

Ю. А. ЛЕНЬКОВ, А. С. БАРУКИН

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПОДСТАНЦИИ



 TORAIGHYROV
UNIVERSITY

ПАВЛОДАР

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Некоммерческое акционерное общество
«Торайгыров университет»

Ю. А. Леньков, А. С. Барукин

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПОДСТАНЦИИ

учебное пособие

Павлодар
Toraighyrov University
2022

УДК 621.311(075.8)

ББК 31.27 я73

Л46

**Рекомендовано к изданию Ученым советом
«Торайгыров университет»**

Рецензенты:

М. Е. Волгин – канд. техн. наук, профессор, НАО «Торайгыров университет»;

А. Б. Жантлесова – д-р PhD, старший преподаватель кафедры Эксплуатация электрооборудования Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина;

Л. А. Евтушенко – главный инженер городского предприятия внутридомовых электрических сетей г. Павлодар

Леньков Ю. А., Барукин А. С.

Л46 Промышленные подстанции: учебное пособие / Ю. А. Леньков, А. С. Барукин. – Павлодар: Toraighyrov Univtrcity, 2022. – 415 с.

ISBN 978-601-345-314-9

В учебном пособии приведены сведения об электроэнергетических системах, режимах работы нейтралей электроустановок. Описаны устройство, конструкции и принцип работы синхронных генераторов и компенсаторов, силовых трансформаторов, шинных конструкций и аппаратов распределительных устройств высокого и низкого напряжения, применяемых на электрических подстанциях предназначенных для электроснабжения промышленных предприятий. Изложена методика выбора силовых трансформаторов, и их проверка на перегрузочную способность, а также методика выбора и проверки коммутационных аппаратов высокого напряжения, измерительных трансформаторов, токоведущих частей и токоограничивающих реакторов. Приведены сведения о электрических схемах промышленных подстанций, компоновке распределительных устройств. Рассмотрены устройства сигнализации, применяемые на подстанциях и схемы управления коммутационными аппаратами. Учебное пособие рекомендуется студентам электроэнергетических специальностей и может быть использовано специалистами-электроэнергетиками.

УДК 621.311(075.8)

ББК 31.27 я73

© Леньков Ю. А. и др., 2022

© «Торайгыров университет», 2022

ISBN978-601-345-314-9

За достоверность материалов, грамматические и орфографические ошибки
ответственность несут авторы и составители

Содержание

	Введение	3
1	Общие сведения о работе электроэнергетических систем	5
1.1	Энергетические системы – основа электрификации республики	5
1.2	Основные типы электростанций и подстанций	14
1.2.1	Тепловые конденсационные электростанции	14
1.2.2	Теплофикационные электростанции	16
1.2.3	Гидроэлектростанции	17
1.2.4	Газотурбинные электростанции	18
1.2.5	Типы подстанций	19
1.3	Графики нагрузок электроустановок	21
1.4	Режимы работы нейтралей в электроустановках, их виды и области применения, достоинства и недостатки	24
1.4.1	Общие сведения	24
1.4.2	Трехфазные электрические сети с незаземленными и резонансно-заземленными нейтралями	25
1.4.3	Трехфазные сети с эффективно-заземленными нейтралями	29
1.4.4	Сети с глухозаземленными нейтралями	30
1.5	Категории потребителей по степени надежности электроснабжения	31
	Контрольные вопросы	34
	Тесты	34
2	Генераторы и компенсаторы, применяемые на электростанциях и подстанциях	39
2.1	Конструкции генераторов и компенсаторов и их основные номинальные параметры	39
2.2	Системы охлаждения синхронных генераторов и компенсаторов	42
2.2.1	Общие сведения	42
2.2.2	Косвенные системы охлаждения	44
2.2.3	Непосредственные системы охлаждения	48
2.3	Системы возбуждения генераторов и синхронных компенсаторов	50
2.3.1	Современное состояние и требования к системам возбуждения	50
2.3.2	Электромашинная система возбуждения	5

