

## Опытная цифровая трансформаторная подстанция с активно-адаптивной системой управления и автоматическим плавным регулированием напряжения и мощности

Соснина Е. Н., канд. техн. наук,  
Лоскутов А. Б., Дмитриев С. М., доктора техн. наук,  
Чивенков А. И., канд. техн. наук, Лоскутов А. А., аспирант

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, проанализированы 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 путем переключения отпаек устройства ПБВ с помощью его контактных схем. Они недороги, но имеют существенные недостатки: организационные сложности переключений; использование только при сезонных переключениях; отсутствие динамического регулирования напряжения.

Сравнивая стандартный трансформатор с устройством ПБВ и трансформатор, оснащенный трансформаторно-тиристорным регулятором напряжения и мощности с ключами однонаправленного тока (ТТРНМ ОТ — см. рис. 1), можно сделать вывод о существенном расширении в последнем функций регулирования. В стандартном трансформаторе напряжение регулируется ступенчато и отсутствует автоматизация регулирования и симметрирования фазных напряжений и токов. В ТТРН ОТ помимо ступенчатого существует также плавное регулирование напряжения и имеется возможность его симметрирования.

Новое направление развития электрических сетей — создание интеллектуальных сетей (Smart Grid) — предполагает модернизацию не только сетей, но и всех ее элементов, автоматическое управление которыми должно осуществляться по адаптивным алгоритмам. Единая технологическая и информационная платформа позволяет реализовать такие функции элементов, которые были невоз-

можны в системах автоматического управления стандартных трансформаторов.

Ключевой элемент цифровой трансформаторной подстанции — трансформатор с возможностью регулирования напряжения. В статье рассматривается интеллектуальная ЦТП 10/0,4 кВ, в состав которой входит альтернативное устройство регулирования — ТТРНМ ОТ, представляющее собой новое поколение установок с трансформаторами, имеющими расщепленные обмотки высокого напряжения. Применение тиристорных контакторов в цепях этих обмоток (см. рис. 1) позволило ограничить токовые перегрузки в коммутационных режимах и исключить возможность возникновения контуров КЗ контактора и тем самым обеспечить безаварийную работу ТТРНМ ОТ [1–4]. Благодаря использованию типовых тиристорных контакторов с входным рабочим напряжением 10 кВ можно осуществлять работу установки даже при внешних КЗ на стороне напряжения 0,4 кВ.

Применение ТТРНМ ОТ в системах электроснабжения дает возможность 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 отрицатель-

