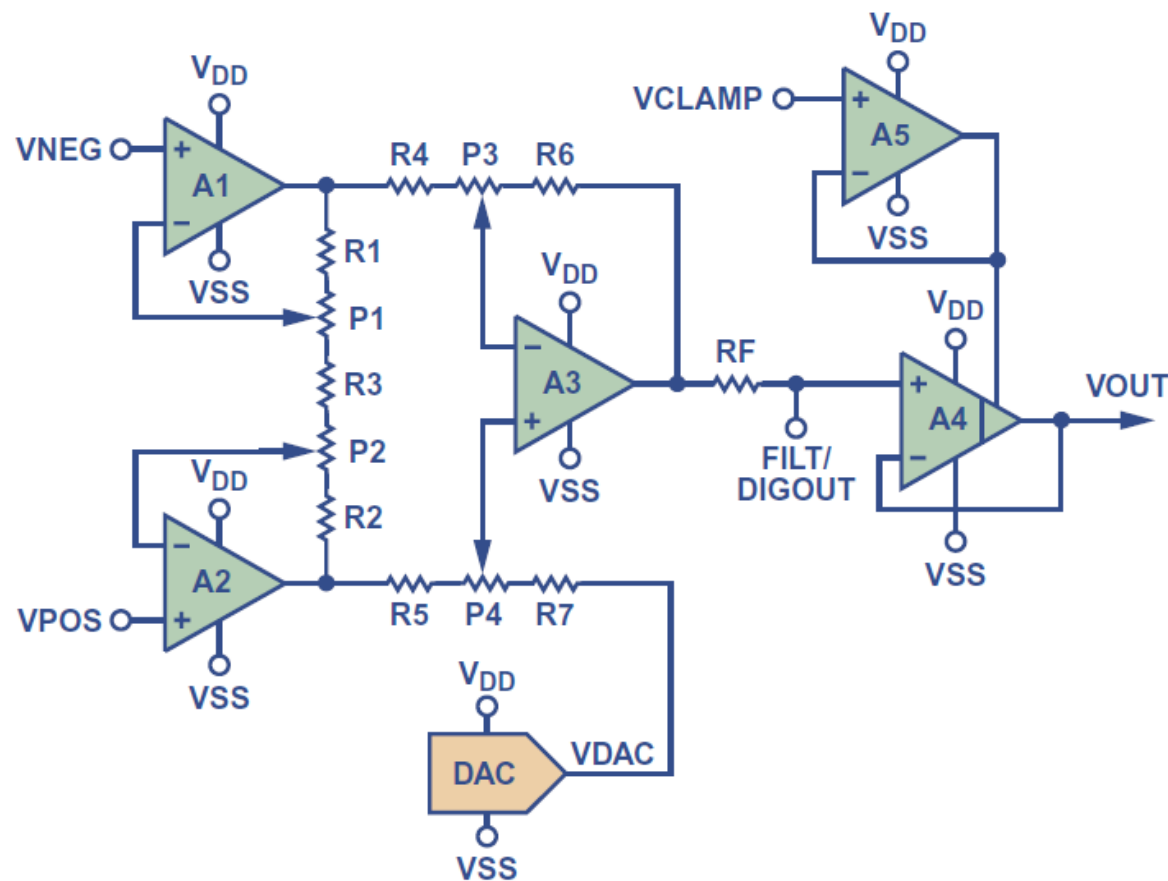
В типични приложения на сензори за налягане, резистивен мост произвежда диференциален сигнал - с обхват от десетки или стотици миливолта - който е пропорционален на приложеното налягане и напрежението на възбуждане, подадено към моста. Микроструктурният сензор за налягане от серията Honeywell 26PC01SMT, например, максимално има $\pm 1,0$ psi. С приложени 5V, той би имал отместване от ± 2 mV при нулево налягане, пълен диапазон на изхода в целия обхват от $\pm 14,7$ mV до $\pm 18,7$ mV и ниво на синфазен сигнал от 2,5 V. (1 psi е приблизително 6,894757 kPa).

