

Процесна информация и
обработка

Лекция №3

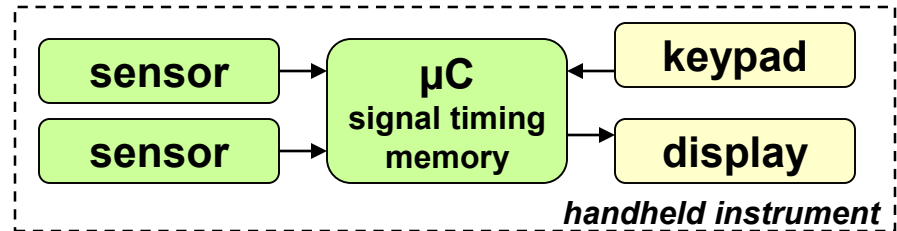
Аналогови сигнали и обработката им

Примерна сензорна система

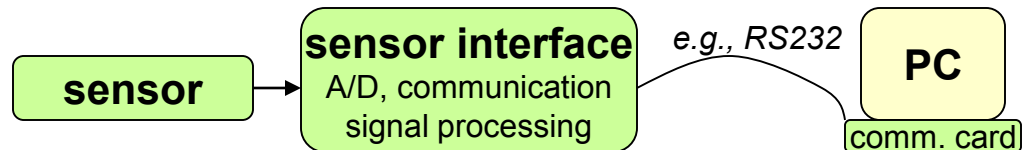
- Компонентите могат да варират в зависимост от приложението

- Цифров сензор в инструмента

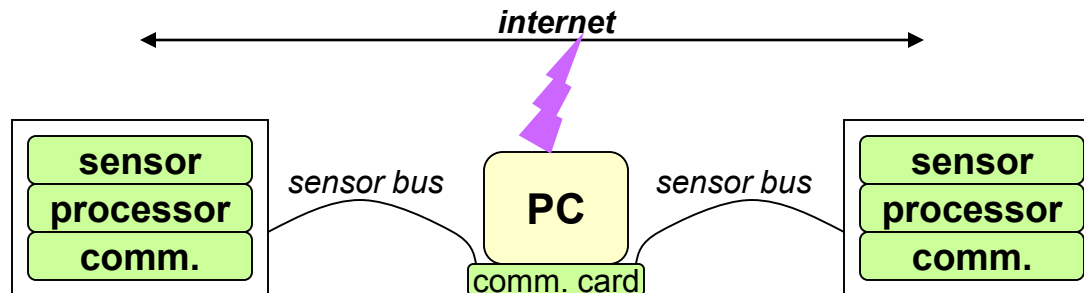
- микроконтролер
 - буфер
 - съхранение



- Аналогов сензор анализиран от PC



- Интернет сензор



Параметрични датчици

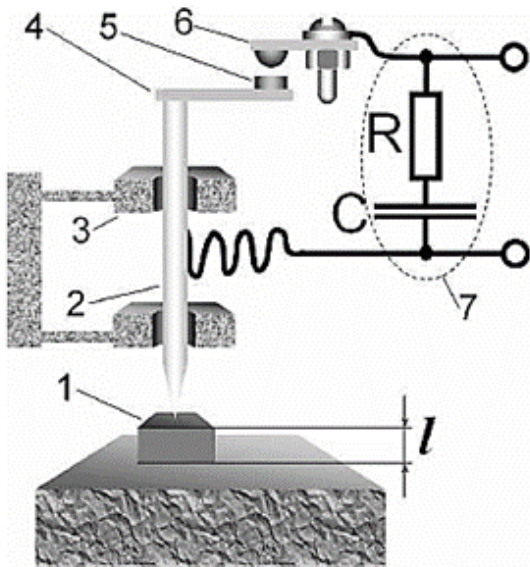
Параметричните датчици (сензори модулатори) преобразуват входната стойност X в промяна на електрически параметри (R, L or C).

Прехвърлянето на тези параметри, без енергия (напрежение или ток) на разстоянието не е възможно. За идентифициране на съответната промяна на параметъра, параметричните датчици изискват специални измервателни схеми.

Контактни сензори - е най-простата форма на съпротива сензори, които превръщат движението на основният елемент в рязка промяна в съпротивлението на електрическата верига. С контактни сензори се измерват: температура, размер на обекти, тяхната форма. Тук се включват пътни и крайни изключватели, контактни термометри и така наречените електродни сензори се използват предимно за измерване граници проводими течности.

Датчиците за контакт могат да работят на DC или AC. В зависимост от сондите на лимити за измерване може да бъде една граница и много гранични.

Недостатъци на контактни сензори - сложността на изпълнението на непрекъснат мониторинг и ограничен живот на контактната система. Но благодарение на крайно простотата на тези сензори са широко използвани в системи за автоматизация.



1 контролиран детайл;

2 вал;

3 цилиндрични направляващи;

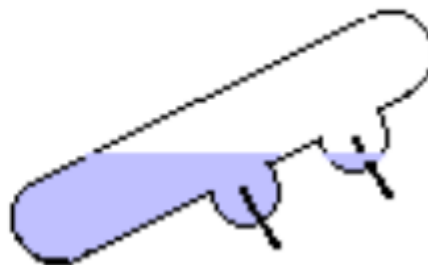
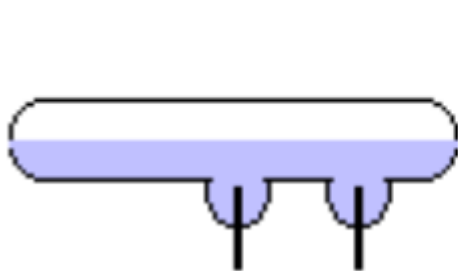
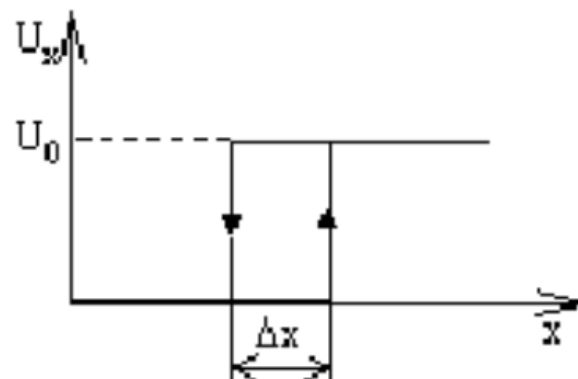
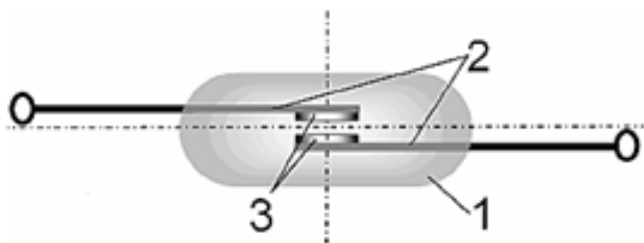
4 контактен електрод;

5 плосък (цилиндричен) контакт;

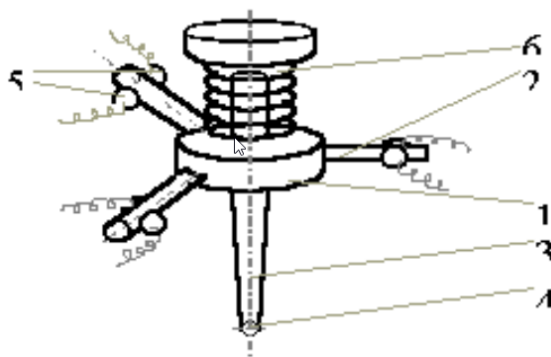
6 неподвижен контакт;

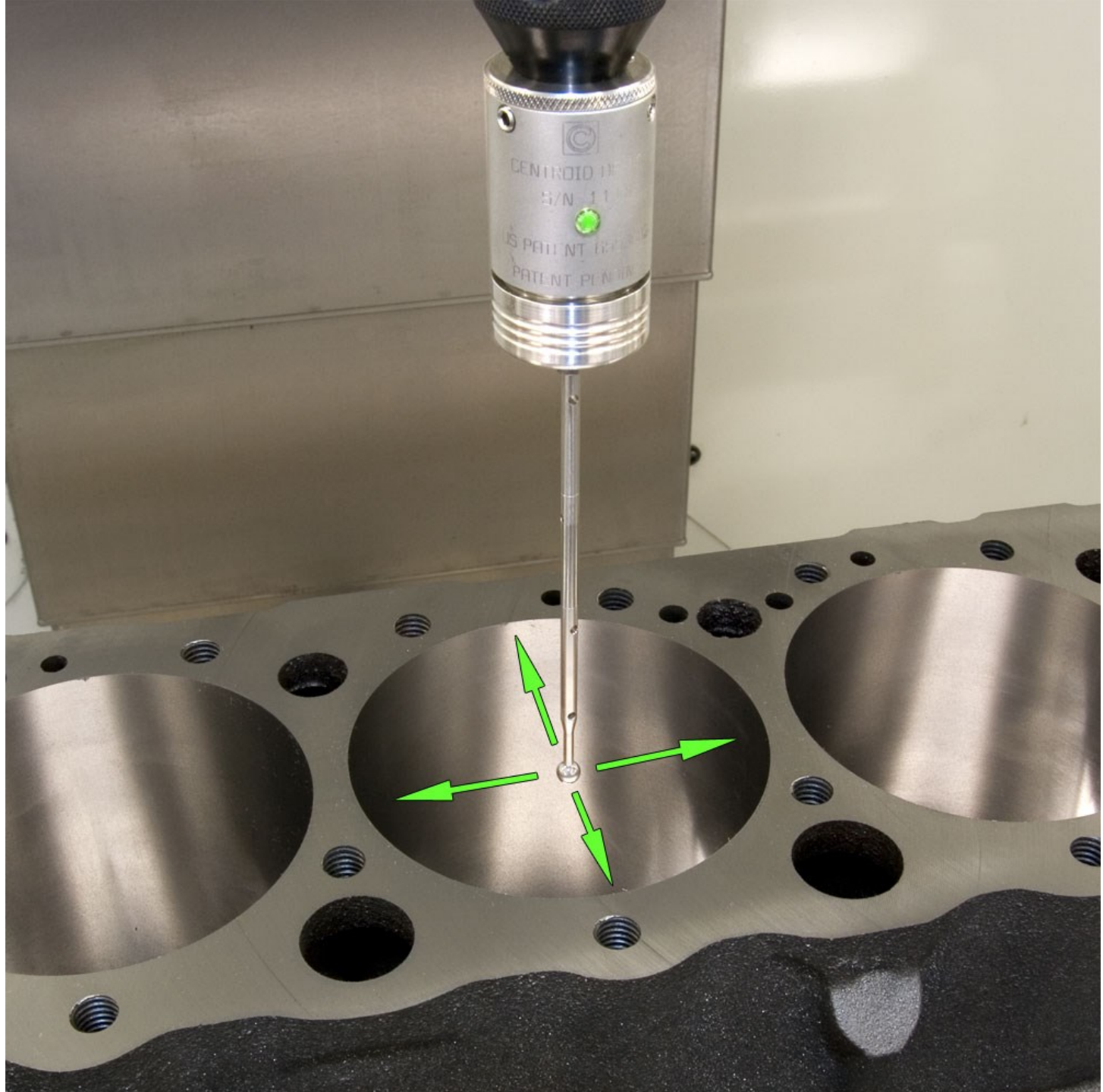
7 искрогасяща група

Магнитоуправляемите контакти имат сравнително голяма надеждност ($10^6 - 10^9$ цикъла), малки размери ($\Phi 1\text{mm}$, $l=5-8\text{mm}$) и ниска цена. Токът във веригата може да достигне $0,5\text{A}$ при напрежение 220V . Към недостатъците им се отнася сравнително големия хистерезис ($\Delta x > 0,05\text{mm}$). Една разновидност са **живачните електроконтактни преобразуватели**, при които законтактен материал се използва живак.



Трикоординатни индикатори на положение Електроконтактните трикоординатни преобразуватели са намерили приложение в измервателните глави на трикоординатните измервателни машини, както и в позициониращите системи на металорежещите машини с ЦПУ. Действието на преобразувателя е основано на прекъсване на ел. верига при отклонение на осезателя. В тялото са монтирани три двойки базиращи сфери, електрически изолирани една от друга. Те играят ролята на неподвижни електрически контакти и са свързани последователно в електрическа верига, захранвана от външен източник. Осезателят се базира върху сферите посредством три цилиндрични щифта, притискан от пружина. Щифтовете затварят ел. верига на неподвижните ел. контакти (базиращи сфери). При преместване на осезателя по някоя от осите x , y или z , някой от щифтовете (или всичките) се отделят от базиращите сфери, като по този начин се прекъсва електрическата верига. Предавателното отношение при задействане на ел. контакти не е еднакво по трите оси. По оста z то е приблизително равно на единица, а по осите x и y е приблизително $k \approx a/l$. поради това грешката на задействане по трите оси е различна и е в границите $5 \div 10 \mu m$.





Омичните (резистивни) сензори - Омичното съпротивление на нишковиден проводник се изразява със зависимостта:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A},$$

където l – дължината на проводника, A - напречното му сечение и ρ е специфичното електрическо съпротивление.

Като се модулират стойностите на параметрите, резистивните елементи могат да се използват като сензорни елементи. Освен това се използва зависимостта на съпротивлението от контактното налягане и от осветеността на слънчеви клетки. В съответствие с това омичните сензори се разделят на:

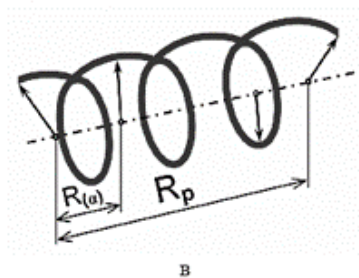
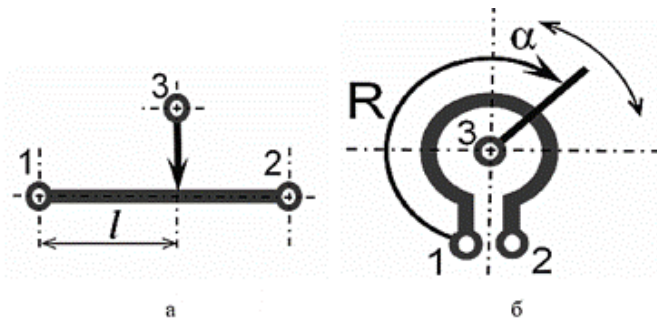
- контактни,
- потенциометрични (реостат),
- тензометри,
- PTC - reversible temperature coefficient (RTC)
- фоторезистори.

