

УДК 004.72

А.Б. Лоскутов, А.И Чивенков, Е.Н. Соснина, А.А. Лоскутов, Д.В. Зырин

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрен проект цифровой трансформаторной подстанции (ЦТП) напряжением 10/0,4 кВ с активно-адаптивной системой управления и автоматическим плавным регулированием напряжения. Приведены результаты исследований параллельной работы регулируемого и нерегулируемого трансформаторов. Разработаны основная конструкторская документация на устройства тиристорного регулятора, технологическая система управления регулятором, активно-адаптивная система управления и мониторинга ЦТП, электротехнические и компоновочные решения. Предложен вариант реализации проекта на территории НГТУ.

Ключевые слова: цифровая трансформаторная подстанция, активно-адаптивная система управления, трансформаторно-тиристорный регулятор напряжения и мощности с ключами однонаправленного тока, технологическая система управления, параллельная работа трансформаторов, PLC модем, интерфейс, интеллектуальные сети.

В настоящее время регулирование напряжения трансформаторов в распределительных сетях 6-10 кВ осуществляется переключением отпаяк ПБВ с помощью контактных схем ПБВ. Они недороги, но имеют существенные недостатки:

- организационные сложности переключений, используются только сезонные переключения;
- отсутствие динамического регулирования напряжения и др.

Сравнивая стандартный трансформатор с ПБВ с трансформатором, оснащенным тиристорным регулятором напряжения и мощности с ключами однонаправленного тока (ТТРН ОТ), можно сделать вывод о существенном расширении функций регулирования.

Таблица 1

	Стандартный тр-р с ПБВ	ТТРН ОТ
Устройства регулирования напряжения	ПБВ	РПН
Способ регулирования напряжения	Ступенчатое	Ступенчатое и плавное
Возможность автоматизации регулирования	Невозможно	Возможно
Возможность симметрирования напряжений и токов в фазах	Невозможно	Возможно

Новое направление развития электрических сетей – интеллектуальные сети или Smart Grid – направлено на модернизацию не только сетей, но и всех ее элементов.

Концепция Smart Grid предусматривает следующие основные задачи:

- обеспечение и повышение надежности распределительной сети;
- автоматическое управление элементами сети по адаптивным алгоритмам;
- управление режимами сети.

Единая технологическая и информационная платформа позволяет реализовать такие функции элементов, которые были недоступны для систем автоматического управления (например, переключение отпаяк трансформаторов ПБВ).

Ключевым элементом цифровой трансформаторной подстанции является трансфор-

матор с возможностью регулирования напряжения. В статье рассматривается интеллектуальная цифровая трансформаторная подстанция (ЦТП) 10/0,4 кВ, в состав которой входит альтернативное устройство регулирования: трансформаторно-тиристорный регулятор напряжения и мощности с ключами однонаправленного тока (ТТРНМ ОТ) [1].

Трансформаторно-тиристорный регулятор напряжения и мощности представляет новое поколение установок с расщепленными обмотками высокого напряжения трансформаторов. Применение тиристорных контакторов в цепях расщепленных обмоток трансформаторов (рис.1) позволило ограничить величины токовых перегрузок в коммутационных режимах и исключить возможность возникновения контуров короткого замыкания контактора, тем самым обеспечивая безаварийную работу ТТРНМ ОТ [1, 2]. Выпускаемые промышленностью типовые тиристоры, применённые в контакторе с входным рабочим напряжением 10 кВ, позволяют осуществлять работу установки даже при внешних коротких замыканиях на стороне напряжения 0,4 кВ.

