

РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ «ЕЭС РОССИИ»

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ

● ПО РАСЧЕТУ ТОКОВ
● КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ
● И ВЫБОРУ
● ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

РД 153-34.0-20.527-98

Российское акционерное общество энергетики и электрификации
«ЕЭС России»

**РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ
ПО РАСЧЕТУ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ
И ВЫБОРУ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

РД 153-34.0-20.527–98

Москва
«Издательство НЦ ЭНАС»
2013

УДК 621.311.014.7.001.24 + 621.311.002.51.004.17

ББК 31.2

P85

**Руководящие указания разработаны
Московским энергетическим институтом (техническим университетом)**

Исполнители:

Б. Н. НЕКЛЕПАЕВ – руководитель работы (разработка программы, разд. 1, 2, 9, п. 3.6)

И. П. КРЮЧКОВ – ответственный исполнитель (разд. 3, 4, пп. 5.1–5.4, 5.5.1, 5.5.2, 5.5.5, 5.5.6, 5.6.6–5.6.8, 5.9, 5.11.1, разд. 8, приложения П.1–П.12)

В. В. ЖУКОВ – (пп. 5.5.8, 5.6, 5.7, 5.10, разд. 6, 7)

Ю. П. КУЗНЕЦОВ – (пп. 5.5.3–5.5.7, 5.6.5–5.6.7, 5.8, 6.7.7, разд. 10, приложение П. 13)

Научный редактор **Б. Н. НЕКЛЕПАЕВ**

Утверждены Департаментом стратегии развития
и научно-технической политики 23.03.1998 г.

P85 **Руководящие** указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Под ред. Б. Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2013. – 152 с.

ISBN 5-93196-081-3

Предлагаются в новой редакции (3-е издание) Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания (КЗ) и выбору электрооборудования. Разработаны методы расчета токов КЗ в электроустановках свыше 1 кВ и до 1 кВ как при симметричных, так и при несимметричных КЗ для начального и произвольного моментов времени. Дана методика определения параметров элементов расчетных схем и методика составления таких схем. Развита проблема определения токов КЗ с учетом влияния комплексной нагрузки, электрической дуги, теплового спада тока КЗ из-за нагрева проводников, вставок постоянного тока. Сформулированы расчетные условия для проверки электрооборудования по условиям КЗ, приведены методики проверки электрооборудования на электродинамическую и термическую стойкость и проверки электрических аппаратов на коммутационную способность. Даны примеры типовых расчетов.

УДК 621.311.014.7.001.24 + 621.311.002.51.004.17

ББК 31.2

ISBN 5-93196-081-3

© РАО «ЕЭС России», 2000

© Оформление «Издательство НЦ ЭНАС», 2000

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
1. Введение	6
1.1. Общие положения	6
1.2. Термины и определения	6
1.3. Буквенные обозначения величин	11
2. Расчетные условия коротких замыканий	14
2.1. Общие указания	14
2.2. Расчетная схема	15
2.3. Расчетный вид короткого замыкания	15
2.4. Расчетная точка короткого замыкания	15
2.5. Расчетная продолжительность короткого замыкания	16
3. Общие методические указания	16
3.1. Составление расчетной схемы	16
3.2. Составление исходной схемы замещения	17
3.3. Составление исходной комплексной схемы замещения для расчета несимметричных коротких замыканий	23
3.4. Учет взаимной индукции линий электропередачи	24
3.5. Преобразование исходной схемы замещения в эквивалентную результирующую	24
3.6. Определение взаимных сопротивлений между источниками и точкой короткого замыкания	26
3.7. Применение принципа наложения	26
3.8. Пример составления и преобразования схем замещения	27
4. Параметры элементов расчетных схем	30
4.1. Параметры, необходимые для расчета токов короткого замыкания	30
4.2. Методика определения отдельных параметров	32
5. Расчет токов коротких замыканий в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ	41
5.1. Принимаемые допущения	41
5.2. Расчет начального действующего значения периодической составляющей тока короткого замыкания	42
5.3. Расчет аperiodической составляющей тока короткого замыкания	43
5.4. Расчет ударного тока короткого замыкания	46
5.5. Расчет периодической составляющей тока короткого замыкания для произвольного момента времени	47
5.6. Учет синхронных и асинхронных электродвигателей при расчете токов короткого замыкания	52
5.7. Учет комплексной нагрузки при расчете токов короткого замыкания	56