Потенциометрични преобразуватели с механични контакти -

Потенциометърът е резистор с постоянно съпротивление R_p , по който се премества плъзгач, създаващ електрически контакт. Този плъзгач механично се свързва с изследвания обект (например – детайл), чието преместване той трябва да предава. Съпротивлението R между плъзгача и единия край на резистора се явява функция от:

- положението на плъзгача;
- конструкцията на резистора.

$$R(l) = \left(\frac{l}{L} \right) R_p \quad \text{където } L \text{ е дължината на потенциометъра;}$$

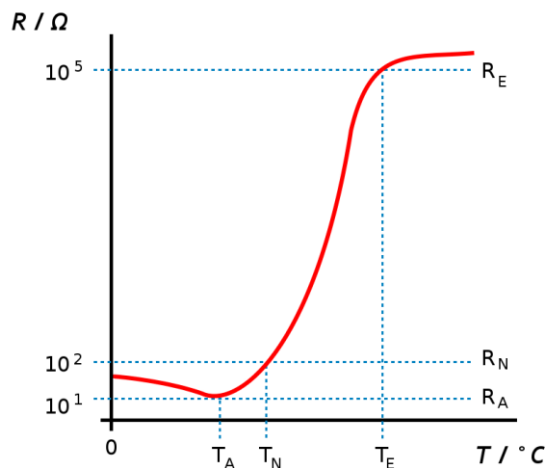


- а) за линейно преместване;
- б) кръгови потенциометри;
- в) многооборотни потенциометри

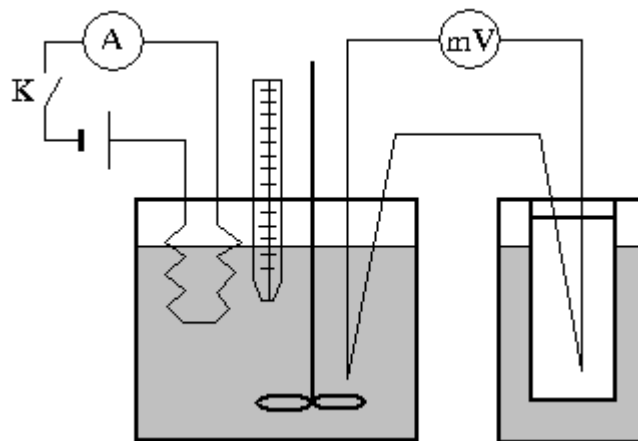
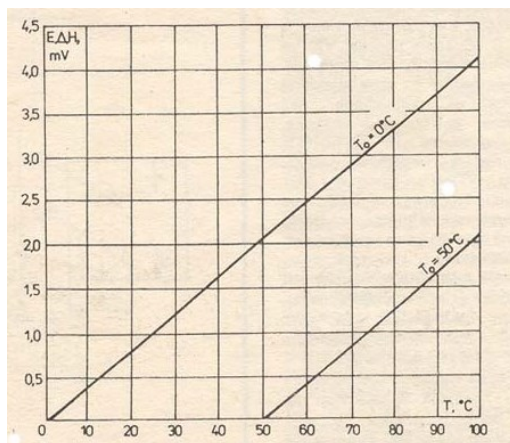
Термометрични сензори Използват се различни физични температурни ефекти.

Терморезистори - Измерването на температура със термосъпротивления е основано на свойствата на електрическите проводници да изменят съпротивлението си в зависимост от температурата. Повечето проводници увеличават съпротивлението си с увеличаване на температурата и го намаляват с намаляване на температурата.

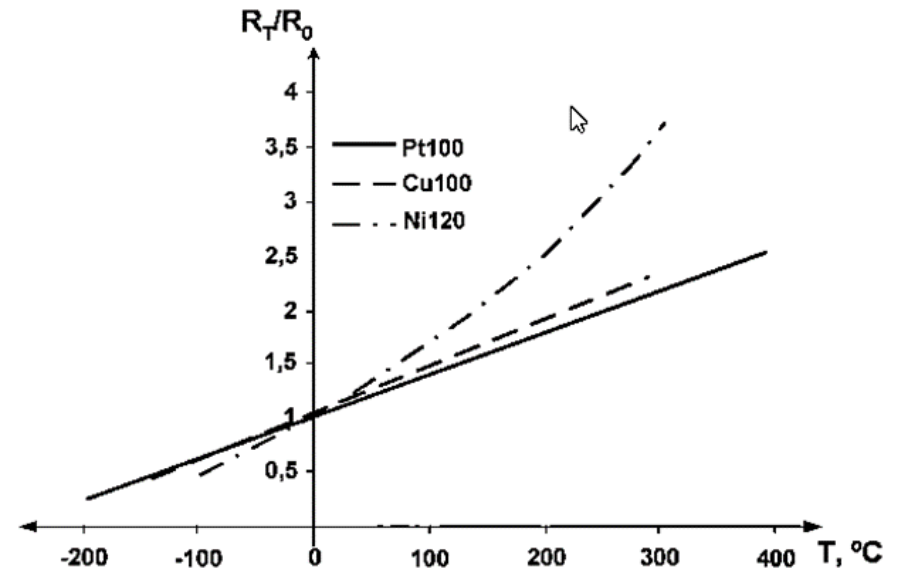
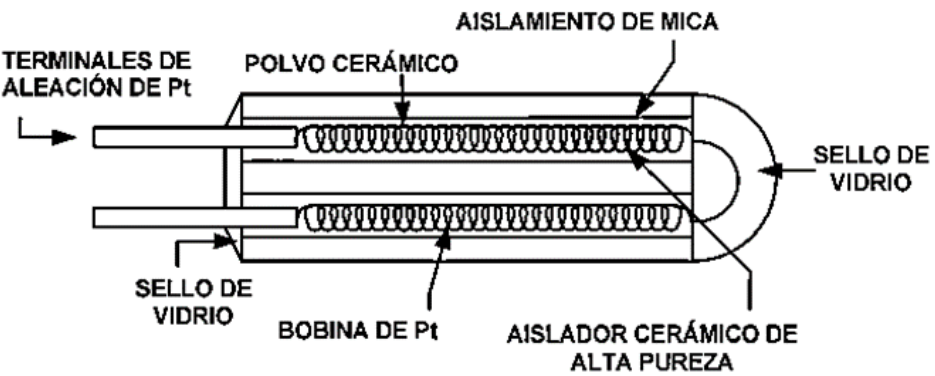
Термодвойки - Термодвойките са широко използван тип термосензори, които намират приложение при измерване и контрол на температура.



Предавателна характеристика на терморезистор с положителен температурен коефициент

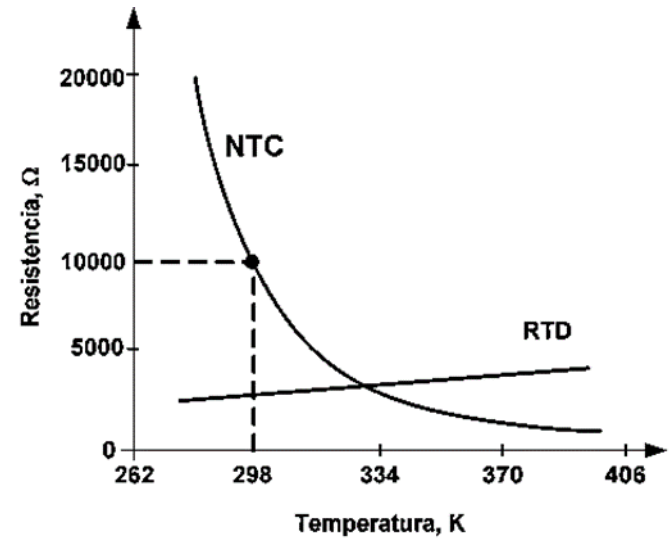
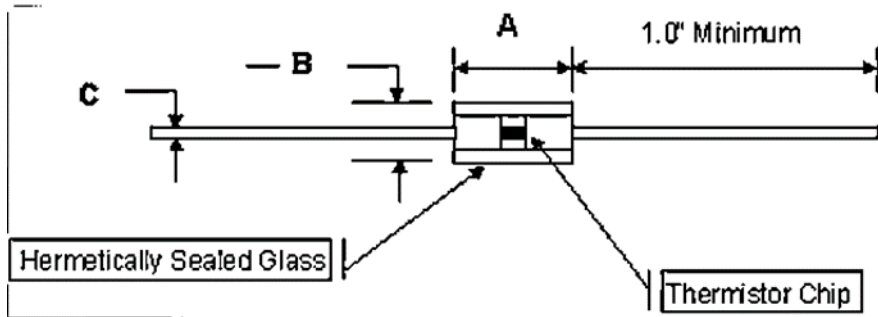


Терморезистори



$$R_T = R_0(1 + \alpha T)$$

Термистори



$$R(T) = R_0 e^{\left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]}$$

Термодвойки

В електрониката, термодвойките са широко използван тип сензори за температура. Състоят се от два проводника от различен метал и принципът им на работа е превръщането на измерена температурна разлика в разлика на електрически потенциали. (Seebeck effect).

Ако горещата точка се постави при температура $t_1 = t_x$, а студените краища се намират при температура t_2 , като $t_1 > t_2$, то между двата свободни края възниква термоелектродвижещо напрежение E_t , което е функция на разликата от двете температури, т.е.

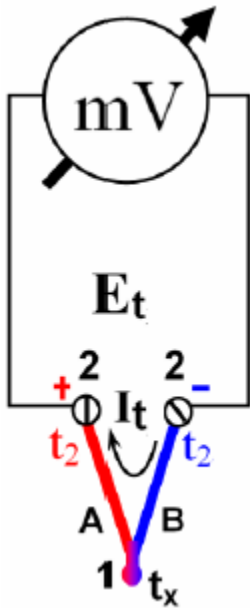
$$E_t = f(t_1 - t_2)$$

Този ефект се нарича термоелектрически ефект. Като се поддържа $t_2 = \text{const}$, се получава възможност за измерване на температури, т.е.

$$E_t = f(t_1)$$

Термодвойките имат нелинейна функция на преобразуване, която в общия случай има следния вид:

$$E_t = At + Bt^2 + Ct^3$$

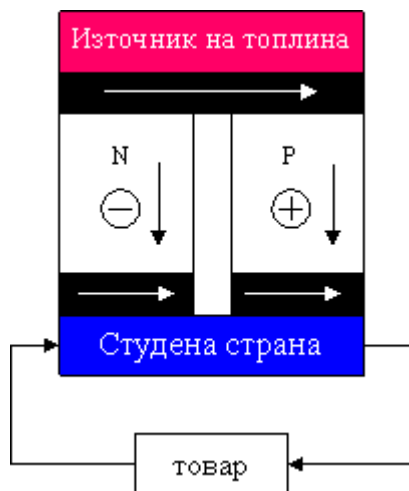


- Thermocouples (II): Types

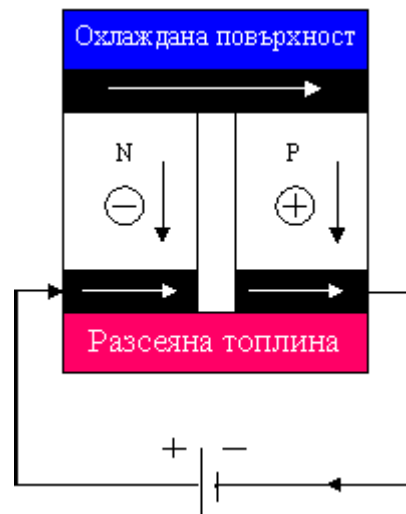
Materials	Range (°C)	Sensitivity (μV/°C)	Type (ANSI)
Pt (6%) / Rh – Pt (30%) / Rh	38 – 1800	7.7	B
W (5%) / Re – W (26%) / Re	0 – 2300	16	C
Chromel – Constantan	0 – 982	76	E
Iron - Constantan	0 – 760	55	E
Chromel – Alumel	-184 – 1260	39	K
Pt (13%) / Rh – Pt	0 – 1593	11.7	R
Pt (10%) / Rh – Pt	0 – 1538	10.4	S
Cu – Constantan	-184 – 400	45	T

Materials: Platinum (Pt), Rhodium (Rh), Rhenium (Re), Tungsten (W), Chromel (Ni-Cr), Alumel, Constantan

Ефект на Зеебек



Ефект на Пелтие



Ефект на Томсън

Ефектът на Томсън, наречен на Уилям Томсън (Лорд Келвин), описва затоплянето или охлаждането на токоносещ проводник в една температурна област. Всеки такъв проводник, с температурна разлика между две точки, ще поглъща или отдава топлина в зависимост от материала. Ако ток с дадена плътност J преминава през еднороден проводник, то произведената в него топлина за единица обем е

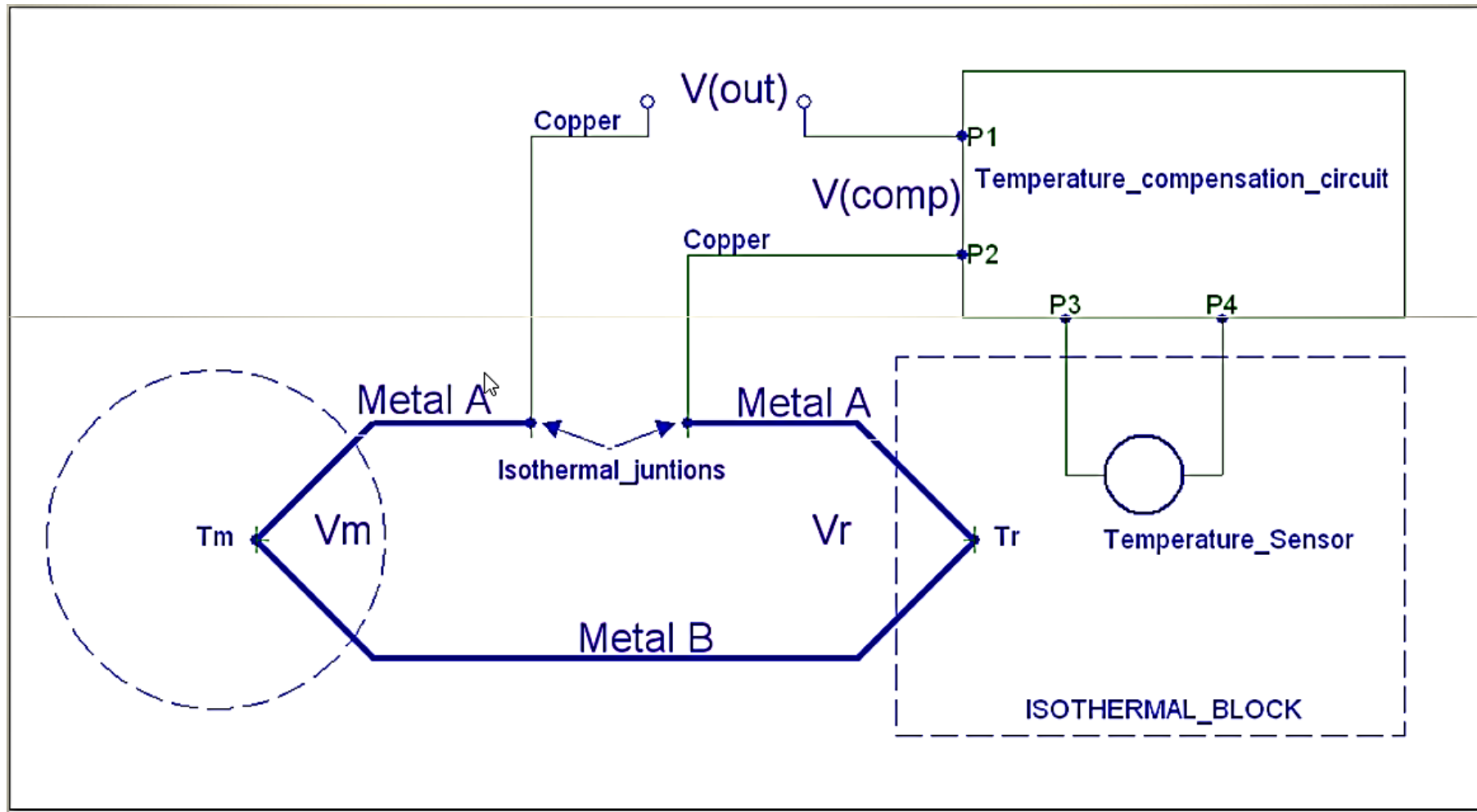
$$q = \rho J^2 - \mu J dT/dx$$

където:

ρ е специфичното съпротивление на материала, dT/dx изменението на температурата, μ е коефициента на Томсън. Първия израз ρJ^2 е просто затоплянето на Джаул, който не е обратимо. Втория израз е топлина на Томсън, който си сменя знака когато J си смени знака.

Ефектът на Зеебек всъщност е комбинация от ефекта на Томсън и ефекта на Пелтие.

- Thermocouples (III): Cold Junction Compensation



$$V(out) = V_m - V_r + V(comp) = S1 \cdot (T_m - T_r) + S2 \cdot T_r$$

Индуктивни сензори се използват за информация безконтактно върху движенията на работните органи на машини, роботи и т.н. и превръщането на тази информация в електрически сигнал.

