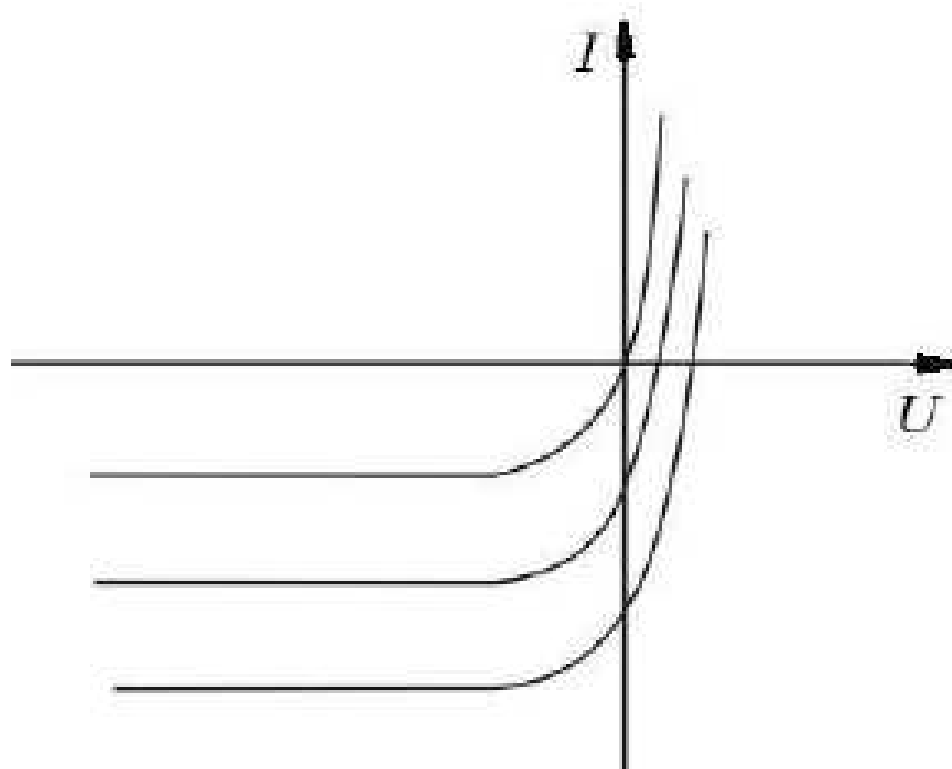


А.С. Шерстобитова
ДАТЧИКИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН



Санкт-Петербург
2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.С. Шерстобитова

ДАТЧИКИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Учебное пособие

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург

2017

Шерстобитова А.С. Датчики физических величин. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 57 с.

Учебное пособие содержит теоретические сведения о датчиках физических величин. Приводятся контрольные вопросы.

Учебное пособие предназначено для студентов ФЛиСИ, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров 12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии», 16.03.01 «Техническая физика», а также магистров 16.04.01 «Техническая физика».

Рецензенты: к.т.н. Красавцев, д.т.н. Яськов

Рекомендовано к печати решением ученого совета Мегафакультета Фотоники, протокол № 05 от 03 мая 2017 г.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2017

© Шерстобитова А.С., 2017

1 Физические величины

Физические объекты, окружающие человека в повседневной жизни, обладают разнообразными свойствами, для описания которых вводятся физические величины. «**Физическая величина** – одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них» [1]. Для того чтобы определить количественное значение физической величины, выполняют **измерения**. При прямых измерениях значение физической величины получают непосредственно; при косвенных – на основании результатов прямых измерений других величин, которые связаны с искомой величиной известной зависимостью. Также устанавливают **единицу измерения физической величины**, т.е. физическую величину фиксированного размера, которой условно присваивают числовое значение, равное 1. «Совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимаются за независимые, а другие определяются как функции этих независимых величин», называется **системой физических величин** [1].

2 Системы единиц физических величин

Совокупность основных и производных единиц, принадлежащих некоторой системе величин, сформированную по принципам заданной системы физических величин, называют **системой единиц физических величин**. Выделяют метрические системы, системы естественных единиц измерения, традиционные системы мер.

В 1795 г. Национальное собрание Франции установило основную единицу длины – метр, а также ряд производных единиц. В 1832 г. К. Гаусс предложил систему единиц, основанную на независимых друг от друга единицах длины, массы и времени, и определил ее как абсолютную. После подписания в 1875 г. Метрической конвенции была принята *метрическая система мер* для обеспечения международного единства мер. На принципах метрической системы мер построен ряд других систем единиц физических величин, которые отличаются основными единицами (СИ, СГС, МКГСС, МТС, МКС, МСК, МКСЛ).

В системе СГС (1881 г.) основными единицами являются сантиметр (длина), грамм (масса), секунда (время).

Система МКГСС, распространившаяся в механике и технике, построена на системе физических величин с основными единицами: метр (длина), килограмм-сила (сила), секунда (время).

Система МТС (1919 г. – во Франции, 1933 г. – в СССР) основана на системе физических величин с основными единицами: метр (длина), тонна (масса), секунда (время).

В *естественной системе единиц* (1906 г.) за основные приняты: скорость света в вакууме ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с), гравитационная постоянная ($G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ м³·с⁻²·кг⁻¹), постоянная Больцмана ($k = 1.383 \cdot 10^{-23}$ Дж/К), постоянная Планка ($h = 6.633 \cdot 10^{-34}$ Дж·с). К естественным относят атомную систему единиц (систему единиц Хартри) и планковские единицы.

В середине XX в. появилась необходимость в создании единой универсальной системы единиц, которая заменила бы уже существующие системы и стала удобной для использования в науке и технике. В 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам на основе метрической системы мер была утверждена *Международная система единиц СИ* (фр. Le Système International d'Unités). Первоначально СИ имела шесть основных единиц (в настоящее время – семь) (таблица 1).

Таблица 1. Основные единицы СИ

Наименование физической величины	Единица измерений	Обозначение единицы измерений		Символ размерности физической величины
		Международное	Русское	
Длина	Метр	m	м	L
Масса	Килограмм	kg	кг	M
Время	Секунда	s	с	T
Сила электрического тока	Ампер	A	А	I
Термодинамическая температура	Кельвин	K	К	Θ
Количество вещества	Моль	mol	моль	N
Сила света	Кандела	cd	кд	J

Все единицы СИ независимы друг от друга. С их помощью можно образовывать производные единицы по простым уравнениям для любых физических величин. СИ универсальна во всех областях науки и техники. Все единицы и их размер согласованы на международном уровне. Каждая единица используется только для конкретной физической величины. СИ – когерентная система, позволяющая производить измерения с высокой точностью [2-4].

3 Средства измерений

Средством измерений является техническое средство, которое имеет нормированные метрологические характеристики, воспроизводит и/или хранит единицу физической величины (с неизменным размером в пределах установленной погрешности в течение определенного временного интервала) [1]. Средства измерений позволяют сравнивать неизвестные размеры физических величин с известными или сравнивать отклики на воздействие физических величин известных и неизвестных размеров.

Классификация средств измерений достаточно разнообразна. Их можно классифицировать по: техническому назначению; степени автоматизации (автоматические, автоматизированные, ручные); стандартизации средств измерения; положению в поверочной схеме (эталонные; рабочие средства измерений) и др.

По *техническому назначению* средства измерений подразделяются на меры физической величины, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные установки, измерительные системы и измерительно-вычислительные комплексы [3, 5]. Классификация средств измерений приведена в таблице 2 [1-3, 5].

Таблица 2. Средства измерений

Средства измерений																	
Меры			Измерительные приборы						Измерительные преобразователи				Измерительные установки	Измерительные системы	Измерительно-вычислительные комплексы		
Однозначные	Многозначные	Наборы мер	Суммирующие	Интегрирующие	Показывающие	Регистрирующие	Прямого действия	Сравнения	Аналоговые	Цифровые	Аналоговые	Аналого-цифровые				Цифро-аналоговые	Первичные

Меры физической величины предназначены для воспроизведения и/или хранения физической величины одного (*однозначные*) или нескольких (*многозначные*) заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью. Сравнение с мерой производят с помощью специальных компараторов. К однозначным мерам еще относят стандартные образцы.

Измерительные приборы используют, когда необходимо измерить в установленном диапазоне значения физической величины. Обычно они имеют устройство индикации для произведения регистрации и/или отсчета физической величины (шкала, цифруказатель, дисплей).

По принципу действия измерительные приборы подразделяют на *суммирующие* (если показания связаны с суммой нескольких величин) и *интегрирующие* (если значение искомой величины находят посредством ее интегрирования по другой величине).

В зависимости от способа индикации выделяют *показывающие* и *регистрирующие* приборы. Их отличие состоит в том, что первые приборы позволяют только отсчитывать показания, но не регистрировать их.

Если измерительный прибор используют для определения значения физической величины путем сравнения с известным значением, то речь идет о *приборе сравнения*. В противном случае можно говорить о *приборе прямого действия*.

Показания измерений могут быть представлены или в аналоговой (при их непрерывной записи), или в цифровой форме.

Измерительные преобразователи предназначены для преобразования измеряемой физической величины в другую величину или удобный для индикации, передачи, обработки, хранения и др. измерительный сигнал. Их метрологические характеристики нормативны. Измерительные преобразователи, как правило, включены в состав измерительных приборов. Но в отличие от них измерительная информация представляется измерительными преобразователями в недоступной для непосредственного восприятия форме.

Измерительные преобразователи могут выполнять преобразование аналоговых сигналов в аналоговые; аналоговых сигналов в цифровые коды и наоборот. Соответственно такие преобразователи называют *аналоговыми*, *аналого-цифровыми* и *цифро-аналоговыми*.

В измерительной цепи преобразователи занимают различное положение. Если измеряемая физическая величина оказывает непосредственное воздействие на преобразователь, то его называют *первичным*. После первичного следует *промежуточный* преобразователь.

Измерительные установки включают в себя измерительные приборы и преобразователи, а также меры и др., располагаются в одном месте и служат для измерения физических величин. Выделяют *эталонные* и *поверочные измерительные установки*.

Измерительные системы также включают измерительные приборы и преобразователи, а также меры, ЭВМ и др., которые располагаются в разных точках исследуемого объекта и служат для измерения характеризующих его физических величин, а также выработки измерительных сигналов.

Измерительно-вычислительные комплексы функционально объединяют средства измерений, ЭВМ, различные вспомогательные устройства и др. и выполняют определенные измерительные задачи [1-3].

4 Датчики физических величин

«Конструктивно обособленный первичный измерительный преобразователь» называют **датчиком** [1]. Датчики предназначены «для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем» [6]. В зарубежной литературе чаще используют термин «сенсор» [7, 8].

В зависимости от выбранных критериев существуют различные системы классификации датчиков.

По принципу действия выделяют физические (например, акустические, магнитные, оптические, электрические и др.), химические и комбинированные.

Если датчику необходим внешний источник энергии, а под воздействием измеряемой физической величины меняются такие параметры, как электрическое сопротивление, емкость, диэлектрическая проницаемость, индуктивность и др., то такой датчик относится к *параметрическим* или *пассивным*. Если датчику не требуется внешний источник энергии, а выходными величинами являются электрические (ток, напряжение, заряд и др.), то датчик относят к *генераторным* или *активным*.

Также датчики классифицируют *по виду измеряемых электрических и неэлектрических физических величин*. К последним относят датчики давления, расхода и состава веществ, температуры, размеров и перемещений, влажности, параметров излучений и др.

Датчики могут быть однофункциональные или многофункциональные, аналоговые или цифровые, проводные или беспроводные и др. [8, 9].

5 Погрешности измерений

При проведении измерений невозможно исключить возникновение ошибок.

Точность результата измерений характеризует их качество и показывает, насколько близок этот результат к действительному значению исследуемой физической величины [8, 10].

Погрешностью измерений Δ называют «разность между результатом измерения величины x и действительным (опорным) значением x_0 величины» [11, 12]

$$\Delta = x - x_0. \quad (1)$$

Такую погрешность еще называют *абсолютной*. Она выражена в единицах измеряемой величины.

Для количественной оценки измерений применяют *относительную погрешность*

$$\delta = \frac{\Delta}{x_0} \text{ или } \delta = \frac{\Delta}{x}. \quad (2)$$

Также

$$\delta(\%) = \frac{\Delta}{x_0} 100\% \text{ или } \delta(\%) = \frac{\Delta}{x} 100\%. \quad (3)$$

В составляющую погрешности входят *случайная* и *систематическая погрешности*. При повторных измерениях физической величины первая изменяется случайно, а вторая – остается постоянной или изменяется закономерно. Случайные погрешности обычно обуславливают *рассеяние результатов* измерений.

