

# Датчики положения и перемещения в робототехнике (ДПП)

## Основные понятия и определения

Самые распространенные типы ДПП



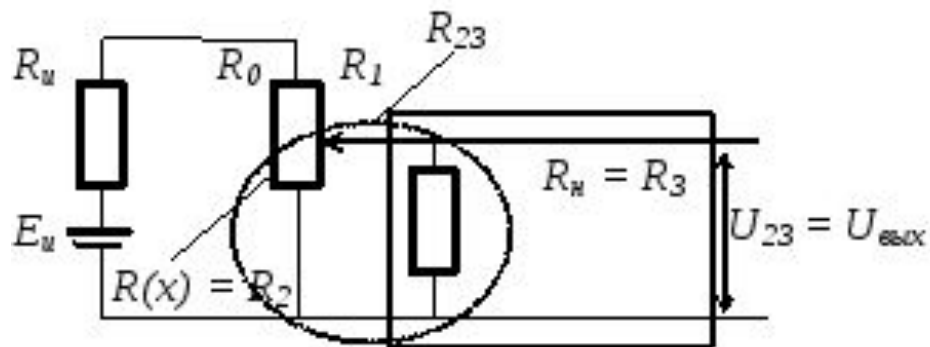
**Существует два основных метода определения положения и измерения перемещения.**

**Датчик вырабатывает сигнал, который является функцией положения одной из его частей, связанной с подвижным объектом, а изменение этого сигнала характеризует перемещение объекта.**

**Перемещение объекта рассматривается как совокупность элементарных перемещений, причем датчик формирует импульс, соответствующий каждому элементарному перемещению. Таким образом, перемещение объекта определяется суммой импульсов датчика.**

**Датчики первой группы получили название абсолютных (или датчиков с абсолютным отсчетом), второй — относительных или датчиков последовательных приращений (инкрементных).**

# Резистивные датчики положения. Функция преобразования

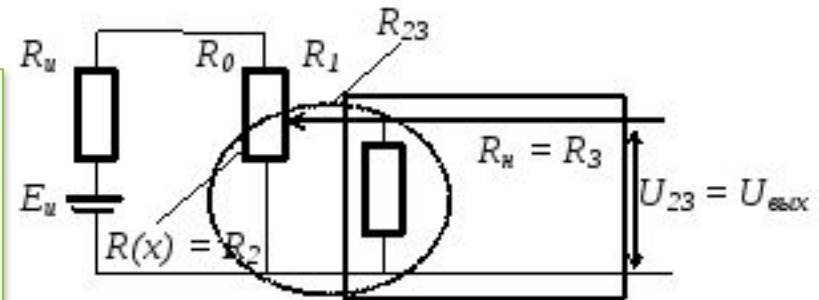


Резистивные датчики положения (РДП) относятся к преобразователям с абсолютным отсчетом, включение РДП в цепь осуществляется по потенциометрической схеме делителя напряжения (со средней точкой или без нее).

В этой схеме РДП сопротивлением  $R_0$  подключается к источнику ЭДС  $E_{и}$ , с собственным сопротивлением  $R_{и}$

В частном случае, при питании датчика от источника напряжения ( $R_{и} = 0$ ), имеем  $E_{и} = U_{и}$ .

# Резистивные датчики положения. Функция преобразования



В линейной схеме делителя напряжения (с параметрами  $R_0$ ,  $U_{и}$ ,  $R_3$ ) относительное перемещение с подвижного контакта резистора  $R_0$  меняется от 0 до 1. Функция преобразования РДП в относительных единицах  $U_{\text{вых}} = U_{23} = f(c)$  определяется из выражения:

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{и}}} = \frac{R_2}{R_1 \left( \frac{R_2}{R_3} + 1 \right) + R_2}$$

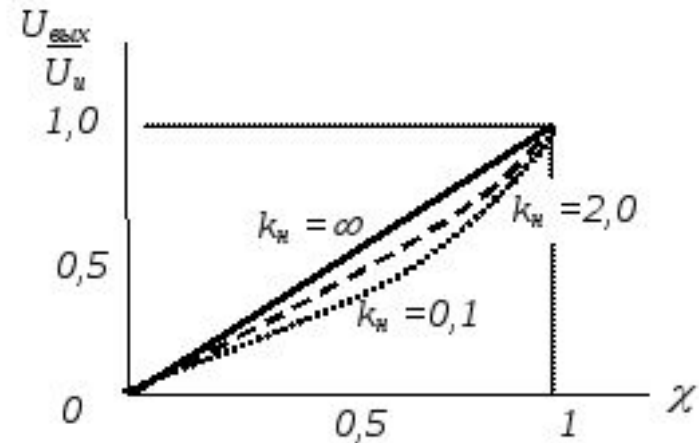
Зависимость напряжения  $U_{\text{вых}}$  от  $R_2$  при наличии нагрузки нелинейна. Обозначим  $R_2 = cR_0$ ,  $R_1 = (1-c)R_0$ ,  $c = \chi$   
Тогда:

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{и}}} = \frac{\chi}{1 + (\chi - \chi^2) \frac{R_0}{R_3}}$$

# Резистивные датчики положения. Функция преобразования

Вводя понятие коэффициента нагрузки  $k_i = R_3/R_0$  получим (рис)

Следовательно, функция преобразования нагруженного РДП примет окончательный вид:



$$\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{и}}} = \frac{\chi}{1 + (\chi - \chi^2)/k_i} = \frac{k_i \chi}{k_i + \chi - \chi^2}$$

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{и}} k_i \frac{\chi}{k_i + \chi - \chi^2}$$

Заметим, что функция преобразования существенно зависит от коэффициента нагрузки и меняется в процессе перемещения движка РДП.

# Резистивные датчики положения. Погрешности и способы их компенсации

Характеристики РДП разделяют на две группы: эксплуатационные и метрологические.

К первым относятся: номинальное сопротивление  $R_0$  (обычно 0,1 ... 100 кОм), допуск на номинал  $\Delta R_0$  ( $\pm 1\%$ ), максимальная частота входного воздействия  $f_{\max}$  (до 1 кГц) и срок службы (измеряется в циклах полного преобразования:  $10^6$  циклов для реостатного РДП,  $10^8$  - для пластикового).

Среди метрологических характеристик выделяют: погрешность нелинейности  $e_{нл}$ , разрешающая способность (погрешность нечувствительности  $e_{нч}$ ), погрешность люфта  $e_{л}$  и погрешность вследствие шума сигнала. В соответствии со значением полной погрешности РДП отечественные модели, используемые в робототехнике, принято разделять на три класса точности (табл).

**Таблица Классы точности отечественных РДП**

Класс точности	I	II	III
Погрешность, %	+ 0,25	+ 0,5	+ 1,0

## Резистивные датчики положения. Погрешности и способы их компенсации

**Погрешность нелинейности** (мультипликативная составляющая полной погрешности) обусловлена отклонением отношения  $U_{\text{вых}}/U_{\text{и}}$  нагруженного датчика от ненагруженного.

Величина относительной погрешности  $\epsilon_{\text{нл}}$  равна:

$$\epsilon_{\text{нл}} = \frac{U_{23} - U_2}{U_{\text{и}}} = \frac{\chi^3 - \chi^2}{k_i + \chi - \chi^2}$$

Значение  $\epsilon_{\text{нл}}$ , а, следовательно, чувствительность РДП зависит от величины относительного перемещения движка и сопротивления нагрузки. Наибольшее отклонение реальной кривой от идеальной имеет место при  $c = 2/3$ :

$$\epsilon_{\text{нл max}} = - \frac{4}{27} k_i$$

Например, для  $R_{\text{н}} > 100 R_0$ ,  $\epsilon_{\text{нл max}}$  не превышает 0,15%, а при  $R_{\text{н}} = 2 R_0$  она составляет 17%

## Резистивные датчики положения. Погрешности и способы их компенсации

**Разрешающая способность** РДП характеризуется зоной нечувствительности  $D$ , равной:  $D = x_{\max}/n$ , где  $x_{\max}$  - диапазон измерения (линейный или угловой) РДП,  $n$  - число витков. Для проволочных РДП разрешение  $D$ , определяется максимальным перемещением, необходимым для перехода движка из своего положения в ближайшее соседнее. Оно зависит от формы и толщины проволоки, размеров движка и меняется по мере их изменения.

Величина погрешности нечувствительности  $e_{\text{нч}}$  проволочного РДП определяется выражением:

$$e_{\text{нч}} = DR/R_0$$

где  $DR$  - минимальная величина изменения сопротивления РДП.

Значение  $e_{\text{нч}}$  для РДП с проволочными ЧЭ составляет  $\sim 0,1 \dots 3\%$ , достигая для прецизионных моделей  $\sim 0,002\%$ . Зона нечувствительности зависит от количества витков проволоки, замыкаемых движком, которое, даже в лучших моделях изменяется по длине датчика. Поэтому, функция преобразования РДП будет «ступенчатой», причем размеры ступенек неодинаковы. Это приводит к расширению полосы погрешностей за счет дополнительной нелинейности. Учитывая это обстоятельство, получим:  $DR = R_0/2n$ , и следовательно

$$(e_{\text{нч}})_{\min} = 1/2n$$

В целом аддитивная погрешность РДП оценивается значением  $1/n \dots 2/n$ .

# Резистивные датчики положения.

## *Динамические и шумовые характеристики*

Одним из важнейших параметров РДП является максимальная скорость перемещения контакта, определяющая верхний частотный предел входных воздействий - частоту среза РДП. Рассмотрим линейный РДП и для простоты расчета допустим, что подвижный контакт совершает в окрестности положения равновесия  $l_0$  синусоидальное движение с амплитудой  $l=l_0+l_1\sin\omega t$  (где  $\omega=2\pi f$ ). Следовательно, для максимальной скорости перемещения движка будет справедливо выражение  $(dl/dt)_{max}=\omega l_1$ . Очевидно, что  $(dl/dt)_{max}$  должна быть меньше некоторой, определяемой конструкцией РДП, *линейной скорости*  $V_{max}$ . Тогда  $f < V_{max}/(2\pi l_1)$ , аналогично для углового РДП  $f < 360\Omega_{max}/(2\pi\alpha_1)$ , (например, при  $V_{max} = 2$  м/с,  $l_1 = 0,3$  мм получаем  $f < 1,1$  кГц).

Шумы РДП обусловлены как свойствами ЧЭ датчика, так и наводками в его измерительной цепи. Шумы - это аддитивная помеха  $e_{ш}$ , вызванная изменением сопротивления РДП при перемещении подвижного контакта.

Она является следствием разнородности структуры ЧЭ, вибраций и т.п. В общем случае  $U_{вых}(x)=U_c(x)+U_{ш}(x)$ , причем  $U_{ш}(x)=IR_{ш}(x)$ , где  $U_c(x)$  – напряжение сигнала;  $U_{ш}(x)$  — составляющая шума;  $I$  — ток через подвижный контакт (обычно  $I < 1$  мА);  $R_{ш}(x)$  - шумовое сопротивление РДП. Допустимый уровень шума РДП указан в паспорте на датчик. Например, для однооборотного РДП модели СП4-8  $U_{ш}(x) = 2$  мВ. Сопротивление  $R_{ш}$  полосковых РДП существенно больше, чем проволочных, и достигает 2 % от  $R_0$