

Практическое занятие № 2

ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Цель работы: ознакомиться с тензометрическим преобразователем (тензорезистором), способами его включения в измерительные схемы и использования в качестве измерителя массы.

Приборы и оборудование: измерительное устройство ИИ-11 на базе тензорезистора 2ФКПА-20-200Г ($R = 200 \text{ Ом}$).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Тензометрические датчики (называемые также тензометрами сопротивления или тензосопротивлениями) служат для измерения деформаций и механических напряжений в деталях машин и механизмов, а также для измерения давления, массы, вибрации и ускорения, которые предварительно преобразуют в деформацию. Широкому использованию тензорезисторов способствуют в первую очередь их малые размеры и масса, возможность измерения статических и динамических деформаций и т. д.

В настоящее время в практике измерений используют проволоочные, фольговые и полупроводниковые тензорезисторы. Наиболее заметен тензоэффект в таких полупроводниках, как германий (Ge), кремний (Si); соединениях индия (In) и галлия (Ga).

Проволоочные тензорезисторы в наиболее простом случае представляют собой отрезок проволоки, концы которой (или весь отрезок) жестко закреплены при помощи клея или цемента на упруго деформируемой детали. Сжатие или растяжение детали вызывает пропорциональное сжатие или растяжение проволоки, в результате чего изменяются ее длина, поперечное сечение и удельное электрическое сопротивление, что приводит в конечном счете к изменению электрического сопротивления проволоки. Так, если в исходном состоянии электрическое сопротивление проволоки, Ом,

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (8.4)$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление материала проволоки, Ом · мм²/м; l — начальная длина деформируемого участка проволоки, м; S — площадь сечения проволоки, мм²,

то при растяжении проволоки ее сопротивление изменится на величину ΔR и составит $R + \Delta R$.

Частное от деления относительного изменения сопротивления

на относительное изменение длины проводника в пределах упругой деформации характеризуется постоянной величиной

$$\frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} = k, \quad (8.5)$$

где ε — относительная деформация преобразователя; $\varepsilon = \Delta l/l$.

Величина k называется коэффициентом тензочувствительности. Она зависит от свойств материала, из которого изготовлен тензорезистор, и технологии его изготовления. Большое влияние на величину тензочувствительности оказывает качество подложки (основы) и клея.

Для изготовления проволочных тензорезисторов применяют материалы с высоким коэффициентом тензочувствительности и малым температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Наиболее распространенный материал для изготовления тензорезисторов — константановая проволока диаметром 20...30 мкм.

Конструктивно проволочные тензорезисторы представляют собой спираль (решетку), состоящую из нескольких петель (витков) проволоки, наклеенных на тонкую бумажную или лаковую (пленочную) основу. Сверху спираль закрыта такой же тонкой бумагой или пленкой (рис. 8.4).

