

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы
контроля качества и диагностики состояния объектов»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 620.179:531.7
ББК 34.9:22.3с
Ф50

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «22» мая 2020 г.,
протокол № 8

Составитель ст. преподаватель Е. Н. Прокопенко

Рецензент А. П. Прудников

Даны рекомендации по выполнению курсовой работы по дисциплине «Физические основы измерений» студентам специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» дневной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Корректор	А. А. Подошевко
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

1 Цели и задачи курсовой работы	4
2 Объем курсовой работы.....	4
3 Структура графической части курсовой работы	4
4 Структура и содержание пояснительной записки	5
5 Оформление курсовой работы	7
6 Измерение. Виды первичных измерительных преобразователей и их основные характеристики	7
Список литературы	20

1 Цели и задачи курсовой работы

Курсовая работа выполняется в 3 семестре. При выполнении курсовой работы по дисциплине «Физические основы измерений» студенты должны научиться правильно и творчески использовать знания, полученные ими при прохождении теоретических дисциплин: «Математика», «Физика». Студенты должны ознакомиться с видами литературных источников, которые необходимо использовать при проектировании различных измерительных преобразователей. В результате выполнения курсовой работы они должны уметь решать следующие задачи:

- осуществлять обзор литературных источников по заданной теме;
- проводить анализ литературных источников с целью выявления оптимального направления проектирования;
- разрабатывать схему устройства преобразователя;
- проводить необходимые при проектировании расчеты;
- выбирать схему включения преобразователя, обеспечивающую выполнение поставленных требований, объяснять принцип ее работы и проводить расчеты, необходимые для доказательства выполнения поставленной задачи.

2 Объем курсовой работы

Курсовая работа состоит из двух основных частей: пояснительной записки и графической части. Графическая часть работы должна содержать до 1 листа формата А1, пояснительная записка – 25–30 страниц машинописного текста формата А4.

3 Структура графической части курсовой работы

Графическая часть курсовой работы может содержать:

- электрическую схему включения преобразователя;
- графики функций преобразования преобразователя в статическом и динамическом режимах, расчётные зависимости.

Содержание графической части может корректироваться руководителем в зависимости от темы курсовой работы.

При разработке графической части курсовой работы необходимо руководствоваться требованиями стандартов ЕСКД.

4 Структура и содержание пояснительной записки

4.1 Общие положения

Структура записки должна быть достаточно четкой и определять последовательность разработки преобразователя. Ниже приводится примерная структура пояснительной записки, содержащей общую, расчетную и заключительную части.

Общая часть пояснительной записки должна содержать:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу;
- содержание;
- введение;
- определение понятия заданной для измерения физической величины;
- обзор литературных источников с их анализом;
- техническое задание (исходные данные для проектирования).

Специальная часть пояснительной записки должна содержать все необходимые для проектирования описания схем устройства преобразователей, физических эффектов, положенных в основу их принципа действия, электрических схем, методов измерения и т. д., расчетов, анализ полученных результатов и рекомендации по использованию разработанного устройства.

Заключительная часть записки должна содержать: заключение, список использованных источников, приложения.

4.2 Содержание разделов курсовой работы

Содержание. В содержании последовательно перечисляются заголовки разделов, подразделов и приложений, указываются номера страниц, на которых они начинаются.

Введение. Во введении излагаются современные тенденции развития приборостроения в том направлении, к которому относится тема курсовой работы.

Заданная измеряемая физическая величина. Определение понятия. В этом параграфе описывается определение понятия измеряемой физической величины, возможный диапазон значений величины, единицы измерения, историческая справка.

Обзор литературных источников. Обзор литературы, посвященный изучению состояния рассматриваемой темы, проводится как по книжным и журнальным источникам, так и по патентам, причем для сравнения должно быть рассмотрено не менее 5–6 принципов действия различных преобразователей, решающих поставленную задачу, или 5–6 различных схем устройства одного и того же типа преобразователя. В качестве источников информации могут использоваться учебники, научные издания, специализированные монографии, сборники трудов и конференций, статьи из научных журналов, а также патентно-технические источники, стандарты и другие нормативные документы. Кроме

того, допускается использование интернет-источников со ссылками на соответствующие официальные сайты.

Список использованных источников должен содержать не менее 15–20 ссылок. В обзоре должен быть приведен анализ рассмотренных методов, принципов, схем устройств, их преимуществ и недостатков, возможных областей применения, метрологических характеристик с целью выбора оптимального варианта с учетом заданных требований

Примерный объем раздела должен составлять 8–10 страниц.