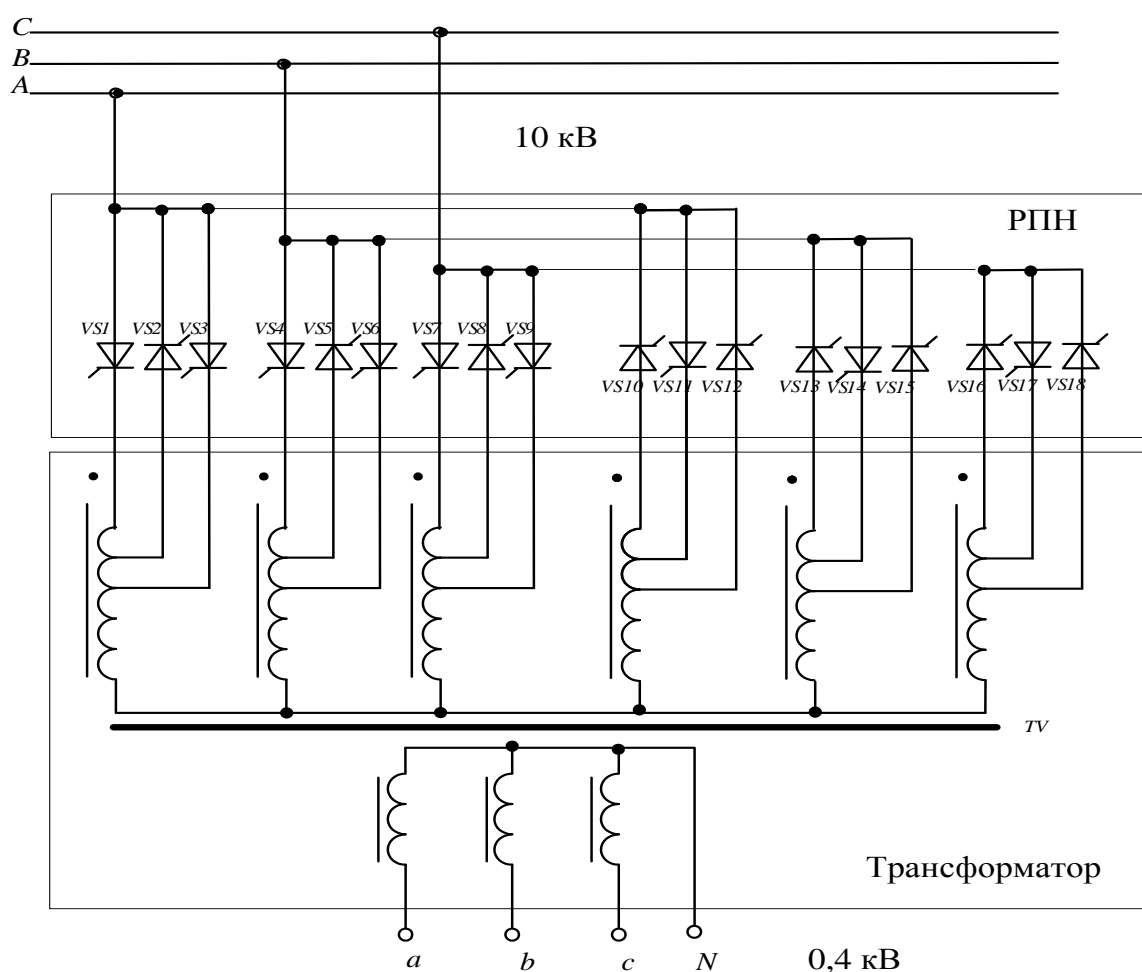


Рис. 1. Принципиальная схема ТТРНМ ОТ

Применение ТТРНМ ОТ в системах электроснабжения позволит осуществлять дискретное и плавное пофазное регулирование переменного выходного напряжения при параллельной работе с другим трансформатором или генерирующей установкой напряжением 0,4 кВ. В системе управления тиристорными ключами использован алгоритм двухзонного последовательного управления [3] на интервалах положительной и отрицательной мгновенных мощностей (рис. 2). При этом обеспечивается возможность регулирования перераспределения как активных, так и реактивных составляющих токов параллельно работающих установок. Что при сохранении величины полной передаваемой мощности удаленных транс-

форматоров позволит перераспределять реактивную составляющую мощности, а следовательно, повысить напряжение потребителей перегруженных линий электропередачи, не увеличивая мощности установленного оборудования.

