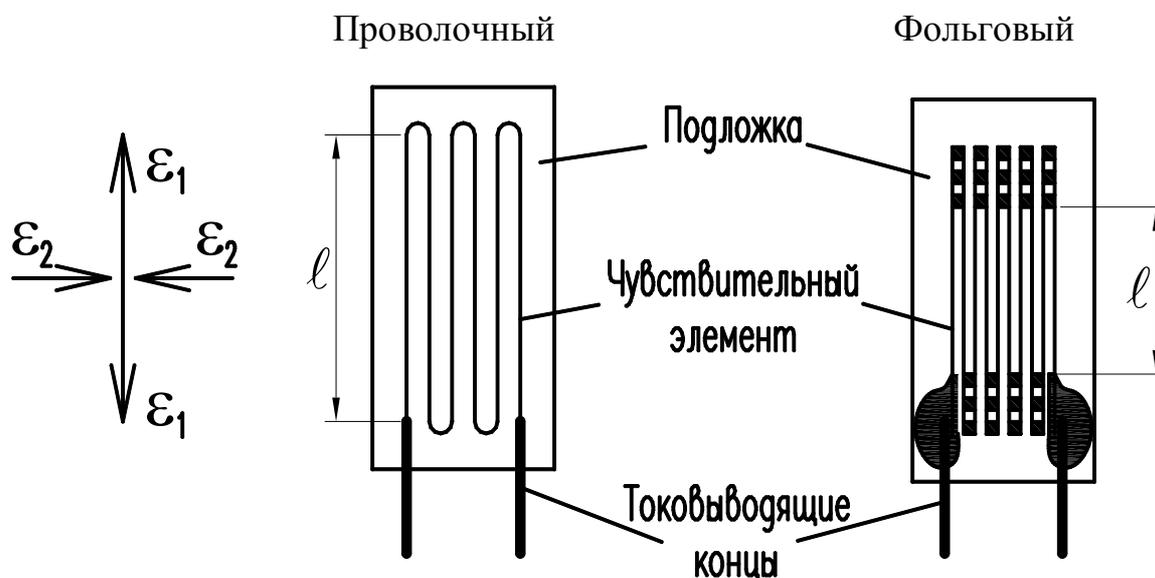
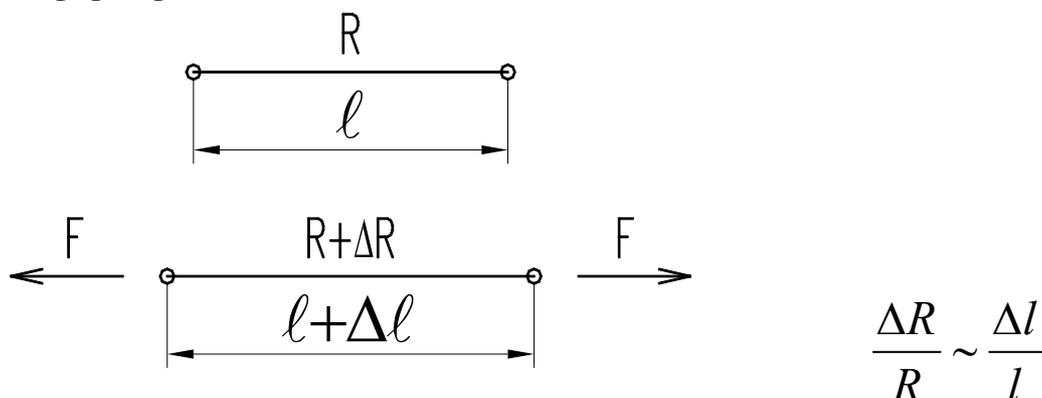


Лекция №9 Тензорезисторы



Принцип работы тензорезисторов состоит в использовании явления тензоэффекта, который заключается в изменении сопротивления проводника при его деформировании.



Количественной мерой тензочувствительности является коэффициент тензочувствительности:

$$k_T = \frac{\Delta R}{R} \div \frac{\Delta l}{l}$$

Фольговые тензорезисторы, не имеющие поперечной чувствительности (в отличие от проволочных), изготавливаются ортохимическим способом и могут быть выполнены любой формы, а также в виде цепочек, розеток и т.д.

База тензорезисторов	$\ell = 0,5 - 150\text{мм};$
Сопротивление	$R = 40 - 400 \text{ Ом};$
Коэффициент тензочувствительности	$k_T = 1,8 - 3,5 \text{ (для проводников).}$

Существуют также и полупроводниковые тензорезисторы. Они изготавливаются методом напыления полупроводникового материала на трафарет, могут быть любой формы и размеров. Их коэффициент тензочувствительности имеет высокое значение ($k_T = 120 - 150$) и зависит от температуры, поэтому полупроводниковые тензорезисторы и устройства на их основе применяются только для кратковременных динамических испытаний.

Для точного определения значения коэффициента тензочувствительности тензорезисторы подвергают градуировке (выборочно 5-7% из партии). Градуировка тензорезисторов производится с помощью упругого элемента, деформации которого от заданной нагрузки определяются аналитически:

1. Консоль равного сопротивления

$$b = \frac{B}{L} \cdot z$$

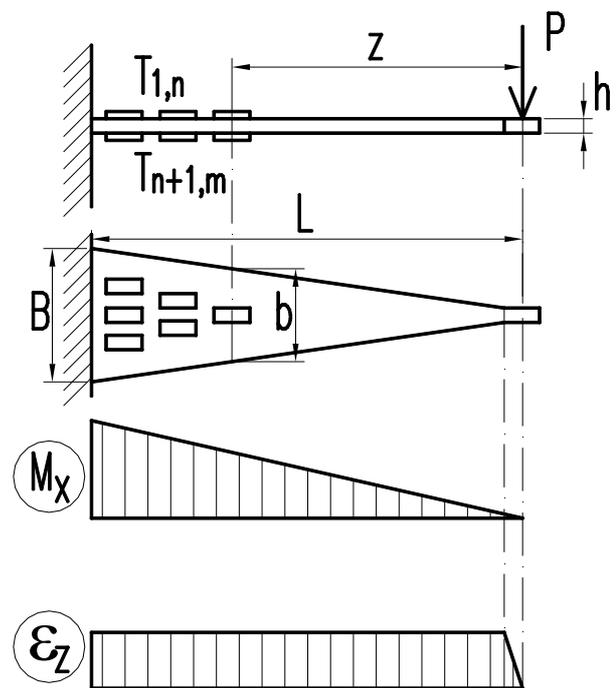
$$W_X = \frac{bh^2}{6} = \frac{Bh^2}{6L} \cdot z$$

$$M_X = P \cdot z \quad \sigma_Z = E \cdot \varepsilon_Z$$

$$\sigma_Z = \frac{M_X}{W_X} = \frac{6PL}{Bh^2}$$

$$\varepsilon_Z = \frac{\sigma_Z}{E} = \frac{6PL}{EBh^2}$$

$$k_T = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon_Z}$$



2. Балка с зоной чистого изгиба

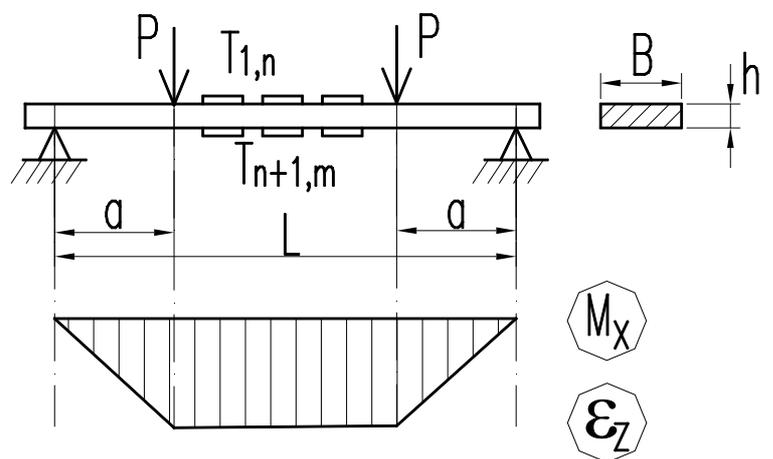
$$W_X = \frac{bh^2}{6}$$

$$M_{\max} = P \cdot a$$

$$\sigma_Z = \frac{M_X}{W_X} = \frac{6Pa}{Bh^2}$$

$$\varepsilon_Z = \frac{\sigma_Z}{E} = \frac{6Pa}{EBh^2}$$

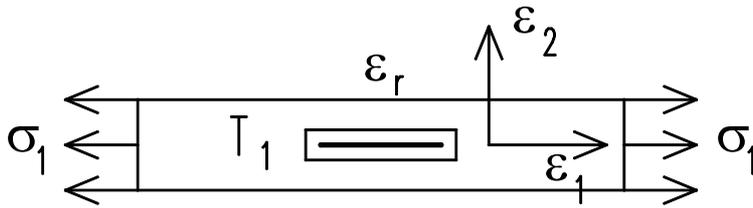
$$k_T = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon_Z}$$



