

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И ХАРАКТЕРИСТИК ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

**Цель работы:** 1. Изучить назначение, устройство, работу и характеристики преобразователей уровня.

2. Освоить экспериментальное исследование характеристик потенциометрического измерительного преобразователя.

## 1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположена лабораторная установка стенда НТУ-46 «Автоматизация в водоснабжении и водоотведении», в которой объектом исследования является потенциометрический измерительный преобразователь уровня воды.

Средствами исследования служат вольтметр PV с пределом измерения 10В, амперметр РА с пределом измерения 1 мА, указатель уровня воды в верхнем баке (1 дел = 4,6 мм = 1 л).

## 2. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения по измерительным преобразователям (датчикам) уровня.

2. Ознакомиться с устройствами и работой измерительных преобразователей уровня.

3. Собрать электрическую схему лабораторной установки (с её проверкой) для экспериментального исследования характеристик потенциометрического измерительного преобразователя.

4. Снять статическую характеристику  $U_2 = f_1(h)$  и вольт-амперную характеристику (ВАХ)  $I = f_2(U_2)$ .

## 3. Рабочее задание

1. Начертить принципиальную электрическую схему лабораторной установки (рис. 1.1) и таблицу 1.1 результатов опытов (измерений и вычислений). Записать характеристики и паспортные величины объекта и средств исследования.

Собрать цепь в соответствии со схемой (рис.1.1) с использованием монтажных проводников и подсоединить её к стенду с фазным напряжением 220 В (на схеме монтажные проводники для соединения контактных зажимов изображены утолщённой линией).

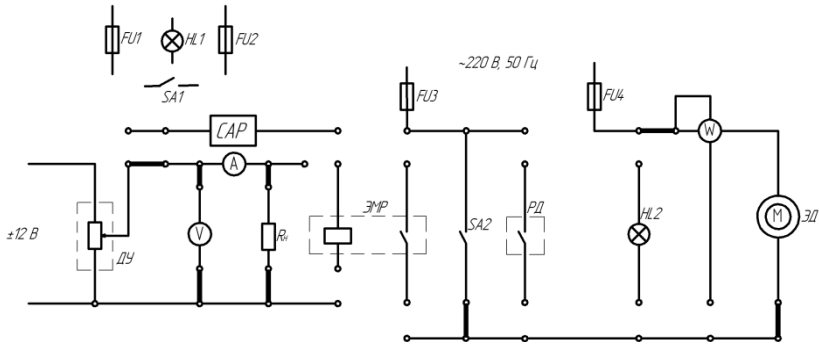


Рис. 1.1. Электрическая схема лабораторной установки для исследования характеристик потенциметрического измерительного преобразователя

После разрешения преподавателя включить установку в сеть с помощью выключателя SA1 «Сеть» на модуле электрического управления, а затем приступить к непосредственному выполнению опытов по снятию статической характеристики  $U_2 = f_1(h)$  и вольт-амперной характеристики  $I = f_2(U_2)$  потенциметрического измерительного преобразователя.

Таблица 1.1. Результаты опытов по исследованию потенциметрического измерительного преобразователя

| Номер измерения               | h – уровень воды в баке |               | $U_2$ – напряжение на выходе датчика, В | I – сила тока в цепи нагрузки, мА |
|-------------------------------|-------------------------|---------------|---|-----------------------------------|
|                               | В делениях              | В миллиметрах |   |                                   |
| При заполнении верхнего бака  |                         |               |   |                                   |
| 1                             |                         |               |   |                                   |
| ...                           |                         |               |   |                                   |
| 6                             |                         |               |   |                                   |
| При опорожнении верхнего бака |                         |               |   |                                   |
| 1                             |                         |               |   |                                   |
| ...                           |                         |               |   |                                   |
| 6                             |                         |               |   |                                   |

3. Перед снятием любой экспериментальной точки необходимо выполнить следующее. Убедиться по показателю уровня (позиция 7 рис. 1), что в верхнем баке 5 вода отсутствует. Если верхний бак заполнен водой, то открыв вентиль В6, необходимо слить воду из верхнего бака в нижний бак 8. Вентиль В6 открыт, когда рукоятка управления установлена параллельно оси трубопровода. После слива воды из верхнего гидробака вентиль В6 необходимо закрыть. На модуле гидравлического управления вентиль В3 открыть, а вентиль В2, В4, В5 - закрыть. Закрытие вентилей осуществляется путём вращения маховика управления по часовой стрелке, а открытие – вращением против часовой стрелки, при этом управлением вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий.

