

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Измерительные преобразователи

Согласно ГОСТ 16263 - 70 измерительный преобразователь- это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Принцип их действия основан на различных физических явлениях. Измерительные преобразователи преобразуют любые физические величины (электрические, неэлектрические, магнитные) в выходной электрический сигнал $Y = f(x)$.

Измерительные преобразователи являются составными частями измерительных приборов, установок и систем. Измерительные преобразователи можно классифицировать по характеру входной и выходной величин, месту в измерительной цепи, физическим явлениям, положенным в их принцип действия, и другим признакам (рис. 3.3).

Физические величины могут быть непрерывными по значению и квантованными (они представляются обычно кодовыми сигналами). Если входная и выходная величины измерительного преобразователя – непрерывные величины, такой преобразователь называют – аналоговым. Измерительный преобразователь одного кодового сигнала в другой получили название кодовых. Преобразователи аналог-код превращают непрерывную величину в кодовый сигнал, а преобразователи код-аналог - кодовый сигнал в сигнал, непрерывный по значению (например, преобразователь двоичного числа в постоянное напряжение).



Рис. 3.3. Классификация измерительных преобразователей

По месту, занимаемому в измерительной цепи, средства измерения, преобразователи подразделяются на первичные, передающие, промежуточные, выходные и обратные.

Первичный преобразователь —это преобразователь, к которому подведена измеряемая величина. Для первичных преобразователей характерно то, что на них воздействует непосредственно измеряемая величина. Физическая величина, в которую преобразует измеряемую величину первичный преобразователь, может быть подведена к измерительному механизму, может быть подана на другой преобразователь или использована, например, для целей телеизмерений.

Примером первичного преобразователя может служить термопара в цепи термоэлектрического термометра.

Конструктивно обособленный первичный измерительный преобразователь, от которого поступают сигналы измерительной информации, называется датчиком[3].

Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от средства измерений, принимающего его сигналы. Например, датчики запущенного метеорологического радиозонда передают измерительную информацию о температуре, давлении, влажности и

других параметрах атмосферы; тензопреобразователь, наклеенный на упругий элемент и воспринимающий его деформацию, также является датчиком [8].

Передающий преобразователь - измерительный преобразователь, служащий для дистанционной передачи измерительной информации. Для этих преобразователей характерно назначение величины, образуемой на его «выходе». Очевидно, что преобразователь может одновременно выполнять функции первичного и передающего.

Промежуточный преобразователь — преобразователь, занимающий в измерительной цепи место после первичного.

Выходной преобразователь— преобразователь, стоящий последним в измерительной цепи. Он снабжается отсчетным или регистрирующим устройством, фиксирующим значение измеряемой величины.

Измерительные приборы сравнения (см. п. 3.4) имеют две цепи – прямого преобразования, начиная от входной величины, и обратного преобразования – к входной величине. Измерительные преобразователи, стоящие в цепи обратного преобразования, получили название обратных.

Для изменения в определенное число раз значения одной из величин, действующих в измерительной цепи, без изменения ее физической природы используют масштабные преобразователи: делители напряжения, измерительные трансформаторы тока, измерительные усилители и т. п.

Полезно также все измерительные преобразователи разделить на две группы: генераторные (энергетические) и параметрические. Первые характеризуются тем, что для осуществления преобразования не требуется постороннего источника энергии. Измерительный преобразователь её вырабатывает сам за счет воздействия преобразуемой величины. Параметрические же преобразователи должны быть возбуждены от постороннего источника энергии. Например, преобразователь в виде термопары для измерения температуры сам вырабатывает электрическую энергию, а термометр сопротивления (нагреваемая проволока) может осуществлять преобразование температуры в сопротивление только будучи нагретым источником электрического тока.

Измерительные преобразователи могут быть встроены в корпус прибора и вместе с другими его устройствами образовать единую конструкцию. В этом случае метрологические характеристики нормируются для измерительного прибора в целом. В тех случаях, когда измерительные преобразователи (один или несколько) являются конструктивно обособленными элементами, метрологические характеристики нормируются на эти элементы. Это очень важно при построении измерительных средств на базе блочно-модульного принципа, при построении измерительных установок и систем, которые могут включать десятки различных измерительных преобразователей.

Измерительные преобразователи бывают взаимозаменяемыми, ограниченно-взаимозаменяемыми и невзаимозаменяемыми или индивидуальными.

