

Мониторинг несимметрии нагрузок в электрических сетях 0,4 кВ

МАКЛЕЦОВ А. М., ГАЛИЕВ И. Ф., кандидаты техн. наук

ГАЛИЕВ Р. И., ЛЬУ КУОК КЫОНГ

Казанский государственный энергетический институт

420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51

Esis.kgeu@bk.ru



А. М. Маклецов



И. Ф. Галиев



Р. И. Галиев



Льу Куок Кыонг

Описан проект реализации дистанционного контроля параметров режима электрических сетей 0,4 кВ (фазных напряжений и токов и углов между ними, углов между фазными напряжениями). Представлены подход к оценке несимметрии фазных нагрузок в электрических сетях, методика расчёта потерь электроэнергии. Рассмотрены задачи, решаемые с учётом несимметрии нагрузок, в процессе разработки программно-аппаратного комплекса технического контроля параметров режима сетей 0,4 кВ.

Ключевые слова: дистанционный контроль, мониторинг несимметрии нагрузок, расчёт потерь, симметрирование, взаимодействие с эксплуатационным персоналом.

Возникновение несимметрии нагрузок в электрических сетях напряжением 0,4 кВ при наличии однофазных приёмников электроэнергии у потребителей практически неизбежно. Степень несимметрии токов в линии электропередачи (ЛЭП) существенно зависит от мощности потребителей, конфигурации и параметров электрической сети. В последние годы разрешённая мощность единичного потребителя (квартира, частный дом) увеличилась с 5 до 15 кВт, при этом отдельные мощные токоприёмники включаются и отключаются не-

одновременно. На рис. 1 представлен суточный график потребления активной мощности многоквартирного жилого дома (г. Казань), где видно, что несимметрия фазных мощностей непостоянна, однако при суточном усреднении наиболее нагруженной является фаза А, а наименее нагруженной — фаза С.

При несимметричной нагрузке возрастают потери электроэнергии в ЛЭП 0,4 кВ и в питающих трансформаторах 6 – 10/0,4 кВ. В наиболее нагруженных фазах напряжение у удалённых потребителей может оказаться ниже рег-

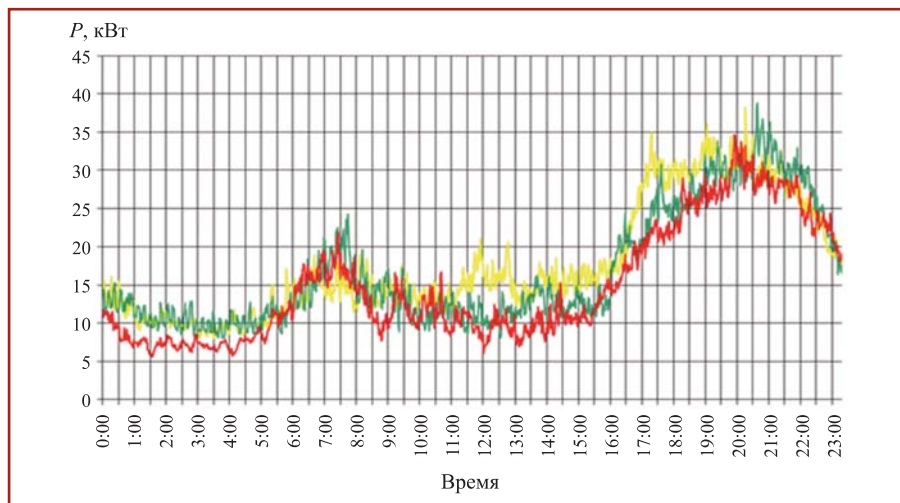


Рис. 1. Суточный график потребления активной мощности по фазам многоквартирного жилого дома:

— P_A ; — P_B ; — P_C

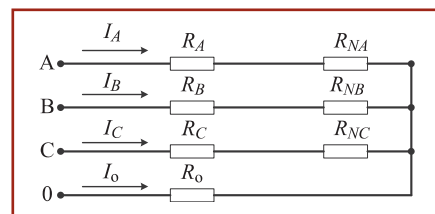


Рис. 2. Схема четырёхпроводной электрической сети

ламентируемых ГОСТ 321144 – 2013, что вызывает жалобы потребителей на качество электроэнергии, адресованные сетевым предприятиям. При несимметрии фазных нагрузок в нулевом проводе появляется ток. Причём сечение данного провода во многих случаях меньше, чем у фазных проводов. При большой несимметрии вероятность обрыва нулевого провода увеличивается (например, обгорание в контактных соединениях). В случае обрыва нулевого провода в ЛЭП появляется существенный перекося фазных напряжений за обрывом нулевого провода, и некоторые электроприёмники потребителей могут выйти из строя. При несимметрии нагрузок также могут перегреваться питающие трансформаторы, причём нагреваются не только обмотки, но и крышки, и баки трансформаторов за счёт возникновения магнитных потоков нулевой последовательности.

