

УДК 621.316.5

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 кВ

Баран А.Г., Зарихта К.С.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Электрическая сеть – это совокупность электроустановок, предназначенных для передачи, преобразования и распределения электроэнергии. Электрические сети подразделяются по выполняемым функциям в энергосистеме и классу напряжения. Наиболее разветвленными и сложными являются распределительные сети, т. е. сети напряжением 0,4–10 кВ, служащие для распределения электрической энергии. Большую часть таких сетей представляют собой сети напряжением до 1 кВ, формирующие системы внутреннего электроснабжения цехов промышленных предприятий и гражданских зданий. К сетям напряжением до 1 кВ предъявляются следующие требования: экономичность; надежность (в том числе гибкость, универсальность и обеспечение потребителей электроэнергией требуемого качества); безопасность и удобство технического обслуживания и ремонта. Безопасность электрических сетей может быть обеспечена только при их правильном проектировании и эксплуатации, которые в свою очередь невозможны без правильного расчета токов короткого замыкания.

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);
- для выбора уставок защитной аппаратуры сети, проверки ее чувствительности и селективности;
- для выбора и проверки заземляющих устройств.

Для выбора электрооборудования по условиям КЗ подлежат определению следующие величины:

- начальное значение периодической составляющей тока КЗ;
- апериодическая составляющая тока КЗ;
- ударный ток КЗ;
- действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени после КЗ.

Для выбора параметров защитной аппаратуры сети и проверки ее селективной работы определению подлежат максимальные и минимальные значения периодической составляющей тока в месте КЗ в начальный и произвольный моменты времени вплоть до расчетного времени размыкания поврежденной цепи.

Для выбора и проверки заземляющих устройств расчету подлежит значение тока в режиме однофазного короткого замыкания.

В соответствии с нормативными документами (ГОСТ 28249-93, ПУЭ и др.) 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 синхронных и асинхронных электродвигателей (АД).

При расчетах тока КЗ так же рекомендуется учитывать:

- сопротивление электрической дуги в месте КЗ;
- изменение активного сопротивления проводников электрической цепи вследствие их нагрева при КЗ;

В целях упрощения расчетов 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.

– 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.

Исходя из изложенных выше допущений и требований, можно выделить наиболее явные особенности расчета токов короткого замыкания в сетях напряжением до 1 кВ:

– При расчете токов КЗ необходимо учитывать индуктивные и активные сопротивления всех элементов схемы, в том числе и составляющие сопротивлений проводников, трансформаторов тока, токовых катушек автоматов, дуги, контактов и контактных соединений.

– Обязательный учет подпитки места КЗ токами от асинхронных и синхронных машин, даже если они не подключены непосредственно в точку КЗ.

– Учет изменения сопротивления элементов схемы при их нагревании токами КЗ.

– Расчет ведется в именованных единицах.

Необходимость учета активных составляющих сопротивления проводников, трансформаторов тока, токовых катушек автоматов, дуги, контактов и контактных соединений и др. объясняется их величиной для данной сети. Так для сетей более высокого напряжения активное сопротивление не значительно по отношению к суммарному, и его отсутствие в расчетах не вызывает погрешности более 10 %, в отличие от рассматриваемой сети.

Если суммарный номинальный ток АД секции превышает 1 % начального значения периодической составляющей тока КЗ от энергосистемы, в соответствии с ГОСТ 28249-93 требуется производить учет влияния АД на ток КЗ. Начальное действующее значение периодической составляющей тока  $I_{п0АД}$  трехфазного КЗ в килоамперах от АД рассчитывают по формуле:

$$I_{п0АД} = \frac{E''_{\phi АД}}{\sqrt{(r_{АД} + r_{1\Sigma})^2 + (x''_{АД} + x_{1\Sigma})^2}}.$$

При определении минимального значения тока КЗ в соответствии с ГОСТ 30323-95 необходимо производить учет увеличения активного сопротивления кабеля к моменту отключения цепи вследствие нагревания его током КЗ. Значение активного сопротивления  $r_0$  кабеля в миллиомах с учетом нагрева его током КЗ рассчитывается по формуле:

$$r_0 = c_0 r_{0,20},$$

где  $c_0$  – коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления кабеля;

$r_{0,20}$  – активное сопротивление кабеля при температуре  $\nu_0$ , равной 20 °С, мОм.

При приближенных расчетах значение коэффициента  $c_0$  допускается принимать равным 1,5. При уточненных инженерных расчетах коэффициент  $c_0$  следует определять в соответствии с расчетными кривыми в зависимости от материала и сечения жил кабеля, тока КЗ и продолжительности КЗ. Так для кабелей с медными жилами кривые представлены на рисунке 1а – для продолжительности КЗ 0,2 с (сплошные линии) и 0,6 с (пунктирные линии)

с; а на рисунке 1б – для продолжительности 1,0 с (сплошные линии) и 1,5 с (пунктирные линии).