Расчетная часть. На основании задания расчетная часть должна содержать:

– обоснование выбранной схемы устройства преобразователя, объяснение его принципа действия и математическое описание, происходящих в нем преобразований;

– расчет элементов преобразователя, параметры которых влияют на характеристики преобразователя;

– расчет характеристик преобразователя в статическом и динамическом режимах: при номинальных размерах элементов и при размерах элементов, соответствующих граничным условиям допусков;

– выбор и обоснование схемы включения преобразователя, объяснение ее принципа действия;

– расчет функции преобразования.

По согласованию с руководителем курсовой работы содержание специальной части записки может корректироваться в зависимости от темы курсовой работы.

Заключение. В заключении излагаются основные результаты проектирования. Отмечаются оригинальность, преимущества разработанного преобразователя. Оцениваются результаты проектирования с точки зрения соответствия требованиям технического задания.

Список использованных источников. В список включают всю использованную при выполнении курсовой работы литературу. В том числе ГОСТы, патенты и т. д.

Список составляют в порядке упоминания (ссылки) в тексте записки. Сведения об источниках, включенных в список, необходимо давать в соответствии с требованиями ГОСТ.

Приложения. В приложениях следует помещать таблицы, справочные данные к тексту записки, спецификации к чертежам графической части и т. д.

5 Оформление курсовой работы

Построение пояснительной записки, изложение ее текста, а также оформление иллюстраций и приложений должны соответствовать ГОСТ 2.105.

Пояснительная записка выполняется печатным способом на листах белой бумаги формата А4 со стандартными рамками.

Изложение записки должно быть кратким и выполнено ясным техническим языком. В тексте записки не должно быть общих фраз, общих рекомендаций и т. п. Не допускается сокращение слов (кроме общепринятых), а терминология должна соответствовать принятой в учебниках и стандартах.

Расчетные формулы должны записываться в индексной форме с полной экспликацией и сквозной или пораздельной нумерацией. Все используемые в работе величины должны быть выражены в системе СИ.

Список использованных источников должен содержать лишь те, которые использованы при выполнении проекта и на которые есть ссылки в тексте записки. Оформление списка должно соответствовать принятым правилам.

В приложение необходимо включать спецификации чертежей курсовой работы, распечатки программных продуктов, таблицы, графики, алгоритмы и т. п. по каким-либо причинам не включенные в основную часть записки.

Все графические материалы проекта должны соответствовать требованиям ЕСКД и данным указаниям.

6 Измерение. Виды первичных измерительных преобразователей и их основные характеристики

6.1 Физическая величина. Измерение. Виды измерений

Вся жизнь человека неразрывно связана с получением количественной информации о состоянии окружающего его мира. Эту информацию он получает либо непосредственно с помощью органов чувств, либо с помощью различных приспособлений. Процедура получения количественной оценки некоторых свойств или качеств окружающего мира представляет собой измерение.

Свойства физических объектов и процессов, которые можно прямо или косвенно измерить, называют *физическими величинами* [1].

Понятие «величина» довольно распространено, причем этот термин используют в различных контекстах, зависящих от рода человеческой деятельности. Анализ величин, которыми оперируют математика, физика и другие науки, показывает, что их можно разделить на два вида: величины материального мира и величины идеальных моделей реальности.

Реальные величины – это физические величины, которые входят в физические или химические уравнения и могут быть измерены. К реальным величинам могут быть отнесены и нефизические величины, используемые в

общественных дисциплинах, медицине и других областях, которые либо оцениваются, либо вычисляются.

К идеальным относятся математические величины. Они принципиально отличаются от реальных тем, что не подвержены изменениям вследствие внешних воздействий. Они вычисляемые.

Под физическими понимают величины, характеризующие либо свойства материи или одну из форм ее движения, либо особенности самих явлений. В рамках законодательной метрологии физическая величина определяется как свойство материального объекта (физической системы, явления, процесса), качественно общее множеству объектов, но количественно индивидуальное для каждого из них. Так, физическими величинами являются масса, расстояние, давление, сила, электрическое напряжение и т. п.

Размер физической величины – это количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу. Количественное описание объекта предполагает использование объективной меры интересующего нас свойства, качества и выражается с помощью чисел. Сама процедура получения количественной оценки представляет собой измерение. В результате измерения получают значение физической величины или оценку размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Значение величины не следует смешивать с размером. Размер физической величины данного объекта существует реально и независимо от того, знаем мы его или нет, выражаем в каких-либо единицах или нет. Значение же физической величины появляется только после того, как размер величины данного объекта выражен с помощью какой-либо единицы.

Единица физической величины – это физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1, и которая применяется для количественного выражения однородных физических величин.

