

ДАЛЬНЕЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ЗАЩИТ В СЕТЯХ 0,4 кВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТРАНСПОРТА ГАЗА

Электрические сети напряжением 0,4 кВ являются наиболее распространенными, они применяются на всех промышленных и сельскохозяйственных предприятиях, электростанциях и подстанциях. От этих сетей во многом зависит надежная работа предприятий.

В сетях 0,4 кВ всегда остро стояла проблема дальнего резервирования отказов защит и выключателей. Осуществить это резервирование теми же традиционными методами, как в сетях высокого напряжения, не удалось из-за очень существенного снижения значений токов короткого замыкания по мере удаления точки короткого замыкания от источников питания. Разрешить эту проблему оказалось возможным только в последние годы, когда для защиты электрических сетей стала применяться цифровая техника.

The electrical networks of voltage 0,4 kilovolt are the most widespread ones, they are used at all industrial and agricultural enterprises, power stations and substations. Fail-safe operation of enterprises depends to a large extent on these networks.

A problem of remote reservation of failures of guards and cutout switches has always been very acute in the networks of 0,4 kilovolt. Due to a very substantial reduction of values of short-circuit currents as the distance between a point of fault and power supplies increases, it was not possible to carry out this reservation by the same traditional methods as in high-voltage power networks. This problem has been found possible to be solved only in recent years when digital technology began to be used for protection of electrical networks.

Резервирование – способ обеспечения надежности функционирования релейной защиты путем введения избыточности. Дальнее резервирование – способ резервирования, при котором в случае отказа защиты или коммутационной аппаратуры (выключателей, короткозамыкателей, отделителей) короткое замыкание (КЗ) ликвидируется действием защит элементов, смежных с поврежденным. Высокая чувствительность защиты дальнего резервирования (ЗДР) является одним из основных условий для ее эффективного функционирования.

Функция дальнего резервирования (ДР), действующая при отказе защит или выключателей, отходящих от шин линий, выявляет удаленные КЗ (как симметричные, так и несимметричные). ДР работает при напряжении прямой последовательности U_1 на шинах ввода, превышающем 10 % от но-

минального значения. При меньших напряжениях ДР выводится из работы. ДР не работает от токов подпитки, возникающих при КЗ в сети высокого напряжения трансформатора ввода.

Принцип действия ДР основан на анализе соотношений между приращениями активной и реактивной составляющих тока прямой последовательности, оценке величин приращений фазных токов, напряжения прямой последовательности и абсолютных значений токов прямой и обратной последовательности, а также мощности обратной последовательности в переходных процессах.

При возникновении удаленных от шин ввода сети 0,4 кВ трехфазных КЗ увеличение тока ввода происходит, в основном, за счет его активной составляющей. Это обусловлено тем, что активное сопротивление

кабелей (как алюминиевых, так и медных), используемых в сетях 0,4 кВ, больше, чем их индуктивное сопротивление. Наличие дуги при КЗ еще более увеличивает активное сопротивление цепи КЗ.

Для сетей 0,4 кВ (в отличие от сетей более высоких напряжений) характерно большое влияние активных сопротивлений и сопротивления электрической дуги на значения токов КЗ, резкое снижение тока КЗ по мере удаления от шин 0,4 кВ питающей подстанции, а также сравнительно низкая надежность основных защитных аппаратов – автоматических выключателей.

Резервирование защит отходящих от шин 0,4 кВ линий с помощью максимальных токовых защит трансформаторов 6(10)/0,4 кВ или вводных автоматических выключателей, установленных между трансформатором и шинами 0,4 кВ, как правило, не обеспечивается*. Поэтому проблема дальнейшего резервирования отказов защит и выключателей в сетях 0,4 кВ представляется весьма актуальной. Покажем это на примере сетей 10 кВ и 0,4 кВ.

• Сеть 10 кВ. Синхронный турбодвигатель СТД-4000 имеет следующие параметры: номинальная мощность $P_n = 4$ МВт; полная мощность $S_n = 4,56$ МВА; номинальное напряжение питания $U_n = 10$ кВ; номинальный ток $I_n = 265$ А; коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,9$; индуктивное сопротивление $X_d'' = 0,143$ о.е.

Сеть питается через автоматический выключатель 10 кВ от трансформатора мощностью 40 МВА, 110/10 кВ, с номинальным током 3000 А.

Ток срабатывания максимальной тепловой защиты (МТЗ) ввода 10 кВ выбираем из условия:

не срабатывания при максимальном рабочем токе

$$I_{н.ц} \geq \frac{1,1}{0,95} \left(5 \cdot 265 + \frac{1000 + 100 + 630 + 630}{\sqrt{3} \cdot 10} \right) = 1692 \text{ А}; \quad (1)$$

* *Беляев А.В.* Дальнее резервирование отказов защит и выключателей в сетях 0,4 кВ / *А.В.Беляев, М.А.Эдлин // Электрические станции. 2002. № 12.*

согласования по току с защитой секционного выключателя (СВ) с учетом нагрузки

$$I_{н.ц} \geq 1,1 \cdot \sqrt{1500^2 + (4 \cdot 265)^2} = 2020 \text{ А}. \quad (2)$$

Принимаем $I_{с.з} = 2020$ А.

