

2. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

2.1. Расчет тензорезистивного преобразователя массы

Тензорезистивный преобразователь массы изображен на рис.2.1

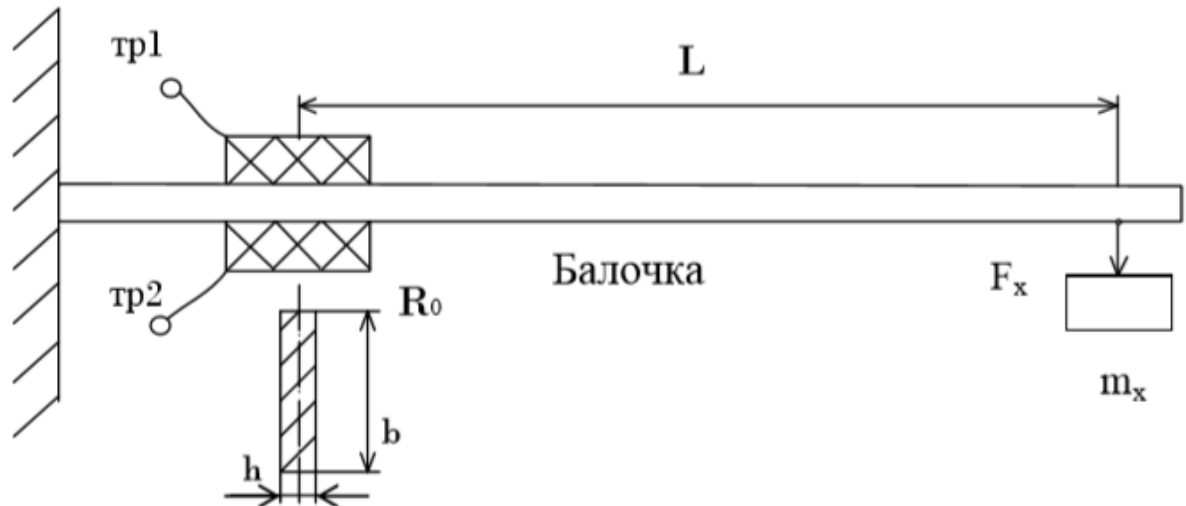


Рис.2.1. Схема тензорезистивного преобразователя массы

Целью расчетов тензорезистивных преобразователей массы является расчет механической части - измерительной консольной балочки, с помощью которой измеряемая масса преобразуется в относительную механическую деформацию; деформация преобразуется в изменение сопротивления тензорезистора и далее с помощью измерительной мостовой схемы изменение сопротивления преобразуется в электрическое напряжение. Один из вариантов расчетов проводится в следующем порядке.

1. Выбирается тип тензорезисторов и их основные параметры: коэффициент тензочувствительности k , сопротивление R_0 , допустимый ток I_{max} и база lq .
2. Производится пересчет массы m_x (кг) в силу F_x (Н) (g – ускорение свободного падения):

$$F_x = gm_x.$$

3. Выбирается материал измерительной балочки (обычно высококачественная сталь с допустимым механическим напряжением $\sigma_{\text{доп}}=10 \text{ Н/мм}^2$ и модулем упругости $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ (Н/мм}^2\text{)}$).
4. Задаются механические параметры балочки: b - ширина, мм, h - толщина, мм.
5. Рассчитывается момент сопротивления изгибу балочки $W=b \cdot h^2/6$, мм³.
6. Определяется длина балочки L (от середины тензорезистора в месте приклейки до точки приложения массы) по формулам:

$$\delta = \frac{F * L}{W}; L = \frac{\sigma_{\text{доп}} * W}{F_{x \text{ max}}}, \text{ мм.}$$

7. Рассчитывается относительная максимальная деформация:

$$\varepsilon_{\delta \text{ max}} = \frac{\sigma_{\text{доп}}}{E}.$$

8. Рассчитывается относительное максимальное изменение сопротивления тензорезистора:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k * \varepsilon_{\delta \text{ max}}.$$