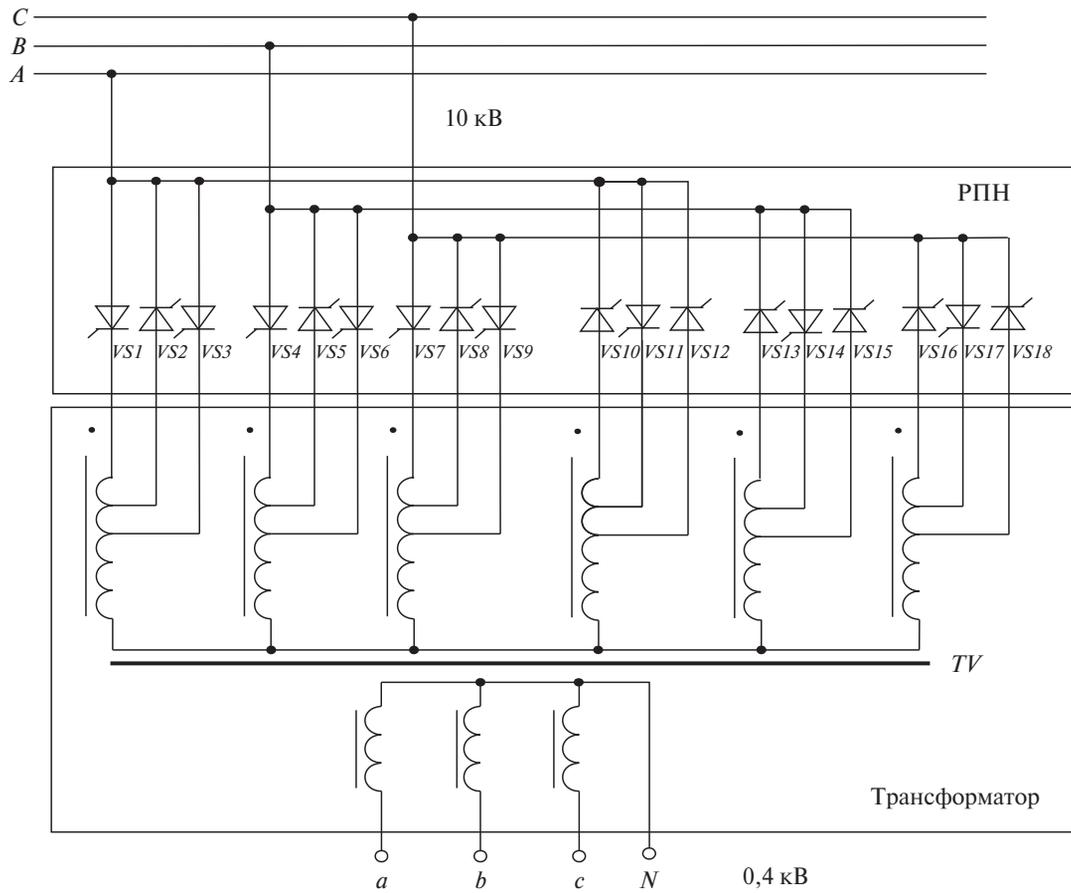


Рис. 1. Принципиальная схема ТТРНМ ОТ

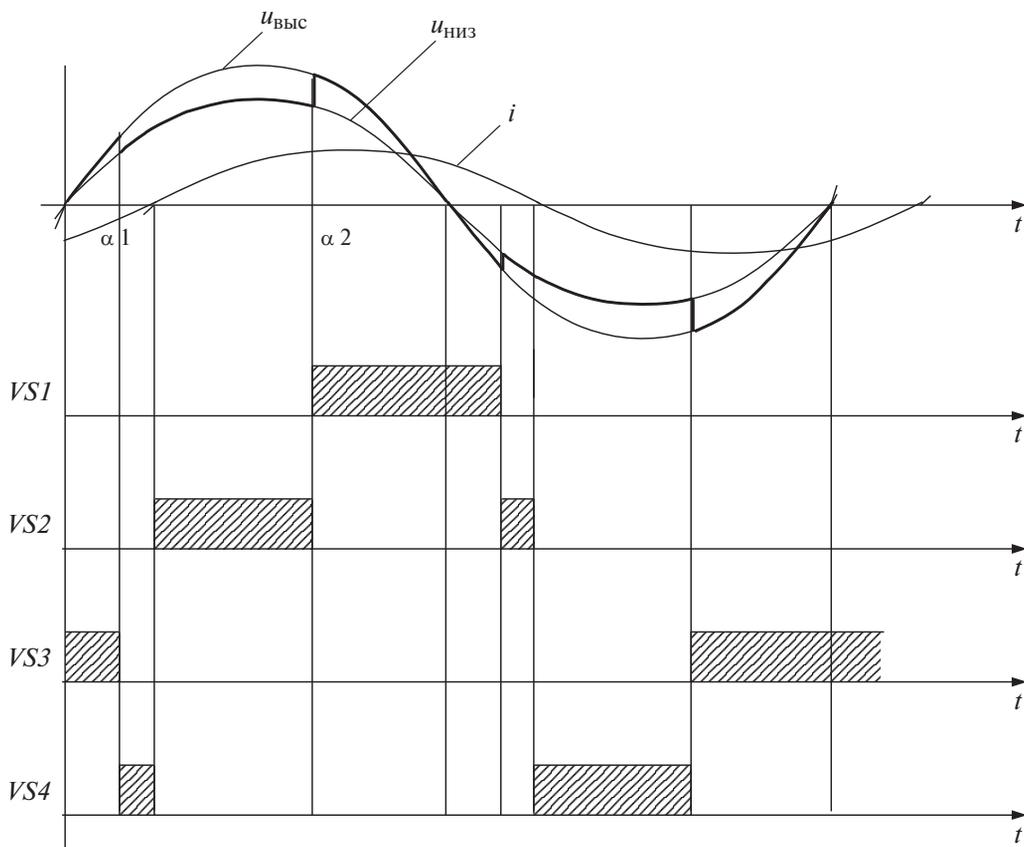


Рис. 2. Интервалы электропроводности вентилей при импульсно-фазовом управлении ТТРНМ ОТ

Параметр	cos φ	Максимальное значение амплитуды высших гармоник (в % от амплитуды первой гармоники)				
		3-й	5-й	7-й	9-й	11-й
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

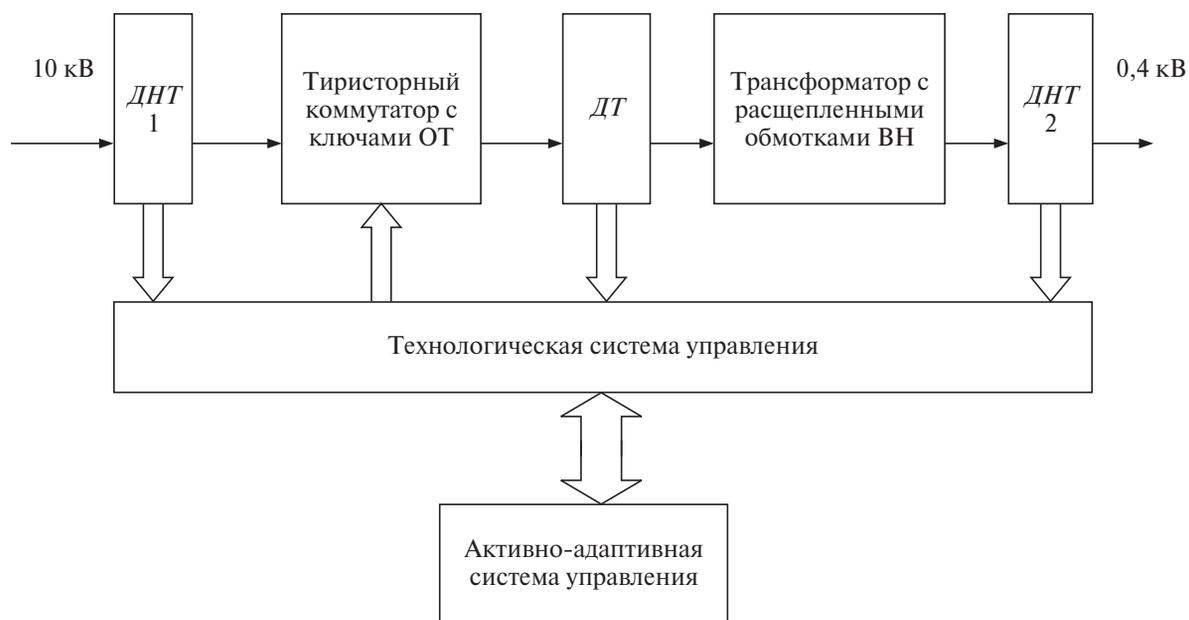


Рис. 3. Структурная схема ТТРМ ОТ с активно-адаптивным управлением:

*ДНТ* — датчик напряжения и тока; *ДТ* — датчик тока

ной мгновенной мощности (рис. 2). При этом обеспечивается возможность регулирования перераспределения как активных, так и реактивных составляющих токов параллельно работающих установок, что при сохранении значения полной передаваемой мощности удаленных трансформаторов позволит перераспределять ее реактивную составляющую и таким образом повышать напряжение у потребителей перегруженных линий электропередачи, не увеличивая мощности установленного оборудования.