При выбранной единице результат измерения можно записать в виде формулы

$$Q/[q]=a, \quad (6.1)$$

где Q – измеряемая величина;

$[q]$ – единица измерения;

a – числовое значение измеряемой величины в принятых единицах измерения.

Эта формула, записанная в виде

$$Q = a \cdot [q], \quad (6.2)$$

называется основным уравнением измерения.

Если величину Q в формуле (6.2) выразить в другой единице $[q]'$, которая в k раз больше $[q]$ (т. е. $[q]' = k[q]$), то новое числовое значение a' будет в k раз меньше a . Произведение же $a'[q]'$ равно произведению $a[q]$, т. е. размер физической величины Q не зависит от выбора единиц. Подавляющее большинство физических величин удовлетворяет этому условию, которое обычно называют условием абсолютного значения относительного количества.

Различают несколько видов измерений. Самой элементарной формой измерения является *номинальное измерение*. При таком измерении все величины, которые должны быть измерены, делятся на несколько классов или групп таким образом, что измеряемая величина попадает в один и только в один класс или группу. С помощью такого измерения осуществляют классификацию. Результатом номинального измерения может быть то или иное значение, но им также может быть название или символ.

Номинальное измерение не может указать, какое из событий или явлений больше или меньше.

Другие измерения, то есть измерения более высокого уровня, допускают большую детализацию при присваивании тех или иных значений, нежели простая классификация. Нижнюю ступень в количественных измерениях занимает *порядковое измерение*. Выполнив порядковое измерение, можно определить относительную величину двух характеристик и располагать характеристики в определенном порядке согласно размеру, величине или интенсивности.

Значения, приписываемые порядковым измерением, выражают собой относительный порядок по величине, однако никаких других соотношений между ними не существует.

Измерение более высокого уровня носит название *интервального измерения*. С помощью интервального измерения можно не только установить тот факт, что одна величина больше другой, равна ей или меньше, но также определить, справедливо ли это в пределах определенного интервала. Примерами интервального измерения является измерение времени движения транспортного средства. Информация, полученная при интервальном измерении, не теряется, если результаты измерений умножить на одно и то же действительное положительное число или ко всем результатам прибавить одно и то же действительное число. Допустимыми преобразованиями являются все линейно-возрастающие функции.

Следующий тип – измерение более высокого уровня – обладает всеми свойствами предыдущих типов, но в этом случае добавляется фиксированное начало отсчета. Этот тип называется *пропорциональным измерением*. Выполняя такое измерение, можно определить отношение двух величин. Результаты пропорционального измерения можно лишь умножать на действительное положительное число. Для большинства физических величин можно сконструировать измерительные приборы для пропорциональных измерений.

Измерениями наивысшего уровня являются *кардинальные измерения*. С помощью таких измерений устанавливают соотношение между значением той или иной величины и значением эталонной величины, определенной заранее. Выбор размера, значения или интенсивности эталона произволен при условии, что в точности один и тот же эталон применяют во всех кардинальных измерениях данной величины.

В зависимости от способа получения результата измерения делятся на прямые и косвенные, совокупные и совместные.

Прямыми измерениями называются измерения, результат которых получается непосредственно из опытных данных. Примером прямого измерения может служить измерение массы на весах.

Косвенными измерениями называются измерения, при которых искомая величина непосредственно не измеряется, а ее значение находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, полученными в результате прямых измерений. Например, мощность в цепях постоянного тока вычисляют как произведение напряжения и тока. Напряжение в этом случае измеряют вольтметром, а ток – амперметром.

Совокупные измерения – это измерения, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений из нескольких одноименных величин, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин. К совокупным измерениям относится нахождение сопротивлений двух резисторов по результатам измерения их сопротивления при последовательном и параллельном их включении или нахождение массы отдельных гирь набора по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний этих гирь.

Совместными измерениями называются производимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для нахождения зависимости между ними. Числовые значения искомых величин, как и в случае совокупных измерений, определяются из системы уравнений, связывающих значения искомых величин со значениями величин, измеренных прямым или косвенным способом. Число уравнений при этом соответствует числу искомых величин.

6.2 Первичные измерительные преобразователи и их характеристики

Средствами измерений называют технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства. Различают следующие виды средств измерений: меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные установки, измерительные системы.

Измерительные преобразователи – это средства измерений, предназначенные для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающиеся непосредственному восприятию наблюдателем. Измерительный

преобразователь имеет вход, на который подается преобразуемая величина x (входная величина). Выходная величина преобразователя y (преобразованная величина) связана с входной зависимостью $y = F(x)$, которая называется функцией преобразования.

Существуют также преобразователи с несколькими входами, на которые подаются величины x_1, x_2, \dots, x_n . В этом случае $y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$, т. е. реализуется зависимость y от всех входных величин или от одной какой-либо величины при неизменных остальных.

