

М. Л. Дектерев, В. А. Комаров,
Г. О. Преснякова, А. В. Сарафанов, А. Г. Суковатый,
Д. Ю. Худоногов, Д. Н. Володина, А. А. Трухин

Исследования физических явлений в электрических цепях с применением интернет-технологий

*Допущено УМО по образованию
в области прикладной математики и управления качеством
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 221400
«Управление качеством»*



Москва, 2015

УДК 004+537.8
ББК 32.973.26-018.1
С28

Р е ц е н з е н т ы:

Шайдуров В. В., директор Института вычислительного моделирования СО РАН, член-корреспондент РАН;
Юрков Н. К., зав. кафедрой «Конструирование и производство радиоаппаратуры» Пензинского государственного университета, доктор технических наук, профессор

Дектерев М. Л., Комаров В. А., Преснякова Г. О., Сарафанов А. В., Суковатый А. Г., Худоногов Д. Ю., Володина Д. Н., Трухин А. А.
С28 Исследования физических явлений в электрических цепях с применением интернет-технологий: учеб. пособие / М. Л. Дектерев, В. А. Комаров, А. Г. Суковатый, Д. Ю. Худоногов и др.; под ред. А. В. Сарафanova. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 432 с.

ISBN 978-5-94074-063-4

В книге рассмотрены основные задачи и особенности организации лабораторных исследований с удаленным доступом в электрических цепях; приведено описание специализированного сетевого учебно-исследовательского аппаратно-программного комплекса «Физика. Электродинамика», разработанного с применением технологий National Instruments, на базе которого выполняются лабораторные исследования; разобраны методики математического моделирования физических процессов в электрических цепях с применением системы OrCAD; даны задания и методические указания к циклу лабораторных работ по экспериментальному исследованию и математическому моделированию физических явлений в электрических цепях (однородный участок цепи, RC- и RL-цепи; последовательный колебательный контур; цепи с германиевым и кремниевым полупроводниковыми диодами).

Издание предназначено для студентов технических и естественно-научных направлений вузов, учащихся профтехучилищ и колледжей.

УДК 004+537.8
ББК 32.973.26-018.1

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

© Коллектив авторов, 2015

ISBN 978-5-94074-063-4

© Издание, оформление, ДМК Пресс, 2015

Содержание

Введение	13
Список сокращений	19

▼ ГЛАВА 1

Интернет-технологии в производственной, научной и образовательной сферах деятельности.....	21
1.1. Распределенные измерительно-управляющие системы	21
1.2. Примеры применения распределенных измерительно-управляющих систем	23
1.3. Многопользовательские распределенные измерительно-управляющие системы	32

▼ ГЛАВА 2

Сетевой учебно-исследовательский аппаратно-программный комплекс «Физика. Электродинамика»	35
2.1. Схема организации лабораторных исследований.....	35
2.2. Автоматизированный лабораторный макет.....	37
2.3. Инstrumentальное обеспечение.....	40
2.4. Клиентское программное обеспечение.....	42
2.4.1. Виртуальные приборы	43
2.4.2. Виртуальные лабораторные стенды	44

▼ ГЛАВА 3**Сетевая лаборатория «Физика. Электродинамика» 47**

3.1. Основные характеристики сетевой лаборатории «Физика. Электродинамика»	47
3.2. Виртуальный рабочий стол администратора.....	51
3.3. Ресурсы рабочего стола преподавателя.....	52
3.4. Ресурсы рабочего стола студента	55
3.4.1. Рабочий стол студента. Структура	55
3.4.2. Рабочий стол студента. Интерфейс «Мои лабораторные работы»	56
3.4.3. Рабочий стол студента. Уровень выполнения лабораторных исследований.....	61
3.4.4. Рабочий стол студента. Компьютерная проверка знаний тестированием.....	65
3.4.5. Рабочий стол студента. Интерфейс «Коммуникации»	68
3.5. Выполнение лабораторных исследований на базе сетевой лаборатории «Физика. Электродинамика»	70

▼ ГЛАВА 4**Лабораторные работы, выполняемые на базе СУИАПК****«Физика. Электродинамика» 77**

Лабораторная работа 1. Изучение принципов обработки данных физического эксперимента	77
4.1.1. Цель лабораторной работы.....	77
4.1.2. Задачи лабораторной работы	77
4.1.3. Краткие теоретические сведения	77
4.1.3.1. Классификация погрешностей измерений.....	77
4.1.3.2. Некоторые элементарные представления из теории случайных величин	79
4.1.3.3. Обработка результатов прямых измерений	84
4.1.3.4. Обработка результатов косвенных измерений	86
4.1.3.5. Метод наименьших квадратов	87
4.1.4. Описание ВЛС «Изучение принципов обработки данных физического эксперимента»	90
4.1.5. Задания на выполнение лабораторной работы.....	92
4.1.5.1. Задания для проведения измерений в ручном режиме.....	92
4.1.6. Порядок выполнения работы	93
4.1.6.1. Проведение измерений в ручном режиме	93
4.1.6.2. Обработка результатов ручных измерений	96
4.1.7. Контрольные вопросы	98
4.1.8. Требования к оформлению отчета.....	98