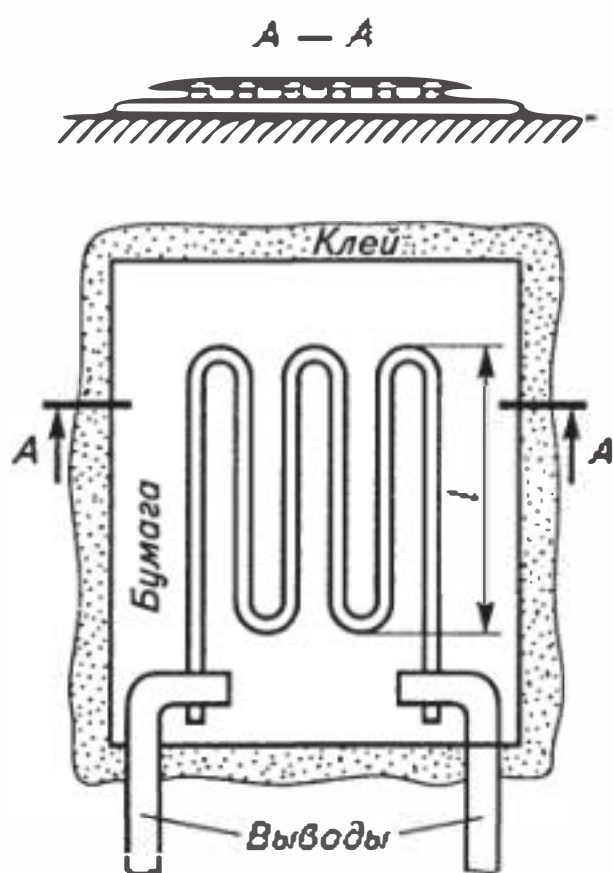


Рис. 8.4. Проволочный тензодатчик

Широко распространенными проволочными тензорезисторами являются терморезисторы типа 2ПК. Коэффициент тензочувствительности k этих тензорезисторов равен $2 \pm 0,2$. Номинальный рабочий ток (при наклеивке на металлические детали) составляет примерно 30 мА. Максимальные допустимые относительные деформации не превышают 0,3 %.

Фольговые тензорезисторы являются дальнейшим развитием проволочных тензорезисторов и в отличие от последних имеют решетку не из круглого провода, а из тонких полосок фольги прямоугольного сечения толщиной 4...12 мкм, которые наносят на лаковую основу. Благодаря большей площади контакта полосок фольгового тензорезистора с объектом измерения его теплоотдача значительно выше, чем у проволочного, что позво-

ляет увеличить силу тока, протекающего через резистор, до 0,5 А и тем самым повысить чувствительность теплопреобразователя.

Другое преимущество фольговых тензорезисторов заключается в возможности изготовления решеток сложного профиля, которые наиболее полно удовлетворяют условиям измерений.

Тензочувствительность фольговых тензорезисторов такая же, как у проволочных ($k = 2,1 \pm 0,25$), предел измеряемых деформаций 0,3 ‰; температурный диапазон измерений от -40 до $+70$ °С. Рабочий ток тензорезистора разных типов находится в пределах 15...80 мА и указывается в их паспортах.

Широко распространенными тензорезисторами фольгового типа являются тензорезисторы типа ГФК. Имеются также полупроводниковые терморезисторы, например серии КТЭ, КИД и др.

Изменение сопротивления тензорезисторов, вызванное деформацией, весьма мало и колеблется от единиц миллиома до нескольких десятых долей ома. Для измерения сопротивлений используют в основном две схемы — потенциометрическую и мостовую (рис. 8.5). Потенциометрическая схема (см. рис. 8.5, а) состоит из источника питания и последовательно соединенных резисторов R_1 и R_2 , из которых один (R_2) или оба могут быть тензорезисторами. В последнем случае тензорезистор R_1 устанавливают на упругий элемент так, чтобы его деформация имела знак, противоположный знаку деформации тензорезистора R_2 .

Выходное напряжение потенциометрической схемы без приложения нагрузки, В,

$$\Delta U = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (8.6)$$

где U — напряжение на входе схемы, В.

Существенным недостатком рассмотренной потенциометрической схемы является наличие на выходе схемы значительной

