

1 ОСНОВЫ РАСЧЕТА РЕЗИСТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

1.1 Расчет резистивных преобразователей линейного перемещения

Резистивный преобразователь линейного перемещения изображен на рис.1.1.

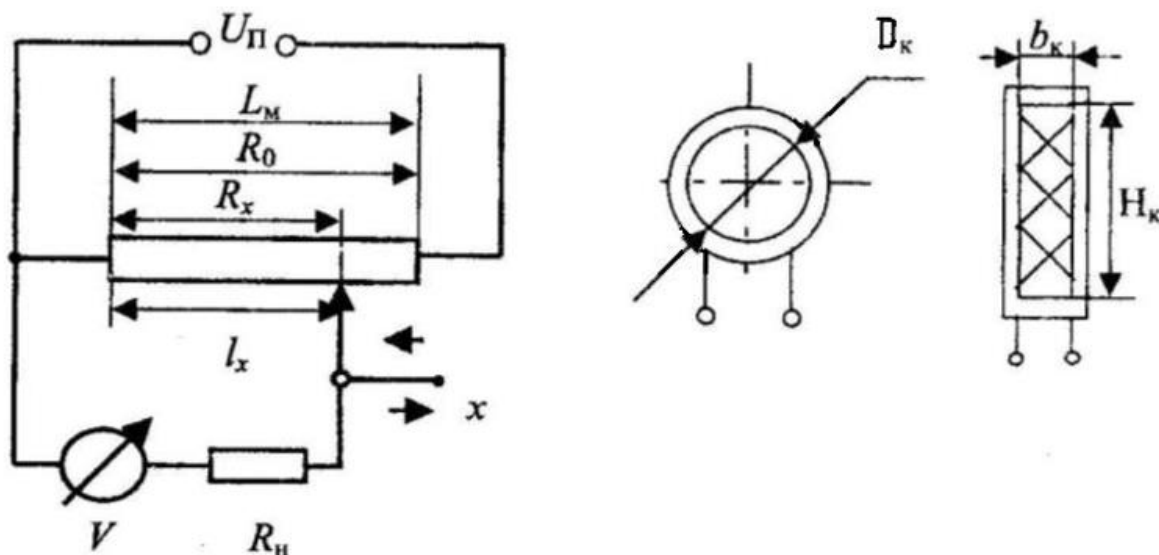


Рис. 1.1. Схема резистивного преобразователя линейного перемещения

Целью расчетов таких преобразователей является определение геометрических размеров, выбор материаловмоточных данных и погрешностей. Существуют различные подходы к расчетам в зависимости от поставленной задачи. Один из вариантов расчета заключается в следующем. Задается напряжение источника питания $U_{\text{П}}$, В; полное сопротивление R_0 , Ом; максимальное перемещение движка L_M , мм; плотность тока в проводе j , А/мм²; материал проводника с ρ , Ом*мм²/м; сопротивление нагрузки реостата $R_{\text{н}}$, Ом. Методика расчета заключается в следующем

1. Определяется диаметр голого провода по формуле:

$$d_0 \geq 2 * \sqrt{\frac{U_{\text{П}}}{\pi * j * R_0}}, \text{ мм} \quad (1.1)$$

Диаметр провода с изоляцией d_1 определяется из таблицы 1.1

Таблица 1.1 – Диаметры проводов с изоляцией

d_0	d_1	d_0	d_1	d_0	d_1
0,06	0,075	0,12	0,140	0,18	0,205
0,07	0,085	0,13	0,150	0,19	0,215
0,08	0,095	0,14	0,160	0,20	0,225
0,09	0,105	0,15	0,170	0,25	0,280
0,10	0,120	0,16	0,185	0,31	0,340
0,11	0,030	0,17	0,195	0,35	0,385

2. Определяется сечение голого провода:

$$q_0 = 0.25\pi d^2, \text{ мм}^2 \quad (1.2)$$

3. Длина провода рассчитывается по формуле:

$$l_n = \frac{R_0 q_0}{\rho}, \text{ м} \quad (1.3)$$

4. Определяется число витков намотки преобразователя:

$$w = \frac{L_M}{d_1}. \quad (1.4)$$

5. Средняя длина витка:

$$l_B = \frac{l_n}{w} * 10^3, \text{ мм}. \quad (1.5)$$

6. Диаметр цилиндрического каркаса преобразователя:

$$D_K = \frac{l_B}{\pi} - d_1, \text{ мм} \quad (1.6)$$

7. Размеры пластинчатого каркаса (сечение узкое прямоугольное) с шириной каркаса b_K , мм и высотой H_K , мм:

$$H_K = \frac{l_B}{2} - b_K. \quad (1.7)$$

8. Погрешность ступенчатости (разрешающая способность):

$$\delta_p = \frac{U_{\Pi}}{w}, \text{ В} \quad (1.8)$$

9. Относительная погрешность

$$\gamma = \frac{\delta_p}{U_{\Pi}} * 100\%. \quad (1.9)$$

Для расчета электрической части такого преобразователя с целью определения выходного напряжения (для потенциметрической схемы включения (рис.1.1)) $U_{\text{п}}$, абсолютной и относительной погрешности нелинейности статистической характеристики рекомендуется следующая последовательность расчетов и расчетные формулы (при этом указывается сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$ – внутреннее сопротивление вольтметра).

