

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 потерями 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]:

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

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

где $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; I_0 – ток холостого хода трансформатора, %; u_k – 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

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

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

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

Выполняя ряд несложных преобразований, получим

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

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 данными

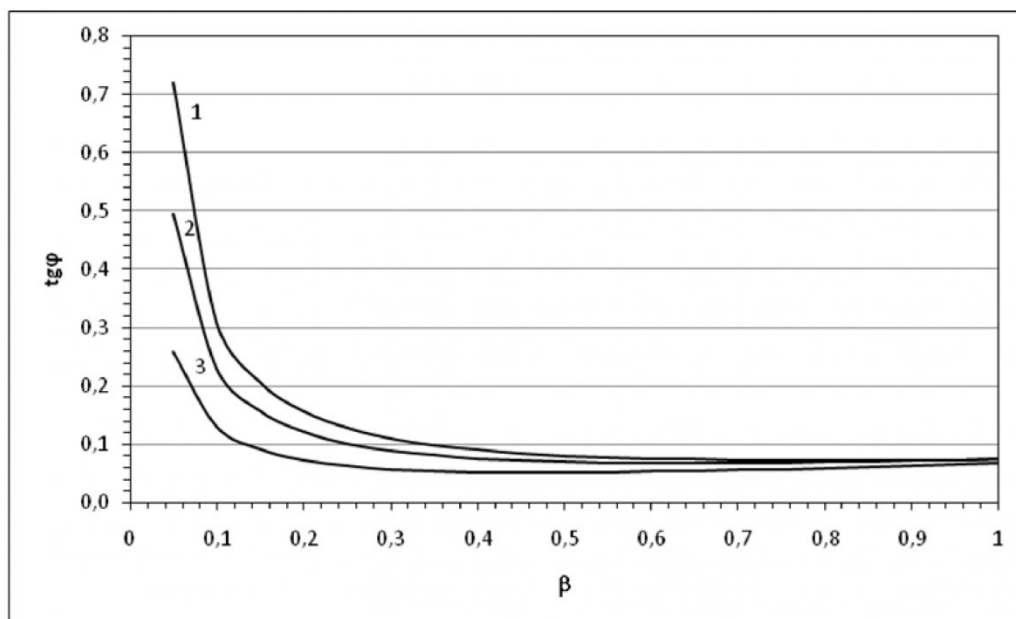


Рис. 1. Графики зависимости $tg\varphi = f(\beta)$ для трансформаторов типа ТМ:
1 – 25 ÷ 100 кВА; 2 – 160 ÷ 630 кВА; 3 – 1000 ÷ 2500 кВА

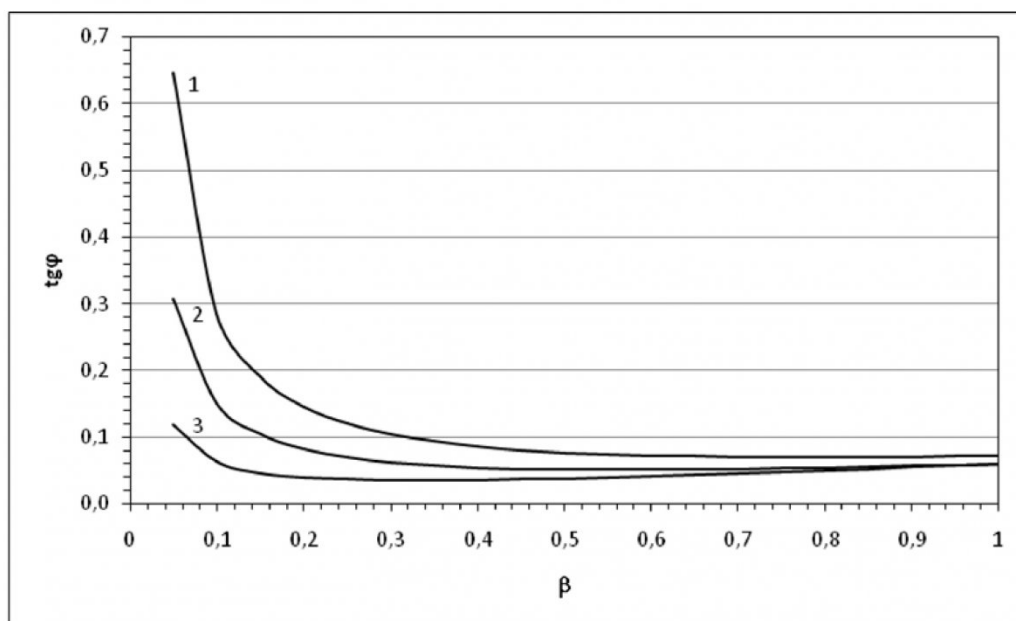


Рис. 2. Графики зависимости $tg\varphi = f(\beta)$ для трансформаторов типа ТМГ:
1 – 25 ÷ 40 кВА; 2 – 63 ÷ 250 кВА; 3 – 400 ÷ 1600 кВА

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 мощно-

стей 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 $\text{tg}\varphi = f(\beta)$, 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 относитель-

ная 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. : Интернет 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