Среднее квадратическое отклонение S характеризует рассеяние результатов n измерений физической величины

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (4)$$

где x_i – результат i -того измерения, \bar{x} – среднее арифметическое значение физической величины [8, 10-12], равное

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i . \quad (5)$$

6 Основные характеристики датчиков

6.1 Статические характеристики

Передаточная функция. В реальных датчиках сигнал на выходе не соответствует сигналу на входе. Но между ними можно установить зависимость в виде *передаточной функции* – линейной или нелинейной (степенной, логарифмической, экспоненциальной, др.).

Ниже приведены выражения для передаточной функции:

- линейной

$$y = a + bx, \quad (6)$$

где y, x – выходная и входная величины датчика, $a = \text{const}$, b – тангенс угла наклона прямой;

- степенной

$$y = a_0 + a_1 x^k, \quad (7)$$

где $a_0, a_1, k = \text{const}$;

- логарифмической

$$y = a + b \ln x, \quad (8)$$

- экспоненциальной

$$y = a e^{kx}. \quad (9)$$

Диапазон выходных значений показывает отклонение показаний датчика от идеальной передаточной функции и определяется как разность между максимальным и минимальным значениями его выходной величины.

Отношение изменения выходного сигнала датчика к изменению измеряемой входной величины, вызывающей это изменение выходного сигнала, называют *чувствительностью* датчика

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (10)$$

Порог чувствительности определяет минимальное значение входной величины, которое может детектировать датчик [8, 9].

При проведении оптических измерений эту характеристику называют *разрешающей способностью* [12].

Если датчик при соблюдении одинаковых условий выдает неизменные показания, то говорят об их *воспроизводимости* [8, 9].

Явление *гистерезиса* состоит в запаздывании изменения физической величины, характеризующей состояние тела, от изменения физической величины, характеризующей внешние условия. Одним из факторов возникновения гистерезиса является структурное изменение материала [4, 8].

Для датчика, передаточную функцию которого аппроксимируют прямой линией, определяют максимальное отклонение действительной передаточной функции от этой прямой, т. е. определяют *нелинейность* датчика.

Немаловажным показателем датчиков является также возможность сохранять работоспособное состояние в течение определенного времени, что характеризует их *надежность* и *долговечность* [8, 9].

6.2 Динамические характеристики

Помимо статических характеристик все датчики обладают параметрами, которые зависят от времени, т. е. *динамическими характеристиками*. В связи с этим необходимо учитывать *динамическую погрешность*, которая возникает при ограниченном быстродействии датчика и регистрации им значений внешних воздействий, отличающихся от реальных.

С быстродействием датчиков связаны его их *частотные характеристики*. По ним можно судить, как быстро датчик реагирует на изменение внешнего воздействия.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) показывает зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты входного.

Граничная частота или *верхняя частота среза* устанавливается по частоте, на которой происходит тридцатипроцентное уменьшение выходного тока или напряжения.

Время после того, как на датчик поступило внешнее воздействие, до того, как датчик начинает работать с заданной точностью, называют *временем разогрева*.

Также быстродействие датчика можно определить по времени, в течение которого его выходной сигнал достигнет уровня 90 % от максимального значения, если на вход датчика был подан ступенчатый возбуждающий сигнал.

Если по прошествии определенного промежутка времени после приложения внешнего воздействия выходной сигнал датчика достигает уровня $(1 - e^{-1})$ от установившегося значения, то этот временной промежуток называют *постоянной времени*.

Часто при подаче ступенчатого возбуждающего сигнала на выходе датчика появляются колебания. Процесс их искусственного гашения называется *демпфированием* [4, 9].

7 Датчики

7.1 Датчики перемещения

В процессе линейного или углового *перемещения* объект изменяет свое положение в пространстве по отношению к первоначальному положению, находящемуся от него соответственно на каком-либо расстоянии или под каким-либо углом.

Датчики линейных перемещений служат для измерения расстояний до объектов, а *датчики угловых перемещений* – для измерения углов поворота вращающихся объектов.

По принципу действия датчики перемещений разделяются на: потенциметрические, емкостные, индуктивные, магниторезистивные, магнитострикционные, оптические, ультразвуковые, вихретоковые, на основе эффекта Холла.

Принцип действия *потенциметрических датчиков* основан на зависимости сопротивления проволочного резистора (потенциометра) R от длины провода l

$$R = \rho \frac{l}{a}, \quad (11)$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводника, a – площадь его поперечного сечения.

Если перемещать объект, то изменится и сопротивление резистора. Обычно вместо измерения сопротивления через потенциметрический преобразователь пропускают электрический ток и определяют падение напряжения ΔU на этом сопротивлении, пропорциональном величине перемещения объекта d , равное

$$\Delta U = U \frac{d}{D}, \quad (12)$$

где U – напряжение, приложенное к потенциометру, D – величина наибольшего перемещения.

Емкостные датчики широко используются как самостоятельно, так и в составе других датчиков. Емкость плоского конденсатора связана с его геометрией следующим соотношением:

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}, \quad (13)$$

где ε_0 – электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума), A – площадь одной пластины конденсатора, d – расстояние между пластинами.

По изменению расстояния между пластинами конденсатора или размещению между ними электропроводных или диэлектрических материалов можно судить об изменении его емкости. Это изменение преобразуют затем в переменный электрический сигнал. В состав емкостных датчиков входят один, два или четыре конденсатора. Соответственно такие датчики называют однополярными, дифференциальными или мостовыми.

Индуктивные датчики основаны на принципе электромагнитной индукции: на изменении магнитного потока (преобразованного в напряжение) между двумя катушками при перемещении исследуемого объекта. Поступающее на первичную катушку переменное опорное напряжение индуцирует переменное напряжение во вторичной катушке, амплитуда которого зависит от потокосцепления между катушками. Между ними помещают подвижный сердечник из ферромагнитного материала, перемещение которого изменяет магнитное сопротивление между катушками и, следовательно, потокосцепление. По величине амплитуды индуцированного напряжения во вторичной катушке, пропорционального смещению сердечника, можно определить величину перемещение.

В *магниторезистивных датчиках* используют источники внешних магнитных полей – постоянные магниты, которые воздействуют на датчики в горизонтальном и вертикальном направлениях. Датчики состоят из магниторезистивных пластин и источника постоянного напряжения. Исследуемый объект из ферромагнитного материала перемещается в магнитном поле, изменяет его и, следовательно, сопротивление магниторезистивных пластин. Изменение выходного сигнала датчика характеризует перемещение объекта.

Магнитострикционные датчики используют, когда необходимо измерить большие перемещения. Эти датчики включают в себя протяженный волновод и постоянный кольцевой магнит, передвигающийся вдоль него. Внутри волновода имеется проводник, на который подают электрические импульсы, в результате чего возникает магнитное поле по всей его длине. Это магнитное поле суммируется с магнитным полем кольцевого магнита. Суммарное поле создает крутящий момент, под действием которого волновод поворачивается в месте нахождения магнита. Импульсы кручения распространяются по волноводу со скоростью звука, которая соответствует материалу волновода.

Расположение кольцевого магнита определяется детектированием временной задержки между подачей электрического импульса и регистрацией импульса кручения.

Оптические датчики также широко применяются при измерении перемещений объектов благодаря ряду достоинств (простота, нечувствительность к электростатическим помехам и магнитным полям и др.). Как правило, они состоят из источника и приемника света, а также различных компонентов управления светом.

Ультразвуковые датчики также универсальны при проведении бесконтактных измерений. Они реализованы на принципе одновременной передачи эталонного сигнала и приема сигнала, отраженного от исследуемого объекта, и определении временной задержки между этими сигналами. Частота ультразвуковых колебаний: > 20 кГц.

Вихретоковые датчики содержат эталонную катушку и чувствительную, которая реагирует на вихревые токи, возникающие в исследуемом объекте. Вихревые токи создают магнитное поле, вторичное по отношению к полю чувствительной катушки. По величине вторичного магнитного поля определяют расстояние до объекта. Вихретоковые датчики также используют для измерения толщины материалов, обнаружения дефектов и др.

Датчики на основе эффекта Холла по своей конструкции подобны магниторезистивным датчикам. Эффект Холла заключается в появлении в проводнике с постоянным током, на который воздействует внешнее магнитное, разности потенциалов в поперечном сечении этого проводника. Различают линейные и пороговые датчики Холла [4, 9, 14].

7.2 Датчики измерения скорости и ускорения

Скорость и ускорения – физические величины, связанные с перемещением объекта.

Выделяют *линейную и угловую скорости*, понимая под этим, насколько быстро объект передвигается по прямой или насколько быстро вращается.

Линейную скорость можно определить, измеряя расстояние, на которое переместился исследуемый объект относительно эталонного объекта, входящего в состав датчика. Многие *линейные датчики скорости* используют принцип магнитной индукции.

Выходное напряжение на катушке индуктивности, входящей в состав датчика, прямо пропорционально скорости движения постоянного магнита, находящегося в катушке, и силе поля, поскольку

$$n\Phi_B = Li, \tag{14}$$

где n – число витков катушки индуктивности, Φ_B – магнитный поток одного витка, L – индуктивность катушки, i – ток в катушке индуктивности [9].

Угловые скорости измеряют *тахометрами*. При этом либо непосредственно определяют частоту вращения, либо сравнивают ее со стабильной эталонной частотой.

Популярны *тахогенераторы постоянного и переменного тока*. Первые содержат статор, ротор и щеточно-коллекторный контакт.

При работе на холостом ходу ($I_H = 0$) ЭДС якоря равно

$$E_{\text{я}} = c\Phi_0\omega, \quad (15)$$

где c – коэффициент, Φ_0 – магнитный поток возбуждения, ω – скорость вращения якоря.

При подключении нагрузки напряжение равно

$$U_{\text{я}} = E_{\text{я}} - I_{\text{я}}R_{\text{ц.я.}} = \frac{E_{\text{я}}}{\left(1 - \frac{R_{\text{ц.я.}}}{R_{\text{H}}}\right)} = \frac{c\Phi_0\omega}{\left(1 - \frac{R_{\text{ц.я.}}}{R_{\text{H}}}\right)}, \quad (16)$$

где $I_{\text{я}}$ – ток якоря, $R_{\text{ц.я.}}$ – сопротивление обмотки и щеточно-коллекторного контакта, R_{H} – сопротивление нагрузки.

В *тахогенераторах переменного тока* нет щеточно-коллекторного контакта. На обмотку возбуждения поступает переменное напряжение $U_{\text{в}}$ с частотой $\omega_{\text{с}}$. С другой обмотки регистрируют сигнал, равный

$$U_{\text{вых}} = k\omega U_{\text{в}}\cos(\omega_{\text{с}}t + \varphi), \quad (17)$$

где k – коэффициент, t – время, φ – сдвиг фазы [13].

В *датчиках угловых скоростей* используют также методы сравнения частоты электрических колебаний с частотой сигнала от измерительного преобразователя.

Преобразователи скорости в частоту электрических колебаний могут быть оптическими, индукционными, электростатическими и т. д.

Популярны *тахометры*, в которых происходит сравнение частот встроенного генератора и сигнала от измерительного преобразователя [2].

Оптические гироскопы также применяют для измерения угловых скоростей. Эти приборы реализуются на эффекте Саньяка.

Если есть оптическое кольцо радиусом R с показателем преломления n , в котором распространяются два световых луча в противоположных направлениях, и кольцо вращается с угловой скоростью Ω , то вследствие различия в длинах оптических путей между этими лучами возникает

разность фаз φ . При неподвижном кольце время распространения света вдоль кольца равно

$$\Delta t = \frac{2\pi R}{v}, \quad (18)$$

где v – скорость света в материале кольца.

При вращающемся кольце разность хода световых лучей составит

$$\Delta l = 2R\Omega\Delta t = \frac{4\pi R^2\Omega}{v} = 4A \frac{\Omega}{v}, \quad (19)$$

где A – площадь кольца.

Тогда разность фаз равна

$$\varphi = nk\Delta l = n \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l = n^2 8\pi A \frac{\Omega}{c\lambda}, \quad (20)$$

где k – волновое число, λ – длина волны [15].

Для измерения *ускорений*, а также *вибраций* используют *акселерометры*. Обязательным компонентом этих приборов является инерционная масса m , приобретающая ускорение a под действием силы

$$F = ma. \quad (21)$$

Также входящий в состав акселерометров детектор перемещений измеряет линейные ускорения, амплитуды вибрационных колебаний, перемещения инерционной массы относительно корпуса прибора и преобразует их в электрический сигнал.

