DOI: 10.17117/na.2015.11.03.430

Поступила (Received): 26.11.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.11.03.430.pdf>

Третьяков Е.А., Петров П.Г.
Повышение экономичности трансформаторов

Tretyakov E.A., Petrov P.G.
Improving efficiency of transformers

Предложено повысить экономичность силовых трансформаторов за счет изменения схемы соединения катушек первичной и вторичной обмоток в зависимости от его нагрузки при условии неизменного коэффициента трансформации. Обмотки трансформатора в этом случае должны иметь ответвления, соответствующие количеству катушек на стороне высокого и низкого напряжений, при этом сечение обмоток и располагаемая мощность трансформатора, обратно пропорциональны количеству катушек

Ключевые слова: силовой трансформатор, снижение потерь, эксперимент, имитационное моделирование, секционирование обмоток

Третьяков Евгений Александрович
Кандидат технических наук, доцент
Омский государственный университет путей
сообщения
г. Омск, пр. Маркса, 35

Петров Павел Геннадьевич
Кандидат технических наук, доцент
Омский государственный университет путей
сообщения
г. Омск, пр. Маркса, 35

It is proposed to increase the efficiency of the power transformer by changing the connection diagrams of the coils primary and secondary windings, depending on its load under the condition of unchanged ratio. The transformer in this case must have branches that correspond to the number of coils on the side of the high and low voltages, the cross section of the windings and the available capacity of the transformer is inversely proportional to the number of coils

Key words: power transformer, reduction of losses, experiment, simulation, partitioning windings

Tretyakov Evgeny Aleksandrovich
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor
Omsk state transport university
Omsk, Marksa ave., 35

Petrov Pavel Gennadevich
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor
Omsk state transport university
Omsk, Marksa ave., 35

Повышение экономичности и энергоэффективности передачи электро-энергии в тяговых и распределительных электрических сетях достигается в первую очередь снижением потерь электроэнергии. Значительную долю в структуре технических потерь распределительных сетей занимают потери холостого хода трансформаторов на уровне напряжения 6-10 кВ, достигающие 70 % технических потерь при малой нагрузке электрической сети.

В настоящее время проблема снижения потерь холостого хода силовых трансформаторов решается в основном путем отключения на подстанции одного из двух параллельно работающих трансформаторов при малых нагрузках,

замены трансформаторов на трансформаторы с меньшей установленной мощностью, соответствующей нагрузке, или с более высоким классом энергоэффективности [1]. Также потери холостого хода трансформаторов зависят от уровня напряжения на его первичной обмотке, но установленные средства регулирования не позволяют осуществлять «управление потерями».

Очевидно, что достижение экономического эффекта от представленных мер по снижению потерь в силовых трансформаторах может быть обеспечено на загруженных участках распределительной сети.

Задача оптимизации параметров режима по минимуму потерь мощности в электрической сети обычно решается применительно к нагрузочным потерям электроэнергии или мощности [2, 3]. Управление условно-постоянными потерями в электрических сетях не осуществляется. В условиях малых нагрузок особенно остро встает вопрос снижения потерь холостого хода силовых трансформаторов.

Для слабозагруженных сетей, а также при сезонно изменяющихся нагрузках предлагается снижать потери холостого хода силовых трансформаторов за счет изменения схемы соединения катушек первичной и вторичной обмоток при условии неизменного коэффициента трансформации. Обмотки трансформатора в этом случае должны иметь ответвления, соответствующие количеству катушек на стороне высокого и низкого напряжений, при этом сечение обмоток и располагаемая мощность трансформатора, обратно пропорциональны количеству катушек.

Похожий трансформатор с изменяемой располагаемой мощностью в зависимости от нагрузки предложен рядом авторов [4]. Недостатком данного трансформатора является невозможность снижения магнитных потерь (в стали) при регулировании мощности трансформатора в виду неизменности магнитного потока в магнитопроводе из-за параллельного включения катушек первичной обмотки.

Целью данного исследования является получение количественных оценок снижения потерь холостого хода силовых трансформаторов за счет изменения схемы соединения катушек первичной и вторичной обмоток при условии неизменного коэффициента трансформации. Основные задачи:

- проведение экспериментальных исследований и имитационного моделирования в Matlab Simulink однофазного трансформатора СОБС-2А с изменением схем соединения его обмоток предлагаемым способом, анализ полученных результатов;
- проведение имитационного моделирования в Matlab Simulink трехфазного силового трансформатора ТМ 400 10/0,4 кВ с изменением схем соединения его обмоток предлагаемым способом, анализ полученных результатов;
- разработка предложений по использованию полученных результатов.