Данные расчетные графики получены при следующих расчетных условиях:

– КЗ происходит в радиальной схеме, содержащей ветвь с источником неизменной по амплитуде ЭДС;

– температура кабеля изменяется от  $\nu_0$ , равной 20 °С, до  $\nu_{доп}$ , равной 200 °С;

– продолжительность КЗ составляет 0,2, 0,6, 1,0, 1,5 с.

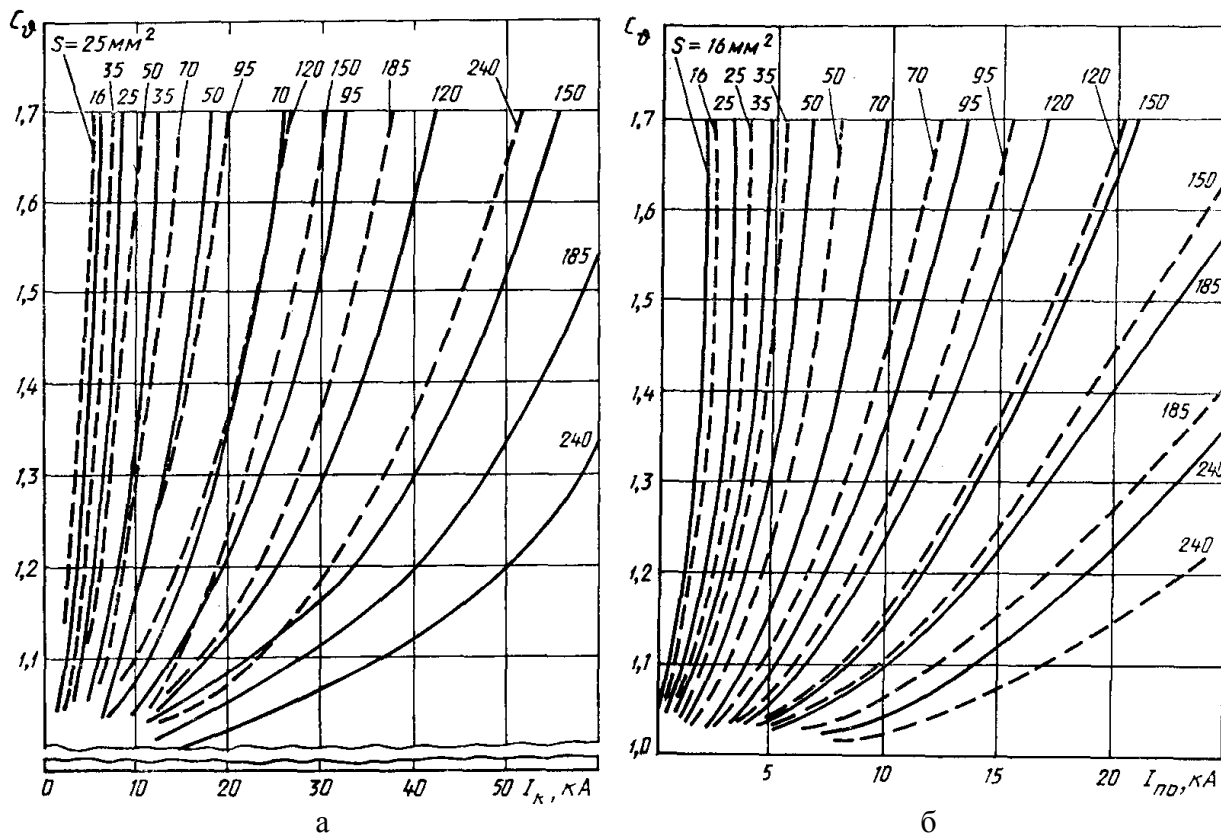


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей различного сечения для различной продолжительности КЗ от тока КЗ

### Литература

- 1 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. ГОСТ 28249-93. – Введ. 01.01.95. – Минск : Стандарт информ, 2006. – 47 с.
- 2 Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.
- 3 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. РД 153-34.0-20.527-98 / Под ред. Б.Н. Неклепаева. – М. : Изд. «НЦ ЭНАС», 2002.
- 4 Методические указания по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электрических станций и подстанций с учетом влияния электрической дуги. СТП 09110.20.145-07. – Введ. 02.04.2007. – Минск : ГПО «Белэнерго», 2007. – 60 с.
- 5 Жуков, В.В. Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ / В.В. Жуков. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 192 с.