4.1.8.1. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в ручном режиме	98
4.1.9. Список литературы и интернет-ресурсов	99
Лабораторная работа 2. Закон Ома. Однородный участок цепи	100
4.2.1. Цель лабораторной работы	100
4.2.2. Задачи лабораторной работы	100
4.2.3. Краткие теоретические сведения. Закон Ома для однородного участка цепи	100
4.2.4. Описание ВЛС «Закон Ома. Однородный участок цепи»	104
4.2.5. Задания на выполнение лабораторной работы.....	109
4.2.5.1. Задания для проведения измерений в ручном режиме.....	109
4.2.5.2. Задания для проведения измерений в автоматическом режиме ...	109
4.2.5.3. Математическое моделирование.....	110
4.2.6. Порядок выполнения работы	110
4.2.6.1. Проведение измерений в ручном режиме	110
4.2.6.2. Порядок обработки результатов ручных измерений	112
4.2.6.3. Порядок проведения измерений в автоматическом режиме	112
4.2.6.4. Порядок обработки результатов автоматических измерений	118
4.2.7. Контрольные вопросы	118
4.2.8. Требования к оформлению отчета	118
4.2.8.1. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в ручном режиме	118
4.2.8.2. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в автоматическом режиме.....	119
4.2.8.3. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении исследований средствами математического моделирования.....	120
4.2.9. Список литературы и интернет-ресурсов	120
Лабораторная работа 3. Обобщенный закон Ома. Измерение мощности и КПД источника тока в зависимости от величины внешнего сопротивления (сопротивления нагрузки)	121
4.3.1. Цель лабораторной работы	121
4.3.2. Задачи лабораторной работы.....	121
4.3.3. Краткие теоретические сведения	121
4.3.4. Описание ВЛС «Исследование мощности и КПД источника тока»	126
4.3.5. Задания на выполнение лабораторной работы.....	130
4.3.5.1. Задания для проведения измерений в ручном режиме	130
4.3.5.2. Задания для проведения измерений в автоматическом режиме	132
4.3.5.3. Математическое моделирование.....	132
4.3.6. Порядок выполнения работы	133
4.3.6.1. Проведение измерений в ручном режиме	133
4.3.6.2. Обработка результатов ручных измерений.....	135
4.3.6.3. Проведение измерений в автоматическом режиме.....	136
4.3.6.4. Обработка результатов автоматических измерений	141
4.3.7. Контрольные вопросы	142

4.3.8. Требования к оформлению отчета	142
4.3.8.1. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в ручном режиме	142
4.3.8.2. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в автоматическом режиме	143
4.3.8.3. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении исследований средствами математического моделирования	143
4.3.9. Список литературы и интернет-ресурсов	144
Лабораторная работа 4. Переходные процессы. Изучение процессов в цепи с конденсатором	144
4.4.1. Цель лабораторной работы	144
4.4.2. Задачи лабораторной работы	144
4.4.3. Краткие теоретические сведения	145
4.4.3.1. Переходные процессы. Квазистационарные токи	145
4.4.3.2. Переходные процессы. Разрядка конденсатора	145
4.4.3.3. Переходные процессы. Заряд конденсатора	147
4.4.4. Описание ВЛС «Переходные процессы в цепи с конденсатором»	150
4.4.5. Задания на выполнение лабораторной работы	153
4.4.5.1. Задания для проведения измерений в автоматическом режиме	153
4.4.5.2. Математическое моделирование	154
4.4.6. Порядок выполнения работы	154
4.4.6.1. Проведение измерений в автоматическом режиме	154
4.4.6.2. Обработка результатов автоматических измерений	158
4.4.6. Контрольные вопросы	159
4.4.7. Требования к оформлению отчета	159
4.4.7.1. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в автоматическом режиме	159
4.4.7.2. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении исследований средствами математического моделирования	160
4.4.8. Список литературы и интернет-ресурсов	160
Лабораторная работа 5. Переходные процессы. Изучение процессов в <i>RL</i> -цепи с индуктивностью	161
4.5.1. Цель лабораторной работы	161
4.5.2. Задачи лабораторной работы	161
4.5.3. Краткие теоретические сведения	161
4.5.3.1. Переходные процессы. Квазистационарные токи	161
4.5.3.2. Переходные процессы. Токи при замыкании цепи	162
4.5.3.3. Переходные процессы. Размыкание цепи	164
4.5.4. Описание ВЛС «Переходные процессы в цепи с индуктивностью»	166
4.5.5. Задания на выполнение лабораторной работы	170
4.5.5.1. Задания для проведения измерений в автоматическом режиме	170
4.5.5.2. Математическое моделирование	171
4.5.6. Порядок выполнения работы	171
4.5.6.1. Проведение измерений в автоматическом режиме	171

4.5.6.2. Обработка результатов автоматических измерений	175
4.5.7. Контрольные вопросы	176
4.5.8. Требования к оформлению отчета	176
4.5.8.1. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в автоматическом режиме	176
4.5.8.2. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении исследований средствами математического моделирования	177
4.5.9. Список литературы и интернет-ресурсов	177
Лабораторная работа 6. Полупроводниковые приборы. Изучение диода	178
4.6.1. Цель лабораторной работы	178
4.6.2. Задачи лабораторной работы	178
4.6.3. Краткие теоретические сведения	178
4.6.3.1. Строение полупроводников. Зонная теория	178
4.6.3.2. Собственная проводимость	181
4.6.3.3. Примесная проводимость	183
4.6.3.4. Р-п-переход в полупроводниках	186
4.6.3.5. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода	187
4.6.3.6. Сопротивление диода	191
4.6.4. Описание ВЛС «Изучение полупроводникового диода»	193
4.6.5. Задания на выполнение лабораторной работы	197
4.6.5.1. Задания для проведения ручных измерений	197
4.6.5.2. Математическое моделирование	198
4.6.5.3. Задания для проведения измерений в автоматическом режиме	198
4.6.6. Порядок выполнения работы	198
4.6.6.1. Проведение измерений в ручном режиме	198
4.6.6.2. Обработка результатов ручных измерений	200
4.6.6.3. Проведение измерений в автоматическом режиме	201
4.6.6.4. Обработка результатов автоматических измерений	205
4.6.7. Контрольные вопросы	205
4.6.8. Требования к оформлению отчета	206
4.6.8.1. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в ручном режиме	206
4.6.8.2. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в автоматическом режиме	206
4.6.8.3. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении исследований средствами математического моделирования	207
4.6.9. Список литературы и интернет-ресурсов	208
Лабораторная работа 7. Электрические колебания. Свободные затухающие колебания в RLC -контуре	208
4.7.1. Цель лабораторной работы	208
4.7.2. Задачи лабораторной работы	208
4.7.3. Краткие теоретические сведения	209
4.7.3.1. Колебательный контур. Квазистационарные токи	209
4.7.3.2. Свободные колебания в LC -контуре	209

4.7.3.2. Свободные затухающие колебания в <i>RLC</i> -контуре	214
4.7.4. Описание ВЛС «Изучение затухающих электрических колебаний»	219
4.7.5. Задание на выполнение лабораторной работы	224
4.7.5.1. Задания для проведения измерений в ручном режиме	224
4.7.5.2. Задания для проведения измерений в автоматическом режиме	224
4.7.5.3. Математическое моделирование	225
4.7.6. Порядок выполнения работы	225
4.7.6.1. Проведение измерений в ручном режиме	225
4.7.6.2. Обработка результатов ручных измерений	229
4.7.6.3. Проведение измерений в автоматическом режиме	230
4.7.6.4. Обработка результатов автоматических измерений	240
4.7.7. Контрольные вопросы	242
4.7.8. Требования к оформлению отчета	242
4.7.8.1. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в ручном режиме	242
4.7.8.2. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в автоматическом режиме	244
4.7.8.3. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении исследований средствами математического моделирования	246
4.7.9. Список литературы и интернет-ресурсов	246
Лабораторная работа 8. Электрические колебания. Последовательный <i>RLC</i> -контур	247
4.8.1. Цель лабораторной работы	247
4.8.2. Задачи лабораторной работы	247
4.8.3. Краткие теоретические сведения	247
4.8.3.1. Метод векторных диаграмм	247
4.8.3.2. Вынужденные электрические колебания в колебательном контуре	249
4.8.3.3. Определение добротности <i>RLC</i> -контура	257
4.8.4. Описание ВЛС «Изучение последовательного <i>RLC</i> -контура»	260
4.8.5. Задания на выполнение лабораторной работы	265
4.8.5.1. Задания для проведения измерений в ручном режиме	265
4.8.5.2. Задания для проведения измерений в автоматическом режиме	267
4.8.5.3. Математическое моделирование	267
4.8.6. Порядок выполнения работы	268
4.8.6.1. Проведение измерений в ручном режиме	268
4.8.6.2. Обработка результатов ручных измерений	269
4.8.6.3. Проведение измерений в автоматическом режиме	271
4.8.6.4. Обработка результатов автоматических измерений	279
4.8.7. Контрольные вопросы	282
4.8.8. Требования к оформлению отчета	282

4.8.8.1. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в ручном режиме	282
4.8.8.2. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в автоматическом режиме	284
4.8.8.3. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении исследований средствами математического моделирования	286
4.8.9. Список литературы и интернет-ресурсов	286
Лабораторная работа 9. Переменный ток. Определение реактивного и полного сопротивлений цепи переменного тока	287
4.9.1. Цель лабораторной работы	287
4.9.2. Задачи лабораторной работы	287
4.9.3. Краткие теоретические сведения	287
4.9.3.1. Переменный ток. Квазистационарные токи	287
4.9.3.2. Активное сопротивление в цепи переменного тока	288
4.9.3.3. Конденсатор в цепи переменного тока	291
4.9.3.4. Катушка индуктивности в цепи переменного тока	294
4.9.3.5. Последовательное соединение резистора, конденсатора и катушки индуктивности в цепи переменного тока	297
4.9.3.6. Применение метода векторных диаграмм	298
4.9.3.7. Резонанс напряжений	301
4.9.4. Описание ВЛС «Определение сопротивлений цепи переменного тока»	304
4.9.5. Задания на выполнение лабораторной работы	308
4.9.5.1. Задания для проведения измерений в ручном режиме	308
4.9.5.2. Задания для проведения измерений в автоматическом режиме	310
4.9.5.3. Математическое моделирование	311
4.9.6. Порядок выполнения работы	311
4.9.6.1. Проведение измерений в ручном режиме	311
4.9.6.2. Обработка результатов ручных измерений	314
4.9.6.3. Проведение измерений в автоматическом режиме	315
4.9.6.4. Обработка результатов автоматических измерений	322
4.9.7. Контрольные вопросы	324
4.9.8. Требования к оформлению отчета	325
4.9.8.1. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в ручном режиме	325
4.9.8.2. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении измерений в автоматическом режиме	326
4.9.8.3. Содержание отчета по лабораторной работе при проведении исследований средствами математического моделирования	328
4.9.9. Список литературы и интернет-ресурсов	328

▼ ГЛАВА 5

Программное и методическое обеспечение для исследования физических явлений в электрических цепях с применением методов математического моделирования на ПЭВМ 330

5.1. Программное обеспечение для математического моделирования.....	330
5.2. Виды анализа, применяемые при математическом моделировании физических явлений в электрических цепях	334
5.2.1. Анализ режима работы схемы по постоянному току	334
5.2.2. Анализ режима по постоянному току при вариации источника постоянного напряжения или тока	334
5.2.3. Анализ режима работы схемы во временной области.....	337
5.2.4. Анализ режима работы схемы в частотной области	339
5.2.5. Параметрический анализ.....	341
5.3. Методики исследования физических явлений в электрических цепях при помощи методов математического моделирования на ПЭВМ.....	345
5.3.1. Закон Ома. Обобщенная методика исследования на ПЭВМ зависимости тока от напряжения	345
5.3.1.1. Измерение зависимости силы тока от разности потенциалов участка цепи	346
5.3.1.2. Измерение зависимости силы тока от сопротивления участка цепи.....	346
5.3.2. Обобщенный Закон Ома. Методика моделирования на ПЭВМ измерения мощности и КПД источника тока	348
5.3.2.1. Измерение зависимости силы тока, полной мощности, мощности, выделенной во внешней цепи, КПД источника тока от сопротивления на внешнем участке цепи при постоянном значении внутреннего сопротивления.....	348
5.3.2.2. Измерение зависимости силы тока, полной мощности, мощности, выделенной во внешней цепи, КПД источника тока от сопротивления на внешнем участке цепи при постоянном значении ЭДС	349
5.3.2.3. Измерение зависимости силы тока, полной мощности, полезной мощности от внешнего сопротивления для различных значений ЭДС	349
5.3.2.4. Измерение зависимости КПД от внешнего сопротивления	349
5.3.3. Переходные процессы. Методика моделирования на ПЭВМ переходных процессов в цепи с конденсатором	350
5.3.3.1. Измерение временной зависимости силы тока при постоянном значении сопротивления.....	351
5.3.3.2. Измерение временной зависимости силы тока при постоянной емкости	351

5.3.4. Переходные процессы. Методика моделирования на ПЭВМ переходных процессов в цепи с индуктивностью	352
5.3.4.1. Измерение временной зависимости силы тока при постоянном значении сопротивления.....	352
5.3.4.2. Измерение временной зависимости силы тока при постоянной индуктивности	354
5.3.5. Полупроводниковые приборы. Методика исследования диода средствами математического моделирования на ПЭВМ.....	354
5.3.5.1. Измерение вольт-амперной характеристики полупроводникового диода	354
5.3.6. Электрические колебания. Свободные затухающие колебания в <i>RLC</i> -контуре	356
5.3.6.1. Измерение зависимостей силы тока от времени при различных параметрах <i>RLC</i> -контура.....	357
5.3.7. Электрические колебания. Методика моделирования на ПЭВМ вынужденных электрических колебаний в <i>RLC</i> -контуре	358
5.3.7.1. Измерение зависимостей амплитудных значений тока, напряжений на емкости, индуктивности и сопротивлении при различных параметрах <i>RLC</i> -контура.....	359
5.3.7.2. Измерение семейства резонансных кривых амплитудных значений силы тока при параметрах <i>RLC</i> -контура.....	360
5.3.7.3. Измерение семейства резонансных кривых амплитудных значений напряжений на емкости, индуктивности и сопротивлении при различных параметрах <i>RLC</i> -контура.....	361
5.3.8. Переменный ток. Методика исследования активного индуктивного и емкостного сопротивления средствами моделирования на ПЭВМ	362
5.3.8.1. Измерение амплитудных значений силы тока, фазы и полного сопротивления цепи переменного тока	362
5.3.8.2. Измерение частотных зависимостей фазы и полного сопротивления цепи переменного тока	364
Заключение	366

▼ ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Основные термины и определения	368
---------------------------------------------	------------

▼ ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Компьютерные измерительные технологии	373
DataSocket	373
Система LABVIEW	373
Компьютерные измерительные технологии National Instruments.....	376

▼ ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Примеры обработки экспериментальных данных 383

П3.1. Пример обработки результатов прямых измерений	383
П3.2. Пример нахождения частных производных	385
П3.3. Пример обработки результатов косвенных измерений	386
П3.4. Пример использования метода наименьших квадратов	388
П3.5. Пример определения сопротивления участка цепи на основании экспериментальной вольт-амперной характеристики	390
П3.6. Пример определения полной, полезной мощности и мощности, выделенной на внутреннем участке цепи	393
П3.6.1. Полная мощность источника тока	393
П3.6.2. Полезная мощность источника тока	395
П3.6.3. Мощность, выделенная на внутреннем участке цепи	395
П3.7. Пример определения внутреннего сопротивления источника на основании экспериментальной зависимости полезной мощности от сопротивления нагрузки $P_R(R)$	397
П3.8. Пример определения внутреннего сопротивления источника на основании экспериментальной зависимости КПД от сопротивления нагрузки $\eta(R)$	400
П3.9. Пример определения времени релаксации для RC-цепи	403
П3.10. Пример определения времени релаксации RL-цепи на основе экспериментальной зависимости $I(t)$	405
П3.11. Пример определения внутреннего сопротивления диода	407
П3.12. Пример определения параметров затухающих колебаний	411
П3.13. Пример определения добротности последовательного RLC-контура по экспериментальной резонансной кривой $U_{\text{co}}(\omega)$	413
П3.14. Пример определения резонансной частоты по экспериментальным АЧХ силы тока $I(\omega)$ и частной зависимости полного сопротивления цепи переменного тока $Z(\omega)$	415