Существует несколько способов преобразования перемещений в электрические сигналы, в зависимости от которых выделяют виды акселерометров: емкостные, тепловые, пьезоэлектрические и др. [9, 15].

7.3 Датчики температуры

Известны два наиболее распространенных метода измерения температуры: *равновесный* и *прогнозируемый*. В первом случае необходимо, чтобы между датчиком и измеряемым объектом наступило тепловое равновесие. Во втором случае определяют скорость изменения температуры датчика.

Датчики температуры могут быть *абсолютными*, если температура измеряется относительно абсолютного нуля или какого-либо другого

значения, и *относительными*, если измеряют разность температур исследуемого и эталонного объектов.

Принцип действия *терморезистивных датчиков температуры* основан на зависимости электрического сопротивления металлов от температуры. К ним относят резистивные детекторы температуры, термисторы и детекторы на *p-n* переходах.

Для изготовления *резистивных детекторов температуры* используют, как правило, платину, тонкие слои которой наносят на соответствующую подложку. Или платиновую проволоку наматывают и закрепляют внутри керамической трубочки.

Аппроксимационное выражение для платинового детектора для температур в диапазоне от -200 до 0°C выглядит как

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + Ct^3(t - 100)), \quad (22)$$

R_0 – значение сопротивления при 0°C , t – температура, A, B, C – константы.

Аппроксимационное выражение для платинового детектора для температур в диапазоне от 0 до 630°C выглядит как

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2). \quad (23)$$

Термисторы разделяют на два типа: с отрицательным и положительным температурным коэффициентом сопротивления. Первые изготавливают из смеси оксидов металлов (железа, марганца, никеля, меди, кобальта, хрома, титана и др.). Вторые – из керамического титаната бария с примесями.

Для термисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления зависимость сопротивления от температуры выглядит как

$$R_T = R_a \exp\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_a}\right), \quad (24)$$

где R_a – сопротивление термистора, T – абсолютная температура, T_a – калибровочная температура [9, 15].

Известно, что в электрической цепи, которая состоит из последовательно соединенных проводников из разнородного материала, и контакты между этими проводниками имеют различную температуру, возникает ЭДС [4]. В этом заключается *термоэлектрический эффект*. *Термоэлектрические контактные датчики* реализуются на этом эффекте и состоят из двух различных проводников – *термопар*. Термопары относят к относительным датчикам температуры [9]. Существуют следующие типы термопар:

R: ТПП (платина – 13 % родий/платина);
S: ТПП (платина – 10 % родий/платина);
B: ТПР (платина – 30 % родий/платина – 6 % родий);
J: ТЖК (железо/медь – никель (железо/константан));
T: ТМК (медь/медь – никель (медь/константан));
E: ТХКн (никель – хром/медь – никель (хромель/константан));
K: ТХА (никель – хром/ никель – алюминий (хромель/алюмель));
N: ТНН (никель – хром – кремний/никель – кремний (нихросил/нисил));
A (A-1, A-2, A-3): ТВР (вольфрам – рений/вольфрам – рений);
L: ТХК (хромель/копель);
M: ТМК (медь/ копель) [16].

Посредством последовательного соединения термопар образуют *термоэлементы*.

Большую популярность получили *полупроводниковые датчики температуры на основе p-n перехода*. При прямом смещенном *p-n* переходе в условиях постоянного тока выходное напряжение пропорционально изменению температуры. Датчики выполняются на основе диодов и биполярных транзисторов.

Для *p-n* перехода в диоде ток через него равен

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qU}{2kT}\right), \quad (25)$$

где I_0 – ток насыщения, зависящий от температуры, q – величина заряда электрона, U – напряжение, k – постоянная Больцмана, T – температура.

Напряжение на переходе равно

$$U = \frac{E_g}{q} - \frac{2kT}{q} (\ln K - \ln I), \quad (26)$$

где E_g – ширина запрещенной зоны, K – константа [9].

7.4 Датчики давления

Существует несколько методов измерения давления и выбора опорного давления. Давление можно измерять по отношению к вакууму (*датчики абсолютного давления*); избыточное давление – по отношению к атмосферному (*манометры*); разность давлений в двух определенных точках (*дифференциальные датчики давления*).

Пьезорезистивные датчики широко применяют при измерении давления. В полупроводниковых кристаллах при их деформации изменяется сопротивление. Тензорезисторы размещают на поверхности мембраны круглой или прямоугольной формы с учетом возникновения

деформаций под действием давления. Например, для круглой мембраны возможны деформации в радиальном направлении и направлении, перпендикулярном радиусу. Тогда напряжения при этих воздействиях равны соответственно

$$U_r = \frac{3P(1-\nu^2)}{8Et^2}(R_0^2 - 3r^2), \quad (27)$$

$$U_t = \frac{3P(1-\nu^2)}{8Et^2}(R_0^2 - r^2), \quad (28)$$

где P – разность давлений по обе стороны мембраны, ν – коэффициент Пуассона, E – модуль Юнга, t – толщина мембраны, R_0 – радиус мембраны, r – координата точки, в которой определяется деформация.

В емкостных датчиках давления одна обкладка конденсатора – мембрана круглой формы, другая – металлическое основание, которое неподвижно. При нулевом давлении емкость равна

$$C = \frac{\varepsilon_0 \pi R_0^2}{d}, \quad (29)$$

где d – расстояние между обкладками конденсатора.

Когда происходит деформация мембраны, емкость увеличивается на значение [15], равное

$$\Delta C = \frac{C(1-\nu^2)R_0^4}{16Edt^3} P. \quad (30)$$

7.5 Датчики влажности

Влажность показывает, сколько воды содержится в физических телах [4]. Различают *абсолютную и относительную влажности*. Например, для газообразных сред абсолютную влажность можно рассматривать как плотность водяных паров, определяемую выражением

$$d_w = \frac{m}{V}, \quad (31)$$

где m – масса водяных паров, V – объем газа.

Относительная влажность равна

$$H = \frac{P_w}{P_s} 100\%, \quad (32)$$

где P_w , P_s – соответственно давление водяных паров в воздухе при температуре T и давление насыщенного пара при этой же температуре [9].

Насыщенным паром называют пар, который находится «в термодинамическом равновесии с жидкостью (или твердым телом) того же химического состава» [4].

Влажность измеряют с помощью *гигрометров*. Существуют следующие виды датчиков влажности: резистивные, емкостные, оптические, вибрационные и др.

Принцип действия *резистивных датчиков влажности (гигристоров)* основан на зависимости материалов с низким удельным сопротивлением от содержания в них воды.

Если пространство между пластинами конденсатора заполнить диэлектрическим материалом, обладающим проницаемостью, зависящей от влажности среды, то конденсатор можно применять как датчик влажности. Например, для диэлектрической проницаемости воздуха можно написать выражение

$$\varepsilon = 1 + \frac{211}{T} \left(P + \frac{48P_s}{T} H \right) 10^{-6}, \quad (33)$$

где P – давление влажного воздуха.

Если охлаждать влажный воздух до его насыщения, то температура, при которой соблюдается условие $P_w = P_s$, называется *точкой росы*. В состав *оптических (конденсационных) гигрометров* входят зеркало, температура поверхности которого регулируется, нагреватель, датчик температуры зеркала, источник света, фотодетектор. Точка росы – пороговая температура зеркала. При его охлаждении и достижении точки росы на поверхности зеркала появляются капли росы, рассеиваемый ими свет регистрируется фотодетектором. Затем зеркало нагревается, и конденсат исчезает.

В *вибрационных (пьезоэлектрических) гигрометрах* посредством охладителя Пельтье контролируют температуру пластины из кварцевого кристалла, который является частью колебательного контура. Когда она достигнет точки росы, на поверхности кристалла образуется водяная пленка, а масса кристалла изменяется. Резонансная частота колебательного контура сдвигается, ток в охладителе Пельтье также меняется [9, 13].

7.6 Оптические датчики

Фотодетекторы регистрируют электромагнитные волны в диапазоне от ультрафиолетового (УФ) до дальнего инфракрасного (ИК) излучений. Их можно разделить на *квантовые* и *термодетекторы*. Первые классифицируют на приборы с *внешним* и *внутренним фотоэффектом*. Термодетекторы действуют в среднем и дальнем ИК диапазоне [9, 15].

7.6.1 Энергетическая и световая системы величин

Поток излучения (ватт, Вт)

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}, \quad (34)$$

где Q_e – энергия, t – время.

Световой поток (люмен, лм)

$$\Phi_v(\lambda) = K_{\max}(\lambda)\Phi_e(\lambda)V(\lambda), \quad (35)$$

где $K_{\max}(\lambda)$ – максимальная спектральная чувствительность, $\Phi_e(\lambda)$ – монохроматический поток излучения, $V(\lambda)$ – относительная спектральная чувствительность

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_{\max}(\lambda)}, \quad (36)$$

где $K(\lambda)$ – относительная спектральная чувствительность органа зрения.

Сила излучения (ватт/стерадиан, Вт/ср)

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\omega}, \quad (37)$$

где ω – телесный угол.

Сила света (кандела, кд)

$$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\omega}. \quad (38)$$

Облученность (ватт/м², Вт/м²)

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA}, \quad (39)$$

где A – площадь поверхности.

Освещенность (люкс, лк)

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA}. \quad (40)$$

Энергетическая светимость (Вт/м²)

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dA}. \quad (41)$$

Светимость (лм/м²)

$$M_v = \frac{d\Phi_v}{dA}. \quad (42)$$

Энергетическая яркость (Вт/ср·м²)

$$L_e = \frac{dI_e}{dA \cos\alpha}, \quad (43)$$

где α – угол между нормалью участка излучающей поверхности и направлением излучения.

Яркость (кд/м²) [17-19]

$$L_v = \frac{dI_v}{dA \cos\alpha}. \quad (44)$$

7.6.2 Оптические датчики

К приборам с внешним фотоэффектом относят *фотоэлектронные умножители*. Они представляют собой колбу с вакуумом, внутри которой находятся катод, несколько электродов, называемых динодами, и анода. Фотон, ударяясь о катод, выбивают с его поверхности электроны. Диноды находятся под последовательно увеличивающимся напряжением. Фотоэлектроны ускоряются от одного к другому диноду, выбивая все большее количество электронов. Результирующий ток детектируется анодом. Коэффициент умножения числа электронов равен

$$M = \delta^n, \quad (45)$$

где δ – число электронов, n – число динодов.

К приборам с внутренним фотоэффектом относят полупроводниковые фотодетекторы (фотодиоды, фоторезисторы, фототранзисторы). Эти приборы реализуются на принципе возбуждения под действием падающего света электронов и переходе их из валентной в зону проводимости. Для фотонов должно выполняться условие

$$E_g > h\nu, \quad (46)$$

где ν – частота [13, 15].

Фотодиоды – полупроводниковые фотодетекторы, состоящие из кристалла с p - n переходом, имеющего металлические выводы и смонтированного в защитный корпус [4]. Для изготовления фотодиодов используют: Si, Ge, GaAs, InSb, HgCdTe и др. Различают p - n фотодиоды, pin фотодиоды (в которых между внешними p и n слоями находится слой с высоким удельным сопротивлением), фотодиоды Шоттки (в которых создается барьер Шоттки посредством напыления на n слой тонкого слоя золота), лавинные фотодиоды.

Фотодиоды могут работать в двух основных режимах: *фотодиодном* и *фотогальваническом*. В первом случае к фотодиоду прикладывается обратное напряжение смещения, а фототок в широком диапазоне линейно зависит от интенсивности излучения. В фотогальваническом режиме фотодиод применяется как генератор фотоэдс. Напряжение смещения не прикладывается, темновой ток отсутствует. Напряжение на выходе фотодиода зависит от величины потока излучения и нагрузки.

Фоторезисторы реализуются на принципе изменения удельного сопротивления полупроводникового материала в зависимости от величины падающего потока. Фоторезисторы изготавливают, как правило, из CdS, CdSe, PbS. Зависимость сопротивления от интенсивности падающего потока излучения определяется как

$$\lg R = a - b \lg PA, \quad (47)$$

где R – сопротивление, P – интенсивность, A – площадь чувствительной поверхности, a , b – константы.

Фототранзисторы, как и фотодиоды, осуществляют фотоэлектрическое преобразование. Но они также еще производят усиление тока. Транзистор включают в схему с источником питания, в состав контура входит p - n переход, через который течет фотоиндуцированный ток.

Приборы с зарядовой связью (ПЗС) – полупроводниковые приборы, обрабатывающие аналоговые сигналы и имеющие цифровую или аналоговую память. Приборы представляют собой матрицу фотоячеек, в которых образуются свободные электроны, число которых прямо пропорционально интенсивности падающего излучения. Различают одно- и двумерные матрицы [13, 15]. В Si *p*-типа легированием создаются элементы хранения. Вблизи поверхности Si располагаются электроды затвора. Элементы хранения отделены от электродов затвора изолирующим слоем SiO₂. Участки Si *n*-типа, отличающиеся уровнем легирования, создают необходимую конфигурацию электрического поля. В ПЗС происходит передача зарядовых пакетов от одного элемента хранения к другому посредством последовательного переключения напряжения на электродах затвора [13, 15, 20, 21].

7.7 Детекторы радиоактивного излучения

Явление *радиоактивности* заключается «в самопроизвольном изменении состава атомного ядра, находящегося в основном состоянии либо в возбужденном долгоживущем (метастабильном) состоянии» [4]. *Закон радиоактивного распада* формулируется как

$$dN = -\lambda N dt, \quad (48)$$

где λ – коэффициент распада, N – число нераспавшихся ядер, dN – число ядер, распадающихся за интервал времени dt .

По принципу действия детекторы радиоактивных излучений можно разделить на *дозиметры* (измеряющие мощность излучения) и *детекторы столкновений* (определяющие наличие радиоактивных частиц). Также выделяют *ионизационные*, *сцинтилляционные* и *полупроводниковые детекторы радиоактивных излучений*.

Некоторые газы при воздействии на них ионизационного излучения способны образовывать ионные пары. Положительные и отрицательные ионы можно отделить друг от друга с помощью электростатического поля, а их количество – измерить. Одна радиоактивная частица способна создать несколько ионных пар.

В *ионизационных камерах* радиоактивные частицы вызывают ионизацию молекул газа. Ток на аноде равен

$$I = q_e n N_0, \quad (49)$$

где q_e – заряд электрона, n – число радиоактивных частиц, N_0 – число ионов, образуемых падающей частицей.

Принцип действия *пропорциональных счетчиков* основан на эффекте фотоумножения. Эти приборы работают при высоких напряжениях,

поэтому электроны, возникшие в результате столкновений, обладают значительной энергией и вовлекают в процесс ионизации нейтральные молекулы. Создаются дополнительные ионные пары. Процесс носит название *лавины Таунсенда*.

Счетчики Гейгера-Мюллера популярны благодаря своей простоте. Они используют значительные напряжения возбуждения. Первичные ионы обладают энергией, достаточной для перевода вторичных ионов и молекул газа в возбужденное состояние. Последние испускают излучение в УФ диапазоне, под действием которого с поверхности катода выбиваются электроны. Молекулы газа также поглощают фотоны. Запускаются лавинообразные процессы, в результате которых амплитуда выходного сигнала не зависит от числа первичных ионов. Поэтому счетчики Гейгера-Мюллера являются только качественными детекторами.

В *сцинтилляционных детекторах* используются материалы, преобразующие ядерное излучение в свет. Это могут быть неорганические кристаллы галоидных соединений щелочей, органические растворы и кристаллы. Активная частица возбуждает атомы и молекулы сцинтиллятора. Последние возвращаются в основное состояние, испуская излучение в ближнем УФ и сине-голубой области спектра. Для усиления сигнала используют фотоэлектронные умножители.

Полупроводниковые детекторы радиоактивности имеют наилучшую разрешающую способность. Заряженная частица, пролетая через детектор, создает пары электрон-дырка. При этом для образования такой пары необходима энергия малой величины. При приложении к полупроводниковому материалу электрического поля носители заряда передвигаются в определенных направлениях, возникает электрический ток.

8 Контрольные вопросы

1. Что называют физической величиной?
2. Какие виды измерений существуют?
3. Что называют единицей физической величины?
4. Что называют системой физических величин?
5. Что называют системой единиц физических величин?
6. Какие системы единиц физических величин существуют?
7. Назовите основные единицы системы СИ.
8. Что называют средством измерений?
9. Как можно классифицировать средства измерений?
10. Что называют датчиком?
11. Как можно классифицировать датчики?
12. Что называют точностью результата измерений?
13. Что называют погрешностью измерений?
14. Какие погрешности существуют?
15. Что называют передаточной функцией датчика?
16. Что называют чувствительностью датчика?
17. Что называют разрешающей способностью датчика?
18. Что показывает амплитудно-частотная характеристика датчика?
19. Что называют постоянной времени датчика?
20. Что называют демпфированием?
21. Какие датчики называют пассивными?
22. Какие датчики называют активными?
23. Что называют калибровкой?
24. Что называют гистерезисом?
25. Что называют надежностью датчика?
26. Напишите уравнения Максвелла в дифференциальной форме.
27. Напишите уравнения Максвелла в интегральной форме.
28. Напишите материальные уравнения.
29. В чем заключается эффект Холла?
30. В чем заключается эффект Пельтье?
31. В чем заключается эффект Зеебека?
32. Что называют током смещения?
33. Что называют током утечки?
34. Что называют однополярным токовым генератором?
35. Что называют стабилитроном?
36. Начертите схему моста Уитстона.
37. Какой шум называют дробовым?
38. Какой шум называют аддитивным?
39. Какой шум называют мультипликативным?
40. Что называют эффектом Доплера?
41. Что называют потенциометром?
42. Поясните принцип действия емкостного датчика перемещений.

43. Поясните принцип действия индуктивного датчика перемещений.
44. Поясните принцип действия магниторезистивного датчика перемещений.
45. Поясните принцип действия магнитострикционного датчика перемещений.
46. Поясните принцип действия оптического датчика перемещений.
47. Поясните принцип действия ультразвукового датчика перемещений.
48. В каком диапазоне находятся ультразвуковые волны?
49. Поясните принцип действия поляризационного детектора приближения.
50. Поясните принцип действия волоконно-оптического датчика приближения.
51. Поясните принцип действия датчика Фабри-Перо при измерении перемещений.
52. Поясните устройство решетчатого датчика перемещений.
53. Что называют позиционно-чувствительным детектором?
54. Поясните, как работает вихретоковый датчик перемещений?
55. Поясните устройство и действие датчика перемещений на основе эффекта Холла.
56. Что представляет собой датчик абляции?
57. Что называют мерой?
58. Что называют измерительным прибором?
59. Что называют измерительным преобразователем?
60. Что называют измерительной установкой?
61. Что называют измерительной системой?
62. Что называют измерительно-вычислительным комплексом?
63. Что называют тахометром?
64. Что называют акселерометром?
65. В чем заключается эффект Саньяка?
66. Поясните принцип работы лазерного гироскопа.
67. Что называют угловой скоростью?
68. Что называют собственной угловой частотой акселерометра?
69. Что называют инерционной массой акселерометра?
70. Поясните принцип работы емкостного акселерометра.
71. Поясните устройство и принцип действия пьезорезистивного акселерометра.
72. Поясните принцип действия пьезоэлектрического акселерометра.
73. Поясните принцип действия акселерометра с нагреваемой пластиной.
74. Поясните принцип работы акселерометра с нагреваемым газом.
75. Что представляет собой роторный гироскоп?
76. Чем отличаются количественные и качественные датчики силы?
77. Поясните принцип действия пьезоэлектрического датчика силы.
78. Напишите выражение для собственных механических частот пьезоэлектрического генератора.

79. Что представляет собой тензодатчик?
80. Поясните принцип действия пьезорезистивного датчика давления.
81. В чем особенность датчиков абсолютного давления?
82. В чем особенность датчиков дифференциального давления?
83. В чем особенность датчиков манометрического давления?
84. Поясните принцип действия емкостного датчика давления?
85. Что представляет собой вакуумметр Пирани?
86. Что представляет собой ионизационный вакуумный датчик Баярда-Альперта?
87. Что представляет собой тепловой расходомер?
88. Поясните устройство ультразвукового расходомера.
89. Поясните устройство электромагнитного расходомера.
90. Поясните принцип действия кориолисовского расходомера.
91. Поясните принцип действия расходомера с мишенью.
92. Перечислите виды акустических детекторов.
93. Что называют абсолютной влажностью?
94. Что называют относительной влажностью?
95. Что называют точкой росы?
96. Что называют насыщенным паром?
97. Поясните принцип действия емкостного датчика влажности.
98. Поясните принцип действия резистивного датчика влажности.
99. Поясните принцип действия термисторного датчика влажности.
100. Поясните принцип действия оптического гигрометра.
101. Поясните принцип действия вибрационного гигрометра.
102. Поясните равновесный принцип измерения температуры.
103. Поясните прогнозируемый принцип измерения температуры.
104. Какие датчики температуры называют абсолютными?
105. Какие датчики температуры называют относительными?
106. Поясните принцип действия терморезистивного датчика температуры.
107. Что называют термистором?
108. Поясните принцип действия термистора с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления.
109. Поясните принцип действия термистора с положительным температурным коэффициентом сопротивления.
110. Поясните принцип действия модели термистора Стейнхорта – Хорта.
111. Назовите типы термопар.
112. Поясните принцип действия датчиков температуры на основе $p-n$ перехода.
113. Поясните принцип действия флуоресцентного датчика температуры.
114. Поясните принцип действия интерферометрического датчика температуры.

115. Поясните принцип действия датчика на основе раствора, изменяющего цвет от температуры.
116. Поясните принцип действия акустического датчика температуры.
117. Поясните принцип действия пьезоэлектрического датчика температуры.
118. Поясните принцип действия металл-оксидного химического датчика.
119. Поясните устройство химического полевого транзистора.
120. Поясните принцип действия электрохимического датчика.
121. Поясните устройство потенциометрического электрохимического датчика.
122. Что называют кондуктометрическим электрохимическим датчиком?
123. Поясните устройство каталитического детектора газа.
124. Что называют эластомерным химическим резистором?
125. Поясните принцип действия каталитического датчика Пелистера.
126. Поясните принцип действия оптического химического датчика.
127. Поясните устройство гравиметрического химического датчика.
128. Поясните принцип действия биохимического датчика.
129. Поясните устройство энзимного датчика.
130. Поясните принцип действия резонансного сенсора.
131. Что называют эталоном?
132. Поясните принцип действия резонансного датчика на поверхностных акустических волнах?
133. Поясните принцип действия датчика на основе линий задержки на поверхностных акустических волнах?
134. Поясните принцип действия датчика деформации.
135. Какое явление называют магнитострикцией?
136. Что называют термоэлементом?
137. Что называют болометром?
138. Что называют магнитометром?
139. Поясните устройство магнитодиода.
140. Что называют магнитотранзистором?
141. Какой датчик называют генераторным?
142. Какой датчик называют параметрическим?
143. Оптическая область
144. Какие длины волны относятся к видимому участку спектра?
145. Какое излучение называют монохроматическим?
146. Какие приемники называют селективными и неселективными?
147. Что называют относительной спектральной чувствительностью приемника?
148. Что называют коэффициентом отражения?
149. Что называют коэффициентом поглощения?
150. Что называют коэффициентом пропускания?
151. Что называют показателем преломления?

152. Напишите формулы Френеля.
153. Поясните закон Брюстера.
154. Что называют абсолютно черным телом?
155. Поясните закон смещения Вина.
156. Поясните закон Стефана-Больцмана.
157. Поясните закон Рэлея-Джинса.
158. Что называют внешним фотоэффектом?
159. Что называют внутренним фотоэффектом?
160. Что называют потоком излучения?
161. Что называют силой излучения?
162. Что называют облученностью?
163. Что называют энергетической светимостью?
164. Что называют энергетической яркостью?
165. Что называют световым потоком?
166. Что называют силой света?
167. Что называют освещенностью?
168. Что называют светимостью?
169. Что называют яркостью?
170. Что называют телесным углом?
171. Что называют радиационной температурой?
172. Что называют эквивалентной температурой?
173. Что называют яркостной температурой?
174. Что называют цветовой температурой?
175. Что называют люминесценцией?
176. Что называют фотолюминесценцией?
177. Что называют световым вектором?
178. Что называют поляризацией света?
179. Какие виды поляризации света существуют?
180. Какие колориметрические системы существуют?
181. Что называют люминофором?
182. Что называют фотодетектором?
183. Какие фотодетекторы называют квантовыми?
184. Какие фотодетекторы называют термодетекторами?
185. Что называют калориметрами?
186. Какой шум называют фотонным?
187. В каких приемниках излучения можно наблюдать генерационно-рекомбинационный шум?
188. Как возникает фликкер-эффект?
189. Что называют токовым шумом?
190. Какую зону называют валентной?
191. Какую зону называют зоной проводимости?
192. Какую зону называют запрещенной?
193. Какую примесь называют донорной?