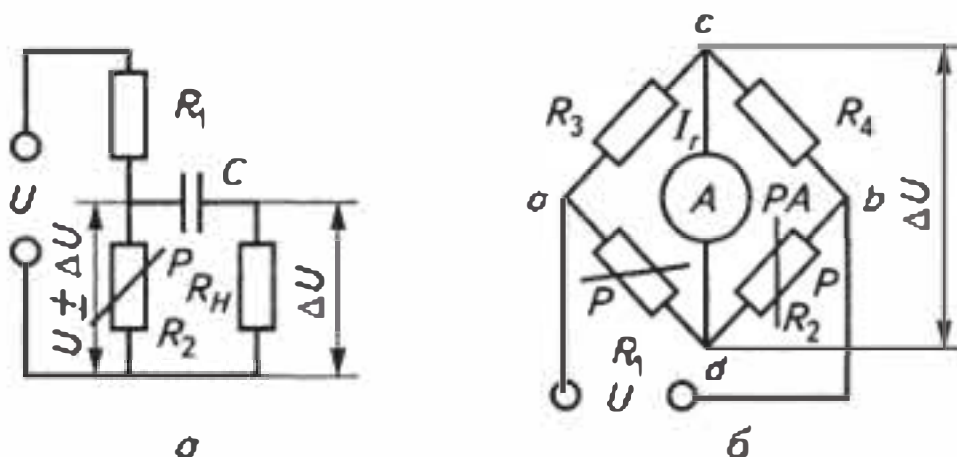


Рис. 8.5. Схемы измерения сопротивления:

а — потенциометрическая; б — мостовая

постоянной составляющей V , затрудняющей непосредственное измерение малого изменения напряжения ΔV .

Более совершенной схемой для измерения малых изменений сопротивлений является хорошо известная мостовая схема (см. рис. 8.5, б).

Для исключения начальной постоянной составляющей мост должен быть уравновешен. Условием равновесия является соотношение

$$R_1 R_4 = R_2 R_3. \quad (8.7)$$

При выполнении этого условия разность потенциалов на вершинах измерительной диагонали cd равняется нулю.

В измерительной технике применяют как уравновешенные, так и неуравновешенные мосты. Во-первых, разбаланс моста, вызванный изменением сопротивления тензорезистора, компенсируется калиброванным изменением сопротивления другого плеча. Преимуществом этого способа является высокая точность (ибо результат не зависит от случайного изменения чувствительности нуль-индикатора) и возможность применения при малых изменениях сопротивления тензорезистора: недостатком — пригодность практически только для статических и медленно изменяющихся процессов, когда за время балансировки процесс существенно не изменяется.

Неуравновешенные мосты, в которых изменение сопротивления определяется по величине разбаланса, более универсальны и применимы для измерения как статических, так и динамических процессов.

Все приведенные рассуждения относились к случаю питания моста постоянным током.

В настоящее время на практике для взвешивания и дозирования компонентов смесей широко используют тензометрические весы. Платформа таких весов 1 (рис. 8.6) опирается на ножевые опоры 2 , непосредственно связанные с тензометрическими силоизмерителями 3 . Деформация последнего преобразуется в изменение электрического сопротивления, а затем с помощью аналого-

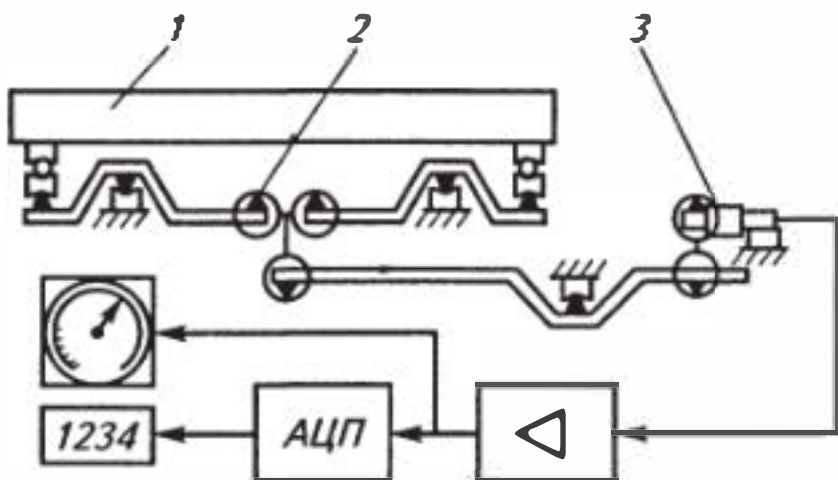
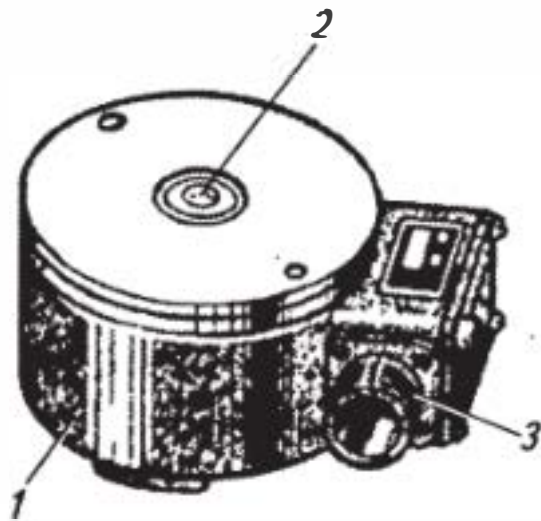


