

О.Г. ГРИБ, д-р техн. наук, проф., зав. кафедры, НТУ "ХПИ";
Г.А. СЕНДЕРОВИЧ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ";
П.Г. ЩЕРБАКОВА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕСИММЕТРИИ НА ПРОВЕРКУ ПОДКЛЮЧЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ К ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ

У статті проводиться аналіз впливу несиметрії в мережі на вірність роботи розробленого раніше методу оцінки впливу несиметрії на перевірку підключення контрольно-вимірювальних комплексів до трифазної мережі. Необхідність даного аналізу аргументовано використанням у методі співвідношення між симетричними складовими струмів і напруг, що заміряються приладом.

В статье проводится анализ влияния несимметрии в сети на правильность работы разработанного ранее метода оценки влияния несимметрии на проверку подключения контрольно-измерительных комплексов к трехфазной сети. Необходимость данного анализа аргументирована использованием в методе соотношения между симметричными составляющими токов и напряжений, замеряемых прибором.

The article analyzes the impact of asymmetry in the network for proper operation of a previously developed method for assessing the influence of asymmetry on the connection validation of test systems to three-phase network. The need for this analysis argued using the method of symmetrical components of the ratio between the currents and voltages, the measured device.

Ошибка при подключении контрольно-измерительного прибора к трехфазной сети приводит к получению искаженной информации на входе прибора и, соответственно, к неверным результатам после ее обработки. Идентификация ошибки требует от персонала достаточно высокой квалификации в области электроэнергетики, выполняется по должностным инструкциям и сопряжена с рядом технических и организационных сложностей.

Задача усложняется тем, что подключение прибора к используемым потребителями измерительным цепям, выполненное в полном соответствии с электрическими схемами сети и прибора, не во всех случаях обеспечивает получение достоверной информации о параметрах режима сети. Речь идет не о погрешностях измерительных преобразователей тока и напряжения. Такие погрешности присутствуют в любом случае, их надо учитывать при оценке точности измерений. В практике эксплуатации встречаются преднамеренные либо непреднамеренные нарушения в схемах измерительных цепей. В отличие от погрешностей измерений, нарушения в схемах измерительных цепей могут полностью исказить оценку ПКЭ, а также привести к неверной

оценке ответственности субъектов распределения электроэнергии за нарушение требований ГОСТ [1] по качеству электроэнергии.

Возникает необходимость автоматизации проверки подключения прибора. При проведении проверки должна оцениваться правильность его подключения по отношению к первичным (силовым) цепям.

Понятие ошибки подключения прибора подразумевает несоответствие входных сигналов, получаемых прибором, первичным напряжениям и токам [2]. Использование двух взаимосвязанных трехфазных систем векторов позволяет определить возможные ошибки и их сочетания.

В неправильных подключениях прибора можно выделить следующие группы ошибок:

- ошибки отключения;
- ошибки чередования фазных векторов;
- ошибки полярности подключения;
- ошибки несоответствия токов и напряжений.

Под *ошибками отключения* подразумевается отсутствие входного сигнала по напряжению или току в одной или двух фазах.

Ошибки чередования фазных векторов есть изменения принятого порядка чередования А, В, С на обратный.

Ошибки полярности подключения – это несоответствие полярности подключения в пределах одной системы векторов (напряжений или токов).

Признаки, присущие ошибкам чередования и ошибкам полярности подключения, выявлены и сопоставлены в табл. [2].

Таблица – Признаки ошибок чередования и полярности подключения

Чередование фаз	Подключение фазных токов			Единичные токи симметричных составляющих		
	\underline{I}_A	\underline{I}_B	\underline{I}_C	\underline{I}_1	\underline{I}_2	\underline{I}_0
А, В, С	+	+	+	1	0	0
	+	-	-	$1/3 \angle 180^0$	2/3	2/3
	+	-	+	1/3	$2/3 \angle -60^0$	$2/3 \angle 60^0$
	+	+	-	1/3	$2/3 \angle 60^0$	$2/3 \angle -60^0$
А, С, В	+	+	+	0	1	0
	+	-	-	2/3	$1/3 \angle 180^0$	2/3
	+	-	+	$2/3 \angle 60^0$	1/3	$2/3 \angle -60^0$
	+	+	-	$2/3 \angle -60^0$	1/3	$2/3 \angle 60^0$

Сопоставляя признаки ошибок чередования и полярности подключения фазных токов (табл.), следует отметить, что при

совмещении ошибок признаки ошибок, перечисленные выше, остаются в силе.

