

ZTR
ZAPOROZHTRANSFORMATOR

УПРАВЛЯЕМЫЕ ШУНТИРУЮЩИЕ РЕАКТОРЫ





**НАДЕЖНЫЙ ПАРТНЕР
НАДЕЖНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**



ОГЛАВЛЕНИЕ:

1. Управляемые шунтирующие реакторы (УШР) – новый тип устройств FACTS.....	4
2. Назначение и функциональные возможности УШР.....	6
3. Область применения УШР.....	7
4. Принцип действия УШР.....	8
5. Перспективные серии УШР.....	10
6. Состав комплекса УШР.....	12
7. Однолинейная блок-схема элементов управляемого шунтирующего реактора.....	14
8. Принципиальная электрическая схема соединений управляемого шунтирующего реактора 220–500 кВ.....	15
9. Принципиальная электрическая схема соединений управляемого шунтирующего реактора 110 кВ и ниже.....	16
10. Статические компенсаторы на базе УШР.....	17
11. Опыт использования статических компенсаторов на базе УШР в сетях крупных потребителей.....	22
12. Опыт использования УШР в сетях 220–110 кВ.....	24
13. Опыт использования УШР для решения задачи комплексной нормализации уровней напряжения в магистральных сетях.....	27
14. Опыт использования УШР на длинных высоковольтных транзитах.....	28
15. История развития направления УШР.....	30
16. Опыт поставок управляемых реакторов.....	32

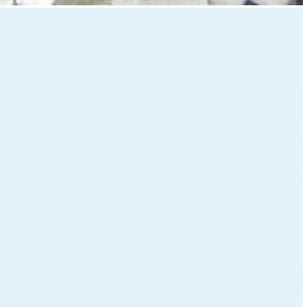
УПРАВЛЯЕМЫЕ ШУНТИРУЮЩИЕ РЕАКТОРЫ – НОВЫЙ ТИП УСТРОЙСТВ FACTS

4

В настоящее время в энергосистемах мира получают распространение устройства FACTS – управляемое оборудование для электрических сетей переменного тока. Применение устройств FACTS позволяет оперативно управлять и перераспределять потоки активной и реактивной мощности. При этом, кроме выполнения своих прямых функций, обеспечивается решение целого ряда дополнительных задач, включая повышение надежности работы электроэнергетических систем и снижение потерь электроэнергии. В условиях функционирования рынков электроэнергии и появления большого числа энергопередающих и энергораспределительных компаний оптимальность ведения электрических режимов и эффективность работы электротехнического оборудования по-прежнему остается важным фактором их конкурентоспособности.

Управляемый шунтирующий реактор (УШР) представляет собой новый тип устройств FACTS, который начиная с 90-х годов широко используется для стабилизации напряжения и управления перетоками реактивной мощности как в магистральных и распределительных сетях, так и на уровне крупных промышленных потребителей. На сегодняшний день в энергосистемах СНГ и Балтии эксплуатируется оборудование УШР суммарной мощностью более 6 000 МВАр. Определяющая роль УШР в странах СНГ тем более заметна, если учесть, что аналогичное по выполняемым функциям оборудование, в лучшем случае, представлено в отдельных энергосистемах единичными экземплярами. К основным причинам такого успеха управляемых шунтирующих реакторов можно отнести их высокую надежность, лучшие технико-экономические показатели, конструктивную схожесть с обычным трансформаторным оборудованием, простоту в эксплуатации и более низкую стоимость.





В блоке с батареей статических конденсаторов (БСК) управляемый реактор выполняет все функции статических тиристорных компенсаторов (СТК). Однако, в отличие от традиционного схемного решения СТК, состоящего из трансформатора связи, последовательно включенных реакторов и встречно-параллельного тиристорного вентиля на полную мощность, в УШР имеется только специфичное трансформаторное устройство, в котором роль реактора выполняют индуктивности обмоток, а роль встречно-параллельного тиристорного вентиля – насыщаемый стержень. В результате, вместо трех силовых элементов имеет место один. При этом УШР не требует установки мощных фильтров высших гармоник для обеспечения качества напряжения.

Для эксплуатации УШР не требуется специальная подготовка обслуживающего персонала и создание дополнительных рабочих условий на подстанциях, как например, применение водяного охлаждения или размещение оборудования в закрытых помещениях. Дополнительным достоинством УШР является возможность его подключения непосредственно на шины высокого напряжения и отсутствие необходимости использования повышающих трансформаторов. Это позволяет обеспечить весь регулировочный диапазон реактора именно на том классе напряжения, где это необходимо по режиму работы электрических сетей.

Опыт эксплуатации управляемых шунтирующих реакторов полностью подтвердил высокие потребительские качества устройств данного типа. Установка даже одного из них обеспечивает непрерывное автоматическое управление оптимальными уровнями напряжения на целом ряде распределительных подстанций крупного района электрических сетей. При этом резко снижаются затраты на эксплуатационное обслуживание и ремонт трансформаторного и коммутационного оборудования, принимающего интенсивное участие в процессе регулирования напряжений.

НАЗНАЧЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УШР

6

УШР представляет собой статическое устройство шунтирующего типа с плавно регулируемым индуктивным сопротивлением. УШР предназначен для автоматического управления потоками реактивной мощности и стабилизации уровней напряжения, что позволяет:

- устранить суточные и сезонные колебания напряжения в электрической сети;
- повысить качество электрической энергии;
- оптимизировать и автоматизировать режимы работы электрической сети, в том числе с использованием в качестве центрального регулятора системы SCADA/EMS;
- снизить потери электроэнергии при ее транспортировке и распределении;
- повысить устойчивость энергосистемы;
- в десятки раз улучшить условия эксплуатации и повысить надежность работы электротехнического оборудования за счет резкого сокращения числа коммутаций нерегулируемых устройств компенсации реактивной мощности и ограничения использования менее надежных в эксплуатации устройств РПН трансформаторов и автотрансформаторов;
- увеличить пропускную способность линий электропередачи и обеспечить надежное автоматическое управление уровнями напряжения при перетоках мощности, близких к предельным по статической устойчивости;
- избежать эффекта «лавины напряжения» при возникновении аварийных ситуаций в электрической сети (например, аварийное отключение нагрузки, генератора, линии электропередачи и прочее);
- обеспечить условия для работы генераторов электростанций в таком диапазоне генерации реактивной мощности, который способствует наиболее благоприятным эксплуатационным режимам.



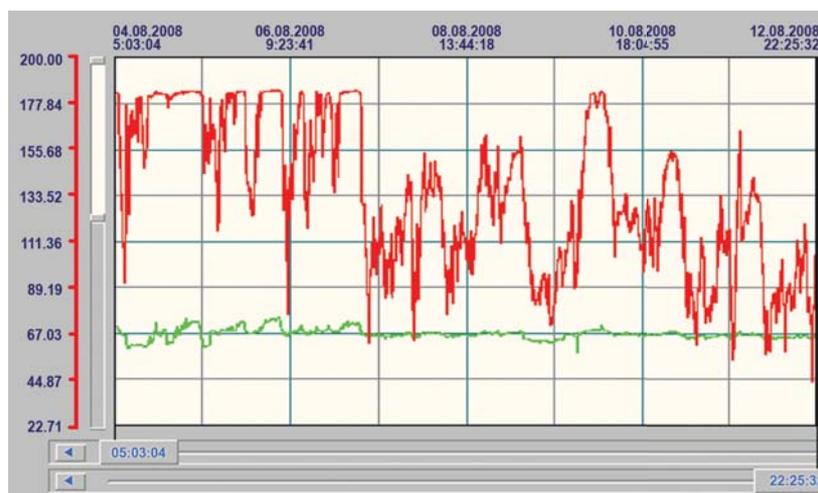
Исходя из задач, решаемых УШР, а также существующего опыта их эксплуатации, область применения управляемых реакторов распространяется (но не ограничивается) на следующие виды электрических сетей:

- сети с резкопеременным графиком нагрузок;
- сети с изношенным коммутационным и трансформаторным оборудованием, которое часто используется для регулирования уровней напряжения;
- сети, образованные длинными транзитами, имеющими тенденцию к частому изменению величины и/или направления потоков мощности;
- сети, питающие потребителей с повышенными требованиями к стабильности напряжения;
- сети с повышенными потерями;
- сети, режим работы которых не позволяет обеспечить допустимую загрузку генераторов по реактивной мощности.

Широкие функциональные возможности УШР обеспечивают целесообразность их применения на различных классах напряжения. При этом ожидаемый эффект может проявляться как на уровне локального района потребительских сетей, так и при решении первоочередных задач национальной энергосистемы в целом.

В условиях рыночных отношений в электроэнергетическом секторе и увеличения инвестиций в развитие электрических сетей, УШР предлагают целый ряд значительных выгод для всех хозяйствующих субъектов:

- на уровне магистральных и распределительных электрических сетей УШР обеспечивают существенное снижение потерь электроэнергии и соответственное увеличение прибыли системных операторов и распределительных компаний;
- на уровне потребителей электроэнергии УШР устанавливаются с целью снижения платы за потребляемую реактивную мощность (поддержание $\cos(\varphi)$), обеспечения необходимого качества напряжения у конечных потребителей, а также в качестве необходимых мероприятий по подключению к сети новых мощностей.

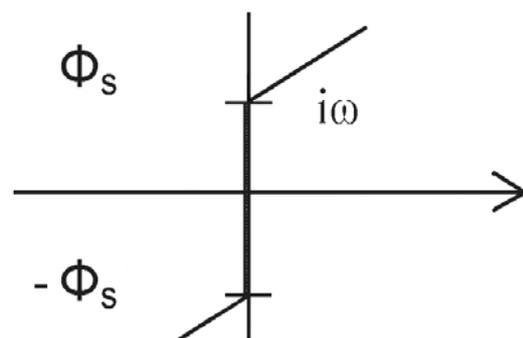
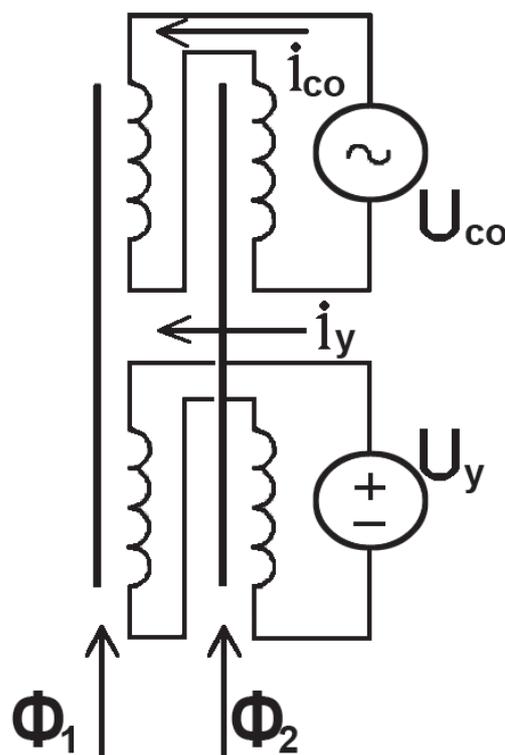


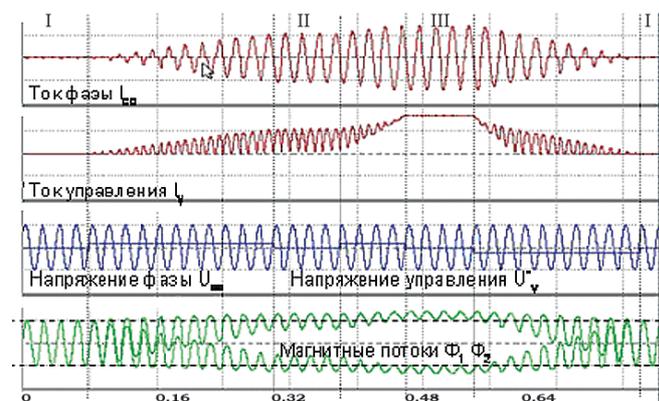
ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УШР

8

Управляемый шунтирующий реактор представляет собой трансформаторное устройство, дополнительно выполняющее функции полупроводникового ключевого прибора, что достигается за счет работы магнитной системы реактора в области глубокого насыщения. Заложенный принцип позволил оптимальным образом использовать существующие разработки как в области трансформаторостроения, так и в области силовой электроники. Магнитная система одной фазы УШР содержит два стержня с обмотками, вертикальные и горизонтальные ярма. На каждом стержне размещены обмотки управления, соединенные встречно, и сетевые (силовые) обмотки, соединенные согласно. В стержнях магнитной системы УШР отсутствуют немагнитные промежутки, вследствие чего при подключении реактора к сети он будет находиться в состоянии холостого хода. При этом величина потребляемой из сети реактивной мощности не будет превышать 3% номинального значения. Для увеличения загрузки реактора по реактивной мощности его рабочая зона должна быть смещена в нелинейную область гистерезисной характеристики, что достигается за счет дополнительного подмагничивания магнитной системы. При подключении к обмоткам управления регулируемого источника постоянного напряжения происходит нарастание потока подмагничивания. Так как на поток подмагничивания накладывается переменный поток сетевой обмотки, то результирующий поток смещается в область насыщения стержней магнитопровода. В свою очередь, насыщение стержней приводит к появлению тока в сетевой обмотке. При вводе или выводе энергии из контура управления возникает переходный процесс увеличения или уменьшения сетевого тока и соответственно потребляемой реактором реактивной мощности.

Регулирование тока сетевой обмотки реактора производится по пропорциональному закону, в котором угол управления тиристорами источника выпрямленного тока изменяется по линейному закону в зависимости от рассогласования между заданным напряжением уставки и напряжением в точке подключения реактора.

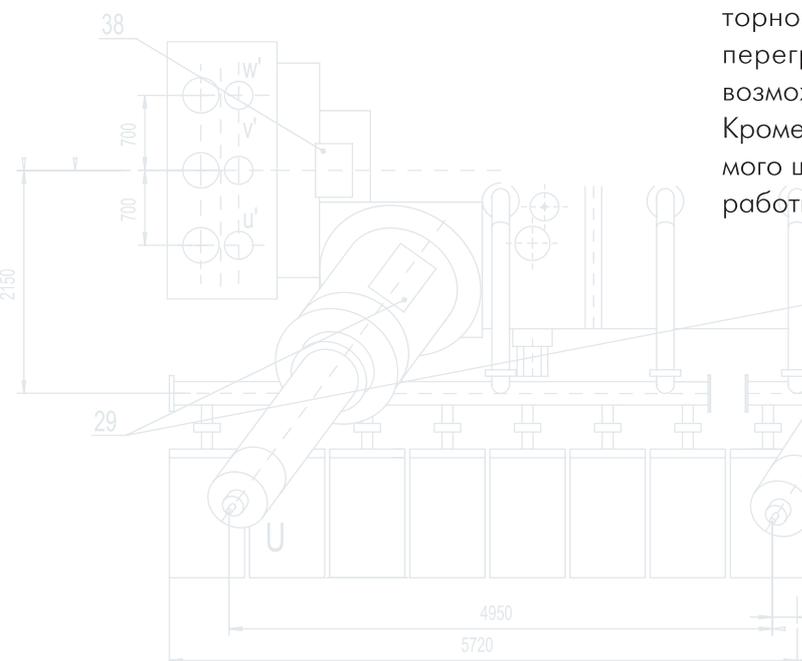




При необходимости выполнения быстрого перехода реактора из одного квазиустановившегося режима в другой реализуется схема форсировки/расфорсировки реактора.

