ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.316.016.25

В.М. Ефременко, Р.В. Беляевский

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В электрических сетях промышленных предприятий большинство электроприемников наряду с активной мощностью потребляет также и реактивную. В отличие от активной, реактивная мощность не совершает непосредственно полезной работы и служит лишь для создания переменных магнитных полей в индуктивных приемниках электрической энергии, непрерывно циркулируя между генератором и потребляющими ее электроприемниками.

Вместе с тем реактивная мощность оказывает существенное влияние на такие параметры системы электроснабжения, как потери мощности и электроэнергии и уровни напряжения в узлах сети. Значительные перетоки реактивной мощности приводят к дополнительным, не вызванным потребностями производства, потерям электроэнергии, снижению ее качества, уменьшению пропускной способности электрических сетей, а также к ряду других нежелательных последствий.

Одними из основных потребителей реактивной мощности на промышленных предприятиях являются силовые трансформаторы, на долю которых приходится около 30 % от общей потребляемой в промышленных электрических сетях реактивной мощности. В этой связи представляется важным естественное уменьшение величины реактивной мощности, потребляемой силовыми трансформаторами промышленных предприятий

Реактивная мощность, потребляемая силовым трансформатором, складывается из двух составляющих: реактивной мощности намагничивания Q_0, расходуемой на создание магнитного потока холостого хода (т. е. на намагничивание магнитопровода), и реактивной мощности полей рассеяния Q_p, которая зависит от нагрузки трансформатора. При расчете составляющих реактивной мощности для трансформатора используются его паспортные данные [1]:

$$Q_0 = \frac{I_0}{100} S_{\text{ном.т}}, \quad (1)$$

$$Q_p = \frac{u_\text{к}}{100} \beta^2 S_{\text{ном.т}}, \quad (2)$$

где $S_{ном.т}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; I_0 – ток холостого хода трансформатора, %; $u_к$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %; β – коэффициент загрузки трансформатора по полной мощности, определяемый по формуле:

$$\beta = \frac{S}{S_{\text{ном.т}}}, \quad (3)$$

где S – полная мощность нагрузки трансформатора, кВА.

Таким образом, общая реактивная мощность, потребляемая силовым трансформатором, составит

$$Q = Q_0 + Q_p = S_{ном.т}\left(\frac{I_0}{100} + \frac{u_к}{100}\beta^2\right). \quad (4)$$

При этом коэффициент реактивной мощности трансформатора $tg\varphi$ с учетом формулы (3) будет иметь вид:

$$tg\varphi = \frac{Q}{P} = \frac{Q}{\sqrt{S^2 - Q^2}} = \frac{S_{\text{ном.т}}\left(\frac{I_0}{100} + \frac{u_\text{к}}{100}\beta^2\right)}{\sqrt{(\beta S_{\text{ном.т}})^2 - \left[S_{\text{ном.т}}\left(\frac{I_0}{100} + \frac{u_\text{к}}{100}\beta^2\right)\right]^2}}$$

Выполняя ряд несложных преобразований, получим

$$tg\varphi = \frac{\frac{I_0}{100} + \frac{u_к}{100}\beta^2}{\sqrt{\beta^2 - \left(\frac{I_0}{100} + \frac{u_к}{100}\beta^2\right)^2}}. \quad (5)$$

Для оценки влияния нагрузки силовых трансформаторов на потребление ими реактивной мощности, а также в целях определения диапазона нагрузок, при котором целесообразно производить замену малозагруженных трансформаторов трансформаторами меньшей номинальной мощности либо отключение в резерв малозагруженных трансформаторов, были получены зависимости коэффициента реактивной мощности от коэффициента загрузки для силовых трансформаторов типов ТМ и ТМГ различной номинальной мощности. Рассматривались трансформаторы номинальной мощностью от 25 до 2500 кВА включительно ввиду их широкого применения для питания электроприемников в цеховых электрических сетях промышленных предприятий. Исходными данны-

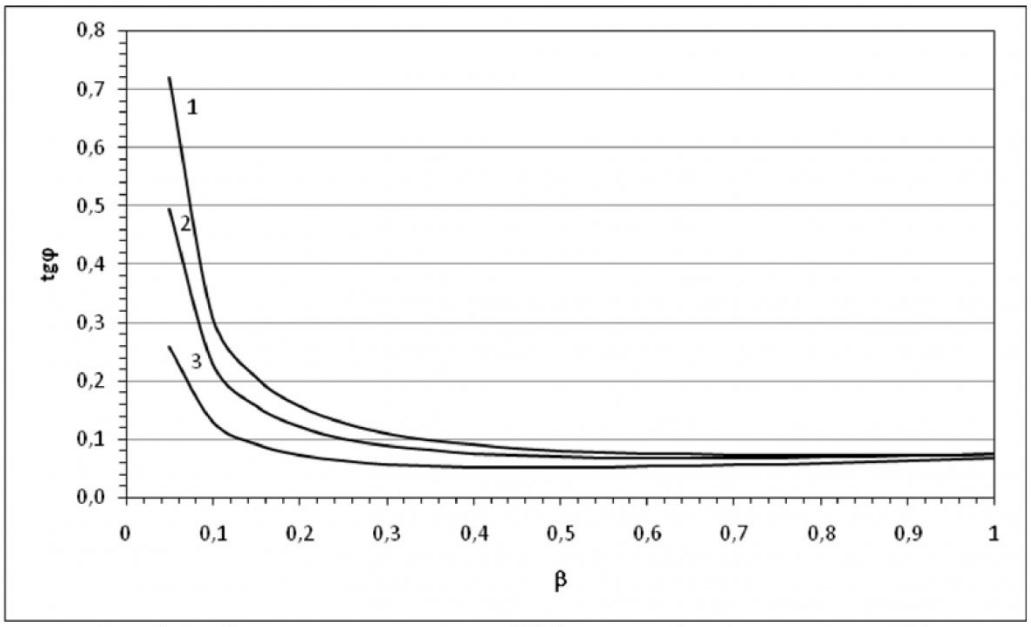

Рис. 1. Графики зависимости tgφ = f(β) для трансформаторов типа ТМ: 1 – 25 ÷ 100 кВА; 2 – 160 ÷ 630 кВА; 3 – 1000 ÷ 2500 кВА

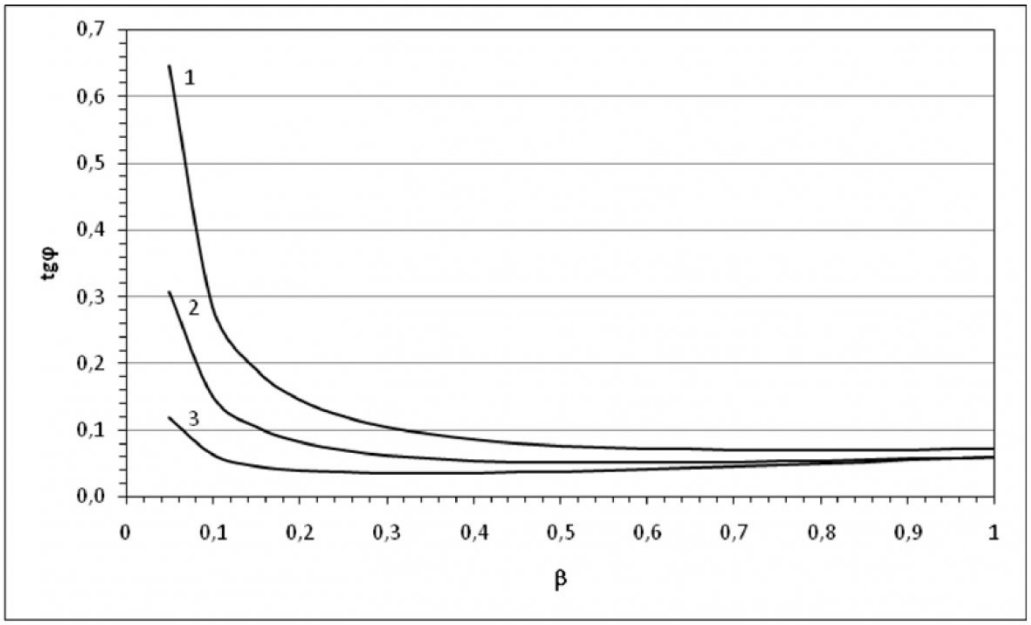

Рис. 2. Графики зависимости tgφ = f(β) для трансформаторов типа ТМГ: 1 – 25 ÷ 40 кВА; 2 – 63 ÷ 250 кВА; 3 – 400 ÷ 1600 кВА

ми для расчетов являлись каталожные данные силовых трансформаторов [2].

На основании каталожных данных силовых трансформаторов в соответствии с формулой (5) были определены значения коэффициента реактивной мощности при различных значениях коэффициента загрузки трансформаторов, и по результатам расчетов построены графики зависимости $tg\varphi = f(\beta)$. Из анализа полученных графиков было установлено, что для трансформаторов типа ТМ характер изменения коэффициента реактивной мощности в зависимости от коэффициента загрузки примерно одинаков по группам трансформаторов в диапазонах номинальных мощностей 25 ÷ 100 кВА, 160 ÷ 630 кВА и 1000 ÷ 2500 кВА, а для трансформаторов ТМГ – для групп трансформаторов 25 ÷ 40 кВА, 63 ÷ 250 кВА и 400 ÷ 1600 кВА. На основании этого были построены усредненные графики зависимости $tg\varphi = f(\beta)$ для трансформаторов типа ТМ (рис. 1) и трансформаторов типа ТМГ (рис. 2).

Анализ полученных результатов показал, что нагрузка силовых трансформаторов оказывает существенное влияние на потребление ими реактивной мощности: при снижении коэффициента загрузки трансформаторов значение коэффициента реактивной мощности увеличивается. При этом, как видно из графиков на рис. 1 и 2, в диапа-

зоне нагрузок от 30 до 100 % номинальной мощности коэффициент реактивной мощности трансформаторов изменяется весьма незначительно. При нагрузке же трансформаторов менее 30 % номинальной мощности потребление ими реактивной мощности существенно увеличивается. Как показали расчеты, данное увеличение особенно сильно проявляется при снижении нагрузки трансформаторов менее 10 % номинальной мощности, при котором происходит резкое возрастание коэффициента реактивной мощности. При этом значительную часть реактивной мощности, потребляемой трансформаторами, в данном случае составляет реактивная мощность намагничивания. Поэтому с точки зрения снижения потребляемой трансформаторами реактивной мощности отключение трансформаторов целесообразно производить при уменьшении их нагрузки примерно до 30 % от номинальной мощности.

Необходимо также отметить, что в соответствии с [3, 4] и по опыту эксплуатации силовых трансформаторов на промышленных предприятиях для снижения величины потребляемой трансформаторами реактивной мощности рекомендуется осуществлять рационализацию их работы, которая заключается в замене трансформаторов, систематически загруженных менее 30 ÷ 40 % номинальной мощности, и их перегруппировке, переводе нагрузки трансформаторов, временно загруженных менее 30 ÷ 40 % номинальной мощности, на другие трансформаторы, а также в отключении трансформаторов на время работы на холостом ходу. Полученные в ходе анализа результаты также подтверждают целесообразность указанных рекомендаций.

Из расчетов и графиков зависимости $tg\varphi = f(\beta)$, представленных на рис. 1 и 2, также следует, что потребление реактивной мощности силовыми трансформаторами зависит и от величины их номинальной мощности. Данная зависимость проявляется в том, что с уменьшением номинальной мощности силовых трансформаторов относительная величина потребляемой ими реактивной мощности увеличивается.

Кроме того, полученные результаты позволили сделать вывод, согласно которому современные типы силовых трансформаторов характеризуются меньшим потреблением реактивной мощности по сравнению с их более старыми аналогами. Данное обстоятельство в значительной мере объясняется использованием более качественных материалов для изготовления магнитопроводов трансформаторов (холоднокатаные, аморфные электротехнические стали), позволяющих уменьшить величину реактивной мощности намагничивания, а также применением рациональных конструктивных исполнений при разработке современных типов силовых трансформаторов. По этой причине в случае наличия необходимости установки новых или замены уже имеющихся на промышленных предприятиях силовых трансформаторов выбор, очевидно, следует делать в пользу трансформаторов более современных типов, что позволит уменьшить общую долю реактивной мощности, потребляемой силовыми трансформаторами в промышленных электрических сетях.

Таким образом, как показал анализ, нагрузка силовых трансформаторов оказывает существенное влияние на потребление ими реактивной мощности, которое возрастает по мере снижения коэффициента загрузки трансформаторов. Отметим, что в настоящее время значительная часть потребляемой промышленными предприятиями реактивной мощности обусловлена именно малой загрузкой силовых трансформаторов. В связи с этим сегодня необходимо предпринимать меры по реализации на промышленных предприятиях мероприятий, направленных на рационализацию работы трансформаторов, что, в свою очередь, должно способствовать естественному уменьшению величины реактивной мощности, потребляемой силовыми трансформаторами, и снижению коэффициента реактивной мощности промышленных предприятий в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Красник, В. В.* Автоматические устройства по компенсации реактивных нагрузок в электросетях предприятий. – М. : Энергия, 1975. – 112 с.

2. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 320 с.

3. *Константинов, Б. А.* Компенсация реактивной мощности / Б. А. Константинов, Г. З. Зайцев. – Л. : Энергия, 1976. – 104 с.

4. *Кудрин, Б. И.* Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений. – М. : Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.

Авторы статьи:

Ефременко
Владимир Михайлович
– канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
зав. каф. электроснабжения горных
и промышленных предприятий КузГТУ,
тел.8-904-999-0817
E-mail: evm.kegpp@kuzstu.ru

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