Ошибки несоответствия токов и напряжений – это несоответствие фаз и полярности фазных токов и напряжений.

В качестве критерия соответственного подключения токов и напряжений можно использовать условие:

$$\left. \begin{array}{l} \cos \varphi > 0; \\ \sin \varphi < 0. \end{array} \right\}$$

Исключением для данного критерия могут послужить частные случаи высокой степени компенсации реактивной нагрузки.

Таким образом, определение неправильности подключения использует соотношения симметричных составляющих параметров режима трехфазной сети. Возникает естественный вопрос: на сколько корректным будет предложенный метод в условиях возможного нарушения симметрии электрической сети, к которой подключен прибор.

Цель, задачи исследования.

Следует оценить, в какой мере предложенный метод анализа ошибок подключения прибора применим при наличии несимметрии в условиях эксплуатации электрических сетей, поскольку метод использует соотношения между симметричными составляющими токов и напряжений, замеряемых прибором.

Анализ проводится по группам выявляемых ошибок рассмотренных выше.

Ошибки подключения определяются по факту отсутствия сигнала и не зависят от симметрии токов и напряжений.

Ошибки чередования фазных векторов выявляются по соотношению векторов прямой и обратной последовательностей.

В идеально симметричной сети при правильном чередовании фазных векторов относительные значения напряжений прямой и обратной последовательностей составляют $U_1^*=1$; $U_2^*=0$, в случае обратного чередования фаз – $U_1^*=0$; $U_2^*=1$ [2].

Отсюда следует, что принятый признак может быть использован, если модуль векторов обратной последовательности не превышает модуль векторов прямой последовательности. Это соответствует условию: коэффициент несимметрии напряжения обратной последовательности $(K_{2U}) < 100\%$.

Ошибки полярности подключения. Как показал анализ, признаком нарушения полярности подключения одной или двух фаз к идеально симметричной сети является фиксация прибором нулевой составляющей напряжения (тока), которая в относительных единицах составляет $U_0^*=2/3$ [2]. Наличие нулевой составляющей в контролируемой сети может как увеличивать показание прибора, так и компенсировать его в какой то

мере. Для отстройки от возможной несимметрии в сети выбрана уставка $U_0^*=1/3$ ($U_0 > 1/3 U_A$). Правильность выявления ошибки полярности подключения обеспечена для $K_{0U} < 33\%$.

Опция определения фазы, которая подключена с противоположной полярностью, опирается на измерение углов между векторами прямой и обратной последовательностей ($\angle \underline{I}_1, \underline{I}_2$). В зависимости от фазы, в которой нарушена полярность, угол меняется на 120° . Если уставку выбрать посередине, то угловая погрешность векторов обратной последовательности, которую может внести наличие несимметрии в сети, должна быть меньше 60° .

Ошибки несоответствия токов и напряжений определяются взаимным нарушением полярности включения по цепям токов и напряжений. Проверка осуществляется по направлению активной мощности, которая обеспечивает передачу электрической энергии от системы к потребителю. При этом обеспечивается условие $\cos \varphi > 0$.

Наличие несимметрии не может изменить направление активной мощности, так как вторичная мощность не может превышать мощность, получаемую от источника.

Выводы.

Таким образом, разработанная методика проверки подключения контрольно-измерительных комплексов к трехфазной сети может быть использована в сети с коэффициентами несимметрии по обратной последовательности меньше 100% ($K_{2U} < 100\%$), по нулевой последовательности меньше 33% ($K_{0U} < 33\%$).

Список литературы: 1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 18-06-1999. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – 30 с. 2. Гриб О. Г. Анализ ошибок подключения трехфазных контрольно-измерительных приборов / О. Г. Греб, Г. А. Сендерович, П. Г. Сендерович – Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2006. – № 2/2 (20). – С. 160 – 164.

Поступило в редколлегию 16.02.12