

Датчики положения и перемещения в робототехнике (ДПП)

Основные понятия и определения

Самые распространенные типы ДПП



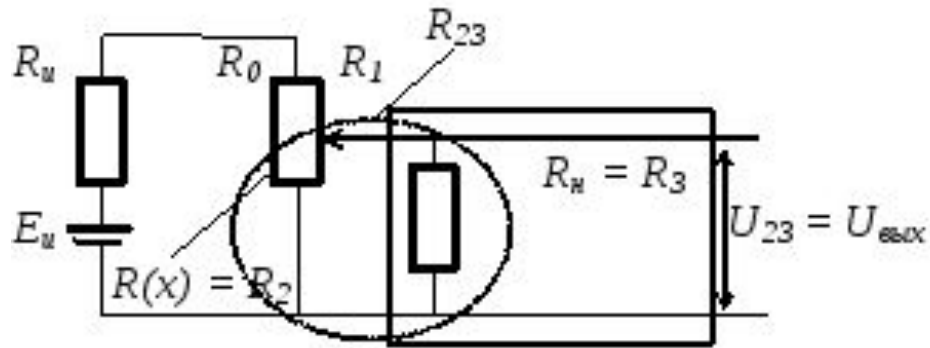
Существует два основных метода определения положения и измерения перемещения.

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

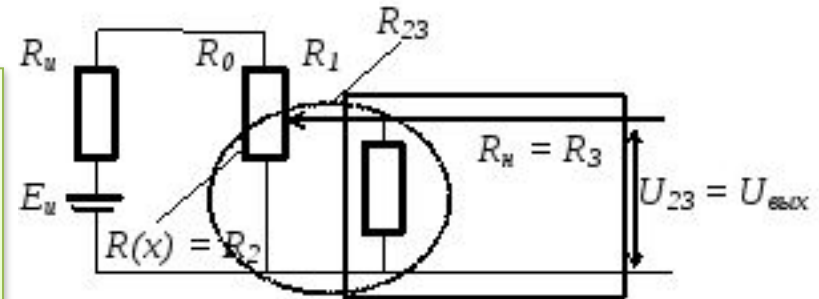


Резистивные датчики положения (РДП) относятся к преобразователям с абсолютным отсчетом, включение РДП в цепь осуществляется по потенциометрической схеме делителя напряжения (со средней точкой или без нее).

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:

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

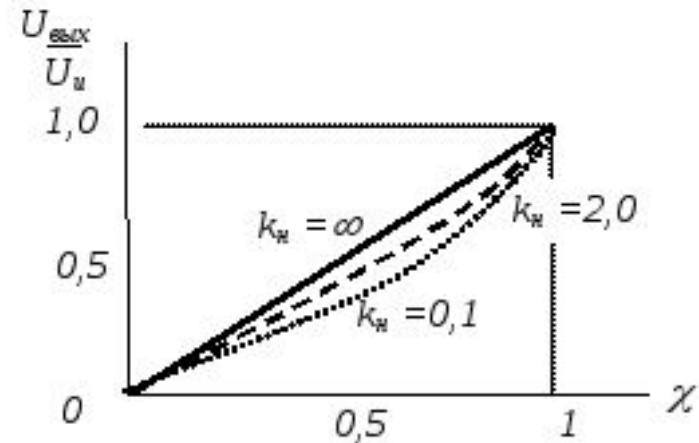
Зависимость напряжения $U_{\text{вых}}$ от R_2 при наличии нагрузки нелинейна. Обозначим $R_2 = cR_0$, $R_1 = (1-c)R_0$, $c = \chi$
Тогда:

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

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 DR_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