Переключение катушек первичной и вторичной обмоток с параллельной на последовательную схему при малых нагрузках (рис. 1) приведет к снижению напряжения, приходящегося на один виток первичной обмотки, а, следовательно, к снижению индукции и магнитного потока вдвое, потерь холостого хода трансформатора примерно в три-четыре раза. Увеличение электрических

потерь относительно номинальных параметров при исходной схеме не произойдет, т.к. их увеличение по причине удвоения сопротивления последовательно включенных обмоток будет в большей степени компенсировано снижением располагаемой мощности трансформатора, т.е. снижением тока.

Рис. 1. Схема соединения обмоток трансформатора

Следует отметить, что для предотвращения возникновения уравнивающих токов, напряжение на ответвлениях вторичных обмоток не должно отличаться друг от друга более чем на 3% [6].

Для решения поставленных задач использовались методы натурального эксперимента и имитационного моделирования.

Программа экспериментальных исследований выполнялась с учетом положений ГОСТ 3484.1-88 [7] и включала в себя измерение потерь холостого хода, определение параметров Т – образной схемы замещения и прочих характеристик однофазного трансформатора СОБС-2А при различном соединении обмоток (рис. 1) [5]. Измерения проводились для режима холостого хода, короткого замыкания, режима с активно-индуктивной нагрузкой трансформатора.

Сигнальный однофазный броневого сухой (СОБС) трансформатор предназначен для питания светофоров и имеет следующие технические характеристики: мощность 135 В·А, номинальное напряжение первичной обмотки 220 В, номинальный ток первичной обмотки 0,7 А, номинальный ток вторичной обмотки 3,86 А, номинальное напряжение вторичных обмоток 28 В.

На основе полученных параметров схемы замещения однофазного трансформатора СОБС-2А выполнено его имитационное моделирование с учетом гистерезиса и насыщения сердечника (рис. 2 и 3).

Основными принятыми допущениями при моделировании являются: ступенчатое задание кривой насыщения магнитопровода трансформатора, задание параметров трансформатора (r_0 , x_0 , r_k , x_k) на основе Т-образной схемы замещения. Достоверность результатов подтверждается выполнением эксперимента по ГОСТ 3484.1-88 [7] и совпадением полученных значений с имитационным моделированием с точность около 5 – 10 %.

Рис. 2. Имитационная модель однофазного трансформатора СОБС-2А в Matlab Simulink

Рис. 3. Результаты эксперимента и имитационного моделирования трансформатора СОБС-2А

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- снижение потерь холостого хода P_{10} в схеме рис. 1, а относительно схемы рис. 1, б составляет около 4 раз;
- незначительно увеличение потерь холостого хода в схеме рис. 1, в относительно схемы рис. 1, б обусловлено увеличением электрических потерь в первичной обмотке от тока холостого хода;
- снижение потерь короткого замыкания P_{1k} в схеме рис. 1, а относительно схемы рис. 1, б, в составляет около 2 раз из-за уменьшения тока (располагаемой мощности) обмоток и удвоения их сопротивления.

С практической точки зрения трансформатор с изменением схем соединения его обмоток предлагаемым способом может найти применение в качестве силового трансформатора распределительных сетей напряжением 35, 10 (6) /

0,4 кВ с медленно изменяющимися нагрузками в широком диапазоне мощностей (дачные и коттеджные поселки, сезонные нагрузки промышленных предприятий). Использование предлагаемого секционирования обмоток трансформатора позволит повысить экономичность его работы за счет снижения потерь холостого хода при малых нагрузках.

Автоматическое управление изменением схем секционирования обмотками позволит расширить функциональные возможности автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) подстанций в задаче снижения потерь электроэнергии, что является целью исследований авторов.

Список используемых источников:

1. Савинцев Ю.М. Плановое развитие рынка силовых трансформаторов: утопия или необходимость? // *Электротехнический рынок*. 2011. № 1-2(37-38). С. 39-42.
2. *Электрические системы. Т.2. Электрические сети*. М.: Высшая школа, 1971. 440 с.
3. Третьяков Е.А. Управление качеством электрической энергии в распределительных сетях железных дорог: Монография. Омск: ОмГУПС, 2013. 196 с.
4. Соломин В.А., Жарков Ю.И., Костюков А.В. Патент RU 2364972. Регулируемый трансформатор. заявлен 18.12.2007, опубликован 20.08.2009.
5. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. М.: Энергоатомиздат, 1986. 528 с.
6. Вольдек А.И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1978. 832 с.
7. ГОСТ 3484.1-88. Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний.