

Графики активной и реактивной нагрузки бытовых потребителей

В.Я. Фролов, д-р техн. наук, А.В. Коротков, асп.

Проведены исследования графиков активной и реактивной электрической нагрузки бытовых потребителей городских электрических сетей. Показано, что реальные значения коэффициента реактивной мощности исследуемой нагрузки значительно отличаются от рекомендуемых нормативными документами значений. Установлено, что использование реальных данных о коэффициенте реактивной мощности при расчетах режимов электрических сетей и потерь электроэнергии в этих сетях позволит значительно повысить точность проводимых расчетов.

Ключевые слова: городские электрические сети, бытовые потребители, графики нагрузки, коэффициент реактивной мощности.

Diagrams of Active and Reactive Loads of Residential Consumers

V.Ya. Frolov, Doctor of Engineering, A.V. Korotkov, Post Graduate Student

The analysis of the diagrams of active and reactive electrical loads of city electrical grids for residential consumers was carried out. The article shows that the real values of displacement power factor of researched load differ from the recommended values that are provided in normative documents. The authors found out that using the real data of displacement power factor for calculating the electrical grids modes and losses can increase the calculations accuracy.

Key words: city electrical grids, residential consumers, diagrams of loads, displacement power factor.

Важное место в расчетах переменных потерь электроэнергии играет правильный выбор соотношения расчетных значений реактивной и активной мощности в сети – коэффициент реактивной мощности $tg\varphi$. Такие данные могут быть получены в результате регистрации суточных графиков электрических нагрузок, проводимой два раза в год по регламенту: в летний (июнь) и зимний (декабрь) режимные дни. Однако во многих городских электрических сетях (ГЭС) в точках регистрации на питающих сеть фидерах даже в режимные дни реактивная мощность не регистрируется.

В расчетах норматива потерь электроэнергии на протяжении нескольких последних лет, в условиях отсутствия данных о $tg\varphi$, его рекомендуется принимать равным 0,6 [1, 2].

Для определения реального значения $tg\varphi$, которое надо принимать при расчете потерь в ГЭС, проведены специальные исследования суточных графиков нагрузки характерных потребителей. Измерения проводились на головных участках фидеров 0,4 кВ подстанций электрических сетей городов и поселков Ивановской области. Такой способ регистрации выбран в соответствии с подходом к расчетам потерь электроэнергии в электрических сетях, принятым в [2], где предлагается проводить расчеты по данным об отпуске электроэнергии в фидер и характеристикам электропотребления на головном участке фидера.

Выбор места измерения (в голове питающего фидера) продиктован и тем обстоятельством, что по графику нагрузки индивидуального потребителя не может быть получено представление об особенностях элек-

тропотребления группы индивидуальных потребителей.

Измерения проводились на головном участке фидера, обеспечивающего питание электроэнергией бытовых потребителей выбранной группы, с помощью приборов, используемых при проведении технического аудита электрических сетей. Указанные приборы позволяют регистрировать следующие электрические характеристики:

– средние значения напряжения и тока по фазам за выбранный период регистрации $T_{рег}$;

– средние значения активной, реактивной и полной мощности по фазам за выбранный период регистрации $T_{рег}$.

При измерениях длительность периода регистрации $T_{рег}$ выбиралась, как правило, равной 30 мин, а период измерений $T_{изм}$ – 7–8 дням. Время $T_{рег}$ выбрано в соответствии с общепринятыми нормами определения средних и средних максимальных нагрузок. Значение периода измерений (неделя) выбрано в связи с необходимостью получения данных для расчета технических потерь электроэнергии по методам средних нагрузок и характерных суток [2].

Полученные в результате измерений данные о суточных графиках нагрузки активной $P(t)$ и реактивной $Q(t)$ мощности представляют собой зависимости регистрируемых характеристик в именованных единицах от времени суток. Эти графики перестраивались в графики в относительных единицах по отношению к среднесуточному значению измеряемой величины. Например, график потребления активной

мощности $P(t)$ в именованных единицах представлялся графиком в относительных единицах $P^*(t) = \frac{P(t)}{P_{cp.cym}}$, (1)

где $P_{cp.cym}$ – среднесуточное значение активной мощности, потребляемой сетью.