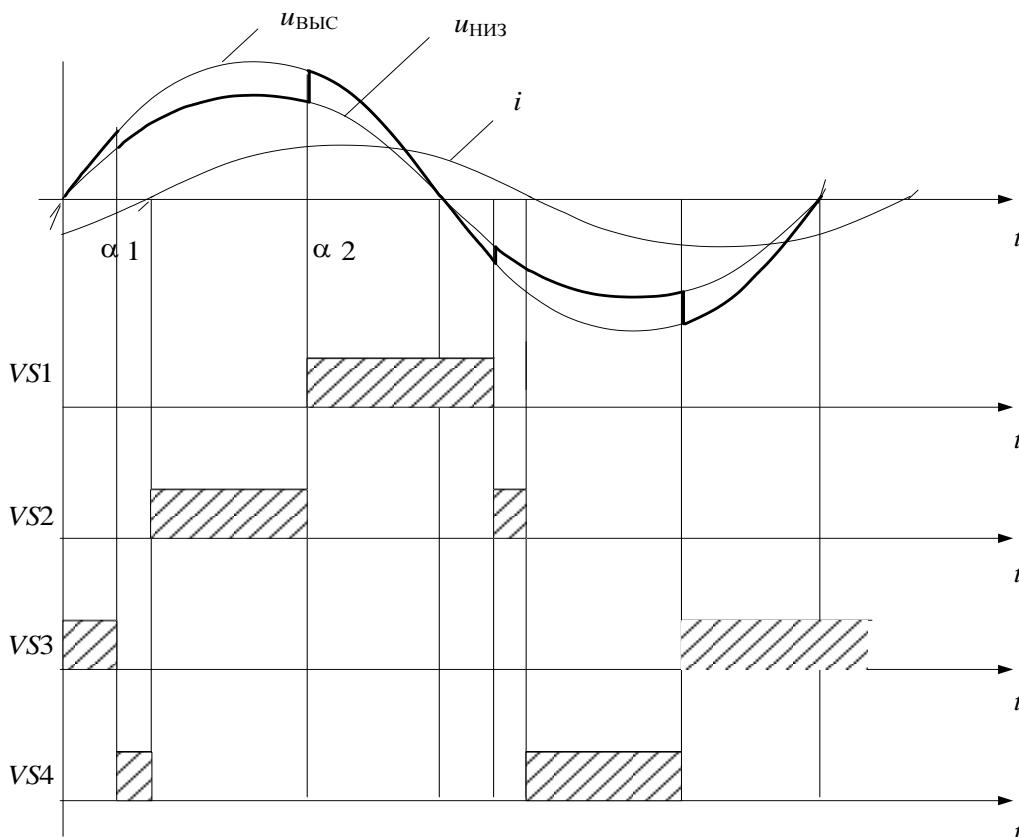


Рис. 2. Интервалы электропроводности вентилях при импульсно-фазовом управлении ТТРМ ОТ

Таблица 2

Режим	Характер нагрузки, $\cos\phi$	Максимальные значения амплитуд высших гармоник в % от амплитуды первой гармоники				
		3-я	5-я	7-я	9-я	11-я
напряжение на выходе регулятора	1	0,002	0,8	0,6	0,002	0,4
	0,7	0,006	0,8	0,5	0,007	0,4
	0,4	0,003	0,8	0,5	0,004	0,3
	0,1	0,002	0,8	0,7	0,003	0,3
сетевой ток	1	0,004	1,8	1,3	0,003	0,8
	0,7	0,007	1,8	1,3	0,006	0,8
	0,4	0,008	1,9	1,3	0,008	0,8
	0,1	0,007	1,9	1,4	0,007	0,8

Существует мнение, что при импульсно фазовом управлении ТТРН ОТ происходят значительные изменения несинусоидальности токов и напряжений. В табл. 2 приведены максимальные значения амплитуд высших гармоник токов и напряжений, которые свидетельствуют о допустимости искажений при всех возможных $\cos \varphi$.

В состав разрабатываемого опытного образца ТТРНМ ОТ вошли:

- трехфазный трансформатор 10/0,4 кВ мощностью 400 кВА сухого исполнения, имеющий две ступени регулировочных обмоток $\pm 5\%$ номинального напряжения;
- тиристорный коммутатор переключения отводов регулировочных обмоток;
- система измерения входных и выходных напряжений и токов ТТРНМ ОТ;
- система управления, контроля, защиты, сбора и обработки информации;
- система сопряжения по цепям управления с внешними устройствами защиты и контроля.

На рис. 3 и рис. 4 приведены структурная и технологическая схемы ТТРНМ ОТ с активно-адаптивным управлением.

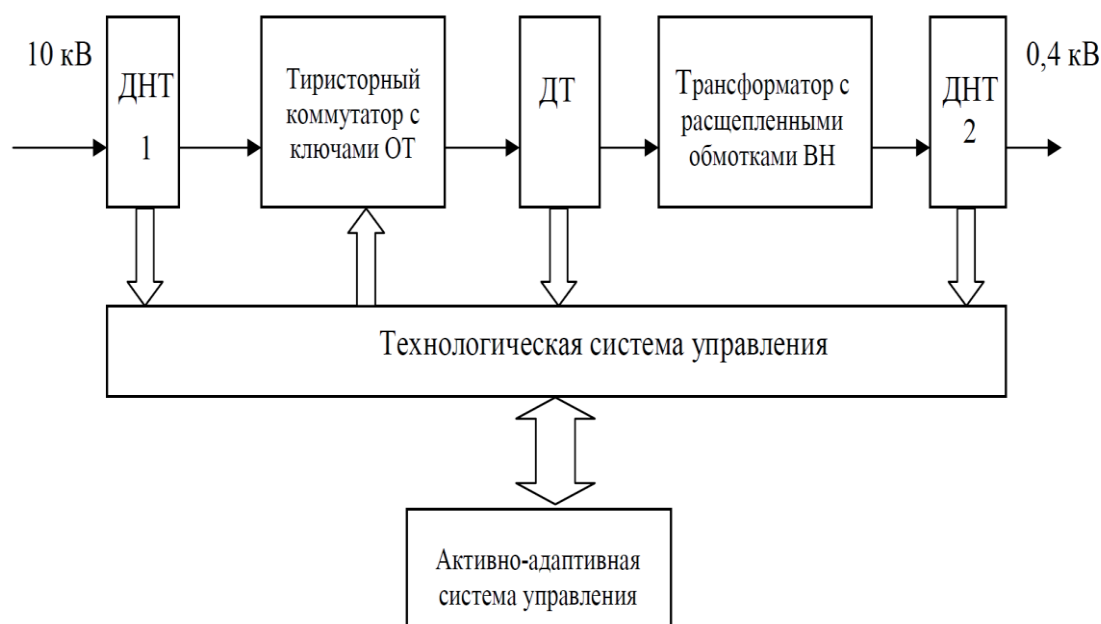


Рис. 3. Структурная схема ТТРНМ ОТ с активно-адаптивным управлением

Технологическая система управления (ТСУ) представляется в виде отдельных блоков (блок задания режимов, блок защиты, блок формирования команд, датчик измерения напряжений, блок регулирования). Схема ТСУ реализована на базе промышленного контроллера Compact RIO.

Технологическая схема управления реализована на базе промышленного контроллера.

Результаты исследований показали, что при использовании импульсно-фазового способа регулирования с применением алгоритма двухзонного последовательного управления тиристорными ключами возможно добиться:

- максимального диапазона регулирования на интервале 0–180 электрических градусов при активно-индуктивном характере нагрузки;

- регулирования величины реактивной мощности линий электропередачи в широком диапазоне;
- удовлетворительных параметров электромагнитной совместимости при величине ступени регулировочной обмотки трансформатора 5%.

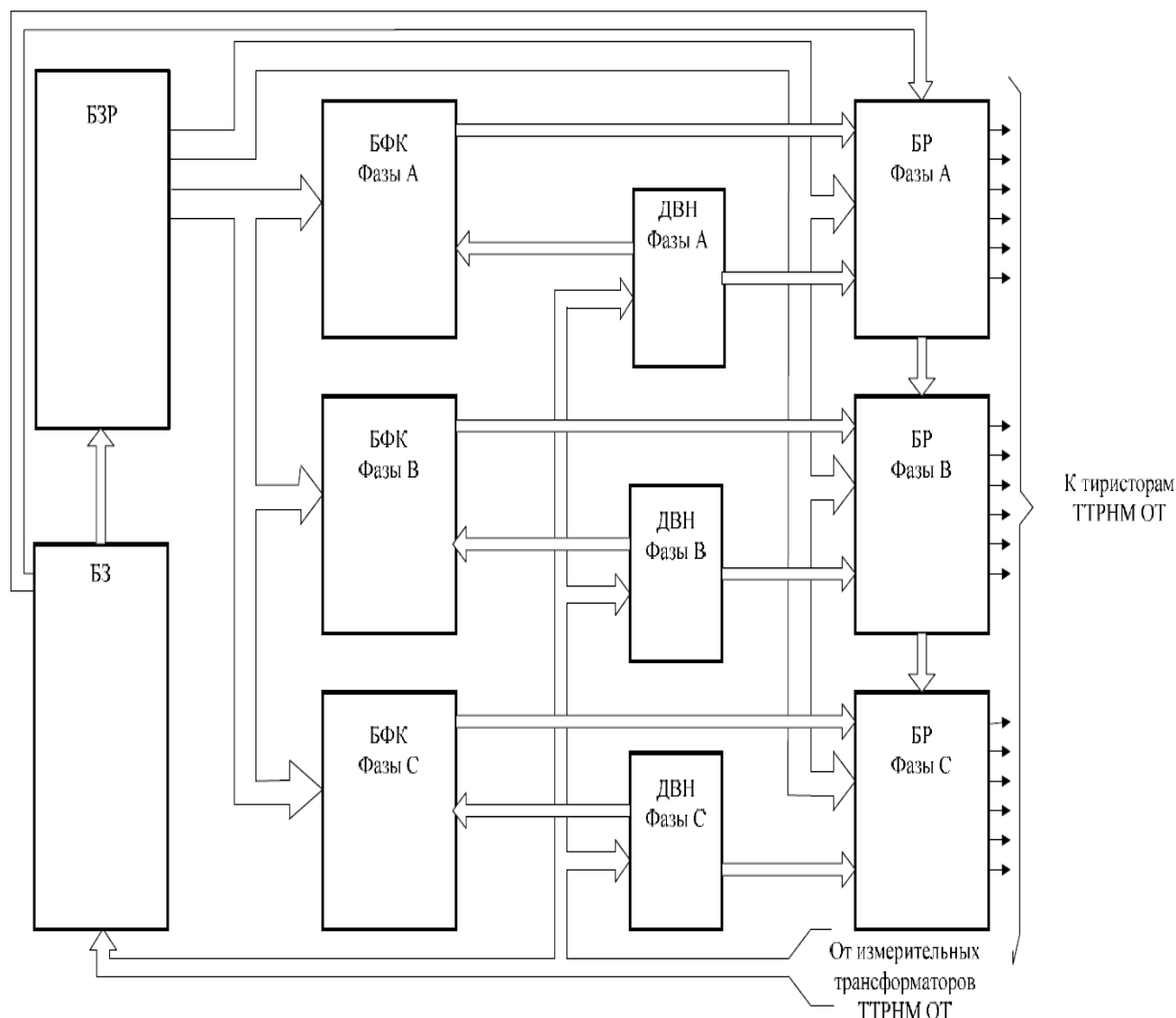


Рис. 4. Технологическая система управления ТТРН ОТ:

БЗР – блок задания режимов; БЗ – блок защиты; БФК – блок формирования команд;
ДВН – датчик измерения напряжений; БР – блок регулирования

Реализация проекта ЦТП в составе с опытным образцом ТТРНМ ОТ планируется на территории НГТУ им. Р. Е. Алексеева (рис. 4 и рис. 5). ЦТП комплектуется следующим силовым оборудованием:

- трансформатор сухой мощностью 400 кВА типа ТСЗН-400/10 УХЛ2 с тиристорным коммутатором КТ-400/10;
- трансформатор сухой мощностью 400 кВА типа ТСЗН-400/10;
- трансформатор масляный мощностью 630 кВА типа ТМГ-630/10-У1(ХЛ1);
- компактное распределительное устройство 10 кВ RM6 с элегазовой изоляцией производства Schneider Electric;

- распределительное устройство 0,4 кВ производства Schneider Electric;
- вспомогательное оборудование (рис. 6).