Для расчёта потерь электроэнергии при несимметричной нагрузке, исходя из значений фазных токов ЛЭП, рассчитывают коэффициент добавочных потерь от несимметрии токов, потери мощности при симметричной нагрузке, а затем определяют потери мощности при несимметрии [1, 2]. На простейшем примере продемонстрирована определённая некорректность подобных расчётов. Электрическая схема трёхфазной электрической сети 0,4 кВ с нулевым проводом приведена на рис. 2.

Фазные провода выполнены проводом А-50 (удельное активное сопротивление провода $R_0 = 0,64 \text{ Ом/км}$), нулевой провод выполнен проводом А-35 ($R_0 = 92 \text{ Ом/км}$), длина ЛЭП составляет 0,5 км. Активные нагрузки фаз представлены сопротивлениями R_{NA} , R_{NB} , R_{NC} . Тогда сопротивления фазных проводов $R_A = R_B = R_C = R_\phi = 0,32 \text{ Ом}$. Сопротивление нулевого провода $R_0 = 0,46 \text{ Ом}$. Фазные токи: $I_A = 15 \text{ А}$, $I_B = 25 \text{ А}$, $I_C = 35 \text{ А}$.

Расчёт потерь мощности с помощью коэффициентов добавочных потерь. Коэффициент добавочных потерь согласно [2]:

$$K_d = N^2 \left(1 + 1,5 \frac{R_0}{R_\phi} \right) - 1,5 \cdot \frac{R_0}{R_\phi},$$

где

$$N^2 = (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2) / (3I_{cp}^2);$$

$$I_{cp} = (I_A + I_B + I_C)/3 = \\ = (15 + 25 + 35)/3 = 25 \text{ A}; \\ N^2 = \frac{15^2 + 25^2 + 35^2}{3 \cdot 25^2} = 1,106.$$

$$K_d = 1,106 \left(1 + 1,5 \cdot \frac{0,46}{0,32} \right) - 1,5 \cdot \frac{0,46}{0,32} = 1,33.$$

Потери мощности при симметричной нагрузке:

$$\Delta P_c = 3 \cdot 25^2 \cdot 0,32 = 600 \text{ Вт.}$$

Потери мощности при несимметричной нагрузке:

$$\Delta P_{nc} = \Delta P_c \cdot K_d = 600 \cdot 1,33 = 798 \text{ Вт.}$$

Расчёт потерь мощности по закону Ома. Представим фазные токи в комплексной форме:

$$I_A^* = 15 \text{ A}, I_B^* = -12,5 + j21,65 \text{ A}, \\ I_C^* = -17,5 - j35 \text{ A}.$$

При этом ток в нулевом проводе:

$$I_0^* = 15 - 12,5 - 17,5 + j21,65 - j35 = \\ = -15 - j13,35 \text{ A}.$$

Модуль тока в нулевом проводе:

$$I_0 = \sqrt{15^2 + 13,35^2} = 20,08 \text{ A}.$$

Потери мощности в несимметричном режиме:

$$\Delta P_{nc} = (15^2 + 25^2 + 35^2) \cdot 0,32 + \\ + 20,08^2 \cdot 0,46 = 849 \text{ Вт.}$$

Приведённый пример показывает, что потери мощности, рассчитанные по разным методам, отличаются на величину $\delta P_{nc} = \frac{849 - 798}{798} \cdot 100 \% = 6,3 \%$, что свидетельствует о необходимости совершенствования методики расчёта.

В настоящее время на сетевых предприятиях контроль несимметрии фазных нагрузок осуществляется в большинстве случаев 2 раза в год несколько раз в сутки (в дни контрольных замеров). Причём моментные замеры токов фаз, мощности и напряжений некорректны, так как при наличии однофазных нагрузок их коммутации непредсказуемы, что приводит к постоянному изменению измеряемых параметров режима.

Разработанный авторами программно-аппаратный комплекс (ПАК) технического контроля параметров режима сетей 0,4 кВ [3] позволяет осуществлять постоянный мониторинг симметрии фазных нагрузок с частотой опроса 10 мин (ГОСТ 321144–2013). Необходимая информация о параметрах режима сети поступает с цифровых счётчиков электрической энергии и затем передаётся на сервер сбора данных с программным обеспечением по оценке несимметрии нагрузок (рис. 3).