Рис. 8.6. Устройство тензометрических цифровых весов:

1 — подвижная платформа; 2 — ножевые опоры; 3 — тензометрические силоизмерители

Рис. 8.7. Электрические силоизмерительные преобразователи:

1 — корпус; 2 — шаровая опора; 3 — колодка



вого цифрового преобразователя (АЦП) — в ток или напряжение, выводимое на цифровой индикатор.

Электрические силоизмерительные преобразователи выпускают в виде готовых изделий (например, ДСТБ-С-060 или 1778ДСТ...К) (рис. 8.7), воспринимающих осевую нагрузку. Если силоизмерительные элементы установлены правильно и отсутствуют горизонтальные составляющие усилия, то ошибка измерения не превысит 2 %.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Необходимо экспериментально определить зависимость выходного напряжения (тока) гальванометра от деформации измерительной пластины $I_y = f(\Delta x)$.

Лабораторный стенд состоит из измерительного устройства ИИ-11, установленного на подставку. В измерительном устройстве измерительная пластина связана с индикаторным устройством, обеспечивающим пропорциональную индикацию поперечной деформации пластины с ценой деления 0,03 мм. На подставке закреплены сопротивления мостовой схемы. В подстроечное плечо включены параллельно два потенциометра — грубой и точной подстройки. Имеются зажимы для подключения источника напряжения и гальванометра. Схема измерительной системы показана на рисунке 8.8, а, электрическая схема стенда — на рис. 8.8, б.

На измерительной пластине с нижней стороны наклеен тензорезистор типа 2ФКПА-20-200Г с базой 20 мм, имеющий сопротивление 200 Ом.

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с тензорезистором, способом его закрепления на измерительной пластине, схемой включения и лабораторным стендом. Далее собрать схему питания стенда и подключить измерительный гальванометр, для чего к лабораторному стенду подключить источник постоянного тока напряжением 12 В и гальванометр. Освободить измерительную пластину от давления. Произвести балансировку мо-