Для определения среднего и максимального среднего значения коэффициента реактивной мощности $tg\varphi$ были выбраны электрические сети питания малоэтажной застройки (в малых городах реально – одноэтажной). В такой застройке жители, кроме традиционной бытовой техники, используют специальную бытовую технику со специфической электродвигательной нагрузкой, характеризующейся наибольшими значениями $tg\varphi$ (насосы, электропилы и другие механизмы).

Приведенные ниже графики электрических нагрузок получены по результатам измерений и обработки 138 суточных графиков нагрузки. Суточные графики активной мощности, полученные в электрических сетях г. Иваново (рис. 1), свидетельствуют о том, что относительные значения графиков $P^*(t)$, полученные в результате измерений на фидерах различных подстанций электрических сетей г. Иваново, имеют одинаковый характер и характеризуются незначительным разбросом.

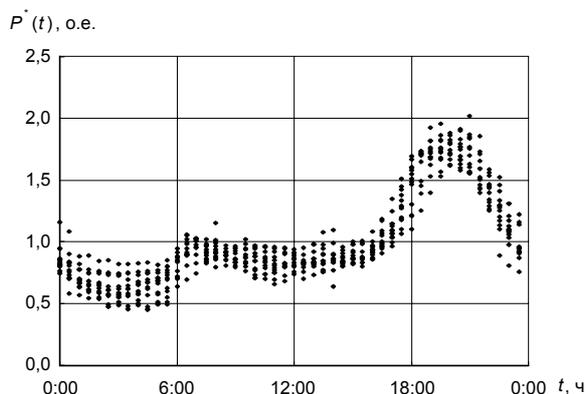


Рис. 1. Суточные графики активной мощности фидеров частного сектора подстанций г. Иваново (для рабочих дней недели)

Этот факт дает основание предположить, что данные суточных графиков электропотребления выбранной группы бытовых потребителей электроэнергии в пределах рабочей части недели могут быть описаны одной зависимостью $P^*(t)$.

Суточные графики реактивной нагрузки $Q^*(t)$, полученные для рабочих дней недели (рис. 2), как и экспериментально полученные значения активной мощности $P^*(t)$ (рис. 1), характеризуются высокой плотностью.

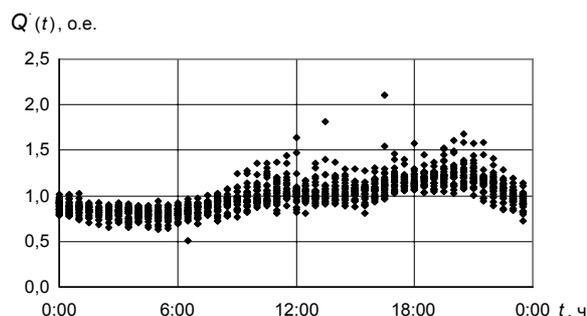


Рис. 2. Суточные графики реактивной мощности фидеров частного сектора подстанций г. Иваново (для рабочих дней недели)

Характер зависимости $Q^*(t)$ (рис. 2) повторяет характер зависимости $P^*(t)$ (рис. 1), но с гораздо менее выраженными экстремумами. Например, среднее максимальное значение вечернего максимума $Q^*(t)$ составляет всего 1,25, против 1,75 графика активной мощности $P^*(t)$.

Большой, по сравнению с графиком $P^*(t)$, разброс экспериментально полученных значений приводит к меньшей достоверности описания зависимости $Q^*(t)$ полиномом. Оценки аппроксимации различными функциями показали, что график зависимости $Q^*(t)$ с практически той же достоверностью, что и при аппроксимации полиномиальной функцией, может быть аппроксимирован линейной функцией.

По результатам измерений и пересчета суточных графиков активной $P^*(t)$ и реактивной нагрузки $Q^*(t)$ для рабочих дней недели построены графики зависимости $tg\varphi(t)$ (рис. 3).

