

**Оценка эффективности
функционирования токовой релейной
защиты сети напряжением 20 кВ с
низкоомным резистивным заземлением
нейтрали**

Докладчик Лачугин Владимир Федорович

Максимальная токовая защита

В соответствии со Стандартом ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.70.305-2020 «Методические указания для выбора параметров настройки и срабатывания микропроцессорных устройств РЗА оборудования 6-35 кВ объектов ЕНЭС» ток срабатывания $I_{с.з.}$ максимальной токовой защиты (МТЗ) КЛ 20 кВ выбирается из условий

отстройки от максимального рабочего тока $I_{\text{раб макс}}$ присоединения

$$I_{с.з.} = (k_n / k_v) I_{\text{раб макс}},$$

где $k_n = 1,2$ - коэффициент надежности, а k_v - коэффициент возврата, принимаемый равным 0,95;

отстройки от тока самозапуска двигателей

$$I_{с.з.} = (k_n / k_v) * (k_{\text{сам}} I_{\text{ном.дв}\Sigma} + I_{\text{раб макс}}),$$

где коэффициент самозапуска электродвигателей $k_{\text{сам}}$, $I_{\text{ном.дв}\Sigma}$ - сумма токов нагрузки электродвигателей;

согласования по току с МТЗ предыдущего участка КЛ 20 кВ

$$I_{с.з.} = k_c I_{с.з.пред.} K_{\text{т. расп. макс}},$$

где $k_c = 1,3$ - коэффициент надежности согласования; $I_{с.з.пред.}$ - ток срабатывания МТЗ предыдущей КЛ; $K_{\text{т. расп. макс}}$ - коэффициент токораспределения.

$I_{\text{раб макс}}$ по величине равен длительно допустимому току $I_{\text{дл доп}}$ для проложенной в земле КЛ из сшитого полиэтилена. Например, по условию отстройки от максимального рабочего тока КЛ с треугольно расположенными алюминиевыми жилами сечением 630 мм², составляющего 699 А

$$I_{\text{с.з.}} = (k_{\text{н}} / k_{\text{в}}) I_{\text{раб макс}} = (1,2 / 0,95) * 699 = 883 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности определяется по выражению

$$K_{\text{ч}} = (I_{\text{кз}} / I_{\text{ср.з.}}) = 10000 / 883 = 11,3 > 1,5.$$

Вследствие практической невозможности получения достоверных данных о фактических значениях токах нагрузки электродвигателей ток срабатывания защиты по условию отстройки от их тока самозапуска рекомендуется определять по выражению

$$I_{\text{с.з.}} = 3 * I_{\text{дл доп}} = 3 * 699 = 2097 \text{ А.}$$

При этом $K_{\text{ч}} = (I_{\text{кз}} / I_{\text{ср.з.}}) = 10000 / 2097 = 4,77 > 1,5.$

Следует отметить, что вследствие необходимости согласования токов срабатывания МТЗ последовательно соединенных КЛ чувствительность устройств МТЗ на последующих участках сети 20 кВ будет постепенно снижаться, в частности для МТЗ трансформаторного ввода и МТЗ секций шин.

Защита от замыканий на землю

В Стандарте СТО 56947007- 29.120.70.305-2020 указывается, что для КЛ из сшитого полиэтилена необходимо предусматривать отдельную защиту от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ).

Ток срабатывания этой защиты КЛ 20 кВ, подключенной к трехтрансформаторным фильтрам тока нулевой последовательности

$$I_{\text{ср.з}} = K_{\text{н}} (K_{\text{бр}} * I_{\text{с фид}} + I_{\text{нб}}),$$

где $K_{\text{н}} = 1,2$ - коэффициент надежности, $K_{\text{бр}} = 1,5$ - коэффициент броска емкостного тока, $I_{\text{фид}}$ - максимальный емкостной ток, $I_{\text{нб}}$ - ток небаланса фильтра тока нулевой последовательности.

$$I_{\text{нб}} = K_{\text{одн}} \text{ £ } I_{\text{кз.макс}} ,$$

где $K_{\text{одн}} = 1,0$ - коэффициент однотипности трансформаторов тока, $\text{£} = 0,1$ - предельная погрешность ТТ, $I_{\text{кз.макс}}$ - максимальный ток междупазного КЗ на выходе фильтре тока нулевой последовательности.

Коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}} = (I_{\text{озз}} / I_{\text{ср.з}}) \geq 1,5$.

Значение трехфазного тока КЗ в сети 20 кВ с низкоомным заземлением нейтрали составляет примерно 12 кА. Для защиты от ООЗ КЛ 20 кВ из сшитого полиэтилена с алюминиевыми жилами, подключенной к трехтрансформаторным фильтрам тока нулевой последовательности $I_{нб} = K_{нб} * I_{кз} = 0,1 * I_{кз}$. Следовательно, при одном из максимальных значениях емкостного тока этой КЛ, равного 59,55 А, ток срабатывания защиты от ОЗЗ составит

$$I_{ср.з} = 1,2 * (1,5 * 59,55 + 0,1 * 12000) = 1,2 * (89,3 + 1200) = 1547.$$

При этом коэффициент чувствительности $K_{ч} = 1,05 * I_R / I_{ср.з} = 1050 / 1547 = 0,679$ оказывается существенно ниже требуемого значения.