194. Какой полупроводник называют полупроводником p -типа?
195. Что называют фоторезистором?
196. Что называют фотодиодом?
197. Что называют p - n переходом?
198. Какой режим работы фотодиода называют фотодиодным? Поясните принцип его работы.
199. Какой режим работы фотодиода называют фотогальваническим? Поясните принцип его работы.
200. Что называют вентильным фотоэффектом?
201. Что называют фотоэдс?
202. Изобразите вольт-амперную характеристику фотодиода, работающего в фотодиодном режиме.
203. Изобразите вольт-амперную характеристику фотодиода, работающего в фотогальваническом режиме.
204. Какие фотодиоды называют лавинными?
205. Какие фотодиоды называют pin фотодиодами?
206. Какие фотодиоды называют фотодиодами Шоттки?
207. Что называют фототранзистором?
208. Что представляет собой униполярный фототранзистор?
209. Что представляет собой биполярный фототранзистор?
210. Что представляет собой полевой фототранзистор?
211. Что называют фототиристором?
212. Какие материалы используют для изготовления фоторезисторов?
213. Какие материалы используют для изготовления фотодиодов?
214. Какие материалы используют для изготовления фототранзисторов?
215. Что представляет собой фотодиод с СВЧ-смещением?
216. Что называют фотопотенциометром?
217. Что называют красной границей фотоэффекта?
218. Поясните устройство электровакуумного фотоэлемента.
219. Поясните устройство и принцип работы фотоэлектронного умножителя.
220. Что называют работой выхода?
221. Как вычисляется коэффициент умножения числа электронов для фотоэлектронного умножителя?
222. Что называют диссектором?
223. Поясните принцип работы электронно-оптического преобразователя.
224. Поясните устройство прибора с зарядовой связью.
225. Поясните принцип работы прибора с зарядовой инжекцией.
226. Что называют фононом?
227. Что называют уровнем Ферми?
228. Напишите выражение для функции Ферми.
229. Напишите выражение для распределения Ферми-Дирака.
230. Напишите выражение для распределения Бозе-Эйнштейна.

231. Объясните эффект Томсона.
232. Что называют ударной ионизацией?
233. Что называют диффузией носителей заряда?
234. Что называют дрейфом носителей заряда?
235. Объясните эффект Зинера.
236. Что называют коэффициентом рекомбинации?
237. Что называют биполярной световой генерацией?
238. Что называют монополярной оптической генерацией?
239. Что называют гомопереходом?
240. Что называют гетеропереходом?
241. Что называют омическим переходом?
242. Что называют уровнем Тамма?
243. Что называют собственным поглощением полупроводника?
244. Что называют экситонным поглощением полупроводника?
245. Что называют примесным поглощением полупроводника?
246. Что называют экситоном?
247. Что называют вынужденным излучением?
248. Что называют инверсной заселенностью?
249. Поясните эффект Дембера.
250. В чем заключается явление радиоактивности?
251. Поясните закон радиоактивного распада.
252. Что называют α -частицами?
253. Что называют β -частицами?
254. Что называют γ -излучением?
255. Что называют экспозиционной дозой?
256. Что называют поглощенной дозой?
257. Поясните устройство ионизационной камеры.
258. Поясните устройство пропорционального счетчика.
259. Поясните принцип работы счетчика Гейгера-Мюллера.
260. Поясните устройство сцинтилляционного детектора.
261. Поясните устройство и типы полупроводниковых детекторов радиоактивности.
262. В чем заключается явление интерференции?
263. В чем заключается явление дифракции?
264. Какая среда называется изотропной?
265. Что называют люксометром?
266. Что называют фотометром?
267. Что называют колориметром?
268. Поясните устройство и принцип работы интегрирующей сферы (фотометрического шара)?
269. Что называют дисперсией?
270. Поясните явление полного внутреннего отражения.

271. Что называют сферической аберрацией?
272. Что называют астигматизмом?
273. Что называют хроматической аберрацией?
274. Что называют дисторсией?
275. Что называют пространственной когерентностью?
276. Что называют временной когерентностью?
277. Какие виды поляризации существуют?
278. Что называют поляридом?
279. Какое значение имеет скорость света в вакууме?
280. Что называют рассеянием света?
281. Какое рассеяние называют Рэлеевским?
282. Какое рассеяние называют Комптоновским?
283. Объясните, какое рассеяние называют рассеянием Мандельштама-Бриллюэна.
284. Какое рассеяние называют рассеянием Ми?
285. Какое рассеяние называют комбинационным?
286. Что называют коллиматором?
287. Какие спектры называют линейчатыми?
288. Какие спектры называют полосатыми?
289. Какое значение имеет постоянная Ридберга?
290. Какое значение имеет постоянная Планка?
291. Какое значение имеет постоянная Дирака?
292. Какое значение имеет постоянная Больцмана?
293. В чем заключается правило Стокса?
294. Поясните метод MCVD.
295. Поясните метод OVD.
296. Поясните метод VAD.
297. Что называют оптическим волоконным световодом?
298. Что называют хроматической дисперсией?
299. Что называют амплитудной модуляцией?
300. Что называют частотной модуляцией?
301. Что называют импульсной модуляцией?
302. Что называют аналоговым сигналом?
303. Что называют дискретным сигналом?
304. Что называют мультиплексором?
305. Что называют технологией TDM?
306. Что называют технологией FDM?
307. Что называют технологией WDM?
308. Какое оптическое волокно называют одномодовым?
309. Какое оптическое волокно называют многомодовым?
310. Что называют числовой апертурой оптического волокна?
311. Что называют модовой дисперсией?
312. Что называют материальной дисперсией?

313. Что называют волноводной дисперсией?
314. Что называют поляризационной модовой дисперсией?
315. Что представляет собой планарный волновод?
316. Напишите выражение для прямого преобразования Фурье.
317. Напишите выражение для обратного преобразования Фурье.
318. Поясните теорему Парсеваля.
319. Поясните теорему свертки.
320. Поясните теорему автокорреляции.
321. Поясните интегральную теорему Фурье.
322. Что называют голограммой?
323. Какую информацию несет голограмма?
324. Как происходит процесс записи голограммы?
325. Как происходит процесс восстановления голографического изображения?
326. В чем состоят недостатки голограммы Габора?
327. Что понимают под голограммой Лейта-Упатника?

Список литературы

1. РМГ 29-99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. – Взамен ГОСТ 16263-70; введ. 01.01.2001. – М.: Стандартинформ, 2008. – 91 с.
2. Шимарев В. Ю. Средства измерений. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
3. Мокров Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация. – Дубна: Изд-во Международного университета природы, общества и человека «Дубна», 2007. – 132 с.
4. Большая советская энциклопедия: в 30 т. / Гл. ред. А. М. Прохоров. – М.: Сов. энцикл., 1969-1978.
5. Справочник метролога [Электронный ресурс] // Главный форум метрологов. – Россия, сор. 2009-2015. – Режим доступа: <http://infom.metrologu.ru/>.
6. ГОСТ Р 51086-97. Датчики и преобразователи физических величин электронные. Термины и определения. – Введен 29.07.1997. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. – 12 с.
7. Алейников А. Ф., Гридчин В. А., Цапенко М. П. Датчики (перспективные направления развития). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 176 с.
8. Датчики / Под общ. ред. В. М. Шарапова, Е. С. Полищука. – М.: Техносфера, 2012. – 624 с.
9. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
10. Погрешности измерений [Электронный ресурс] // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы». – Москва. – Режим доступа: <http://www.vniims.ru/inst/termin/pogreshnost.html>.
11. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – Введ. 13.12.2011. – М.: Стандартинформ, 2013. – 40 с.
12. Островский Л. А. Основы общей теории электроизмерительных устройств. – Л.: Энергия, 1971. – 544 с.
13. Михеев В. П., Просандеев А. В. Датчики и детекторы. – М.: МИФИ, 2007. – 172 с.
14. Датчики перемещения [Электронный ресурс] // Device search. – Сор. 2010-2014. – Режим доступа: <http://www.devicesearch.ru/article/>.
15. Джексон Р. Г. Новейшие датчики. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
16. ГОСТ Р 8.585-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики

преобразования. – Взамен ГОСТ Р 50431, МИ 2559-99; введ. 21.11.2001. – М.: ИПК Изд-во стандартов. – 78 с.

17. Гуторов М. М. Основы светотехники и источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.

18. Справочная книга по светотехнике // Под. ред. Ю. Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.

19. Гуревич М. М. Фотометрия (теория, методы и приборы). – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.

20. Секен К., Томсет М. Приборы с переносом заряда. – М.: Мир, 1978. – 328 с.

21. Носов Ю. Р., Шилин В. А. Основы физики приборов с зарядовой связью. – М.: Наука, 1986. – 318 с.

Рекомендуемая литература

1. Азаров В. Н., Арменский Е. В., Рыбин В. М. Диагностика пучков заряженных частиц. М.: Европейский центр по качеству, 2004. 178 с.
2. Аксененко М. Д., Бараночников М. Л., Смолин О. В. Микроэлектронные фотоприемные устройства. М.: Энергоатомиздат, 1984. 208 с.
3. Алиев Т. М., Тер-Хачатуров А. А. Измерительная техника. М.: Высшая школа, 1991. 384 с.
4. Аналоговые электроизмерительные приборы / Е. Г. Бишард, Е. А. Киселева, Г. П. Лебедев и др. М.: Высш. шк., 1991.
5. Асанбаев Ю. А. Периодические энергетические процессы в электрических системах. СПб: Политехника, 1997. 420 с.
6. Ахиезер Н. И. Лекции по теории аппроксимации / Н.И. Ахиезер. М.: Наука, 1965. 407 с.
7. Аш Ж. Датчики измерительных систем: В 2 х кн. Кн. 1. М.: Мир, 1992. 480 с.
8. Аш Ж. Датчики измерительных систем: В 2 х кн. Кн. 2. М.: Мир, 1992. 480 с.
9. Бакшеева Ю. В. Резистивные датчики температуры с метрологическим самоконтролем // Ю. В. Бакшеева, К. В. Сапожникова, Р. Е. Тайманов // Датчики и системы. 2011. №4. С. 62-70.
10. Баранский П. И., Буда И. С., Даховский И. В. Теория термоэлектрических и термомагнитных явлений в анизотропных полупроводниках. Киев: Наукова думка. -1987. -272 с.
11. Баранский П. И., Клочков В. П., Потыкевич И. В. Полупроводниковая электроника. -Киев.: Наукова думка. -1975.-709 с.
12. Бауман Э. Измерение сил электрическими методами. М.: Мир, 1978. 430с.
13. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 636 с.
14. Бахмутский В. Ф., Гореликов Н. И., Кузин Ю. Н. Оптоэлектроника в измерительной технике. М.: Машиностроение, 1979. 280 с.
15. Белый Д. М. Новые направления аналоговых измерительных электроизмерительных приборов. М.: Информприбор, 1988.
16. Бернштейн С. Н. Собрание сочинений / С.Н. Бернштейн. М.: Изд-во академии наук СССР, 1952.
17. Бескаравайный Н. М., Поздеев В. А. Теоретические основы измерения импульсных давлений в жидких средах. Киев: Наукова думка, 1981. 190 с.

18. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа. 1973. - 752 с.
19. Бир Г. Л., Нормантас Э., Пикус Т. Е. Гальваномагнитные эффекты в полупроводниках с вырожденными зонами // ФТТ. -1962. -Т.4, №5. — С.1180-1195.
20. Бир Г. Л., Пикус Т. Е. Теория деформационного потенциала для полупроводников со сложной структурой зон // ФТТ. -1960. -Т.2. -С.2287-2295.
21. Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. М.: Додэка-XXI, 2002. 484 с.
22. Борн М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. М.: Наука, 1970. 856С.
23. Бриндли К. Измерительные преобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1991. 134 с.
24. Булатов М. И., Калинин И. П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.
25. Бусурин В. И., Носов Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. М.: Энергоатомиздат, 1990. 256 с.
26. Бутусов М. М., Галкин С. Л., Оробинский С. П. и др. Волоконная оптика и приборостроение. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1987. 328 с.
27. Васильев В. Н. Компьютерная обработка сигналов в приложении к интерферометрическим системам / В. Н. Васильев, И. П. Гуров. СПб.: БХВ Санкт-Петербург, 1998. 240 с.
28. Ваганов В. И. Интегральные тензопреобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1983. 136 с.
29. Вейнберг В. Б., Саттаров Д. К. Оптика волноводов. М.: Машиностроение, 1977. 320 с.
30. Вейнберг В. Б., Саттаров Д. К. Пропускание света прозрачными световодами // ОМП. 1963. №2. С. 19-24.
31. Виглеб Г. Датчики. М.: Мир, 1989. 196 с.
32. Волчихин В. И., Мурашкина Т. И. Проблемы создания волоконно-оптических датчиков// Датчики и системы. 2001. №7. С. 54-58.
33. Гантмахер В. Ф., Левинсон И. Б. Рассеяние носителей тока в металлах и полупроводниках. М.: Наука. 1984. -350 с.
34. Гауэр Дж. Оптические системы связи. М.: Радио и связь, 1989. 504 с.
35. Геда Н. Ф. Измерение параметров приборов оптоэлектроники. М.: Радио и связь, 1981. 368 с.