По расположению в измерительной цепи различают первичные и промежуточные измерительные преобразователи.

Первичный измерительный преобразователь, называемый датчиком, – это тот измерительный преобразователь, на который непосредственно действует измеряемая величина.

Первичные измерительные преобразователи предназначены для измерения различных физических величин: температуры, давления, влажности, концентрации растворов и т. д. Преобразователи представляют собой весьма разнообразные устройства, которые классифицируются по измеряемой величине (преобразователи температуры, давления, уровня, плотности и т. п.), принципу действия (электрические, пневматические и т. п.), виду и характеру выходного сигнала (непрерывный и дискретный).

Остальные измерительные преобразователи называют промежуточными. Они расположены после первичного измерительного преобразователя и могут выполнять различные операции преобразования измерительного сигнала.

Как правило, к ним относятся:

- изменение физического рода величины;
- масштабное (линейное или нелинейное) преобразование;
- масштабное-временное преобразование;
- аналого-цифровое преобразование;
- цифроаналоговое преобразование;
- функциональное преобразование (любые математические операции над значениями величины).

По принципу действия первичные преобразователи можно разделить на следующие.

Емкостные преобразователи. Емкостные преобразующие элементы превращают изменения измеряемой величины в изменения емкости. Конденсатор формируется из двух пластин, разделенных слоем диэлектрика, а его емкость определяется из следующего выражения:

$$C = \varepsilon \frac{S}{x}, \quad (6.3)$$

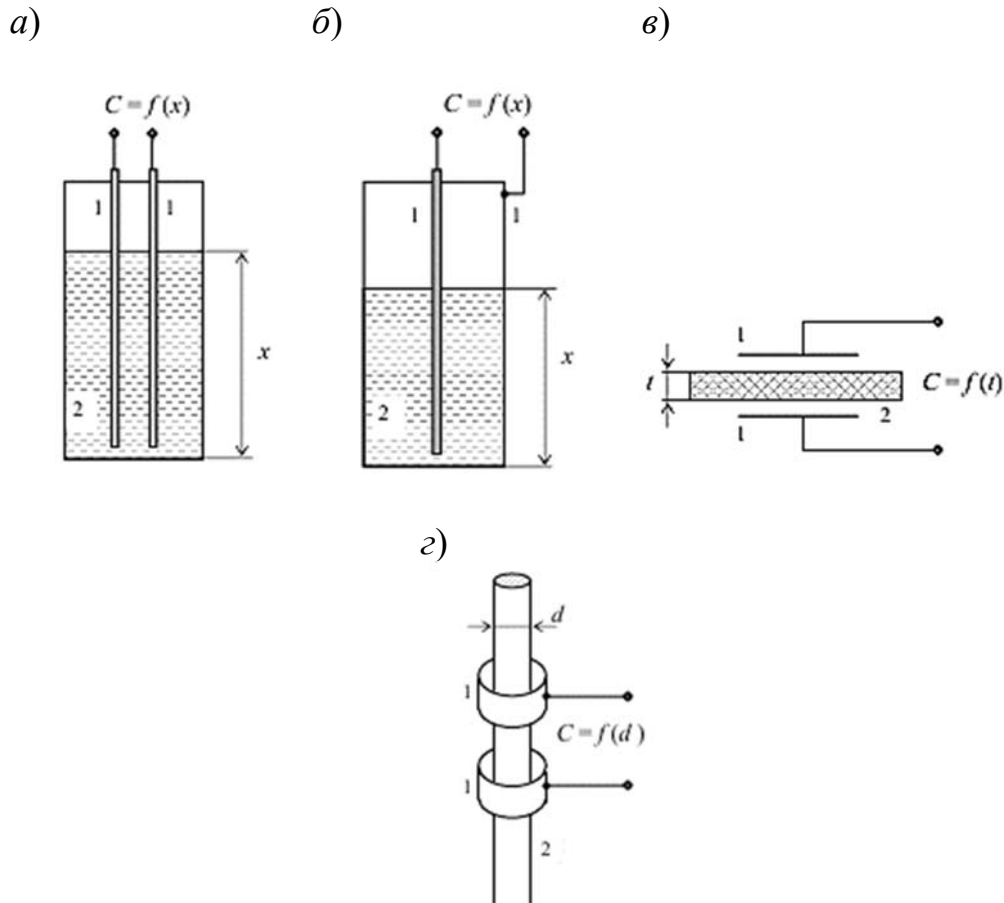
где ε – диэлектрическая проницаемость диэлектрика;

S – площадь поверхности каждой пластины;

x – расстояние между пластинами.