В режиме неравномерности нагрузок между секциями трансформаторов Т1 и Т2 возможен режим параллельной работы трансформаторов при этом ТСУ и ААСУ настраивают регулятор на равномерную загрузку трансформаторов (рис. 7).

Разработана активно-адаптивная система управления (ААСУ), позволяющая собирать оперативную информацию о текущих процессах на подстанции и передавать ее с помощью PLC модемов. ААСУ имеет интерфейсы, позволяющие опрашивать устройства, управлять ими и объединять в интеллектуальную сеть. ААСУ позволяет реализовать любые алгоритмы работы распределительной сети (рис. 8).

Предполагается, что данная ЦТП в будущем будет являться узловым элементом активно-адаптивной равномерно-распределенной электрической сети [5]. Поэтому данный проект – это первый шаг к созданию гибких интеллектуальных электрических сетей.

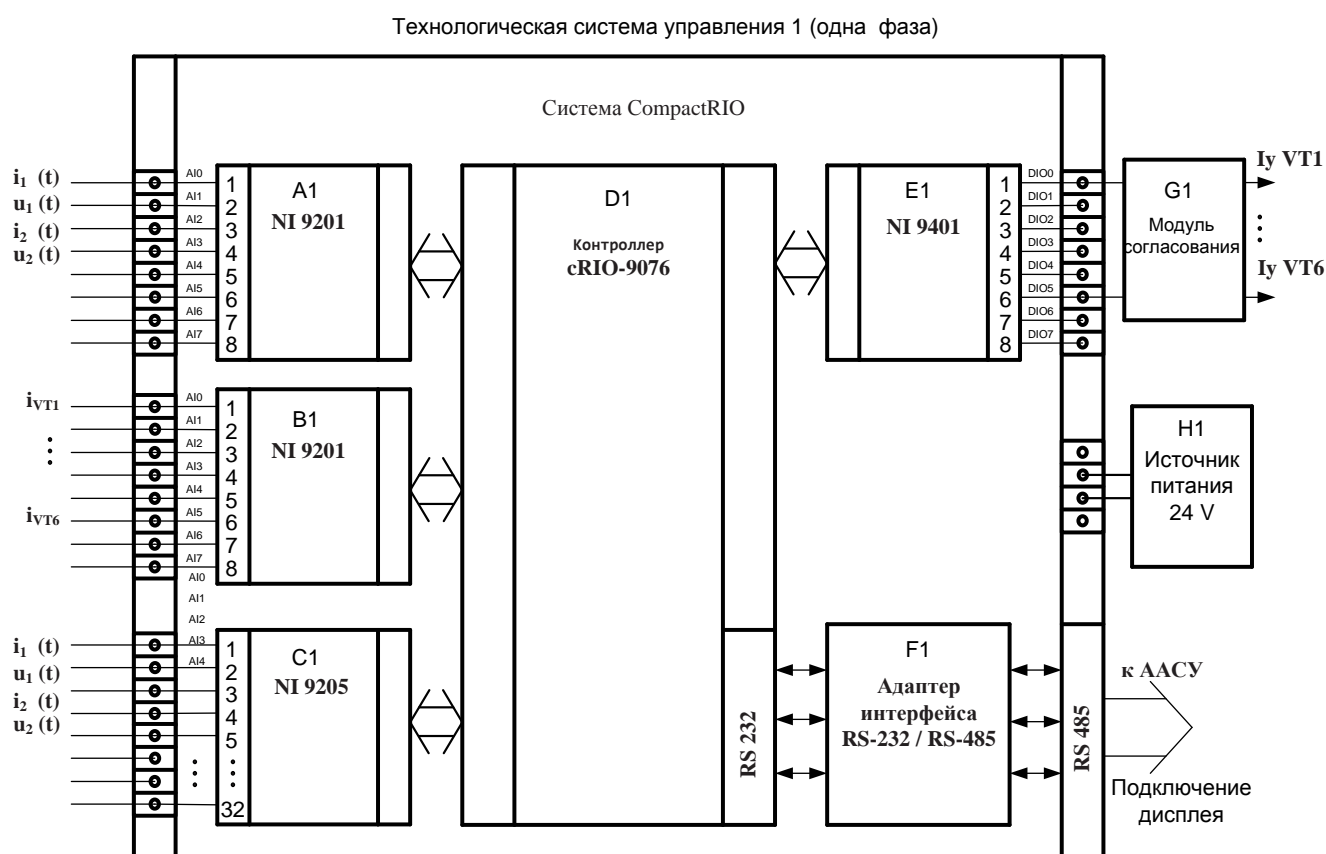


Рис. 5. Технологическая схема управления на базе промышленного контроллера

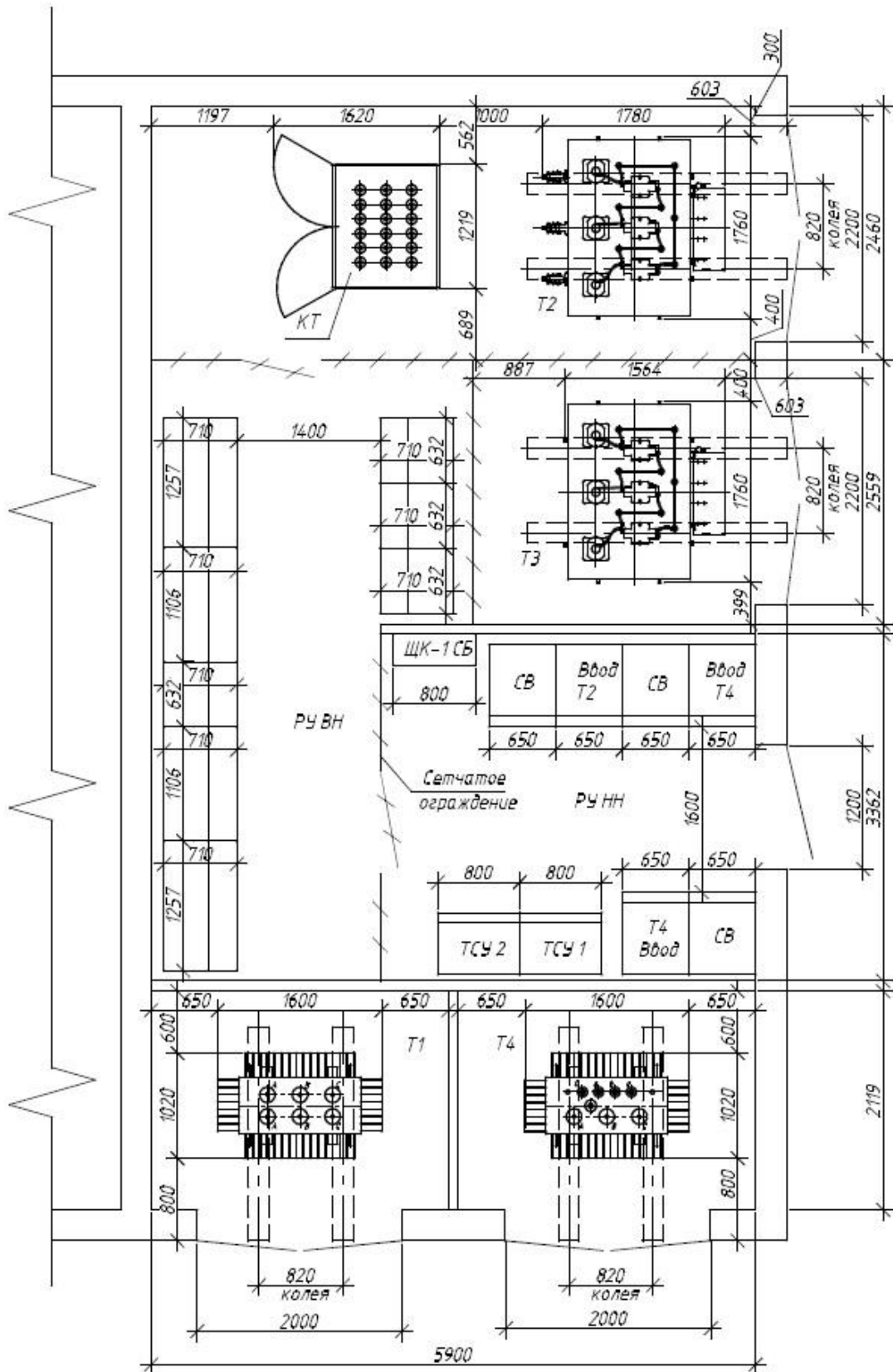


Рис. 6. Проект привязки ЦТП с ТТРМ ОТ (компановка)