1. Выходное напряжение на нагрузке $U_{\text{вн}}$ определяется по формуле:

$$U_{\text{вн}} = U_{\text{п}} \frac{m}{1+km(1-m)}, \text{ В}, \quad (1.10)$$

где $m = \frac{R_x}{R_0}$; $k = \frac{R_0}{R_{\text{н}}}$; R_0 – полное сопротивление преобразователя;

R_x - сопротивление участка, пропорциональное перемещению движка x .

2. Абсолютная погрешность нелинейности рассчитывается по формуле:

$$\Delta U_x = U_{\text{вн}} - U_{\text{вн.хх}}, \text{ В}, \quad (1.11)$$

3. Относительная приведенная погрешность нелинейности определяется по формуле:

$$\delta_{\text{н}} = \frac{\Delta U_x}{U_{\text{п}}} = - \frac{km^2(1-m)}{1+km(1-m)} * 100\% . \quad (1.12)$$

1.2 Примеры расчета и варианты заданий

Пример 1.2.1. Требуется рассчитать резистивный преобразователь линейного перемещения. Заданы: напряжение источника питания $U_{\text{п}}=10$ В, сопротивление преобразователя $R_0=1000$ Ом, максимальное перемещение движка $L_{\text{м}}=50$ мм, плотность тока в проводе $j=2$ А/мм², материал проводника - константан $\rho=0,48$ Ом*мм²/м. Подставляя исходные данные в формулы (1.1) - (1.9), получим:

$$d_0 \geq 2 * \sqrt{\frac{U_{\text{п}}}{\pi * j * R_0}} \approx 0,08 \text{ мм}; q_0 = 0.25 * 3.14 * 0.08^2 = 0.00503 \text{ мм}^2;$$

$$l_{\text{н}} = \frac{1000 * 0.00503}{0.48} \approx 10.5 \text{ м}; w = \frac{50}{0.095} = 526 \text{ витков};$$

$$l_{\text{в}} = \frac{10,5}{526} \approx 0,0200 \text{ м} = 20 \text{ мм};$$

$$D_k = \frac{20}{3,14} - 0,095 = 6,27 \text{ мм}; H = \frac{20}{2} - 1 = 9 \text{ мм};$$

(здесь ширина каркаса $b = 1 \text{ мм}$);

$$\delta_p = \frac{10}{526} = 0,019 \text{ В}; \gamma = \frac{0,019}{10} 100\% = 0,19\%.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты расчетов

d_0	q_0	l_n	w	l_b	D_k	H	δ_p	γ
мм	мм ²	м	витки	мм	мм	мм	В	%
0,08	$5,03 \cdot 10^{-3}$	10,5	526	20	6,27	9	0,019	0,19

Пример 1.2.2. Резистивный преобразователь включен по потенциометрической схеме. По данным расчетов примера 1.2.1 рассчитать выходное напряжение $U_{\text{вн}}$, абсолютную и относительную погрешности нелинейности. Дополнительно задано сопротивление нагрузки $R_n = 400 \text{ Ом}$. Расчет преобразователя проведем с использованием формул (1.10) – (1.12). Подставляя исходные данные (например, при $R_x=500 \text{ Ом}$), получим $m=500/1000=0,5$; $k=1000/400=2,5$. В точке $m=0,5$ выходное напряжение

$$U_{\text{вн } 0,5} = 10 * \frac{0,5}{1 + 2,5 * 0,5(1 - 0,5)} \approx 3,03 \text{ В}.$$

Значение выходного напряжения $U_{\text{вн}}$ в зависимости от m рассчитано для $m=0 \div 1$ с шагом дискретизации $\Delta m= 0,1$. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.3. График $U_{\text{вн}}=f(m)$ представлен на рис.1.2.

Таблица 1.3 – Зависимость $U_{\text{вн}}=f(m)$

m	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$U_{\text{вн}}, \text{ В}$	0	0,82	1,43	1,97	2,5	3,08	3,75	4,59	5,7	7,35	10

Абсолютная погрешность рассчитывается по формуле (1.11) для $U_{\text{вн} \cdot \text{xx}}$ в диапазоне от 0 до 10 В с шагом дискретизации $\Delta U_{\text{вн}}=1 \text{ В}$. Напряжение $U_{\text{вн}}$ выбирается из таблицы 1.3. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.4.

