

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников, А. И. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях : Учебное пособие / А. И. Колесников, М. Н. Федоров, Ю. М. Варфоломеев. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 124 с.
2. Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договоры энергоснабжения) : утв. Приказом М-ва промышленности и энергетики Рос. Федерации № 49 от 22.02.2007 : введ. в действие с 20.04.2007.
3. Красник, В. В. Автоматические устройства по компенсации реактивных нагрузок в электросетях предприятий. – М. : Энергия, 1975. – 112 с.
4. Справочник по электрическим машинам : В 2 т. / под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. Т. 1. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
5. Кацман, М. М. Справочник по электрическим машинам: Учеб. пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования. – М. : Академия, 2005. – 480 с.
6. Ефременко, В. М. Анализ влияния нагрузки силовых трансформаторов на потребление реактивной мощности / В. М. Ефременко, Р. В. Беляевский // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2009. – № 6. – С. 46–48.
7. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Текст] : федер. закон : [принят Гос. Думой 11 ноября 2009 г. : одобр. Советом Федерации 18 ноября 2009 г.]. – (Актуальный закон).

□ Автор статьи:

Беляевский  
Роман Владимирович  
– ассистент каф. электроснабжения горных  
и промышленных предприятий КузГТУ,  
тел. 8 950 584 7672  
E-mail: belaevsky@mail.ru

УДК 621.316.016.25

В.М. Ефременко, Р.В. Беляевский

## АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАГРУЗКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В настоящее время в связи с существенным снижением объемов промышленного производства на большинстве российских предприятий сложилась ситуация, при которой системы электроснабжения эксплуатируются не в номинальном режиме. При этом одной из основных проблем, которые имеют место в промышленных электрических сетях, на сегодняшний день является низкий уровень загрузки электрооборудования. Снижение уровня загрузки электрооборудования приводит к увеличению потерь электроэнергии в электрических сетях, к дополнительному непроизводительному расходу электрической энергии и, как следствие, к снижению энергетической эффективности технологических процессов и промышленного предприятия в целом.

В данных условиях на промышленных предприятиях значительно увеличилась доля потерь электроэнергии, обусловленная малой загрузкой силовых трансформаторов. При малых нагрузках потери электроэнергии в трансформаторах могут быть весьма существенными, так как при сниже-

нии коэффициента загрузки происходит увеличение потребляемой трансформаторами реактивной мощности намагничивания, которая расходуется ими на создание магнитного потока холостого хода. Влияние коэффициента загрузки силовых трансформаторов на потребление реактивной мощности подробно рассмотрено в [1, 2]. При этом установлено, что при снижении загрузки трансформаторов менее 30 % номинальной мощности наблюдается существенное повышение величины реактивной мощности, потребляемой силовыми трансформаторами. Это в свою очередь приводит к увеличению коэффициента реактивной мощности  $tg\varphi$  промышленного предприятия, росту потерь электроэнергии в электрических сетях, увеличению затрат на электрическую энергию и др.

Для оценки влияния нагрузки силовых трансформаторов на потребление реактивной мощности и потери электроэнергии в электрических сетях был произведен анализ коэффициента загрузки силовых трансформаторов на одном из промыш-

ленных предприятий г. Кемерово за период с 2007 по 2009 гг. включительно. В балансовой принадлежности предприятия находится 22 трансформатора, общая установленная мощность которых составляет 14800 кВА. Исходными данными для анализа являлись сведения об отпуске электроэнергии в сеть предприятия за 2007–2009 гг., а также ведомость результатов контрольного замера активной и реактивной электроэнергии, снятого в один из режимных дней. На основании ведомости результатов контрольного замера были построены графики нагрузки предприятия по активной и реактивной мощности и произведена их математическая обработка, которая позволила получить ряд показателей, необходимых для выполнения дальнейших расчетов. Расчет потерь электроэнергии в силовых трансформаторах производился в соответствии с требованиями Инструкции [3].

Потери электроэнергии холостого хода силовых трансформаторов определялись по формуле:

$$\Delta W_x = \Delta P_x \sum_{i=1}^n T_{pi} \left( \frac{U_i}{U_{ном}} \right)^2, \quad (1)$$

где  $\Delta P_x$  – потери холостого хода трансформатора, кВт (определяются на основе паспортных данных силовых трансформаторов);  $T_{pi}$  – число часов работы трансформатора в  $i$ -м режиме, ч;  $U_i$  – напряжение на высшей стороне трансформатора в  $i$ -м режиме, кВ;  $U_{ном}$  – номинальное напряжение высшей обмотки трансформатора, кВ.

Расчет нагрузочных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах производился по методу средних нагрузок по формуле:

$$\Delta W_{Hj} = k_k \Delta P_{cp} T k_\phi^2, \quad (2)$$

где  $k_k$  – коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки;  $\Delta P_{cp}$  – потери мощности в силовых трансформаторах при средних за расчетный период нагрузках, кВт;  $T$  – число часов в расчетном периоде, ч;  $k_\phi^2$  – квадрат коэффициента формы графика нагрузки за расчетный период.

Значение  $k_\phi^2$  определяется по формуле:

$$k_\phi^2 = \frac{1 + 2k_3}{3k_3}, \quad (3)$$

где  $k_3$  – коэффициент заполнения графика суммарной нагрузки сети:

$$k_3 = \frac{P_{cp}}{P_{max}}, \quad (4)$$

где  $P_{cp}$  – среднее значение активной мощности за расчетный период, МВт;  $P_{max}$  – максимальное значение активной мощности за расчетный период, МВт.

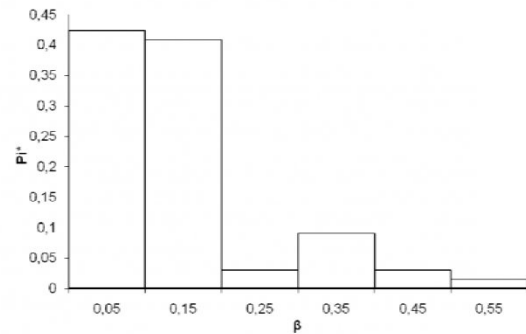


Рис. 1. Гистограмма распределения коэффициента загрузки силовых трансформаторов

Нагрузочные потери мощности в силовых трансформаторах при средних за расчетный период нагрузках узлов определяются по формуле:

$$\Delta P_{cp} = \frac{P_{cp}^2 (1 + tg^2 \varphi)}{U_{cp}^2} R, \quad (5)$$

где  $tg \varphi$  – коэффициент реактивной мощности;  $U_{cp}$  – среднее напряжение трансформатора за расчетный период, кВ;  $R$  – активное сопротивление трансформатора, Ом.

Из формулы (5) следует, что потери мощности, а, следовательно, и электроэнергии в силовых трансформаторах пропорциональны  $(1 + tg^2 \varphi)$ , то есть зависят от величины передаваемой через

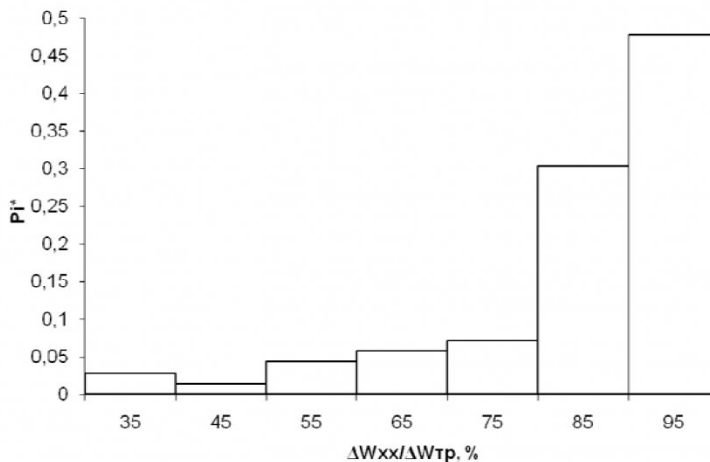


Рис. 2. Гистограмма распределения потерь холостого хода в процентах от суммарных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах

трансформаторы реактивной мощности.

Таким образом, в ходе расчетов были определены потери холостого хода, нагрузочные потери и суммарные потери мощности и электроэнергии в трансформаторах в абсолютном выражении и в процентах от отпуска электроэнергии в сеть предприятия за период 2007–2009 гг., а также мощность нагрузки и коэффициент загрузки трансформаторов за рассматриваемый период.

На основании результатов произведенных расчетов была построена гистограмма распределения коэффициента загрузки силовых трансформаторов  $\beta$  на предприятии (рис. 1).

Из гистограммы на рис. 1 следует, что более 80 % трансформаторов на предприятии работает с коэффициентом загрузки не превышающим 0,2, а средний коэффициент загрузки трансформаторов составляет всего 0,15. Из графиков зависимости, приведенных в [1, 2], следует, что при таких значениях коэффициента загрузки силовых трансформаторов величина их коэффициента реактивной мощности возрастает в несколько раз по сравнению с нормируемым значением  $tg\varphi_n$  в зависимости от номинальной мощности трансформаторов. Как показали расчеты, потери электроэнергии в силовых трансформаторах составляют в среднем 5,05 % от отпуска электроэнергии в сеть предприятия. При этом в среднем 86,3 % от суммарных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах приходится на потери холостого хода, которые связаны с потреблением трансформаторами реактивной мощности намагничивания. Это наглядно иллюстрирует гистограмма распределения потерь холостого хода в процентах от суммарных потерь электроэнергии в силовых трансформаторах  $\Delta W_{xx}/\Delta W_{тр}$ , представленная на рис. 2.

Таким образом, проведенный анализ коэффициента загрузки силовых трансформаторов пока-

зал, что значительная часть потребляемой предприятием реактивной мощности, а также значительная часть потерь электроэнергии в электрической сети предприятия обусловлена именно малой нагрузкой силовых трансформаторов. Следует отметить, что на сегодняшний день подобная ситуация является характерной для многих промышленных предприятий.

Поэтому важной практической задачей на сегодняшний день является выявление в промышленных электрических сетях малозагруженных силовых трансформаторов с последующим проведением мероприятий по рационализации их работы. Выявление малозагруженных силовых трансформаторов должно осуществляться в ходе энергетических обследований промышленных предприятий, проведение которых предусмотрено Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» [4]. К числу мероприятий, направленных на рационализацию работы силовых трансформаторов, следует отнести замену трансформаторов, систематически загруженных менее 30–40 % номинальной мощности, и их перегруппировку, перевод нагрузки трансформаторов, временно загруженных менее 30–40 % номинальной мощности, на другие трансформаторы, а также отключение трансформаторов на время работы на холостом ходу. Реализация указанных мероприятий должна способствовать естественному уменьшению реактивной мощности, потребляемой силовыми трансформаторами, снижению величины  $tg\varphi$ , уменьшению потерь электроэнергии в электрических сетях и должна быть направлена на повышение энергетической эффективности промышленных предприятий

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефременко, В. М. Анализ влияния нагрузки силовых трансформаторов на потребление реактивной мощности / В.М. Ефременко, Р.В.Беляевский // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2009. № 6. – С. 46–48.
2. Ефременко, В. М. Анализ зависимости коэффициента реактивной мощности от коэффициента загрузки силовых трансформаторов / В. М. Ефременко, Р. В. Беляевский // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2010. – № 1. – С. 107–109.
3. Инструкция по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям : утв. Приказом Мин-ва энергетики РФ № 326 от 30.12.2008 : ввод в действие с 30.12.2008.
4. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ [Текст] : федер. закон : [принят Гос. Думой 11 ноября 2009 г. : одобр. Советом Федерации 18 ноября 2009 г.]. – (Актуальный закон).

□ Авторы статьи:

Ефременко  
Владимир Михайлович  
– канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,  
зав. каф. электроснабжения горных  
и промышленных предприятий  
КузГТУ, тел.8 904 999 0817

Беляевский  
Роман Владимирович  
– ассистент каф. электроснабжения  
горных и промышленных предпри-  
ятий КузГТУ, тел. 8 950 584- 672  
E-mail: belaevsky@mail.ru