Чувствительность защиты

$$K_{\pm} = 0,87 \frac{I_{\dot{e}.i\dot{e}i}}{I_{н.ц}} = 0,87 \cdot \frac{8560}{2020} = 3,7 > 1,5, \quad (3)$$

где $t_{с.з} = 1$ с – отключение СВ; $t_{с.з} = 1,3$ с – отключение ввода 10 кВ.

Токовая отсечка

$$I_{н.i} = 1,5 I_{н\dot{a}}'' = 1,5 \cdot 1954 = 3000 \text{ А}; \quad (4)$$

$$t_{н.i} = 0,05 \text{ с},$$

где $I_{н\dot{a}}''$ – ток обмотки синхронного электродвигателя,

$$I_{н\dot{a}}'' = \frac{1,5 U_i}{\sqrt{3} X_{i\dot{o}n\dot{e}}''} = \frac{1,05 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 3,12} = 1945 \text{ А};$$

$X_{п\dot{y}cк}$ – индуктивное сопротивление обмотки синхронного электродвигателя в пусковом режиме

$$X_{i\dot{o}n\dot{e}}'' = X_d'' \frac{U_i}{\sqrt{3} I_i} = 0,143 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 265} = 3,12 \text{ }\hat{\Omega}.$$

Расчет показывает, что токовая отсечка предназначена для защиты электродвигателя от трехфазных токов КЗ, а МТЗ – для защиты электродвигателя от двух фазных токов КЗ. Это две разные защиты, организованные на различных токовых реле*.

Определим длину зоны резервирования для указанных защит. Ток срабатывания данных защит $I_{с.з}$ обычно находится в пределах от 2 до 5 значения номинального тока трансформатора $I_{н.т}$. Условно примем максимальное из возможных значений $I_{с.з} = 5 I_{н.т} = 5 \cdot 3000 = 15000$ А. Определим зону действия этой защиты.

Суммарное значение, соответствующее надежному срабатыванию этой защиты, равно:

$$Z_{\Sigma} = \frac{U_i}{\sqrt{3} I_{н.ц} K_{\pm}} = \frac{10000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 15000 \cdot 1,2} = 321 \text{ м}; \quad (5)$$

* *Беляев А.В.* Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. М.: Энергоатомиздат, 1988.

где $K_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности при КЗ через переходные сопротивления (с учетом электрической дуги в месте КЗ).

Суммарное сопротивление можно также представить в виде:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{(x_{\text{н}} + x_{\text{о}} + x_{\text{о}} + x_{\text{э}})^2 + (r_{\text{о}} + r_{\text{о}} + r_{\text{э}} + R_{\text{а}})^2}, \quad (6)$$

где $x_{\text{с}}$ – индуктивное сопротивление питающей трансформатор системы, $x_{\text{с}} = 0,1x_{\text{т}}$; $x_{\text{т}}$ и $r_{\text{т}}$ – соответственно индуктивное и активное сопротивления трансформатора, $x_{\text{т}} = 8,6$, $r_{\text{т}} = 2$ мОм; $x_{\text{ш}}$ и $r_{\text{ш}}$ – индуктивное и активное сопротивления шин подстанции, $x_{\text{ш}} = 0,17$, $r_{\text{ш}} = 0,31$ мОм; $x_{\text{к}}$ и $r_{\text{к}}$ – индуктивное и активное сопротивления кабеля до места КЗ, значение $x_{\text{к}}$ можно не учитывать, поскольку оно на порядок меньше $r_{\text{к}}$; $R_{\text{д}}$ – сопротивление переходных контактов и электрической дуги в месте КЗ, $R_{\text{д}} = 15$ мОм.

Решая уравнение (6), получим $r_{\text{к}} = 304$ мОм. По известному активному сопротивлению кабеля можно найти его длину, т.е. зону резервирования, в пределах которой рассматриваемая максимальная токовая защита может отключить КЗ,

$$r_{\text{к} 3 \times 70} = 0,085 \text{ мОм/м};$$

$$L = r_{\text{к}} / r_{\text{к} 3 \times 70} = 304 / 0,085 = 3577 \text{ м}.$$

• Сеть 0,4 кВ. Проведя расчет как для сети 10 кВ ($I_{\text{н.т}} = 1500$ А), получим $r_{\text{к}} =$

$= 5,8$ мОм. При известной величине активного сопротивления кабеля определим зону резервирования, в пределах которой рассматриваемая максимальная токовая защита может отключить КЗ. Зависимости длины зоны нечувствительности от сечения и сопротивления кабеля для трансформатора мощностью 1000 кВА приведены ниже:

Сечение кабеля, мм ²	3 × 25	3 × 35	3 × 50	3 × 70	3 × 90	3 × 120	3 × 150
Сопротивление кабеля, мОм/м	0,237	0,170	0,119	0,085	0,066	0,049	0,040
Зона нечувствительности, м	> 25	> 34	> 49	> 68	> 88	> 118	> 145

Реальные длины кабелей в сети 0,4 кВ по условию потери напряжения могут быть в 5-15 раз больше зоны нечувствительности, что приведет к увеличению зоны несрабатывания защиты.

Таким образом, обычная максимальная токовая защита не обеспечивает резервирования защит и выключателей отходящих линий, что обуславливает необходимость создания защит, обеспечивающих дальнейшее резервирование в сетях 0,4 кВ.