

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ (общий курс)

Под редакцией Е. Г. Шрамкова Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов энергетических и электротехнических специальностей вузов ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА» Москве — 1972

К. П. Дьяченко, Д. И. Зорин, П. В. Новицкий, Г. Н. Новопашенный, Л. А. Островский, П. Д. Пресняков, С. А. Спектор, М. М. Фетисов, Е. Г. Шрамков **Электрические измерения. Средства и методы измерений (общий курс)**. Под ред. Е. Г. Шрамкова. Учеб. пособие для вузов. М., «Высшая школа», 1972.

В учебном пособии описываются средства и методы измерений электрических и неэлектрических величин; достаточно широко освещается вопрос об измерительных преобразователях для измерения электрических, магнитных и неэлектрических величин; излагаются основные свойства средств измерений, погрешности измерений. В книге рассмотрены современные средства измерений: цифровые приборы, информационно-измерительные системы и т. д.

Предназначается для студентов энергетических и электротехнических специальностей вузов. Может быть полезно инженерно-техническим работникам, занимающимся вопросами измерений и измерительной техникой.

Рецензенты:

Кафедра информационно-измерительной техники Киевского политехнического института.
Докт. техн. наук, проф. Мелик-Шахназаров А. М.

Содержание книги Электрические измерения. Средства и методы измерений

Предисловие

Глава I. Введение в измерительную технику

§ 1.1. Научное и техническое содержание электроизмерительной техники

§ 1.2. Краткий исторический очерк развития электроизмерительной техники

§ 1.3. Электроизмерительная техника в народном хозяйстве и поддержание единства измерений в СССР и в международном масштабе

Часть первая. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Глава II. Классификация измерений, методов и средств измерений

§ 2.1. Классификация измерений

§ 2.2. Классификация методов измерений

§ 2.3. Классификация средств электрических измерений

Глава III. Основные свойства средств измерений

§ 3.1. Общие соображения

А. Статические характеристики и параметры средств измерений

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- § 3.2. Уравнение преобразования
- § 3.3. Чувствительность
- § 3.4. Погрешности
- § 3.5. Обобщенные сопротивления. Потребляемая мощность
- § 3.6. Быстродействие
- § 3.7. Надежность
- § 3.8. Экономичность

Б. Динамические характеристики и параметры средств измерений

- § 3.9. Методы оценки средств измерения в динамическом режиме
- § 3.10. Свойства дифференцирующего преобразователя
- § 3.11. Свойства интегрирующего преобразователя
- § 3.12. Свойства колебательного преобразователя
- § 3.13. Методы коррекции динамических погрешностей преобразователей

Глава IV. Элементы, отсчетные и регистрирующие устройства средств измерений

А. Электрические меры и параметрические элементы цепей средств измерений

- § 4.1. Общие соображения
- § 4.2. Резисторы
- § 4.3. Электрические конденсаторы
- § 4.4. Катушки индуктивности и взаимной индуктивности
- § 4.5. Нормальный элемент
- § 4.6. Стабилизаторы напряжения
- § 4.7. Микроэлектроника в электроизмерительных приборах и устройствах (В. С. Гутников)

Б. Отсчетные и регистрирующие устройства средств измерений

- § 4.8. Отсчетные устройства аналоговых приборов
- § 4.9. Отсчетные устройства цифровых приборов

Часть вторая. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

РАЗДЕЛ А. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Глава V. Электромеханические измерительные преобразователи

- § 5.1. Принцип устройства измерительных механизмов
- § 5.2. Общие выражения для вращающего момента, для уравнения преобразования и чувствительности
- § 5.3. Успокоители
- § 5.4. Разновидности ИМ
- § 5.5. Методика анализа свойств ИМ
- § 5.6. Астатические ИМ
- § 5.7. Логометрические ИМ — логометры
- § 5.8. Интегрирующие ИМ
- § 5.9. Обратные электромеханические преобразователи

Глава VI. Электрические измерительные преобразователи

- § 6.1. Виды преобразователей
- § 6.2. Добавочные резисторы
- § 6.3. Шунты
- § 6.4. Делители напряжения

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- § 6.5. Измерительные трансформаторы
- § 6.6. Термоэлектрические преобразователи
- § 6.7. Измерительные выпрямители
- § 6.8. Электронные усилители
- § 6.9. Гальванометрические усилители

Глава VII. Магнитные преобразователи

- § 7.1. Классификация
- § 7.2. Индукционные преобразователи
- § 7.3. Ферроиндукционные преобразователи
- § 7.4. Квантовые преобразователи
- § 7.5. Гальваномагнитные преобразователи
- § 7.6. Магнитомеханические преобразователи

РАЗДЕЛ Б. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Глава VIII. Резистивные преобразователи

- § 8.1. Реостатные преобразователи
- § 8.2. Тензочувствительные преобразователи (тензорезисторы) (М. М. Фетисов, И. В. Щеголева)

Глава IX. Электромагнитные преобразователи

- § 9.1. Индуктивные и взаимоиндуктивные (трансформаторные) преобразователи (М. М. Фетисов, Е. С. Левшина)
- § 9.2. Магнитоупругие преобразователи (М. М. Фетисов, И. И. Иванова)
- § 9.3. Индукционные преобразователи (М. М. Фетисов)

Глава X. Электростатические преобразователи

- § 10.1. Пьезоэлектрические преобразователи
- § 10.2. Емкостные преобразователи

Глава XI. Тепловые преобразователи

- § 11.1. Общие соображения
- § 11.2.
- § 11.3. Терморезисторы
- § 11.4. Преобразователи термометров сопротивления

Глава XII. Электрохимические преобразователи

- § 12.1. Основы принципа действия электрохимических преобразователей
- § 12.2. Гальванические преобразователи
- § 12.3. Резистивные электрохимические преобразователи
- § 12.4. Кулонометрические преобразователи
- § 12.5. Химотронные преобразователи

Часть третья. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Глава XIII. Погрешности измерений и методы обработки результатов измерений

- § 13.1. Общие соображения. Классификация погрешностей

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

§ 13.2. Систематические погрешности и методы их исключения

§ 13.3. Случайные погрешности и методы обработки результатов измерений

§ 13.4. Суммирование погрешностей

Глава XIV. Измерение напряжения, ЭДС, тока и количества электричества

§ 14.1. Общие вопросы измерения напряжения, э. д. с, тока и количества электричества

§ 14.2. Некоторые разновидности амперметров и вольтметров

§ 14.3. Счетчики количества электричества

§ 14.4. Высокочувствительные приборы отклонения

§ 14.5. Приборы сравнения для измерения напряжения и тока

§ 14.6. Измерение очень малых и весьма больших токов

Глава XV. Измерение параметров электрических цепей

§ 15.1. Общие соображения

А. Измерение сопротивления постоянному току

§ 15.2. Приборы непосредственной оценки

§ 15.3. Методы и приборы сравнения

§ 15.4. Косвенные методы измерений

Б. Измерение параметров цепей переменного тока

§ 15.5. Приборы непосредственной оценки — фарадаметры и генриметры

§ 15.6. Методы и приборы сравнения

§ 15.7. Косвенные методы измерений полных сопротивлений и их составляющих

Глава XVI. Измерение мощности и энергии

§ 16.1. Аналитические выражения мощности как основа методов измерений мощности и энергии

А. Измерение мощности и энергии в цепях постоянного и однофазного тока

§ 16.2. Электродинамические ваттметры

§ 16.3. Ферродинамические ваттметры

§ 16.4. Ваттметры с квадраторами

§ 16.5. Ваттметры с преобразователями Холла

§ 16.6. Компараторы мощности

§ 16.7. Косвенные методы измерений мощности

§ 16.8. Счетчики энергии переменного тока

§ 16.9. Счетчики энергии постоянного тока

Б. Измерение активной мощности и энергии в трехфазных цепях

§ 16.10. Методы измерения. Трехфазные ваттметры и счетчики

В. Измерение реактивной мощности и энергии и коэффициента мощности

§ 16.11. Общие соображения об измерении реактивной мощности и энергии

§ 16.12. Измерение реактивной мощности и энергии в трехфазных цепях

§ 16.13. Измерение коэффициента мощности

Г. Применение измерительных трансформаторов с ваттметрами и счетчиками

§ 16.14. Схемы включения и погрешности, вносимые трансформаторами

Глава XVII. Регистрирующие измерительные приборы

§ 17.1. Общие соображения

А. Самопишущие приборы

§ 17.2. Виды приборов

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Б. Осциллографы

§ 17.3. Общие соображения

а. Электромеханические светолучевые осциллографы

§ 17.4. Принцип устройства

§ 17.5. Вибраторы

§ 17.6. Отметчики времени

§ 17.7. Устройство промышленных типов осциллографов

§ 17.8. Выбор вибраторов и их градуировка

б. Электроннолучевые осциллографы

§ 17.9. Принцип действия электроннолучевой трубки

§ 17.10. Развертки

§ 17.11. Структурная схема осциллографа

§ 17.12. Свойства и применение осциллографа

§ 17.13. Особенности устройства импульсного осциллографа

§ 17.14. Электроннолучевой осциллограф с фотозаписью и механической разверткой во времени

Глава XVIII. Измерение частоты, разности фаз и анализ кривых переменного тока

А. Измерение частоты

§ 18.1. Общие соображения

§ 18.2. Приборы непосредственной оценки

§ 18.3. Методы и приборы сравнения

Б. Измерение разности фаз

§ 18.4. Общие соображения

§ 18.5. Определение разности фаз путем наблюдения и фиксации исследуемых процессов во времени

§ 18.6. Измерение разности фаз между током и напряжением

§ 18.7. Измерение разности фаз между двумя напряжениями

§ 18.8. Метод сравнения

В. Анализ кривых переменного тока

§ 18.9. Общие соображения

§ 18.10. Анализаторы гармоник

§ 18.11. Измерители нелинейных искажений

Часть четвертая. МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Глава XIX. Измерение параметров магнитного поля

А. Введение

§ 19.1. Основные задачи магнитных измерений

§ 19.2. Метрологическая основа магнитных измерений

§ 19.3. Общие соображения о методах и средствах магнитных измерений

Б. Измерение магнитного потока в постоянном магнитном поле

§ 19.4. Индукционно-импульсный метод непосредственной оценки

§ 19.5. Нулевой индукционно-импульсный метод

§ 19.6. Погрешности измерения потока индукционно-импульсным методом

В. Измерение магнитного потока в переменном магнитном поле

§ 19.7. Индукционный метод

В. Определение плотности магнитного потока (индукции)

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- § 19.8. Применение индукционных преобразователей
- § 19.9. Экспериментальное определение напряженности поля
- § 19.10. Тесламетры с преобразователем Холла
- § 19.11. Тесламетры с преобразователем ядерного магнитного резонанса (ЯМР)
- § 19.12. Магнитные компараторы
- § 19.13. Тесламетры, использующие эффекты сверхпроводимости

Глава XX. Измерение магнитных характеристик магнитных материалов

А. Некоторые сведения о магнитных характеристиках материалов

- § 20.1. Общие соображения
- § 20.2. Статические характеристики
- § 20.3. Динамические характеристики

Б. Магнитные цепи, намагничивающие устройства и образцы для испытания

- § 20.4. Общие положения
- § 20.5. Разомкнутая магнитная цепь
- § 20.6. Замкнутая магнитная цепь только из испытуемого материала
- § 20.7. Замкнутая магнитная цепь с прямолинейным образцом и ферромагнитным ярмом — пермеаметр
- § 20.8. Источники систематических погрешностей общего характера при определении магнитных характеристик

В. Определение статических магнитных характеристик

- § 20.9. Общие соображения
- § 20.10. Индукционно-импульсный метод определения кривых намагничивания
- § 20.11. Испытания образцов в разомкнутой магнитной цепи
- § 20.12. Установки, выпускаемые промышленностью СССР
- § 20.13. Автоматизация измерений при определении статических характеристик

Г. Определение динамических характеристик

- § 20.14. Общие соображения

Д. Определение основных динамических кривых намагничивания

- § 20.15. Применение вольтметров и амперметров
- § 20.16. Применение компенсаторов переменного тока

Е. Определение динамических петель перемагничивания

- § 20.17. Применение электронного осциллоскопа (осциллографа)
- § 20.18. Применение вольтметров с управляемыми выпрямителями

Ж. Определение комплексной магнитной проницаемости

- § 20.19. Применение мостовых цепей и вычислительных устройств

З. Определение потерь

- § 20.20. Определение потерь ваттметром
- § 20.21. Определение потерь компенсатором
- § 20.22. Определение потерь мостом
- § 20.23. Определение магнитных характеристик материалов при импульсном намагничивании
- § 20.24. Средства измерения для определения динамических характеристик, изготавливаемые промышленностью СССР

Часть пятая. ИЗМЕРЕНИЕ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Глава XXI. Измерение угловых и линейных размеров

- § 21.1. Общие соображения
- § 21.2. Измерение угловых размеров
- § 21.3. Измерение расстояний
- § 21.4. Измерение уровней
- § 21.5. Измерение размеров в машиностроении

Глава XXII. Измерение механических усилий, давлений и напряжений

- § 22.1. Общие соображения
- § 22.2. Измерение усилий
- § 22.3. Измерение давлений
- § 22.4. Измерение усилий методом уравнивания
- § 22.5. Цифровые приборы для измерения усилий

Глава XXIII. Измерение параметров движения

- § 23.1. Общие соображения
- § 23.2. Измерение пути, скорости и расхода
- § 23.3. Измерение параметров вибраций и постоянных ускорений

Глава XXIV. Измерение температур

- § 24.1. Общие соображения
- § 24.2. Контактные методы измерения низких и средних температур
- § 24.3. Контактные методы измерения высоких температур
- § 24.4. Бесконтактные методы измерения средних и высоких температур

Глава XXV. Измерение состава и концентрации вещества

- § 25.1. Общие соображения
- § 25.2. Электрохимические методы
- § 25.3. Ионизационные методы
- § 25.4. Спектрометрические методы
- § 25.5. Тепловые, магнитные и емкостные методы
- § 25.6. Хроматографический метод

Часть шестая. ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Глава XXVI. Цифровые измерительные приборы

- § 26.1. Основные определения
- § 26.2. Системы счисления
- § 26.3. Дешифраторы
- § 26.4. ЦИП пространственного кодирования
- § 26.5. ЦИП время- и частотно-импульсного кодирования
- § 26.6. ЦИП дискретного уравнивания

Глава XXVII. Информационно-измерительные системы

- § 27.1. Общие сведения
- § 27.2. Основные узлы информационно-измерительной системы
- § 27.3. Примеры выполнения информационно-измерительной системы

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Литература

ПРЕДИСЛОВИЕ

Измерительная техника, в том числе и электроизмерительная, как наиболее универсальная по своим возможностям, за последние годы претерпела существенные качественные изменения. Возникли новые виды средств измерений: измерительные преобразователи, основанные на самых различных физических явлениях и осуществляющие преобразование практически любых физических величин в электрические сигналы, в том числе дискретные; цифровые средства измерений — приборы с цифровым отсчетом и регистрацией; автоматические информационно-измерительные системы, позволяющие производить измерения многих величин в большом числе пунктов с логическими устройствами для обработки результатов измерений, и др. Для измерений широко используется электронная, полупроводниковая, импульсная техника. Расширились области применения электрических методов для измерений различных неэлектрических величин. Значительно возросли требования отношения диапазонов измеряемых величин, точности измерений, условий измерений (высокие и низкие температуры, вибрации, ускорения и др.) на Земле, в космическом пространстве, в глубинах океана. Наряду с величинами детерминированными требуется измерять также величины, характеризующие случайные процессы.

Настоящая книга написана как пособие по курсу «Электрические измерения», изучаемому студентами электрических и энергетических специальностей высших учебных заведений. В данном учебном пособии, в отличие от аналогичных изданных книг, сделана попытка расширить разделы, относящиеся к измерениям неэлектрических величин. Это, при ограниченном объеме настоящей книги, потребовало сокращения материала по измерениям электрических величин.

Относительно большое место в данном пособии уделено основным сведениям об измерении и средствах измерений (в первую очередь измерительным преобразователям, являющимся основой всех средств измерений электрических, магнитных и неэлектрических величин). Авторы книги полагают, что изучение этого материала будет способствовать расширению представлений о возможностях электроизмерительной техники, а полученные конкретные знания облегчат решение практических измерительных задач и в тех случаях, когда имеющиеся готовые средства измерений, выпускаемые промышленностью, не могут быть использованы.

Описание важнейших средств измерений и их исследований, а также рассмотрение общих вопросов по постановке и проведению экспериментов будут даны в следующей книге.

Учебное пособие написано авторским коллективом сотрудников кафедры информационно-измерительной техники Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина, в который вошли К. П. Дьяченко, Д. И. Зорин, П. В. Новицкий, Г. Н. Новопашенный, Л. А. Островский, П. Д. Пресняков, С. А. Спектор, М. М. Фетисов, Е. Г. Шрамков. В написании отдельных разделов и параграфов книги приняли участие сотрудники той же кафедры: В. С. Гутников, И. А. Зограф, И. И. Иванова, В. Г. Кнорринг, Е. С. Левшина, И. В. Щеголева.

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Авторы глубоко признательны докт. техн. наук, проф. А. М. Мелик-Шахназарову, докт. техн. наук, проф. П. П. Орнатскому и сотрудникам руководимых ими кафедр за большой труд по рецензированию рукописи и ценные замечания.

Авторы считают приятным долгом выразить также благодарность докторам технических наук Д. К. Коллерову, К. П. Широкову, С. В. Горбацевичу и кандидатам технических наук Е. Ф. Долинскому, Я. М. Цейтлину, Н. Б. Докукиной, ознакомившимся с отдельными разделами рукописи книги и сделавшим ряд существенных замечаний.

[Скачать книгу](#) Под редакцией Шрамкова Е. Г. Электрические измерения. Средства и методы измерений (общий курс). Издательство "Высшая школа", Москва, 1972