Взаимозаменяемые преобразователи могут без каких-либо ограничений заменять друг друга. При такой замене свойства прибора не должны измениться. Для того чтобы обеспечивалась такая взаимозаменяемость, нормируют ряд характеристик преобразователей. Для них устанавливают и стандартизуют рациональный ряд коэффициентов преобразования. Под коэффициентом преобразования понимается отношение значения величины на входе преобразователя к значению соответствующей ей величины на выходе.

Важные характеристики взаимозаменяемых преобразователей следующие: - значение входной и выходной величин каждой в отдельности. Так, например, государственными стандартами устанавливаются следующие диапазоны изменения входных и выходных величин: сила постоянного электрического тока $I = 0...5 \text{ мА}; 0...20 \text{ мА}$, постоянное напряжение $U = 0...10 \text{ В}$, переменное напряжение $U = 0...2 \text{ В}$, частота электрических колебаний $f = 1500...2500 \text{ Гц}; 4000...8000 \text{ Гц}$ [8]. Установление определенного ряда этих значений и обеспечивает широкую взаимозаменяемость

преобразователей. Благодаря установлению таких рядов значительно сокращается количество разновидностей первичных преобразователей и вторичных устройств (конструктивно обособленная остальная часть элементов измерительной цепи).

- точность и постоянство коэффициента преобразования на всем диапазоне его работы.

Для большинства взаимозаменяемых преобразователей устанавливают классы точности. При выборе преобразователя стремятся к тому, чтобы его класс точности, если это возможно, был выше класса точности измерительного прибора, применяемого с преобразователем, иначе говоря, чтобы применение преобразователя как можно меньше снижало общую точность измерения данным прибором.

Требования, предъявляемые к взаимозаменяемым преобразователям, весьма высоки. В ряде случаев некоторые из них невыполнимы или выполнение их экономически нецелесообразно. Тогда их применяют ограниченно, причем ограничение накладывают на какое-либо одно требование.

Чаще всего взаимозаменяемые преобразователи используют только для измерительного прибора одного вида или типа, а иногда даже только одной его конструкции, о чем на преобразователе делается соответствующая надпись.

Применение индивидуальных (невзаимозаменяемых) преобразователей позволяет улучшить метрологические характеристики измерительного прибора и установки за счет специальных регулировок.

Измерение неэлектрических величин электрическими методами

Электрические измерительные приборы, применяемые для измерения неэлектрических величин, имеют большие преимущества по сравнению с неэлектрическими приборами, так как они позволяют как осуществлять дистанционные измерения, так и обеспечивать широкий диапазон чувствительности, а также позволяют измерять параметры различных быстропротекающих процессов.

Для измерения любой неэлектрической величины электрическим методом необходимо иметь преобразователь (датчик), преобразующий неэлектрическую величину в электрическую, измерительный прибор и промежуточную цепь, связывающую датчик с измерительным прибором. Датчики подразделяют на две основные группы: параметрические и генераторные. Параметрические датчики преобразуют неэлектрические величины в электрические параметры r , L , C , M , μ . Генераторные датчики преобразуют неэлектрические величины в E , U , I , P .

Электрические измерительные приборы, применяемые для измерения неэлектрических величин, градуируют непосредственно в единицах этих величин.

Датчики обычно характеризуют чувствительностью и разрешающей способностью. Под чувствительностью датчика понимают отношение

$$S = \Delta a_{\text{вых}} / \Delta a_{\text{вх}}, \quad (10.19)$$

где $\Delta a_{\text{вых}}$ — изменение значения электрической величины на выходе датчика; $\Delta a_{\text{вх}}$ — изменение значения неэлектрической величины на его входе.

Под разрешающей способностью датчика понимают предел изменения измеряемой неэлектрической величины, в котором погрешность преобразования не превышает допустимого значения.

Из параметрических датчиков наиболее распространенными являются реостатные (датчики сопротивления), емкостные, индуктивные датчики, датчики с терморезисторами, фотоэлектрические датчики, тензорезисторы, а из генераторных датчиков —

термоэлектрические (термопары) и индукционные, в которых неэлектрическая величина преобразуется в э. д. с.

Реостатные датчики обычно используют в сочетании с магнитоэлектрическими логометрами. В этих датчиках измеряемая неэлектрическая величина воздействует на движок реостата, изменяя его положение и соответственно сопротивление реостата. Этот прибор может быть применен, например, для измерения уровня жидкости (рис. 10.14), причем шкалу логометра в этом случае можно отградуировать непосредственно в единицах измеряемого уровня.

Для измерения деформаций различных конструкций используют тензорезисторы — датчики, сопротивление которых меняется вследствие изменения их геометрических размеров (рис. 10.15). Такие датчики изготовляют из константановой проволоки диаметром 20 — 30 мкм, обладающей большим удельным сопротивлением, и наклеивают непосредственно на ту деталь, деформацию которой необходимо измерить.