5.8. Учет влияния электропередачи или вставки постоянного тока на ток короткого замыкания в объединенных системах переменного тока	62
5.9. Расчет токов при несимметричных коротких замыканиях	62
5.10. Учет изменения параметров короткозамкнутой цепи при расчете токов короткого замыкания	65
5.11. Примеры расчетов токов короткого замыкания	69
6. Расчет токов короткого замыкания в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ	74
6.1. Принимаемые допущения	74
6.2. Расчет начального значения периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания	74
6.3. Методы расчета несимметричных коротких замыканий. Составление схем замещения	77
6.4. Расчет апериодической составляющей тока короткого замыкания	79
6.5. Расчет ударного тока короткого замыкания	79
6.6. Расчет периодической составляющей тока КЗ для произвольного момента времени	80
6.7. Учет синхронных и асинхронных электродвигателей при расчете токов КЗ	82
6.8. Учет комплексной нагрузки при расчетах токов короткого замыкания	85
6.9. Учет сопротивления электрической дуги	89
6.10. Учет изменения активного сопротивления проводников при коротком замыкании	90
6.11. Примеры расчетов токов короткого замыкания	92
7. Расчет электродинамического действия токов короткого замыкания и проверка электрооборудования на электродинамическую стойкость при коротких замыканиях	95
7.1. Общие положения	95
7.2. Электродинамические силы в электроустановках	100
7.3. Проверка шинных конструкций на электродинамическую стойкость	101
7.4. Проверка гибких токопроводов на электродинамическую стойкость при КЗ	111
7.5. Проверка электрических аппаратов на электродинамическую стойкость при коротких замыканиях	117
7.6. Примеры расчетов по проверке электрооборудования на электродинамическую стойкость при коротких замыканиях	117
8. Расчет термического действия токов короткого замыкания и проверка электрооборудования на термическую стойкость при коротких замыканиях	122
8.1. Общие положения	122
8.2. Термическое действие тока короткого замыкания. Определение интеграла Джоуля и термически эквивалентного тока короткого замыкания	122
8.3. Проверка проводников на термическую стойкость при коротких замыканиях	127
8.4. Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость при коротких замыканиях	130
8.5. Примеры расчетов по проверке электрооборудования на термическую стойкость при коротких замыканиях	131
9. Проверка электрических аппаратов на коммутационную способность	133
9.1. Общие положения	133
9.2. Проверка выключателей	133
9.3. Проверка плавких предохранителей	134
9.4. Проверка автоматических выключателей	134
10. Применение ЭВМ для расчета токов короткого замыкания	134
Приложения	136

ПРЕДИСЛОВИЕ

Руководящие указания предназначены для использования инженерами-энергетиками при выполнении ими расчетов токов короткого замыкания (КЗ) и проверке электрооборудования (проводников и электрических аппаратов) по режиму КЗ.

Руководящие указания включают в себя методы расчета токов симметричных и несимметричных КЗ в электроустановках напряжением свыше 1 кВ и до 1 кВ, методы проверки проводников и электрических аппаратов на электродинамическую и термическую стойкость и методы проверки электрических аппаратов на коммутационную способность.

Руководящие указания не предназначены для использования при расчетах токов КЗ для целей релейной защиты и автоматики в специфических условиях (наличие длинных линий электропередачи, продольной и поперечной компенсации, нелинейных элементов в цепи; двойные, повторные, видоизменяющиеся и сложные виды КЗ и т. п.).