9. Определяется напряжение питания мостовой измерительной схемы с двумя активными плечами:

$$U_{\text{п}} = 2 * I_{\text{max}} * R_0, \text{ В.}$$

10. Выходное напряжение мостовой схемы (для случая равноплечего моста) при двух активных плечах:

$$U_{\text{м вых max}} = \frac{U_{\text{п}} \Delta R}{2 R_0}, \text{ В.}$$

11. Для расчета выходного напряжения моста в зависимости от текущего значения массы следует воспользоваться формулой:

$$U_{\text{м вых}} = g \frac{U_{\text{п}}}{2} k \frac{1}{E} \frac{L}{W} m_x, \text{ В.}$$

2.2. Примеры расчета и варианты заданий

Пример 2.2.1. Дано: $m_{x \max} = 15$ кг; материал балочки – сталь; размеры прямоугольной балочки: $b = 40$ мм (ширина), $h = 4$ мм (толщина) в месте расположения тензодатчика; тензодатчик типа 2ПКП-20-20 (база 20 мм, $R_0=200$ Ом, $I_{\max}=30$ мА, $k=2$).

Расчет производится в следующей последовательности:

1. Определяем силу $F_{x \max}$, действующую на балочку под весом $m_{x \max} = 15$ кг, $F_{x \max} = g \cdot m_x = 9,81 \cdot 15 = 147,15$ Н.
2. В качестве материала балочки выбираем высококачественную сталь с параметрами $\sigma_{\text{доп}} = 100$ кгН/мм² и $E = 2,1 \cdot 10^5$ Н/мм².

3. Рассчитываем момент сопротивления изгибу балочки по формуле:

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{40 * 4^2}{6} = 106,7 \text{ мм}^3.$$

4. Определяем длину балочки по формуле:

$$L = \frac{\sigma_{\text{доп}} W}{F_{x \max}} = \frac{100 * 106,7}{147,15} = 72,5 \text{ мм}.$$

5. Определяем относительную максимальную деформацию балочки:

$$\varepsilon_{\delta \max} = \frac{\sigma_{\text{доп}}}{E} = \frac{100}{2,1 * 10^5} = 47,6 * 10^{-5}.$$

6. Рассчитываем максимальное относительное изменение сопротивления преобразователя

$$\frac{\Delta R}{R} = k \varepsilon_{\delta \max} = 2 * 47,6 * 10^{-5} = 9,52 * 10^{-4}.$$

7. Определяем напряжение питания $U_{\text{п}}$ равноплечего моста с двумя активными плечами (полумост) по формуле:

$$U_g = 2 * I_{\max} * R_0 = 2 * 30 * 10^{-3} * 200 = 12 \text{ В}.$$

8. Напряжение на выходе моста $U_{\text{м. max}}$:

$$U_{\text{м. max}} = \frac{U_{\text{п}} \Delta R}{2 R_0} = \frac{12}{2} * 9,52 * 10^{-4} = 57,1 * 10^{-4} \text{ В} = 5,71 \text{ мВ}.$$

9. Для расчетов текущих значений $U_{M \text{ Вых}}$ в зависимости от массы m_x для удобства расчетов можно воспользоваться формулой:

$$U_{M \text{ Вых}} = g \frac{U_{\Pi}}{2} k \frac{L}{EW} m_x = 9.81 * \frac{12}{2} * 2 * \frac{72.5 * 10^{-3}}{2.1 * 10^5 * 106.7 * 10^{-3}} * m_x.$$

10. Результаты расчетов целесообразно свести в таблицу 2.1, задаваясь шагом дискретизации $\Delta m_x = 2$ кг в пределах от 0 до $m_{x \text{ max}} = 15$ кг.

Таблица 2.1. Результаты расчетов

m_x , кг	0	2	4	6	8	10	12	14	15
$U_{M \text{ Вых}}$, мВ	0	0,76	1,52	2,28	3,04	3,8	4,56	5,32	5,7

11. По результатам расчетов построить график зависимости $U_{M \text{ Вых}} = f(m_x)$.