С помощью программно-аппаратного комплекса решают следующие задачи:

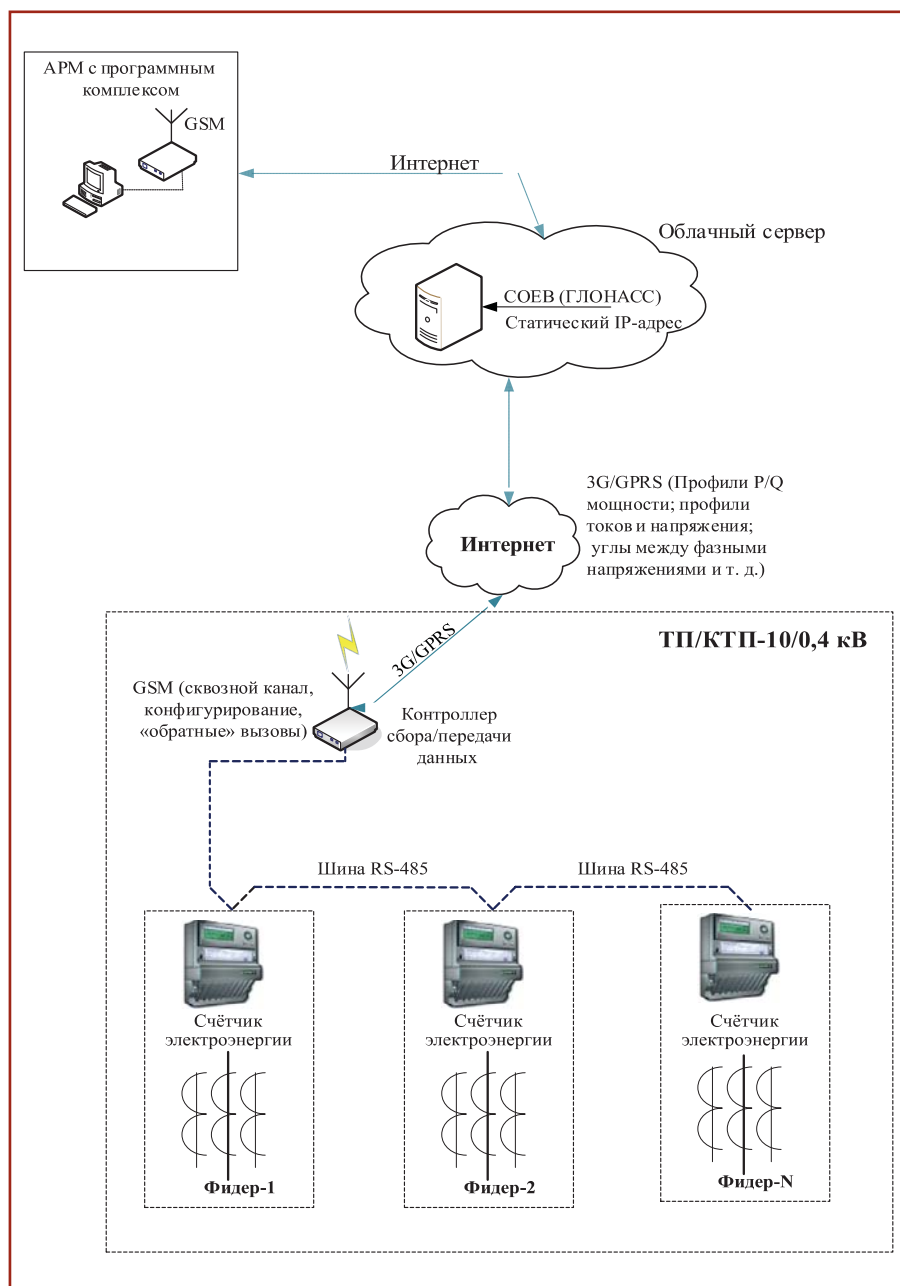


Рис. 3. Структурная схема программно-аппаратного комплекса:

ТП — трансформаторная подстанция; КТП — комплектная трансформаторная подстанция; СОЕВ — система обеспечения единого времени; АРМ — автоматизированное рабочее место; P — активная электрическая мощность, кВт; Q — реактивная электрическая мощность, кВАР.

- Усреднение фазных значений измеренных параметров режима за сутки, за неделю (включая выходные дни), за сезон. Анализируя рис. 1, можно сделать вывод о различии степени несимметрии мощностей фаз в часы максимальных и минимальных нагрузок (день, ночь). Учитывая квадратичную зависимость нагрузочных потерь электроэнергии от передаваемой мощности, при расчёте потерь электроэнергии необходимо усреднение измеряемых параметров режима и в интервалах день — ночь.

- Расчёт потерь электроэнергии по фидерам 0,4 кВ при существующей нагрузке. На этом этапе сложность реше-

ния задачи обуславливается определением нагрузок каждого потребителя, которые в настоящее время не контролируются. В программе РТП-3.2 [4] расчёт потерь проводится с учётом потребления электроэнергии каждым потребителем.

Программное обеспечение ПАК определяет распределённую вдоль ЛЭП нагрузку отдельных потребителей из соотношения измеряемой нагрузки в голове фидера и данных о потреблении. При этом нагрузка каждого i -го потребителя для режимов максимальных и минимальных суточных нагрузок рассчитывается по формуле:

$$P_{ni} = (P_{ry} / W_{\Sigma}) \cdot W_{ir}$$

где $P_{г\gamma}$ — измеряемая нагрузка рассматриваемой фазы головного участка; W_i — потребление электроэнергии i -го потребителя за характерный сезон (сезоны максимальных и минимальных нагрузок); W_{Σ} — суммарное потребление электроэнергии рассматриваемой фазы за характерный сезон.

Расчёт режима четырёхпроводной сети каждого фидера 0,4 кВ реализуется с помощью решения нелинейных узловых напряжений методом Ньютона. **В случае достижения добавочных потерь от несимметрии фазных нагрузок величины, согласованной с энергоснабжающей организацией, ПАК автоматически выдаёт электронное сообщение на автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера и телефоны эксплуатационного персонала.** Со временем развитие информационных технологий приведёт к мониторингу потребления электроэнергии и мощности каждого потребителя. В этом случае определение степени несимметрии и потерь электроэнергии будет однозначным. Однако определение потерь после прогнозируемого (виртуального) симметрирования требует повторного расчёта режима сети.

- Расчёт потерь мощности в трансформаторах 6(10)/0,4 кВ (включая и условно постоянные потери) при несимметричной нагрузке. При этом используются известные методы [2, 5].

Учитываются также потери в баках и крышках трансформаторов от потоков нулевой последовательности.

- Автоматическое определение порядка симметрирования. В общем случае указанная задача является оптимизационной при наличии на ЛЭП неполнофазных отпаек. Программно-аппаратный комплекс определяет также снижение потерь электроэнергии после рекомендованного виртуального симметрирования. Такая информация необходима эксплуатационному персоналу для принятия решения о реальном симметрировании.

Выводы

Развитие информационных технологий, увеличение степени наблюдаемости электрических сетей повышает эффективность работы распределительных сетей. Описанный в статье и реализуемый программно-аппаратным комплексом алгоритм дистанционного контроля несимметрии нагрузок в электрических сетях 0,4 кВ позволяет решать нижеследующие задачи:

- Осуществлять постоянный контроль несимметрии нагрузок, что снижает финансовые риски при необходимости компенсационных выплат потребителям, пострадавшим при выходе из строя электроприёмников вследствие обрыва нулевого провода.

- Своевременно и обоснованно проводить симметрирование в электрических сетях 0,4 кВ с распределённой нагрузкой (в основном сельские и пригородные сети) в целях снижения потерь электроэнергии и надёжности электроснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воротицкий В. Э., Калинкина М. М. Расчёт, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. — М.: ИПК госслужбы, 2005.
2. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. — М.: ЭНАС, 2009.
3. Дистанционный контроль параметров режима работы линий электропередачи 0,4 кВ / А. М. Маклецов, И. Ф. Галиев, Р. И. Галиев // Энергетик. 2017. № 9. С. 9 – 10.
4. Пофидерный расчёт баланса электроэнергии в распределительных сетях с использованием комплекса программ РТП-3 / В. Э. Воротицкий, С. В. Заслонов, М. А. Калинкина, И. А. Паринов. <http://www.energostat.ru/>
5. Оценка дополнительных потерь мощности от несимметрии напряжений и токов в элементах систем электроснабжения / А. В. Дед, А. В. Паршукова, Н. А. Халитов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 10. С. 421 – 425. <http://bit.ly/2DDWYfz>

Вышли в свет в 2018 г. выпуски журнала «Библиотечка электротехника» — приложения к журналу «Энергетик»

№№ 1 – 3. **О. В. Крюков.** Диагностика и прогнозирование технического состояния электроэнергетических систем компрессорных станций. Части 1 – 3

№№ 4 – 6. **А. Н. Алехнович.** Контроль и прогнозирование шлакующих свойств углей и шлакования пылеугольных котлов. Части 1 – 3

№ 7 – 8. **А. И. Вантеев.** Вопросы безопасной организации работ на воздушных линиях электропередачи.

№ 9. **В. А. Непомнящий, Л. А. Дарьян.** Надёжность оборудования сетей 220 – 750 кВ энергосистем.

№ 10. **А. Ф. Иванченко.** Управление и оперативное обслуживание единой национальной электрической сети. Часть 1.

№№ 11 – 12. **В. Н. Мещеряков, О. В. Крюков.** Системы электропривода временного тока с релейными регуляторами и нелинейными корректирующими устройствами. Части 1 – 2