Принципът на работа на индуктивен датчик се основава на промяната в индуктивност на магнитопровода в зависимост от положението на отделните магнитни елементи (ядро арматура и др.). В такива сензори, линеен или ъглово отместване X (вход стойност) се превръща в промяна на индуктивност (L) на сензора. Те се използват за измерване на ъгловото и линейно движение, деформация, контрола на размерите и т.н.

В най-простия случай, индуктивен датчик е бобина с магнитна сърцевина, подвижен елемент, който (арматура) се премества под действието на измерваната величина.

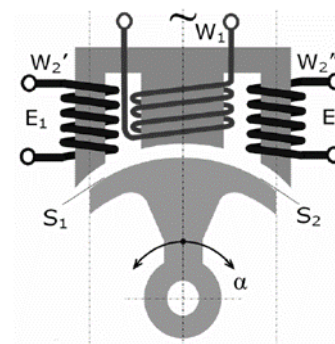
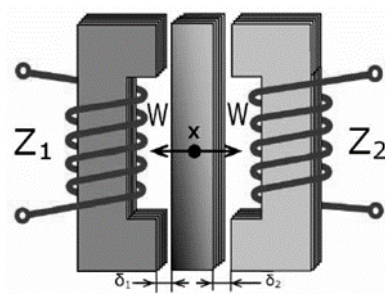
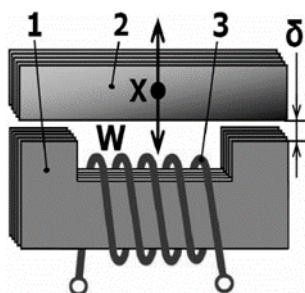
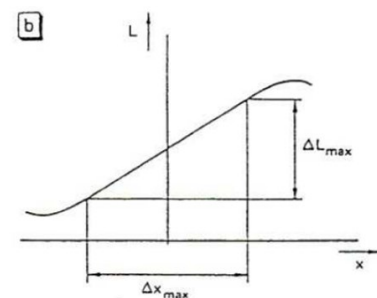
Индуктивен датчик разпознава и реагира съответно до всички обекти на проводимост. Най-индуктивен сензор е безконтактен и не изисква влиянието на информация от безконтактни механичните работи чрез промяна на електромагнитно поле.

Предимства - няма механическо износване, няма вибриране и износване на контактите, висока честота на превключване, устойчивост на механично въздействие.

Недостатъци - сравнително малка чувствителност, зависимост от честотата на захранването, влияние на датчика върху измерваната величина – натиска на котвата.

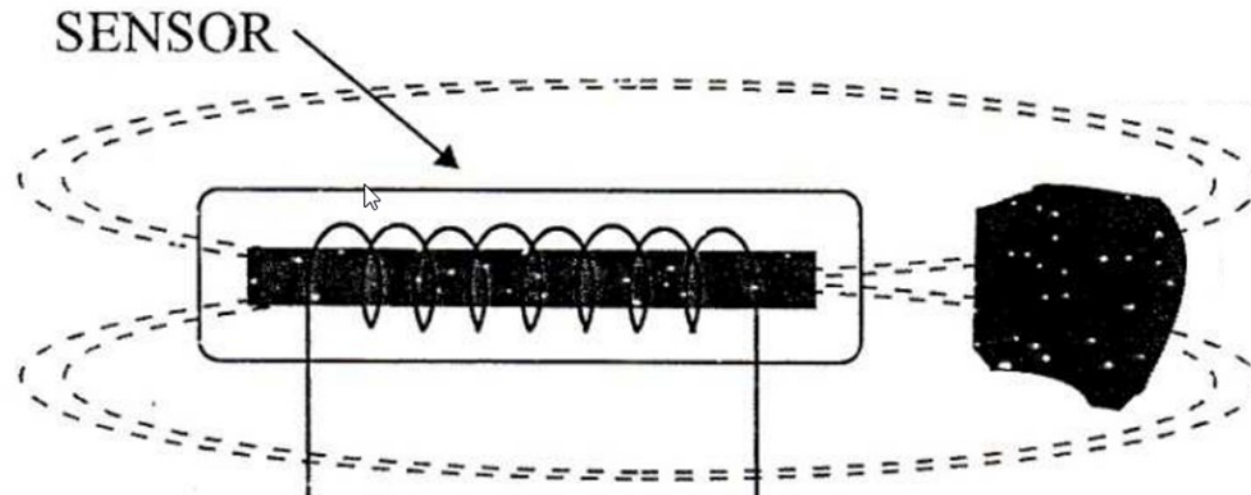
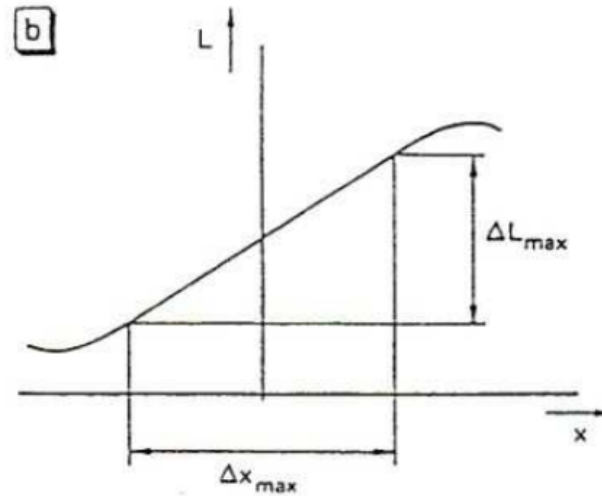
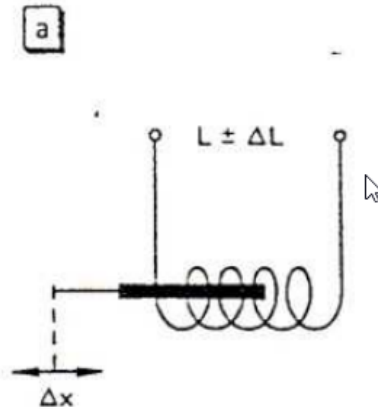
$$Z \approx \omega L = \frac{\omega W^2}{R_\mu} \approx \frac{\omega W^2 \mu_0 s}{\delta}$$

при промяна на δ и s ще се променя съпротивлението на бобината. Поради това се използват конструкции на преобразуватели с промяна на един от двата параметъра.



Линейни индуктивни сензори

- Базират се на промяната на индуктивността на бобина е подвижна сърцевина, закрепена за детайла.



Капацитивни преобразуватели

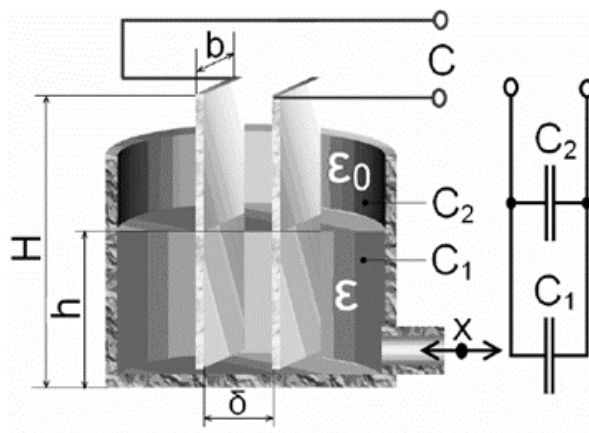
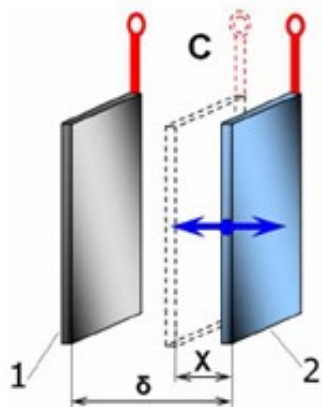
Капацитивни се наричат преобразувателите, при които изменението на измерваната неелектрическа величина се преобразува в изменение на капацитета на кондензатор.

При пренебрегване на краевия ефект, капацитетът C на кондензаторите с плоско-паралелни електроди се определя с изрази:

$$C = \frac{\epsilon s}{\delta} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r s}{\delta}$$

където ϵ е диелектричната
проницаемост на средата между
електродите, s – площта им, δ –
разстоянието между тях

$$C = \epsilon_0 \frac{s}{\delta \epsilon_r}$$



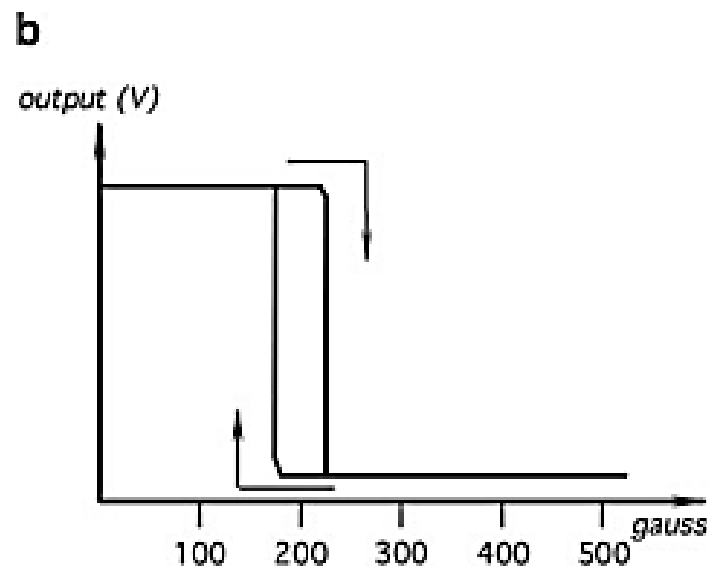
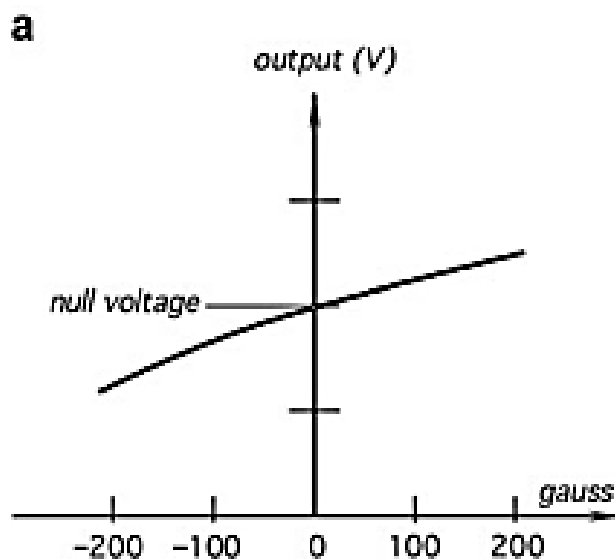
Капацитивен преобразувател с
плоско-паралелни електроди с
изменение на диелектричната
проницаемост

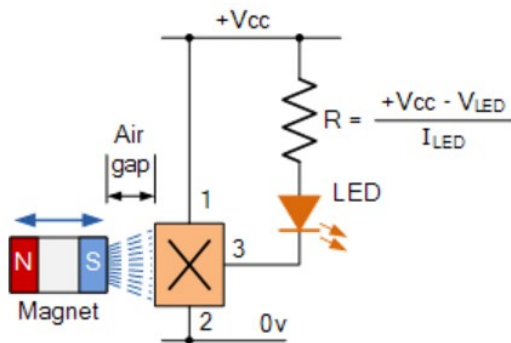
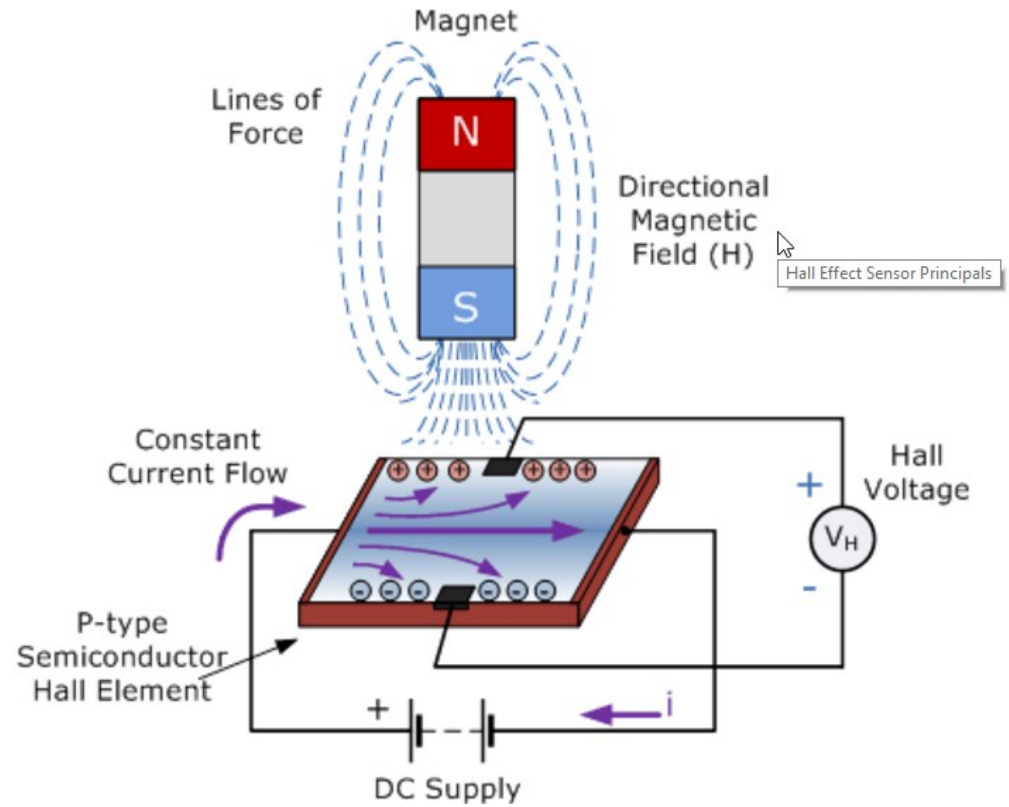
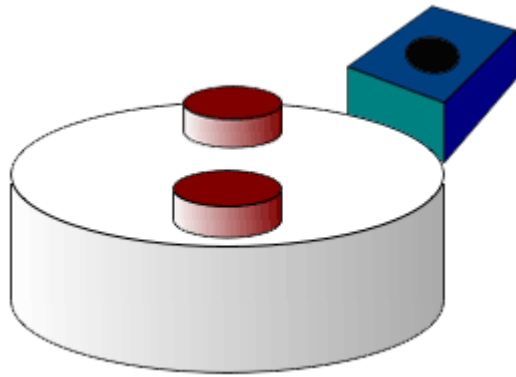
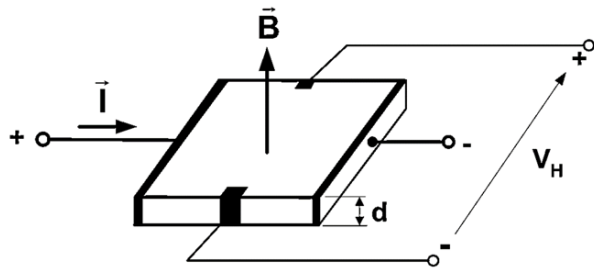
Сензори използващи ефекта на Хол - Hall Effect Sensors

Може би най-широко използвани магнитни сензори са датчици на Хол. представлява преобразувател, който изменя изходното си напрежение в резултат на промяна на магнитното поле. Тези датчици се използват в съвременни прецизни приложения, а също така и за безконтактно превключване, позициониране, определяне на скорост. Има два типа на сензорите на Хол: аналогов и сензор с две нива - bi-level.

Аналогови сензори обикновено включват усилватели за по-лесен интерфейс с периферните вериги. Аналоговия сензор работи в по-широк диапазон на напрежение и е по-стабилен в шумна среда. Тези сензори не са много линейни по отношение на плътността на магнитното поле. За прецизни измервания изискват точно калибриране.

Сензора с две нива в допълнение към усилвателя съдържа тригер на Шмит с вграден хистерезис на праговото ниво. Изходният сигнал като функция на плътността на магнитното поле е показана на. Сигналят е на две нива и с ясно изразена хистерезис по отношение на магнитното поле. Когато магнитната индукция надвиши определен праг, тригера осигурява чист преход до единица - ON

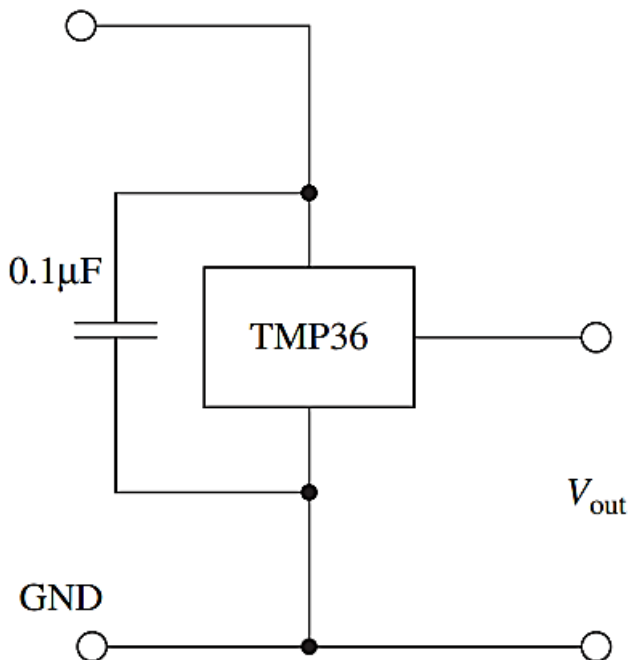




Термометър с аналогов изход - Analog Output Thermometer ICs

Една алтернатива на използването на термистор и резисторен делител с фиксирана стойност е интегрална схема за измерване на температура със специално предназначение IC. Устройства като TMP36 идват в троен пакет и се използват, както е показано.

2.7 to 5.5V



$$T = 100V_{OUT} - 50$$

За разлика от термистора, изходното напрежение на датчика е почти линейно при 10 mV/°C за температурен диапазон от -40 до + 125 ° C. Точността е само ± 2° извън температурния диапазон.

Температурата в °C се изчислява по формулата:

Константата 50 е посочена в данните за TMP36. Тези устройства са значително по-скъпи от термистори и серия резистори, но те са много лесно и удобно за използване.

Тензорезистори

Основни положения

Деформация: Разгледайте паралелепипед от "твърд" материал дължина L см. При натоварване на натиск куба ще си промени дължината с ΔL . ΔL може да бъде отрицателна или положителна, в зависимост от това дали куба е натоварен на натиск или опън. Напрежението е бездименсионно отношение мярка за деформацията породено от промяната на дължината dL .

$$\varepsilon = \frac{dL}{L} \qquad dL = \frac{L \cdot \sigma}{E} m$$

Където E се явява модул на Юнг с дименсия

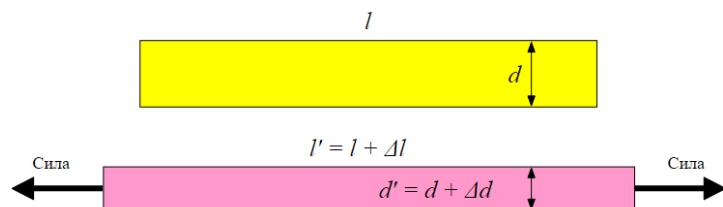
Пример: паралелепипед с дължина L 10 мм при материал стомана е подложен на натиск

$$\begin{aligned} \sigma &= 50 MPa \\ E &= 200000 MPa \end{aligned} \qquad dL = \frac{L \cdot \sigma}{E} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \times 50 \cdot 10^6}{200 \cdot 10^9} = 2.5 \cdot 10^{-6} m$$

При еластичната деформация след премахване на натоварването детайла връща първоначалната си форма. Коефициент на Поасон, или ν , наречен в чест на Симеон Дени Поасон, е число, което характеризира еластичните свойства на материалите. За нишка с радиус r и дължина l се дефинира по следния начин:

$$\nu = -\frac{\Delta r}{r} \cdot \frac{l}{\Delta l} = -\frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_L}$$

Най-елементарно може да се обясни като запазване на обема — нишката се удължава и затова изтънява.



Ако материал поддържа постоянен обем по време на разтягане, каква е стойността на коефициента? Паралелепипед с дължина L и страна s .

$$V = l \cdot s^2$$

$$dV = dl \cdot s^2 + l \cdot 2s \cdot ds = 0$$

$$\frac{ds}{dl} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{s}{l}$$

$$-\frac{ds/s}{dl/l} = \frac{1}{2} = -\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_l} = \nu$$

Зависимост на съпротивлението от деформацията

Разглежда се материал със специфично съпротивление ρ квадратно сечение със страна S и дължина L . Съпротивлението му в олове R е:

$$R = -\frac{\rho \cdot L}{S^2}$$

$$\ln(R) = \ln(\rho) + \ln(L) - 2\ln(S)$$

Диференцираме като се има пред вид: $d(\ln(x)) = \frac{dx}{x}$

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - 2\frac{dS}{S}$$

$$\varepsilon_R = -\nu \cdot \varepsilon_L \Rightarrow \frac{dS}{S} = -\nu \cdot \frac{dL}{L} \quad -2 \cdot \frac{dS}{S} = 2 \cdot \nu \cdot \varepsilon_L$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \varepsilon_L + 2\nu \cdot \varepsilon_L = \varepsilon_L (1 + 2\nu) + \frac{d\rho}{\rho}$$

$$\nu = -\frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_L} = -0.3 \quad \frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \varepsilon_L + 2\nu \cdot \varepsilon_L = \varepsilon_L (1 + 2\nu) + 0.4 \cdot \varepsilon_L \approx 2\varepsilon_L$$

Gauge Factor – GF:

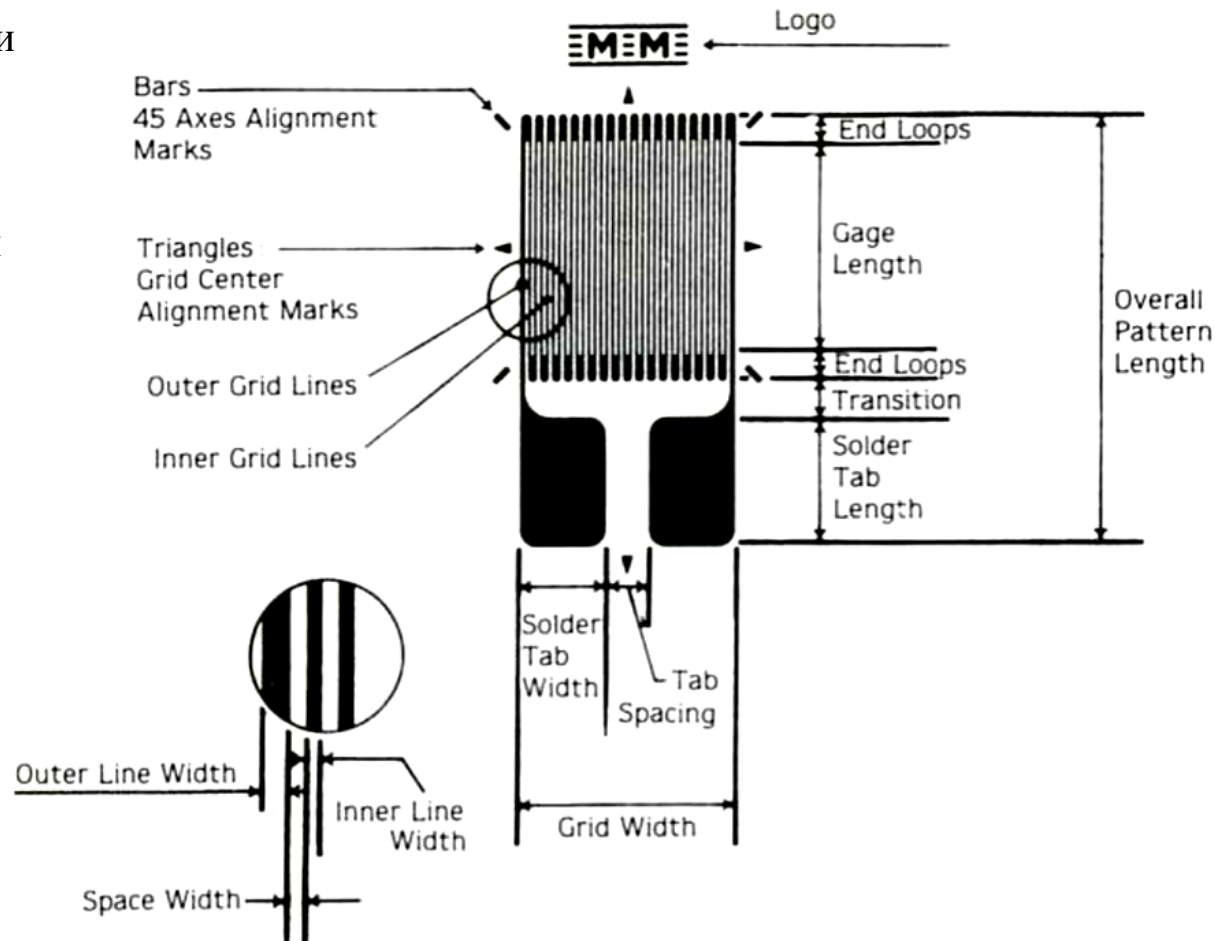
$$GF = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon_L} = 2$$

$$\varepsilon_L = \varepsilon$$

Тензометър върху фолио е може би най важния сензор в инженерната практика.

Тънък слой метал е залепен към еластична изолационна основа. Тя залепена здраво към материала, чиято деформация се измерва. Тензометъра е оформен като серпентина. Промяната на дължината DL на сегмент с дължина L рефлектира като цялостно удължение

$$DL = 14 * \Delta L$$



Определяне на напрежението

$$\sigma = E \frac{dL}{L} = E\varepsilon [Pa]$$

$$\varepsilon = 2 \frac{V_L - V_R}{GF \cdot [V_{EX} - (V_L - V_R)]}$$

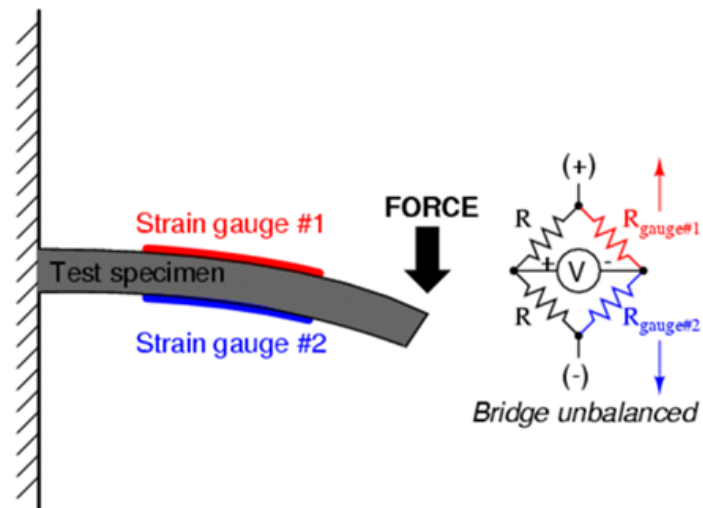
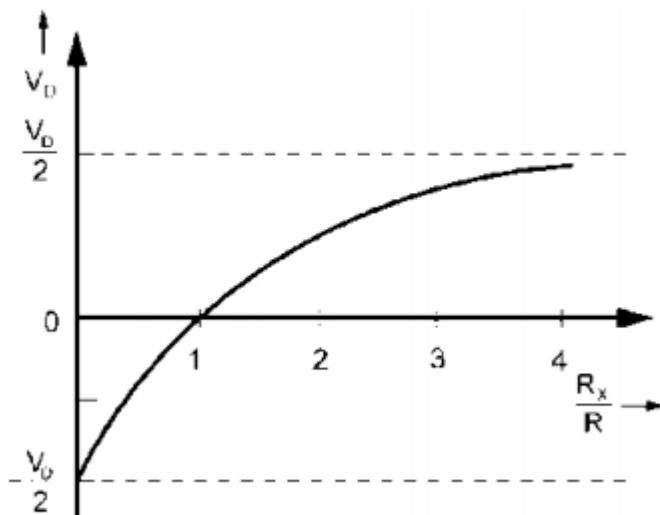
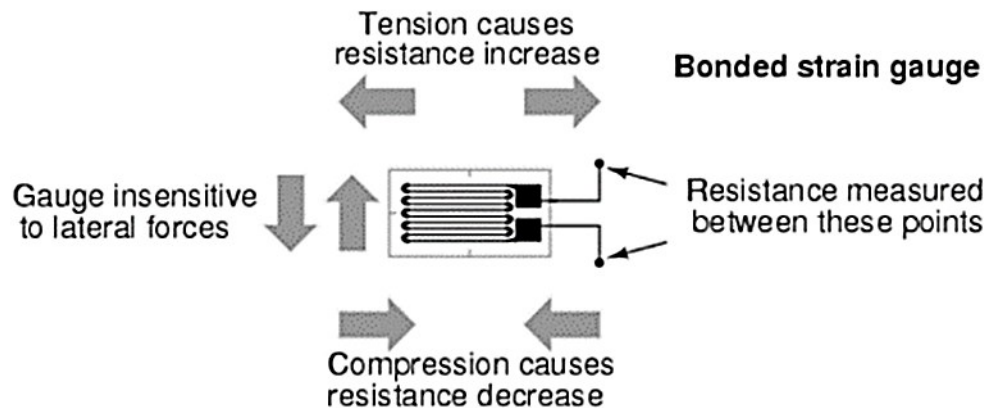
$$\varepsilon = 2 \frac{V_{out}}{GF \cdot [V_{EX} - V_{out}]}$$

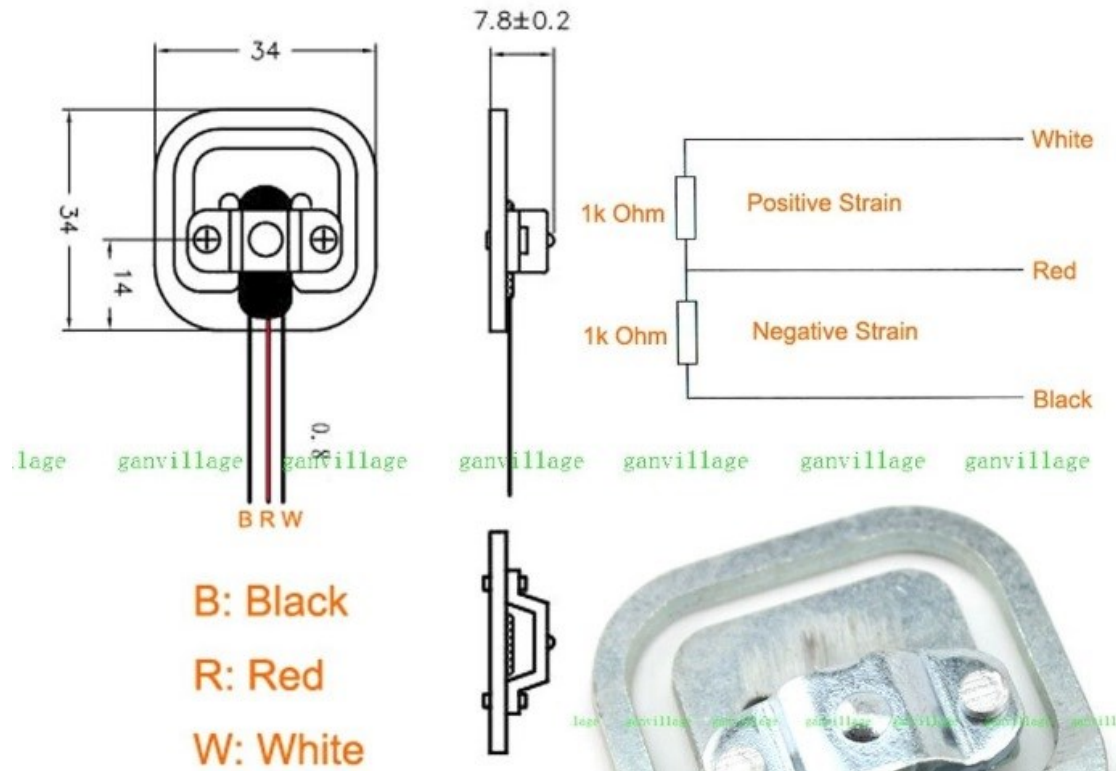
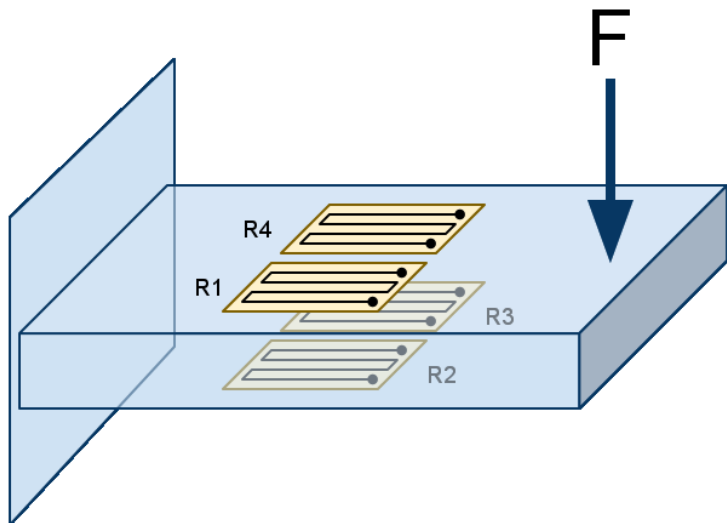
$$\sigma = \frac{2 \cdot E \cdot V_{out}}{GF \cdot [V_{EX} - V_{out}]} [Pa]$$

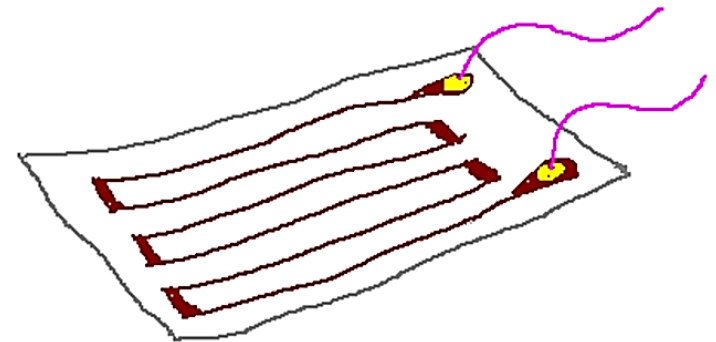
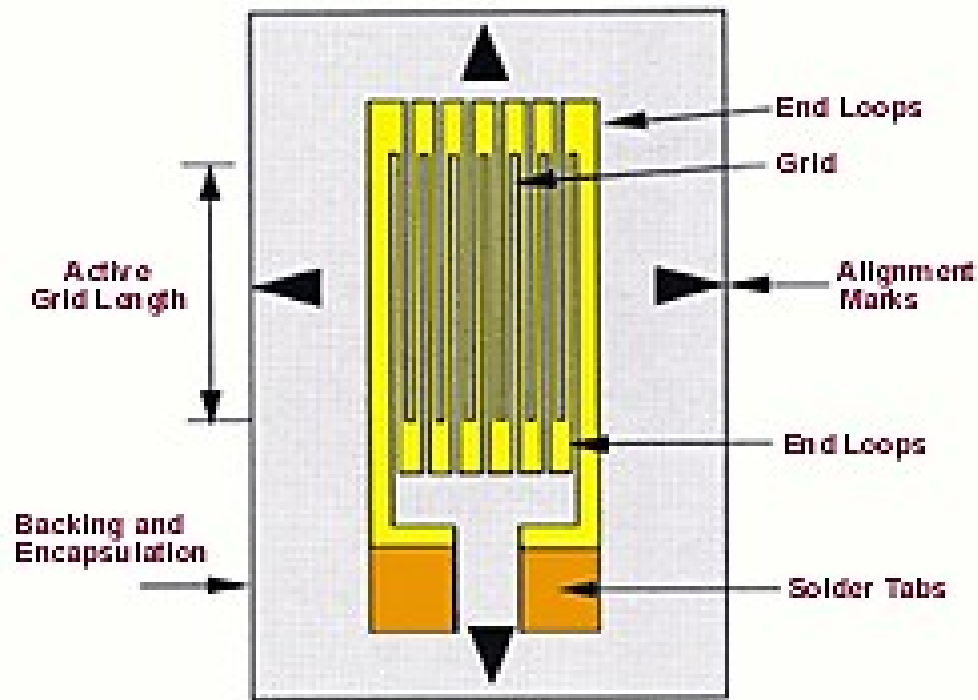
$$V_{out} = \frac{U}{G}$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot E \cdot U}{GF \cdot [G \cdot V_{EX} - U]} [Pa]$$

Тензорезистори (тензодатчици) се използват за измерване на напрежения, малки деформации, вибрации. Действието се основава на тензоефекта т.е. промяна на съпротивлението на проводникови и полупроводникови материали под въздействието на сили, приложени към тях.



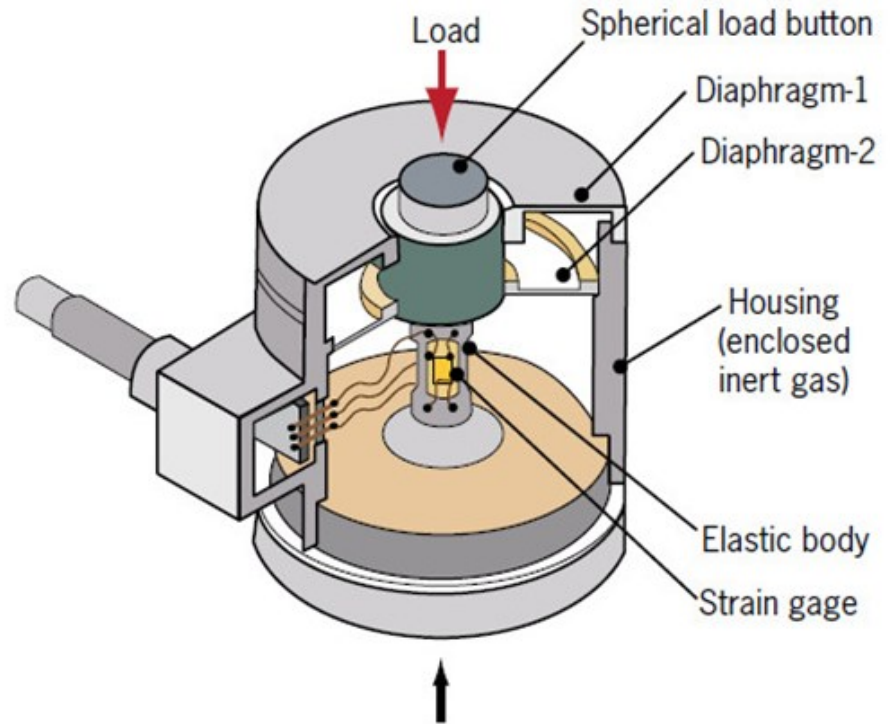


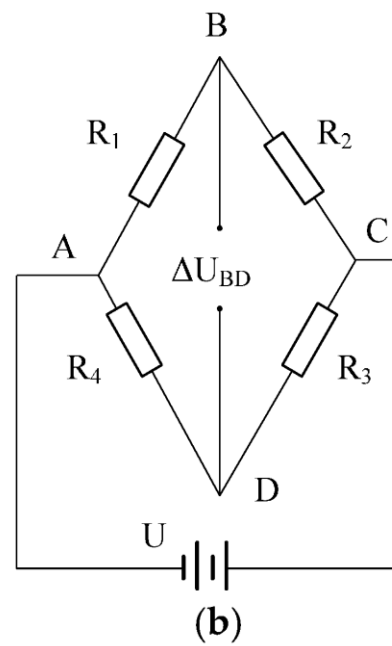
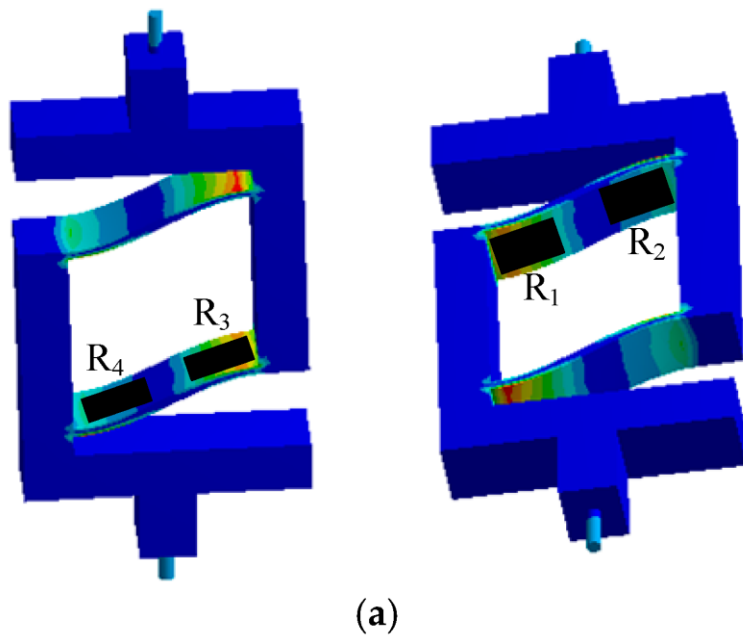
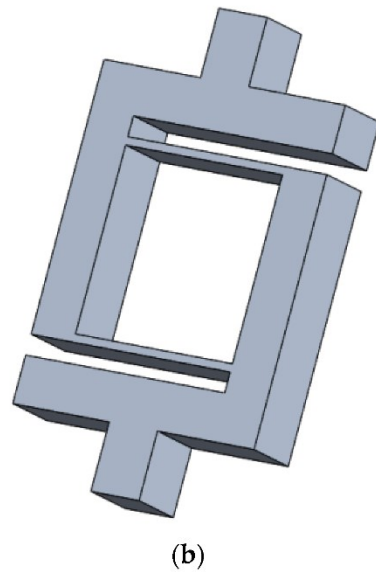
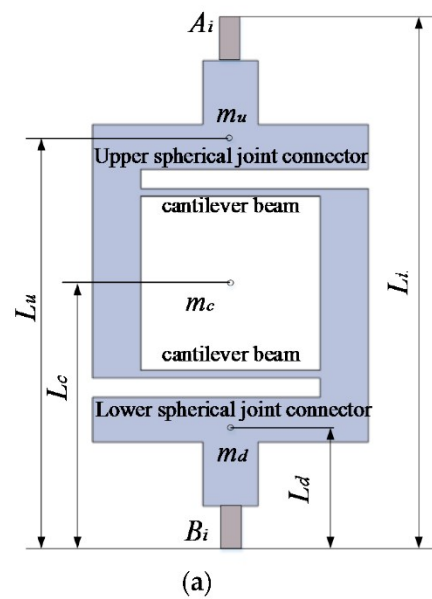


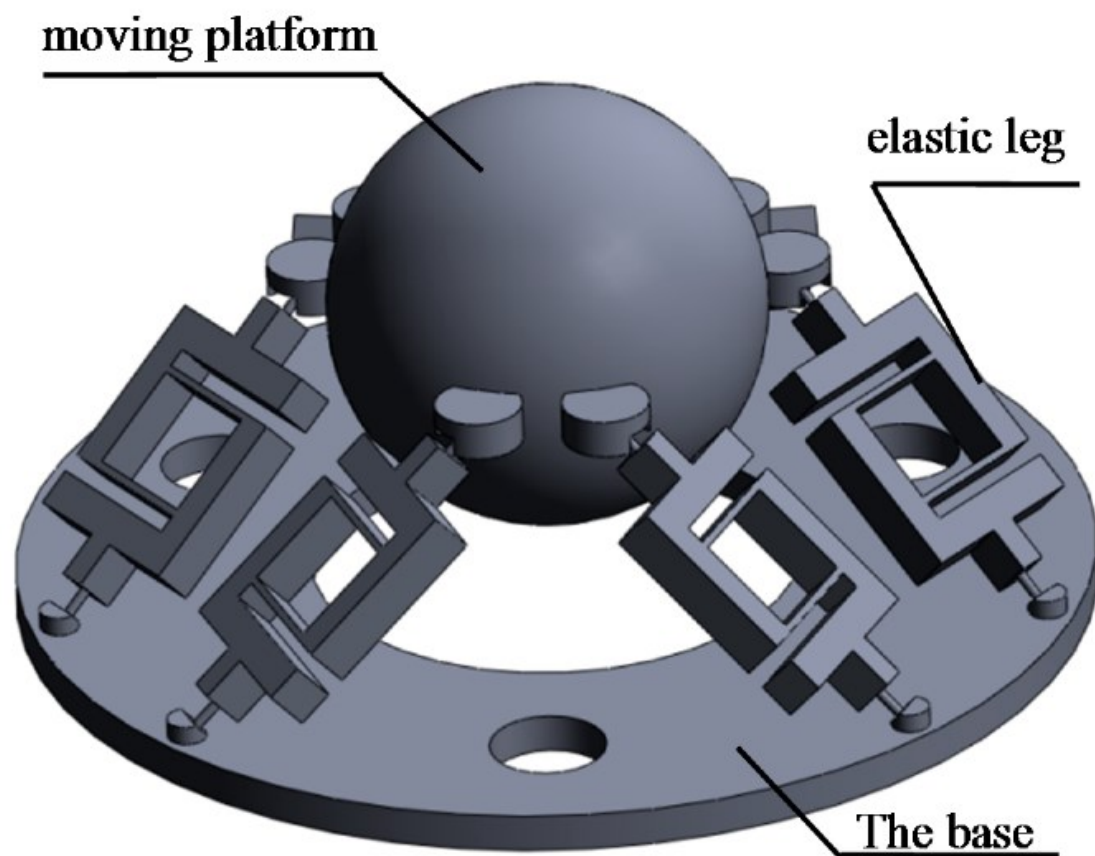
$$\Delta R = -\nu \cdot \varepsilon_L \cdot R_0$$

Силоизмерителна клетка - LOAD CELL

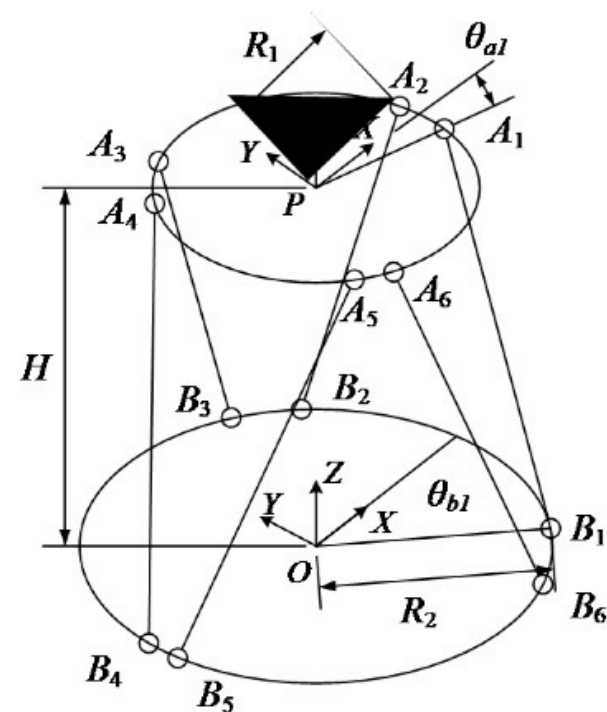
- Състои се от механична конструкция подложена на деформация от измерваната сила. Деформацията се измерва от тензометри обичайно в *half* или *full bridge* конфигурация.
- използват се за измерване на сили и вибрации.
- Има различни типове *load cells* (*double ended shear beam, single ended shear beam, single column, multi - column*) според различното предназначение.



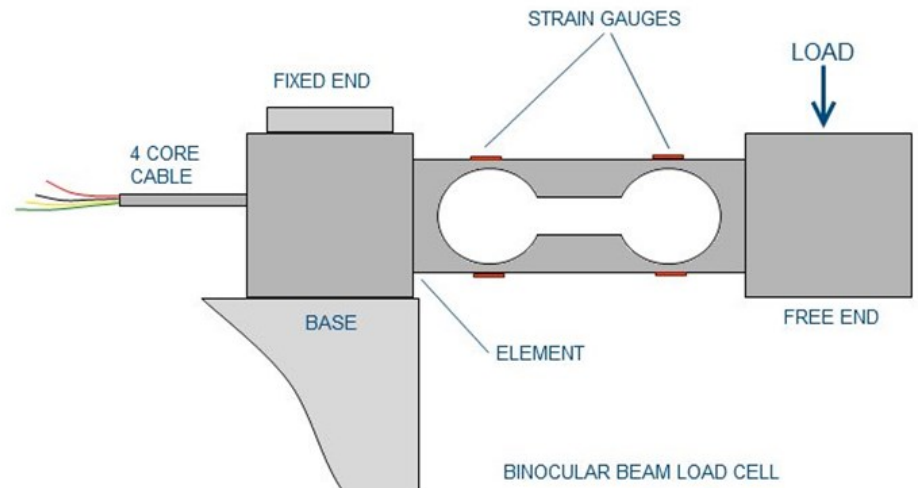
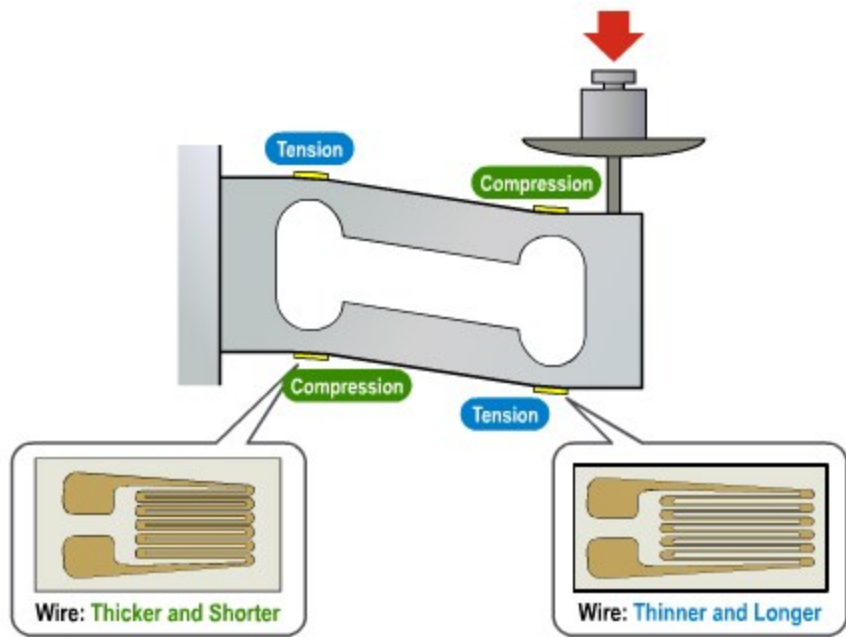




(a)



(b)

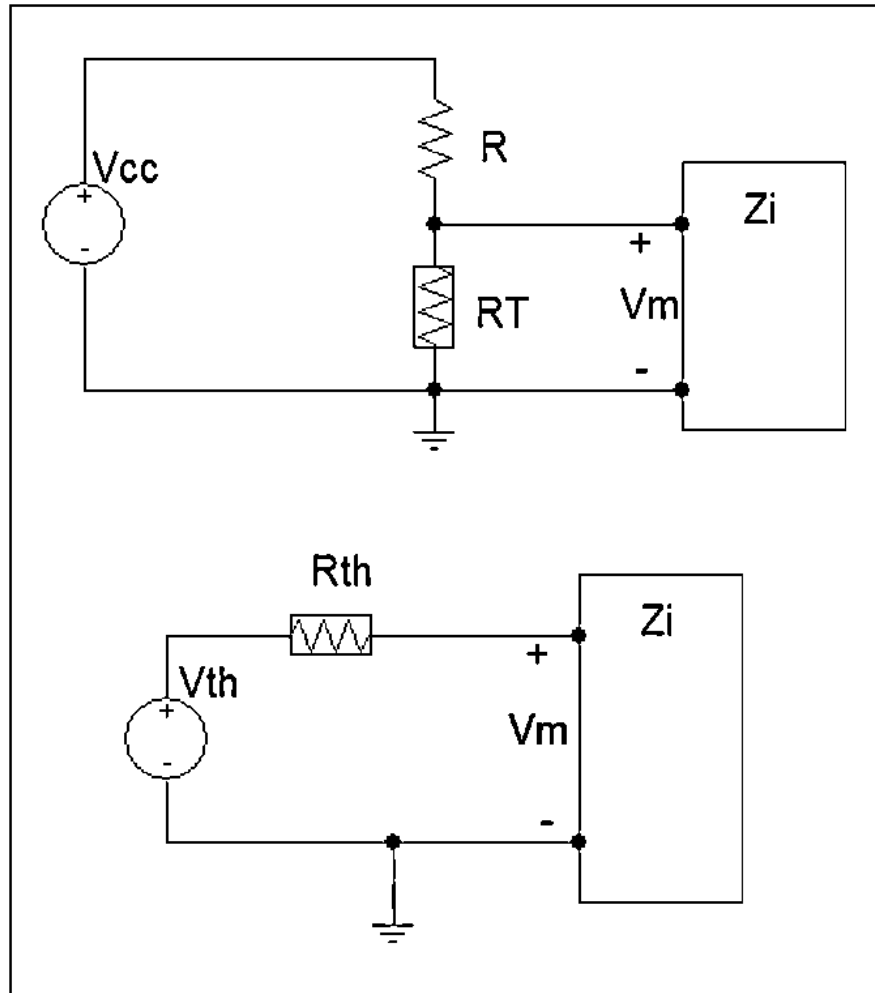


Обработка на сигнала и операционни усилватели

Необходимост от обработка на сигнала

- Преобразуване на промяната на параметъра (импеданса impedance) Z в електрически сигнал, който е лесен за обработка (voltage V_m)
- Голям коефициент на усилване и лесно регулиране на стойността му
- Голямо входно съпротивление

Потенциометрично свързване Potentiometric circuit (a case study)



$$V_m = f(m, p_1, p_2, \dots)$$

Equations:

$$V_m = V_{cc} \frac{R_T}{R + R_T}$$

$$R_T(m) = R_0 + \Delta R_m = R_0 + S_m \cdot m$$

$$R_T(m, i) = R_0 + S_m \cdot m + S_i \cdot i$$

Questions:

- Load effect R_{th}
- Linearity
- Maximum sensitivity ($R = R_0$)
- Magnitudes of influence
- V_m not null if $m=0$!!!

Sensitivity

$$S = \frac{\partial V_m}{\partial m} = S_m \cdot V_{CC} \frac{R}{(R + R_T)^2}$$

Maximum sensitivity

$$S_{\max} \Leftrightarrow \frac{\partial S}{\partial R} = 0 \Rightarrow R = R_0$$

Effect of magnitudes of influence

$$\frac{\partial V_m}{\partial i} = S_i \cdot V_{CC} \frac{R}{(R + R_T)^2}$$

Compensation of magnitudes of influence

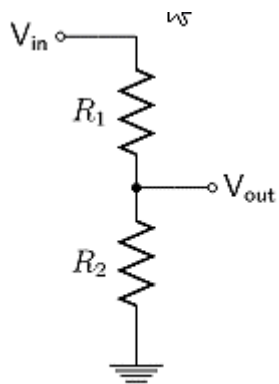
$$\frac{\partial V_m}{\partial i} = 0$$

$$V_m = V_{CC} \frac{R_T}{R + R_T}$$

$$R_T(m) = R_0 + S_m \cdot m$$

$$R_T(m, i) = R_0 + S_m \cdot m + S_i \cdot i$$

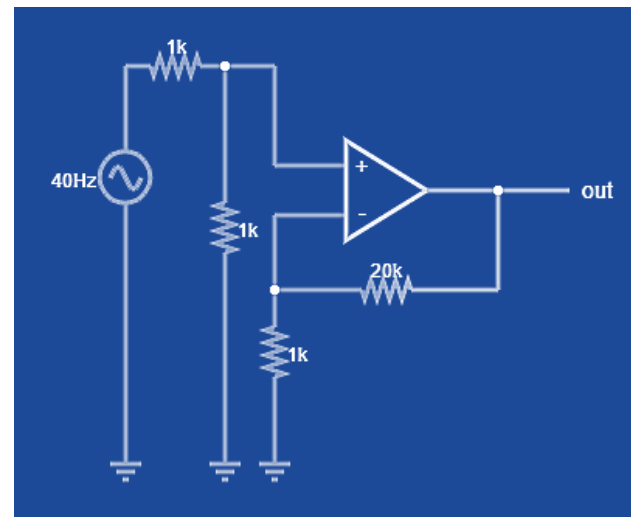
$$R(i) = R_0 + S_i \cdot i$$



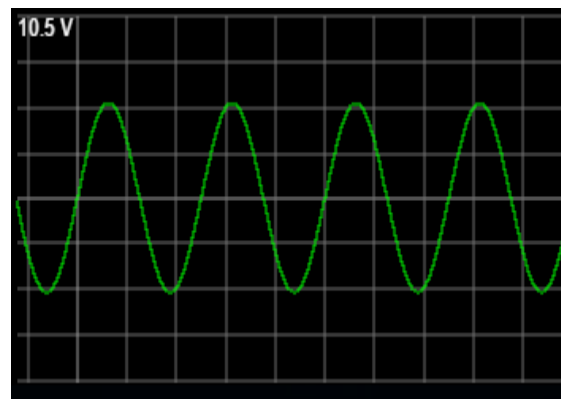
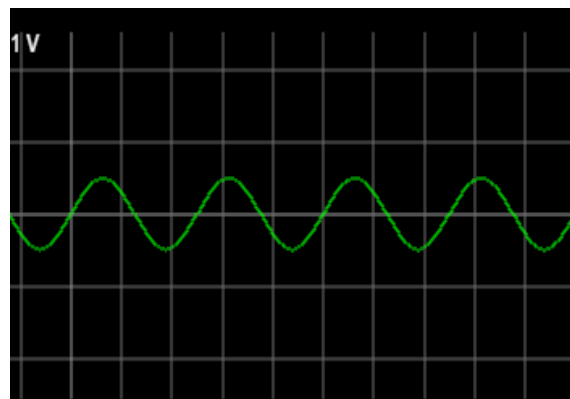
$$V_{\text{out}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{\text{in}}$$

If $R_1 = R_2$ then

$$V_{\text{out}} = \frac{1}{2} \cdot V_{\text{in}}$$



Усилва входния сигнал по напрежение без инвертиране



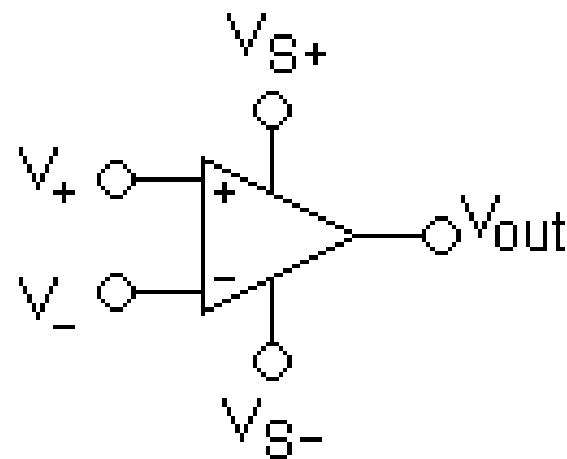
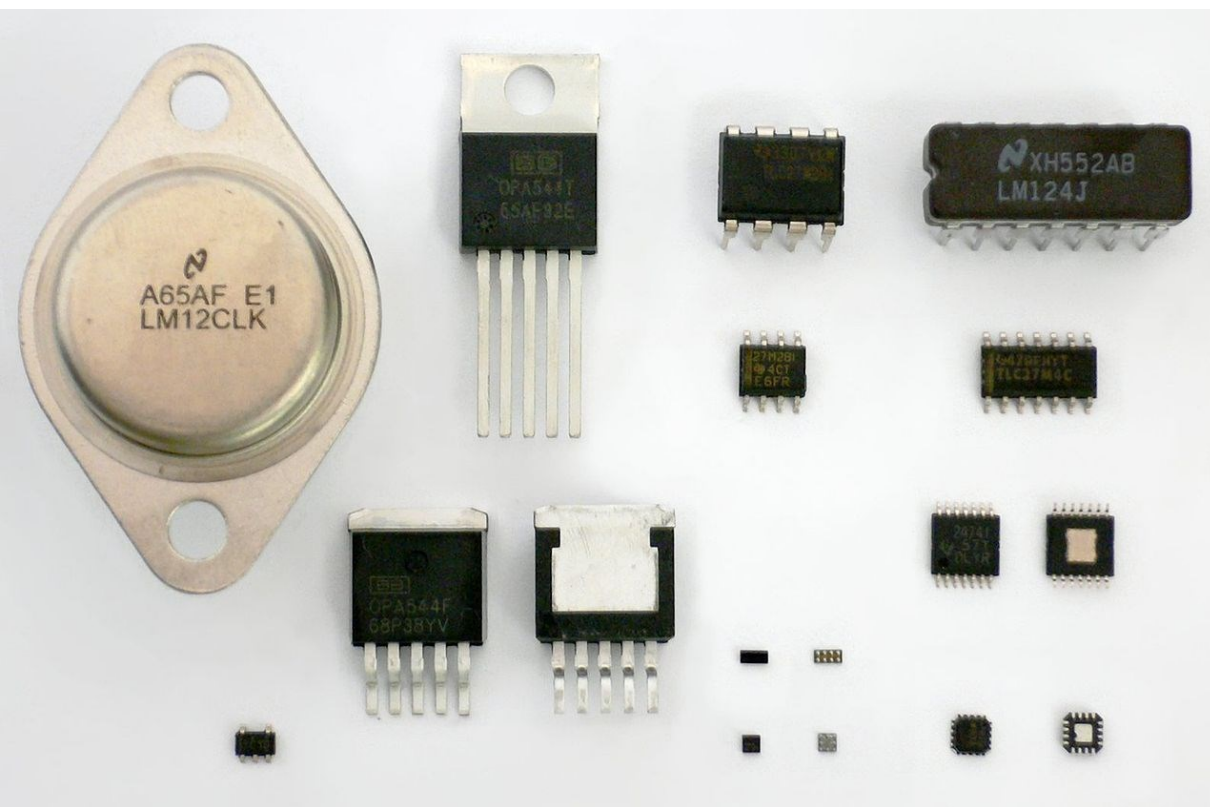
Операционен усилвател (ОУ, *OpAmp*) е диференциален усилвател с несиметричен изход и имащ много голям коефициент на усилване.

