

УДК 621.316.1.05

## ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ

В.Д. Моисеева, ассистент аудитора

Региональное управление службы внутреннего аудита КФ ООО «СГК»

Научный руководитель: Т.Л. Долгопол, доцент

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Качество электроэнергии при питании электроприемников от трехфазных электрических сетей общего назначения определяется стабильностью и уровнями напряжения и частоты тока у потребителей, а также степенью несимметрии и несинусоидальности напряжений [1].

Несимметрия трехфазной системы напряжений возникает в результате наложения на систему прямой последовательности напряжений систем обратной и нулевой последовательности. Следствием этого является протекание по электрическим сетям токов симметричных составляющих (обратной и нулевой последовательностей), которые не переносят активной мощности, но увеличивают полную мощность цепи и вызывают дополнительных потери электроэнергии.

Наиболее часто несимметрия напряжений возникает из-за неравенства нагрузок фаз. Повышение несимметрии нагрузки приводит к заметным нарушениям симметрии токов и напряжений в трехфазных электрических сетях, особенно распределительных.

Согласно [3], показателями КЭ, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

При анализе электрических сетей 10 поселков Кузбасса и качества поставляемой электрической энергии была рассмотрена проблема несимметрии напряжений и токов в системах электроснабжения (СЭС) данных населенных пунктах с точки зрения ее влияния на увеличение потерь мощности. Поскольку сельские потребители, в основном, являются однофазной нагрузкой, рассматриваемый вопрос является крайне актуальным.

Рассмотрим зависимость потерь активной мощности в воздушных линиях (ВЛ) и трансформаторах от степени несимметрии нагрузки фаз.

Согласно методу, предложенному ученым-электроэнергетиком Железко Ю.С.[2], потери мощности в ВЛ с учетом несимметрии токов можно определить по следующей формуле:

$$\Delta P_{HEC} = \Delta P \cdot \frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{3I_{CP}^2} \cdot \left(1,5 \frac{R_N}{R_\phi}\right) - 1,5 \frac{R_N}{R_\phi}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – потери, вызванные прямой последовательностью токов, Вт;

$I_A, I_B, I_C$  – токи в соответствующих фазах, А;

$I_{CP}$  – среднее значение фазных токов, А;

$R_\phi, R_N$  – активные сопротивления фазных токов и проводников, Ом.

Составим зависимость дополнительных потерь мощности в ВЛ от величины несимметрии нагрузки фаз.

Расчет произведем для наиболее распространенного в рассматриваемых поселках Кемеровской области провода АС 3х35+1х16, которым выполнен участок сети длиной 1 км с протекающим по фазам током величиной 100 А. Искусственно создадим несимметрию токов, на каждом шаге увеличивая ток в одной из фаз на 5 А, уменьшая при этом ток в другой фазе на такую же величину.

На графике (рис.1) показана зависимость дополнительных потерь мощности в ВЛ от степени несимметрии нагрузки фаз.

Согласно полученным результатам, при увеличении степени неравномерности загрузки фаз потери от тока прямой последовательности остаются неизменными (красная линия на графике), однако существенно увеличиваются дополнительные потери мощности (синяя линия) – от 12% до 40% от величины суммарных потерь.

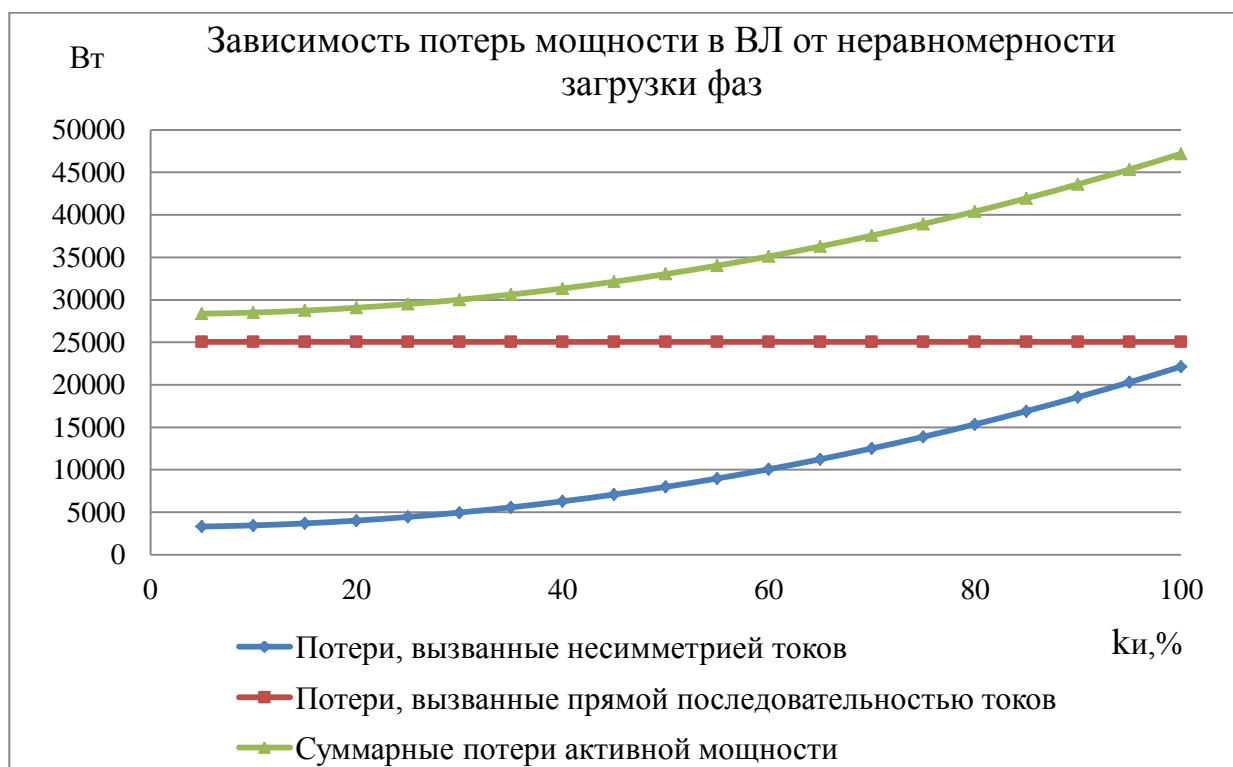


Рисунок 1. - Зависимость потерь мощности в ВЛ от степени неравномерности загрузки фаз

Дополнительные потери активной мощности от несимметрии нагрузки фаз в силовых трансформаторах вызваны протеканием в них токов обратной последовательности. Их можно определить по следующей формуле:

$$\Delta P_{\text{доп.тр}} = K_{2U}^2 \cdot \left( \frac{\Delta P_{\text{хх}}}{10000} + \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{U_{\text{к}}^2} \right), \text{ кВт}, \quad (2)$$

где  $K_{2U}$  – коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности;  $\Delta P_{\text{хх}}$  и  $\Delta P_{\text{кз}}$  – соответственно потери холостого хода и короткого замыкания трансформатора;  $U_{\text{к}}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора.

Согласно [3], значение данного коэффициента не должно превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Рассчитаем зависимость величины дополнительных потерь мощности в трансформаторе от его марки и коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности. Рассмотрим типы трансформаторов, применяемые в сельских сетях поселков: ТМ-100/10, ТМ-160/10, ТМ-250/10, ТМ-320/100, ТМ-400/10. Значение коэффициента  $K_{2U}$  будем изменять от 0 до 4% с шагом 0,2%. Полученная зависимость представлена на рис.2.

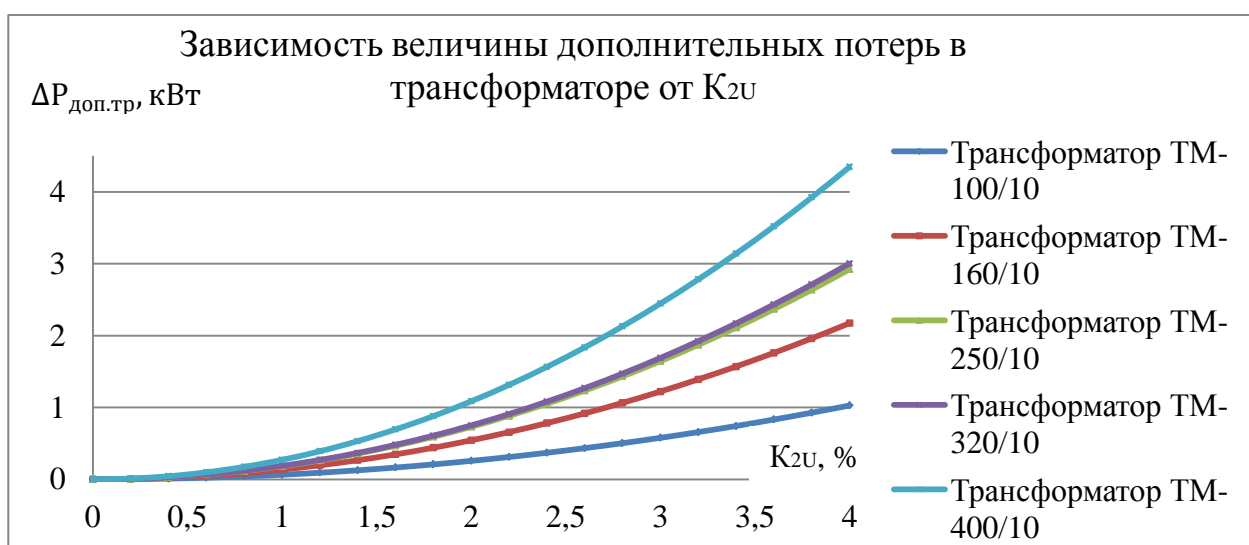


Рисунок 2. - Зависимость величины дополнительных потерь мощности в трансформаторе от его марки и коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности

Согласно расчетам, чем мощнее трансформатор, тем больше в нем возникает дополнительных потерь активной мощности при несимметрии нагрузки фаз. Также величина  $\Delta P_{\text{доп.тр}}$  прямо пропорциональна квадрату коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности.

Таким образом, выполненные расчеты показывают, насколько важным является на стадии проектирования СЭС потребителей с преобладающей однофазной нагрузкой распределять нагрузку равномерно по фазам и прини-

мать меры для поддержания симметрии напряжений и токов в процессе эксплуатации с учетом реального распределения нагрузки по фазам питающей сети. Для существенно снижения дополнительных потерь электроэнергии в трансформаторах, обусловленных несимметрией нагрузки фаз, следует при проектировании систем электроснабжения бытовых потребителей или при их реконструкции использовать силовые трансформаторы со схемой соединения вторичной обмотки «зигзаг» или со встроенным симметрирующим устройством (трансформаторы типа ТМГСУ).

### Список литературы:

1. Будзко, И.А. Электроснабжение сельского хозяйства. /И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.К. Сукманов. – М.: Колос, 2000 – 536 с.
2. Дед, А.В. Дополнительные потери мощности в электрических сетях при несимметричной нагрузке/А.В. Дед, А.И. Волюнкин, М.Ю. Денисенко, Н.В. Кириченко, Е.С. Сухов /Омский научный вестник – 2013. - № 1(117). – с. 157-158.
3. ГОСТ 32144—2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Москва: Стандартинформ, 2014. – 16 с.