За да се усили точно това малко диференциално изходно напрежение при наличието на високо синфазно напрежение, способността на инструменталния усилвател да потиска синфазния сигнал е от съществено значение. Например, 12-битовата разделителна способност на четене изисква LSB от по-малко от 10 μ V (35 mV/4096), или около 101 dB под нивото на синфазния сигнал.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

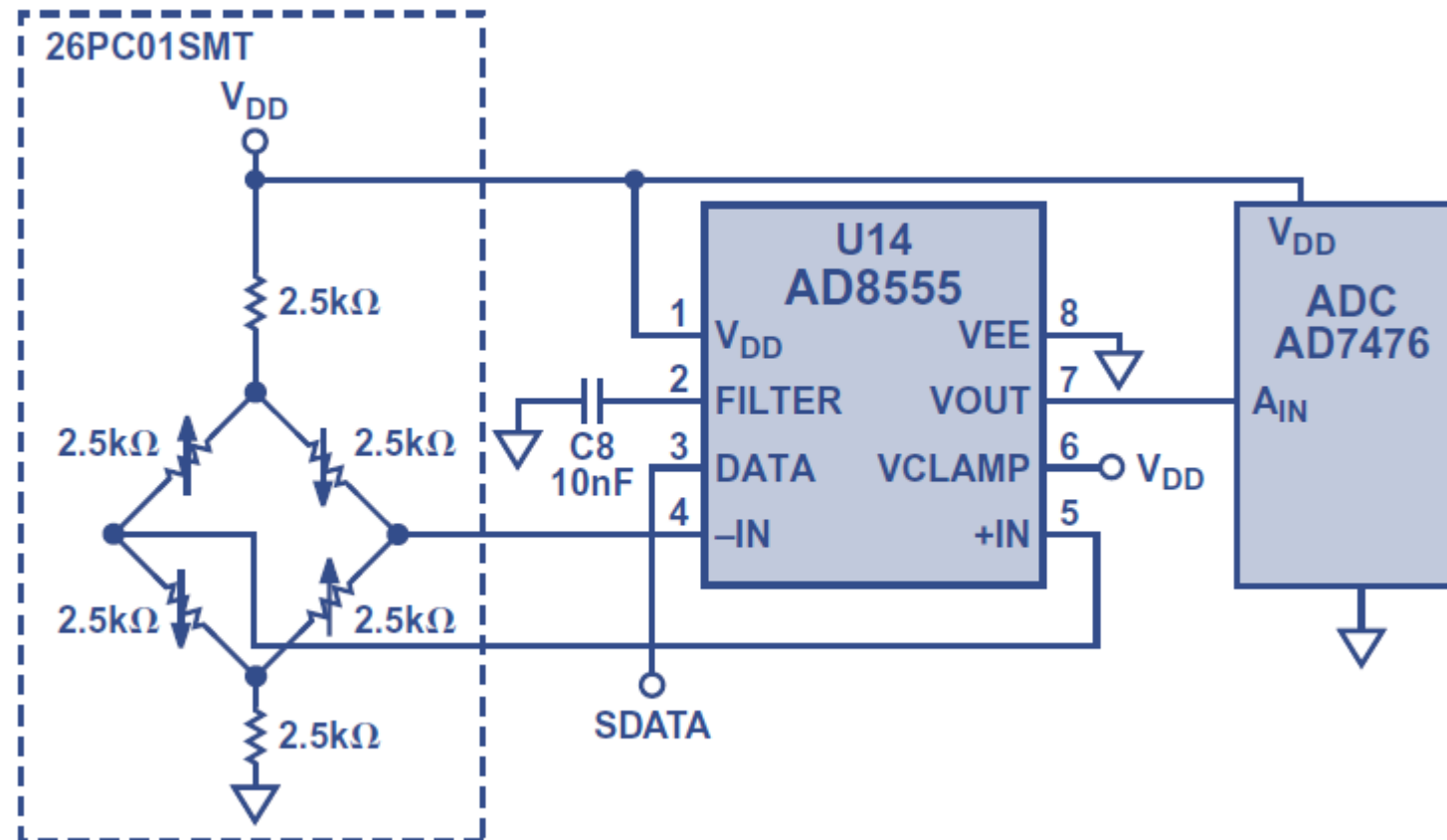
Измерване на налягане

Проектирането на системи за измерване, които използват мостови схеми, като например сензори за налягане, ще се улесни с приложението на AD8555, цифрово програмируем усилвател