▼ ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Международная система единиц СИ (OT SI, фр. Système International D'unités – система международная) 419

Библиографический список 426

Введение

Сегодня практически все области человеческой деятельности сталкиваются с быстро растущими проблемами, связанными с обработкой большого количества данных, получаемых средствами компьютерных технологий. Такие данные генерируются, например, аппаратно-программными комплексами различного назначения (промышленного, медицинского, научно-исследовательского, учебного и т. п.). В этой связи в повседневной деятельности появились специфические понятия, например такие, как *e-tools*, *e-Science*, *e-Learning*, которые соответственно обозначают «электронный инструментарий», «электронные научные исследования», «электронное обучение». Все эти понятия подразумевают широкое применение информационно-телекоммуникационных технологий, интернет-технологий, компьютерных измерительных технологий, которые приводят к организационным изменениям в соответствующих предметных областях. В частности, активное использование *e-Science* позволяет исследователю кардинально изменить методику проведения физических экспериментов, используя электронный инструментарий *e-tools* (приборную базу, интегрированную с информационными и компьютерными измерительными технологиями). Такая методика обеспечивает территориальное распределение научных коллективов, удаленный доступ к научному оборудованию, вычислительным и информационным ресурсам (в том числе к распределенным базам данных) и т. д. [1–4].

Таким образом, например, *e-Science* позволяет сегодня реализовывать процессы и системы различной сложности, визуализировать экспериментальные данные, прогнозировать и управлять данными, обеспечивая этим самым разнообразие научных подходов к решению исследовательских задач, способствовать развитию как отдельных научных подразделений, так и целых виртуальных научных организаций [5–8].

Применение *e-tools* в естественно-научных/физических исследованиях, по мнению авторов, открывает широкие возможности для ор-

ганизации работ с уникальным экспериментальным оборудованием в режиме удаленного доступа, обеспечивающего проведение интернет-исследований физических объектов в режиме *remotesensing* (удаленного зондирования). В рамках развития данного направления все больше находит применение многопользовательский режим, позволяющий организовать как одновременное изучение образца различными пользователями *на основе собственной траектории исследований*, так и *совместное исследование объекта группой ученых* [9–11]. Многопользовательский режим находит также широкое применение при реализации различных методических подходов в рамках *e-Learning*.

Касаясь вопроса управления экспериментальным оборудованием по сетям Интранет/Интернет, следует отметить, что в настоящее время на базе компьютерных измерительных технологий (КИТ) разработан достаточно широкий спектр систем измерения и управления физическими параметрами различных объектов. В состав таких систем входят аппаратно-программные комплексы, созданные на основе унифицированных решений КИТ, включающие уникальные лабораторные установки, стенды и приборы, которые управляются непосредственно через ПЭВМ (см., например, [10–23, 30, 31, 35, 38]). Подобные системы находят применение при реализации различных методик в рамках *e-Learning*.

Таким образом, активное внедрение технологий *e-tools*, *e-Science*, *e-Learning* кардинально меняет организационную и техническую составляющие современных специалистов, работающих в высокотехнологических отраслях, современных исследователей и студентов. В этой связи студентам очень важно освоить подобный инструментарий для уверенного вхождения в современные профессиональные сообщества.

В данной книге рассмотрены организационные, технические и методические вопросы выполнения лабораторных исследований на базе сетевого учебно-исследовательского аппаратно-программного комплекса «Физика. Электродинамика» [22, 23], который представляет собой комплекс аппаратных, программных и методических средств, обеспечивающих регламентированное (авторизованный доступ, мониторинг выполнения лабораторных исследований и т. п.) проведение с удаленным доступом по сетям Интранет/Интернет в многопользовательском режиме (одновременная работа до 100 пользователей) лабораторных работ на физическом объекте (автоматизированном лабораторном макете). В качестве составных частей автоматизированный лабораторный макет (АЛМ) включает в себя:

- однородный участок цепи;
- RC - и RL -цепи;
- последовательный колебательный контур;
- германиевый и кремниевый полупроводниковые диоды.

Книга состоит из пяти глав и комплекса приложений.

В 1-й главе приведены обобщенная схема построения распределенных информационно-измерительных систем (РИУС) и примеры их реализации для решения некоторых прикладных задач.

Во 2-й главе рассмотрена структурная схема сетевого учебно-исследовательского аппаратно-программного комплекса (СУИАПК) «Физика. Электродинамика», приведено описание входящих в его состав аппаратных и программных компонентов.

В 3-й главе дается описание основных характеристик сетевой лаборатории «Физика. Электродинамика», сгруппированных в специализированные интерфейсы (для работы трех категорий пользователей): «Рабочий стол студента», «Рабочий стол преподавателя» и «Рабочий стол администратора». Данные интерфейсы позволяют управлять:

- траекторией выполнения экспериментальных исследований;
- регламентированным доступом к методическим материалам;
- выполнением отдельного исследования посредством АЛМ;
- дополнительными сервисами: компьютерной проверкой знаний тестированием; доступом к дополнительным информационным материалам, с которыми связаны лабораторные исследования, и т. п.