Провести сначала экспериментальное исследование характеристик потенциометрического датчика при заполнении верхнего гидробака стенда. При этом, периодически включая и выключая насос с помощью выключателя SA2 расположенного на модуле электрического управления заполнить верхний гидробак до уровня, при котором начнётся перелив воды из верхнего гидробака в нижний. Первое отключение насоса желательно выполнить в момент, когда уровень воды в стеклянной трубке совпадёт с нулевым делением указателя. Дальнейшее отключение насоса производить через каждые 10 делений. Таким образом снять шесть экспериментальных точек. Во время выключения насоса необходимо фиксировать:

- координату  $h$  – уровень воды в верхнем баке по шкале указателя уровня, причём одно деление соответствует 4,6 миллиметра или одному литру;

- напряжение  $U_2$  на выходе датчика, причём одно деление равно 0,1 В

- силу тока  $I$  в цепи нагрузки, при этом предел измерения амперметра составляет 1 мА.

Таким образом, при управлении насосом необходимо следить за уровнем воды в верхнем гидробаке и за показаниями вольтметра и амперметра.

Результаты измерений при заполнении верхнего бака водой занести в таблицу 1.1.

После максимального заполнения верхнего гидробака и отключения насоса, приоткрывая вентиль В6 и перепуская воду из

верхнего гидробака в нижний, произвести исследование характеристик потенциометрического измерительного преобразователя уже не при заполнении, а при опорожнении верхнего гидробака, при этом каждое измерение производить предварительно закрыв вентиль В6. Снять шесть экспериментальных точек.

Результаты измерений при опорожнении верхнего бака водой занести в таблицу 1.1.

После проведения всех измерений необходимо отключить питание стенда выключателем SA1 «Сеть» и снять перемычки со штекерами (монтажные проводники) с модуля электрического управления.

4. По данным таблицы 1.1 построить статическую характеристику  $U_2 = f_1(h)$  и вольт-амперную характеристику  $I = f_2(U_2)$  потенциометрического измерительного преобразователя и определить его чувствительность как первую производную выходной величины (напряжения  $U_2$ ) по перемещению поплавка  $h$  (выходной величины) по формуле

$$K_g \approx \frac{dU_2}{dh} = \frac{\Delta U_2}{\Delta h}$$

где  $\Delta U_2$ ,  $\Delta h$  – соответственно, приращения напряжения  $U_2$  и перемещения поплавка в разных точках статической характеристики  $U_2 = f_1(h)$ .

#### **4. Подготовка к выполнению рабочего задания.**

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [1, с.23...26], [2, с.206...209], [3, с.97...99], [4, с.69...71], [5, с.31...33], [6, с.350...387], [7, с.60...72], [8].

2. Записать основные положения по назначению, устройству и принципу действия потенциометрических измерительных преобразователей и их характеристикам.

3. Записать паспортные данные средств исследования.

4. Записать формулу для расчёта чувствительности потенциометрического измерительного преобразователя.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Объяснить назначение, устройство и принцип действия потенциометрических (реостатных) измерительных преобразователей различной конструкции.

2. Дать пояснение основным статическим и вольт-амперным характеристикам потенциометрических измерительных преобразователей.

3. Какие параметры первичного преобразователя можно определить по статической характеристике?

4. Привести классификацию первичных измерительных преобразователей, указав при этом их принцип действия.

5. Из каких материалов изготавливаются отдельные элементы потенциометрических измерительных преобразователей: проволока, плёнка, каркас?

6. Назвать и объяснить варианты подключения потенциометрических измерительных преобразователей и их характеристики управления.

7. Каковы преимущества и недостатки потенциометрических измерительных преобразователей?

8. По каким параметрам выбирают потенциометрические (реостатные) измерительные преобразователи?

9. Как выполняется расчёт чувствительности потенциометрического измерительного преобразователя уровня поплавкового типа, установленного на стенде?

## **6. Общие сведения об измерительных преобразователях.**

### **Назначение, устройство, характеристики потенциометрических измерительных преобразователей.**

В различных системах автоматики, телемеханики, информационно-измерительной техники, для контроля технологических процессов, исследования параметров машин и агрегатов, животных и растений возникает необходимость преобразования одной физической величины в другую.