с нулев дрейф от Analog Devices. Конфигурацията на инструменталния усилвател включва три усилвателя с автоматично нулиране (A1, A2, A3).



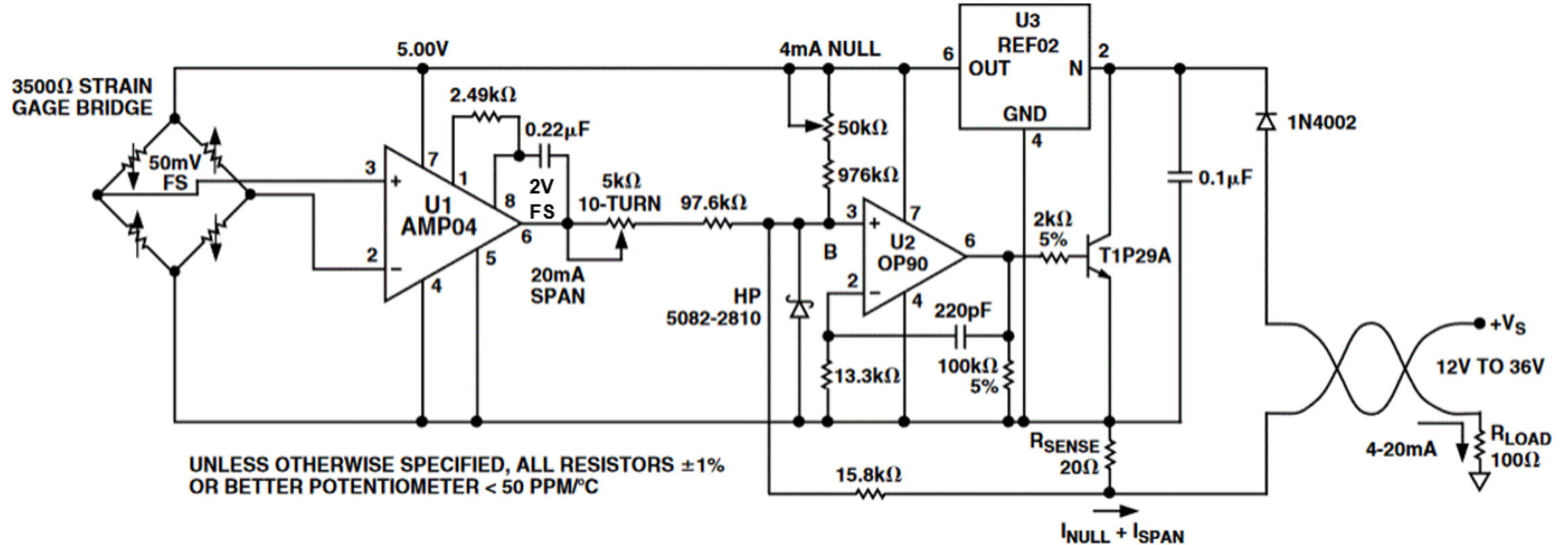
ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на налягане



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на налягане



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на вибрации и ускорение

Акселерометърът е устройство, което измерва вибрациите или ускорението на движението на дадена конструкция. В индустриална среда акселерометрите се използват за диагностика стабилността на машините и за наблюдение на всякакви нежелани сили или вибрации.

Акселерометърът работи, като използва електромеханичен сензор, който е проектиран да измерва статично или динамично ускорение. Статичното ускорение е постоянната сила, действаща върху тялото, като гравитация или триене. Тези сили са предвидими и еднакви до голяма степен – например, гравитационното ускорение е постоянно $9,8 \text{ m/s}^2$.

Динамичните сили на ускорение са неравномерни и най-добрият пример са вибрациите или ударите. Тук промяната на ускорението е внезапна в сравнение с предишното му състояние. Предназначението на акселерометрите е да откриват ускорение и да го преобразуват в измерими величини – като електрически сигнали.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на вибрации и ускорение

Има различни видове акселерометри, всеки със собствен принцип на работа и предимства.

Пиезоелектричният акселерометър работи чрез изпращане на електрически сигнал от сензора, когато претърпи внезапно ускорение. Конструкцията на пиезоелектричен акселерометър включва чувствителен кристал, към който е прикрепена сеизмична тежест. Когато сензорът изпитва ускорение, тежестта упражнява сила върху кристала. Пиезоелектричният кристал преобразува силата, действаща върху него, в електрически сигнали, които могат да бъдат измерени, за да се намери ускорението. Пиезоелектричните акселерометри са много ефективни при измерване на удари и вибрации.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на вибрации и ускорение

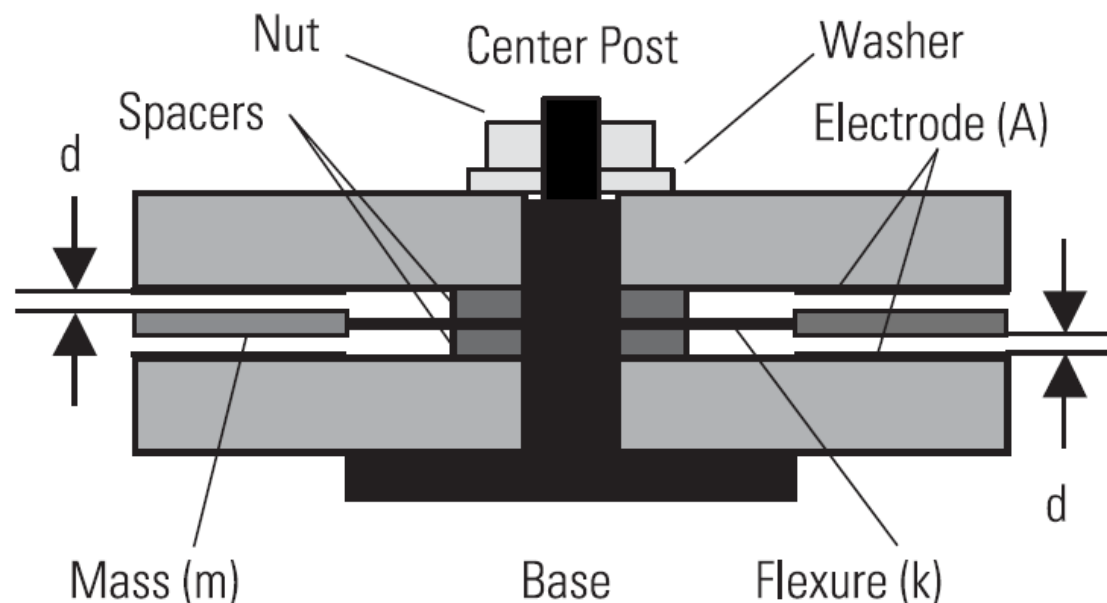
Пиезореzystивният акселерометър работи, като променя съпротивлението си въз основа на ускорението, което изпитва. Промяната в съпротивлението може да бъде измерена, за да се намери промяната на ускорението, изпитвано от сензора. Пиезореzystивните акселерометри са по-малко чувствителни от пиезоелектричните акселерометри, тъй като не са най-добри при измерване на нискочестотни удари. Те обаче работят най-добре при високи амплитуди и намират своето приложение при тестване на катастрофи на превозни средства и тестване на оръжия.

ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на вибрации и ускорение

Капацитивните акселерометри измерват промяна на капацитета чрез мостова схема. Чувствителният елемент се състои от два успоредни пластинчати кондензатора, работещи в диференциален режим.

Съществуват няколко различни вида капацитивни елементи. Един от тях използва метална сензорна диафрагма и плочи на кондензатор от двуалуминиев оксид. Две фиксирани плочи обхващат диафрагмата, създавайки два кондензатора, всеки с отделна фиксирана плоча и всеки споделящ диафрагмата като подвижна плоча.



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на вибрации и ускорение

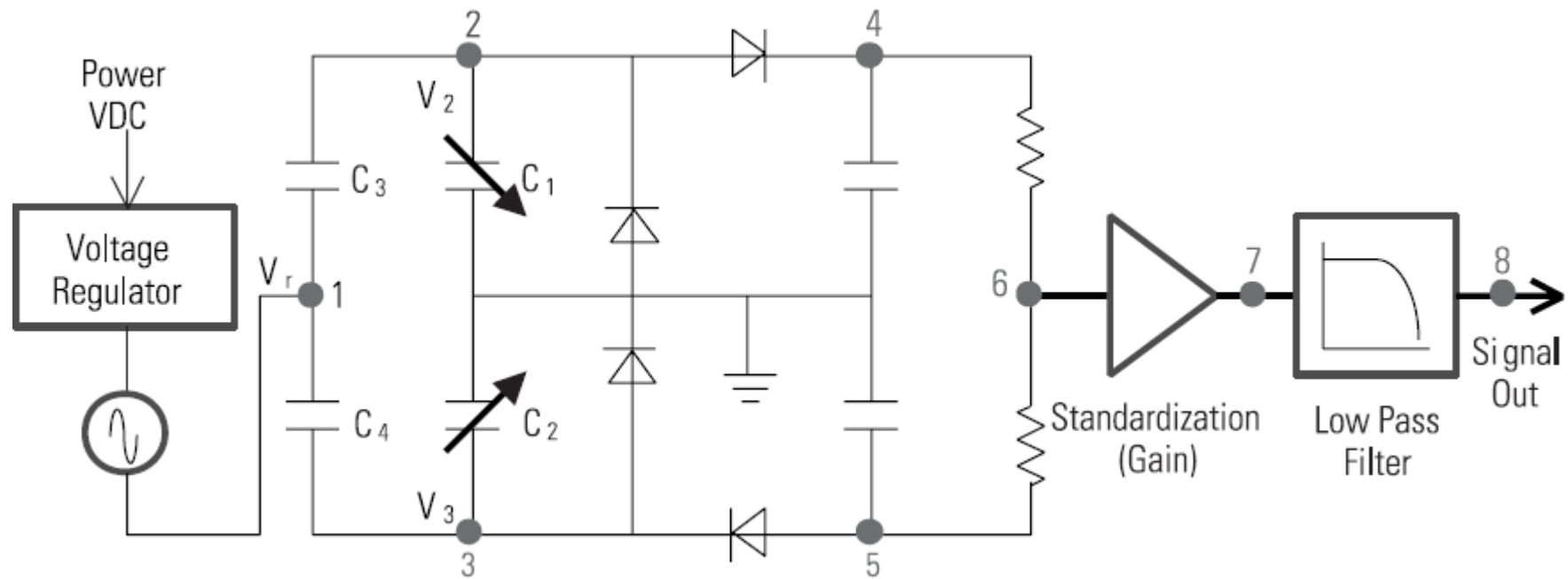
Когато този елемент се постави в гравитационното поле на Земята или се ускори поради вибрации върху тестова структура, върху диафрагмата се прилага сила. Полученото отклонение на диафрагмата води до промяна на разстоянието между електродите на кондензатора, което се отразява на промяната на капацитета.