При подключении защиты от ОЗЗ КЛ 20 кВ к кабельным ТТ нулевой последовательности ток небаланса обычно не превышает 5-6 А. Примем этот ток ориентировочно равным 10 А.

Тогда

$$I_{\text{ср.з}} = K_n (K_{\text{бр}} * I_{\text{С фид}} + I_{\text{нб}}) = 1,2 * (1,5 * 59,55 + 10) = 1,2 * (89,3 + 10) = 119 \text{ А},$$
$$K_{\text{ч}} = 1,05 * I_{\text{R}} / I_{\text{ср.з}} = 1050 / 119 = 8,82 > 1,5.$$

Следовательно, коэффициент чувствительности защиты от ОЗЗ КЛ 20 кВ оказывается существенно больше нормативного значения, что позволяет надежно использовать токовую защиту от ОЗЗ, реагирующую на токи нулевой последовательности промышленной частоты, формируемые на выходе кабельного ТТ.

Сложнее ситуация складывается с защитой от ОЗЗ на секционных выключателях и, тем более, с защитой от ОЗЗ на трансформаторных вводах, так как при этом необходимо отстраиваться от емкостного тока одной или нескольких секций шин. Например, для защиты от ОЗЗ на секционном выключателе 20 кВ с отстройкой от емкостного тока $I_{\text{С секц}}$, равного 385 А:

$$I_{\text{ср.з}} = K_{\text{н}}(K_{\text{бр}} * I_{\text{С секц}} + I_{\text{нб}}) = 1,2*(1,5*385 + 10) = 1,2*(577,5 + 10) = 705 \text{ А},$$

$$\text{При этом } K_{\text{ч}} = 1,05 * I_{\text{Р}} / I_{\text{ср.з}} = 1050/705 = 1,49.$$

Следовательно, чувствительность защиты находится практически на предельно допустимом значении.

При установке на секции шин 20 кВ нейтралеобразующего трансформатора с реактором индуктивного типа, ограничивающего емкостной ток секции, например, до 100 А, ток срабатывания защиты от ОЗЗ на секционном выключателе, равен

$$I_{\text{ср.з}} = K_{\text{н}}(K_{\text{бр}} * I_{\text{С секц}} + I_{\text{нб}}) = 1,2*(1,5*100 + 10) = 1,2*(150 + 10) = 192 \text{ А},$$
$$K_{\text{ч}} = 1,05 * I_{\text{Р}} / I_{\text{ср.з}} = 1050/192 = 5,47 > 1,5.$$

При этом ток срабатывания защиты от ОЗЗ на трансформаторных вводах 20 кВ

$$I_{\text{ср.з}} = 1,2*(1,5*200 + 10) = 1,2*(300 + 10) = 372 \text{ А},$$
$$K_{\text{ч}} = 1,05 * I_{\text{Р}} / I_{\text{ср.з}} = 1050/372 = 2,82 > 1,5,$$

что вполне соответствует нормативным требованиям.

Выбор ступеней селективности по времени для МТЗ и защиты от ОЗЗ в сетях 20 кВ ОЭК

Степень селективности по времени для МТЗ и защиты от ОЗЗ определяется по выражению

$$\Delta t = t_{\text{откл}} + t_{\text{возвр}} + t_{\text{погр1}} + t_{\text{погр2}} + t_{\text{зап}} ,$$

где: $t_{\text{откл}}$ – время отключения выключателя;

$t_{\text{возвр}}$ – время возврата защиты ;

$t_{\text{погр1}}$ – погрешность срабатывания реле по времени для предыдущей защиты,

$t_{\text{погр2}}$ – погрешность срабатывания реле по времени для последующей защиты

(погрешность срабатывания цифровых реле по времени не превышает 2 % , но не больше значения 0,025 с);

$t_{\text{зап}}$ – время запаса срабатывания реле, учитывающее неточность регулировки реле времени, разброс во времени отключения выключателей и т.п., принимаемое равным 0,1 с .

Следует отметить, что в стандарте СТО 56947007-29.120.70.305-2020 ПАО «ФСК ЕЭС» степень селективности принимается равной 0,3 с при согласовании МТЗ с микропроцессорными защитами.

Однако степень селективности может быть уменьшена при использовании устройств защиты и выключателей с высокой точностью и стабильностью временных характеристик.

В связи с этим для микропроцессорных защит сетей 20 кВ с низкоомным резистивным заземлением нейтрали достижима степень селективности по времени, равная 0,2 – 0,25 с.