Данные Руководящие указания существенно отличаются от ранее действовавших аналогичных нормативно-технических документов, таких как:

а) Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору по режиму короткого замыкания аппаратуры и проводников в электрических установках высокого напряжения (М.: ГЭИ. 1944. – 51 с.);

б) Руководящие указания по расчету коротких замыканий, выбору и проверке аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания (1-я ред. М.: МЭИ, 1975. – 331 с.).

В настоящем, третьем, издании Руководящих указаний, учтены пожелания пользователей: изменена структура документа, развиты методы расчета токов КЗ с учетом специфических параметров современных электрических машин и их систем возбуждения, даны рекомендации по учету электрической дуги, нагрева и перемещения гибких проводников при КЗ, влияния комплексной нагрузки на токи КЗ.

Приводятся новые кривые изменения во времени токов КЗ генераторов различных серий с различными системами возбуждения. Включен материал о терминах и определениях в области коротких замыканий в электроустановках, о буквенных обозначениях величин, а также материал о применении ЭВМ при расчетах токов КЗ.

Все основные разделы Руководящих указаний иллюстрируются примерами решения характерных задач.

Руководящие указания разработаны авторским коллективом в составе: д. т. н., проф. Неклепаев Б.Н. (руководитель работы), к. т. н., проф. Крючков И.П. (ответственный исполнитель), д. т. н., проф. Жуков В.В., д. т. н., проф. Кудрявцев Е.П. (пп. 7.4; 7.6.4), к. т. н., доц. Кузнецов Ю.П.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Общие положения

1.1.1. Для электроустановок характерны 4 режима: нормальный, аварийный, послеаварийный и ремонтный, причем аварийный режим является кратковременным режимом, а остальные – продолжительными режимами.

1.1.2. Электрооборудование выбирается по параметрам продолжительных режимов и проверяется по параметрам кратковременных режимов, определяющим из которых является режим короткого замыкания.

1.1.3. По режиму КЗ электрооборудование проверяется на электродинамическую и термическую стойкость, а коммутационные аппараты – также на коммутационную способность.

1.1.4. Учитывая дискретный характер изменения параметров электрооборудования, расчет токов КЗ для его проверки допускается производить приблизительно, с принятием ряда допущений, при этом погрешность расчетов токов КЗ не должна превышать 5–10 %.

1.1.5. Руководящие указания согласованы с действующими Государственными стандартами в области коротких замыканий, а также с Правилами устройства электроустановок:

– ГОСТ 26522–85. Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 17 с.

– ГОСТ 27514–87. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 40 с.

– ГОСТ Р 50270–92. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 60 с.

– ГОСТ 29176–91. Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 40 с.

– ГОСТ Р 50254–92. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 57 с.

– Правила устройства электроустановок. – 6-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.

1.2. Термины и определения

1.2.1. В Руководящих указаниях используются следующие термины и определения:

1.2.1.1. Замыкание – всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы электрическое соединение различных точек электроустановок между собой или с землей.

1.2.1.2. Короткое замыкание – замыкание, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима.

1.2.1.3. Короткое замыкание на землю – короткое замыкание в электроустановке, обусловленное соединением с землей какого-либо ее элемента.

1.2.1.4. Однофазное короткое замыкание – короткое замыкание на землю в трехфазной электроэнергетической системе с глухо- или эффективно заземленными нейтральными силовых элементов, при котором с землей соединяется только одна фаза.

1.2.1.5. Двухфазное короткое замыкание – короткое замыкание между двумя фазами в трехфазной электроэнергетической системе.

1.2.1.6. Двухфазное короткое замыкание на землю – короткое замыкание на землю в трехфазной электроэнергетической системе с глухо- или эффективно заземленными нейтральными силовых элементов, при котором с землей соединяются две фазы.

1.2.1.7. Двойное короткое замыкание на землю – совокупность двух однофазных коротких замыканий на землю в различных, но электрически связанных частях электроустановки.

1.2.1.8. Трехфазное короткое замыкание – короткое замыкание между тремя фазами в трехфазной электроэнергетической системе.