36. Гейг С., Эванс Д., Ходапп М., Соренсен Х. Применение оптоэлектронных приборов. М.; Радио и связь, 1981. 344 с.
37. Генри М. Самоаттестующиеся датчики // Датчики и системы. 2002. №1. С. 51-60.
38. Гершун А. А., Избранные труды по фотометрии и светотехнике. М.-Л.: Гостехиздат, 1958. 548с.
39. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. шк., 2004. 479 с.
40. Годовицын И. В., Зимин В. Н., Петров А. Ю. и др. Сверхминиатюрный интегральный преобразователь давления для специальных применений // Микросистемная техника. 2001. № 7. С. 3-5.
41. Гончаров В. Л. Теория интерполирования и приближения функций / В. Л. Гончаров. М.: Изд-во технико-теоретической литературы, 1954. 327 с.
42. Грановский В. А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В. А. Грановский, Т.Н. Сирая. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 288 с.
43. Грановский В. А. Проблема адекватности моделей в измерениях / В. А. Грановский, Т. Н. Сирая // Датчики и системы. 2007. № 10 . С. 52-62.
44. Гроднев И. И. Волоконно-оптические линии связи. М.: Радио и связь, 1990. 224 с.
45. Грязин Г. Н. Терминологический словарь по электронной технике. СПб: Политехника, 2001. 783 с.
46. Гуртовцев А. Измерение давления в автоматизированных системах // Современные технологии автоматизации. 2001. № 4. С. 76-89.
47. Давыдов Б. И., Шмушкевич И. М. Теория электронных полупроводников // УФН. -1940. -Т.24. -С.21-67.
48. Дайчик М. Л., Пригоровский Н. И., Хуршудов Г. Х. Методы и средства натурной тензометрии: Справочник. М.: Машиностроение, 1989. 240 с.
49. Данилов Ю. А. Многочлены Чебышева. Минск: Вышэй-шая школа, 1984. 157 с.
50. Датчики измерительных систем: В 2 кн. Кн. 1 /Ж. Аш, П. Андре, Ж. Бофрон и др.; Пер. с франц. М.: Мир, 1992 - 480 с.
51. Денис В., Пожела Ю. Горячие электроны. Вильнюс. Минтис. - 1971.
52. Дзядык В. К. Введение в теорию равномерного приближения функций полиномами / В. К. Дзядык. М.: Наука, 1977. 511 с.
53. Драксел Р. Основы электроизмерительной техники. М.: Энергоиздат, 1982.

54. Дружинин А. А., Кутраков А. П., Лавитская Е. Н. и др. Полупроводниковые сенсоры механических величин на основе микрокристаллического кремния для экстремальных условий // Микросистемная техника. 2001. № 9. С. 3-9.
55. Евтихийев Н. Н., Купершмидт Я. А., Папуловский В. Ф., Скугоров В. Н. Измерение электрических и неэлектрических величин / Под общ. ред. Н. Н. Евтихьева. М.: Энергоатомиздат, 1990. 352 с.
56. Евсеев М. Е. Теоретические основы электротехники. СПб: Политехника, 2008. 380 с.
57. Ерофеев А. А. Пьезоэлектронные устройства автоматики. Л.: Машиностроение, 1982. 212 с.
58. Ерофеев А. А. Теория автоматического управления. СПб: Политехника, 2005. 302 с.
59. Зак Е. А. Волоконно-оптические преобразователи с внешней модуляцией. М.: Энергоатомиздат, 1989. 128 с.
60. Зеегер К. Физика полупроводников. М.: Мир. -1977. -615 с.
61. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. 4.2. -456 с.
62. Золотарев В. М., Морозов В. Н., Смирнова Е. В. Оптические постоянные природных и технических сред. Л.: Химия, 1984 -216 с.
63. Зыбов В. Н. Моделирование функции преобразования первичного преобразователя в задачах многофакторных измерений // Измерительная техника. 2006. №4. С. 26-31.
64. Ивахненко А. Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Юрачковский. М.: Радио и связь, 1987. 120 с.
65. Ивахненко, А.Г. Помехоустойчивость моделирования / А. Г. Ивахненко, В. С. Степашко. Киев: Наук. думка, 1985. 216с.
66. Како Н., Яманэ Я. Датчики и микро-ЭВМ. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 120 с.
67. Капани Н. Волоконная оптика: принципы и применения. М.: Мир, 1969. 464 с.
68. Карцев Е. А. Физические основы преобразования Красюк Б. А., Семенов О. Г., Шереметьев А. Г. и др. Световодные датчики. М.: Машиностроение, 1990. 256 с.
69. Коллатц Л. Теория приближений. Чебышевские приближения / Л. Коллатц, В. Крабе. М.: Наука, 1978. 271 с.

70. Корнейчук Н. П. Экстремальные задачи теории приближения / Н. П. Корнейчук. М.: Наука, 1976. 320 с.
71. Кочетков Е.С. Метод наименьших квадратов. М.: Изд-во МАИ, 1993. 43 с.
72. Кравцов А. В. Электрические измерения. М.: Агропромиздат, 1988.
73. Красюк Б. А., Семенов О. Г., Шереметьев А. Г. и др. Световодные датчики. М.: Машиностроение, 1990. 256 с.
74. Кривоносов А. И. Оптоэлектронные устройства. М.: Энергия, 1978. 96 с.
75. Крылова Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.
76. Кунце Х. И. Методы физических измерений. М.: Мир, 1989. 216 с.
77. Кучикян Л. М. Световоды. М.: Энергия, 1973. 176 с.
78. Ларионов В. А. Элементы информационно-измерительных систем: учебное пособие / В. А. Ларионов. Челябинск: Издательство ЧГТУ, 1997. 64 с.
79. Латгинжер Дж., Кон В. Движение электронов и дырок в возмущенных периодических полях // Проблемы физики полупроводников: Сб. статей. - М.: Иностранная лит., 1957. - С.515 - 539.
80. Лах В. И. Повышение точности и расширение пределов измерения // Приборы и системы управления. 1971. № 9. С. 23-28.
81. Левин С. Ф. Обеспечение единства измерений при градуировке измерительных преобразователей // Измерительная техника. 2006. №7. С. 8-14.
82. Левшина Е. С., Новицкий П. В. Измерительные преобразователи. Л.: Энергоиздат, 1983 г.
83. Литвак В. И. Тензореле. Расчет, конструирование, применение. М.: Машиностроение, 1989. 160 с.
84. Лившиц И. М. Основы стандартизации, метрологии, сертификации. М.: Юрайт-М, 2001 .
85. Литвак В. И. Тензореле. Расчет, конструирование, применение. М.: Машиностроение, 1989. 160 с.
86. Логинов В. В. Электрические измерения механических величин. М.: Энергия, 1976. 104 с.
87. Ляликов Ю. С. Физико-химические методы анализа. М.: "Химия", 1973. 536с.

88. Макги Дж., Хендерсон И.А., Сиденхэм П. Наука о сенсорах основа измерительной техники и приборостроения //Приборы и системы управления. 1996. №1. С. 41-45.
89. Мартяшин А. И., Шахов Э. К., Шляндин В. М. Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения. М.: Энергия, 1976. - 391 с.
90. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. М.: Мир, 1990.
91. Методы электрических измерений: учеб. пособие / Л . А. Журавин, М. А. Мариненко, Е. И. Семенов, Э. И. Цветков. Л.: Энергоатомиздат, 1990.
92. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / В. И. Нефедов, В. И.Х ахнн, Е. В. Федорова и др. М. : Высш. шк., 2001.
93. Микропроцессорные системы / Под ред. Д. В. Пузанкова. СПб: Политехника, 2002. 935 с.
94. Морозов А. И., Проклов В. В., Станковский Б. А. Пьезоэлектрические преобразователи для радиоэлектронных устройств. М.: Радио и связь, 1981. 184 с.
95. Мурашкина Т. Н., Каршаков В. П., Артемов Ю. А. Волоконно-оптические датчики для внутриобъектовых волоконно-оптических сетей сбора данных // Радиотехника. 1995. С. 29-31.
96. Назаров В. Д., Сачко Ю. И., Терещенко А. Г. Измеритель мощности оптического излучения в волоконно-оптических системах// Приборы и техника эксперимента. 1986. № 1. С. 168-169.
97. Никифоров А. Ю., Согоян А. В., Бойченко Д. В. Электронные датчики: преобразователи ионизирующих излучений, механических величин, магнитного поля. М.: МИФИ, 2005.196 с.
98. Никифоров А. Ю., Согоян А. В. Электронные датчики: преобразователи температуры, фотоприемники.М.: МИФИ, 2005. 116 с.
99. Никифоров А. Ю., Телец В. А. Микроэлектронные преобразователи физических величин и компоненты датчиков перспективная элементная база микросистемной техники //Микросистемная техника. 2001. № 1. С. 6-12.
100. Никольский С. М. Приближение функций многих переменных и теоремы вложения / С. М. Никольский. М.: Наука, 1977. 456 с.
101. Новицкий П. В. Динамика погрешностей средств измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф, В. С. Лабунец. М.: Энергоатомиздат, 1990. 192 с.

102. Носов Ю. Р. Оптоэлектроника. М.: Радио и связь, 1989. 360 с.
103. Нуберт Г. П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин. Введение в теорию, расчет и конструирование. Л.: Энергия, 1970. 360 с.
104. Окоси Т., Окамото К., Оцу М. и др. Волоконно-оптические датчики / Под ред. Т.Окоси. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1990. 256 с.
105. Осадчий Е. П., Тихонов В. И., и др. Проектирование датчиков для измерения механических величин/ Под ред. Е. П.Осадчего. М.: Машиностроение, 1979. 480 с.
106. Осипович А. А. Датчики физических величин. М.: Машиностроение, 1979.
107. Основы метрологии. Ч. 1. / Ю. А.Богомоллов, Т. М. Полховская, М. Н. Филиппов и др. М.: МИСИС , 2000.
108. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. М.: Мир, 1973. 456с.
109. Панфилов В. А. Электрические измерения / В. А. Панфилов. М.: Издательский центр «Академия», 2004.
110. Певзнер Г. С. Агрегатирование в электроприборостроении / Г. С. Певзнер, Э. И. Цветков, М. Б.Цодиков. М.: Энергия, 1981.
111. Полищук Е. С. Измерительные преобразователи. Киев: Вища школа, 1981.296 с.
112. Половинкин В. Г. Неупругое рассеяние в полярных полупроводниках // Физика деформируемых полупроводников. Новосибирск. НЭТИ. -1979. - С. 100-110.
113. Половинкин В. Г., Скок Э. М. К теории кинетических коэффициентов при неупругом рассеянии на оптических фононах // ФТП. 1974. -Т.8, №6.1. С.1134-1140.
114. Попов А. Е. Применение методов интервального анализа при калибровке преобразователей давления // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2009. № 26. С. 87-90.
115. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Под ред. Е. П. Осадчего. М.: Машиностроение, 1979. - 480 с.
116. Пронин А. Н. Контроль достоверности информации, поступающей от датчиков /А. Н. Пронин, К. В. Сапожникова, Р. Е. Тайманов // Датчики и системы. 2008. №8. С. 58-63.