Существует мнение, что при импульсно-фазовом управлении ТТРМ ОТ проис-

ходят значительные изменения несинусоидальности токов и напряжений. В таблице приведены максимальные значения амплитуд высших гармоник токов и напряжений, которые свидетельствуют о допустимости искажений при всех возможных cos φ.

В состав разрабатываемого опытного образца ТТРМ ОТ входят трехфазный трансформатор 10/0,4 кВ мощностью 400 кВ·А сухого исполнения, имеющий две ступени регулировочных обмоток ± 5 % номинального напряжения; тиристорный коммутатор переключения отводов регулировочных обмоток; система измерения входных и выходных на-

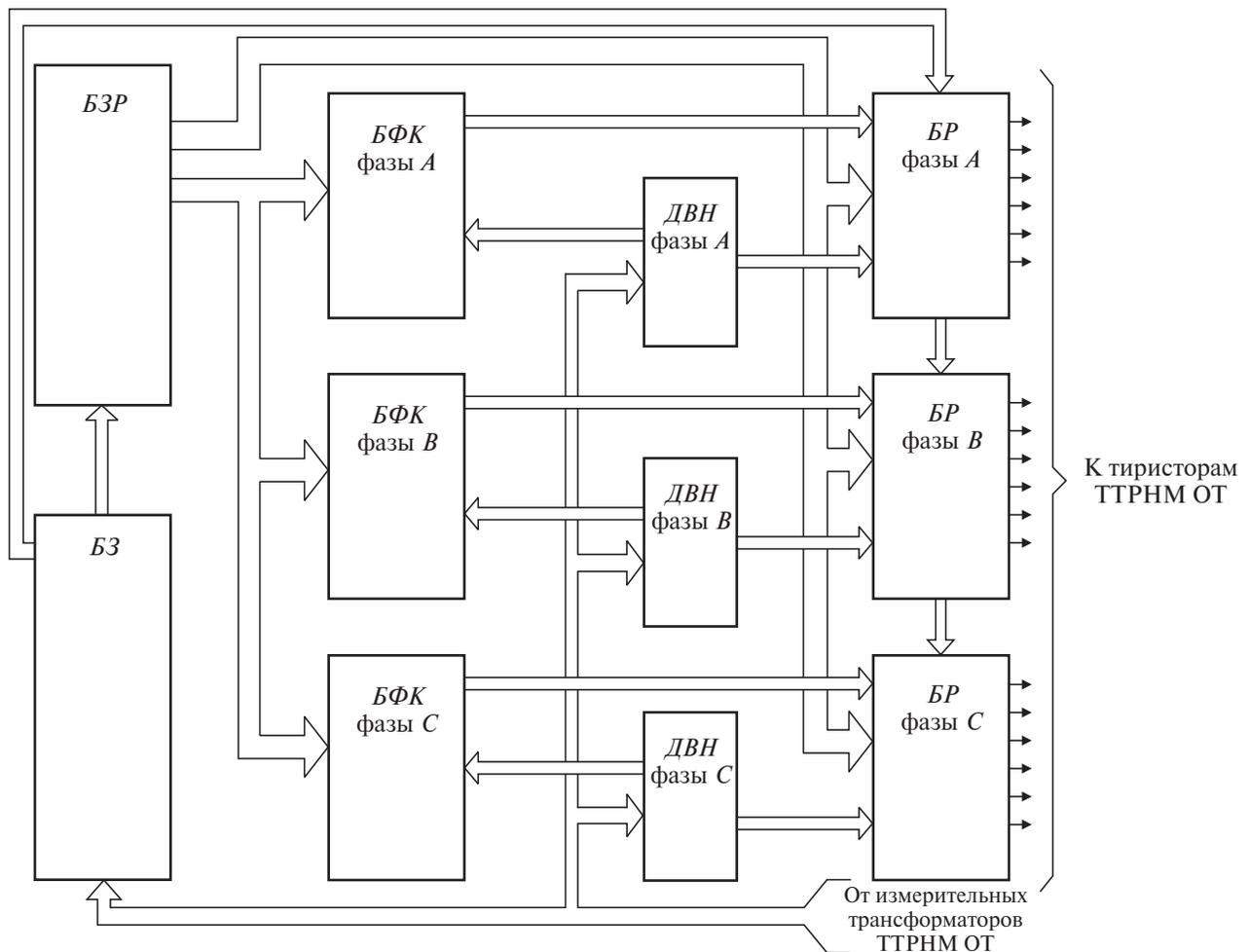


Рис. 4. Технологическая система управления ТТРНМ ОТ:

*БЗР, БЗ, БФК, БР* — блоки соответственно задания режимов, защиты, формирования команд, регулирования; *ДВН* — датчик измерения высокого напряжения

пряжений 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 приведена структурная схема регулятора, а на рис. 4 — технологическая система управления (ТСУ), реализованная на базе промышленного контроллера Compact RIO.

Результаты исследований показали, что при использовании импульсно-фазового способа регулирования с применением алгоритма двухзонного последовательного управления тиристорными ключами можно обеспечить: максимальный диапазон регулирования на интервале 0–180 электрических градусов при активно-индуктивном характере нагрузки; регулирование значения реактивной мощности линий электропередачи в широком диапазоне; удовлетворительные параметры электромагнитной совместимости при ступе-

ни регулировочной обмотки трансформатора 5 %.

Реализация проекта ЦТП с опытным образцом ТТРНМ ОТ (рис. 5) планируется на территории НГТУ им. Р. Е. Алексеева. В состав ЦТП входит следующее силовое оборудование:

трансформатор (сухой) мощностью 400 кВ · А типа ТСЗН-400/10 УХЛ2 с тиристорным коммутатором КТ-400/10;

трансформатор (сухой) мощностью 400 кВ · А типа ТСЗН-400/10;

трансформатор (масляный) мощностью 630 кВ · А типа ТМГ-630/10-У1(ХЛ1);

компактное распределительное устройство 10 кВ RM6 с элегазовой изоляцией (производство фирмы “Schneider Electric”);

распределительное устройство 0,4 кВ (производство фирмы “Schneider Electric”);

вспомогательное оборудование.

В режиме неравномерности нагрузок между секциями трансформаторов *T1* и *T2* (см.

