

При этом, наряду с увеличением коэффициента мощности  $K_m > 0,95$ , емкость фильтрового конденсатора уменьшается более, чем на 60 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.А.Прянишников – Электроника, С.-Петербург, 1998, 398 с.

#### ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ НЕСИММЕТРИЕЙ ТОКОВ

Магазинник Л.Т., Егорова Н.Ю.

Ульяновский государственный технический университет,  
Ульяновск

Межгосударственный стандарт на качество электрической энергии для стран СНГ (13109-97) устанавливает уровень качества электроэнергии в сетях общего назначения. Электрические сети общего назначения в России имеют ряд особенностей:

1. Потребительские сети низкого напряжения в России имеют большую протяженность.

2. Для России свойственно большое количество потребителей, особенно коммунально-бытовых, получающих питание по неполнофазным (в основном, однофазным) ответвлениям. Особенно это характерно для распределительных сетей 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения.

Для электрических сетей России вообще характерен такой режим, как несимметричный, т.к. наиболее распространенными источниками несимметрии напряжений в трехфазных системах электроснабжения являются такие потребители электроэнергии, симметричное многофазное исполнение которых или невозможно, или нецелесообразно по технико-экономическим соображениям.

Несимметричные режимы напряжений в электрических сетях имеют место также в аварийных ситуациях – при обрыве фазы или несимметричных коротких замыканиях.

Несимметрия напряжений характеризуется наличием в трехфазной электрической сети напряжений обратной или нулевой последовательностей, значительно меньших по величине соответствующих составляющих напряжения прямой (основной) последовательности.

Несимметрия трехфазной системы напряжений возникает в результате наложения на систему прямой последовательности напряжений системы обратной последовательности, что приводит к изменениям абсолютных значений фазных и междуфазных напряжений.

Помимо несимметрии, вызываемой напряжением системы обратной последовательности, может возникать несимметрия от наложения на систему прямой последовательности напряжений системы нулевой последовательности. В результате смещения нейтрали трехфазной системы возникает несимметрия фазных напряжений при сохранении симметричной системы междуфазных напряжений.

Несимметрия напряжений, как уже отмечалось, вызывается чаще всего наличием несимметричной нагрузки. Несимметричные токи нагрузки, протекающие по элементам системы электроснабжения, вызывают в них несимметричные падения напряжений. Вследствие этого на выводах электроприемников (ЭП) появляется несимметричная система напряжений. Отклонения напряжения у ЭП перегруженной фазы могут превысить допустимые значения, в то время как отклонения напряжения у ЭП других фаз будут находиться в нормируемых пределах. Кроме ухудшения режима напряжения у ЭП при несимметричном режиме существенно ухудшаются условия работы как самих ЭП, так и всех элементов сети, снижается надежность работы электрооборудования и системы электроснабжения в целом. В случае наличия токов обратной и нулевой последовательности увеличиваются суммарные токи в отдельных фазах элементов сети, что приводит к увеличению потерь активной мощности и может быть недопустимо с точки зрения нагрева.

В соответствии с требованиями ГОСТ13109-97 [1] несимметрию трехфазной системы напряжений оценивают двумя основными показателями качества (ПКЭ): коэффициентами несимметрии напряжений по обратной  $K_{2U}$  и нулевой  $K_{0U}$  последовательности, которые определяются по выражениям:

$$K_{2U_i} = \frac{U_{2(1)_i}}{U_{1(1)_i}} \cdot 100; K_{0U_i} = \sqrt{3} \frac{U_{0(1)_i}}{U_{1(1)_i}} \cdot 100,$$

где  $U_{2(1)_i}$  и  $U_{0(1)_i}$  – действующие значения напряжения обратной и нулевой последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений в  $i$ -м наблюдении;  $U_{1(1)_i}$  – действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты в  $i$ -м наблюдении.

Значения коэффициентов  $K_{2U}$  и  $K_{0U}$  должны составлять 2% в течение 95% суток, и только 5% времени суток эти показатели качества могут иметь максимально допустимые значения – до 4%.

Вместе с тем, даже равномерно распределенные по фазам электроприемники (при трехфазном вводе) в силу случайного характера их работы также создают потоки нулевой последовательности. И эти потоки не только ухудшают качество электроэнергии (влияя на коэффициент  $K_{0U}$ ), но и определяют появление дополнительных потерь мощности. Рассмотрим, как это происходит.

Потери мощности в сети 0,38 кВ при несимметричной нагрузке характеризует коэффициент потерь мощности:

$$K_p = 1 + K_{2i}^2 + K_{0i}^2 \frac{R_0}{R_1}, \quad (1)$$

где  $K_{2i}$  и  $K_{0i}$  – коэффициенты несимметрии токов по обратной и нулевой последовательности, равные отношению тока соответствующей последовательности к току прямой последовательности;  $R_0$ ,  $R_1$  – ак-

тивные сопротивления нулевой и прямой последовательности участка сети.

