

4. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

5. ГОСТ Р 50571.18-2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 442. Защита электроустановок до 1 кВ от перенапряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1 кВ.

6. ГОСТ Р 50571.19-2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 443. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений.

7. ГОСТ Р 50571.20-2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 444. Защита электроустановок от перенапряжений, вызванных электромагнитными воздействиями.

8. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.

9. Рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации зданий при применении устройств защитного отключения. – М.: Издательство МЭИ, 2001.

УДК 621.3.022

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

*Горячко М.Г., Тихон Д.А., Мельянчук А.А.*

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

Расчет тока короткого замыкания (КЗ) в сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняется, в основном, для следующих целей:

– для выбора электрооборудования по условиям КЗ (отключающая способность электрических аппаратов, термическая и электродинамическая стойкость проводников и аппаратов);

– для выбора уставок защитной аппаратуры сети, проверки ее чувствительности и селективности.

Для выбора электрооборудования по условиям КЗ подлежат определению начальное значение периодической составляющей тока КЗ, апериодическая составляющая тока КЗ, ударный ток КЗ и действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени после КЗ.

Сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняются с глухим заземлением нейтрали. В таких сетях возможны все виды металлических и дуговых КЗ. Вид КЗ и величина переходного сопротивления в месте КЗ определяются многими факторами возникновения и существования повреждения изоляции электроустановки и являются случайными величинами. При этом в процессе развития повреждения один вид замыкания может переходить в другой: двухфазное в трехфазное или однофазное на землю в двухфазное на землю. Вероятность существования чистого металлического КЗ невысока, а ток дугового КЗ всегда меньше тока металлического КЗ.

Исходя из сказанного, ток металлического КЗ используется для проверки электрооборудования на отключающую способность и на электродинамическую и термическую стойкость. Для проверки селективности защитной аппаратуры необходимо использовать токи дуговых замыканий в конце зоны действия защитных аппаратов с учетом наличия дуги в месте КЗ и с учетом термического эффекта тока КЗ.

В соответствии с ГОСТ 28249-93 при расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

– индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи;

– активные сопротивления короткозамкнутой цепи;

– активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;

– наличие подпитки места КЗ от асинхронных электродвигателей.

При расчетах тока КЗ в соответствии с ГОСТ 28249-93 рекомендуется учитывать:

– сопротивление электрической дуги в месте КЗ;

– изменение активного сопротивления проводников электрической цепи вследствие их нагрева при КЗ.

При расчетах токов КЗ допускается:

– максимально упрощать и эквивалентировать всю внешнюю сеть по отношению к месту КЗ и индивидуально учитывать только автономные источники электроэнергии и электродвигатели, непосредственно примыкающие к месту КЗ;

– не учитывать ток намагничивания трансформаторов;

– не учитывать насыщение магнитных систем электрических машин;

– принимать коэффициенты трансформации трансформаторов равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней напряжения сетей, которые связывают трансформаторы. При этом следует использовать следующую шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ;

– не учитывать влияния АД, если их суммарный номинальный ток не превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета АД.

Токи КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах. При составлении эквивалентных схем замещения параметры элементов исходной расчетной схемы следует приводить к ступени напряжения сети, на которой находится точка КЗ, а активные и индуктивные сопротивления всех элементов схемы замещения выражать в миллиомах.

Сопротивление внешней энергосистемы включает в себя сопротивление прилегающей части электросистемы на стороне ВН рабочего или резервного трансформатора питания РУ 6 (10) кВ, сопротивление собственно трансформаторов рабочего и резервного питания РУ 6 (10) кВ, а также сопротивления шинпроводов или кабельных связей, по которым осуществляется ввод рабочего или резервного питания секций РУ 6 (10) кВ.

Активные и индуктивные сопротивления прямой и обратной последовательности (в миллиомах) понижающих трансформаторов питания схемы СН 0,4 кВ, приведенные к ступени НН, можно определить по параметрам опыта короткого замыкания.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме  $\Delta/Y_0$ , практически равны соответственно активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности.

При соединении обмоток трансформаторов по схеме  $Y/Y_0$  или  $Y/Z_0$  активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности значительно превышают сопротивления прямой последовательности и имеют значительный разброс, вследствие чего достоверные результаты могут быть получены путем непосредственного экспериментального измерения этих сопротивлений для каждого конкретного трансформатора.

При определении активного и индуктивного сопротивлений прямой и нулевой последовательностей шинпроводов следует использовать данные завода-изготовителя или применять экспериментальный или расчетный методы определения параметров. Расчетное определение параметров шинпроводов производится по ГОСТ 28249-93. Для шинпроводов задаются сопротивления прямой последовательности и сопротивления нулевого проводника.

Значения сопротивлений прямой (обратной) и нулевой последовательностей кабелей, применяемых в электроустановках до 1 кВ, принимают по данным заводоизготовителей или по приложениям, в которых приведены параметры алюминиевых и

медных кабелей, заимствованные из ГОСТ 28249-93 (параметры кабелей приведены для температуры  $\nu = 20$  °С).

При расчете токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ следует учитывать как индуктивные, так и активные сопротивления первичных обмоток всех многовитковых измерительных трансформаторов тока, которые имеются в цепи КЗ. Значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности принимают равными значениям сопротивлений прямой последовательности. Параметры многовитковых трансформаторов тока приведены в ГОСТ 28249-93. Активным и индуктивным сопротивлением одновитковых трансформаторов тока на все номинальные токи при расчетах токов КЗ можно пренебречь.

Переходное сопротивление электрических контактов любого вида следует определять на основании данных экспериментов или с использованием расчетных методик. Величина сопротивления контактных соединений зависит от сечения проводника (номинального тока) элемента. При приближенном учете сопротивлений контактов принимают:  $r_k = 0,1$  мОм – для контактных соединений кабелей;  $r_k = 0,01$  мОм – для шинопроводов;  $r_k = 1,0$  мОм – для коммутационных аппаратов.

