

УДК 621.316

ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА В АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ ПОДСТАНЦИИ
FILTER-COMPENSATING DEVICES IN THE ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF A TWO-TRANSFORMER CONSUMER SUBSTATION

Н.П. Ваник

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

Supervisor – V. Schasny, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы управления оборудованием двухтрансформаторной подстанцией, возможность 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 maintaining the balance of reactive power in electrical networks and the required voltage levels.*

***Ключевые слова:** трансформаторная подстанция, адаптивная система, компенсация реактивной мощности, фильтрокомпенсирующие устройство.*

***Keywords:** transformer substation, adaptive system, reactive power compensation, filter-compensating device.*

Введение

Ежегодно увеличивается доля высокотехнологичного оборудования на промышленных предприятиях с использованием регулируемого электропривода с управляемыми тиристорными устройствами, источников бесперебойного питания электроприемников, современных аппаратов электросварки и дуговых электрических печей, установок индукционного нагрева, газоразрядных источников излучения и другого оборудования с нелинейными вольт-амперными характеристиками. Все это приводит к изменению характера и баланса нагрузок в электрических сетях, к ухудшению качества электроэнергии, уменьшению пропускной способности электрических сетей, снижению надежности электроснабжения, дополнительным потерям.

Обеспечения нормальных условий работы электроприемников, повышения надежности и экономичности системы электроснабжения предприятия позволяет использование на потребительских трансформаторных подстанциях адаптивной системы управления оборудованием. Система управления позволяет регулирования напряжения, уровни 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.

На рисунке 1 представлена предлагаемая схема адаптивной системы управления потребительской двухтрансформаторной подстанцией.

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

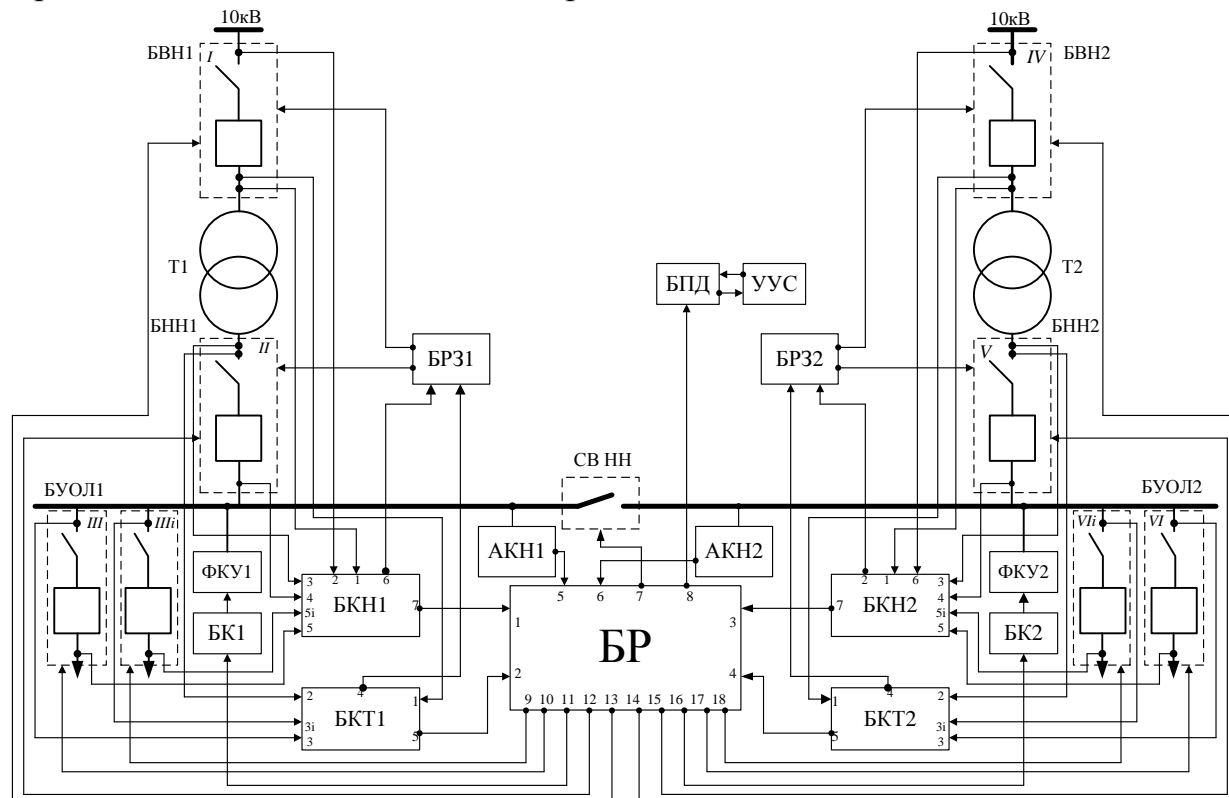


Рисунок 1 Схема адаптивной системы управления потребительской двухтрансформаторной подстанции

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 регулятора; СВНН – секционный выключатель низкой стороны; Т1, Т2 – силовой трансформатор; БР31, БР32 – 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.

Основная часть

Использование установок компенсации реактивной мощности (УКРМ) с подключением их к шинам низшего напряжения подстанций требует учета ограничений как при выборе параметров УКРМ, так и при определении режимов работы устройств регулирования напряжения.

Потеря напряжения в сети с КРМ, принятая равной продольной составляющей падения напряжения, при пренебрежении поперечной составляющей определяется выражением

$$\Delta U = \frac{PR + (Q - Q_K)X}{U}, \quad (1)$$

где P , Q – потоки активной и реактивной мощности в сети; R , X – активное и реактивное сопротивления сети; Q_K – мощность УКРМ; U – напряжение сети.

Влияние КРМ на величину потери напряжения в сети и отклонение напряжения у потребителя удобно рассматривать, оперируя показателем степени компенсации, определяемой соотношением $C = Q_K/Q$. Введя в выражение (1) степень компенсации, получим

$$\Delta U = \frac{PR + QX(1-C)}{U}. \quad (2)$$

С помощью выражения (2) можно определить фактическую потерю напряжения в любом элементе сети при любом значении степени компенсации реактивной мощности.

Действующий стандарт [2] устанавливает нормы качества электрической энергии в точках ее передачи пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения, т.е. на границах балансовой принадлежности электрических сетей.

Система электроснабжения крупного промышленного предприятия включает одну либо несколько главных понизительных подстанций напряжением 110/10(6) кВ, 35/10(6) кВ, распределительные пункты, подстанции и линии электропередачи напряжением 10, 6 кВ, а также линии напряжением до 1 кВ. Отклонение напряжения на стороне низшего напряжения подстанции $\delta U_{\text{нн}}$ равно сумме отклонения напряжения на стороне высшего напряжения $\delta U_{\text{вн}}$ и надбавки трансформатора $\delta U_{\text{нб}}$ за вычетом потери напряжения в трансформаторе $\Delta U_{\text{т}}$. При подключении УКРМ к шинам низшего напряжения подстанции отклонение напряжения на стороне низшего напряжения равно

$$\delta U_{\text{нн}} = \delta U_{\text{вн}} + \delta U_{\text{нб}} - \Delta U_{\text{т}} = \delta U_{\text{вн}} + \delta U_{\text{нб}} - \frac{PR_{\text{т}} + QX_{\text{т}}(1-C)}{U}. \quad (3)$$

В отличие от главных понизительных подстанций, потребительские подстанции промышленных предприятий напряжением 10(6)/0,4 кВ не имеют устройств РПН. Такие подстанции позволяют регулировать напряжение в узком диапазоне посредством переключения без возбуждения (ПБВ). При установке

УКРМ на стороне низшего напряжения цеховых подстанций либо на промежуточных распределительных пунктах напряжением 0,4 кВ важно обеспечить требуемые уровни напряжения у потребителей. Поэтому при выборе мощности УКРМ следует производить расчет напряжений в электрической сети и проверку отклонений напряжения у потребителей в различных режимах нагрузки [3].

Отклонение напряжения у потребителя δU_{Π} , получающего питание по сети 0,4 кВ, можно выразить через отклонение напряжения на шинах низшего напряжения главной понизительной подстанции $\delta U_{\text{НН}}$, надбавку напряжения трансформатора цеховой ТП 10(6)/0,4 кВ $\delta U_{\text{НБ}}$ и суммарную потерю напряжения в электрической сети напряжением 10(6) и 0,4 кВ ΔU

$$\delta U_{\Pi} = \delta U_{\text{НН}} + \delta U_{\text{НБ}} - \Delta U. \quad (4)$$

Потеря напряжения в электрической сети включает потери в основных ее элементах (линии высокого напряжения $\Delta U_{\text{ВЛ}}$, трансформаторе $\Delta U_{\text{Т}}$, линии низкого напряжения $\Delta U_{\text{НЛ}}$) и определяется выражением

$$\Delta U = \Delta U_{\text{ВЛ}} + \Delta U_{\text{Т}} + \Delta U_{\text{НЛ}} = \frac{P_{\text{ВЛ}}R_{\text{ВЛ}} + Q_{\text{ВЛ}}X_{\text{ВЛ}}}{U_{\text{ВЛ}}} + \frac{P_{\text{Т}}R_{\text{Т}} + Q_{\text{Т}}X_{\text{Т}}}{U_{\text{Т}}} + \frac{P_{\text{НЛ}}R_{\text{НЛ}} + Q_{\text{НЛ}}X_{\text{НЛ}}}{U_{\text{НЛ}}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{ВЛ}}$, $Q_{\text{ВЛ}}$, $P_{\text{Т}}$, $Q_{\text{Т}}$, $P_{\text{НЛ}}$, $Q_{\text{НЛ}}$ – потоки активной и реактивной мощности в линии высокого напряжения, трансформаторе, линии низкого напряжения соответственно; $R_{\text{ВЛ}}$, $X_{\text{ВЛ}}$, $R_{\text{Т}}$, $X_{\text{Т}}$, $R_{\text{НЛ}}$, $X_{\text{НЛ}}$ – активное и реактивное сопротивления линии высокого напряжения, трансформатора, линии низкого напряжения соответственно; $U_{\text{ВЛ}}$, $U_{\text{Т}}$, $U_{\text{НЛ}}$ – напряжение линии высокого напряжения, обмотки высшего напряжения трансформатора, линии низкого напряжения соответственно. При подключении УКРМ к шинам низшего напряжения подстанции уменьшаются потери напряжения в линии высокого напряжения и трансформаторе. Суммарная потеря напряжения в электрической сети

$$\Delta U = \frac{P_{\text{ВЛ}}R_{\text{ВЛ}} + (Q_{\text{ВЛ}} - Q_{\text{К}})X_{\text{ВЛ}}}{U_{\text{ВЛ}}} + \frac{P_{\text{Т}}R_{\text{Т}} + (Q_{\text{Т}} - Q_{\text{К}})X_{\text{Т}}}{U_{\text{Т}}} + \frac{P_{\text{НЛ}}R_{\text{НЛ}} + Q_{\text{НЛ}}X_{\text{НЛ}}}{U_{\text{НЛ}}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{К}}$ – мощность УКРМ.

С учетом степени компенсации и коэффициента мощности нагрузки выражения для определения потери напряжения в сети и отклонения напряжения у потребителя можно представить в виде:

$$\Delta U = \frac{PR}{U^2} [1 + \text{tg}\varphi(1 - C)]; \quad (7)$$

$$\delta U_{\Pi} = \delta U_{\text{НН}} + \delta U_{\text{НБ}} - \frac{PR}{U^2} [1 + \text{tg}\varphi^2(1 - C)]. \quad (8)$$

В представленной схеме не используются УКРМ 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 сети [4]. Поэтому, целесообразно использовать фильтро-компенсирующие устройства (ФКУ). Работа ФКУ в представленной схеме 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.

Управление потребительской двухтрансформаторной подстанцией может осуществляться и удаленно. Все параметры работы подстанции архивируются и доступны как в текущем времени, так и за определенный период. Адаптивная система управления трансформаторной подстанции поддерживает в автоматическом режиме в заданных допустимых пределах уровни напряжения, реактивную мощность, уровни высших гармоник.

Заключение

Использование предложенного устройства адаптивного управления потребительской двухтрансформаторной подстанции позволяет повысить качество электроэнергии, пропускную способность сетей и их надежность, 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. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 32144–2013. Введ. Респ. Беларусь 01.04.2016. Минск: БелГИСС, 2016.
3. Счастный В.П. Взаимовлияние режимов регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий / В.П.Счастный, А.И.Жуковский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, №3. С 239 – 24.
4. Прокопчик, В.В. Повышение качества электроснабжения и эффективности работы электрооборудования предприятий с непрерывными технологическими процессами: Монография / Под ред. д.т.н., проф. Б.И. Кулрина. – Гомель: Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», 2002 – 283 с., ил.

УДК 621.311

**ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИК С ФУНКЦИЯМИ АНАЛИЗАТОРА ПКЭ
ELECTRIC METER WITH PQI ANALYZER FUNCTIONS**

А.А. Шинкович

Научный руководитель – В.Б. Козловская, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A .Shinkovich

Supervisor – V. Kozlovskaja, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье описаны решения контроля качества электроэнергии и коммерческого учета электроэнергии в создании единого прибора.

Annotation: The article describes a solution to control the quality of electricity and commercial metering of electricity in the creation of a single device.

Ключевые слова: качество электроэнергии, прибор учета, АСКУЭ.

Key words: power quality, metering device, ASCAPC.

Введение

На сегодняшний день ПКЭ играют большую роль в работе электроприемников. В связи с большим диапазоном выполняемых операций, электроприемникам нужна точность необходимых действий для выполнения той либо иной операции, а, следовательно, стандартные изначальные параметры электроэнергии.

Для контроля качества электроэнергии потребителю проще всего организовать контроль на балансовой принадлежности электрических сетей, а именно в месте установки прибора учета электрической энергии. Поэтому остро стоит вопрос организации комплексного учета и контроля качества электроэнергии.

Основная часть

Качество электроэнергии оценивается рядом показателей [1], в т.ч. показателями, связанными с колебаниями, несимметрией и несинусоидальностью напряжения. На сегодняшний день установлен ГОСТ 32144–2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». В период высокого уровня технологического прогресса и развития IT-технологий не составляет большого труда в совмещении прибора, анализирующего качество электроэнергии, и прибора коммерческого учета электроэнергии. Прибор учета, совмещающий в себе обе функции, является практичным и полезным в организации электроснабжения.

В период использования данного прибора можно обезопасить свое оборудование и технологический процесс путем программирования электросчетчика на отключение либо подачу сигнала об изменении показателей качества электроэнергии. Удобство заключается также в возможности дистанционного управления путем включения в систему АСКУЭ, которая позволит управлять и обрабатывать данные не теряя времени на подключение

дополнительных приборов, чтобы узнать, в чем причина сбоя оборудования или несоответствия выходных параметров продукта.

Заключение

В настоящее время разработаны приборы учета и контроля качества энергии с интеграцией в существующие и вновь создаваемые объекты. Данный прибор представляет собой высокочастотное измерительное устройство, основанное на базе современных цифровых технологий. Это позволяет и персоналу энергосистемы, и самому потребителю владеть оперативной информацией о качестве работы сети и быстро и правильно принимать меры по улучшению качества электроэнергии. При использовании этих приборов по всем объектам, мы выведем качество электроэнергии на новый уровень, что позволит экономить большие деньги на ремонте оборудования и уменьшении брака выпускаемой продукции.

Литература

1. ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
2. Безносова М., Новое в построении АСКУЭ с мониторингом контроля качества электрической энергии – газета «Энергетика Беларуси», 2019.
3. ООО ФЗИП "Энергомера" – Фаниполь [Электронный ресурс]/ ООО ФЗИП "Энергомера" – Фаниполь. – Режим доступа: http://www.energomera.by/documentations/ce318/ce318by_re.pdf /. – Дата доступа: 18.10.2021.