Операционният усилвател има два входа:

- неинвертиращ (в електронните схеми се обозначава с +)
- инвертиращ (обозначава се с -)

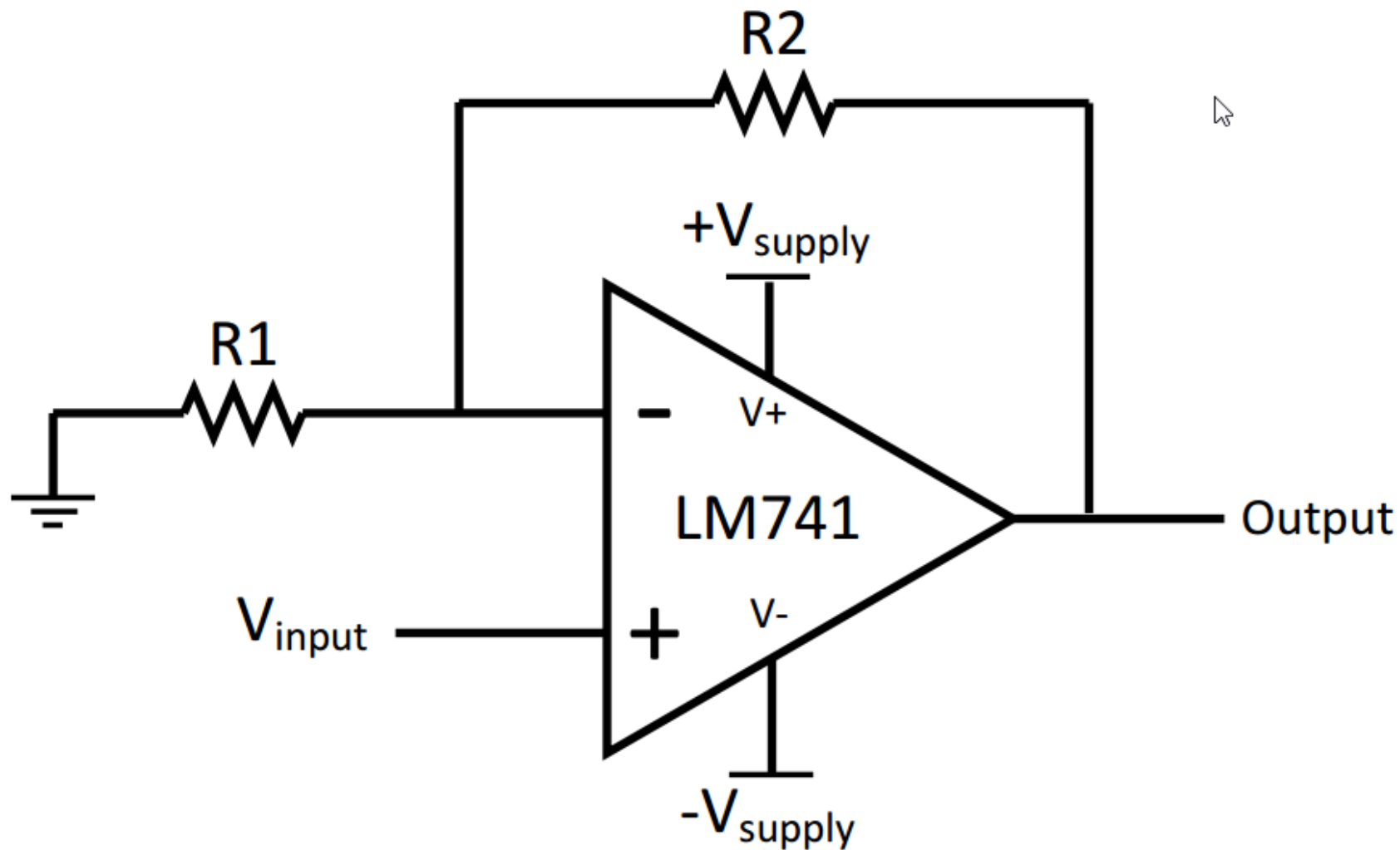
Изходното напрежение на ОУ е пропорционално на разликата в напреженията между неинвертиращия и инвертиращия входове.

Освен това Операционните усилватели са т.н. "идеални" усилватели заради тяхната "права" на волт-амперната им характеристика. Т.е. с идеалната си кристална структура в чипа и точното оразмеряване на вътрешната им архитектура не внасят никакви Нелинейни изкривявания върху манипулирания сигнал.

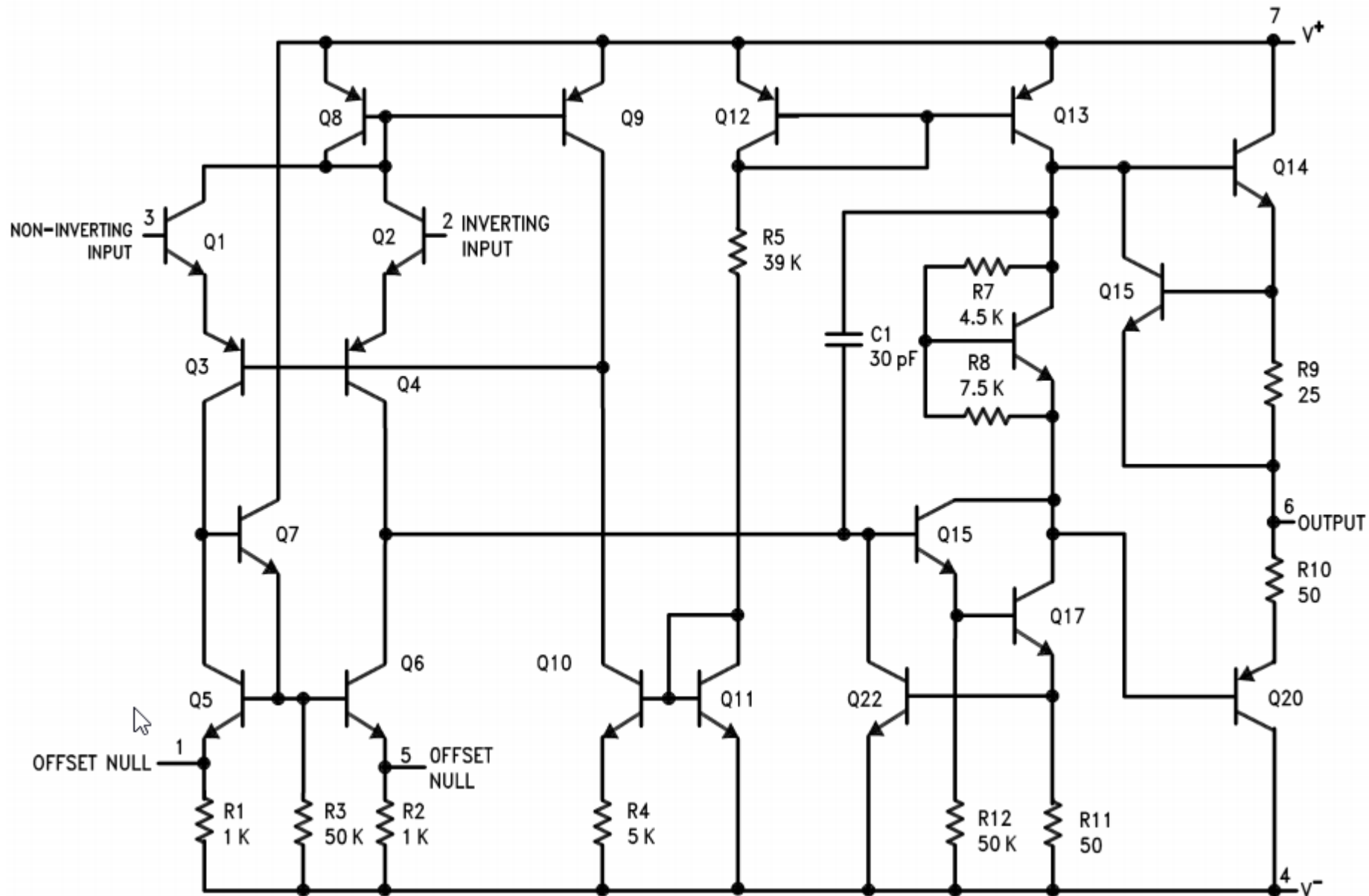


$$V_{out} = G(V_+ - V_-)$$

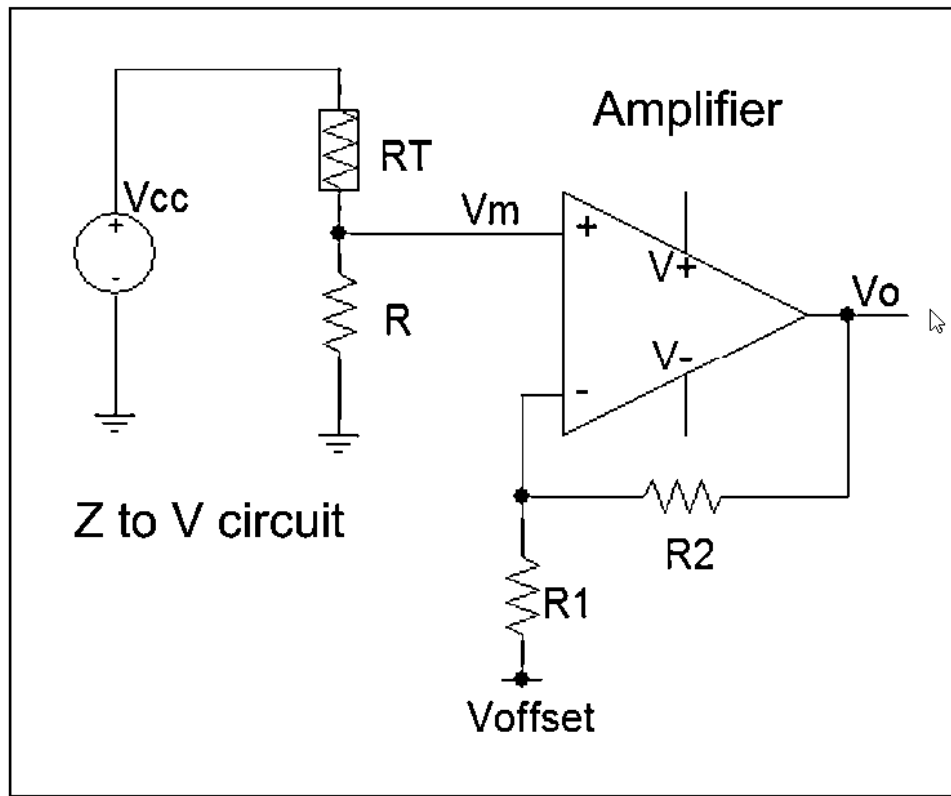
Типично приложение на операционен усилвател



Типична конструкция на операционен усилвател



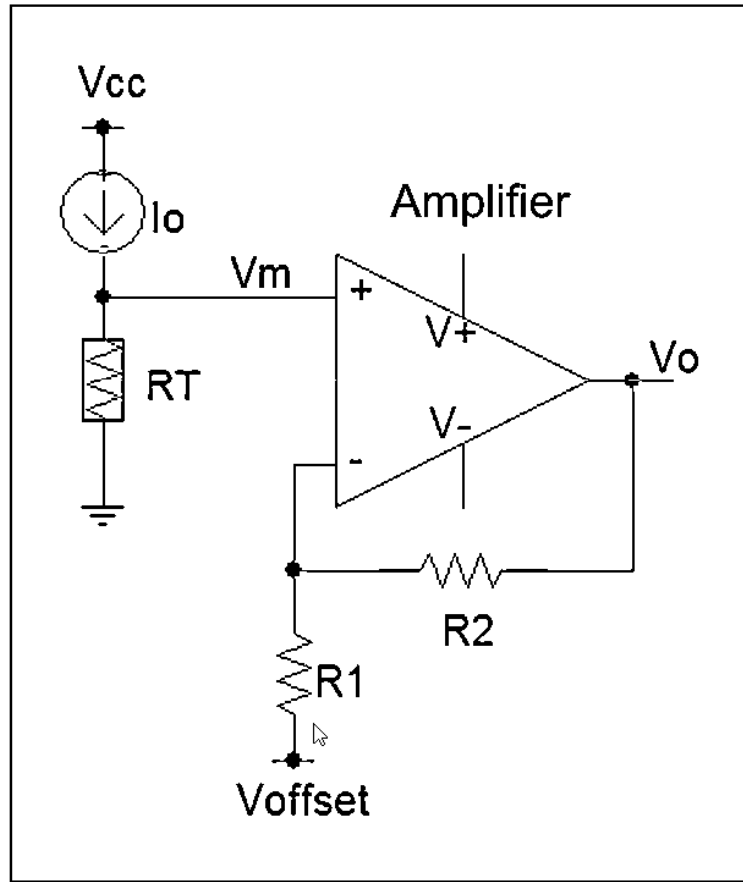
Основни елементи на при обработка на пасивните сигнали Basic passive sensors conditioning circuits



Amplifier with very high
input impedance Z_i , very
low output impedance Z_o

$$V_m = V_{CC} \frac{R}{R + R_T}$$

$$V_o = V_m \frac{R_1 + R_2}{R_1} - V_{offset} \frac{R_2}{R_1}$$



$$V_m = I_o \cdot R_T$$

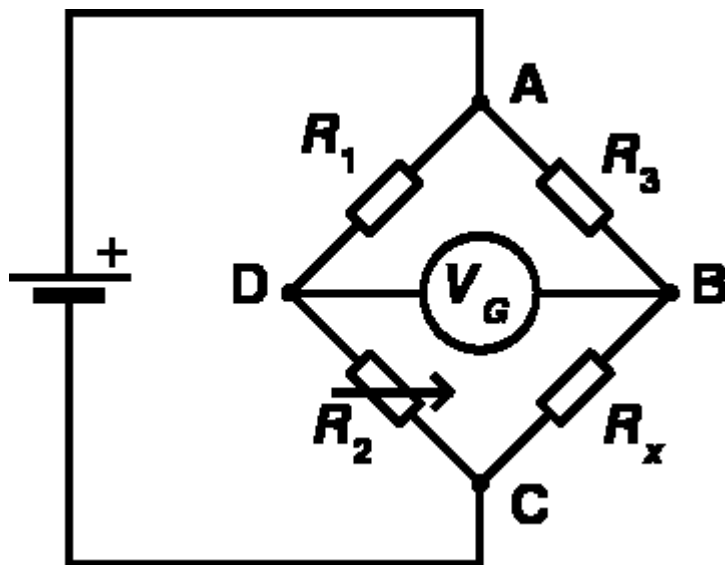
Good linearity over a wide range

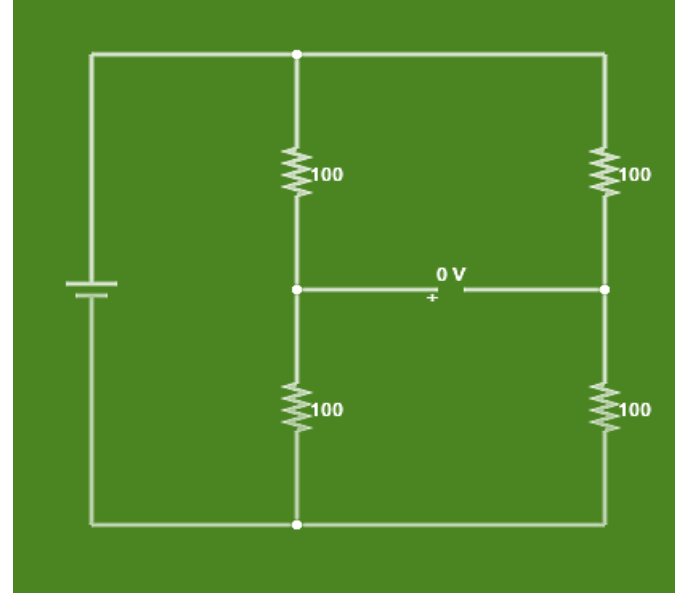
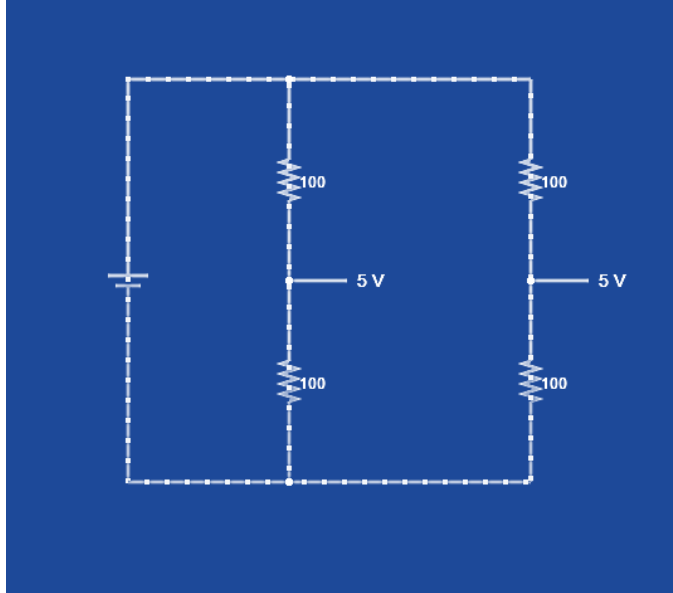
$$V_o = V_m \frac{R_1 + R_2}{R_1} - V_{offset} \frac{R_2}{R_1}$$

Мост на Уитстън - *Charles Wheatstone*

Уитстънов мост или **електроизмерителен мост на Уитстън** е разклонена електрическа верига, която се използва за измерване по сравнителен метод на съпротивления (или други неелектрически величини, свързани със съпротивленията с известна зависимост).

