

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Казанский государственный технологический университет»

А.И. Карань, Р.Я. Гайнутдинов, М.Р. Гайнутдинов, М.В. Артемьев

Основы электроэнергетического
обеспечения
предприятий химии
нефти и газа

Учебное пособие

Казань
Издательство Казанского Государственного технологического университета
2009г.

Удк 621.316

ББК 31.277

К58

Карань А.И.

Основы электроэнергетического обеспечения предприятий химии, нефти и газа: учебное пособие/

Карань А.И, Гайнутдинов Р.Я, Гайнутдинов М.Р., Артемьев М.В. – Казань: Издательство Казанского государственного технологического университета, 2009. – 382 с.

ISBN 978-5-7882-0743-8

Учебное пособие соответствует образовательному стандарту и может быть использовано студентами очного и заочного обучения для электрических и неэлектрических специальностей по дисциплинам «Электротехника и электроника», «Электрические и электронные аппараты», «Электропривод», «Безопасность жизнедеятельности», «Электроснабжение промышленных предприятий».

В учебном пособии подробно рассмотрены вопросы теории и практики производства, распределения и применения электрической энергии на предприятиях, эксплуатация электроустановок и требования к их безопасности. Оно может быть востребовано при профессиональной (технической) подготовке персонала электротехнических служб предприятий.

Подготовлено на кафедре «Электропривод и электротехника».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского государственного технологического университета.

Рецензенты:

Кафедра электрооборудования Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. Зав. кафедрой ктн, доцент А.В.Ференец.

Кафедра физики Казанского Государственного Технологического Университета.

Д-р физ. мат. наук, проф. Н.К. Гайсин (КГТУ).

ISBN 978-5-7882-0743-8

Карань А.И.

Казанский государственный
технологический университет, 2009.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ	9
Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ	9
1.1. Природа электричества	9
1.2. Международная система единиц измерения физических величин	12
1.3. Статический заряд тела и электрическое поле	14
1.4. Конденсаторы	15
1.5. Электрическая прочность диэлектрика	17
1.6. Статическое электричество	18
Глава 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА	20
2.1. Электрическая цепь. Закон Ома	20
2.2. Соединения резисторов	22
2.3. Расчет сопротивлений	24
2.4. Влияние температуры на значение сопротивления	26
2.5. Резисторы, реостаты и магазины сопротивлений	27
2.6. Нелинейные элементы в электрических цепях	28
2.7. Мощность в цепи постоянного тока, электрическая энергия и коэффициент полезного действия	29
Глава 3. ИСТОЧНИКИ ПОСТОЯННОГО ТОКА	31
3.1. Химическое действие тока	31
3.2. Химические источники тока	32
3.3. Аккумуляторы	34
3.4. Эксплуатация аккумуляторов	35
3.5. Топливные элементы	38
3.6. Термоэлектродвигатели	39
3.7. Фотоэлементы	40
Глава 4. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ	42
4.1. Естественный магнит и магнитное поле	42
4.2. Магнитное поле проводника с током	43
4.3. Напряженность магнитного поля, магнитная индукция и магнитный поток	43
4.4. Магнитные свойства материалов	45
4.5. Остаточный магнетизм. Потери на перемагничивание	46
4.6. Магнитные материалы	47
4.7. Закон Ома для магнитной цепи	47
4.8. Электромагниты и их применение	49
4.9. Проводник с током в магнитном поле	50
Глава 5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ	51
5.1. Взаимодействие движущегося проводника с магнитным потоком	51
5.2. Самоиндукция. Индукционная аппаратура	53
5.3. Индуктивность катушек	55
5.4. Вихревые токи	56
Глава 6. ОДНОФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА	57
6.1. Получение переменного тока	57
6.2. Частота колебаний переменного тока	59
6.3. Действующее значение переменного тока	60
6.4. Представление переменного тока, напряжения и ЭДС, изменяющихся по синусоидальному закону, в векторной и комплексной формах записи	62
6.5. Ток и мощность в цепи переменного тока с резистивной (активной) нагрузкой	64
6.6. Ток и мощность в цепи переменного тока с индуктивной нагрузкой	66
6.7. Ток и мощность в цепи переменного тока с активной и индуктивной нагрузкой	69
6.8. Электрический дроссель. Управляемый дроссель. Магнитный усилитель	73
6.9. Ток и мощность в цепи переменного тока с емкостной нагрузкой	74
6.10. Ток и мощность в цепи переменного тока с активной и емкостной нагрузками	78