1.2.1.9. Трехфазное короткое замыкание на землю – короткое замыкание на землю в трехфазной электроэнергетической системе с глухо- или эффективно заземленными нейтральными силовых элементов, при котором с землей соединяются три фазы.

1.2.1.10. Повторное короткое замыкание – короткое замыкание в электроустановке при автоматическом повторном включении коммутационного электрического аппарата поврежденной цепи.

1.2.1.11. Изменяющееся короткое замыкание – короткое замыкание в электроустановке с переходом одного вида короткого замыкания в другой.

1.2.1.12. Устойчивое короткое замыкание – короткое замыкание в электроустановке, условия возникновения которого сохраняются во время бестоковой паузы коммутационного электрического аппарата.

1.2.1.13. Неустойчивое короткое замыкание – короткое замыкание в электроустановке, условия возникновения которого самоликвидируются во время бестоковой паузы коммутационного электрического аппарата.

1.2.1.14. Симметричное короткое замыкание – короткое замыкание в электроустановке, при котором все ее фазы находятся в одинаковых условиях.

1.2.1.15. Несимметричное короткое замыкание – короткое замыкание в электроустановке, при котором одна из ее фаз находится в условиях, отличных от условий других фаз.

1.2.1.16. Удаленное короткое замыкание – короткое замыкание в электроустановке, при котором амплитуды периодической составляющей тока данного источника энергии в начальный и произвольный моменты времени практически одинаковы.

1.2.1.17. Близкое короткое замыкание – короткое замыкание в электроустановке, при котором амплитуды периодической составляющей тока данного источника энергии в начальный и произвольный моменты времени существенно отличаются.

1.2.1.18. Режим короткого замыкания – режим работы электроустановки при наличии в ней короткого замыкания.

1.2.1.19. Предшествующий режим – режим работы электроустановки непосредственно перед моментом возникновения короткого замыкания.

1.2.1.20. Установившийся режим короткого замыкания – режим короткого замыкания электроустановки, наступающий после затухания во всех цепях свободных токов и прекращения изменения напряжения возбудителей синхронных машин под действием автоматических регуляторов возбуждения.

1.2.1.21. Переходный процесс в электроустановке – процесс перехода от одного установившегося режима электроустановки к другому.

1.2.1.22. Электромагнитный переходный процесс в электроустановке – переходный процесс, характеризуемый изменением значений только электромагнитных величин электроустановки.

1.2.1.23. Электромеханический переходный процесс в электроустановке – переходный процесс, характеризуемый одновременным изменением значений электромагнитных и механических величин, определяющих состояние электроустановки.

1.2.1.24. Свободная составляющая тока короткого замыкания – составляющая тока короткого замыкания, определяемая только начальными условиями короткого замыкания, структурой электрической сети и параметрами ее элементов.

1.2.1.25. Принужденная составляющая тока короткого замыкания – составляющая тока короткого замыкания, равная разности между током короткого замыкания и его свободной составляющей.

1.2.1.26. Аperiodическая составляющая тока короткого замыкания – свободная составляющая тока короткого замыкания, изменяющаяся во времени без перемены знака.

1.2.1.27. Периодическая составляющая тока короткого замыкания рабочей частоты – составляющая тока короткого замыкания, изменяющаяся по периодическому закону с рабочей частотой.

1.2.1.28. Мгновенное значение тока короткого замыкания – значение тока короткого замыкания в рассматриваемый момент времени.

1.2.1.29. Действующее значение тока короткого замыкания – среднее квадратическое значение тока короткого замыкания за период рабочей частоты, середина которого есть рассматриваемый момент времени.

1.2.1.30. Действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания – среднее квадратическое значение периодической составляющей тока короткого замыкания за период рабочей частоты, середина которого есть рассматриваемый момент времени.

1.2.1.31. Начальное действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания – условная величина, равная двойной амплитуде периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени, уменьшенной в $2\sqrt{2}$ раз.

1.2.1.32. Начальное значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени.

1.2.1.33. Установившийся ток короткого замыкания – значение тока короткого замыкания после окончания переходного процесса, характеризуемого затуханием всех свободных составляющих этого тока и прекращением изменения тока от воздействия устройств автоматического регулирования возбуждения источников энергии.

1.2.1.34. Ударный ток короткого замыкания – наибольшее возможное мгновенное значение тока короткого замыкания.

1.2.1.35. Ударный коэффициент тока короткого замыкания – отношение ударного тока короткого замыкания к амплитуде периодической составляющей тока короткого замыкания рабочей частоты в начальный момент времени.

1.2.1.36. Отключаемый ток короткого замыкания – ток короткого замыкания электрической цепи в момент начала расхождения дугогасительных контактов ее коммутационного электрического аппарата.

1.2.1.37. Действующее значение периодической составляющей отключаемого тока короткого замыкания – условная величина, равная двойной амплитуде периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов коммутационного электрического аппарата, уменьшенной в $2\sqrt{2}$ раз.

1.2.1.38. Апериодическая составляющая отключаемого тока короткого замыкания – значение апериодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов коммутационного электрического аппарата.

1.2.1.39. Амплитудное значение отключаемого тока короткого замыкания – условная величина, равная арифметической сумме действующего значения периодической составляющей отключаемого тока короткого замыкания, увеличенного в $\sqrt{2}$ раз, и апериодической составляющей отключаемого тока короткого замыкания.

1.2.1.40. Симметричные составляющие несимметричной трехфазной системы токов короткого замыкания – три симметричные трехфазные системы токов короткого замыкания рабочей частоты прямой, обратной и нулевой последовательностей, на которые данная несимметричная трехфазная система токов короткого замыкания может быть разложена.

1.2.1.41. Ток короткого замыкания прямой последовательности – один из токов симметричной трехфазной системы токов короткого замыкания прямого следования фаз.

1.2.1.42. Ток короткого замыкания обратной последовательности – один из токов симметричной трехфазной системы токов короткого замыкания обратного следования фаз.

1.2.1.43. Ток короткого замыкания нулевой последовательности – один из токов симметричной неуравновешенной трехфазной системы токов короткого замыкания нулевого следования фаз.

1.2.1.44. Ожидаемый ток короткого замыкания – ток короткого замыкания, который был бы в электрической цепи электроустановки при отсутствии действия установленного в ней токоограничивающего коммутационного электрического аппарата.

1.2.1.45. Пропускаемый ток короткого замыкания – наибольшее мгновенное значение тока короткого замыкания в электрической цепи электроустановки с учетом действия токоограничивающего коммутационного электрического аппарата.

1.2.1.46. Сквозной ток короткого замыкания – ток, проходящий через включенный коммутационный электрический аппарат при внешнем коротком замыкании.

1.2.1.47. Содержание апериодической составляющей в отключаемом токе короткого замыкания – отношение апериодической составляющей отключаемого тока короткого замыкания в заданный момент времени к увеличенному в $\sqrt{2}$ раз действующему значению периодической составляющей отключаемого тока короткого замыкания в тот же момент времени.

1.2.1.48. Гармонический состав тока короткого замыкания – совокупность синусоидальных токов различных частот, на которые может быть разложен ток короткого замыкания.

1.2.1.49. Фаза возникновения короткого замыкания в электроустановке – фаза напряжения электроустановки к моменту возникновения короткого замыкания, выраженная в электрических градусах.

1.2.1.50. Переходная составляющая тока короткого замыкания – периодическая составляющая тока короткого замыкания, равная сумме принужденной и свободной переходной составляющих тока короткого замыкания.

1.2.1.51. Сверхпереходная составляющая тока короткого замыкания – периодическая составляющая тока короткого замыкания, равная сумме переходной и свободной сверхпереходной составляющих тока короткого замыкания.

1.2.1.52. Мощность короткого замыкания – условная величина, равная увеличенному в $\sqrt{3}$ раз произведению тока трехфазного короткого замыкания в начальный момент времени на номинальное напряжение соответствующей сети.