Для измерения температур используют различные параметрические и генераторные преобразователи, наибольшее распространение из которых получили термоэлектрические датчики (термопары) и терморезисторы (термисторы). Работа датчиков с термисторами основана на зависимости сопротивления проводников и полупроводников от температуры. Следует отметить, что при измерениях с использованием параметрических дат-

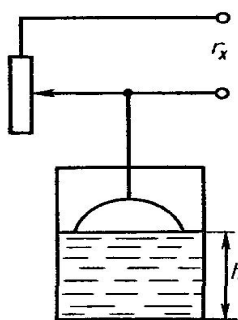


Рис. 10.14

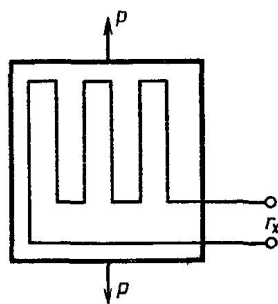


Рис. 10.15

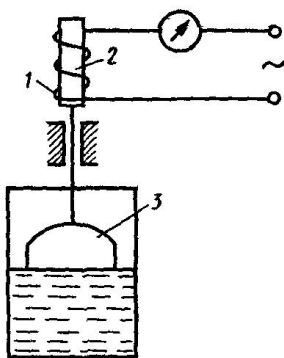


Рис. 10.16

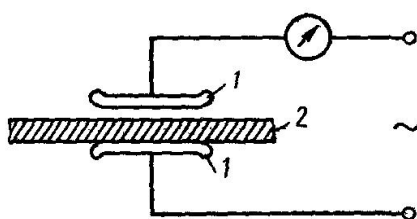


Рис. 10.17

чиков всегда требуется вспомогательный источник электрической энергии.

Индуктивные и емкостные датчики применяют, как правило, в сочетании с электромагнитными и электродинамическими логометрами при питании измерительного устройства переменным током.

В качестве примера рассмотрим измерение уровня жидкости индуктивным датчиком (рис. 10.16). Принцип работы прибора основан на изменении индуктивности катушки при перемещении ее сердечника (или изменений воздушного зазора) под действием измеряемой механической величины. Железный сердечник 2 связан с поплавком 3, перемещение которого влияет на индуктивность катушки 1. При изменении индуктивности катушки происходит изменение ее индуктивного сопротивления и тока в ее цепи.

Индуктивные датчики могут быть использованы для измерения как для сравнительно больших, так и достаточно малых перемещений, например для контроля небольших изменений толщины листа при прокатке.

Емкостные датчики применяют для измерения перемещений, толщины диэлектриков, механической силы и т. д. Например, в емкостном датчике при измерении толщины ленты 2 (рис. 10.17) происходит изменение емкости за счет изменения размеров воздушного промежутка между пластинами 1 воздушного конденсатора, вследствие чего изменяется емкостное сопротивление конденсатора и ток в измерительной цепи.

В заключение отметим, что с помощью одного и того же типа датчика можно измерять и контролировать различные неэлектрические величины. Если при измерениях и контроле изменения электрической величины на выходе датчика малы, то необходимо использовать промежуточные усилители.

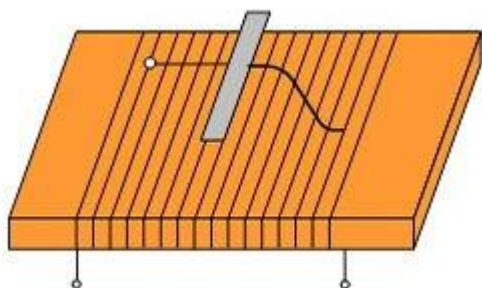
Параметрические измерительные преобразователи

Электрические измерения

Электроизмерительные приборы получили широкое применение для измерений неэлектрических величин. Это стало возможным благодаря применению специальных преобразователей (Пр).

Выходные сигналы таких преобразователей передаются в виде параметров цепи или ЭДС (заряда), связанной функциональной зависимостью с входным сигналом. Первые называются параметрическими, вторые – генераторными.

Из параметрических преобразователей наибольшее распространение получили реостатные, тензочувствительные, термочувствительные, электролитические, ионизационные, индуктивные и емкостные устройства.

