

УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗКИ НА ПОТЕРИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ
THE EFFECT OF LOAD ASYMMETRY ON ELECTRICITY LOSSES IN
THE ELECTRICAL NETWORK**

А.Ю. Сенько, магистрант

Научный руководитель - Н. Е. Шевчик, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь,
neshevchik@gmail.com

A. Yu. Senko

Supervisor - N.E. Shevchik, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в работе проведен анализ изменения потерь электроэнергии в сети на примере коттеджной застройки. Показано, что при токе в нулевом проводе равном 25% от номинального, потери увеличиваются на 75% по сравнению с симметричным режимом.*

***Abstract:** the article analyzes the changes in electricity losses in the network on the example of cottage development. It is shown that when the current in the zero wire is equal to 25% of the nominal, the losses increase by 75% compared to the symmetrical mode.*

***Ключевые слова:** несимметрия нагрузки, потери электроэнергии в электрической сети, метод симметричных составляющих.*

***Keywords:** load asymmetry, electric power losses in the electric network, the method of symmetric components.*

Введение

В настоящее время расчет потерь электроэнергии в электрических сетях проводится на основе количества проходящей по элементам указанной сети электрической энергии. Так в [1] рекомендованы следующие методы: "Расчет потерь на основе полных схем линий», в котором потери электроэнергии в электрической сети проводится с учетом полной схемы электрической сети и отпущенной электроэнергии с шин ТП 10/0,4 в сеть 0,4 кВ. При этом нагрузки распределяются по узловым точкам. Определяются нагрузки участков линий и по формуле Джоуля-Ленца рассчитываются потери.

Также предлагается упрощенная методика расчета по потерям напряжения: "Расчет потерь электроэнергии на основе измеренных максимальных потерь напряжения в линии". Она основана на том, что формулы для расчета потерь мощности и потерь напряжения в линии содержат одни и те же параметры, поэтому потери мощности определяются по потерям напряжения. Одним из недостатков указанной методики является то, что он не учитывает потери энергии в ответвлениях.

Кроме того, имеется методика "Расчет потерь на основе обобщенных данных о схемах линий". Расчет в ней проводится по упрощенным данным электрической сети.

Недостатками предлагаемых методик является большая погрешность расчетов, связанная с принятыми в них допущениями. Ни одна из них не учитывает дополнительные потери в линии при несимметрии нагрузок.

Более точная методика расчета предлагается кафедрой "Электрические системы" БНТУ [2]. В ней определяются токи в фазных и нулевых проводах также на основе отпущенной электроэнергии. Поэтому анализ потерь электроэнергии в сети 0,4 кВ с несимметричной нагрузкой в данной работе проведен с использованием методики БНТУ.

Основная часть

Для анализа принята электрическая сеть 0,4 кВ, питающая коттеджную застройку с трансформатором мощностью 160 кВА и схемой соединения обмоток У/Ун, тремя линиями, выполненными самонесущим изолированным проводом сечением 35 мм², длиной 600 м, с равномерно распределенной по длине линии нагрузкой. Загрузка трансформатора составляет 70% номинальной его мощности.

Расчет потерь энергии в электрической сети проведен методом симметричных составляющих. Они определяются по формуле:

$$\Delta P = 8760 * P_x + 3 * \tau * \left[(I_1^2 + I_2^2) * r_k + I_0^2 * r_0 \right] + \tau * \sum_{i=1}^n \left\{ I_i * \left[3 * (I_{1i}^2 + I_{2i}^2 + I_{0i}^2) * r_\phi + (3I_{0i})^2 r_n \right] \right\},$$

где P_x - потери холостого хода трансформатора, Вт, для трансформатора ТМГ12-160/10 $P_x = 450$ Вт;

τ - время потерь, для коммунально-бытового сектора 1200 ч/год;

r_k, r_0 - активные сопротивления короткого замыкания и нулевой последовательностей трансформатора, Ом, для трансформатора ТМГ12-160/10 $r_k = 0,01625$ Ом, $r_0 = 0,219$ Ом;

I_1, I_2, I_0 - токи прямой, обратной и нулевой последовательностей в трансформаторе, А;

I_{1i}, I_{2i}, I_{0i} - токи прямой, обратной и нулевой последовательностей на участках линии, А;

r_ϕ, r_n - удельное активное сопротивление фазного и нулевого проводов, 0,868 Ом/км;

n - количество участков линий,

Токи прямой, обратной и нулевой последовательностей определяются по известным формулам [3].

Известно, что несимметрия нагрузок достаточно сильно влияет на качество напряжения и потери электроэнергии. В свою очередь, на несимметрию нагрузок влияют два фактора: 1 - неравномерное распределение нагрузок по фазам, 2 - случайные включения электроприемников.

Расчеты проведены для 3-х вариантов нагрузки:

1. Идеальный вариант — нагрузка по фазам равномерная $I_a = I_b = I_c = 0,7I_{\text{НОМ}}$, загрузка трансформатора 70% от номинальной.
2. Несимметрия токов, вызванная случайным включением однофазных нагрузок $I_a = I_b = 0,7I_{\text{НОМ}}$; $I_c = 0,56I_{\text{НОМ}}$, при загруженном на 70 % трансформаторе в фазе "С" нагрузка снизилась еще на 20%.
3. К фазе "b" подключена дополнительная нагрузка, при этом случайная несимметрия сохранилась $I_a = 0,70I_{\text{НОМ}}$; $I_b = 0,81I_{\text{НОМ}}$; $I_c = 0,56I_{\text{НОМ}}$.