117. Пухальский Г. И. Цифровые устройства. СПб: Политехника, 1996. 885 с.
118. Раннев Г. Г. Методы и средства измерений / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. М. : Издательский центр «Академия», 2004.
119. Ремез Е. Я. Основы численных методов Чебышевского приближения / Е. Я. Ремез. Киев: Наукова думка, 1969. 624 с.
120. Самойлович А. Г., Коренблит И. Я., Даховский И. В., Искра В. Д. Анизотропное рассеяние электронов на ионизированных примесях и акустических фононах // ФТТ. -1961. -Том 3, №11. С.3285-3298.
121. Сапожникова К.В. Потребность в стандартах по самодиагностируемой и самоаттестуемой аппаратуре / К. В. Сапожникова, М. Генри, Р. Е. Тайманов // Датчики и системы. 2006. №6. С. 51-57.
122. Семенов В. С. Датчики механических величин и анализа состава вещества. М.: МИФИ, 1984 .
123. Семенов В. С. Датчики тепловых величин. М.: МИФИ,1982.
124. Сергеев А . Г. Метрология / А. Г. Сергеев, В. В. Крохин. М. : Логос, 2000.
125. Сергеев А. Г., Крохин В. В. Метрология. М.: ЛОТОС, 2001г.
126. Серебrenицкий П. П. Общетехнический справочник. СПб: Политехника, 2004. 445 с.
127. Скалой А. И. Разработка принципов построения микромеханических датчиков первичной информации интегрального уравнивания с использованием оптоэлектронных и электромагнитных элементов// Микросистемная техника. 2004. № 4. С. 13-17.
128. Стучебников В. М. О нормировании температурной погрешности тензоре-зисторных полупроводниковых датчиков // Датчики и системы. 2004. № 9. С. 15-19.
129. Суэмацу Я., Катаока С., Кисино К. и др. Основы оптоэлектроники. М.: Мир, 1988. 288 с.
130. Тайманов Р.Е. Метрологический самоконтроль датчиков / Р. Е. Тайманов, К. В. Сапожникова // Датчики и системы. 2011. №2. С. 58-66.
131. Тайманов Р. Е. Проблемы создания нового поколения интеллектуальных датчиков / Р. Е. Тайманов, К. В. Сапожникова // Датчики и системы. 2004. №11. С. 50-58.
132. Таланчук П. М., Голубков С. П., Маслов В. П. и др. Сенсоры в контрольно измерительной технике. Киев: Техника, 1991. 175 с.

133. Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие / Под ред. Р.А. Макарова. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
134. Техническая кибернетика: Измерительные устройства, преобразующие элементы и устройства / Под ред. В.В. Солодовникова. М.: Машиностроение, 1973. 680 с.
135. Туричин А. М., Новицкий П. В., Левшина Е. С. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. Л.: Энергия, 1975. 576 с.
136. Харкевич А. А. Теория преобразователей. М. Л.: Госэнергоиздат, 1948. 188 с.
137. Харт Х. Введение в измерительную технику. М.: Мир, 1999.
138. Хащина М. В., Тюрин С. А., Преждо В. В. Электрооптические эффекты в технике. Харьков: Выща шк. изд. при Харьк. ун те, 1989. 160 с.
139. Хоффман Д. Техника измерений и обеспечение качества. М.: Энергоатомиздат, 1983.
140. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование. М.: Энергоатомиздат, 1985. 440 с.
141. Цветков Э. И. Основы математической метрологии. СПб: Политехника, 2005. 510 с.
142. Чекушкин В. В. Коррекция погрешностей в измерительных приборах / В. В. Чекушкин, Л. Г. Алексеева // Приборы и системы. 2008. №5. С. 38-43.
143. Чекушкин В. В. Повышение точности измерительных систем с нестабильными параметрами / В. В. Чекушкин, В. В. Булкин // Измерительная техника. 2006. №4. С. 7-11.
144. Чекушкин В. В. Реализация вычислительных процессов в информационно-измерительных системах / В. В. Чекушкин, О. В. Юрин, В. В. Булкин. Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2005. 158 с.
145. Чекушкин В. В. Совершенствование полиномиальных методов воспроизведения функциональных зависимостей // Измерительная техника. 2002. № 12. С. 17-21.
146. Чекушкин В. В. Совершенствование полиномиальных методов приближения функций // Метрология. 2004. № 2. С. 3-13.
147. Чернов Е. И. Метод выбора фотодиода для фотоприемного устройства// Опико механическая промышленность. 1987. № 7. С. 47-48.
148. Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Шарапова Е. В. Пьезоэлектрическидатчики. М.: Техносфера, 2006. 632 с.

149. Шарупич Л. С., Тугов Н. М. Оптоэлектроника. М.: Энергоатомиздат, 1984. 256 с.
150. Шишмарев В. Ю. Технический контроль в приборостроении. М.: МГАТУ, 1996.
151. Шишмарев В. Ю. Электрорадиоизмерения / В. Ю. Шишмарев, В. И. Шанин. М.: Издательский центр «Академия», 2004.
152. Adachi H. et al. Ferroelectric (Pb, La) (Zr, Ti) O₃ epitaxial thin films on sapphire grown by RF-planar magnetron sputtering // J. Appl. Phys. 1986. Vol. 60. P. 736.
153. Angelscn A. J. B. A theoretical study of the scattering of ultrasound from blood // IEEE Trans. Biomed. Engineering. 1980. BME-27, No. 2.
154. Baher H. Analog and Digital Signal Processing. 1991.
155. Baudry H. Screen printing piezoelectric devices // Proc. 6th European Microelectronics Conference. 1987. P. 456-463.
156. Beck M. S., Plaskowski A. Cross-correlation Flowmefers. 1987.
157. Beeby S. P., Ensell G., White N. M. Microengineered silicon double-ended tuning-fork resonators // Engineering Science and Education J. 2000.
158. Bendat J. S., Piersol A. G. Random Data Analysis and Measurement, Procedures. 1986.
159. Bentley J. P. Principles of Measurement Systems. 1995.
160. Bernstein J. et al. A micromachined comb-drive tuning fork rate gyroscope // Proc. IEEE Micro Electromechanical Systems Workshop. 1993. P. 143-148.
161. Black M. Vagueness: An exercise in logical analysis // Phil Set. 1937. Vol. 4. P. 427-455.
162. Bleaney B. 1, Bleaney B. Electricity and Magnetism. 1965.
163. Borovikov A. P. Measurement of viscosity of media by means of shear vibration of plane resonators // Inst. Exp. Tech. 1976. Vol. 19, No. 2. P. 223-224.
164. Bouwstra S., Legtenberg R., Tilmans HAC, Elwenspeek M. Resonating micro-bridge mass flow sensor // Sensors and Actuators. 1990. Vol. A21-A23. P. 332-335.
165. Brignell J. E., Dorey A. P. Sensors for microprocessor-based applications // J. Phys. E. 1983. Vol. 16, No. 10. P. 952-958.
166. Brignell J. E., White N. M., Cranny A. W. J. Sensor applications of thick film technology // Proc. IEE I. 1987. Vol. 135, No. 4. P. 77-84.
167. Brody W. R. Theoretical analysis of the CW Doppler ultrasonic Flowmeter // IEEE Trans. Biomed. Engineering. 1974. BME-21, No. 3.

168. Brook D., Wynne R. J. Signal Processing: Principles and Applications. 1988.
169. Burns P. N., Halliwc U. M., Wells P. N. T., Webb A. J. Ultrasonic Doppler studies of the breast // *Ultrasound Med. Biol.* 1982. Vol. 8, No. 2. P. 127-143.
170. Castelano R. N., Femstein L. G. Ion-beam deposition of thin films of ferroelectric lead-zirconite titanate (PZT) // *J. Appl. Phys.* 1979. Vol. 50. P. 4406.
171. Cho S. T., Wise K. T. A high-performance microflowmeter with built-in self-test // *Sensors and Actuators.* 1993. Vol. A 36. P. 47-56.
172. Considine D. M. Process // *Industrial Instruments and Controls Handbook.* 1999.
173. Cooley J. W., Tukey J. W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series // *Math of Computation.* 1965. Vol. 19. P. 297-330.
174. Cousins T. The Doppler Ultrasonic Flow meter: Flow Measurement of Fluids. 1978.
175. Dagenais D. M., Bucholtz F., Koo K. P. Elimination of residual signals and reduction of noise in a low-frequency magnetic fibre sensor // *Appl. Phys. Lett.* 1988. Vol. 53. P. 1417-1476.
176. Dakin J., Culshaw B. *Opical Fiber Sensors: Applications, Analysis and Future Trends.* 1997. Vol. 4.
180. Dakin J., Culshaw B. *Opical Fiber Sensors: Principles and Components.* 1988. Vol. 1.
177. Dalley J. W., Riley W. F. *Experimental Stress Analysis.* 1978.
178. Davies L. W., Wells M. S. Magnetotransistor incorporated in a bipolar IC // *Proc. ICMCST.* 1970. P. 34-43.
179. Dickey R. K. Outputs of op-amps have fixed phase-difference // *Designer's Casebook, Electronics.* 1975. P. 82-83.
180. Doebehn E. O. *Measurement Systems Application and Design.* 1990.
181. Dress W. B. A high resolution ultrasonic densitometer // *IEEE Ultrasonics Symposium.* 1983. P. 287-290.
182. Durkin J. *Expert Systems Design and Development.* 1994.
183. Finkel M. W. Integrating sphere theory // *Opt. Commun.* 1970. Vol. 2. P. 25-28.
184. Finkelstein L., Watts R. D. *Systems analysis of instruments // Measurement and Control.* 1971.
185. Gardener J. W., Varadan V. K., Awadelkarim O. O. *Microsensors, MEMS and Smart Devices.* 2001.

186. Gardner J. W. *Microsensors: Principles and Applications*. 1994.
187. Gessner U. The performance of the ultrasonic flow meter in complex velocity profiles // *IEEE Trans. Biomed Engineering*. 1969. BME-16, No. 2.
188. Greenwood J. C. Silicon in mechanical sensors // *J. Phys. E: Sci. Iustrum*. 1988. Vol. 21. P. 1114-1128.
189. Halliday D., Resnick R. *Fundamentals of Physics*. 1986.
190. Hanna S. M. Magnetic field sensors based on SAW propagation in magnetic thin films // *IEEE Trans. UFFC*. 1987. Vol. 34. P. 191-194.
191. Holmblad L. P., Ostergaard J. J. Control of a Cement Kiln by Fuzzy Logic, Fuzzy Information and Decision Processes. 1982 .
192. Horowitz P., Hill W. *The Art of Electronics*. 1989.
193. Ichinose T., Terada J. Angular rate sensor for automotive application // *Sensors and Actuators*. 1995. SP -1066. P. 49-56.
194. Jaffe B., Cook W. R., Jaffe H. *Piezoelectric Ceramics*. 1971.
195. Johnson B. Vibration rotation sensors // *Sensors and Actuators*. 1995. SP-1066. P. 41-47.
196. Johnson C. D. *Process Control Instrumentation Technology*. 1988.
197. Johnson J. D., Zarabadi S. R., Sparks D. R. Surface micromachined angular rate sensor // *Sensors and Actuators*. 1995. SP-1066. P. 77-83.
198. Jones B. E. Optical fibre sensors and systems for industry // *Phys. E: Sci. Iustrum*. 1985. Vol. 18. P. 770-782.
199. Jones B. E., Philp G. S. Fibre optic pressure sensor using reflective techniques // *Proc. Int. Conf Optical Techniques in Process Control*. 1983. P. 11-25.
200. Khandpur R. S. *Handbook of Biomedical Instrumentation*. 1987.
201. Kirkbrighl G. F., Narayanaswamy R., Welti N. A. Fibre-optic pH probe based on the use of an immobilised colorimetric reagent // *Analyst*. 1984. Vol. 109. P. 1025.
202. Kodali V. P. *Engineering Electromagnetic Compatibility*. 1996.
203. Kovacs G. T. A. *Micromachined Transducers Sourcebook*. 1998.
204. Kraus A. D. *Circuit Analysis*. 1991.
205. Kress H.-J., Marek J., Mast M., Schatz O., Muchow J. Integrated silicon pressure sensor for automotive application with electronic trimming // *Sensors and Actuators*. 1995. P. 35-40.
206. Langdon R. M. *Marconi Review Fourth Quarter*. 1982. P. 231-249.
207. Langdon R. M. Vibrating transducers in measurement // *Chem. Engineer*. 1983. Vol. 397. P. 33-35.