Кроме плоских конденсаторов с однослойным и многослойными диэлектриками, для проведения измерений могут использоваться цилиндрические конденсаторы, а так же конденсаторы в виде проводящей сферы.

На рисунке 6.1 показаны примеры практического использования емкостных преобразователей для решения некоторых задач измерения.

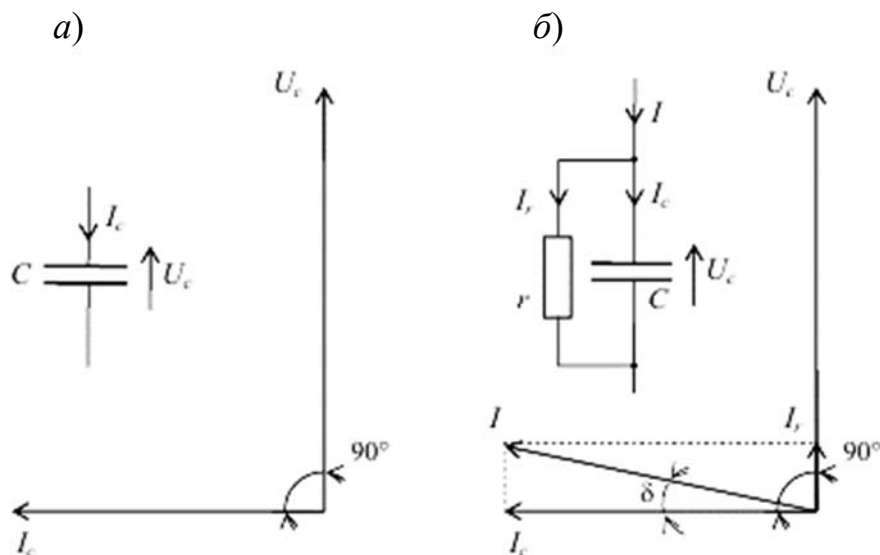


1 – электроды; 2 – объект измерения

Рисунок 6.1 – Примеры использования емкостных первичных преобразователей для измерения уровня жидких или сыпучих диэлектрических материалов (а, б), измерения толщины листов из диэлектрических материалов (в), измерения диаметра изделий из электропроводящих материалов (г)

При реализации емкостных первичных преобразователей в качестве информативного параметра выходного электрического сигнала конденсатора может использоваться не только значение емкости, но и значение активного сопротивления конденсатора. Физической основой такой возможности является следующее. Комплексное электрическое сопротивление идеального конденсатора определяется исключительно емкостью между его обкладками и имеет только реактивную компоненту (рисунок 6.2, а). Электрическое сопротивление диэлектрика такого конденсатора принимается равным бесконечности, а активная компонента комплексного электрического сопротивления конденсатора, соответственно, равной нулю. Основные отличия реального конденсатора от

идеального заключаются прежде всего в конечности электрического сопротивления его диэлектрика, а кроме того в наличии активного и реактивного сопротивлений подводящих проводов, наличии паразитных емкостей, обусловленных конструктивными особенностями конкретного конденсатора. Схема замещения реального конденсатора обычно приводится к виду, представленному на рисунке 6.2, б.



а – идеальный конденсатор; б – реальный конденсатор

Рисунок 6.2 – Схемы замещения и векторные диаграммы идеального и реального электрических конденсаторов

Ввиду отличия схем замещения идеального и реального конденсаторов существенно различаются и векторные диаграммы токов и напряжений, характеризующие работу конденсаторов в цепях переменного синусоидального тока (см. рисунок 6.2). В случае идеального конденсатора разность фаз между током и напряжением составляет 90° . В случае реального конденсатора ввиду наличия тока I_r через эквивалентное активное сопротивление r фазовый сдвиг между суммарным током I и напряжением на конденсаторе U_c отличается от 90° на угол δ , называемый углом потерь. Обычно вместо угла рассматривается $\text{tg}\delta$, который для эквивалентной схемы рисунке 6.2, б равен:

$$\text{tg}\delta = \frac{1}{\omega r C}, \quad (6.4)$$

где ω – угловая частота переменного тока.

Величина, обратная $\text{tg}\delta$, называется добротностью Q :

$$Q = \omega r C. \quad (6.5)$$

Угол потерь и, соответственно, $\text{tg}\delta$ для разных диэлектриков различен.

Значение угла потерь зависит также от действия на диэлектрик внешних факторов: температуры и влажности окружающей среды, частоты и амплитуды подаваемого напряжения, интенсивности воздействия ионизирующими излучениями. Благодаря этому существует возможность путем измерения угла потерь получать измерительную информацию о перечисленных выше параметрах.