Для измерения различных физических величин пользуются измерительными преобразователями. Измерительный преобразователь – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для его передачи и дальнейшего преобразования, обработки или хранения, но

неподдающегося непосредственному восприятию наблюдателем. Так измерительный преобразователь неэлектрической величины в электрическую устанавливает однозначную функциональную зависимость выходной электрической величины  $У$  от входной измеряемой неэлектрической величины  $X$  (рис. 1.2)



Рис. 1.2. Упрощённая структурная схема ИП

Совокупность измерительных преобразователей, объединённых в один конструктивный узел, выносимый на объект измерения, называется датчиком.

Зависимость выходной величины ИП  $У$  от входной  $X$  в общем виде выражается уравнением преобразования (функцией преобразования)

$$У = f(X)$$

которое для некоторых ИП известно, а для других приходится функцию преобразования находить экспериментально, прибегая к градуировке. Результаты градуировки выражаются в виде таблиц, графиков или аналитически. Функциональная связь между измеряемой  $X$  и выходной  $У$  величинами, выраженная для установившегося режима, называется статической характеристикой  $У = f(X)$  или, иногда, характеристикой управления.

В зависимости от функций, выполняемых в измерительной цепи, измерительные преобразователи подразделяют на: первичные, промежуточные, передающие и масштабные. Первичный измерительный преобразователь (первый в измерительной цепи) позволяет получить информацию обычно об одной измеряемой величине.

Статические характеристики реальных первичных преобразователей в основном нелинейные (рис. 1.3).

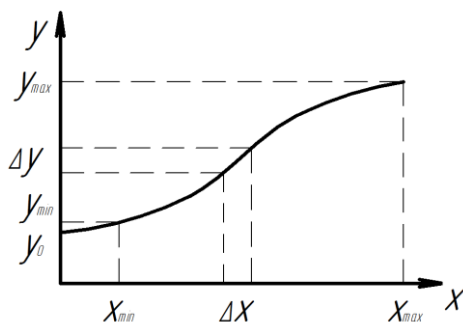


Рис. 1.3. Непрерывная статическая характеристика измерительного преобразователя

Нелинейность характеристик обусловлена физическими свойствами измерительного преобразователя: наличием в них насыщения, зоны нечувствительности, неоднородности электрического и магнитного полей, механическими возмущениями, температурой, влажностью и другими факторами. Статическая характеристика ограничивается нижним ( $X_{\min}$ ,  $Y_{\min}$ ) и верхними ( $X_{\max}$ ,  $Y_{\max}$ ) предельными значениями входной и выходной величин. Разнообразные по устройству и принципу действия измерительные преобразователи имеют различные характеристики и параметры, однако, по статической характеристике могут быть определены следующие параметры первичного преобразователя: градуировочная характеристика, чувствительность, коэффициент преобразования, степень нелинейности, остаточный сигнал, порог чувствительности, ширина петли неоднозначности.

Градуировочная характеристика - зависимость между выходной и входной величинами измерительного преобразователя  $Y = f(X)$  (рис. 1.3).

Чувствительностью измерительного преобразователя называется предел отношения приращения  $\Delta Y$  выходной величины к приращению  $\Delta X$  входной величины, когда последнее стремится к нулю

$$S = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (1.1)$$

Для линейной статической характеристики чувствительность имеет постоянное значение, а для нелинейной статической характеристики чувствительность является функцией измеряемой величины.

Коэффициент преобразования – отношение изменения сигнала на выходе измерительного преобразователя  $\Delta Y$ , отображающего измеряемую величину, к вызвавшему его изменению сигнала на входе преобразователя  $\Delta X$

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (1.2)$$

У измерительного преобразователя с линейной статической характеристикой чувствительность и коэффициент преобразования равны.

Степень нелинейности – отношение максимального отклонения по ординатам статической характеристики от аппроксимирующей её на рассматриваемом участке прямой по всему диапазону изменения ординаты на том же участке.

Остаточный сигнал – значение выходной величины  $Y_0$  измерительного преобразователя, соответствующее входной величине  $X = 0$ . Остаточный сигнал отрицательно влияет на точность измерительного устройства, так как при этом в зоне малых значений  $X$  чувствительность измерительного преобразователя резко падает.

Порог чувствительности – минимальное значение входной величины, вызывающее изменение выходной величины. Появление порога чувствительности вызывается как внешними, так и внутренними факторами (трение, люфты, гистерезис, внутренние шумы).