При расчете тока КЗ от АД последние вводятся в схему замещения своим активным сопротивлением, сверхпереходным индуктивным сопротивлением и сверхпереходной ЭДС (ГОСТ 28249-93).

Механические потери в АД приближенно можно принять равными 1 % от его номинальной мощности.

Активные и индуктивные сопротивления прямой последовательности воздушных линий электропередачи, выполненных медными или алюминиевыми проводами приводятся в таблицах и приложениях.

Индуктивные сопротивления даются в зависимости от среднегеометрического расстояния между проводами фаз, которое определяется конструкцией воздушной линии электропередачи.

Активные и индуктивные сопротивления обратной последовательности воздушных линий принимаются равными активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности воздушных линий напряжением 0,4 кВ зависят от конструкции линии, наличия и количества повторных заземлений на ней, конструкции устройств повторных заземлений и климатической зоны, в которой находится воздушная линия.

В соответствии с рекомендациями ГОСТ 28249-93 расчет токов несимметричных КЗ в схемах напряжением 0,4 кВ СН электростанций и других установок выполняется для двухфазных и однофазных КЗ.

Расчет токов несимметричных КЗ выполняют методом симметричных составляющих с использованием схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательности.

Схема замещения прямой последовательности совпадает со схемой замещения для трехфазного КЗ. Для расчета начального значения тока несимметричного КЗ АД вводятся в схему замещения своими сверхпереходными значениями ЭДС и сопротивлений.

Сопротивления трансформаторов, шинопроводов и кабельных линий принимаются равными их сопротивлениям прямой последовательности. Система и АД вводятся в схему своими сверхпереходными сопротивлениями, а ЭДС системы и АД принимаются равными нулю.

В схемы замещения нулевой последовательности не входят элементы, по которым не протекает ток нулевой последовательности. К таким элементам относятся АД, так

как они на напряжении 0,4 кВ при схеме соединения обмотки статора звездой работают с изолированной нейтралью.

УДК 611.311

## МАСЛОПОЛНЕННЫЕ КАБЕЛИ

*Безруков Ю.В., Хитрик О.В.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент КРАСЬКО А.С.

Кабельные линии находят преимущественное применение в условиях промышленной и городской застройки, т. е. в районах, где прокладка трасс воздушных линий встречает большие затруднения. В городах и промышленных зонах кабельные линии прокладывают, как правило, в земле (траншеях) по непроезжей части улиц (под тротуарами) и по техническим полосам (газоны с кустарниковой посадкой). На территориях, насыщенных подземными коммуникациями, прокладку кабельных линий выполняют в коллекторах и туннелях. При пересечении проезжей части улиц кабельные линии прокладываются в блоках или трубах. Маслонаполненные кабели предназначены для вводов линий электропередачи к распределительным устройствам ТЭЦ, а также для соединения трансформаторов с распределительными устройствами на тепловых и гидравлических станциях. В маслонаполненных кабелях бумажная изоляция пропитана маловязким минеральным или синтетическим маслом, которое с помощью специальных подпитывающих устройств находится в кабеле под постоянным избыточным давлением. В зависимости от величины избыточного давления маслонаполненные кабели делят на кабели низкого давления (3–15 Н/см<sup>2</sup>), кабели среднего давления (3–30 Н/см<sup>2</sup>) и кабели высокого давления (100–150 Н/см<sup>2</sup>). В США и ряде европейских стран выпускают трехжильные маслонаполненные кабели на напряжения 35–60 кВ в общей свинцовой оболочке. Токопроводящие жилы кабелей изготавливают многопроволочными, поверх изоляции накладывают перфорированный экран. Подпитка маслом этих кабелей осуществляется через спирали, укладываемые в промежутки между жилами. Кабели на напряжения 60 и 70 кВ в Японии выпускают как одножильными сечением 100–1000 мм<sup>2</sup>, так и трехжильными сечением 80–325 мм<sup>2</sup>. Одножильные кабели изготавливают с внутренним каналом в токопроводящей жиле для циркуляции масла. Жилы сечением 900 и 1000 мм<sup>2</sup> скручивают из четырех секторов с образованием внутреннего канала для подпитки маслом; толщина изоляции этих кабелей принята равной 7–9 мм в зависимости от напряжения и сечения жил. Для предохранения масла от окисления при контакте с медью токопроводящую жилу кабеля лудят чистым оловом. В СССР маслонаполненные кабели изготавливали на напряжение 110 кВ и выше. ВНИИКП рекомендует маслонаполненные кабели на напряжения 110 и 220 кВ следующего ряда сечений: 150, 185, 240, (270), 300, (350), 400, (425), 500, (550), 625, 800, 1000, 1250 и 1500 мм<sup>2</sup>. Сечения жил, указанные в скобках, не рекомендуются для широкого применения. Жилы сечением 150–800 мм<sup>2</sup> выполняют из профильных проволок, образующих концентрические повивы. Диаметр маслопроводящего канала применяют одинаковый для всего диапазона сечений, равный 12 мм. Первый повив, образующий маслопроводящий канал, выполняют из 12 Z-образных проволок для всего ряда (за исключением сечений 150 и 185 мм<sup>2</sup>). Токопроводящие жилы сечением 1000–1500 мм<sup>2</sup> для уменьшения влияния поверхностного эффекта и эффекта близости выполняют секционированными из четырех или шести уплотненных сегментов, накладываемых на первый повив из Z-образных проволок. Уплотненные сегменты разделяют слоем полупроводящей бумаги. Кабели на напряжение 110 кВ изготавливают с градированной изоляцией толщиной