



ЭКСПЛУАТАЦИЯ, МОНТАЖ И НАЛАДКА

Повышение чувствительности резервных защит трансформаторов для обеспечения ближнего и дальнего резервирования

Новичкова А. П., инж.

«Высоковольтный союз-Украина», Киев

Манилов А. М., инж.

ПАТ «ПТИ «Киевобуд»», Киев

Рассмотрена возможность обеспечения ближнего резервирования цифровой дифференциальной защиты с помощью электромеханического реле и дальнего резервирования при использовании направленной защиты, действующей от активной составляющей тока КЗ.

Ключевые слова: ближнее и дальнее резервирование, дифференциальная цифровая, электромеханическая, направленные защиты трансформатора.

Сегодня применение цифровых устройств вместо традиционных резервных защит на электромеханической элементной базе является всеобщей тенденцией. Опыт эксплуатации микропроцессорных устройств релейной защиты позволяет не только оценить их преимущества, но и выявить серьезные недостатки, например влияние на их работу электромагнитных возмущений.

Уровень промышленных помех, неизбежно влияющих на функционирование защит, высок и постоянно растет. Это существенно снижает соотношение полезный сигнал/помеха, во многом определяющее чувствительность цифровых терминалов к электромагнитным возмущениям. Процессы в энергосистемах настолько сложны, что дублирование или резервирование цифровых устройств релейной защиты вполне оправданно. Однако бессмысленно дублировать или резервировать защищаемый объект аналогичными защитами, поскольку при возмущениях в сети в случае переходных процессов эти защиты будут вести себя одинаково. Необходимо использовать для этого устройства релейной защиты на другом (проверенном) принципе действия. Поэтому резервирование и дублирование дифференциальных токовых защит, выполненных на микропроцессорных устройствах, должно осуществляться дифференциальной защитой, выполненной на электромеханической элементной базе с реле, например, ДЗТ-11/2. Для исключения необходимости

отстройки реле от тока включения при подаче напряжения на трансформатор в режиме холостого хода защита выполняется с выдержкой времени. Длительность затухания броска намагничивающего тока зависит от мощности трансформатора и сопротивления контура включения [1, 2], а время срабатывания защиты — от тока срабатывания и постоянной времени затухания броска намагничивающего тока. Постоянную времени затухания определяют из выражения [2]

$$T_{\text{ЭКВ}} = X_{\text{ЭКВ}} / R_{\text{ЭКВ}}, \quad (1)$$

где $X_{\text{ЭКВ}}$ и $R_{\text{ЭКВ}}$ — индуктивное и реактивное сопротивление контура включения трансформатора.

На рисунке 2.18 [2] приведена зависимость коэффициента отстройки (для выбора тока срабатывания защиты) от относительного времени срабатывания, из которой следует, что это время находится в пределах от 0,15 до нескольких секунд. Первичный расчетный ток срабатывания защиты без учета составляющей тока небаланса, вызванного округлением числа витков, рассчитывают по условию отстройки от тока небаланса, обусловленного регулированием напряжения трансформатора в нагрузочном режиме, из выражения

$$I_{\text{с.з1}} = K_{\text{отс}} \Delta U_{\text{н}}, \quad (2)$$

где $K_{отс} = 1,3$ — коэффициент отстройки; ΔU — реально используемый диапазон регулирования напряжения трансформатора, отн. ед.; I_H — максимальный нагрузочный ток.

Например, при $\Delta U = 0,16$ ток срабатывания $I_{с.з} = 0,21I_H$, что значительно меньше тока срабатывания максимальной токовой защиты (МТЗ). При отсутствии регулирования ток срабатывания реле ДЗТ-11/2 принимается минимальным — 0,34 А. Число витков реле, в том числе тормозной обмотки, рассчитывается в соответствии с [3].

При внешних КЗ защита не действует. Повреждение должно отключаться защитами, установленными на вводах высшего и низшего напряжений трансформатора. Однако отказы защитных аппаратов на кабельных линиях напряжением 0,4 кВ на подстанциях 6 — 110/0,4 кВ могут вызвать тяжелые аварии, сопровождающиеся возгоранием оборудования, которое не рассчитано на длительное протекание тока КЗ, а также повреждением трансформатора и аппаратуры, к которым подключены эти линии. Поэтому в соответствии с п. 3.2.15 ПУЭ следует предусматривать резервную защиту, предназначенную для обеспечения дальнего резервирования. Уставку срабатывания МТЗ трансформатора отстраивают от полного тока нагрузки и пускового тока или тока самозапуска электродвигателя согласно формуле

$$I_{с.з1} = \frac{K_{отс}}{K_B} I_{max}, \quad (3)$$

где $K_{отс} = 1,2$; K_B — коэффициент возврата; I_{max} — максимальный ток нагрузки с учетом пускового тока или тока самозапуска.

Уставка МТЗ трансформатора, выбранная в соответствии с формулой (3), как правило, не обеспечивает требуемую ПУЭ минимальную чувствительность при КЗ в конце линии 0,4 кВ, которую определяют из выражения

$$K_{ч1} = \frac{I_{КЗ min}^{(2)}}{I_{с.з1}}, \quad (4)$$

где $I_{КЗ min}^{(2)}$ — минимальный ток двухфазного КЗ в конце линии.

Для таких сетей в отличие от сетей более высоких напряжений характерно большое влияние активных сопротивлений на значения токов КЗ по мере удаления от шин 0,4 кВ. Анализ кабельных сетей напряжением 0,4 кВ показывает, что аргумент тока КЗ составляет $3 - 20^\circ$ ($\cos \varphi_{КЗ} \approx 0,95 \div 1$), т. е. ток

имеет активный характер. В связи с тем, что аргументы тока КЗ и аргументы тока нагрузки ($10 - 30^\circ$) и пускового тока ($50 - 70^\circ$) существенно отличаются друг от друга, целесообразно предусмотреть защиту, ток срабатывания которой отстраивается не от полного тока, а от активной составляющей тока. Его значение вычисляют по формуле

$$I_{с.з2} = \frac{K_{отс}}{K_B} I_{max} \cos \varphi_{max}. \quad (5)$$

Коэффициент чувствительности защиты находят из выражения

$$K_{ч2} = \frac{I_{КЗ min}^{(2)} \cos \varphi_{КЗ}}{I_{с.з}}. \quad (6)$$

Максимальный ток нагрузки с учетом пускового тока или тока самозапуска определяют из равенства

$$I_{max} = [(I_H \cos \varphi_H + I_{п} \cos \varphi_{п})^2 + (I_H \sin \varphi_H + I_{п} \sin \varphi_{п})^2]^{1/2}, \quad (7)$$

где $I_{п}$ — пусковой ток или ток самозапуска.

С учетом пускового тока или тока самозапуска

$$\cos \varphi_{max} = \frac{I_H \cos \varphi_H + I_{п} \cos \varphi_{п}}{I_{max}}. \quad (8)$$

Повысить чувствительность можно с использованием, например, реле активной мощности типа РСМ-13 [4]. Оно резервирует защиту трансформатора и отказы в действии защитных аппаратов при КЗ в сети 0,4 кВ.

Защита дальнего резервирования может быть выполнена с использованием не только традиционных алгоритмов, реализуемых в устройствах на электромеханической или микроэлектронной элементной базе и прошедших многолетнюю апробацию, но и новых алгоритмов, в основу которых положено вычисление критериев идентификации КЗ в сети 0,4 кВ, например, с помощью блока БМРЗ-0,4 [5].

В случае, если не обеспечивается минимальная чувствительность, целесообразно применение токовой защиты обратной последовательности с реле (например, РТФ-8), действующей при двухфазных КЗ, — наиболее распространенных видов междуфазных КЗ. Ток срабатывания защиты выбирают по условию отстройки от тока небаланса на выходе фильтра реле при максимальной нагрузке [3].

Пример. Исходные данные: $I_H = 100$ А; $I_{II} = 200$ А; $\cos \varphi_H = 0,92$; $\cos \varphi_{II} = 0,03$; $\cos \varphi_{K3} = 0,98$; $I_{K3min}^{(2)} = 350$ А. Необходимо определить ток срабатывания и чувствительность защиты.

Согласно равенству (7), формулам (8) и (5), а также выражению (6) находим соответственно: $I_{max} = 274$ А; $\cos \varphi_{max} = 0,55$; $I_{c.32} = 216,6$ А; $K_{q2} = 1,6$. Используя полученные данные, по формуле (3) определяем ток срабатывания МТЗ $I_{c.31} = 386,8$ А, а из выражения (4) вычисляем коэффициент чувствительности МТЗ $K_{q1} = 0,9 < K_q = 1,2$.

Выводы

1. Применение дифференциальной защиты с выдержкой времени, выполненной с использованием реле ДЗТ-11/2, дает возможность повысить устойчивость действия защиты трансформатора и чувствительность защиты к витковым замыканиям, увеличить вероятность отключения трансформатора на стадии развивающегося повреждения.

2. Выполнение МТЗ с током срабатывания, отстроенным от активной составляющей тока нагрузки, повысит ее чувствительность и обеспечит во многих случаях дальнейшее и ближе резервирование.

Список литературы

1. **Засыпкин А. С.** Релейная защита трансформатора. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. **Нагай В. И.** Релейная защита ответвительных подстанций. — М.: Энергоатомиздат, 2012.
3. **Руководящие указания по релейной защите.** Вып. 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110 – 500 кВ. Расчеты. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. **Манилов А. М.** Дальнее резервирование действия релейной защиты и выключателей в сетях 35 – 110 кВ. — Промышленная энергетика, 1993, № 3.
5. **Беляев А. В., Эдлин М. А.** Дальнее резервирование отказов защит и выключателей в сетях 0,4 кВ. — Электрические станции, 2002, № 12.

siv.ox@yandex.ua