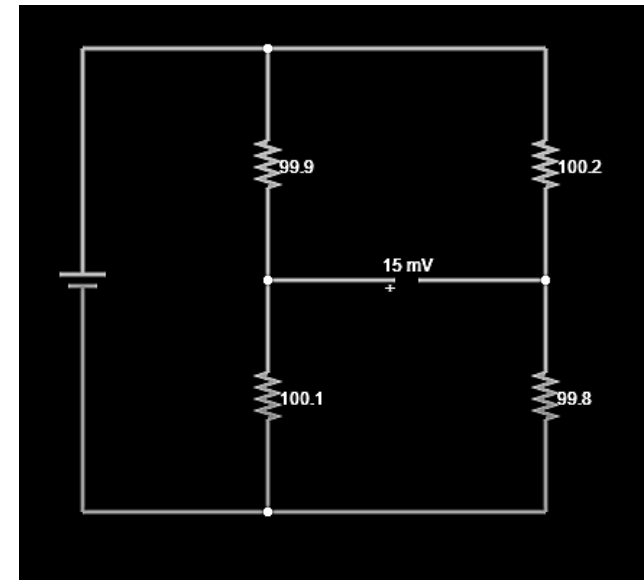
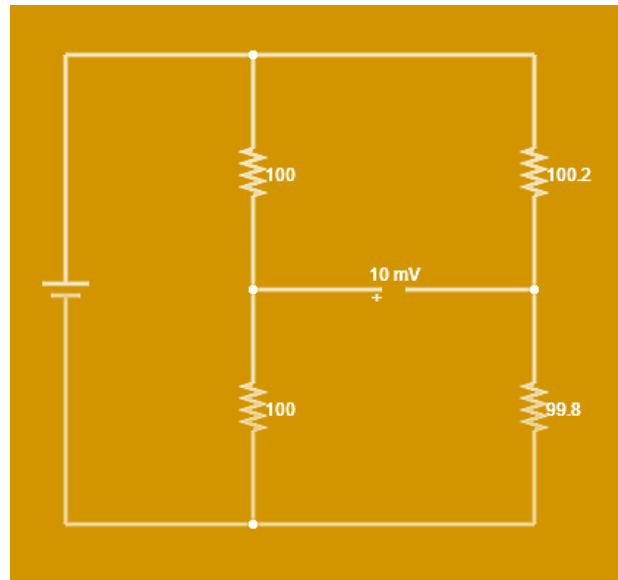
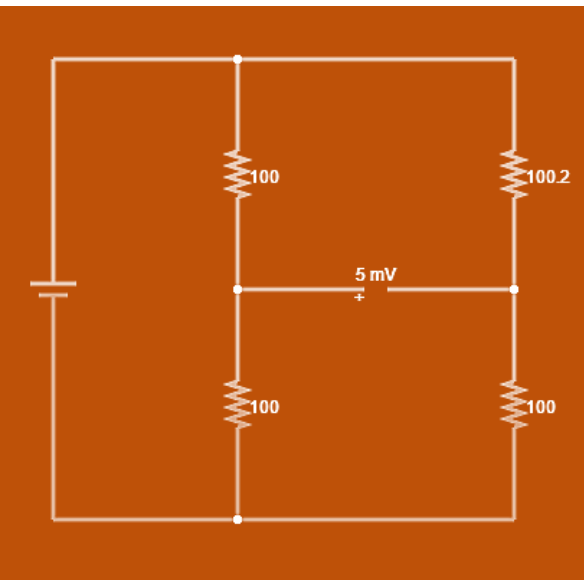
Когато между В и D не протича електрически ток, което се установява по липсата на отклонение на галванометъра G , тогава $R_1/R_2 = R_3/R_4$, където R_1 и т.н. са съпротивления. Този принцип се използва в моста с метров реохорд. Проводник АВ с еднородно съпротивление и дължина обикновено 1 метър, съответства на R_3 и R_4 . За R_1 се използва еталонно съпротивление, а R_2 е измерваното съпротивление. Посредством плъзгащ се по АВ контакт се намира точката на нулево отклонение на галванометъра, при което съпротивленията R_3 и R_4 са пропорционални на съответните дължини от проводника.



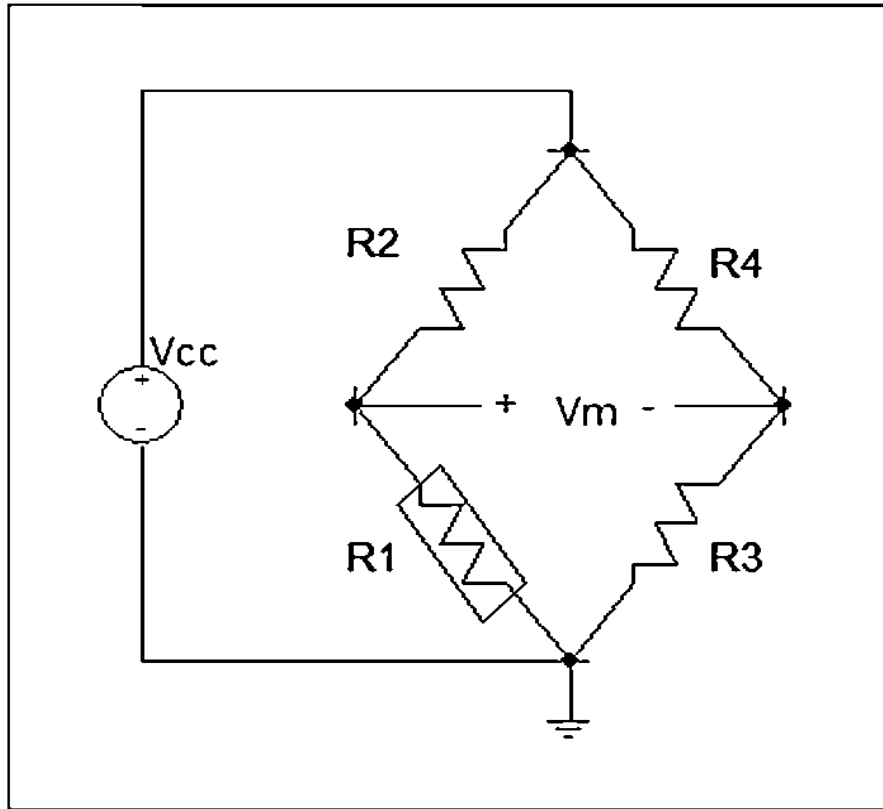


Балансиран мост

Разбалансиран мост с 1,2 и 4 тензорезистора



Wheatstone bridge



Equations:

$$V_m = V_{cc} \left[\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right]$$

Equilibrium ($V_m = 0$):

↗

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

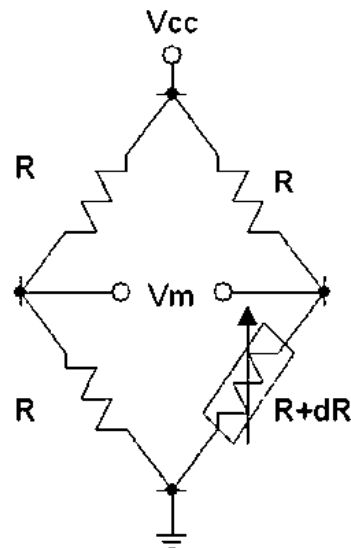
Maximum sensitivity:

$$R_1(m) = R_0 + \Delta R_m = R_0 + S_m \cdot m$$

$$R_2 = R_0 \quad \text{and} \quad R_3 = R_4$$

$$V_m = V_{cc} \left[\frac{R_0 + \Delta R_m}{2R_0 + \Delta R_m} - \frac{1}{2} \right] = V_{cc} \left[\frac{\Delta R_m}{4R_0 + 2\Delta R_m} \right]$$

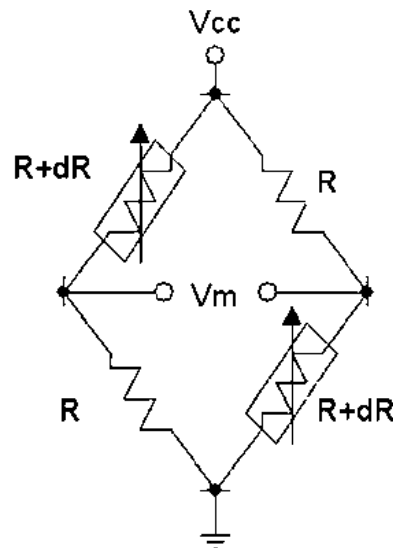
Wheatstone bridge sensitivity, linearity, push-pull and errors due to magnitudes of influence



$$V_m = \frac{V_{cc}}{4} \left[\frac{\Delta R}{R_o + \frac{\Delta R}{2}} \right]$$

0.5%/%

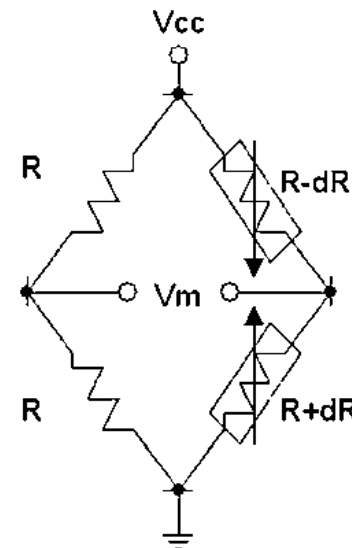
A) Single-Element
varying



$$V_m = \frac{V_{cc}}{2} \left[\frac{\Delta R}{R_o + \frac{\Delta R}{2}} \right]$$

0.5%/%

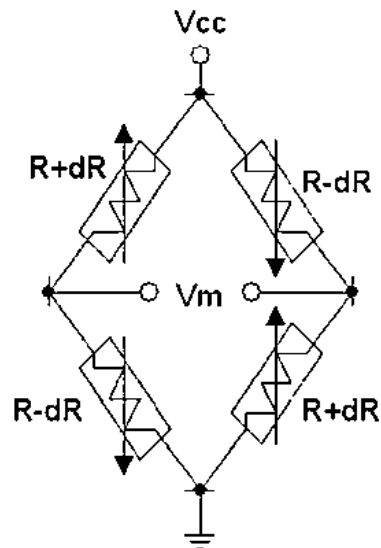
B) Two-Element
varying (1)



$$V_m = \frac{V_{cc}}{2} \left[\frac{\Delta R}{R_o} \right]$$

0

C) Two-Element
varying (2) Push-pull



$$V_m = V_{cc} \left[\frac{\Delta R}{R_o} \right]$$

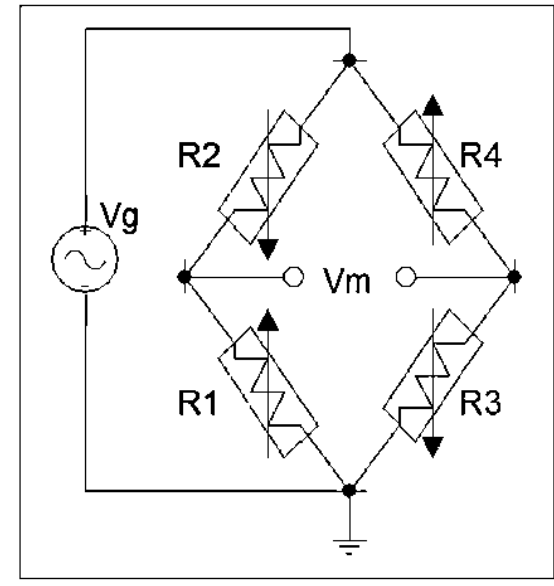
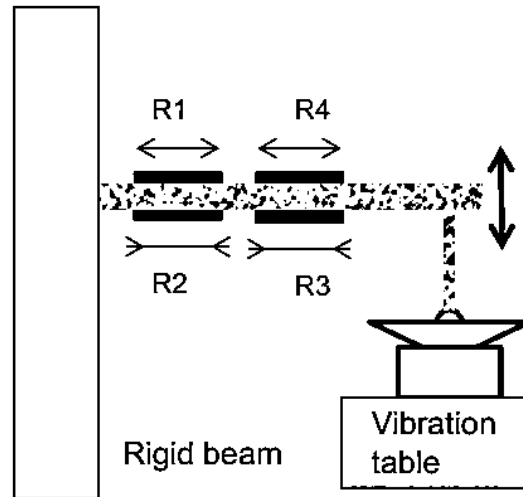
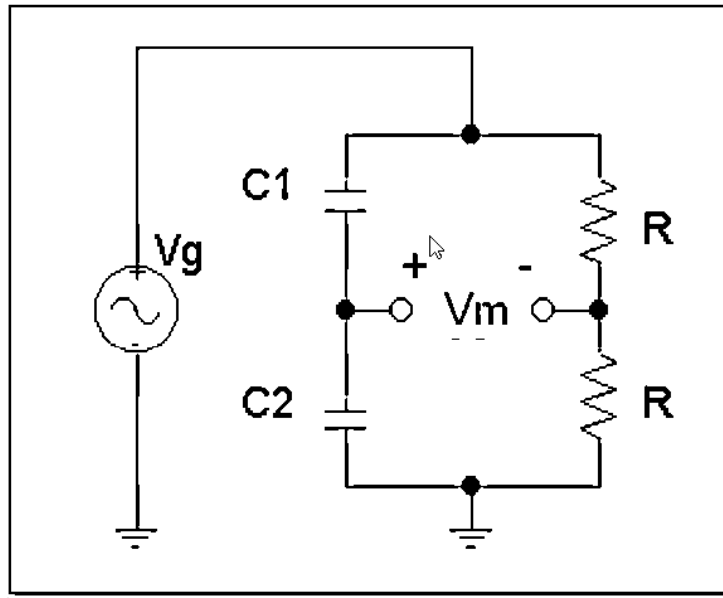
0

D) All-Element
varying

V_m

Linearity Error

Need of AC Null Measurements



Analog conditioning of
Capacitive and inductive sensors
(complex impedances)

V_g is the carrier of the
modulated electronic system
(reference oscillator)