

Оглавление

Предисловие к английскому изданию

Глава 1

Основные принципы измерений

- 1.1 Определение измерения
- 1.2 Зачем мы измеряем?
- 1.3 Теория измерений
- 1.4 Измерение нефизических величин

Глава 2

Измерение физических величин

- 2.1 Единицы, системы единиц и эталоны
 - Разность электрических потенциалов*
 - Электрический ток*
 - Электрическое сопротивление*
 - Емкость*
 - Индуктивность*
 - Частота*
- 2.2 Методы измерений
 - Метод отклонений, разностный метод и нулевой метод*
 - Метод чередования и метод подстановки*
 - Компенсационный и мостовой методы*
 - Метод аналогий*
 - Метод повторений*
 - Метод перечисления*
 - Стратегии измерений*
 - 1 Когерентные выборки*
 - 2 Случайные выборки*
 - 3 Мультиплексирование*
- 2.3 Теория ошибок
 - 2.3.1 Ошибки измерения
 - Систематические ошибки*
 - Случайные ошибки*
 - 2.3.2 Распространение ошибок
 - Систематические ошибки*
 - Случайные ошибки*
 - 2.3.3 Источники ошибок
 - 2.3.3.1 Обратное влияние на измеряемый объект: согласование
 - Анэнергетическое согласование*
 - Энергетическое согласование*
 - Согласование по шуму*
 - 2.3.3.2 Характеристики измерительных систем
 - Чувствительность*
 - Порог чувствительности*
 - Чувствительность к форме сигнала*
 - Разрешающая способность*
 - Нелинейность*
 - Пределы измерений, динамический диапазон*

Отклик системы
Системы нулевого порядка
Системы первого порядка
Системы второго порядка
Нелинейные системы

2.3.3.3 Помехи

Термоэлектричество
Токи утечки
Емкостная наводка помехи
Индуктивная наводка помехи
Помехи, возникающие из-за плохого заземления

2.3.3.4 Влияние наблюдателя: методы сопряжения

2.4. Структура измерительных систем

Датчики
Обработка сигналов
Устройства индикации
Регистрация данных
Управление, обратная связь

Глава 3.

Измерительные приборы в электрических измерениях

3.1 Введение

3.2 Входные преобразователи

3.2.1. Электромеханические датчики

Датчики смещения
Резистивные датчики смещения
Емкостные датчики смещения
Индуктивные датчики смещения
Оптические датчики смещения
Датчики скорости
Преобразование скорость-частота
Измерение скорости путем дифференцирования и интегрирования
Индуктивные датчики скорости
Датчики ускорения
Датчики усилий
Пьезоэлектрические датчики силы

3.2.2. Термоэлектрические датчики

Резистивные датчики температуры
Датчики температуры в интегральном исполнении
Термопары
Термометры излучения

3.2.3. Магнитоэлектрические датчики

3.3 Обработка сигнала

3.3.1 Аттенюаторы

Входные аттенюаторы
Делители напряжения
Характеристические аттенюаторы
Измерительные трансформаторы

3.3.2. Схемы компенсаторов

- 3.3.3. Измерительные мосты
- 3.3.4. Измерительные усилители
- 3.3.5. Нелинейная обработка сигнала
 - Пиковые детекторы*
 - Детекторы среднего значения*
 - Детекторы среднеквадратического значения*
- 3.3.6 Цифро-аналоговое и аналого-цифровое преобразование
 - Цифро-аналоговое преобразование*
 - Аналого-цифровое преобразование*
- 3.4 Устройства индикации в измерительных системах
- 3.4.1 Электромеханические устройства индикации
- 3.4.2 Электрооптические устройства индикации
- 3.5 Регистрация
- 3.5.1 Графическая запись
- 3.5.2 Магнитная запись
- 3.5.3 Электронная регистрация

Глава 4.

Электронные измерительные системы

- 4.1 Измерение частоты
- 4.2 Измерение фазы
- 4.3 Цифровые вольтметры
- 4.4 Осциллографы
 - Развертка*
 - Запуск развертки*
 - Многоканальный осциллограф*
 - Стробоскопический осциллограф*
 - Осциллографические усилители*
 - Измерительные пробники*
 - Точность*
- 4.5 Системы сбора данных
- 4.5.1 Введение
- 4.5.2. Оцифровывание
- 4.5.3 Теория квантования
- 4.5.4 Теория дискретизации по времени
- 4.5.5 Теория восстановления
- 4.5.6 Мультиплексирование
- 4.5.7 Автоматизированные измерительные системы
 - Шина IEEE-488*

Приложение

1. Система единиц SI

- 2. Запись результатов измерений
- 3. Децибелы
- 4. V- и I- величины

5. Таблицы

5.1. Физические константы

5.2. Коэффициенты перехода

5.3. Свойства материалов

Предметный указатель

Список литературы

Предисловие

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Книга Клааса Б. Клаассена закрывает существенный пробел в отечественной учебной литературе, являясь введением в технику электронных измерений. Соответствующая информация в нашей литературе традиционно разбросана по различным курсам: частично она излагается в учебниках физики, частично — в специальных курсах. Написанная на основе лекций, прочитанных автором в Дельфтском университете, книга сохраняет живость изложения; автор непринужденно переходит от фундаментальных аспектов к практическим и даже бытовым примерам. В отличие от стилистики отечественной учебной литературы, где основное внимание уделяется изложению предмета, акцент сделан на объяснении. Не все фигурирующие в тексте формулы строго выводятся, зато они сопровождаются комментариями относительно способа и области применения.

