

УДК 621.314.2:621.3.012.8

Пентегов И.В.¹, Письменный А.С.², Волков И.В.³, Безручко В.М.⁴,
Кривенко Г.С.⁵, Рымар С.В.⁶, Лавренюк А.В.⁷

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ФИЛЬТРА ТОКОВ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ В АДМИНИСТРАТИВНОМ ЗДАНИИ

Разработан и изготовлен опытный образец пассивного трехфазного автотрансформаторного фильтра токов нулевой последовательности (ФТНП) новой конструкции. В результате проведенных испытаний показано положительное влияние ФТНП на улучшение качества электроэнергии в сетях административных зданий, что является существенным достижением в рамках осуществления программы энергосбережения Украины.

Введение

Большая часть оборудования, применяемого в административных и офисных зданиях, спроектирована с использованием импульсных источников питания (ИИП) с бестрансформаторным входом, которые представляют собой нелинейные нагрузки (НН), генерирующие в сеть высшие гармоники тока, приводящие к искажению синусоидальной формы кривых тока и напряжения. Значительное количество нагрузок с ИИП ведет к негативным последствиям, описанным в работах [1, 2]. Для борьбы с гармониками широкое распространение получили автотрансформаторные ФТНП с соединением обмоток в зигзаг, см. работы [3-5].

В Институте электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины и Институте электродинамики НАН Украины с участием ООО «КП ЭНРИ» разработан и изготовлен опытный образец пассивного трехфазного автотрансформаторного ФТНП новой конструкции, отличающегося от известного ФТНП типа «зигзаг», тем, что обмотки фильтра расположены только на двух крайних стержнях трехстержневого магнитопровода, со свободным центральным стержнем [6, 7]. Это позволило уменьшить габариты, массу и стоимость активных материалов и существенно повысить технологичность сборки фильтра. К тому же, в связи с улучшенными условиями охлаждения обмоток, появилась возможность увеличить плотность тока в проводниках обмоток, что также дополнительно повлияло на снижение их массы и что особенно важно, позволило существенно уменьшить реактивную составляющую сопротивления ФТНП токам нулевой последовательности. Разработка нового ФТНП, улучшающего качество электроэнергии в сетях административных зданий, явилась существенным достижением в создании простого, экономичного и надежного оборудования по программе энергосбережения Украины.

Описание эксперимента

Испытания ФТНП новой конструкции проведены в административном здании ИЭС им. Е.О. Патона. Параметры распределительного трансформатора в здании таковы: мощность 1000 кВ·А, соединение обмоток Y/Y с заземленной нейтралью. ФТНП был спроектирован на ток нейтрали 180 А (масса около 100 кг). Во время экспериментов, распределительный трансформатор был загружен на 20 %, что позволило подключить к сети опытный образец фильтра (при большей нагрузке сети потребовался бы более мощный ФТНП или несколько таких).

¹ Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, д-р техн. наук, проф.

² Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, д-р техн. наук, старший научн. сотр.

³ Институт электродинамики НАН Украины, д-р техн. наук, проф.

⁴ Черниговский государственный технологический университет, магистр, аспирант

⁵ Коллективное предприятие Энерго Наладка Ремонт и Измерения, инженер

⁶ Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, канд. техн. наук, старший научн. сотр.

⁷ Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, канд. техн. наук, научн. сотр.

ФТНП подключался к сети вблизи трансформатора. Схема ФТНП приведена на рис. 1, а. Векторная диаграмма напряжений на обмотках ФТНП представлена на рис. 1, б. На рис. 1 даны обозначения: I_0 – токи в обмотках; $3I_0$ – ток в нейтрали ФТНП; U_ϕ – напряжение фазы.

Обмотки 1.1 и 1.2 (количество витков w_1 и w_2), а также 2.1 и 2.2 (количество витков w_3 и w_4) на каждом из стержней магнитопровода, см. рис. 1, а, намотаны бифилярно для уменьшения сопротивления токам нулевой последовательности. ФТНП такой конструкции позволяет подавлять не только токи нулевой последовательности, вызванные асимметрией нагрузок в фазах сети, но и все гармоники кратные трем, обусловленные нелинейностью нагрузок.

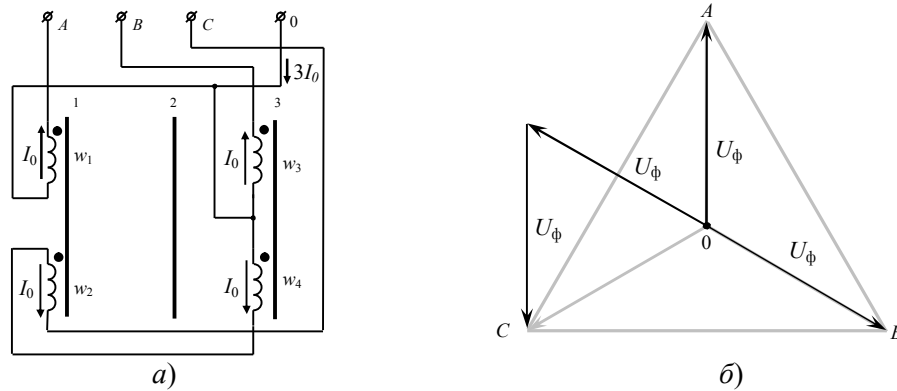


Рис. 1 – Принципиальная схема соединения обмоток ФТНП (а); векторная диаграмма напряжений на обмотках (б)

Оценка влияния фильтра на ток нейтрали распределительного трансформатора

На рис. 2, а представлены временные диаграммы тока нейтрали распределительного трансформатора при наличии в сети ФТНП и при его отсутствии. На рис. 2, б приведен гармонический состав токов. Действующее значение тока в нейтрали до включения ФТНП составляло 92,0 А, после включения – 47,9 А. Таким образом, ФТНП позволил уменьшить ток нейтрали трансформатора практически в два раза.

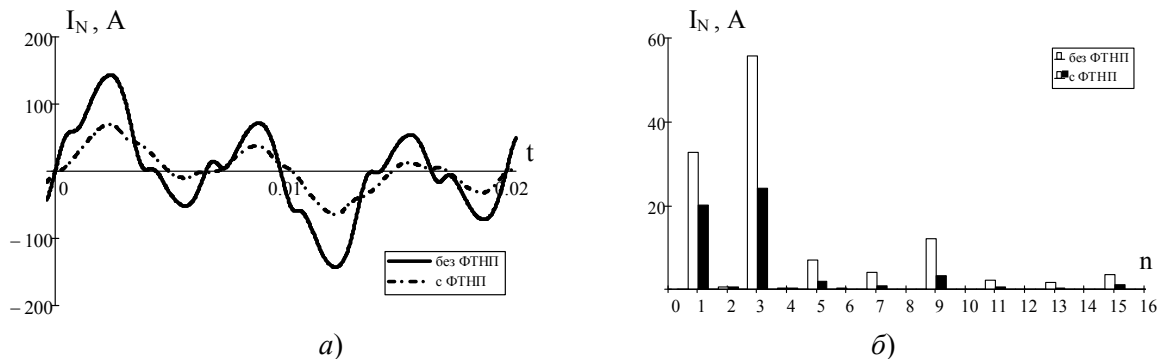


Рис. 2 – Временные диаграммы (а); гармонический состав тока нейтрали распределительного трансформатора I_N с фильтром и без фильтра (б)

Изменение параметров напряжения в сети

Изменения параметров напряжения в сети при включении фильтра представлены на рис. 3 и 4. Из рис. 4 видно, что подавление токов нулевой последовательности приводит к значительному уменьшению коэффициента несинусоидальности кривой напряжения. Значение коэффициента гармоник напряжения THD_U уменьшилось примерно в 1,7 раза.

Из рис. 3-4 видно, что ФТНП хорошо выполняет симметрирование напряжения в фазах.

Для достижения большей степени фильтрации токов нулевой последовательности необходимо использовать более мощный ФТНП или несколько таких. Данный ФТНП был рассчитан на использование в сетях с менее мощным распределительным трансформатором – 400 кВА, имеющим большее сопротивление токам нулевой последовательности. С таким трансформатором применение разработанного ФТНП будет гораздо эффективнее.

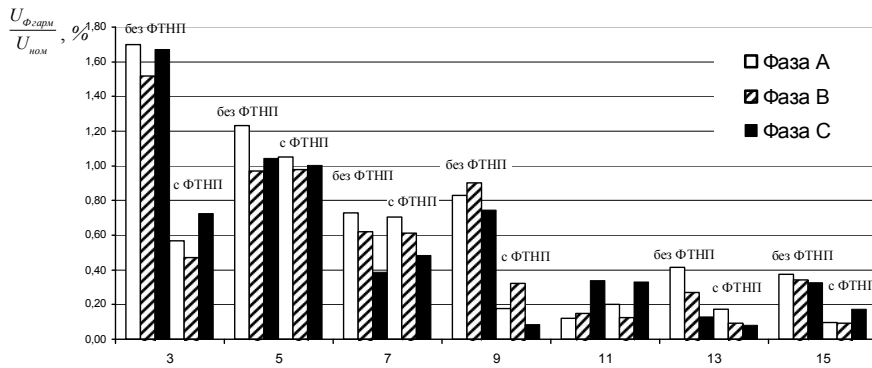


Рис. 3 – Изменение гармонического состава напряжения в фазах; в процентах от номинального напряжения 220 В

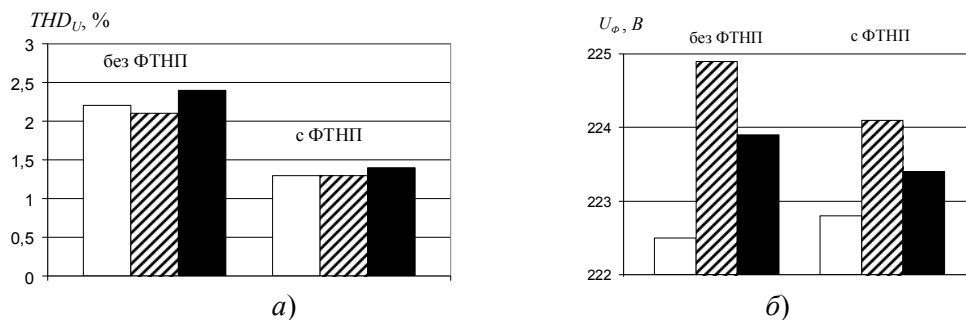


Рис. 4 – Изменение характеристик напряжения THD_U (а); действующего значения напряжения в фазах (б)

Выводы

В результате проведенных испытаний показано положительное влияние применения разработанного ФТНП нового типа на улучшение качества электроэнергии в сетях административных зданий, что является существенным достижением в разработке простого, экономичного и надежного оборудования.

Перечень ссылок

1. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ / О.А. Григорьев, В.С. Петухов, В.А. Соколов, И.А. Красилов // Новости электротехники.– 2002. – № 6. – 2003. – №1.
2. Шидловский А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов.– К.: Наук. думка, 1985.– 268 с.
3. Шидловский А.К. Стабилизация параметров электрической энергии в распределительных сетях / А.К. Шидловский, В.А. Новский, Н.Н. Капличный.– К.: Наук. думка, 1989.– 312 с.
4. Paice D.A. Power Electronic Converter Harmonics. Multipulse methods for clean power / D.A. Paice.– NY: IEEE PRESS, 1995.– 202 p.
5. Patent US 5,406,437, Int. Cl. H02H 7/08; H02M 7/5387. Zero phase sequence current filter with adjustable impedance / Michael I. Levin (Canada (CA)).– Appl. № 227,408; Filed. 14.04.94; Date of Patent 11.04.95.– 7 p.
6. Заявка на патент. 2007 01489 Украина. Трифазный фiльтр гармонiк струмiв нульової послiдовностi автотрансформаторного типу / I.В. Пентегов, I.В. Волков, С.В. Римар, В.М. Безручко, Г.С. Кривенко, Б.Б. Ларченко (Україна (UA)), М. Левiн (Канада (CA)); ЧДТУ (UA).– № 13545; Заявл. 20.02.2006.
7. Заявка на патент. 2007 01508 Украина. Трифазный фiльтр гармонiк струмiв нульової послiдовностi автотрансформаторного типу / I.В. Пентегов, I.В. Волков, С.В. Римар, В.М. Безручко, Г.С. Кривенко, Б.Б. Ларченко (Україна (UA)), М. Левiн (Канада (CA)); ЧДТУ (UA).– № 13546; Заявл. 20.02.2006.

Рецензент: И.В. Жежеленко
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 22.04.2008