Относительная приведенная погрешность нелинейности рассчитывается по формуле (1.12) при $k=2,5$ и m в пределах $m=0\div 1$ с шагом дискретизации $\Delta m=0,1$. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.4. График зависимости представлен на рисунке. 1.3.

Варианты заданий приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.4 – Результаты расчетов погрешностей

$U_{вн.хх}, В$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{вн}, В$	0	0,82	1,43	2,31	2,5	3,08	3,75	4,59	5,7	7,35	10
$\Delta U_x, В$	0	0,18	0,57	0,69	1,5	1,92	2,25	2,41	2,3	1,65	0
$-\delta_H, \%$	0	2	6	10	15	19	23	24	23	17	0

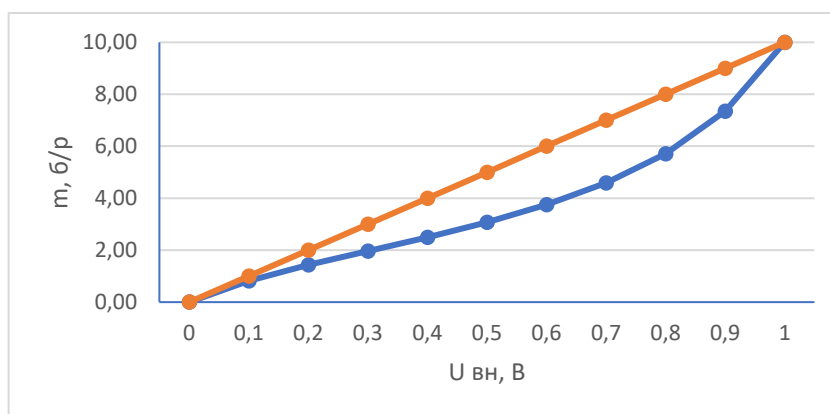


Рис.1.2. График зависимости $U_{вн}=f(m)$

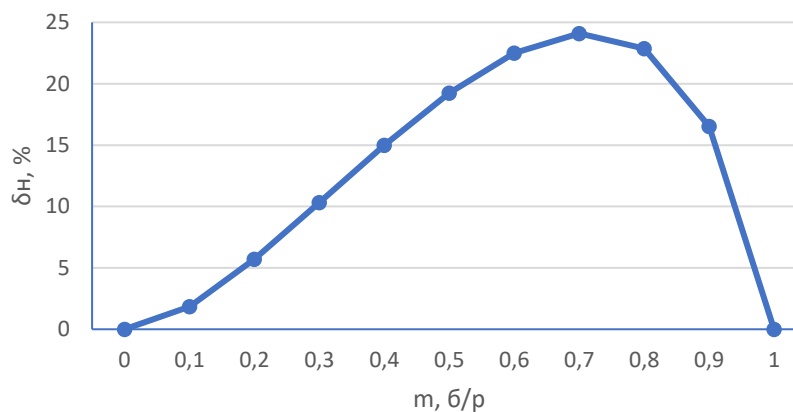


Рис. 1.3. График зависимости $\delta_H=f(m)$

Таблица 1.5

№	1	2	3	7	3	6	7	8	9	10	11	12	13	
U_n , В	10	10	10	15	15	15	20	20	20	20	20	25	25	
L_M , мм	40	50	20	20	25	30	10	15	15	20	40	45	40	
b , мм	2	2	1,5	1,5	1,5	2	1,5	2	2	1,5	2	2	2	
R_0 , Ом	200	300	400	1000	200	300	350	300	100	150	300	500	300	
j , А/мм ²	3	3	3	2	3	2,5	2,5	2,5	2	2	3	3	3,5	
R_n , Ом	250	450	1000	2000	300	400	350	400	300	300	400	550	400	
материал	Константан, $\rho=0,5$ Ом*мм ² /м													
№	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
U_n , В	25	30	30	30	30	35	35	35	40	35	15	40	45	
L_M , мм	40	40	50	60	40	40	50	60	50	60	60	40	100	
b , мм	2	2	3	3,5	2	2	3	2,5	3	3,5	3,5	3	3	
R_0 , Ом	400	300	500	600	400	300	700	700	600	350	300	500	1500	
j , А/мм ²	3	3	3	2	2	3,5	3	3	2	2	2,5	3	3	
R_n , Ом	500	350	600	650	800	400	800	850	700	400	350	600	2000	
материал	Манганин, $\rho=0,46$ Ом*мм ² /м													