6.11. Цепь переменного тока с активной, индуктивной и емкостной нагрузками. Резонанс напряжения	79
6.12. Цепь переменного тока с параллельно соединенными приемниками энергии. Резонанс токов	80
6.13. Компенсация реактивной мощности	85
Глава 7. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	87
7.1. Генерирование трехфазного тока	87
7.2. Соединение источников тока	89
7.3. Соединение фаз звездой	91
7.4. Соединение фаз треугольником	93
7.5. Включение нагрузки в трехфазную сеть	94
7.6. Мощность трехфазного тока	94
7.7. Несимметричные системы напряжений и токов	95
7.8. Обрыв нулевого провода	97
РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРЕПРИЯТИЙ ХИМИИ, НЕФТИ И ГАЗА	99
Глава 8. ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ И ГРАФИКИ ИХ НАГРУЗКИ	99
8.1. Передача электрической энергии от источников к потребителям	99
8.2. Схемы соединений электрических станций и подстанций	102
8.3. Общие сведения об электростанциях	104
8.4. Графики нагрузок источника электроснабжения	107
8.5. Годовой график по продолжительности	108
Глава 9. СИНХРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ	109
9.1. Устройство генераторов и способы их возбуждения	109
9.2. Основные параметры генераторов	110
9.3. Параллельная работа генераторов	111
9.4. Автоматическое регулирование частоты тока и напряжения на маломощных электростанциях	114
9.5. Компаундирование возбуждения синхронных генераторов	118
Глава 10. СИЛОВЫЕ ОДНОФАЗНЫЕ И ТРЕХФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ	119
10.1. Устройство трансформаторов	119
10.2. Номенклатура трансформаторов	122
10.3. Номинальная мощность трансформатора	123
10.4. Номинальные первичное и вторичное напряжения	124
10.5. Опыты холостого хода и короткого замыкания	126
10.6. Группы соединения обмоток трансформатора	128
10.7. Параллельная работа трансформаторов	129
Глава 11. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК	130
11.1. Устройство электроизмерительных приборов	130
11.2. Условные обозначения на шкалах приборов	134
11.3. Измерение напряжения и тока	137
11.4. Электрические счетчики и их включение	138
11.5. Расширение пределов измерения счетчиков	140
11.6. Измерительные трансформаторы	141
11.7. Логометры. Мегомметры. Измерители заземлений	145
11.8. Приборы для измерения активных сопротивлений, индуктивностей и емкостей с использованием мостовых схем	146
11.9. Регистрирующие приборы и осциллографы	147
Глава 12. АВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	147
12.1. Короткие замыкания, причины их возникновения и возможные последствия	147
12.2. Переходный процесс при коротком замыкании	148
12.3. Способы расчета и ограничения токов короткого замыкания	150
12.4. Основные требования к коммутационной аппаратуре	153
12.5. Общие требования к аппаратуре управления	154
Глава 13. КОММУТАЦИОННАЯ И ЗАЩИТНАЯ АППАРАТУРА	156
13.1. Рубильники и переключатели	156
13.2. Пакетные выключатели и переключатели	157
13.3. Автоматические выключатели	158
13.4. Контактры. Магнитные пускатели	161
13.5. Электрические реле	162
13.6. Предохранители	165
13.7. Устройства управления	168
Глава 14. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ	170

14.1. Высоковольтные разъединители, высоковольтные выключатели, выключатели нагрузки, отделители и короткозамыкатели	170
14.2. Высоковольтные предохранители	176
14.3. Распределительные устройства	177
14.4. Трансформаторные подстанции	180
Глава 15. ЛИНИИ И СЕТИ	182
15.1. Схемы распределения электрической энергии	182
15.2. Требования к воздушным линиям электропередачи	183
15.3. Конструкции опор. Изоляторы	185
15.4. Типы проводов	189
15.5. Выбор площади поперечного сечения проводов по условиям нагрева	192
15.6. Расчет проводов на потерю напряжения	192
15.7. Выбор площади поперечного сечения проводов	196
15.8. Проверка сети на колебания напряжения при пуске электродвигателей	199
Глава 16. ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ	201
16.1. Общие сведения о проводках. Разметка проводов	201
16.2. Выбор марки проводов и кабелей и способа их прокладки	203
16.3. Соединение проводов	205
16.4. Элементы монтажа открытых проводок	207
16.5. Элементы монтажа скрытых проводок	210
16.6. Установка осветительной арматуры, выключателей и групповых щитков	213
16.7. Наружные электропроводки	214
16.8. Схемы осветительных цепей	215
РАЗДЕЛ 3. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	217
Глава 17. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ	217
17.1. Устройство и принцип действия асинхронных электродвигателей	217
17.2. Включение трехфазного асинхронного электродвигателя в сеть	220
17.3. Пуск электродвигателя	223
17.4. Характеристики асинхронного электродвигателя	226
17.5. Однофазные асинхронные электродвигатели	228
17.6. Регулирование частоты вращения асинхронных электродвигателей	231
17.7. Работа асинхронного электродвигателя в генераторном режиме	232
17.8. Устройство асинхронных муфт скольжения	233
17.9. Принцип действия коллекторных машин	234
17.10. Электродвигатели постоянного тока и схемы их включения	237
17.11. Коллекторные электродвигатели переменного тока	240
17.12. Синхронные электродвигатели	240
Глава 18. ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ	241
18.1. Общие сведения об электроприводе	241
18.2. Выбор мощности электродвигателя	243
18.3. Механическая передача от двигателя к рабочей машине	246
18.4. Основные требования к установке электродвигателей	248
18.5. Виды схем автоматики и условные обозначения на схемах	252
18.6. Типовые схемы управления асинхронным короткозамкнутым электродвигателем	253
18.7. Типовые схемы управления электродвигателем с фазным ротором	255
Глава 19. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ	257
19.1. Основные понятия	257
19.2. Лампы накаливания	260
19.3. Люминесцентные лампы	263
19.4. Газоразрядные лампы высокого давления	266
19.5. Арматура для ламп. Прожекторы	268
19.6. Выбор светильников и их размещение	270
19.7. Системы освещения	274
19.8. Упрощенный способ расчета освещения	275
Глава 20. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ НАГРЕВА	275
20.1. Перспективы использования электронагревательных приборов	275
20.2. Электронагревательные приборы	276
20.3. Применение электронагрева в производственных процессах	277
20.4. Электронагревательные установки	278