За правилната работа на капацитивен акселерометър е необходима подходяща електронна схема, която да изпълнява две основни функции:

- (1) да осигурява възможност промените в капацитета да позволяват измерване както на статични, така и на динамични събития;
- (2) да преобразува тази промяна в полезен напрежителен сигнал, съвместим с инструментите за отчитане.

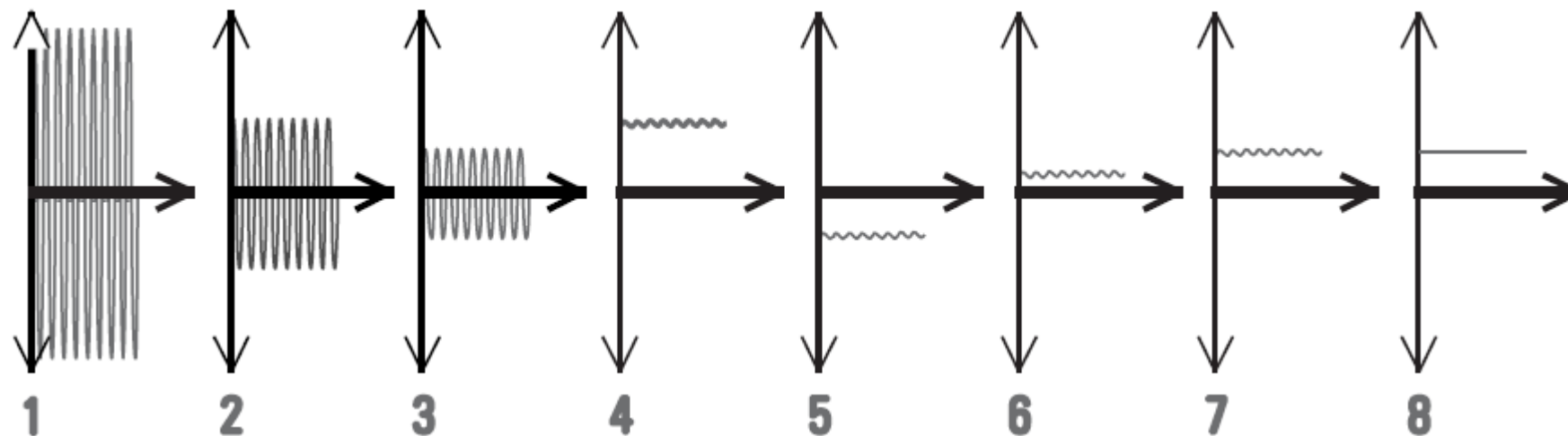
ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на вибрации и ускорение



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на вибрации и ускорение



ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА РАБОТНАТА СРЕДА

Измерване на вибрации и ускорение

Вграденият осцилатор, който обикновено работи на честота >1 MHz, има постоянна амплитуда. Като се поддържа амплитудата на осцилаторния сигнал постоянна, изходната чувствителност на устройството става фиксирана и независима от захранващото напрежение. След това осцилаторният сигнал се подава към капацитивния мост, формата на сигнала е показана в точка 1. Той се разделя и преминава през всяко рамо на моста, действащо като делител на напрежение. В изходите на делителите сигналите варират в пряка зависимост от промяната в капацитета на C_1 и C_2 (C_1 и C_2 представляват електрически механичния сензорен елемент). Получените амплитудно-модулирани сигнали се наблюдават в точки 2 и 3. За да се демодулират тези сигнали се използват върхови детектори в точки 4 и 5, и след това се сумират в точка 6. Резултатът е електрически сигнал, пропорционален на физическата величина. За подобряване на чувствителността на устройството може да се добави усилвател (в случая с коефициент 2), точка 7. И накрая, има нискочестотен филтър, който се използва за елиминиране на високочестотни компоненти на носещата честота, точка 8.