208. Lakowicz J. R. Principles of Fluorescence Spectroscopy. 1983.
209. Livingston J. D. Magnetomechanical properties of amorphous metals // Phys. Status Solidi. 1982. Vol. 70. P. 591-596.
210. Longhurst R. S. Geometrical and Physical Optics. 1970.
211. MacDonald. A vibrating vane mass flow meter // 1st Euro. Conf. Sensors and their Applications. 1983. UM 1ST. P. 58-59.
212. Malm H. L., Raudorf T. W., Martini M., Zanio K. R. Gamma ray efficiency comparisons for Si(Li), Ge, CdTe and HgI₂ detectors // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1972. Vol. 20. P. 500-509.
213. Maluf N. An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering. 1999.
214. Mamdani E. H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // Int. J. Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7, No. 1. P. 1-13.
215. Mason W. P. Piezoelectric Crystals and Their Application to Ultrasonics Van Nostrand. 1950.
216. Matusik F. J., Scania P. C. Latest instrument makes on-line viscosity control of slurries possible // Control Engineering. 1981. Vol. 28. P. 116-118.
217. McCulloch W. S., Pitts W. H. A logical calculus of the ideas immanent in neural nets // Bull. Math. Biophys. 1943. Vol. 5. P. 115-133.
218. Meade M. L. Lock-in Amplifiers; Principles and Applications. 1983.
219. Megaw H. D. Ferroelectricity in Crystals. 1957.
220. Minsky M. L., Papert S. S. Perceptrons. 1969
221. Mo L. Y. L., Yun L. C. M., Cobbold R. S. C. Comparison of four digital maximum frequency estimators for Doppler ultrasound // Ultrasound Med. Biol. 1988. Vol. 14, No.5. P. 355-363.
222. Morton B., De Cicco G., Gandolfi A., Tonelli C. Advances in ferreletric thick film materials and sensors // Proc. 8th European Microelectronics Conference. 1991. P. 392-399.
223. Namekawa K., Kasai C., Tsukamoto M., Koyano A. Real-time blood flow imaging system utilizing autocorrelation techniques // Ultrasound '82. 1982.
224. Neubert H. K. P. Instrumentation Transducers: An Introduction to their Performance and Design. 1975.
225. Neumeister J., Thum R., Liider E. A SAW delay-line oscillator as a high-resolution temperature sensor // Sensors and Actuators. 1990. Vol. A 21-23. P. 670-672.
226. Nicollian E. H., Brews J. R. MOS Physics and Technology. 1982.

227. Nishihara H., Haruna M., Suhara T. Optical Integrated Circuits. 1989.
228. Nishizawa K., Sudo E., Yoshida M., Yamasaki T. High sensitivity waveguide type hydrogen sensor // 4th Int. Conf. Optical Fibre Sensors. 1986. P. 13.
229. Norton H. N. Handbook of Transducers. 1989.
230. O'Donnell M., Busse L. J., Miller J. G. Piezoelectric Transducers Methods of Experimental Physics. 1981. Vol. 19.
231. Ohashi M., Shiraki K., Tajima K. Optical loss property of silica-based single mode fibers // IEEE J. Lightwave Technol. 1992. Vol. 10, No. 5. P. 539-543.
232. Oikawa A., Toda K. Preparation of Pb (Zr, Ti) O₃ thin films by an electron beam evaporation technique // Appl. Phys. Lett. 1976. Vol. 29. P. 491.
233. Okada A. Some electrical and optical properties of ferroelectric lead-zirconite-lead-titanate thin films // Appl. Phys. 1977. Vol. 48. P. 2905.
234. Ott H. W. Noise Reduction Techniques in Electronic Systems. 1988.
235. Patel H. Silicon that moves // IEE Review. 1992. P. 268-269.
236. Rabiner L. R., Gold B. Theory and Application of Digital Signal Processing. 1975.
237. Randall D. S., Rudkin M. J., Cheshmchdoost A., Jones B. E. A pressure transducer using a metallic triple-beam tuning fork // Sensors and Actuators A: Physical. 1997. Vol. 60, No. 1-3. P. 160-162.
238. Randall D. S., Rudkin M. J., Cheshmchdoost A., Jones B. E. A pressure transducer using a metallic triple-beam tuning fork // Sensors and Actuators A: Physical. 1997. Vol. 60, No. 1-3. P. 160-162.
239. Reppich A., Wiliig R. Yaw rate sensor for vehicle dynamics control system // Sensors and Actuators. 1995. SP-1066. P. 67-76.
240. Roumenin C. S. Bipolar magnetotransistor sensors. An invited review // Sensors and Actuators. 1990. Vol. A24. P. 83.
241. Scheggi A. M., Baldini F. Chemical sensing with optical fibres // Int. J. Optoelectronics. 1993. Vol. 8, No. 2. P. 133-156.
242. Scott C. Sounding out ultrasonic flow meters Control and Instrumentation. 1984.
243. Senior J. M. Optical Fibre Communications, Principles and Practice. 1985.
244. Spillman W. B. jnr., McMahon D. H. Frustrated-total-internal reflection multimode fibre-optic hydrophone // Appl. Opt. 1980. Vol.19. P. 113-117.
245. Spillman W. B. jnr. Multimode fibre-optic pressure sensor based on the photoelastic effect // Opt. Lett. 1982. Vol. 7. P. 388.

246. Squires G. L. Practical Physics. 1968.
247. Sze S. M. Physics of Semiconductor Devices. 1981.
248. Sze S. M. Semiconductor Sensors. 1994 .
249. Taylor B. N., Kuyatt C. E. Guidelines for Evaluation and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results // NIST Technical Note. 1994.
250. Thompson S. Control Systems Engineering and Design. 1989.
251. Usher M. J. Sensors and Transducers.1985.
252. Wells P. N. T., Halliwell M., Skidmore R., Webb A. J., Woodcock J. P. Tumour detection by ultrasonic Doppler blood-flow signals // Ultrasonics. 1977.
253. White R. W. A sensor classification scheme // Microsensors. 1991. P. 3-5.
254. Wilson J., Hawkes J. F. B. Oploelectrics: An Introduction. 1983.
255. Wilmshurst T. H. Signal Recovery from Noise in Electronic Instrumentation. 1990.
256. Zadeh L. From circuit theory to system theory // Proc. Radio Engineers. 1962.
257. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and Control. 1965. Vol. 8, No. 3. P. 338-353.
258. Zadeh L. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes // IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics. 1973. SMC-3, No. 1. P. 28-44.
259. Zhan L., Cao Z. Exact dispersion equation of a graded refractive-index optical waveguide based on the equivalent attenuated vector // JOSA A. 1998. Vol. 15. No. 3. 713-716.
260. Zhan L., Tu J. Analysis of general double periodic structure diffraction phenomena based on the ambiguity function // JOSA A. 1992. Vol. 9. No. 6. 983-995.
261. Zhan Y., Sun Y. Closed-form impulse response model of non-line-of-sight single-scatter propagation // JOSA A. 2016. Vol. 33. No. 4. 752-757.
262. Zhan J., Chylek P. Interference structure of the Mie extinction cross section // JOSA A. 1989. Vol. 6. No. 12. 1846-1851.
263. Zhang J. Method of unconfounding orientation and direction tunings in neuronal response to moving bars and gratings // JOSA A. 2005. Vol. 22. No. 10. 2246-2256.
264. Zhang Z., Meng C. Best linear unbiased axial localization in three-dimensional fluorescent bead tracking with subnanometer resolution using off-focus images // JOSA A. 2009. Vol. 26. No. 6. 1484-1493.

265. Zhang Y., Jiang S., Zhang X. Soft x-ray holographic computerized tomography imaging: experimental research // JOSA A. 2013. Vol. 20. No. 3. 588-595.
266. Zhou G. Non-paraxial investigation in the far field properties of controllable dark-hollow beams diffracted by a circular aperture // JOSA A. 2010. Vol. 27. No. 4. 890-894.
267. Zhou G. Vectorial structure of an apertured Gaussian beam in the far field: an accurate method // JOSA A. 2010. Vol. 27. No. 8. 1750-1755.
268. Zhou G. Fractional Fourier transform of Lorentz–Gauss beams // JOSA A. 2009. Vol. 26. No. 2. 350-355.
269. Zhou G. Analytical vectorial structure of controllable dark-hollow beams in the far field // JOSA A. 2009. Vol. 26. No. 7. 1654-1660.
270. Zhou G. Focal shift of focused truncated Lorentz–Gauss beam // JOSA A. 2008. Vol. 25. No. 10. 2594-2599.
271. Zhu W., Wang Y., Zhang J. Total least-squares reconstruction with wavelets for optical tomography // JOSA A. 1998. Vol. 15. No. 10. 2639-2650.

Содержание

1 Физические величины.....	3
2 Системы единиц физических величин.....	3
3 Средства измерений.....	5
4 Датчики физических величин.....	7
5 Погрешности измерений.....	8
6 Основные характеристики датчиков.....	9
6.1 Статические характеристики.....	9
6.2 Динамические характеристики.....	10
7 Датчики.....	11
7.1 Датчики перемещения.....	11
7.2 Датчики измерения скорости и ускорения.....	13
7.3 Датчики температуры.....	15
7.4 Датчики давления.....	17
7.5 Датчики влажности.....	18
7.6 Оптические датчики.....	20
7.6.1 Энергетическая и световая системы величин.....	20
7.6.2 Оптические датчики.....	21
7.7 Детекторы радиоактивного излучения.....	23
8 Контрольные вопросы.....	25
Список литературы.....	34
Рекомендуемая литература.....	36
Приложение А Типовые параметры датчиков перемещения, датчиков измерения скорости и ускорения.....	53
Приложение Б Типовые параметры датчиков температуры, давления, влажности.....	54
Приложение В Типовые параметры фотодиодов, дозиметров, датчиков магнитного поля.....	55

Приложение А

Типовые параметры датчиков перемещения, датчиков измерения скорости и ускорения

Датчики перемещения			
Напряжение питания, В	Ток, мА	Температура среды, °С	Дальность действия, м
10 ÷ 30	0 ÷ 200	-40 ÷ +60	0 ÷ 22

Датчики измерения скорости			
Напряжение питания, В	Потребляемая мощность, Вт	Температура среды, °С	Диапазон измеряемых значений, км/ч
24 ÷ 230	< 5	-40 ÷ +60	0 ÷ 180

Датчики измерения ускорения			
Напряжение питания, В	Ток, мкА	Температура среды, °С	Частотный диапазон, Гц
3 ÷ 6	200	-40 ÷ +121	0 ÷ 300

Приложение Б

Типовые параметры датчиков температуры, давления, влажности

Датчики температуры				
Напряжение питания, В	Ток, мА	Сопротивление, Ом	Температура среды, °C	Диапазон измерений, °C
12 ÷ 24	4 ÷ 20	< 500	-40 ÷ +60	-40 ÷ 500

Датчики давления			
Напряжение питания, В	Мощность, мВт	Температура среды, °C	Диапазон измерений, кПа
3 ÷ 10	5	-40 ÷ +70	0 ÷ 1000

Датчики влажности			
Напряжение питания, В	Ток, мкА	Температура среды, °C	Диапазон измерений RH, %
4 ÷ 5.8	200	-40 ÷ +85	0 ÷ 100

Приложение В

Типовые параметры фотодиодов, дозиметров, датчиков магнитного поля

Фотодиоды			
Напряжение питания, В	Мощность, мВт	Температура среды, °С	Спектральный диапазон, мкм
10 ÷ 35	150 ÷ 300	-40 ÷ +125	0.4 ÷ 1.1

Дозиметры			
Напряжение питания, В	Ток, мА	Температура среды, °С	Диапазон измеряемых значений мощности экспозиционной дозы, мкР/ч
6 ÷ 12	< 4	-15 ÷ +50	10 ÷ 99999

Датчики магнитного поля			
Напряжение питания, В	Ток, мА	Температура среды, °С	Диапазон измерений, мТл
4.5 ÷ 24	< 20	-40 ÷ +150	-0.6 ÷ +0.6

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА СВЕТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра организована в 1988 году в период активного развития оптоэлектроники как компонентной базы высокоскоростных систем передачи и обработки информации и ее выделения в самостоятельную область науки, техники и производства. Первоначальное название кафедры – кафедра твердотельной оптоэлектроники.

Специалисты кафедры обладают большим опытом научной, преподавательской и производственной деятельности, кафедра имеет оснащенные учебные и научные лаборатории.

Выпускники кафедры получают специальную подготовку по прикладной и физической оптике, физике твердого тела, полупроводниковой оптической технике, оптическим методам передачи и обработки информации, оптико-физическим измерениям, лазерной технике, волоконной и интегральной оптике, электронике, компьютерным технике и технологиям, оптико-электронным средствам массовой информации, экологии, иностранному языку, экономике, менеджменту и другим.

В 2015 году с целью достижения задачи попадания в 100 лучших ВУЗов Мира произошла реорганизация Университета, в результате кадровый состав кафедры пополнился ведущими российскими специалистами в своих областях, и кафедра получила современное название кафедра Световых технологий и оптоэлектроники.

Шерстобитова Александра Сергеевна

Датчики физических величин

Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж 100 экз.

Отпечатано на ризографе