Погрешности преобразователей подразделяют на абсолютные и относительные. В отличие от погрешностей мер и приборов погрешности преобразователей определяют по входу и выходу.

Абсолютная погрешность (ошибка) есть разность между действительным значением выходной величины  $Y'$  и её расчётным значением  $Y$ , то есть

$$\Delta Y = Y' - Y. \quad (1.3)$$

Относительная погрешность

$$\gamma = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U} \quad (1.4)$$

Диапазон преобразования - область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности измерительных преобразователей.

Кроме перечисленных характеристик преобразователей, при их оценке учитывают следующие свойства: постоянство характеристик во времени, степень обратного воздействия преобразователя на измеряемую величину, удобство монтажа, надёжность, условия эксплуатации, взаимозаменяемость, массу, габарит, стоимость и другие факторы.

Исключительное многообразие измерительных преобразователей, применяемых в современной автоматике, вызывает необходимость их классификации. Измерительные преобразователи классифицируют в основном по принципу действия и по назначению. По принципу действия их разделяют на два класса: генераторные (активные) и параметрические (модуляторы).

К генераторным относятся преобразователи, которые под воздействием входных преобразуемых сигналов, могут вырабатывать энергию, т. е. являются источниками э. д. с., тока, механической силы, давления и т. п. Параметрическими являются те преобразователи, в которых изменение входного сигнала приводит к изменению их определенных параметров — сопротивления, емкости, индуктивности, упругости и др. Для получения выходного энергетического сигнала в этих случаях требуются дополнительные источники энергии.

Приведём кратко принцип действия различных измерительных преобразователей (ИП).

**Резистивные ИП.** Они подразделяются на тензометрические или тензочувствительные, реостатные и угольные. Работа резистивных ИП основана: на изменении электрического сопротивления в зависимости от перемещения движка по электрическому проводнику (реостатные); на изменении усилия прижатия угольных дисков (угольные); на механической деформации проводника или полупроводника (тензометрические). Резистивные ИП применяются для измерения перемещений, а также величин, которые могут быть преобразованы

линейное и угловое перемещение тел: давлений, сил, вращающих моментов, уровня жидкости, ускорений и других.

**Электромагнитные ИП.** Их подразделяют на индуктивные, взаимно индуктивные, магнитоупругие и индукционные. Индуктивные и взаимно индуктивные ИП представляют собой катушку индуктивности или взаимно индуктивности, параметры которой меняются под воздействием измеряемой величины. Магнитоупругие ИП представляют собой разновидность ИП с замкнутым магнитопроводом, а индуктивные ИП – катушку индуктивности, в которой ЭДС наводится при её перемещении в постоянном электрическом поле. Электромагнитные ИП применяются для измерения скорости, линейного и углового перемещения, а также тех величин, которые могут быть преобразованы в перемещение.

**Электростатические ИП.** Они подразделяются на емкостные и пьезоэлектрические. К емкостным относятся ИП, у которых под действием измеряемой величины изменяются ёмкость или диэлектрические потери. Работа пьезоэлектрических ИП основана на пьезоэлектрическом эффекте возникновения ЭДС в некоторых кристаллах под действием механических сил. Электростатические ИП применяются для измерения силы, давления, перемещения и количества вещества.

**Тепловые ИП.** Их подразделяют на терморезисторы и термоэлектрические ИП. Их действие основано на тепловых процессах при нагреве, охлаждении, теплообмене и при других тепловых процессах. В терморезисторах используется зависимость сопротивления проводника или полупроводника от температуры. Действие термоэлектрических ИП основано на возникновении термо – ЭДС при нагреве или охлаждении спая двух разнородных проводников или полупроводников. Тепловые ИП применяются для измерения температуры, скорости и расхода жидких и газообразных сред, малых концентраций газов (вакуум), влажности, перемещения, размеров, химического анализа газовых смесей.

**Электрохимические ИП.** Они подразделяются на гальванические, полярографические, электролитические ИП. Действие этих ИП основано на явлениях, возникающих при прохождении электрического тока через электролитическую ячейку или вследствие окислительно – восстановительных процессов, происходящих на электродах. Они находят применение при определении состава и концентрации

растворов, измерении перемещения, давления и количества электричества.

**Ионизационные ИП.** Их работа основана на явлениях ионизации газа при прохождении через него ионизирующего излучения, люминесцентного свечения некоторых веществ под действием ионизирующего излучения. Применяются ионизационные ИП для измерения плотности и состава газа, геометрических размеров изделий, состояния и качества деталей и сред в закрытых объёмах, перемещения.

**Оптические или фотоэлектрические ИП.** К этому типу ИП относят: фотоэлементы, фоторезисторы, фототранзисторы, фототеристоры. Основой их действия является зависимость фототока от светового потока, который, в свою очередь, зависит от измеряемой величины. Область применения оптических ИП: измерение прозрачности жидкости, газовой среды; температуры, количества изделий; определение качества сельскохозяйственных продуктов; замер освещённости, линейных размеров тел; контроль пламени в топках, работы различных защитных устройств.

Рассмотрим резистивный измерительный преобразователь, имеющий место в данной лабораторной работе. Он относится к типу реостатных или потенциометрических измерительных преобразователей, так как реостат активного сопротивления включается по схеме потенциометра. Потенциометрические ИП применяются для контроля линейных и угловых перемещений, а также тех величин, которые могут быть преобразованы в эти перемещения (усилия, давления, уровни и объёмы жидкостей). Реостатные ИП применяются также в качестве прецизионных регулируемых резисторов (реохордов) в автоматических мостах и компенсаторах.

Реостатный преобразователь, представляющий собой переменный резистор, используется для преобразования линейного  $x$  и углового  $\varphi$  перемещений ( входная величина) в электрический сигнал постоянного или переменного тока ( выходная величина) за счёт пропорционального изменения сопротивления. Преобразование перемещений в напряжение или ток осуществляется в соответствии с требуемыми функциональными зависимостями:

$$U = f(x) \text{ и } U = \psi(\varphi) \quad (1.5)$$

Конструктивно потенциметрические измерительные устройства (рис. 1.4) представляют собой каркас прямоугольной или кольцевой формы, на который намотана в один ряд тонкая проволока (рис.1.4, а). Форма каркаса зависит от характера измеряемого перемещения (линейное или угловое). Для изготовления каркасов применяются диэлектрики (гетинакс, пластмасса, керамика) и металлы (дюралюминий с анодированной поверхностью), покрытые изоляционным лаком. Проволоку для обмотки диаметром 0,03 – 0,05 мм выполняют из сплавов, имеющих высокое удельное сопротивление, хорошую теплостойкость и малый температурный коэффициент сопротивления: манганин (Cu, Mn, Ni), константан (Cu, Ni), нихром (Mn, Ni, Cr, Fe), фехраль, никелин.

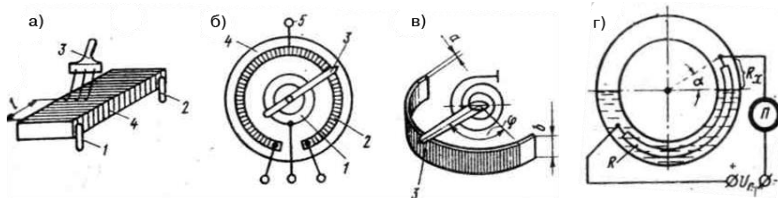


Рис.1.4. Принципиальная конструкция потенциметрического датчика:  
 а – прямоугольного; б – кольцевого; в – секторного; г – бесступенчатого угла.

По виткам проволоки 4 скользит щётка 3, называемая движком потенциметра, механически связанная с объектом, перемещение которого нужно измерить. Движок (щётка) выполняется из двух – трёх проволок, изготовленных из сплава платины с иридием или платины с бериллием, или в виде плоских пружинных полосок, изготовленных из чистых металлов (платина, серебро) или из сплавов – фосфористая бронза. Качество контакта щётки и обмотки определяется контактным давлением в зависимости от материала контакта и лежит в пределах от тысячных долей до нескольких ньютонов. От концов намотки и от движка сделаны электрические выводы 1, 2, 3, с помощью которых измерительный преобразователь включают в схему. При перемещении движка потенциметра от вывода 1 к выводу 2 щётка переходит от одного витка намотки на другой. При этом длина проволоки между движком и выводом 1 увеличивается, между движком и выводом 2 уменьшается. За счёт этого сопротивление между выводами увеличивается от 0 до R, а между выводами 2 и 3 уменьшается от R до 0.