Глава 4 содержит методическое обеспечение девяти лабораторных работ, включающих в свой состав следующие экспериментальные исследования, выполняемые на основе СУИАПК «Физика. Электродинамика»:

- «*Изучение принципов обработки данных физического эксперимента*» (лабораторная работа 1);
- «*Изучение закона Ома для однородного участка цепи*» (лабораторная работа 2);
- «*Измерение мощности и КПД источника тока в зависимости от величины внешнего сопротивления (нагрузки)*» (лабораторная работа 3);
- «*Изучение переходных процессов в цепях с конденсатором и индуктивностью*» (лабораторные работы 4, 5);
- «*Изучение принципов работы полупроводникового диода*» (лабораторная работа 6);

- «Изучение свободных затухающих и вынужденных колебаний в последовательном RLC-контуре» (лабораторные работы 7, 8);
- «Определение реактивного и полного сопротивлений цепи переменного тока» (лабораторная работа 9).

Методическое обеспечение каждой лабораторной работы включает в свой состав:

- краткие теоретические сведения и задания на выполнение исследований;
- задание на выполнение лабораторных экспериментальных исследований и исследований, выполняемых средствами математического моделирования;
- порядок проведения измерений средствами СУИАПК «Физика. Электродинамика»;
- порядок обработки результатов измерений;
- требования к оформлению отчета для ручного и автоматического режимов, для варианта выполнения исследований средствами математического моделирования;
- контрольные вопросы;
- список литературы и интернет-ресурсов.

В главе 5 приведены методики моделирования основных режимов работы электрических цепей с применением системы *OrCAD 16.6Lite*, а также методики, ориентированные на исследования физических явлений посредством математического моделирования в электрических цепях, аналогичных рассматриваемым в ряде лабораторных работ.

В приложениях приведены: термины и определения; примеры, которые призваны помочь студентам в выполнении лабораторного практикума в части обработки и интерпретации результатов измерений физических величин; дополнительные материалы по технологиям *National Instruments*; справочные материалы (фундаментальные физические постоянные, Международная система единиц СИ и т. д.).

Ряд приложений и дополнительных материалов к книге опубликованы на интернет-ресурсах издательства «ДМК Пресс», в том числе:

- электронный документ [23]: «Сетевой учебно-исследовательский аппаратно-программный комплекс “Физика. Электродинамика. Руководство пользователя”»;
- 3D-модель конструкции автоматизированного лабораторного макета СУИАПК «Физика. Электродинамика», реализованная в программной среде *Solid Works Drawings* [<http://www.solidworks.ru/>];

- файлы-проекты (архив *Physic.rar*) для выполнения лабораторных исследований средствами математического моделирования (см. п. 5.1) с применением демонстрационной версии системы *OrCAD 16.6 Lite*;
- автобиографические данные ученых-физиков, имена которых упоминаются в тексте книги (источник: Универсальная научно-популярная энциклопедия «Кругосвет®», режим доступа: <http://www.krugosvet.ru/>).

Перечисленные выше материалы можно скопировать с интернет-ресурсов издательства по ссылке <http://dmkpress.com/files/download/978-5-97060-153-2.rar>.

Для работы с демонстрационной версией системы *OrCAD 16.6 Lite* (сокращенно – *OrCAD*) необходимо пройти процедуру регистрации по адресу <http://www.orcad.com/resources/orcad-lite-overview>. После этого следует загрузить на ПЭВМ установочные файлы демонстрационной версии *OrCAD*.

По вопросам подключения к ресурсам сетевой лаборатории «Физика. Электродинамика» необходимо обращаться по адресу электронной почты: *sarafanov@i-teco.ru*.

Техническое, программное, методическое и информационное обеспечение рассматриваемого в данной книге СУИАПК «Физика. Электродинамика» и соответствующей сетевой лаборатории разработано коллективом авторов на основе десятилетнего опыта, связанного с разработкой и внедрением комплексных решений в области автоматизации экспериментальных исследований. В данном направлении им был разработан, апробирован и внедрен при организационной поддержке российского представительства *National Instruments* ряд аппаратно-программных комплексов с удаленным доступом [3, 9–10, 26, 30–31, 49–50], унифицированных решений по выполнению научных и учебных исследований на базе специализированных сетевых лабораторий, которые могут комплексироваться в специализированный портал [3, 14, 17, 61–62]. В направлении проектирования много пользовательских распределенных измерительно-управляющих систем коллективом авторов разработан ряд моделей, методов и методик, обеспечивающих решение таких вопросов, как повышение показателей их функционирования, разработка систем в соответствии с заданными параметрами, унификация технических и программных решений и т. д. [3, 12, 15–16, 24–25, 27, 29, 32–33, 62].

В настоящее время в России остро стоит вопрос развития инновационного сектора экономики, в котором особое место занимают

технические направления (машиностроение, радиоэлектроника, материаловедение и т. п.). При этом различные разделы физики являются фундаментом в данных направлениях. Изучение физических явлений, начиная со школы, с использованием в том числе описанного в данной книге СУИАПК, является наиболее гибким и системным подходом, охватывающим при этом и сами методы работы с современным оборудованием, базирующимся на интернет-технологиях.