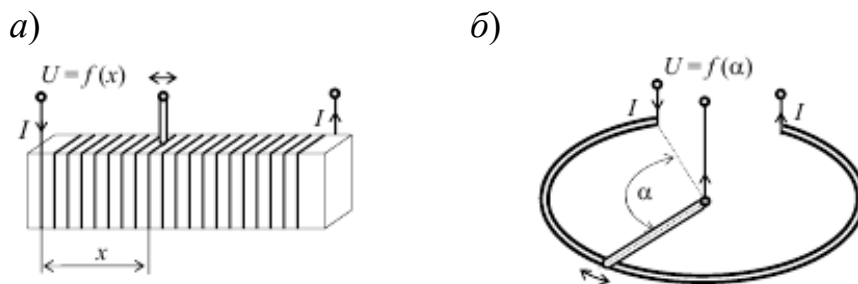
Пьезоэлектрические преобразователи. Одним из емкостных типов преобразования является пьезоэлектрический эффект, при котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение электростатического заряда или напряжения, возникающих в некоторых материалах при их механическом напряжении. Напряжение обычно образуется под действием сил сжатия, растяжения или изгиба, которые являются измеряемой величиной и воздействуют на чувствительный элемент либо непосредственно, либо с помощью некоторой механической связи. Чтобы воспринять изменение электрического заряда или напряжения, к пьезоэлектрическому материалу подсоединяют две металлические пластинки, которые фактически образуют пластины конденсатора.

Область применения пьезоэффекта весьма обширна. Преобразователи, использующие прямой пьезоэффект, применяются для преобразования в электрический сигнал силы, давления, ускорения. Преобразователи, использующие пьезоэффект, применяются для измерения теплового потока излучения. Преобразователи, использующие обратный пьезоэффект, применяются в качестве источников акустических волн, обратных преобразователей в приборах уравнивания. Преобразователи, использующие одновременно прямой и обратный пьезоэффекты, – пьезорезонаторы, имеющие максимальный коэффициент преобразования энергии на резонансной частоте и резко уменьшающийся на других частотах, применяются в качестве узкополосных фильтров электрических сигналов. Пьезорезонаторы на основе кварца благодаря высокой стабильности характеристик последнего используются, в частности, для построения эталонных генераторов и таймеров.

Преобразователи сопротивления. Они представляют собой резистивные преобразователи, действие которых основано на изменении сопротивления материала датчика в зависимости от измеряемых свойств среды. Изменение сопротивления может быть вызвано различными эффектами в преобразующем элементе, например, нагреванием или охлаждением, механическим напряжением, воздействием светового потока, увлажнением, осушением, перемещением контактной щетки реостата. Пример реализации таких преобразователей представлен на рисунке 6.3 [2].

Для измерения различных деформаций используются преобразователи на основе тензоэффекта, который заключается в изменении активного электрического сопротивления проводников или полупроводников при их механической деформации. Характеристикой тензоэффекта материала является коэффициент относительной тензочувствительности k , определяемый как отношение относительного изменения сопротивления R к относительному изменению длины проводника l :

$$k = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}. \quad (6.6)$$



а – измерение линейного перемещения; б – измерение углового перемещения

Рисунок 6.3 – Примеры использования реостатных преобразователей для измерения перемещения

Основная область применения тензорезистивных преобразователей – преобразование в электрический сигнал сил, механических напряжений, деформаций (линейных и крутильных). Измеряемое механическое воздействие может прикладываться непосредственно к тензопреобразователю, выполняющему в этом случае одновременно роль упругого элемента.

Электромагнитные преобразователи. Действие этих преобразователей основано на физических эффектах, результатом которых является преобразование в электрический сигнал характеристик магнитных полей или магнитных характеристик материалов и изделий. Обычно объект измерения или его часть помещается в постоянное или переменное магнитное поле, создаваемое за счет протекания электрического тока по проводнику, обмотке или непосредственно по объекту, а также постоянными магнитами.

Действие индукционных первичных измерительных преобразователей основано на использовании явления электромагнитной индукции, суть которого заключается в возникновении в замкнутом проводящем контуре, пронизываемом изменяющимся во времени магнитным потоком Φ , ЭДС индукции e :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (6.7)$$

В отличие от пассивных индукционных преобразователей **магнитомодуляционные** (феррозондовые преобразователи) являются устройствами активного типа. Происходящие в них процессы всегда связаны со взаимодействием минимум двух магнитных полей – внешнего измеряемого и вспомогательного поля возбуждения, создаваемого за счет протекания электрического тока в одной из обмоток. Благодаря этому появляется возможность преобразования в электрический сигнал на основе явления электромагнитной индукции характеристик постоянных магнитных полей без использования механического вращения индукционной измерительной обмотки.