20.5. Тепловые насосы и кондиционеры.....	279
20.6. Электротехнологии обработки металлов. Электронно-ионная технология	280
РАЗДЕЛ 4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПРЕДПРИЯТИЙ	283
Глава 21. МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФОРМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	283
21.1. Объем мероприятий по обслуживанию электрооборудования	283
21.2. Документация и штат службы электроэнергетики предприятий	284
21.3. Порядок расчета объемов работ по техобслуживанию и ремонту энергооборудования предприятий	287
21.4. Ответственность за эксплуатацию электроустановок и уровень квалификации персонала	290
21.5. Объем и нормы приемо-сдаточных и профилактических испытаний электрооборудования	292
Глава 22. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПУСКОЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ	294
22.1. Общие требования к пускозащитной аппаратуре	294
22.2. Выбор плавких вставок предохранителей	296
22.3. Тепловые реле	297
22.4. Температурная защита	299
22.5. Защита трехфазных электродвигателей от работы на двух фазах	300
22.6. Фазочувствительная защита трехфазных электродвигателей	302
22.7. Объем контрольных осмотров и ремонтов пускозащитной аппаратуры	303
Глава 23. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРGETИКИ ПРЕДПРИЯТИЙ	304
23.1. Оценка эффективности потребления электроэнергии	304
23.2. Определение эффективности мероприятий по экономии электроэнергии	305
23.3. Экономия энергии при использовании осветительных ламп	306
23.4. Энергосбережение в электрических сетях, трансформаторах, электродвигателях	308
23.5. Косвенные методы экономии электроэнергии	311
Глава 24. ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ	312
24.1. Заземляющие устройства и их защитное действие	312
24.2. Требования к заземлениям и занулениям в электроустановках	316
24.3. Определение сопротивления растеканию заземлителей	319
24.4. Особенности устройства заземления распределительных сетей 380/220 В	321
24.5. Классификация помещений по степени их опасности	323
24.6. Защитное отключение	325
Глава 25. МОЛНИЕЗАЩИТА	326
25.1. Общие сведения	326
25.2. Молниезащита объектов	331
25.3. Примеры молниезащиты некоторых объектов	335
25.4. Меры по молниезащите при устройстве наружных антенн	339
25.5. Молниезащита линий передач и сетей	340
25.6. Эксплуатация молниезащитных устройств	343
РАЗДЕЛ 5. ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРGETИКИ.	
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ К РАЗДЕЛУ 5	344
Глава 26. КЛАССИФИКАЦИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ СМЕСЕЙ И ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	
ВВЕДЕНИЕ	345
26.1. Группы взрывозащищенного электрооборудования и классификация взрывоопасных смесей по категориям и температурным группам	346
26.2. Классификация взрывозащищенного электрооборудования по уровням, видам и температурным классам (ГОСТ Р 51330.0-99)	348
26.3. Маркировка взрывозащищенного электрооборудования	351
26.4. Требования к электрооборудованию всех видов взрывозащиты (ГОСТ Р 51330.0 – 99)	354
Глава 27. КЛАССИФИКАЦИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОН (ГОСТ Р 51330.9 – 99)	356
27.1. Цели классификации	356
27.2. Методика классификации	358
27.2.1 Общие положения	358
27.2.2 Источники утечки	358
27.2.3 Классы зоны	359
27.2.4 Размеры взрывоопасной зоны	359
27.3. Выбор взрывозащищенного электрооборудования (ГОСТ Р 51330.13 – 99)	361

27.3.1 Выбор согласно классу взрывоопасной зоны.....	361
27.3.2 Выбор согласно температуре самовоспламенения газа или пара.....	362
27.3.3 Выбор электрооборудования согласно категории взрывоопасной смеси.....	363
27.3.4 Внешние воздействия.....	363
РАЗДЕЛ 6. ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ТЕХНИКЕ.....	363
Глава 28. ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ.....	363
28.1. Защита от статического электричества.....	364
28.2. Защита от блуждающих токов.....	364
Глава 29. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ТЕХНИКЕ.....	367
29.1. Приспособления для проверки наличия напряжения и индивидуальные средства защиты.....	367
29.2. Основные меры безопасности в электроустановках.....	370
29.3. Работа в действующих электроустановках.....	371
29.4. Работа во взрыво- и пожароопасных зонах.....	372
29.5. Оказание первой помощи пострадавшему от электрического тока.....	373
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	376
ЛИТЕРАТУРА.....	382