

УДК 621.3

## РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СХЕМАХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

Бурло В.В., Зарихта К.С.

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

Наиболее опасным аварийным кратковременным режимом работы электроустановок является режим короткого замыкания. Короткое замыкание (КЗ) – электрическое соединение двух точек электрической цепи с различными потенциалами, которое не предусмотрено нормальными условиями работы установки. Вследствие явления короткого замыкания резко увеличивается сила тока в электрической цепи. Из-за этого в электроустановках возникают большие механические усилия, и значительно повышается температура проводников, что может привести к повреждениям. Поэтому электрооборудование по режиму КЗ проверяется на электродинамическую и термическую стойкость, а коммутационные аппараты проверяются также на коммутационную способность.

Расчет тока 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 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.

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 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 коротком замыкании.

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;

– 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 асинхронных двигателей (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:

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

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.

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ от АД.

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:

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

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

Ударный ток КЗ от энергосистемы рассчитывают по формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} I_{п0} K_{уд}, \quad (3)$$

где  $K_{уд}$  – ударный коэффициент

Ударный коэффициент рассчитывают по формуле:

$$K_{уд} = (1 + \sin \varphi_{к} e^{-t_{уд}/T_a}), \quad (4)$$

где  $\varphi_{к}$  – угол фазового сдвига между напряжением источника и периодической составляющей тока КЗ, град; греческие ровные

$t_{уд}$  – время от начала КЗ до появления ударного тока, с;

$T_a$  – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, с.

Угол фазового сдвига рассчитывают по формуле:

$$\varphi_{\kappa} = \arctg \frac{x_{1\Sigma}}{r_{1\Sigma}}. \quad (5)$$

Время от начала КЗ до появления ударного тока рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \frac{\pi / 2 + \varphi_{\kappa}}{\pi}. \quad (6)$$

Постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ рассчитывается по формуле:

$$T_a = \frac{x_{1\Sigma}}{\omega_c r_{1\Sigma}}, \quad (7)$$

где  $\omega_c$  – синхронная угловая частота напряжения сети, рад/с.

Ударный ток от АД (в кА) рассчитывают с учетом затухания амплитуды периодической составляющей тока КЗ по формуле

$$i_{\text{удАД}} = \sqrt{2} I_{\text{п0АД}} \left( e^{-\frac{0,01}{T_p}} + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right), \quad (8)$$

где  $T_p$  – расчетная постоянная затухания периодической составляющей тока статора, с;

$T_a$  – постоянная затухания аperiodической составляющей тока статора, с.

Постоянные  $T_p$  и  $T_a$  рассчитываются по формулам

$$T_p = \frac{x''_{\text{АД}} + x_{1\Sigma}}{\omega_c r_2}; \quad (9)$$

$$T_a = \frac{x''_{\text{АД}} + x_{1\text{кб}}}{\omega_c (r_1 + r_{1\text{кб}})}, \quad (10)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  – соответственно активное сопротивление статора и активное сопротивление ротора, приведенное к статору.

Если точка КЗ делит схему на радиальные, не зависящие друг от друга ветви, то ударный ток КЗ определяют, как сумму токов отдельных ветвей.

В данной работе были рассмотрены основные положения при расчете токов КЗ, параметры сети и факторы, учитываемые при расчете токов КЗ.

Так же был рассмотрен расчет начального значения периодической составляющей тока, ударного тока КЗ.

### Литература

1 Бобко, Н.Н. Программа TKZd01kV для расчета токов короткого замыкания на ЭВМ / Н.Н. Бобко. – Минск : БНТУ, 2016. – 14 с.

2 Руководящие указания по расчету тока короткого замыкания и выбору электрооборудования : РД 153-34.0-20.527-98 : утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политики 23.03.98. – М. : ЭНАС, 2002. – 152 с.