	возбудителем постоянного тока	52
2.4	Автоматическое гашение магнитного поля синхронных генераторов и компенсаторов	55
2.5	Включение генераторов и синхронных компенсаторов на параллельную работу	62
	Контрольные вопросы	66
	Тесты	67
3	Силовые трансформаторы и автотрансформаторы	70
3.1	Основные типы трансформаторов и автотрансформаторов и их номинальные параметры	70
3.2	Системы охлаждения трансформаторов	73
3.3	Особенности режимов работы автотрансформаторов	78
3.4	Нагрузочная способность, систематические и аварийные перегрузки трансформаторов	84
3.5	Расчет перетоков мощности через трансформаторы связи на электрических подстанциях	88
3.6	Определение потерь активной энергии в трансформаторах	89
3.7	Регулирование напряжения трансформаторов	91
3.8	Пример выбора силовых трансформаторов на промышленной подстанции	97
	Контрольные вопросы	102
	Тесты	103
4	Конструкции электрических проводников, кабелей и изоляторов распределительных устройств подстанций	105
4.1	Основные виды шин закрытых распределительных устройств подстанций	105
4.2	Шинные конструкции открытых распределительных устройств подстанций	111
4.3	Комплектные экранированные токопроводы	115
4.3.1	Общие сведения	115
4.3.2	Комплектные токопроводы напряжением 6 – 10 кВ	117
4.3.3	Токопроводы напряжением до 1000 В	119
4.4	Кабели	120
4.5	Изоляторы распределительных устройств электрических подстанций	123
4.5.1	Общие сведения	123
4.5.2	Опорные изоляторы	124
4.5.3	Проходные изоляторы	130

4.5.4	Подвесные изоляторы	132
4.6	Выбор токоведущих частей распределительных устройств	135
4.6.1	Общие сведения	135
4.6.2	Выбор жестких шин распределительных устройств	138
4.6.2.1	Выбор сечения шин	138
4.6.2.2	Проверка шин на термическую стойкость	139
4.6.2.3	Проверка шин на электродинамическую стойкость	143
4.6.3	Выбор гибких шин и токопроводов	153
4.6.3.1	Общие сведения	153
4.6.3.2	Проверка шин и токопроводов на схлёстывание	153
4.6.3.3	Проверка гибких шин и токопроводов по условиям коронирования	155
4.7	Примеры выбора шин распределительных устройств подстанций	156
	Контрольные вопросы	162
	Тесты	163
5	Электрооборудование распределительных устройств подстанций	166
5.1	Классификация электрических аппаратов высокого напряжения и их назначение	166
5.2	Классификация и требования, предъявляемые к высоковольтным выключателям. Основные номинальные параметры выключателей	168
5.3	Масляные выключатели	172
5.3.1	Общие сведения	172
5.3.2	Малообъемные масляные выключатели	175
5.4	Вакуумные и элегазовые выключатели	180
5.4.1	Вакуумные выключатели	180
5.4.2	Элегазовые выключатели	183
5.5	Выбор выключателей	189
5.6	Разъединители, отделители и короткозамыкатели	193
5.6.1	Основные типы разъединителей и требования, предъявляемые к ним	193
5.6.2	Разъединители внутренней установки	194
5.6.3	Разъединители наружной установки	198
5.6.4	Отделители и короткозамыкатели	204
5.6.5	Выключатели нагрузки	208
5.7	Выбор разъединителей, отделителей и короткозамыкателей	211
5.8	Пример выбора выключателя и разъединителя	212

	Контрольные вопросы	215
	Тесты	217
6	Коммутационные аппараты напряжением до 1кВ	222
6.1	Неавтоматические выключатели	222
6.1.1	Общие сведения	222
6.1.2	Конструкции рубильников	222
6.1.3	Конструкции пакетных выключателей	224
6.2	Плавкие предохранители	227
6.2.1	Общие сведения	227
6.2.2	Предохранители без наполнителя серии ПР2	229
6.2.3	Предохранители с мелкозернистым наполнителем	230
6.2.4	Блоки предохранитель - выключатель серии БПВ	232
6.3	Контакторы и магнитные пускатели	233
6.4	Автоматические выключатели	237
	Контрольные вопросы	240
	Тесты	241
7	Измерительные трансформаторы тока	245
7.1	Назначение и основные номинальные параметры трансформаторов тока	245
7.2	Принцип действия трансформатора тока	248
7.3	Погрешности трансформаторов тока	250
7.4	Зависимость погрешностей трансформаторов тока от различных факторов	252
7.4.1	Зависимость погрешностей трансформаторов тока от первичного тока	252
7.4.2	Зависимость погрешностей трансформаторов тока от нагрузки	253
7.5	Способы уменьшения погрешностей трансформаторов тока	254
7.5.1	Витковая коррекция	254
7.5.2	Компенсация погрешностей подмагничиванием от постороннего источника энергии	255
7.5.3	Компенсация погрешностей подмагничиванием полями рассеяния	257
7.6	Конструкции трансформаторов тока	258
7.6.1	Конструкции трансформаторов тока внутренней установки	258
7.6.2	Конструкции трансформаторов тока наружной установки	264
7.6.3	Встроенные трансформаторы тока	269
7.7	Выбор измерительных трансформаторов тока	271