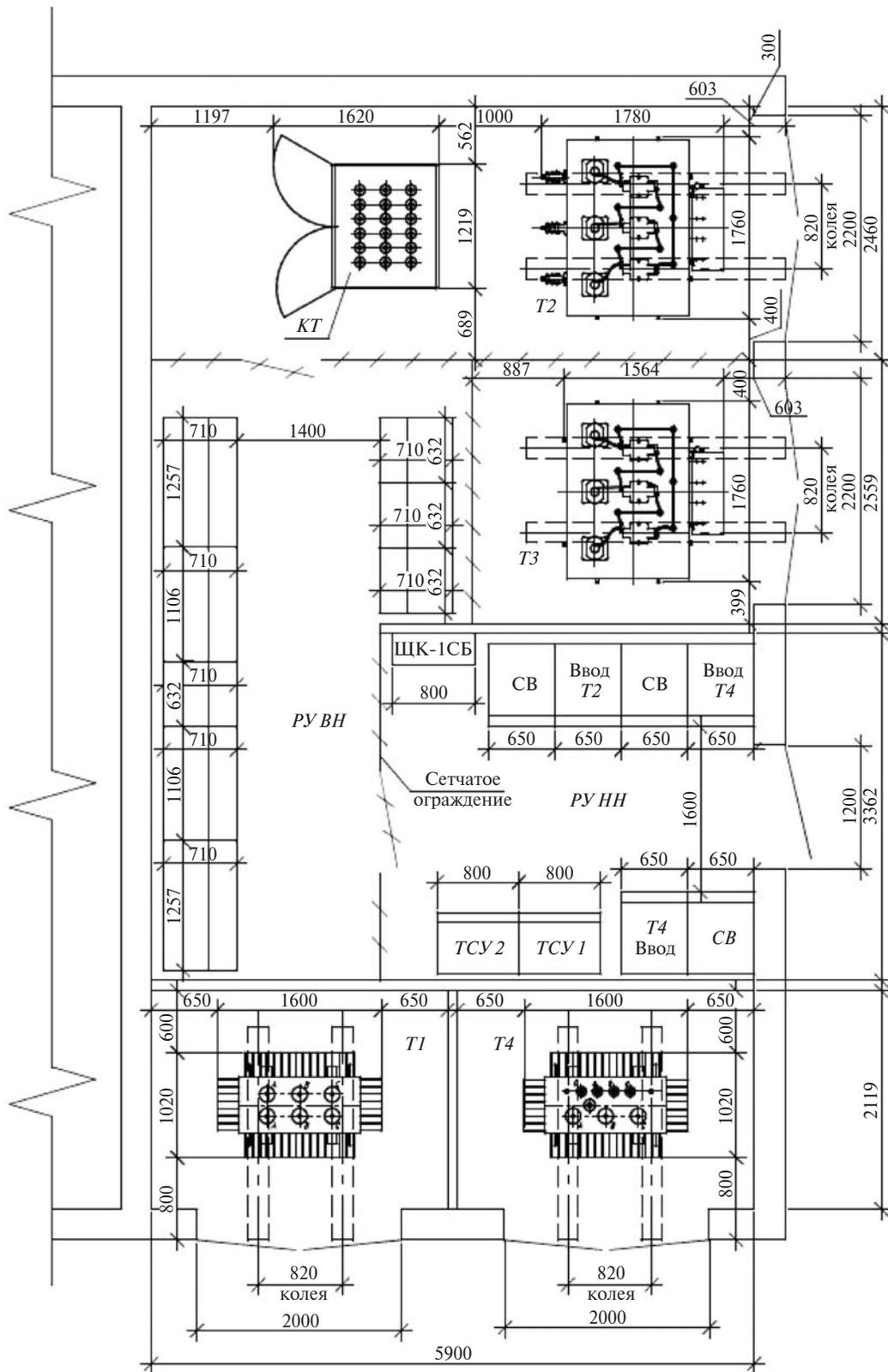


Рис. 5. Проект компоновки ЦТП с ТТРМ ОТ

рис. 5) возможен режим параллельной работы трансформаторов, при этом ТСУ и разработанная активно-адаптивная система управления (ААСУ) настраивают регулятор на равномерную их загрузку.

ААСУ позволяет собирать оперативную информацию о текущих процессах на подстанции и передавать ее с помощью PLC-модемов. Входящие в эту систему интерфейсы дают возможность опрашивать устройства,

управлять ими и объединять в интеллектуальную сеть. ААСУ способна реализовать любые алгоритмы работы распределительной сети.

Предполагается, что данная ЦТП будет узловым элементом активно-адаптивной равномерно распределенной электрической сети [5], поэтому рассмотренный проект — первый шаг к созданию гибких интеллектуальных электрических сетей.

#### Список литературы

1. **Тиристорный** регулятор напряжения трансформаторов 6 – 10 кВ / А. В. Нажимов, А. И. Чивенков, А. Б. Лоскутов и др. — Промышленная энергетика, 2010, № 8.
2. **Снижение** токовых коммутационных перегрузок в трансформаторно-тиристорных регуляторах переменного напряжения / А. Б. Лоскутов, А. И. Чивенков, А. В. Нажимов, М. С. Солдатова. — Промышленная энергетика, 2010, № 9.
3. **Пат. 2398342 РФ.** Способ управления тиристорным регулятором напряжения трансформатора / А. А. Асабин (www.rupto.ru).
4. **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. — Научно-технический отчет № 01201177951 (ГК от 11.10.2011 № 16.526.12.6016) / А. Б. Лоскутов, Е. Н. Соснина, А. И. Чивенков и др. Н. Новгород: НГТУ, 2012.
5. **Соснина Е. Н., Лоскутов А. Б., Лоскутов А. А.** Топология городских распределительных интеллектуальных электрических сетей 20 кВ. — Промышленная энергетика. 2012, № 5.

loskutov@nntu.nnov.ru