

УДК 621.311.4(075)  
ББК 31.278я7  
В15

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Казанского национального исследовательского технологического университета*

*Рецензенты:*

*д-р физ.-мат. наук, проф. В. К. Козлов  
д-р техн. наук, проф. И. Х. Исрафилов*

**Валеев И. М.**

**В15** Концепция управления цифровыми подстанциями будущего : учебное пособие / И. М. Валеев, В. Г. Макаров; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2019. – 152 с.

ISBN 978-5-7882-2587-6

Изложена методология проектирования автоматизированной системы технологического управления цифровыми подстанциями. Рассмотрены интеллектуальные энергоустановки, оборудование информационного взаимодействия, средства учета и контроля электроэнергии, информационные и управляющие системы, мероприятия по развитию и повышению надежности электросетевого комплекса.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 13.03.02, 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», а также для инженеров и специалистов в области электроэнергетики, информационно-технологических систем и связи, релейной защиты и автоматики, производителей интеллектуальной цифровой техники и информационно-технологического оборудования.

**УДК 621.311.4(075)  
ББК 31.278я7**

ISBN 978-5-7882-2587-6

© Валеев И. М., Макаров В. Г., 2019  
© Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	8
Глава 1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦПС.....	11
1.1. Особенности проектирования.....	11
1.2. Перечень функциональных систем, входящих в ЦПС.....	14
1.3. Цифровая подстанция по стандарту МЭК 61850.....	18
1.4. Основные принципы построения цифровой подстанции.....	25
1.5. Функциональная координирующая подсистема в составе ЦПС.....	27
Глава 2. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ .....	32
2.1. Измерительные электронные трансформаторы .....	32
2.2. Силовые интеллектуальные трансформаторы .....	34
2.3. Гибкие системы передачи переменного тока FASTS.....	35
2.4. Управляемые шунтирующие реакторы .....	36
2.5. Статические компенсаторы реактивной мощности.....	38
2.6. Фазоповоротные устройства .....	40
2.7. Вставки постоянного тока.....	41
2.8. Накопители электрической энергии.....	42
2.9. Структура системы накопления энергии .....	43
2.10. Современные накопители электрической энергии .....	44
2.10.1. Суперкондесаторы .....	44
2.10.2. Маховики или кинетические накопители .....	45
2.10.3. Сверхпроводящие индукционные накопители энергии .....	46
2.11. Микросети и управление распределенными источниками электрической энергии .....	47
2.12. Дополнительные приборы и устройства технологии считывания и измерения на уровне потребителей.....	48
Глава 3. СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ, УПРАВЛЕНИЯ, ЗАЩИТЫ И ИЗМЕРЕНИЙ.....	55
3.1. Совершенствование методов контроля и управления ЦПС .....	55
3.2. Интерфейсы и методы поддержки принятия решений .....	56
3.3. Интерфейс операторских станций.....	57
3.4. Программное, информационное и метрологическое обеспечение .....	61

3.5. Информационная и комплексная безопасность обслуживания энергоустановок в процессе эксплуатации.....	65
3.5.1. Техничко-экономические преимущества технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования.....	69
3.5.2. Компоненты проактивной системы технического обслуживания .....	70
3.6. Система сбора производственно-технологической информации .....	70
3.6.1. Информационные датчики .....	71
3.6.2. Датчики на подстанциях и линиях электропередач .....	73
3.6.3. Анализ методов контроля конструкций сетевого оборудования с использованием беспроводных датчиков .....	81
3.6.4. Дистанционные методы диагностики электрооборудования .....	81
3.6.5. Обнаружение ЧР по радиоволновому излучению .....	82
3.6.6. Акустический метод регистрации ЧР .....	84
3.6.7. Оптический метод регистрации ЧР .....	87
3.6.8. Тепловизионная диагностика изолирующих конструкций.....	93
3.6.9. Методы комплексной дистанционной диагностики многоэлементных изолирующих конструкций.....	95
3.7. Робототехника на обслуживании высоковольтных линий электропередачи .....	101

## Глава 4. ИНТЕГРАЦИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С СИСТЕМАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО И КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА..... 107

4.1. Общие технические требования к автоматизированной информационно-измерительной системе .....	107
4.1.1. Требования к интеллектуальным трансформаторам тока и напряжения для ЦПС.....	108
4.1.2. Требования к промконтроллерам .....	111
4.1.3. Требования к информационно-вычислительному комплексу.....	112
4.1.4. Требования к каналам связи между ИВК и ИАСУ КУ .....	113
4.1.5. Требование к каналам связи между ИИК и ИВКЭ .....	114
4.2. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии.....	114
4.3. Структурная схема АСКУЭ электрических сетей .....	118
4.4. Структура АИИС промышленных предприятий .....	119
4.5. Организация автоматизированного коммерческого и технического учета электрической энергии.....	120
4.6. Система релейной защиты и автоматики ЦПС на основе централизованной системы цифровых измерений .....	123
4.6.1. Структура каналов ввода данных .....	126
4.6.2. Структура централизованной РЗА .....	127
4.6.3. Организация передачи данных .....	129
4.6.4. Процессорная подсистема.....	130

4.7. Система противоаварийной автоматики.....	131
4.7.1. Структура системы ПА.....	131
4.7.2. Функции автоматического дозированного и локального воздействия.....	134
4.7.3. Функции локальных микропроцессорных устройств или комплексов ПА.....	134
Глава 5. ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	148
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	149