Условно книга К. Б. Клаассена может быть разбита на две части. В первой из них, имеющей более абстрактный характер, обсуждаются основы теории измерений, погрешности, системы единиц, физические эталоны и принципы измерений. Вторая часть книги имеет практическую направленность, включая в себя описание различных преобразователей и конкретных измерительных систем, вопросы оцифровки, борьбы с паразитными сигналами и шумами.

Книга адресована студентам — физикам и химикам младших курсов университетов, студентам технических университетов, а также инженерам и научным сотрудникам, желающим пополнить или освежить свои знания в области теории, методологии и техники измерений. Читатель должен ясно понимать, что, будучи вводным курсом, книга К. Б. Клаассена опускает без упоминания ряд принципиальных вопросов. Так, например, в книге вообще не затрагивается проблема измерения характеристик квантово-механических объектов и тесно связанные с ней и широко обсуждаемые в научной литературе последних лет вопросы квантовой криптографии и телепортации. Однако эта книга является идеальной для первого знакомства с предметом или в качестве справочника для широкого круга читателей.

В. Т. Долгополов,
профессор, д. ф.-м. н.
зав. лабораторией ИФТТ РАН

ПРЕДИСЛОВИЕ К АНГЛИЙСКОМУ ИЗДАНИЮ

Наша способность выполнять точные измерения является одним из фундаментальных факторов, позволяющих заниматься наукой и

техникой. Другими словами: «В физике существует только то, что можно измерить» (Макс Планк). Даже в нашей повседневной жизни постоянно происходит количественная оценка того, что доставлено или израсходовано (электрическая энергия), проверяется, имеет ли та или иная величина желаемое значение и не превосходит ли она допустимых пределов (кровенное давление), а также регистрация и контроль определенных количеств (в транспорте или в торговле).

У измерений давняя история. За четыре тысячелетия до Рождества Христова вавилоняне и египтяне уже проводили астрономические измерения. Несмотря на то, что сегодня это может выглядеть тривиальным, принятие повсюду в мире Предисловие к английскому изданию одной системы мер и весов (системы СИ) стало заметной вехой в области измерений.

Прогресс в электротехнике и грандиозные успехи электроники, в частности, привели к тому, что в настоящее время фактически все измерения производятся «в электрической области». Чтобы измерить неэлектрическую величину, применяют датчик для преобразования того, что должно быть измерено, из соответствующей неэлектрической области в электрический сигнал.

Цель этой книги состоит в том, чтобы рассмотреть основы теории и практики измерений и не только сообщить необходимые элементарные сведения, но и пробудить интуицию в отношении измерений. Таким образом, имеется в виду дать возможность студенту или инженеру, пользуясь этим учебником, самостоятельно решать его собственные задачи измерений. Выбран такой уровень подачи материала, при котором необходимо владение только самыми основными понятиями электротехники и знакомство с довольно элементарной математикой.

В этой книге в противоположность общепринятому принципу описания измерительных приборов и инструментов отдано предпочтение подходу, который можно назвать системно ориентированным. В главе 1 вслед за обсуждением таких вопросов, как «Что представляет собой измерение?» и «Зачем мы измеряем?», рассматриваются основополагающие принципы измерений (теория измерений). Глава 2 начинается с объяснения, что для кардинальных измерений, занимающих верхнее место в иерархии измерений, нужна система единиц. Затем показано, что для проведения оптимальных измерений (то есть измерений с требуемой точностью при наименьших затратах времени, усилий и средств) необходимо иметь представление о различных альтернативных методах измерений. С помощью измерения можно получить сведения о значении измеряемой величины лишь с определенной степенью достоверности; всегда имеются погрешности измерения. Поэтому в главе 2 дан анализ погрешностей, а именно: описываются типы ошибок и их распространение, а также причины, приводящие к их возникновению. То, посредством чего измерение осуществляется физически, то есть измерительная система, имеет определенную топологию, предусматривающую выполнение ряда различных функций: преобразование, фиксация и обработка сигнала, отображение и регистрация измеренной величины. Эти этапы измерения описываются в

главе 3. В следующей главе рассматриваются несколько примеров собственно электронных измерений, таких, как измерение частоты, фазы, напряжения и др. Основное внимание при этом уделяется полностью автоматизированным измерениям с использованием компьютера, в частности мультимплексированию, взятию выборок, наложению спектров, аналого-цифровому преобразованию, передаче данных по магистрали и т. д. В приложении приводятся система СИ, коэффициенты преобразования и некоторые другие сведения, полезные для тех, кто занимается измерениями.

В основу этого учебника лег конспект лекций по теории измерений и измерительной технике, которые автор читал студентам старших курсов, будучи профессором факультета электротехники Дельфтского технического университета в Нидерландах. Первоначально книга была издана на голландском языке, а в дальнейшем переведена на английский язык.

К. Б. Клаассен

Май 1995

Сан-Хосе, Калифорния, США