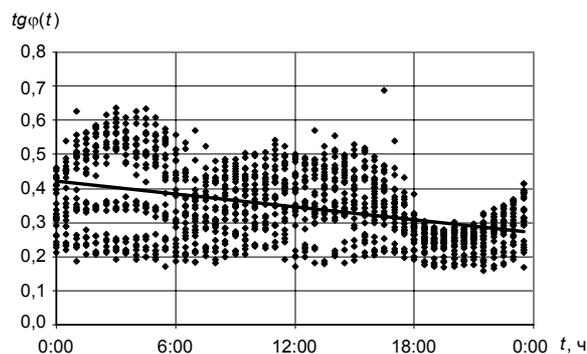


Рис. 3. Суточные графики $tg\varphi(t)$ фидеров частного сектора подстанций г. Иваново (для рабочих дней недели)

Особо следует отметить тот факт, что данные о $tg\varphi(t)$ характеризуются значительным разбросом. Разброс полученных данных настолько велик, что о наличии зависимости $tg\varphi(t)$ можно говорить лишь условно. Корректнее говорить о вероятности попаданий значений $tg\varphi(t)$ в некоторый интервал с заданной надежностью, например в интервал $tg\varphi(t) = 0,28 - 0,42$ при надежности 0,95. В рас-

четах же, как это и делается в общепринятых методиках [2], следует задаваться средним значением $tg\varphi_{cp}$ из этого интервала, а именно, $tg\varphi(t)=0,35$. При этом необходимо помнить, что это значение определялось для группы бытовых потребителей, характеризующейся наибольшими значениями $tg\varphi$, т. е. для группы потребителей электроэнергии малоэтажной застройки.

Анализ графиков нагрузки по нерабочим дням недели показал, что они принципиально не отличаются от приведенных выше графиков для рабочих дней недели.

Результаты исследований показали, что значение $tg\varphi=0,6$, рекомендуемое для расчетов потерь в городских электрических сетях, завышено.

В соответствии с полученными результатами может быть сделан вывод о том, что среднее значение коэффициента реактивной мощности для группы выбранных бытовых потребителей ГЭС $tg\varphi=0,35$, и даже максимальное среднее значение $tg\varphi=0,42$, значительно меньше рекомендуемого $tg\varphi=0,6$.

Использование в расчетах завышенного значения $tg\varphi$ приводит к получению также завышенного (по сравнению с реальным) значения потерь электроэнергии. Величина ошибки может быть определена на простом примере, приводимом ниже.

Если через простейший элемент электрической сети, имеющий активное сопротивление R , передается мощность $S=P+jQ$ на напряжении U , потери активной мощности в этом элементе составят величину, определяемую по выражению

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2 + (1 + tg^2\varphi)^2}{U^2} R.$$

Это означает, что при фиксированном значении P увеличение $tg\varphi$ со значения $tg\varphi_1$ до значения $tg\varphi_2$ приведет к увеличению потерь активной мощности в $(1 + tg^2\varphi_2) / (1 + tg^2\varphi_1)$

Фролов Владимир Яковлевич,
Санкт-петербургский государственный политехнический университет,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электротехники и электротехнологии,
e-mail: frolov.eed@gmail.com

Коротков Александр Владимирович,
Санкт-петербургский государственный политехнический университет,
аспирант кафедры электротехники и электротехнологии,
e-mail: kav009@ya.ru

раза. Конкретно, для рассматриваемого примера, увеличение расчетного значения коэффициента реактивной мощности с $tg\varphi_1=0,35$ до $tg\varphi_2=0,6$ приведет к увеличению расчетного значения потерь электроэнергии в 1,21 раза.

Заключение

Значение $tg\varphi=0,6$, рекомендуемое для расчетов потерь электроэнергии в городских электрических сетях, существенно завышено. В соответствии с полученными результатами, для расчета потерь электроэнергии в городских сетях следует принять значение $tg\varphi=0,35$, соответствующее среднему значению для группы потребителей электроэнергии с максимальным потреблением реактивной мощности. Использование в расчетах переменных потерь рекомендуемого в нормативных документах значения $tg\varphi=0,6$ приводит к получению расчетного значения потерь электроэнергии, завышенного на величину не менее 20 %.

Полученные данные можно использовать при расчете реальных значений потерь электроэнергии, которые реально меньше, чем нормативные потери. Именно реальные потери электроэнергии определяют выбор и разработку обоснованных мероприятий по повышению эффективности работы предприятий электрических сетей.

Список литературы

1. **Об организации** в Министерстве промышленности и энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. Приказ Минпромэнерго России от 04 октября 2005 г. № 267.
2. **Об организации** в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. Приказ Минэнерго РФ от 30 декабря 2008 г. № 326. Зарегистрирован в Минюсте РФ 12 февраля 2009 г. № 13314.