Измерение деформаций при помощи тензорезисторов

Выбор схемы установки тензорезисторов зависит от вида напряженного состояния:

1. Одноосное напряженное состояние



$$\varepsilon_1 = \varepsilon_r; \quad \varepsilon_2 = -\mu\varepsilon_1;$$

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta R / R}{k_T}$$

Переход от измеренных деформаций к напряжениям (упругая область)

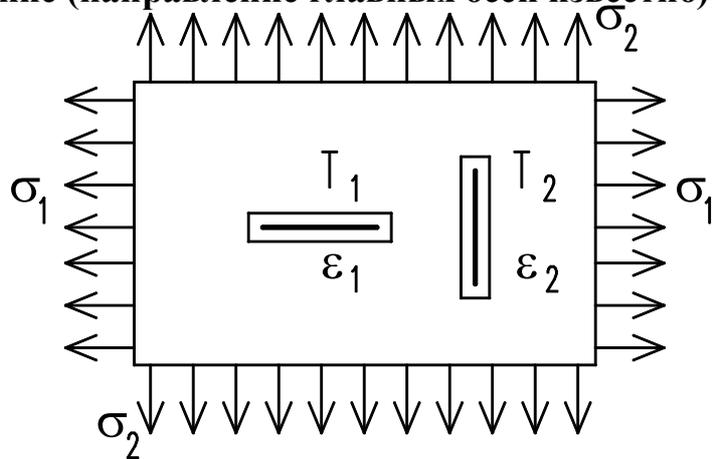
$$\sigma_2 = 0; \quad \sigma_1 = E \cdot \varepsilon_1$$

2. Плоское напряженное состояние (направление главных осей известно)

Упругая область

$$\sigma_1 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_1 + \mu \cdot \varepsilon_2)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_2 + \mu \cdot \varepsilon_1)$$



3. Плоское напряженное состояние (направление главных осей неизвестно)

В случае, когда направление главных осей неизвестно используют тензорозетку:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\varepsilon_{45^\circ} - (\varepsilon_{0^\circ} + \varepsilon_{90^\circ})}{\varepsilon_{0^\circ} - \varepsilon_{90^\circ}}$$

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_{0^\circ} + \varepsilon_{90^\circ}}{2} \pm \frac{\varepsilon_{0^\circ} - \varepsilon_{90^\circ}}{2 \cos 2\alpha}$$

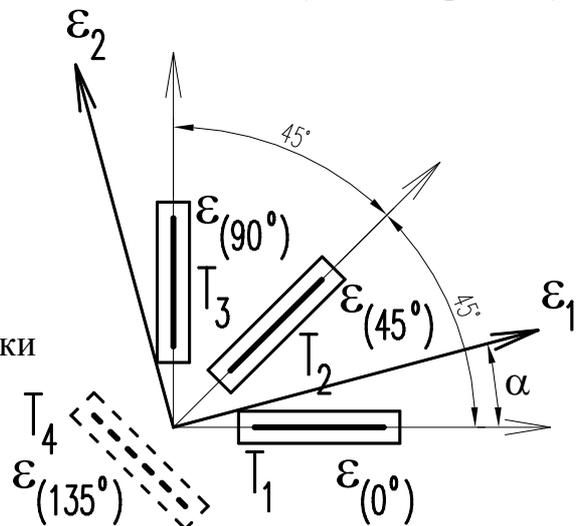
Наличие T4 позволяет получить 4 тензорозетки

1 – T1; T2; T3

2 – T2; T3; T4

3 – T3; T4; T1

4 – T4; T1; T2



Погрешности измерений

I. 1. Систематическая погрешность – вызывается постоянно действующими влияющими факторами (ошибкой выбора метода измерения, ошибкой выбора инструмента измерения). Устраняется путем калибровки, проверки или замены прибора.

I. 2. Случайная погрешность – вызывается множеством самых различных неизвестных факторов, рассматривается как нормально распределенная случайная величина. Устраняется путем многократного дублирования измерений и оценки результатов методами математической статистики.

II. 1. Методическая погрешность – обусловлена неправильным воспроизведением измеряемой величины, влиянием преобразователя.