7.8	Пример выбора измерительного трансформатора тока	275
	Контрольные вопросы	278
	Тесты	279
8	Измерительные трансформаторы напряжения	282
8.1	Назначение, принцип действия и основные номинальные параметры трансформаторов напряжения	282
8.2	Погрешности трансформаторов напряжения и способы их уменьшения	284
8.3	Схемы включения трансформаторов напряжения	287
8.4	Контроль изоляции сети	290
8.5	Конструкции трансформаторов напряжения	293
8.5.1	Конструкции трансформаторов напряжения внутренней установки	293
8.5.2	Конструкции трансформаторов напряжения наружной установки	301
8.6	Выбор измерительных трансформаторов напряжения	306
8.7	Пример выбора измерительного трансформатора напряжения	307
	Контрольные вопросы	308
	Тесты	309
9	Электрические схемы подстанций	312
9.1	Требования, предъявляемые к электрическим схемам подстанций	312
9.2	Структурные схемы подстанций	313
9.3	Виды схем электрических соединений подстанций на напряжении 6 – 10 кВ	314
9.4	Виды схем электрических соединений подстанций на напряжении 35 – 220 кВ	317
9.5	Способы ограничения токов короткого замыкания на подстанциях	324
9.5.1	Общие сведения	324
9.5.2	Конструкции токоограничивающих реакторов	325
9.5.3	Номинальные параметры токоограничивающих реакторов	329
9.5.4	Выбор токоограничивающих линейных реакторов	333
9.5.5	Примеры выбора линейных реакторов	335
9.6	Схемы собственных нужд подстанций	341
	Контрольные вопросы	345

	Тесты	346
10	Конструкции распределительных устройств подстанций	352
10.1	Закрытые распределительные устройства	352
10.2	Конструкции ЗРУ 6 – 10 кВ с одной системой сборных шин	353
10.3	Конструкции закрытых РУ напряжением 35 – 220 кВ	355
10.4	Комплектные распределительные устройства подстанций	358
10.4.1	Комплектные распределительные устройства внутренней установки	358
10.4.2	Комплектные распределительные устройства наружной установки	362
10.4.3	Комплектные трансформаторные подстанции	364
10.5	Конструкции открытых комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией (КРУЭ) напряжением 110 кВ и выше	366
10.6	Открытые распределительные устройства (ОРУ)	367
10.6.1	Требования к конструкциям ОРУ	367
10.6.2	Конструкции ОРУ 35 – 220 кВ со сборными шинами	369
	Контрольные вопросы	373
	Тесты	377
11	Системы управления и сигнализации на электрических подстанциях	380
11.1	Общие сведения	380
11.2	Устройство ключей управления	380
11.3	Схемы управления и сигнализации выключателями с электромагнитными приводами	383
11.4	Дистанционное управление воздушными и элегазовыми выключателями	385
11.5	Блокировка от многократных включений выключателя на устойчивое короткое замыкание	387
11.6	Сигнализация положения разъединителей	388
11.7	Аварийная и предупредительная сигнализация и блокировки на электрических подстанциях	389
11.7.1	Общие сведения	389
11.7.2	Аварийная сигнализация на подстанции	389
11.7.3	Предупредительная сигнализация на подстанции	391
11.7.4	Блокировка разъединителей	392

Контрольные вопросы	395
Тесты	396
Литература	398

Ю. А. Ленков, А. С. Барукин

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПОДСТАНЦИИ
учебное пособие

Технический редактор А. Р. Омарова
Ответственный секретарь Ж. К. Сапенова

Подписано в печать 05.08.2022 г.

Гарнитура Times.

Формат 29,7 x 42 ¼. Бумага офсетная.

Усл.печ.л. 24 Тираж 300 экз.

Заказ № 3956

Toraighyrov University
140008, г. Павлодар, ул. Ломова, 64