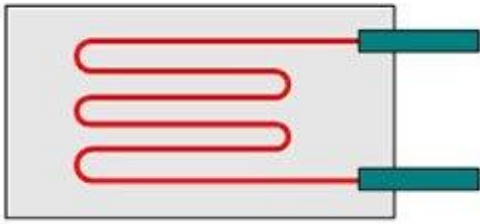


Реостатные преобразователи представляют собой изолированный осто́в, на который намотан проводник и перемещающаяся вдоль витков щетка. Их выходным параметром служит сопротивление цепи.

Измеряемой величиной Пр может быть перемещение щетки по прямой или по окружности. Усовершенствовав воспринимающую систему, Пр можно применять для определения давления или массы, под действием которых будет перемещаться ползунок.

Для обмотки реостата применяют материалы, сопротивление которых мало зависит от внешних факторов (температура, давление, влажность и т. д.). Такими материалами могут быть нихром, фехраль, константан или манганин. Изменяя форму и сечение осто́ва (соответственно меняется и длина одного витка) можно добиться нелинейной зависимости сопротивления цепи от перемещения ползунка.

Достоинством реостатных преобразователей можно назвать простоту их конструкции. Однако невозможно точно определить перемещение, если выходное сопротивление при этом изменяется в пределах одного витка. Это является главным недостатком таких Пр, и характеризует их погрешность.



Тензочувствительные преобразователи (ТЧПр).

Работа их основана на изменении активного сопротивления проводника под воздействием давления или механической деформации. Такое явление называется тензоэффектом.

Входным сигналом для ТЧПр может быть растяжение, сжатие или другой вид деформации деталей оборудования, металлических конструкций, выходным сигналом служит изменение сопротивления преобразователя.

Тензочувствительные Пр представляют собой тонкую подложку, выполненную из бумаги или пленки и наклеенную на нее проволоку, очень малого сечения. В качестве воспринимающего элемента обычно используют константановую проволоку, имеющую независимое от температуры сопротивление, диаметром 0,02-0,05 мм. Также применяют фольговые ТЧПр и пленочные тензорезисторы.

Входным сигналом для ТЧПр может быть растяжение, сжатие или другой вид деформации деталей оборудования, металлических конструкций, выходным сигналом служит изменение сопротивления преобразователя.

Тензочувствительные Пр представляют собой тонкую подложку, выполненную из бумаги или пленки и наклеенную на нее проволоку, очень малого сечения. В качестве воспринимающего элемента обычно используют константановую проволоку, имеющую независимое от температуры сопротивление, диаметром 0,02-0,05 мм. Также применяют фольговые ТЧПр и пленочные тензорезисторы.

ТЧ преобразователь наклеивают на измеряемую деталь, таким образом, чтобы ось линейного расширения детали совпадала с продольной осью ТЧП. При расширении измеряемого объекта, увеличивается длина ТЧП, соответственно его сопротивление изменяется.

Достоинством таких приборов является линейность, простота конструкции и установки. К недостаткам можно отнести невысокую чувствительность.

Термочувствительные преобразователи (ТРПр). В качестве основных элементов таких устройств применяют терморезисторы, термодиоды, термотранзисторы и т. п. Термоэлемент включается в электрическую цепь, таким образом, что через него проходит ток цепи, и воздействует температура измеряемого элемента.

С их помощью могут быть измерены температура, вязкость, теплопроводность, скорость движения и прочие параметры среды, в которой находится элемент.

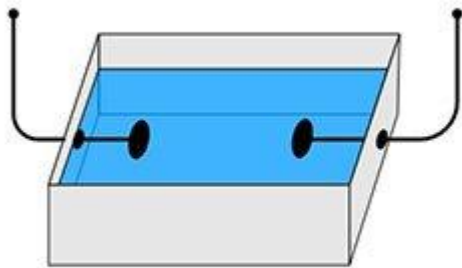
Для измерений в диапазоне температур -260°C до $+1100^{\circ}\text{C}$ применяют платиновые терморезисторы, в диапазоне -200°C до $+200^{\circ}\text{C}$ – медные. В диапазоне температур -80°C до $+150^{\circ}\text{C}$, когда требуется особая точность, применяют термодиоды и термотранзисторы.

ТРПр по режиму работы разделяют на перегревные и без предварительного нагрева. Приборы без предварительного нагрева применяют только для измерения температуры среды, так как протекающий в них ток не влияет на их нагрев. По сопротивлению элемента достаточно точно определяют температуру среды.

Режим работы другого вида термопреобразователей связан с их предварительным разогревом до заданной величины. Затем их помещают в измеряемую среду, и следят за изменением его сопротивления.

По скорости изменения сопротивления можно судить насколько интенсивно происходит охлаждение или нагрев, а значит можно определить скорость движения измеряемого вещества, его вязкость и другие параметры.

Полупроводниковые ТРПр более чувствительны чем терморезисторы, поэтому их применяют в области точных измерений. Однако их существенным недостатком является узкий температурный диапазон и плохая воспроизводимость статической характеристики устройства.

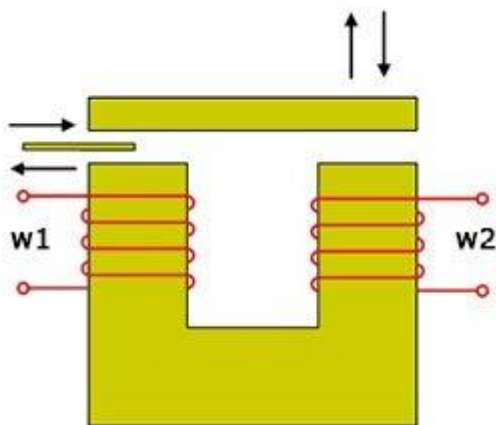


Электролитические преобразователи (ЭЛП).

Применяют для определения концентрации растворов, так как электрическая проводимость растворов существенно зависит от степени концентрации солей в них.

ЭЛП представляют собой сосуд с двумя электродами. К электродам подается напряжение, таким образом, электрическая цепь замыкается через слой электролита. Такие преобразователи применяют на переменном токе, так как под действием постоянного тока, электролит диссоциирует на положительные и отрицательные ионы, что вносит погрешность в измерения.

Еще одним недостатком ЭЛП можно назвать зависимость проводимости электролита от температуры, что вынуждает поддерживать постоянную температуру с помощью холодильных или нагревательных установок.



Индуктивные и емкостные преобразователи.

Как следует из названия, выходными параметрами таких устройств являются индуктивность и емкость. Измеряемой величиной простых индуктивных Пр может быть перемещение от 10 до 15 мм, для индуктивных трансформаторных Пр с незамкнутой системой это значение может быть увеличено до 100 мм. Емкостные Пр применяют для измерения перемещений порядка 1 мм.

Индуктивные Пр представляют собой две катушки индуктивности, размещенные на незамкнутом сердечнике. На взаимную индуктивность катушек влияют такие параметры как:

длина воздушного зазора незамкнутого участка, площадь поперечного сечения воздушного зазора, магнитная проницаемость воздушного зазора.

Таким образом, измерением взаимной индуктивности катушек можно определить насколько изменились вышеприведенные параметры. А измениться они могут при перемещении в воздушном промежутке пластины диэлектрика. На этом основан принцип работы индуктивных Пр.

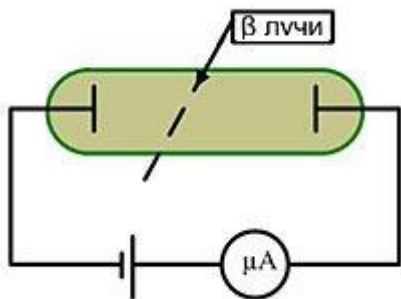


Принцип работы емкостных

Пр основан на изменении емкости конденсатора при уменьшении активной площади обкладок, изменении расстояния между обкладками конденсатора и изменении диэлектрической проницаемости межоблабочного пространства.

Емкостные преобразователи имеют более высокую чувствительность к изменению входных параметров. Емкостный Пр в состоянии зафиксировать изменение емкости даже при перемещении на тысячные доли миллиметра.

Основными недостатками индуктивных и емкостных Пр можно назвать их подверженность воздействию внешних электрических полей, паразитных токов и необходимость в источниках питания повышенной частоты.



Ионизационные преобразователи.

Принцип работы прибора основан на явлении ионизации газа и других сред под воздействием ионизирующих излучений, в качестве которых могут применяться ионизирующие α -, β - и γ -излучения радиоактивных веществ, или рентгеновские излучения.

Если камеру с газом подвергнуть излучению, то через электроды потечет электрический ток. Величина этого тока будет зависеть от состава газа, размеров электродов, расстояния между электродами и приложенного напряжения.

Измеряя электрический ток в цепи, при известном составе среды, расстоянии между электродами, приложенном напряжении можно определить размер электродов, или наоборот другие параметры. Их применяют для измерения размеров деталей, или составов газа и пр.

Основным преимуществом ионизирующих Пр является возможность бесконтактного измерения, в агрессивных средах, под повышенным давлением или температурой. Недостатком таких Пр является необходимость биологической защиты персонала от воздействия излучений.