Основное использование магнитомодуляционных преобразователей – измерение постоянных и низкочастотных магнитных полей. Это одни из самых чувствительных магнитных преобразователей. Порог их чувствительности составляет порядка $10^{-4} \dots 10^{-5}$ А/м ($10^{-10} \dots 10^{-11}$ Тл). Основные области использования: поиск полезных ископаемых, изучение пространственно-временной структуры поля Земли и планет, ориентирование и определение местоположения различных подвижных объектов в поле Земли, контроль качества выпускаемых электротехнических сталей и других материалов и изделий, контроль остаточной намагниченности, регистрация магнитных меток.

В основу действия гальваномагнитных преобразователей положены гальваномагнитные явления, связанные с действием магнитного поля на электрические (гальванические) свойства проводников и полупроводников, по которым протекает электрический ток. Наибольшее значение имеют поперечные гальваномагнитные явления, когда силовые линии магнитного поля перпендикулярны направлению электрического тока. К ним относятся эффект Холла и магниторезистивный эффект – эффект Гаусса.

Эффект Холла заключается в возникновении в твердом проводнике с током, помещенном в поперечное магнитное поле, электрического поля, перпендикулярного направлениям тока и магнитного поля.

Эффект Холла объясняется взаимодействием с магнитным полем движущихся носителей заряда (электронов).

Основное применение преобразователей Холла – измерение постоянных и переменных магнитных полей. Магнитная чувствительность в зависимости от материала и режима работы преобразователя составляет $0,05 \dots 1$ В/Тл. Кроме того, преобразователи Холла применяются в качестве измерительных преобразователей электрических величин для перемножения электрических сигналов, в том числе для измерения электрической мощности. В этих случаях одна из электрических входных величин преобразуется в силу электрического тока, а другая с помощью электромагнитного преобразователя – в магнитную индукцию. Электромагнитный преобразователь обеспечивает при этом гальваническую развязку цепей.

Магниторезистивный эффект заключается в изменении электрического сопротивления твердых проводников под действием внешнего магнитного поля. Это изменение обусловлено увеличением удельного электрического сопротивления проводящего материала под действием магнитного поля.

Зависимость удельного электрического сопротивления магниторезистора от индукции поперечного магнитного поля описывается выражением

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_0} = \frac{k_1 B^2}{1 + k_2 B^2}, \quad (6.8)$$

где k_1 – коэффициент, зависящий от формы магниторезистора;

k_2 – коэффициент, зависящий от материала магниторезистора.

Основная область использования магниторезисторов – измерение магнитных полей. Если применение преобразователей Холла более эффективно для области слабых полей, то в области сильных магнитных полей целесообразно использование магниторезисторов.

Фотоэлектрические преобразователи. Их действие основано на использовании воздействия изменений измеряемого параметра на интенсивность светового излучения. Источником светового излучения обычно являются лампы накаливания, рентгеновские трубки и радиоактивные вещества. Приемники излучения – фотоэлементы, ионизационные камеры, газоразрядные счетчики.

Ионизационные преобразователи. Действие данных преобразователей основано на изменении измеряемой величины в изменение тока ионизации, который протекает, например, через жидкость, расположенную между двумя электродами (рН-метры).

Термоэлектрические преобразователи. Термоэлектрические преобразователи превращают изменение измеряемой величины (температуры) в изменение тока, возникающего вследствие разности температуры на спае двух разнородных материалов, в котором возникает эффект Зеебека (рисунок 6.4).

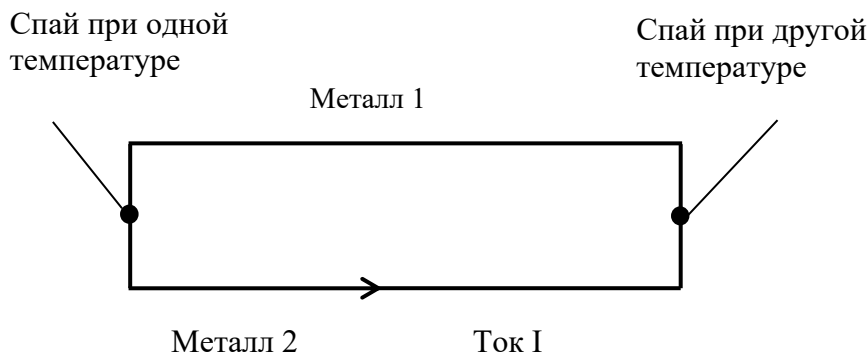


Рисунок 6.4 – Эффект Зеебека

Механические термометры сопротивления. В механических контактных термометрах реализуется термомеханический эффект.

Процесс теплового расширения веществ описывается уравнением

$$L_2 = L_1(1 + \alpha(T_2 - T_1)), \quad (6.9)$$

где L_1 и L_2 – размеры нагреваемого тела при температурах T_1 и T_2 ;

α – коэффициент теплового расширения.

Жидкостные стеклянные термометры. Основным элементом жидкостных стеклянных термометров является стеклянный баллон с капилляром, заполненным термометрической жидкостью. Возможность измерения температуры вытекает из различия в коэффициентах объемного расширения стеклянного баллона с капилляром и термометрической жидкостью.

Коэффициент объемного расширения определяется как

$$\alpha_V = \frac{V_2 - V_1}{V_1(T_2 - T_1)} = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}, \quad (6.10)$$

где V_1 и V_2 – объемы жидкости или стеклянного сосуда при температурах T_1 и T_2 соответственно.

Термометры сопротивления. Приборы и преобразователи на основе металлических термометров сопротивления используют зависимость электрического сопротивления металлов R_T от температуры T . У чистых металлов эта зависимость практически линейна и количественно выражается следующим образом:

$$R_T = R_0(1 + \alpha T), \quad (6.11)$$

где R_0 – сопротивление при температуре T_0 ;

α – температурный коэффициент сопротивления.

Основные характеристики измерительных преобразователей. Функция преобразования измерительного преобразователя – это функциональная зависимость выходной величины от входной, описываемая аналитическим выражением или графиком. Чаще всего стремятся иметь линейную характеристику преобразования, т. е. прямую пропорциональность между изменением входной величины и соответствующим приращением выходной величины преобразователя.

Для описания линейной характеристики преобразования $\alpha = \varphi(x) = \alpha_0 + S\Delta X$ достаточно двух параметров: начального значения выходной величины α_0 (нулевого уровня), соответствующего нулевому (или какому-либо другому характерному) значению входной величины x , и показателя относительного наклона характеристики $S = \Delta\alpha_0 / \Delta x$, называемого чувствительностью преобразователя.

Статической характеристикой измерительного преобразователя называется зависимость выходного сигнала от входного в статическом режиме. Статические характеристики могут быть представлены в виде уравнения $y = f(x)$ или в виде графиков. В зависимости от вида уравнения статические характеристики могут быть линейные и нелинейные.

Динамической характеристикой измерительного преобразователя называется зависимость выходного сигнала от входного во времени $y = f(x, \tau)$. Динамические характеристики могут быть представлены в виде дифференциальных уравнений, передаточных и переходных функций или в виде графиков. Если статическая характеристика линейная, то динамическая характеристика описывается обыкновенным дифференциальным уравнением.

Чувствительность преобразователя – это, как правило, именованная величина с разнообразными единицами, зависящими от природы входной и выходной величин.

Общие требования к первичным измерительным преобразователям обусловлены:

- характером измеряемой величины;
- методикой измерений;
- условиями решаемой задачи (необходимостью измерять несколько параметров одновременно, скоростью преобразования);
- влиянием исследуемой среды (давление, температура, химическая агрессия).

Выделяют три группы основных требований: метрологические, эксплуатационные и конструктивные [3].

Метрологические требования:

- чувствительность и точность;
- быстроедействие, пространственное разрешение, соответствие масштабу исследуемого процесса;
- минимальное возмущение полей измеряемых величин;
- малая чувствительность к неинформативным воздействиям.

Эксплуатационные требования:

- надежность и срок службы;
- устойчивость к перегрузкам, температуре, химическим, биологическим, механическим воздействиям;
- удобство обслуживания и метрологической аттестации.

Конструктивные требования:

- унифицированность и взаимозаменяемость;
- малая масса и габаритные размеры;
- технологичность и экономичность изготовления.

Список литературы

1 **Афанасьев, А. А.** Физические основы измерений и эталоны: учебное пособие / А. А. Афанасьев, А. А. Погонин. – Москва: ИНФРА-М, 2018. – 246 с.

2 **Гольдштейн, А. Е.** Физические основы получения информации: учебник для прикладного бакалавриата / А. Е. Гольдштейн. – Москва: Юрайт, 2018. – 219 с.

3 **Сергеев, А. Г.** Метрология, стандартизация и сертификация: учебник и практикум для академического бакалавриата в 2 ч. Ч. 1: Метрология / А. Г. Сергеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2017. – 325 с.

4 Информационно-измерительная техника и электроника. Преобразователи неэлектрических величин : учебное пособие для вузов / Под общ. ред. О. А. Агеева, В. В. Петрова. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Юрайт, 2018. – 158 с.