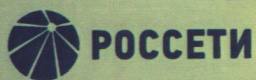
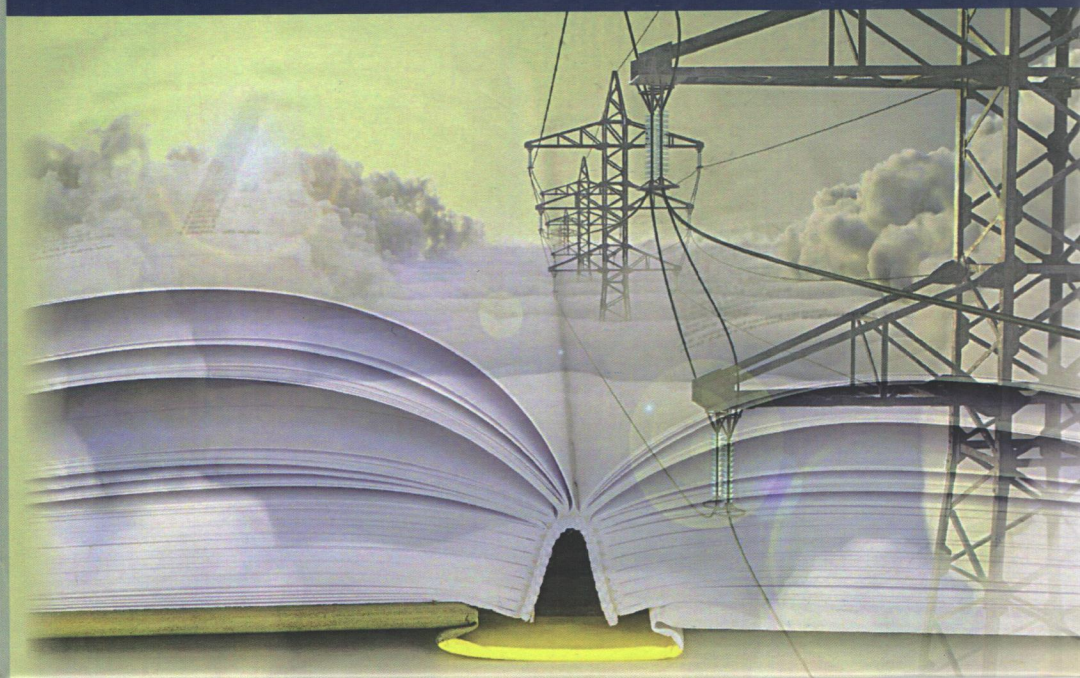


ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС



МОИ

КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ



УДК 621.316
ББК 31.37-01
К 687

Рецензенты: Т.А. Стогний, канд. техн. наук, начальник отдела внешних сетей и сооружений ОАО «Институт Теплоэлектропроект»;
А.А. Коновалов, зам. начальника департамента подстанций ПАО «ФСК ЕЭС»;
А.М. Поляков, канд. техн. наук, доц. НИУ «МЭИ»

Авторы: И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, А.П. Долин,
М.В. Пираторов

К 687 Короткие замыкания и выбор электрооборудования: учеб. пособие / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев и др.; под ред. проф. И.П. Крюčkова, проф. В.А. Старшинова. – М.: Издательство МЭИ. – 440 с.

ISBN 978-5-7046-1937-6

Рассмотрены методы расчета коротких замыканий, простых и сложных несимметричных режимов в электроэнергетических системах, термического и электродинамического воздействия токов короткого замыкания на проводники и электрические аппараты, методы и способы ограничения токов короткого замыкания, особенности расчетов коротких замыканий в электроустановках напряжением до 1 кВ. Приведены особенности расчетов жесткой ошиновки открытых распределительных устройств. Предложен комплекс программ для расчетов коротких замыканий с помощью компьютера.

Предназначено в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений направления подготовки 13.03.02 – «Электро- и теплоэнергетика» и может быть использовано специалистами электроэнергетиками.

УДК 621.316
ББК 31.37-01

ISBN 978-5-7046-1937-6

© Коллектив авторов, 2018
© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2018
© ПАО «Россети», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	12
Глава первая	
ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ.....	13
1.1. Общие положения.....	13
1.2. Термины и определения.....	15
1.3. Основные допущения при расчетах коротких замыканий.....	21
Глава вторая	
РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ.....	23
2.1. Назначение расчетов коротких замыканий и предъявляемые к ним требования	23
2.2. Понятия о расчетных условиях	24
2.3. Расчетная схема электроустановки	24
2.4. Расчетный вид короткого замыкания	24
2.5. Расчетная точка короткого замыкания	25
2.6. Расчетная продолжительность короткого замыкания....	26
Глава третья	
ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ.....	27
3.1. Параметры наиболее удаленной от расчетной точки короткого замыкания части электроэнергетической системы.....	27
3.2. Параметры синхронных машин	27
3.3. Параметры асинхронных двигателей	29
3.4. Параметры силовых трансформаторов и автотрансформаторов.....	29
3.5. Параметры токоограничивающих реакторов.....	30
3.6. Исходные параметры воздушных линий электропередачи.....	30
3.7. Исходные параметры кабельных линий	31
3.8. Исходные параметры токопроводов и шинопроводов...	31
Глава четвертая	
СОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ.....	32

4.1. Расчетная схема и схема замещения.....	32
4.2. Система единиц, используемая при составлении схем замещения.....	33
4.3. Виды схем замещения.....	36
4.4. Составление схем замещения с исключением трансформаторных связей путем приведения параметров всех элементов расчетной схемы к одной ступени напряжения.....	38
4.5. Составление схем замещения с сохранением трансформаторных связей.....	44
4.6. Преобразование схем замещения.....	45

Глава пятая

РАСЧЕТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ

СВЫШЕ 1кВ.....	48
5.1. Общие положения.....	48
5.2. Расчет действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания при удаленных коротких замыканиях (от электроэнергетической системы)...	49
5.3. Расчет начального действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания от синхронных машин.....	51
5.4. Влияние электродвигателей и нагрузок в начальный момент короткого замыкания.....	60
5.5. Расчет апериодической составляющей тока короткого замыкания в произвольной схеме.....	62
5.6. Способы определения ударного коэффициента и соответственно ударного тока короткого замыкания.....	66
5.7. Расчет периодической составляющей тока короткого замыкания в произвольный момент времени аналитическим способом.....	68
5.8. Практические методы расчета периодической составляющей тока короткого замыкания.....	70

Глава шестая

МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ.....

6.1. Методы, используемые при расчетах несимметричных режимов.....	80
6.2. Образование высших гармоник при несимметричных режимах синхронных машин.....	83

Глава седьмая

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ПРЯМОЙ, ОБРАТНОЙ И НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ.....

7.1. Постановка задачи.....	86
7.2. Схемы замещения прямой и обратной последовательностей.....	86
7.3. Схемы замещения нулевой последовательности.....	89
7.4. Схемы замещения различных последовательностей при поперечной и продольной несимметриях в одном и том же месте.....	93

Глава восьмая

НЕСИММЕТРИЧНЫЕ КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ.....

8.1. Исходные положения.....	97
8.2. Двухфазное короткое замыкание.....	98
8.3. Однофазное короткое замыкание.....	102
8.4. Двухфазное короткое замыкание на землю.....	106
8.5. Правило эквивалентности тока прямой последовательности.....	110
8.6. Расчет токов и напряжений при несимметричных коротких замыканиях разными методами.....	113
8.7. Расчет тока в произвольной ветви и напряжения в произвольном узле при несимметричных коротких замыканиях.....	119
8.8. Соотношение токов короткого замыкания разных видов при замыканиях в одной и той же точке.....	123

Глава девятая

РАСЧЕТ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ НЕСИММЕТРИИ.....

9.1. Общие замечания.....	125
9.2. Обрыв одной фазы.....	127
9.3. Обрыв двух фаз.....	133
9.4. Включение в одну из фаз элемента, обладающего сопротивлением.....	138
9.5. Включение в две фазы элементов с одинаковым сопротивлением.....	142
9.6. Особенности расчета токов и напряжений при однократной продольной несимметрии.....	147

Глава десятая

РАСЧЕТ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ СЛОЖНЫХ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ.....	150
10.1. Общие замечания.....	150
10.2. Использование комплексных схем замещения.....	151
10.3. Двойное несимметричное повреждение, вызванное обрывом провода одной фазы воздушной линии элект- ропередачи и однофазным коротким замыканием на землю той же фазы.....	154
10.4. Двойное несимметричное повреждение, вызванное обрывом провода одной фазы воздушной линии элект- ропередачи и однофазным коротким замыканием на землю другой фазы.....	159
10.5. Расчет двойных коротких замыканий на землю.....	165
10.6. Расчет несимметрии при обрыве проводника одной фазы и одновременном однофазном коротком замыка- нии с использованием производной схемы прямой по- следовательности.....	176

Глава одиннадцатая

СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К ТО- КАМ ОБРАТНОЙ И НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ...	183
11.1. Влияние конструктивных особенностей различных элементов электроэнергетической системы на их со- противления обратной и нулевой последовательностей	183
11.2. Синхронные машины	184
11.3. Асинхронные электродвигатели.....	190
11.4. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы.....	191
11.5. Факторы, определяющие полное сопротивление пря- мой (обратной) и нулевой последовательностей воз- душных линий электропередачи.....	197
11.6. Сопротивление нулевой последовательности одно- цепной трехфазной воздушной линии электропередачи без заземленных молниезащитных тросов	203
11.7. Сопротивление нулевой последовательности одно- цепной трехфазной воздушной линии электропередачи с заземленными молниезащитными тросами.....	205
11.8. Сопротивление нулевой последовательности двухцеп- ной трехфазной воздушной линии электропередачи без заземленных молниезащитных тросов.....	208