Третий вариант нагрузки можно объяснить следующим образом. К примеру, в уже застроенном коттеджном массиве были выделены дополнительные участки. И, если на основной массив выполняется проект, в котором правильно подобраны сечения проводов, нагрузка равномерно распределена по фазам, то электроснабжение дополнительных участков часто выполняется в целях экономии двумя проводами, часто меньшего сечения, чем в основной застройке. Это приводит к еще большей несимметрии нагрузок.

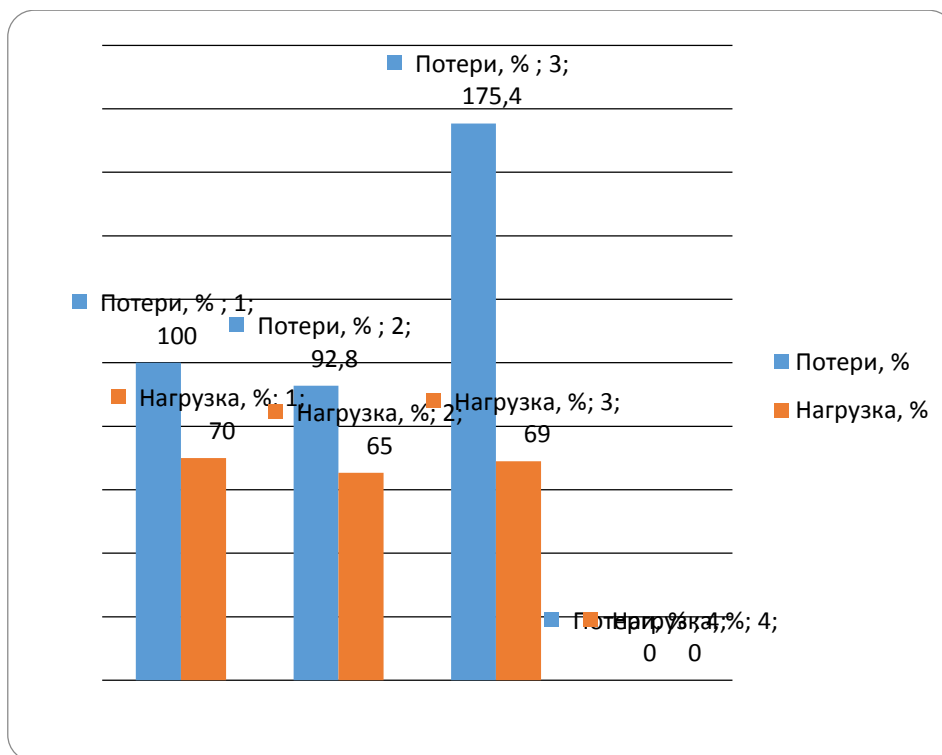


Рис. 1 Потери в электрической сети:
 1 - симметричная нагрузка $I_a=I_b=I_c=0,7I_{\text{НОМ}}$; 2 - случайная несимметрия $I_a=I_b=0,7I_{\text{НОМ}}$, $I_c=0,56I_{\text{НОМ}}$; 3 - несимметрия, вызванная добавленной однофазной

По первому варианту потери электроэнергии при симметричной нагрузке составили 12000 кВт*ч/год (рис.1). На указанном рисунке нагрузка приведена в процентах к номинальной мощности трансформатора, а потери — в процентах к потерям всей электрической сети при симметричной нагрузке. Если неравномерную нагрузку по фазам легко устранить, то случайные включения электроприемников устранить практически невозможно. В статье

рассмотрены режимы работы линии со случайной несимметрией, которая, как правило, не превышает 25 %, поэтому в расчетах принято 20%.

Потери электроэнергии в сети со случайной несимметрией нагрузок будут равны 11138 кВт*ч/год. Следует отметить, что в целом по сети нагрузка снизилась на 5%, а потери снизились на 7,2% (рис.1, вариант 2). Потери на рисунке приведены в процентах к потерям при симметричной нагрузке.

Предположим, что было принято решение увеличить застройку и, как сказано выше, к дополнительным зданиям протянули два провода сечением 35 мм². Но если раньше здания были запитаны от 3-х фаз, то сейчас вновь введенные нагрузки легли на одну фазу.

Так как несимметрия нагрузок была случайная, выбор фазы при подсоединении дополнительной нагрузки также случаен. Наилучший вариант — присоединение к фазе "с". Тогда нагрузка по фазам выровняется. В расчетах дополнительную нагрузку присоединим к фазе «в». Нагрузка трансформатора стала $I_a = 0,70I_{\text{ном}}$; $I_b = 0,81I_{\text{ном}}$; $I_c = 0,56I_{\text{ном}}$.

Потери электроэнергии в сети составят 21047 кВт*ч/год. Если сравнить с симметричным режимом, то потери выросли в 1,75 раза, хотя суммарная нагрузка трансформатора уменьшилась в целом на 1 % по сравнению с симметричной нагрузкой.

Заключение

Несимметрия нагрузок приводит к резкому увеличению потерь электроэнергии в сети. При токе в нулевом проводе 25% от номинального потери увеличились на 75% по сравнению с симметричным режимом.

Литература

1. Расчет потерь электроэнергии в сетях 0,4 кВ: формулы, схемы [Электронный ресурс]/ПУЭ8.- Режим доступа: <https://pue8.ru/uchet-elektroenergii/2-1-11-raschet-poter-elektroenergii-v-setyah-0-4-kv.html> - Дата доступа 27.04.2022.
2. Фурсанов М. И. Расчеты технологического расхода (потерь) электроэнергии на ее транспорт в электрических сетях энергосистемы: учебно-методическое пособие/ Фурсанов М. И., Золотой А.А., Макаревич В.В. - Минск, БНТУ, 2018 - 112 с.
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_симметричных_составляющих