

*АНДР.А. МИНЧЕНКО*, канд. техн. наук,  
*Ю.Н. ВЕПРИК*, канд. техн. наук, *А.А. МИНЧЕНКО*, канд. техн. наук

**КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ КОНДЕНСАТОРНОГО ТИПА  
НЕРАВНОВЕСНО-КОМПЕНСАЦИОННЫМ МЕТОДОМ  
ПРИ НЕПОЛНОРЕАКТОРНОМ РЕЖИМЕ  
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 750 кВ**

Проведено перевірку можливості здійснення контролю ізоляції конденсаторного типу пристроями, що реалізують нерівноважно-компенсаційний метод, в умовах існування тривалого неповнореакторного режиму електропередачі 750 кВ без корекції пристроїв з використанням напруги нульової послідовності.

Ability to realize the condenser type insulation testing using existing devices in long incompletely reactor regime of 750 kV electricity transmission without correcting zero-sequence voltage used is examined.

**Постановка проблемы.** Непрерывный контроль состояния изоляции конденсаторного типа (ИКТ) высоковольтных вводов (ВВ) и трансформаторов тока (ТТ) под рабочим напряжением открывает возможность обнаруживать дефекты в изоляции на ранних стадиях возникновения (развивающиеся) и предотвращать внезапные отказы электроэнергетических систем, в том числе и в ОЭС Украины, из-за повреждения маслонаполненного энергетического оборудования высокого напряжения, сопровождающиеся экономическим ущербом.

Контроль параметров ИКТ ВВ и ТТ под рабочим напряжением производится путем измерения тока через изоляцию при рабочем напряжении на ней. При этом ток через ИКТ определяется ее комплексной проводимостью; изменение комплексной проводимости при возникновении дефекта в ИКТ ВВ и ТТ вызывает изменение тока, которое и является диагностическим признаком. Для определения изменения тока необходима специальная схема измерений. Это обеспечивает неравновесно-компенсационный метод (НКМ) измерений. НКМ основан на измерении суммы трехфазной системы токов, протекающих через изоляцию трех объектов одного напряжения. Измеряемые токи предварительно регулируются таким образом, чтобы их сумма была близка к нулю (балансировка схемы измерений). При возникновении дефекта в одном из объектов, ток через его изоляцию увеличивается и на выходе сумматора появляется ток, пропорциональный изменению комплексной проводимости ИКТ. Рассматриваемая схема измерений имеет интересную особенность: одно-временные изменения одноименных величин во времени во всех трех

фазах к разбалансировке схемы не ведут. В то же время при аномальных неполнореакторных режимах электропередачи 750 кВ возникает длительно существующая несимметрия напряжения, вследствие которой устройства контроля ИКТ ВВ и ТТ могут потерять свои контролирующие функции.

**Анализ литературы.** Возможность существования длительных неполнореакторных режимов электропередачи 750 кВ отмечается в работе [1]. В ряде работ [1, 2, 3] предложены технические решения, позволяющие повысить стабильность работы устройств непрерывного контроля ИКТ. В частности, настройка устройств контроля изоляции электрических аппаратов, основанных на суммировании токов утечки изоляции трех фаз, должна производиться при отсутствии в электрической сети напряжения нулевой последовательности, а каждое появление суммарного тока сопоставляется с уровнем напряжения нулевой последовательности на выходе измерительного трансформатора напряжения. Устройство контроля изоляции, на измерения которого не влияет несимметрия напряжений электрической сети, должно содержать цепь коррекции с емкостной проводимостью, присоединенной к выводам соединенных в разомкнутый треугольник вторичных обмоток трансформатора напряжения. Предложенное в работе [4] усовершенствование неравновесно-компенсационного метода контроля ИКТ реализуется как элемент АСУ ТП подстанции (ПС) и требует для создания соответствующей аппаратной и программной базы.

**Целью настоящей работы** является проверка возможности осуществления контроля ИКТ устройствами, реализующими НКМ, в условиях существования длительного неполнореакторного режима электропередачи 750 кВ без коррекции устройств с использованием напряжения нулевой последовательности.

**Основная часть.** Работа электрической сети 750 кВ с неполными (из-за аварийных отключений реакторов) и несимметричными (при различных параметрах реакторов группы) группами шунтирующих реакторов приводит к несимметрии параметров режима сети. Для оценки степени влияния этих факторов выполнены расчеты неполнореакторных режимов электропередачи 750 кВ «Курская АЭС – ПС «Североукраинская-750 кВ». В качестве расчетных рассмотрены два режима: при отказе одной фазы шунтирующего реактора ПС «Североукраинская-750 кВ» (фаза С) и при отказе двух фаз шунтирующего реактора (фазы В и С) этой ПС – результаты даны в табл.1. Расчет параметров неполнореакторных режимов производился в фазных координатах (алгоритм реализован в программе *ANFaz1*). Исходная информация для расчетов подготавливалась на основании схемы электропередачи 750 кВ; параметры элементов схемы в фазных координатах синтезированы по их параметрам в координатах

тах симметричных составляющих. При этом электрические сети 330 кВ и ниже, присоединенные к ПС «Североукраинская-750 кВ» в расчетную схему не включались.

Таблица 1  
Значения напряжений фаз и коэффициентов несимметрии

Отказ фазы реактора	Напряжение фазы, кВ			Коэффициент несимметрии $K_U^{(2)}$ , %
	А	В	С	
С	400,96	399,76	428,57	1,98
В и С	395,89	423,29	424,56	1,95

Как видно из табл. 1 полученные значения коэффициентов  $K_U^{(2)}$  не превышают нормально допустимого значения по ГОСТ [5] равного 2,0 %, т.е. электропередача 750 кВ может длительно работать в неполнореакторном режиме.

Проверку возможности осуществления контроля ИКТ устройствами, реализующими НКМ, выполним применительно к измерительным ТТ типа ТФРМ750А-У1 (двухступенчатый), емкость одной ступени которого составляет 1100-1200 пФ [6]. Приняв, что балансировка схемы измерений НКМ произведена при рабочем напряжении симметричном и равном

$$U_{ф,раб} = \frac{750}{\sqrt{3}} \text{ кВ, т.е. ток небаланса при этом } |I_{нб}| \approx 0 \text{ (в идеале – одина-}$$

ковые значения емкости ИКТ ТТ трех фаз), проанализируем изменение указанного тока в неполнореакторном режиме и сопоставим его со значениями, соответствующими признакам развивающегося дефекта в ИКТ.

Предельные значения параметров  $\left| \frac{\Delta Y}{Y} \right|$  при контроле ИКТ ТТ под

рабочим напряжением нормируются и составляют [7] для класса напряжения 750 кВ – 1,5%. Отсюда следует, что при значении тока через ИКТ (дефект отсутствует) для ТТ типа ТФРМ750А-У1 равном  $|I_0| = 78$  мА, предельным значениям диагностического параметра изоляции будет соответствовать значение изменения модуля приращения тока  $|\Delta I| = 1,17$  мА. Значения тока небаланса в расчетных случаях неполнореакторных режимов (отказы фазы С и фаз В и С соответственно) составляют 5,096 и 5,066 мА. Это означает, что традиционные устройства, реализующие НКМ и выполненные на основе аналоговой технической базы, свои контролирующие функции теряют. В то же время, устройства на основе цифровой технической базы (элемент АСУ ТП ПС) [4], которые

наряду с пообъектным контролем осуществляют и контроль НКМ, лишены отмеченного недостатка.

Действительно, в этом случае НКМ программно реализуется как:

$$\sigma_k = \left| I_{k,A} + \left( I_{k,B}^{\bar{\delta}} + \Delta I_{0,B} \frac{U_{A,k}}{U_{A,0}} \right) a^2 + \left( I_{k,C}^{\bar{\delta}} + \Delta I_{0,C} \frac{U_{A,k}}{U_{A,0}} \right) a \right|,$$

где  $I_{k,A}$  – значения тока через изоляцию объекта контроля (ВВ и ТТ) фазы А при текущем контроле;  $I_{k,B}^{\bar{\delta}}$  и  $I_{k,C}^{\bar{\delta}}$  – тоже, но фаз В и С, приведенные к рабочему напряжению фазы А;  $\Delta I_{0,B}$  и  $\Delta I_{0,C}$  – результаты симметрирования токов  $I_{0,B}$  и  $I_{0,C}$  при первом контроле;  $U_{A,0}$  и  $U_{A,k}$  – рабочее напряжение фазы А при первом и каждом последующем контроле; а – оператор поворота.

Указанные выше электрические параметры для первого контроля программно вычисляются и запоминаются при наладке элемента АСУ ТП ПС.

**Выводы.** Применение устройств контроля ИКТ ВВ и ТТ под рабочим напряжением, выполненных как элемент АСУ ТП ПС, существенно расширяет возможности контроля, в том числе и при неполнореакторных режимах электропередач 750 кВ.

**Перспективы дальнейших исследований в данном направлении** – анализ неполнореакторных режимов электрической сети 750 кВ ОЭС Украины и оценка работоспособности устройств контроля ИКТ ВВ и ТТ, реализующих НКМ и выполненных на основе аналоговой технической базы.

**Список литературы.** 1. Шинкаренко Г.В. Повышение стабильности работы устройств контроля изоляции трансформаторов тока и вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением // Энергетика и электрификация. – 1997. - №3. – С. 17-21. 2. Шинкаренко Г.В. Контроль опорных трансформаторов тока и вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением в энергосистемах Украины // Электрические станции. – 2002. - №5. – С. 55-62. 3. Шинкаренко Г.В. Настройка устройств контроля изоляции трансформаторов тока и вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением // Энергетика и электрификация. – 1997. - №4. – С. 27-31. 4. Минченко А.А. Удосконалення діагностики високовольтної ізоляції конденсаторного типу на основі врахування просторово розподілених ємнісних струмів: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2006. 5. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Киев: Госстандарт Украины, 1999. – 31. 6. Бажанов С.А. Маслонаполненные трансформаторы тока. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 80с. 7. ГКД 34.20.302-2002. Норми випробування електрообладнання. – Київ: ОЕП «ГРІФРЕ», 2002. – 216с.

Поступила в редколлегию 22.06.07