

- высокая степень интеграции;
- быстродействие;
- надежность;
- простота конфигурирования и наладки;
- легкость последующей модернизации;
- широкие коммуникационные возможности.

Здесь приведены основные, наиболее типичные и общие преимущества цифровых защит. Каждый производитель имеет ряд определенных наработок и патентов в этой области, что позволяет при проектировании плана реконструкции энергетического объекта задействовать защиты того или иного производителя, которая наиболее лучшим образом отвечала бы условиям, поставленным перед инженерами по автоматизации.

Литература

1. Network Protection and Automation. Engineer's guide. – Alstom, 2004. – 398 p.
2. Инструкция по эксплуатации и выбору уставок терминала дифференциальной защиты трансформатора RET 316. – ABB, 2004. – 133 с.
3. REB500sys Operation Manual. Busbar Protection With Integrated BFP. – ABB, 2004. – 1032 p.
4. Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006–2010 годах: утверждена Указом Президента Республики Беларусь № 399 от 25.08.2005. – Минск, 2005.

УДК 621.3.064.1:006.354

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

Терещук А.В., Ледак И.Я., Горячко М.Г.
Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

Расчет тока КЗ в сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняется, в основном, для следующих целей [1]:

- для выбора электрооборудования по условиям КЗ (отключающая способность электрических аппаратов, термическая и электродинамическая стойкость токоведущих частей);
- 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.

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.

В связи с этим был разработан межгосударственный стандарт ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ» [1].

Сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняются с глухим заземлением нейтрали. В этих сетях рассчитываются трехфазные, двухфазные и однофазные КЗ.

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 ручных 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.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока $I_{п0}$ трехфазного металлического КЗ в килоамперах при питании от энергосистемы через понижающий трансформатор без учета подпитки от АД рассчитывают по формуле:

$$I_{п0} = \frac{U_{ср.НН}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}},$$

где $U_{ср.НН}$ – среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В;

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ – соответственно суммарное активное и суммарное реактивное сопротивления прямой последовательности цепи КЗ, мОм.

Сопротивления схемы замещения прямой последовательности свернутой к узлу КЗ $r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ соответственно равны:

$$r_{1\Sigma} = r_{1Т} + r_{1ш} + r_{1кл} + r_{ТА} + r_{кв} + r_{к} + r_{пв};$$

$$x_{1\Sigma} = x_{с} + x_{1Т} + x_{1ш} + x_{1кл} + x_{ТА} + x_{кв},$$

где $x_{с}$ – эквивалентное индуктивное сопротивление системы до понижающего трансформатора, мОм, приведенное к ступени НН;

$r_{1Т}$, $x_{1Т}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающего трансформатора, мОм;

$r_{1ш}, x_{1ш}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности шинпроводов, мОм;

$r_{1кл}, x_{1кл}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности кабельных линий, мОм;

$r_{ТА}, x_{ТА}$ – активное и индуктивное сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока, мОм;

$r_{кв}, x_{кв}$ – активное и индуктивное сопротивления токовых катушек и силовых контактов автоматических выключателей, мОм;

r_k – суммарное активное сопротивление болтовых и разъемных контактных соединений, мОм;

$r_{пв}$ – сопротивление плавкой вставки, мОм.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока $I_{п0АД}$ трехфазного КЗ в килоамперах от АД рассчитывают по формуле:

$$I_{п0АД} = \frac{E_{ф.АД}''}{\sqrt{r_{АД}^2 + (x_{АД}'')^2}}$$

Расчет параметров АД приведен в [1].

В этом случае начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ в месте КЗ определяют как сумму токов от энергосистемы и от АД.

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.

Схема замещения обратной последовательности также должна включать в себя все элементы расчетной схемы. Сопротивления трансформаторов, шинпроводов 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.

Конфигурация схемы замещения нулевой последовательности может значительно отличаться от схем замещения прямой и обратной последовательностей. В нее 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.

При питании электроустановки от энергосистемы через понижающий трансформатор начальное значение периодической составляющей тока двухфазного КЗ от системы $I_{п0}^{(2)}$ в килоамперах определяют по формуле

$$I_{п0}^{(2)} = \frac{U_{ср.НН}}{2 \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}$$

Так как нейтральная точка обмотки статора АД на напряжении 0,4 кВ изолирована, то ток однофазного КЗ протекает только в цепи схемы СН между трансформатором и местом КЗ, а АД не обтекаются токами КЗ. Начальное значение периодической со-

ставляющей тока однофазного КЗ от системы $I_{п0}^{(1)}$ в килоамперах определяют по формуле:

$$I_{п0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} U_{ср.НН}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}},$$

где $r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ – суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления нулевой последовательности расчетной схемы относительно точки КЗ, мОм.

Сопротивления $r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ равны:

$$r_{0\Sigma} = r_{0Т} + r_{0ш} + r_{0кл} + r_{ТА} + r_{кв} + r_{к};$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0Т} + x_{0ш} + x_{0кл} + x_{ТА} + x_{кв},$$

где $r_{0Т}$, $x_{0Т}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности понижающего трансформатора;

$r_{0ш}$, $x_{0ш}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шинпровода;

$r_{0кл}$ и $x_{0кл}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабельной линии.

Учет нагрева активных сопротивлений кабелей для времени КЗ, отличного от нуля, производится с помощью кривых, приведенных в [1]. Там же приведена методика учета переходного сопротивления дуги.

Литература

1. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – Минск, 2004.

УДК 621.316

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Степанькова М.П., Китель Д.В.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент СИЛЮК С.М.

Формирование принципов регулирования режимов основывается на определенных требованиях к качеству электрической энергии.

Для обеспечения требуемого качества электрической энергии установлены определенные нормы качества напряжения, которые должны соблюдаться во всех режимах и не выходить за предельно и нормально допустимые значения.

Качество напряжения оценивают несколькими показателями (таблица 1). Рассмотрим основные из них.

Основной задачей регулирования напряжения является поддержание оптимального режима напряжений и соблюдение требования стандарта к качеству напряжения у потребителей.

Общая задача регулирования напряжения в системообразующей сети формулируется так:

$$\Delta P = \Delta P_H(U) + \Delta P_K(U) \rightarrow \min,$$

при ограничениях: