

УДК 621.316.1

**АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ ПОДСТАНЦИЕЙ С СХЕМОЙ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ  $Y/Y_{к.0}$**   
**ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF TWO-TRANSFORMER CONSUMER SUBSTATION WITH THE SCHEME OF CONNECTION OF WINDINGS OF TRANSFORMERS  $Y/Y_{к.0}$**

О. Д. Готенко, Т. А. Санец

Научный руководитель – В. П. Счастный, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет

Г. Минск, Республика Беларусь

O. D. Gotenko, T. A. Sanets

Supervisor – Schastny V, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассмотрены вопросы управления оборудованием двухтрансформаторной подстанцией, возможность использовать трансформатор с компенсирующей обмоткой для поддержания баланса реактивной мощности в электрических сетях и требуемых уровней напряжения.*

***Annotation:** the article deals with the issues of equipment control by a two-transformer substation, the possibility of using a transformer with a compensating winding to maintain the balance of reactive power in electrical networks and the required voltage levels.*

***Ключевые слова:** трансформаторная подстанция, адаптивная система, трансформатор с компенсирующей обмоткой, фильтрокомпенсирующие устройство.*

***Keywords:** transformer substation, adaptive system, transformer with compensating winding, filter-compensating device.*

### **Введение**

Современные промышленные предприятия используют высокотехнологичное оборудование на базе цифровых технологий, регулируемого электропривода с управляемыми тиристорными устройствами, источников бесперебойного питания электроприемников, современных аппаратов электросварки и дуговых электрических печей, установок индукционного нагрева, газоразрядных источников излучения, приводящих к изменению характера и баланса нагрузок в электрических сетях. Увеличивается доля нагрузки с нелинейными характеристиками, уменьшается пропускная способность электрических сетей, все это ведет к ухудшению качества электроэнергии, надежности электроснабжения и дополнительным потерям.

Для обеспечения нормальных условий работы электроприемников, повышения надежности и экономичности системы электроснабжения предприятия необходимо обеспечить потребительские трансформаторные подстанции адаптивной системой управления оборудованием. Эта система должна иметь воз-

возможность регулирования напряжения, уровня реактивной мощности и высших гармоник тока и напряжения, автоматическое повторное включение, оперативное переключение ввода-вывода трансформаторов на параллельную работу, включение и отключение коммутационных аппаратов отходящих линий низкого напряжения, блокировки от обратной трансформации, обеспечивать взаимосвязь регулирования различных параметров и релейной защиты. Адаптивная система управления оборудованием трансформаторной подстанции должна иметь управляющую связь с более высоким уровнем энергосистемы.

### **Основная часть**

Набор оборудования, коммутационных аппаратов и функциональных возможностей адаптивной системы должен быть экономически обоснован.

При выборе архитектуры построения адаптивной структуры управления оборудованием конкретной потребительской трансформаторной подстанцией необходимо учитывать наличие на предприятии дежурного персонала (диспетчерской), существующую степень автоматизации, аналоговых или цифровых каналов связи, возможность размещения оборудования в распределительном пункте подстанции с необходимыми температурными условиями, финансовые возможности предприятия др.

Наиболее дорогостоящая архитектура, представляющая реализацию функции измерения, управления, защита, передачи данных и т. д. для трансформаторной подстанции с использованием многочисленных мультиметров с программным обеспечением и мощные серверные платформы, расположенные в сервисном помещении и способные обрабатывать большое количество данных и решать множество алгоритмических задач в режиме реального времени. Для потребительских подстанций это недоступно. Можно расширить возможности имеющихся систем управления и защиты. В этом случае использовать устройства, отвечающие за отдельную функцию. Например, на каждый фидер установить цифровой терминал с контроллером присоединения, заменить блок аналогового ввода и дискретного ввода-вывода на цифровой интерфейс, добавить аналоговые и дискретные сопряжители, сетевые коммутаторы и т. д. Разработанных устройств для достижения этой архитектуры с использованием поддержки протоколов HART, Modbus и другие. Однако, такой подход тоже весьма затратный для потребительской подстанции. Наиболее приемлемый, на наш взгляд, использование основного регулятора (сервера) на базе сервисных платформ небольшой производительности, позволяющих выполнять наиболее необходимые поставленные задачи для потребительской трансформаторной подстанции.

На рис. 1 представлена схема адаптивной системы управления потребительской двухтрансформаторной подстанцией, с использованием трансформаторов с схемой соединения обмоток звезда – звезда ноль с общестержневой компенсационной обмоткой ( $Y/Y_{к.о}$ ).

Подстанция содержит набор силового оборудования, коммутационных аппаратов, датчиков тока и напряжения, расположенных в распределительных устройствах высокого и низкого напряжения.

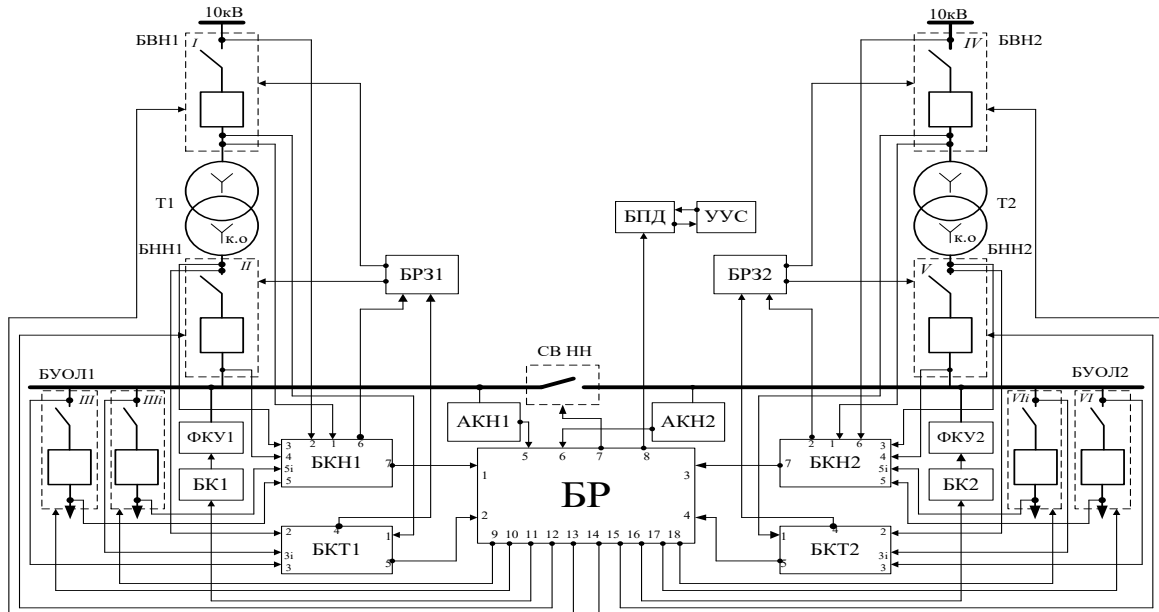


Рисунок 1 – Схема адаптивной системы управления потребительской двухтрансформаторной подстанцией:

БВН1, БВН2, БНН1, БНН2 – управляемый блок силового оборудования высокого и низкого напряжения; БКН1, БКН2 – блок контроля напряжений; БКТ1, БКТ2 – блок контроля токов; ФКУ1, ФКУ2 – фильтро-компенсирующее устройство; БК1, БК2 – блок коммутации; АКН1, АКН2 – анализатор качества напряжения; БР – блок регулятор; СВНН – секционный выключатель низкой стороны; Т1, Т2 – силовой трансформатор; БРЗ1, БРЗ2 – блок релейной защиты; БУОЛ1, БУОЛ2 – управляемый блок силового оборудования отходящих линий; БПД – блок передачи данных; УУС – удаленная управляющая связь с диспетчерской и более высоким уровнем энергосистемы

Блоки силового оборудования отходящих линий снабжены коммутационными аппаратами, датчиками тока и напряжения, обеспечивающими возможность контроля состояния аппаратов и формирования управляющих сигналов для дистанционного управления с блока регулятора. Принцип работы регулятора основан на анализе поступающих сигналов с блоков контроля токов и напряжений, анализаторов качества напряжений, формирования управляющих сигналов с помощью программного обеспечения и заданных режимов [1]. Это позволяет управлять коммутационными аппаратами, осуществлять контроль их включения и отключения, выбирать оптимальный уровень компенсации реактивной мощности, высших гармоник тока и напряжения, не выходя за допустимые пределы уровня напряжения. Количество ступеней регулирования установки компенсации реактивной мощности (КРМ) выбирается после предварительного обследования объекта и установки надбавки с помощью переключателя без возбуждения на трансформаторах с учетом требований к трансформаторам при параллельной работе [2]. В представленной схеме не используются КРМ с блоками статических конденсаторов, так как они очень чувствительны к перегрузкам по току, которые зависят от несинусоидальности напряжения. Для подавления высших гармоник требуются силовые фильтры, представляющие собой последовательно включенные емкости и индуктивности с частотой настройки (резонанса) на конкретную гармонику се-

ти. Поэтому, целесообразно использовать для данной схемы управляемую компенсацию реактивной мощности (УКРМ) с пассивными расстроенными фильтрами высших гармоник. Работа УКРМ основана на анализе токов, напряжений, реактивной мощности, токов высших гармоник при заданной последовательности подключения отдельных ступеней. В программе формирования управляющих сигналов взят порядок возрастания номера гармоник. Токораспределение высших гармоник производится в соответствии с алгоритмом переключения ступеней от низшего уровня к высшему и наоборот, с контролем тока блока статических конденсаторов, включенных для компенсации реактивной мощности. Использование трансформаторов с схемой соединения обмоток  $Y/Y_{K.O}$  (рис. 2) позволяет исключить ступени индуктивностей с частотой резонанса на 3 и кратные трем высших гармоник, так как каждый трансформатор имеет компенсирующую обмотку, находящуюся на трех стержнях магнитопровода поверх всех обмоток, намотанную встречно вторичной обмотке и имеющей число витков, равное  $1/3$  числа витков одной фазы этой обмотки. Третья и кратные трем высшие гармоники имеют угол сдвига фаз равным нулю, они суммируются в общих нулевых точках, к которым одним концом присоединена компенсирующая обмотка, а другой присоединяется к нагрузке. Проходя через трехфазную нагрузку в общей точке эти гармоники образуют утроенный ток, который через общую нулевую точку проходит по компенсирующей обмотке и создает магнитный поток, который направлен встречно потоку, созданному этими же гармониками во вторичной обмотке и компенсирует его [3]. Трансформатор с схемой соединения обмоток  $Y/Y_{K.O}$  имеет нулевую группу соединения обмоток и может работать на параллельную работу с трансформаторами  $Y/Y_H$ . Габариты последнего позволяют переоборудовать его в  $Y/Y_{K.O}$  путем намотки общестержневой компенсирующей обмотки. Трансформатор способен поддерживать симметрию напряжения. Это важно при наличии многочисленных однофазных нагрузок на промышленном предприятии. Способность адаптивной схемы управления трансформаторной подстанции поддерживать в автоматическом режиме, а также управляться удаленно в заданных допустимых пределах уровней напряжения, реактивной мощности, высших гармоник благоприятно сказывается на работе релейной защиты, отсутствии отказов и ложных срабатываний.

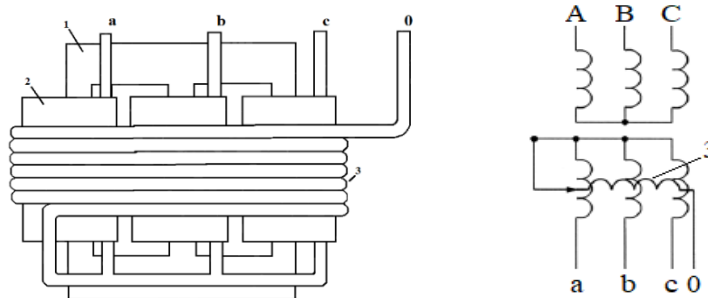


Рисунок 2 – Общий вид и схема соединения обмоток трансформатора  $Y/Y_{K.O}$ :  
 1 – магнитопровод; 2 – обмотки фазы высшего и низшего напряжения; 3 – общестержневая компенсационная обмотка

### **Заключение**

Использование трансформаторов с компенсирующей обмоткой в предложенном устройстве адаптивного управления потребительской двухтрансформаторной подстанции позволяет исключить в устройстве УКРМ ступени индуктивностей с частотой резонанса на третью и кратные трем высших гармоник, обеспечить надежную работу системы управления, повысить качество электроэнергии, пропускную способность сетей, уменьшить потери.

### **Литература**

1. Счастный, В. П. Устройство управления оборудованием двухтрансформаторной подстанции при параллельной работе трансформаторов / В. П. Счастный, А. И. Зеленкевич // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 55-58.
2. Счастный, В. П. Особенности выбора установок компенсации реактивной мощности/ В. П. Счастный, А. И. Зеленкевич// Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф., в 2 ч. – Минск: БГАТУ, 2019. – Ч. 1. – С. 393-394.
3. Патент полезной модели № 4534 Устройство управления техническими средствами трансформаторной подстанции / В. П. Счастный, А. И. Зеленкевич, А. И. Жуковский; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» – заявл. 2007.12.29; опубл. 15.04.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008.