Описанные в данной книге лабораторные исследования могут быть рекомендованы не только студентам технических и естественно-научных направлений вузов, но и студентам и учащимся профессиональных училищ, колледжей и общеобразовательных школ.

Студентам вузов и колледжей рекомендуется выполнение всего цикла лабораторных работ. При этом задания, связанные с математическим моделированием, могут носить необязательный характер.

Для учащихся профессиональных училищ рекомендуется выполнение лабораторных работ № 2–9. При этом можно исключить из заданий на выполнение лабораторных работ проведение исследований посредством математического моделирования.

Учащимся общеобразовательных школ рекомендуются лабораторные работы № 2–6. Методическое обеспечение данных работ (теоретические сведения, задание на выполнение лабораторной работы, требования к оформлению отчета) может быть упрощено, в том числе исключено задание в части проведения исследований посредством математического моделирования. Часть лабораторных исследований может быть выполнена факультативно.

Список сокращений

АЛМ	автоматизированный лабораторный макет
АЛП	автоматизированный лабораторный практикум
АЛП УД	АЛП с удаленным доступом
АПК	аппаратно-программный комплекс
АПК УД	АПК с удаленным доступом
АЦП	аналого-цифровой преобразователь
ВАХ	вольт-амперная характеристика
ВЛП	виртуальный лабораторный практикум
ВЛС	виртуальный лабораторный стенд
ИУС	измерительно-управляющая система
ИЭТР	интерактивное электронное техническое руководство
КИТ	компьютерные измерительные технологии
КПД	коэффициент полезного действия
ОИ	объект исследования
ОМ	объектный модуль
ПК	персональный компьютер
ПО	программное обеспечение
ПУ	программируемый усилитель
ПЭВМ	персональная электронно-вычислительная машина
РИУС	распределенная измерительно-управляющая система
СУИАПК	сетевой учебно-исследовательский аппаратно-программный комплекс
ЦУ	цифровое устройство
ЭДС	электродвигущая сила

<i>DAQmx</i>	последняя версия драйвера <i>NI-DAQ</i> с новыми функциями и инструментами для управления измерительными устройствами
<i>DataSocket</i>	протокол обмена, поддерживаемый <i>LabVIEW</i> , для совместного использования динамически меняемых данных
<i>IP</i>	<i>Internet Protocol</i> (интернет-протокол)
<i>LabVIEW</i>	<i>Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench</i> (среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования « <i>G</i> » фирмы <i>National Instruments</i> (США))
NI	National Instruments

Интернет-технологии в производственной, научной и образовательной сферах деятельности



1.1. Распределенные измерительно-управляющие системы

Существенное повышение сложности технологических процессов, значительное увеличение объемов информации, а также усложнение алгоритмов ее обработки являются причинами возникновения ситуаций, когда человек не в состоянии в полной мере осуществлять контроль над ходом сложных технологических процессов. Решение некоторых экспериментальных задач в различных областях науки также невозможно без современных достижений электронной и вычислительной техники и разнообразных технических средств, позволяющих автоматизировать сбор, накопление и обработку информации. Именно эти факторы обусловили широкое применение информационно-измерительных систем в различных сферах человеческой деятельности [34–36].

Информационно-измерительные системы, решающие задачи контроля параметров объекта с выраженным управляемыми функциями, принято называть измерительно-управляющими системами (ИУС) [36]. Решение задач по созданию гибких, универсальных, точных и быстродействующих ИУС обеспечивается применением *компьютерных измерительных технологий* (КИТ), в рамках которых ЭВМ используют как элемент ИУС на этапах сбора, обработки, отображения измерительной информации и формирования управляемых сигналов. Это позволяет реализовывать *измерительную и управляющую части приборов и систем на аппаратной основе, а их функциональную часть и интерфейс пользователя – программно* [37, 38].

Решение проблемы дистанционного контроля и управления техническими объектами, часто возникающей в процессе решения производственных и научно-исследовательских задач, осуществляется

ся на основе распределенных измерительно-управляющих систем (РИУС). В научно-образовательной деятельности такая организация удаленного доступа позволяет обеспечить возможность дистанционного выполнения научных и лабораторных экспериментальных исследований на реальном оборудовании, реализующуюся в виде систем автоматизированного лабораторного практикума с удаленным доступом (АЛП УД). В последнее время устойчивой тенденцией использования в качестве канала связи в данных системах является применение промышленных, локальных и глобальных сетей [35, 39].

Обобщенно базовую структуру РИУС, построенной с использованием телекоммуникационных сетей, можно представить в соответствии с рис. 1.1.

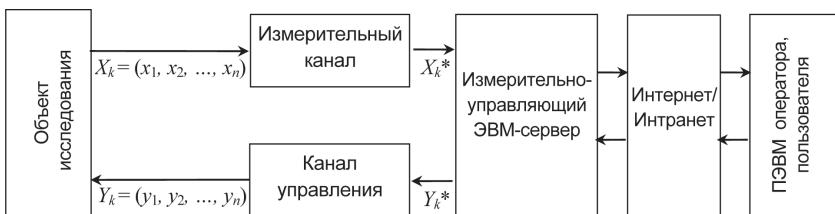


Рис. 1.1. Базовая структура РИУС:

X_k – измеряемые физические величины; Y_k – сигналы управления;
 X_k^* – измеряемые физические величины, представленные в цифровой форме; Y_k^* – параметры сигналов управления, представленные в цифровой форме

Измеряемые физические параметры объекта (напряжения, токи, температуры, частота вращения, уровень кислотности и т. д.) поступают в измерительный канал (КИ), который, в общем случае, в своем составе содержит:

- первичные измерительные преобразователи – датчики, которые преобразуют физические величины в напряжение, ток или напрямую в цифровой код [6, 40];
- устройства сопряжения (вторичные измерительные преобразователи), обеспечивающие приведение сигналов с датчиков к входному динамическому диапазону устройств цифровой обработки сигналов [38];
- устройства цифровой обработки сигналов, которые осуществляют преобразование аналоговых сигналов в цифровой код.