0 ( $R$  – сопротивление проволоки, намотанной на каркас). По изменениям этих сопротивлений можно определить перемещение  $L$ . Аналогично выполнены потенциометры (рис. 1.4, б, в). Для получения бесконтактного измерительного преобразователя угловых перемещений с плавным выходом используются жидкостные потенциометры (рис.1.4, г). При перемещении подвижного контакта изменяется напряжение на вторичном приборе  $\Pi$ , проградуированном в единицах контролируемого параметра. В последнее время находят применение непроволочные (плёночные) потенциометры, в которых функцию обмотки выполняет плёнка из благородного металла, например радия, наклеенного на стекло.

Непроволочные переменные резисторы подразделяют по конструкции несущего слоя на тонкослойные металлические или металлооксидные (СП2), плёночно композиционные (СП3) и объёмные композиционные (СП4). Конструкция плёночного переменного резистора показана на рис. 1.5.

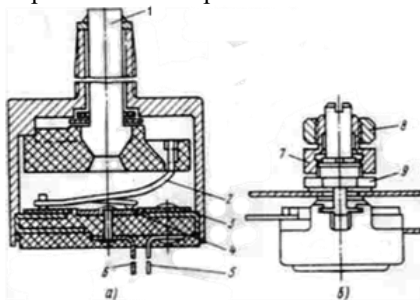


Рис. 1.5. Плёночный переменный резистор

Основание 3, на которое нанесён токопроводящий слой, имеет форму подковы. При вращении оси 1 контактная пружина 2 одним концом скользит по токопроводящему слою 3, а другим – по контактной спайке 4.

Благодаря этому изменяется сопротивление между контактами 5 и 6. Объёмные резисторы имеют аналогичную конструкцию, только объёмный токопроводящий слой запрессован в канавку изоляционного основания. Некоторые типы резисторов комплектуют специальными стопорящими устройствами. При вращении гайки 8 она сжимает конус цапгового зажима 7 и стопорит ось резистора.

Имеется несколько вариантов подключения потенциметрических преобразователей и зависимостей выходного напряжения от изменения сопротивления (характеристик управления) (рис. 1.6).

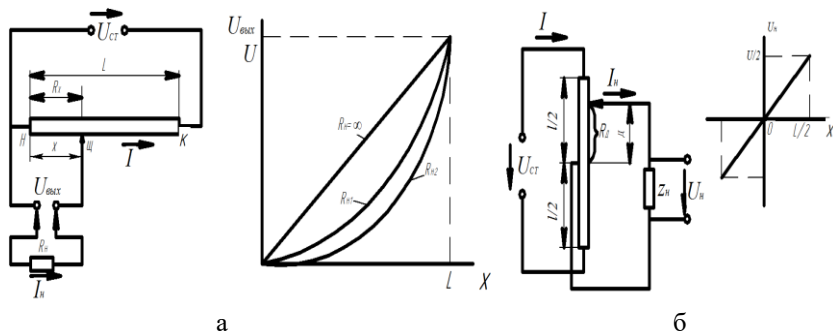


Рис. 1.6. Схемы включения и характеристики управления потенциметрического преобразователя:  
 а – обычная схема включения и характеристики управления; б – реверсивная схема включения и характеристики управления;

Выходная характеристика потенциметрического преобразователя может быть линейной или нелинейной. При воспроизведении заданной нелинейной функции сопротивление потенциометра, работающего без нагрузки, должно изменяться по соответствующему нелинейному закону. Это достигается различными способами: изготовлением неоднородной обмотки, намоткой на фигурный каркас (рис. 1.7) и другими вариантами.

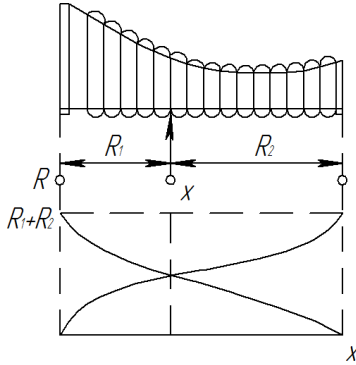


Рис. 1.7. Форма каркаса и зависимость сопротивления от положения подвижного контакта реостатного преобразователя.

Характеристика и чувствительность потенциметрического преобразователя рассчитывается аналитически. Например, для схемы (рис. 1.6, а) можно составить уравнения из условия, что к зажимам Н и К ненагруженного потенциметра прикладывается постоянное или переменное напряжение  $U$ . При этом сопротивление потенциметра между зажимом Н и щёткой Щ изменяется по закону

$$R_x = R \frac{x}{l}, \quad (1.6)$$

где  $R_x$  - сопротивление участка  $x$ ;

$l$  - длина потенциметра;

$R$  - полное сопротивление потенциметра.

Выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  снимается с части потенциметра  $R_x$  и зависит от перемещения щётки и этим осуществляется преобразование механического перемещения в электрическое напряжение. При смещении щётки вправо от точки Н на величину  $x$  выходное напряжение преобразователя в режиме холостого хода

$$U_{xx} = U_{cm} \frac{R_x}{R} = U_{cm} \frac{x}{l} \quad (1.7)$$

Характеристика управления в этом режиме линейна. В нагрузочном режиме характеристика управления становится нелинейной. Выходное напряжение преобразователя

$$U_{\text{вых}} = I_n \cdot R_n = U_{\text{см}} \frac{x}{l} \quad (1.8)$$

где  $I_n$  – ток, протекающий через нагрузочное сопротивление  $R_n$ .

Чувствительность потенциметрического преобразователя (соответственно А/м или В/м).

$$K_n = \frac{dI_n}{dx} = \frac{U_{\text{см}}}{R_n l} \quad \text{или} \quad K_n = \frac{dU_n}{dx} = \frac{U_{\text{см}}}{l} \quad (1.9)$$

В соответствии с теоремой об эквивалентном генераторе в случае чисто активной нагрузки

$$I_n = \frac{U_{\text{хх}}}{R_n + R_{\text{экв}}}, \quad R_{\text{экв}} = R_x \frac{R - R_x}{R} \quad (1.10)$$

где  $R_{\text{экв}}$  - эквивалентное сопротивление схемы между точками Н и Щ со стороны нагрузки при закороченном источнике питания.

Подставляя (1.7) и (1.10) в (1.9), находим выходное напряжение в нагрузочном режиме

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{см}} R_x R_n}{R R_n + R_x R - R \cdot x^2} \quad (1.11)$$

При  $x = 0$  имеем  $R_x = 0$ ,  $U_{\text{вых}} = 0$ ; при  $x = l$  имеем  $R_x = R$ ,  $U_{\text{вых}} = U_{\text{ст}}$ .

Чем меньше  $R_n$ , тем больше нелинейность характеристики управления. Для уменьшения влияния нагрузки выбирают нагрузочное сопротивление в соотношении  $R_n = (10..100) R$ . Характеристика управления реальных потенциметрических преобразователей имеет ступенчатый характер, так как перемещение щётки с одного витка проволоки на другой вызывает скачкообразное изменение выходного напряжения. Ошибка, вызываемая ступенчатостью характеристики составляет

$$\Delta U = \frac{U_{cm}}{2\omega} \quad (1.12)$$

где  $\omega$  – полное число витков потенциометра.

Для уменьшения ошибки ступенчатости увеличивают число витков, уменьшая при этом диаметр проволоки. Однако, с увеличением числа витков резко растёт сопротивление потенциометра, что приводит к увеличению нелинейности характеристики.

Рассмотренный преобразователь позволяет измерять сопротивление только одного знака. На рис.1.6, б показана схема реверсивного потенциометрического преобразователя. Он имеет отвод от средней точки обмотки, от которой происходит отсчёт перемещения щётки. При изменении направления перемещения щётки от средней точки обмотки происходит изменение знака выходного напряжения. Положительным считается  $U_{вых}$ , измеренное от щётки к центру потенциометра. Если щётка Щ находится выше центра, то  $U_{вых} > 0$ , если ниже центра, то  $U_{вых} < 0$ . Знак выходного напряжения зависит от координаты  $x$ .

Выбор резистора (постоянного или переменного) для конкретной схемы необходимо выполнять с учётом условий работы (рассеиваемой мощности, температуры окружающей среды), а также требований, предъявляемых к характеристикам потенциометра.

Достоинством потенциометрических ИП является высокая точность, стабильность характеристик, большая выходная мощность, простота конструкции, возможность питания постоянным и переменным током, безинерционность, малые габариты, обычно они не нуждаются в усилителях. Недостаток – наличие скользящего контакта, который обуславливает низкую надёжность преобразователя, сильное влияние нагрузки на линейность характеристики управления, ошибка ступенчатости в изменении сопротивления от витка к витку, возникновение термо – ЭДС, особенно в цепях постоянного тока и в условиях повышенной температуры, подверженность механическим воздействиям, загрязнение и окисление контактов.