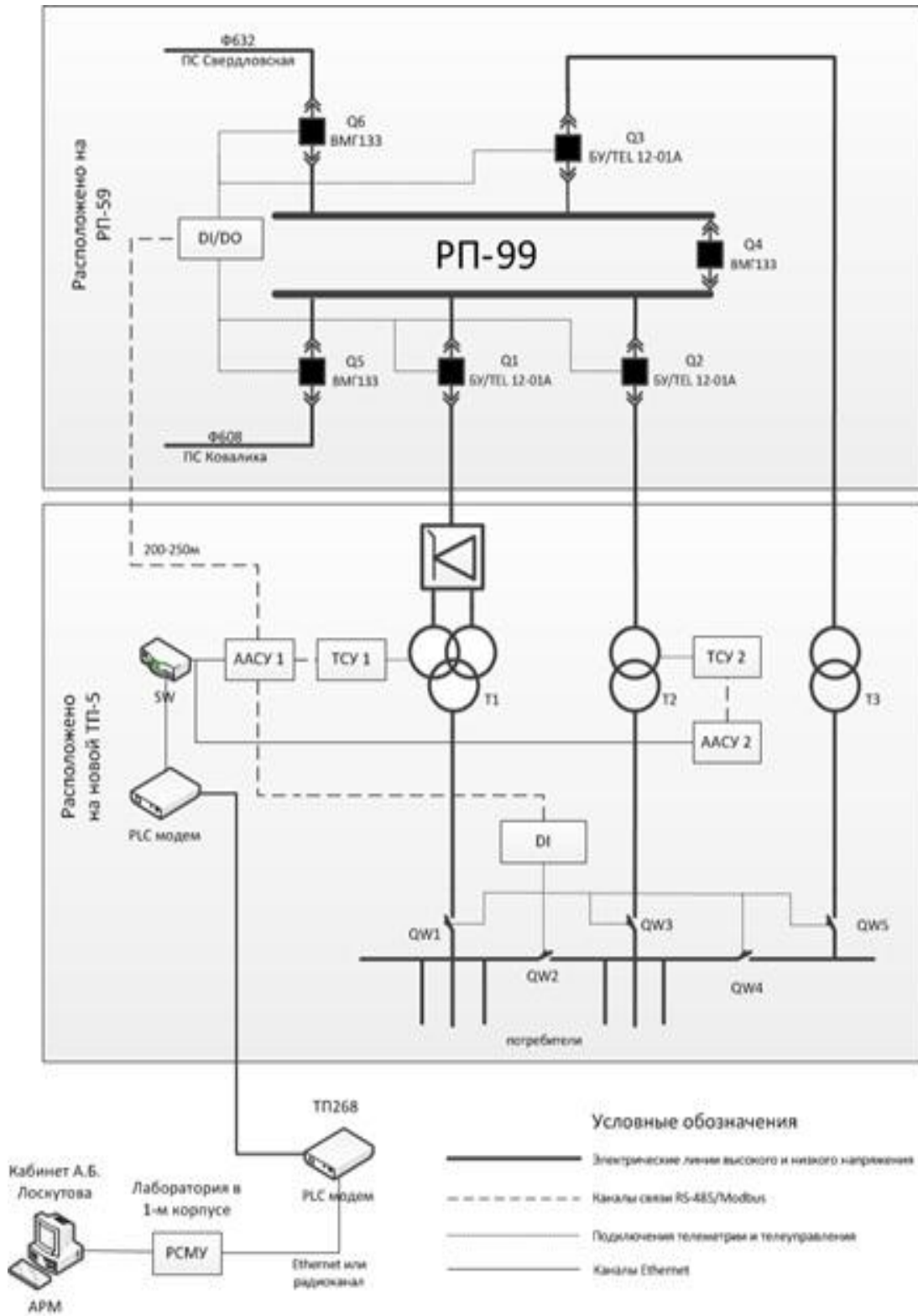


Рис. 7. Схема подключения ЦТП с ТТРМ ОТ

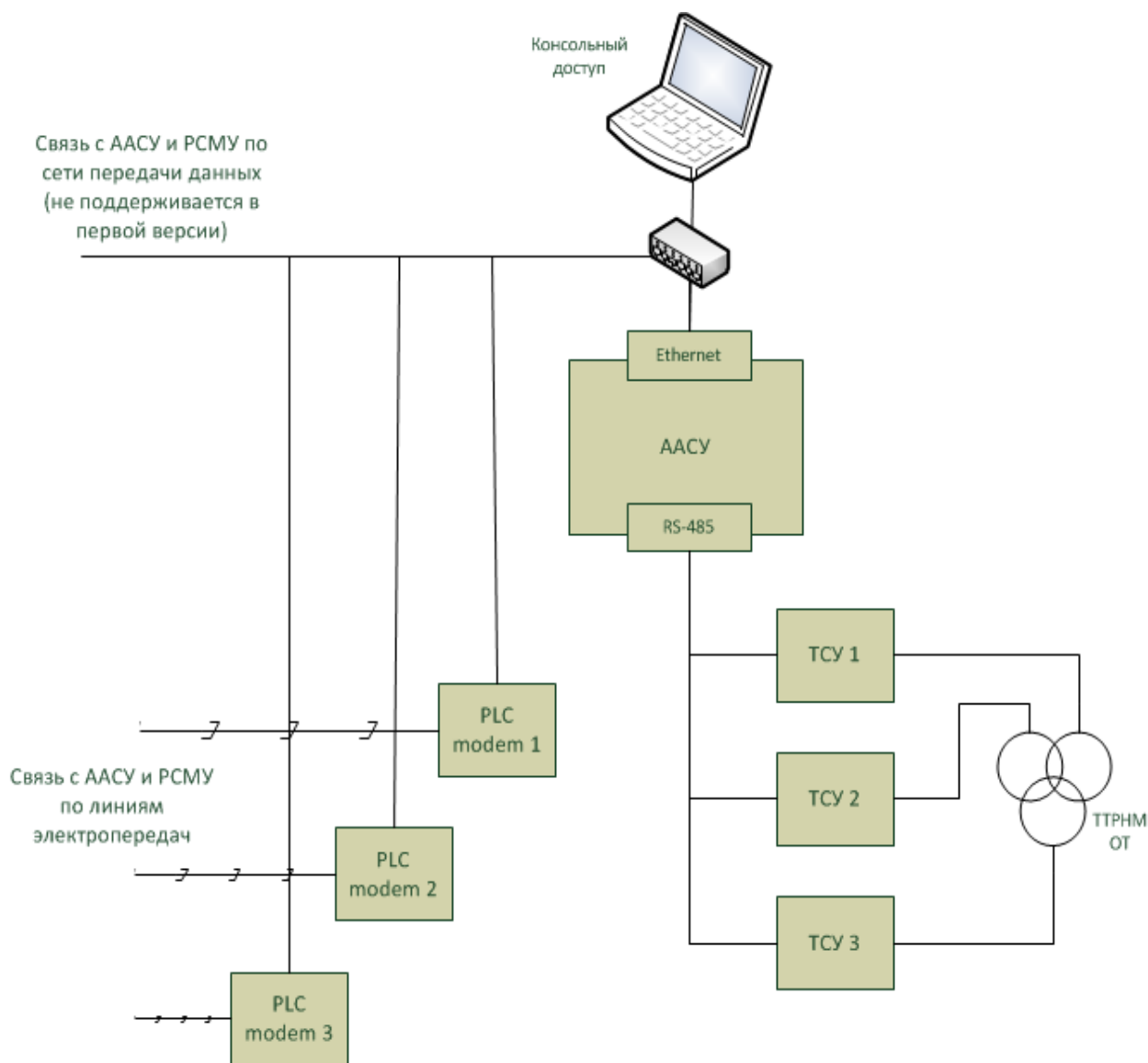


Рис. 8. Активно-адаптивная система управления ТТРН ОТ

В статье использованы материалы Государственного контракта от 11.10. 2011 г. № 16.526.12.6016 (11/692) с Министерством образования и науки РФ.

Библиографический список

1. **Нажимов, А.В.** Тиристорный регулятор напряжения трансформаторов 6-10 кВ / А.В. Нажимов [и др.] // Промышленная энергетика. 2010. №8. С. 30–33.
2. **Лоскутов, А.Б.** Снижение токовых коммутационных перегрузок в трансформаторно-тиристорных регуляторах переменного напряжения / А.Б. Лоскутов [и др.] // Промышленная энергетика. 2010. №9. С. 38–41.
3. Пат. №2398342. Способ управления тиристорным регулятором напряжения трансформатора / А.А. Асабин. Зарегистрирован 27. 08. 2010.
4. **Лоскутов, А.Б.** Разработка и создание типового ряда трансформаторно-тиристорных регуляторов напряжения и мощности с расщепленной первичной обмоткой трансформатора и ключами однонаправленного тока. Этап 3: Разработка рабочей конструкторской документации / А.Б. Лоскутов [и др.] // Научно-технический отчет № госрегистрации: 01201177951 (ГК от 11.10.2011 №16.526.12.6016). Н.Новгород: НГТУ, 2012. – 80 с.

5. **Соснина, Е.Н.** Топология городских распределительных интеллектуальных электрических сетей 20 кВ / Е.Н. Соснина, А.Б. Лоскутов, А.А. Лоскутов // Промышленная энергетика. 2012. № 5. С. 11–17.

*Дата поступления
в редакцию 15.10.2013*

A.B. Loskutov, A.I. Chyvenkov, E.N. Sosnina, A.A. Loskutov, D.V. Zyrin

DIGITAL TRANSFORMER SUBSTATION IN INTELLECTUAL POWER GRIDS WITH AUTOMATIC SMOOTH ADJUSTMENT OF VOLTAGE AND POWER

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The project of digital transformer substation with voltage 10/0,4 kV with active-adaptive control system and automatic smooth adjustment of voltage are created.

Design/methodology/approach: Development of smart grid which designed to modernize electric grids and elements of grid.

Findings: The project includes the following developments: the results research of parallel operation regulated and unregulated transformers, the main design documentation for the device thyristor controller, technological control system of controller, active-adaptive control system and monitoring system of digital transformer substation, solutions in electro technical part and decisions in arrangement of equipment.

Research limitations/implications: The digital transformer substation will be the main element of active-adaptive uniformly distributed power network in the future.

Originality/value: As a result was a project of digital transformer substation on the territory of the NSTU.

Key words: digital transformer substation, active-adaptive control system, transformer-thyristor controller of voltage and power with the keys unidirectional current, technological control system, parallel operation of transformers, PLC modem, interface, smart grid.