При необходимости в состав КИ могут быть введены технические средства, обеспечивающие вывод тестовых сигналов, по откликам на

которые могут быть определены параметры и характеристики объекта (например, при исследовании частотных, динамических, вольт-амперных характеристик и т. п.).

Канал управления (КУ) содержит в своем составе технические средства – исполнительные устройства, обеспечивающие преобразование команд управления, поступающих с измерительно-управляющего ЭВМ-сервера, в управляющие воздействия, выводимые на объект исследования и обеспечивающие изменение его состояния и/или конфигурации.

Оцифрованные измеряемые физические величины поступают в измерительно-управляющий ЭВМ-сервер, на котором располагается серверное программное обеспечение (серверное ПО), выполняющее управление измерительным каналом и каналом управления в соответствии с командами, поступающими с ПЭВМ оператора, а также осуществляющее передачу на ПЭВМ оператора результатов измерения. В некоторых случаях на серверное ПО возлагают функции первичной обработки результатов измерения (фильтрацию, прореживание и т. д.).

На ЭВМ оператора располагается программное обеспечение, которое обеспечивает прием и обработку результатов измерений, их цифровое и графическое отображение, а также при необходимости сохранение результатов измерений, формирование отчетов и другие вспомогательные функции (например, курсорные измерения). Обычно такое ПО реализуют с использованием специализированных сред, позволяющих синтезировать на экране дисплея панели, оперируя графическими представлениями органов управления и отображения процессов, в соответствие которым ставятся программы управления исполнительными устройствами и средствами измерения РИУС [34]. Также широко используется подход, основанный на разработке приложений, функционирующих в веб-браузере [35]. Следует отметить, что в зависимости от области применения решаемой задачи и выполняемых функций структура РУИС может видоизменяться [35, 36].

1.2. Примеры применения распределенных измерительно-управляющих систем

В настоящее время РИУС, построенные на основе описанной выше схемы, находят широкое применение в различных сферах человеческой деятельности – в медицине, промышленности, научной и об-

разовательной деятельности. Основным достоинством применения в РИУС сети Интернет для решения вопросов управления и мониторинга является возможность их осуществления практически из любой точки земного шара при помощи персонального компьютера или мобильного устройства, например планшетного компьютера или коммуникатора [35, 38]. Рассмотрим несколько примеров.

Примером применения РИУС в промышленности является автоматизированная система мониторинга работы ветроустановок, разработанная АОЗТ «ЦАТИ» в содружестве с ФГУП НПП «ВЕТРОЭН» [41]. Распределенная система мониторинга и управления работой ветроэнергетической станции (ВЭС), объединяющей десять ветроагрегатов, находящихся в Чукотском автономном округе – вблизи г. Анадырь, предоставляет возможность дистанционного контроля и управления ВЭС без присутствия оператора на пульте управления ВЭС по любым доступным каналам связи (модем, радиомодем, выделенная линия и т. д.). Структурная схема станции приведена на рис. 1.2.

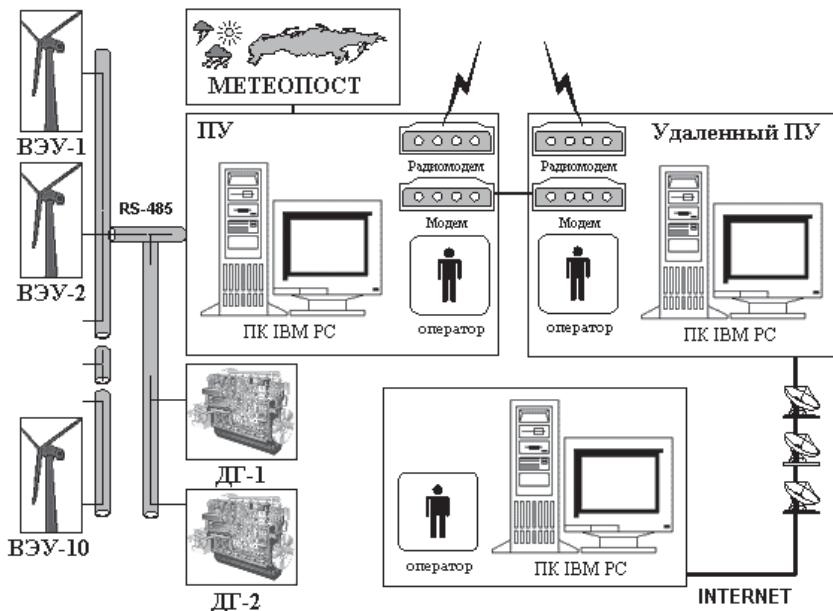


Рис. 1.2. Упрощенная структурная схема ветроэнергетической станции