Рассчитаем характеристику и чувствительность потенциометрического ИП уровня поплавкового типа, установленного на стенде, аналитически (рис. 1.8).

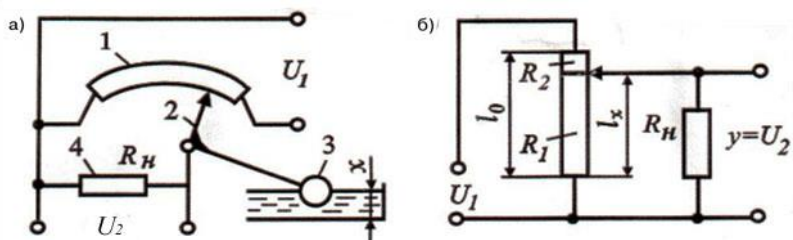


Рис. 1.8. Схемы потенциметрического ИП:  
а – принципа действия; б – электрическая

Чувствительным элементом потенциметрического ИП является поплавок 3. В нём можно выделить два преобразующих элемента. Первый преобразует изменение положения поплавка  $x$  в отклонение движка 2 потенциометра 1, включённого в электрическую цепь с напряжением  $U_1$ . При перемещении движка потенциометра изменяется напряжение  $U_2$  на резисторе нагрузки 4. Следовательно, второй преобразующий элемент преобразует сигнал перемещения движка в выходной сигнал - напряжение  $U_2$ . В результате ИП выдаёт унифицированный аналоговый электрический сигнал. Применяя законы Ома и Кирхгофа для соответствующих элементов электрической цепи, получим

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_1}{R_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_1 R_2}{R_0 R_n}} \quad (1.13)$$

где  $R_1$ ,  $R_2$  – соответственно, сопротивления плеч потенциометра, отделяемых его движком;

$R_n$  – сопротивление резистора нагрузки;

$R_0$  – полное сопротивление потенциометра.

$$R_0 = R_1 + R_2 \quad (1.14)$$

Если выбрать сопротивление нагрузки  $R_n$  значительно больше полного сопротивления потенциометра  $R_0$ , то характеристика преобразователя будет практически линейной

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_1}{R_0} = U_1 \cdot \frac{l_x}{l_0} \quad (1.15)$$

где  $l_x$  - длина плеча потенциометра, соответствующая измеряемой величине  $x$ ;

$l_0$  - длина потенциометра.

Можно подобрать плечи рычага, связывающего поплавков с движком потенциометра так, чтобы в требуемом диапазоне измерения уровня жидкости  $x$  связь между  $l_x$  и  $x$  была линейной

$$l_x = k_1 \cdot x, \quad (1.16)$$

где  $k_1$  - коэффициент передачи первого преобразующего элемента – двухплечного рычага.

Статическая характеристика потенциометрического ИП уровня в этом случае будет линейной

$$y = k \cdot x, \quad (1.17)$$

где  $y = U_2$ ;  $k = k_1 \cdot k_2$ ;  $k_2$  - коэффициент передачи второго преобразующего элемента – потенциометра.

Важной характеристикой потенциометрического ИП является чувствительность, представляющая собой первую производную выходной величины (напряжения  $U_2$ ) по перемещению поплавка  $x$  (входной величине)

$$K_n = \frac{dy}{dx} = K_1 \frac{U_1}{l_0} \quad (1.18)$$

Таким образом, чувствительность  $K_n$  можно рассматривать как коэффициент усиления потенциометрического ИП .

Рассмотренный потенциометрический ИП по принципу действия относится к параметрическим ( под действием входного сигнала изменяется его сопротивление), а по физической природе элементов – к электромеханическим.

При проведении исследований потенциометрических ИП часто одновременно со статической характеристикой  $U_2 = f_1(x)$  определяют его вольт–амперную характеристику (ВАХ), представляющую собой зависимость

$$I = f_2(U_2) \quad (1.19)$$

где  $I$  – ток в цепи нагрузки  $R_H$ .

Следует отметить, что ВАХ является по сравнению со статической характеристикой менее информативной, поскольку зависимость  $I = f_2(U_2)$  изменяется с изменением сопротивления нагрузки  $R_H$ , то есть для каждого значения  $R_H$  имеется своя вольт–амперная характеристика.