11.9. Сопротивление нулевой последовательности двухцеп- ной трехфазной воздушной линии электропередачи с заземленными молниезащитными тросами.....	211
11.10. Сопротивление нулевой последовательности трех- жильных кабелей.....	214

Глава двенадцатая

ТЕРМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКОВ КОРотКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ПРОВОДНИКИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ.....	217
12.1. Способы оценки термического воздействия токов ко- роткого замыкания.....	217
12.2. Методы расчета интеграла Джоуля и термически эк- вивалентного тока короткого замыкания.....	218
12.3. Термическое воздействие токов короткого замыкания на проводники.....	229
12.4. Проверка проводников на термическую стойкость.....	231
12.5. Проверка силовых кабелей на невозгораемость при коротком замыкании.....	236
12.6. Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость.....	237

Глава тринадцатая

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ПРОВОДНИКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ.....	239
13.1. Силы взаимодействия проводников с токами.....	239
13.2. Электродинамические нагрузки в трехфазной шинной линии при двухфазном коротком замыкании.....	245
13.3. Электродинамические нагрузки в трехфазной шинной линии при трехфазном коротком замыкании.....	248
13.4. Электродинамические нагрузки в шинной линии с проводниками, расположенными по вершинам тре- угольника, при трехфазном коротком замыкании.....	251
13.5. Условия электродинамической стойкости и расчетные схемы шинных конструкций.....	253
13.6. Расчет шинных конструкций на электродинамическую стойкость	260
13.7. Проверка гибких проводников на электродинамиче- скую стойкость при коротких замыканиях.....	269

Глава четырнадцатая	
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.....	277
14.1. Постановка задачи.....	277
14.2. Классификация методов и средств ограничения токов короткого замыкания.....	278
14.3. Схемные решения	280
14.4. Деление сети	282
14.5. Общие требования к токоограничивающим устройствам	286
14.6. Токоограничивающие реакторы	287
14.7. Трансформаторы и автотрансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения.....	291
14.8. Вставки постоянного тока и переменного тока промышленной частоты	292
14.9. Токоограничивающие устройства со сверхпроводниками	294
14.10. Ограничение токов короткого замыкания на землю...	296
Глава пятнадцатая	
ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	299
15.1. Расчетные условия для выбора электрооборудования	299
15.2. Выбор электрических аппаратов и проводников по условиям рабочих продолжительных режимов.....	303
15.3. Проверка коммутационных электрических аппаратов на коммутационную способность	306
15.4. Расчет переходного восстанавливающегося напряжения на контактах выключателя при отключении коротких замыканий в трехфазных эффективно заземленных сетях.....	307
15.5. Условия выбора и проверки проводников и электрических аппаратов разных видов	316
Глава шестнадцатая	
ВЫБОР И ПРОВЕРКА ШИННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	320
16.1. Общие положения.....	320
16.2. Выбор изоляторов.....	321
16.3. Выбор изоляционных расстояний.....	323
16.4. Проверка ошиновки по условиям короны.....	325
16.5. Проверка элементов ошиновки по допустимым температурным деформациям шин.....	326
16.6. Выбор шин по нагреву в рабочих режимах.....	329
16.7. Проверка шин по допустимым прогибам.....	337
16.8. Расчет шин на ветровую стойкость.....	340

16.9. Проверка шин по условиям ветрового резонанса.....	348
16.10. Проверка стойкости (прочности) изоляторов и шин при сочетании внешних нагрузок.....	351

Глава семнадцатая	
КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ.....	353
17.1. Основные факторы, влияющие на процесс короткого замыкания.....	353
17.2. Параметры элементов электроустановок переменного тока.....	359
17.3. Расчет трехфазных коротких замыканий.....	384
17.4. Расчет токов несимметричных коротких замыканий...	389
17.5. Параметры элементов электроустановок постоянного тока.....	390
17.6. Короткие замыкания в электроустановках с полупроводниковыми преобразователями.....	403

Глава восемнадцатая	
РАСЧЕТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ НА КОМПЬЮТЕРЕ....	406
18.1. Общие положения.....	406
18.2. Комплексный учет различных факторов, влияющих на ток короткого замыкания.....	407
18.3. Программы <i>GuFaults</i> , <i>GuExpert</i> , <i>GuDCSets</i> и <i>GuTestAC</i>	418
18.4. База справочных данных.....	430
18.5. Защита от ошибок при вводе исходных данных.....	434
18.6. Типовые задачи расчета коротких замыканий	435
Список литературы.....	439