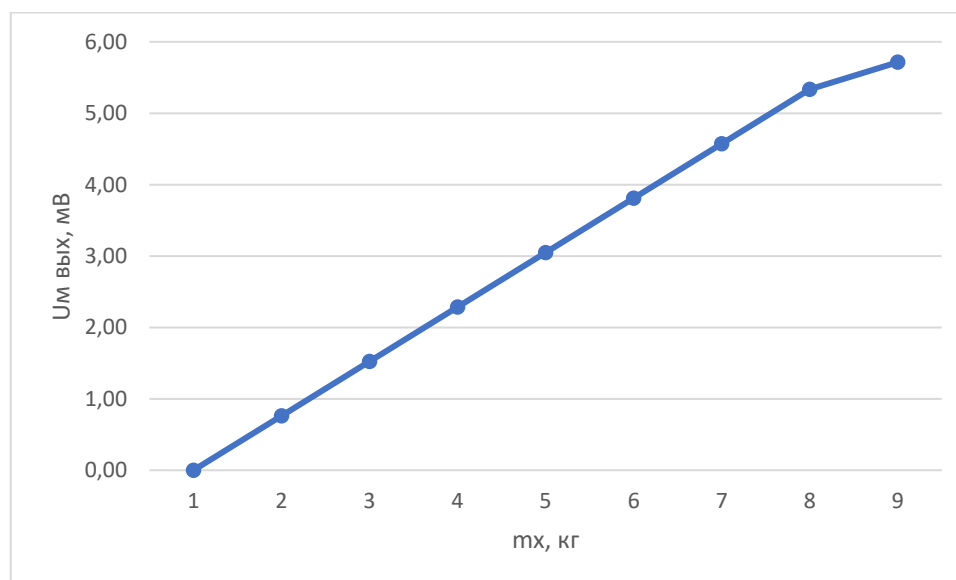


Рис.2.1. Зависимость выходного напряжения от нагрузки

Чувствительность преобразователя:

$$S = \frac{\Delta U_{M \text{ Вых}}}{\Delta m_x} = \frac{1.52}{4} = 0.38 \frac{\text{мВ}}{\text{кг}} = \text{const.}$$

Варианты заданий к п.2 приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
m_x , кг	15	10	8	12	10	15	20	12	8	10	15	10	8
h/b , мм/мм	4/20	3/20	3,5/20	4/25	3/20	4/20	5/20	2/30	4/25	3/20	4/20	3,5/30	2/20
Сг, Н/мм ²	$\sigma_{\text{доп}}=10; E=2.1*10^5$				$\sigma_{\text{доп}}=15; E=2.2*10^5$				$\sigma_{\text{доп}}=30; E=2.2*10^5$				
Тензорезистор	2ПКП-5-50				2ФКП А-10-200х(г)				2ФКГК-15-100				
№	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
m_x , кг	15	10	12	8	20	20	25	23	15	18	25	30	35
h/b , мм/мм	4/40	3/30	3,5/20	3/20	4/40	4/20	3/20	5/40	4/40	4/40	4/50	5/40	5/45
Сг, Н/мм ²	$\sigma_{\text{доп}}=50; E=2.4*10^5$				$\sigma_{\text{доп}}=100; E=2.4*10^5$				$\sigma_{\text{доп}}=150; E=2.4*10^5$				
Тензорезистор	2ФКП А-10-200х(г)				2ПКП-5-50				2ФКГК-15-400				

Примечание. Расшифровка обозначений тензорезисторов: П- проволочная решетка; К- константан; Б-бумажная основа; П пленочная; 20. – база, 100. – начальное сопротивление; х(г) – температурный режим наклейки; Ф- фольговая конструкция решетки; а – прямоугольные решетки. Допустимый ток в пределах 15-80 мА.