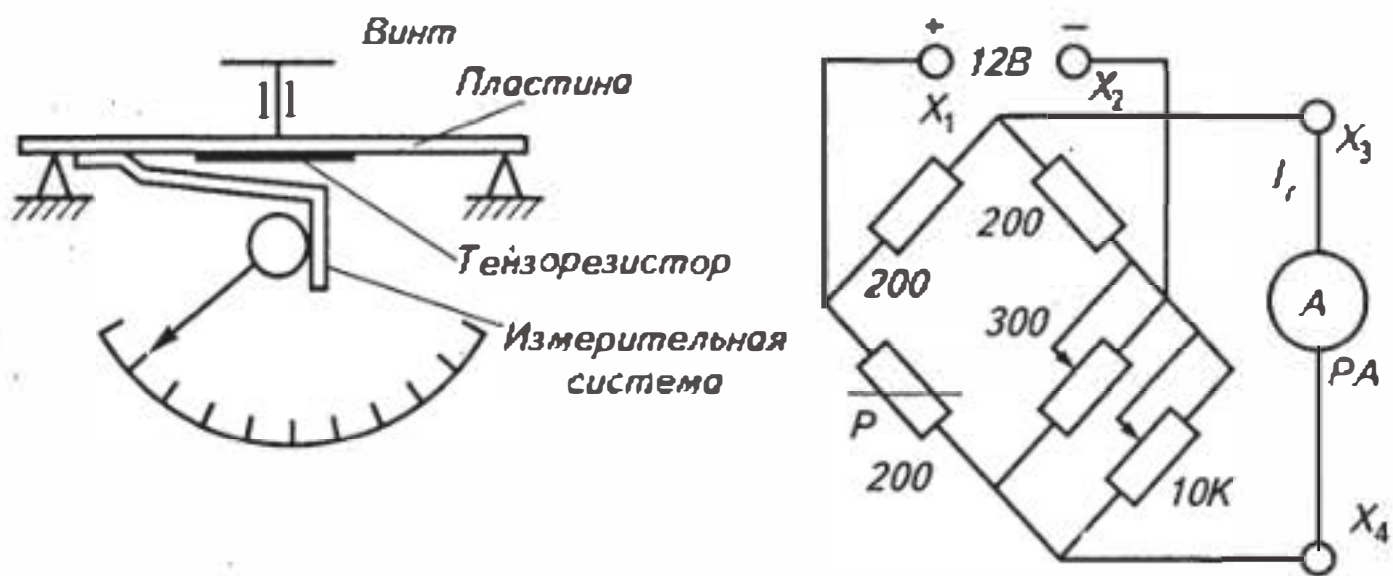


Рис. 8.8. Лабораторная установка:

а — схема измерительной системы; б — электрическая схема

ста подстроечными потенциометрами, сначала грубым (300 Ом), затем точным (10 кОм), при которой гальванометр указывает ноль.

Установить вместо нажимного винта направляющий винт с нажимной площадкой. Провести калибровку измерительной системы. Установить на площадку гирию весом P . Определить цену деления, Н,

$$a = P \cdot 9,8 / n \quad (8.8)$$

где n — число делений.

Снять направляющий винт и установить нажимной винт. Снять зависимость тока гальванометра и поперечную деформацию через пять делений до максимальной величины в 50 делений. Затем освободить от давления пластину. Данные измерения занести в табл. 8.2.

8.2. Результаты измерений

№ опыта	Показания		Расчеты			
	измерительной системы	гальванометра	I, A	$\Delta x, мм$	$F, Н$	$P, Н$
1						
2						
...						

Расчеты провести по формулам:

$$I_T = k_T n; \quad k_T = 7 \cdot 10^{-7} A/\text{дел}; \quad F = an;$$

$$\Delta \bar{x} = k_n m; \quad k_n = 0,03 \text{ мм/дел}; \quad P = F/9,8.$$

Построить зависимость тока гальванометра от поперечной деформации пластины $I_r = f(\Delta\bar{x})$, от поперечного усилия и веса $I_r = f(F)$ и $I_r = f(P)$.

Оценить линейность выходного сигнала (тока гальванометра) от усилия. Для этого провести прямую линию через максимальное значение усилия и начало координат. В точке большего расхождения измеренной кривой и прямой определить нелинейность, %:

$$\Delta I = 100 \cdot (I_{ги} - I_{гп}) / I_{гп}, \quad (8.9)$$

где $I_{ги}$ и $I_{гп}$ — токи гальванометра, отсчитанные от кривой и прямой в выбранной точке.

Сделать заключение о возможности использования данной измерительной системы в качестве весов.

Контрольные вопросы и задания. 1. Каково назначение тензорезисторов? 2. Опишите принцип работы тензорезистора. 3. Какие существуют схемы включения тензорезисторов? 4. В чем преимущества мостовых схем включения? 5. Какие приборы можно создать на базе тензорезистора? 6. Как устроены тензометрические весы? 7. Из каких материалов изготавливают тензорезисторы? 8. От чего зависит чувствительность проволоочного тензорезистора?