II. 2. Инструментальная погрешность – зависит от свойств преобразователя, от погрешности градуировки.

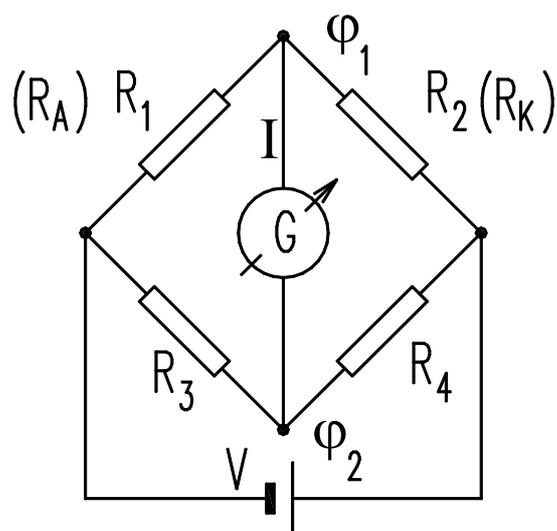
III. 1. Основная погрешность – влияние внешних факторов в нормальных условиях.

III. 2. Дополнительная погрешность – влияние факторов, отличающихся от нормальных.

Регистрация относительного изменения сопротивления тензорезистора

Мостовая схема Уитсона

$$I = 0$$
$$R_1 R_3 = R_2 R_4$$

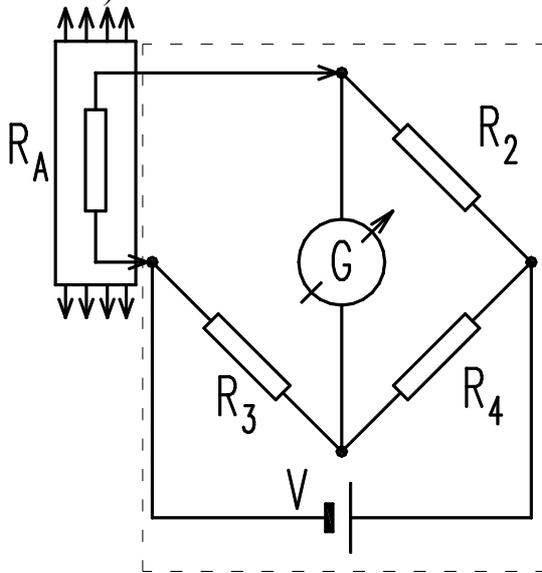


R_A – активный тензорезистор

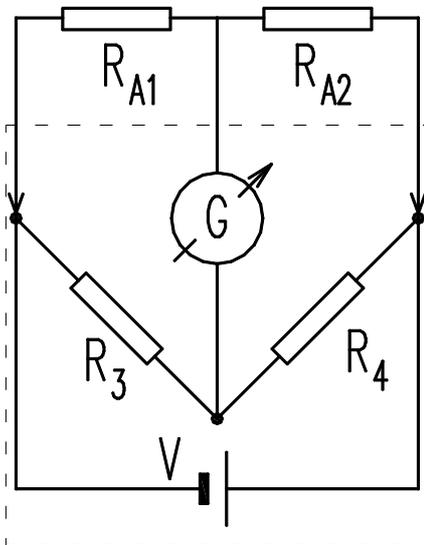
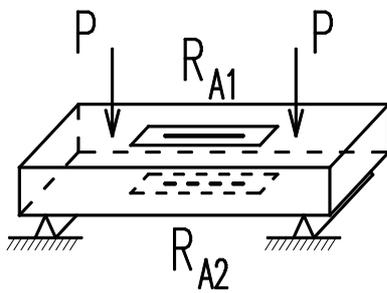
R_K – компенсационные тензорезисторы – тензорезисторы наклеенные на образец того же материала и находящиеся в тех же температурных условиях, что и исследуемая конструкция, но не воспринимающие силовых деформаций. Предназначены для исключения погрешностей измерения от колебаний температуры.

Схемы подключения тензорезисторов

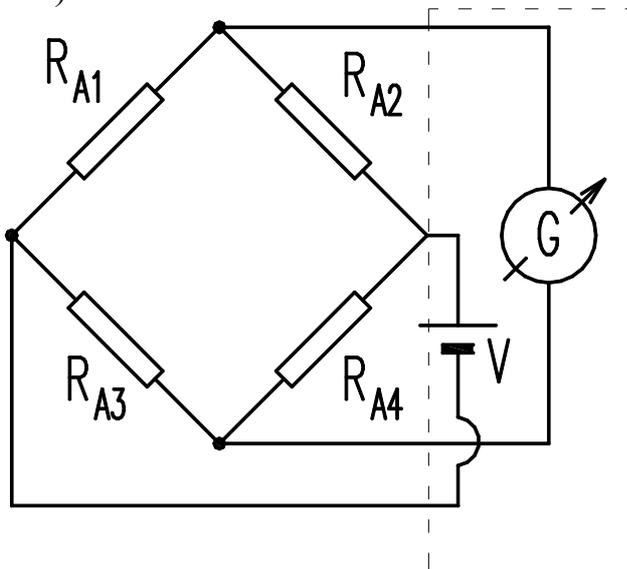
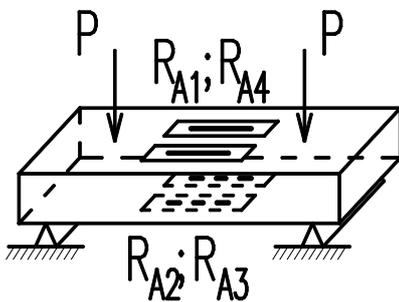
1. $\frac{1}{4}$ моста $R_1 = R_A$; $R_{2,4} = R_K$ ($\kappa=1$, -коэффициент увеличения выходного сигнала)



2. $\frac{1}{2}$ моста $R_{1,2} = R_A$; $R_{3,4} = R_K$ ($\kappa=2$)



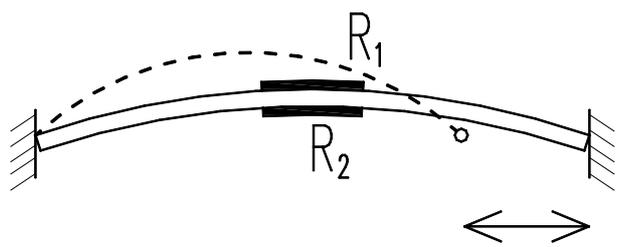
3. Полный мост $R_{1-4} = R_A$ ($\kappa=4$)



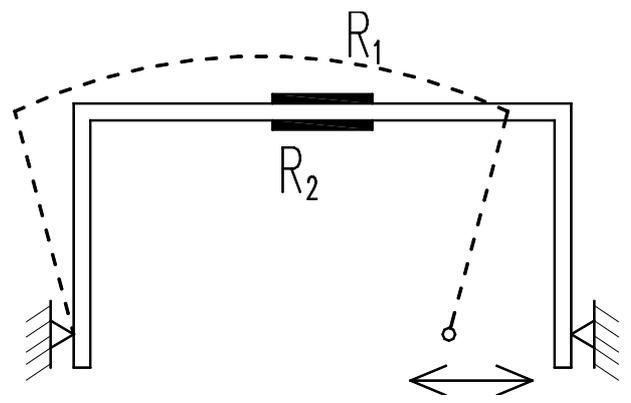
С применением тензорезисторов конструируют различные измерители давлений, перемещений усилий.

Измерители перемещений

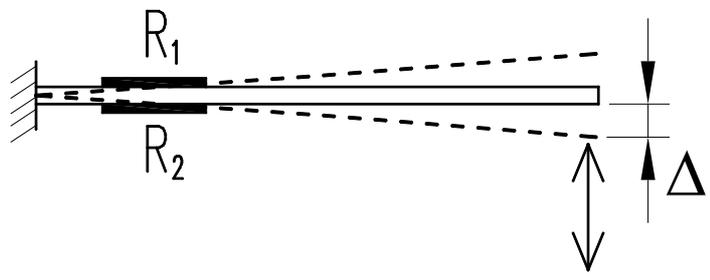
Арочного типа



Рамного типа

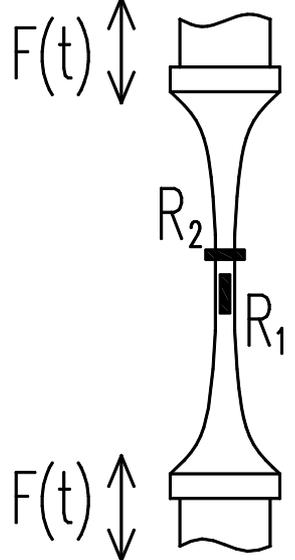


Консольного типа

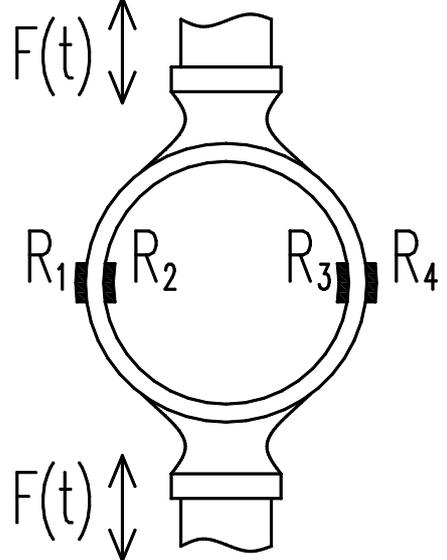


Динамометры

Стержневого типа



Кольцевого типа



Измерители давления

Круглая пластина

Кольцевого типа