При одинаковом сечении фазного и нулевого проводов воздушной линии 0,38 кВ  $R_0 / R_1 = 4$ . Тогда выражение преобразуется в следующий вид:

$$K_P = 1 + K_{2i}^2 + 4K_{0i}^2. \quad (2)$$

Следовательно, на величину коэффициентов потерь мощности большее влияние оказывает коэффициент  $K_{0i}$  и в значительно меньшей степени – токи обратной последовательности (заметное влияние на  $K_P$  эти токи будут оказывать при значении  $K_{2i} > 0,3$ ).

Дополнительные потери мощности, обусловленные несимметрией токов в сети, состоящей из элементов, определяют из выражения:

$$\Delta P = \sum_{q=1}^n K_{Pq} \cdot \Delta P_{1q}, \quad (3)$$

где

$$\Delta P_{1q} = R_\phi (P_q^2 + Q_q^2) / U_\lambda^2 = R_\phi \cdot P_q^2 / (U_\lambda^2 \cdot \cos^2 j)$$

– потери мощности для q-го элемента сети при симметричном режиме для участка сети с активным сопротивлением фазы  $R_\phi$  и передаваемыми по нему активной  $P_q$  и реактивной  $Q_q$  мощностями;  $U_\lambda$  – линейное напряжение сети;  $\phi$  – угол сдвига фаз;  $K_{Pq}$  – коэффициент потерь мощности в q-м элементе сети. В общем случае коэффициент потерь мощности для участка трехфазной линии с нулевым проводом:

$$K_P = 1 + K_{2i}^2 + K_{0i}^2 \left( 1 + \frac{3R_N}{R_\phi} \right). \quad (4)$$

На основе проведенных исследований уровня несимметрии токов и напряжений распределительной сети 0,38 кВ. В качестве примера рассматривали магистральный участок ЛЭП 0,38 кВ длиной 800 м, отходящий от шин трансформаторной подстанции 630 кВА. Измерения производили прибором «ТОPAS-100» (в соответствии с требованиями стандарта). Для определения симметричных составляющих токов и напряжений использовали модульный метод расчета, а в качестве инструмента расчета – программу «Несимметрия-1». По результатам расчета были построены временные диаграммы изменения токов и напряжений, а также показателей несимметрии напряжений и дополнительных потерь мощности [2].

Анализ этих зависимостей показал, что значение  $K_{2U_i}$  соответствует требованиям стандарта, а  $K_{0U_i}$  их превышает: его среднее (за период измерения) значение составило 9,5% (что почти в 5 раз выше нормальных и более чем в 2 раза выше предельных значений).

Коэффициент дополнительных потерь мощности имеет среднее значение за период измерения 41%, т.е. потери мощности с учетом несимметрии более чем в 1,4 раза превышают потери мощности, обусловленные протеканием только токов прямой последова-

тельности. Причем наибольшие значения (свыше 90%) этот коэффициент имеет в вечернее время, когда происходит интенсивное использование однофазных коммунально-бытовых электроприемников.

Таким образом, несимметрия вызывает значительные потери активной мощности, что недопустимо по отношению к качеству электрической энергии, поэтому необходимы меры по снижению несимметрии в электрических сетях. Снижение несимметрии напряжений может быть достигнуто двумя способами:

- выделением потребителей с несимметричной нагрузкой на отдельные трансформаторы;
- в сетях низкого напряжения перераспределении однофазных нагрузок между фазами.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Влияние факторов, искажающих качество электроэнергии, на потери мощности в элементах сети, питающих и соединяющих источники искажений, достаточно значительно и должно учитываться при определении технологического расхода электрической энергии на передачу по сетям энергоснабжающей организации.

2. Кроме потерь в последовательно соединенных с источником искажений элементах сети (линия — трансформатор), есть дополнительные потери в сетях энергоснабжающей организации и других потребителей, имеющих с источником искажений общую точку присоединения. Поэтому требуется разработка метода их оценки и механизма отнесения ответственности на источник искажения либо в виде установления платы за эти потери (если для него не предусмотрена надбавка в тариф за искажение качества электроэнергии).

3. Следует продолжить измерения и анализ влияния несимметричных нагрузок на потери мощности и энергии в элементах питающих их сетей, включая и системообразующие сети, если к ним присоединены такие нагрузки, потери в которых могут быть малы в относительных значениях, но большими в абсолютных.

4. Целесообразно и возможно определять рассматриваемые дополнительные потери с целью анализа и оценки фактической ситуации на основе измерений и способа их обработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения /ГОСТ 13109–97. Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск: Изд-во стандартов, 1998, 30 с.
2. Наумов И. В. О качестве электрической энергии и дополнительных потерях мощности в распределительных сетях низкого напряжения России и Германии. Москва: Электрика. № 11, 2005, с.19...22.