Конструктивно, может быть обеспечена любая требуемая скорость изменения мощности реактора. Однако, в результате практического использования УШР был определен оптимальный баланс между быстродействием реактора и мощностью системы подмагничивания: скорость набора/сброса мощности за 0,3-1 сек., мощность системы подмагничивания – 1–2% номинальной мощности реактора. В зависимости от предъявляемых требований, УШР настраивается таким образом, чтобы осуществлять либо стабилизацию уровней напряжения, либо величины потребляемой реактивной мощности, либо величины потребляемого тока.

Управляемые реакторы, как и их неуправляемые аналоги, подразделяются на шинные и линейные. В зависимости от этого, в конструкцию УШР вводится дополнительный элемент, обеспечивающий предварительное подмагничивание электромагнитной части и последующее безынерционное включение реактора (со временем набора мощности менее одного периода промышленной частоты). Как и любое трансформаторное оборудование, УШР допускает длительную перегрузку по току до 120–130%, а также имеет возможность кратковременной перегрузки до 200%. Кроме того, УШР выполняет все функции неуправляемого шунтирующего реактора, включая возможность работы в паузе ОАПВ.



ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СЕРИИ УШР

10

В результате взаимодействия разработчиков и производителей УШР с эксплуатирующими и проектными организациями, диспетчерскими центрами и системными операторами, в 90-х годах на мощностях ПАО «Запорожтрансформатор» были разработаны и запущены в серийное производство наиболее перспективные типы управляемых шунтирующих реакторов. В проектировании и производстве управляемых шунтирующих реакторов ПАО «ЗТР» применяются запатентованные технические решения, автором которых является д.т.н. профессор Брянцев А.М., Россия. При этом продолжается освоение производства УШР другой мощности и другого номинального напряжения. Новые проекты реализуются заводом в течение 6–9 месяцев, включая разработку конструкторской и проектной документации.

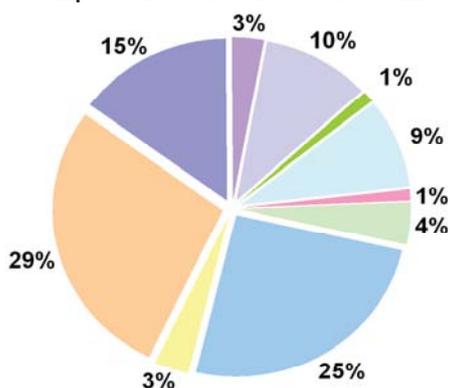
Номинальные параметры выпускаемых УШР

Тип	Мощность, кВАр	Напряжение, кВ	Ток, А
РТУ 25 МВАр, 35 кВ	25 000	38,5 (40,5)	375
РТУ 25 МВАр, 110 кВ	25 000	121 (126)	119
РТУ 63 МВАр, 110 кВ	63 000	121 (126)	300
РТУ 25 МВАр, 220 кВ	25 000	242 (252)	60
РТУ 60 МВАр, 220 кВ	60 000	242 (252)	143
РТУ 63 МВАр, 220 кВ	63 000	242 (252)	151
РТУ 100 МВАр, 220 кВ	100 000	242 (252)	239
РТУ 180 МВАр, 330 кВ	180 000	347 (363)	300
РТУ 100 МВАр, 400 кВ	100 000	420 (420)	138
РТУ 180 МВАр, 500 кВ	180 000	525 (550)	198
РТУ 180 МВАр, 500 кВ	3x60 000	525 (550)	198





Мощность изготовленных УШР

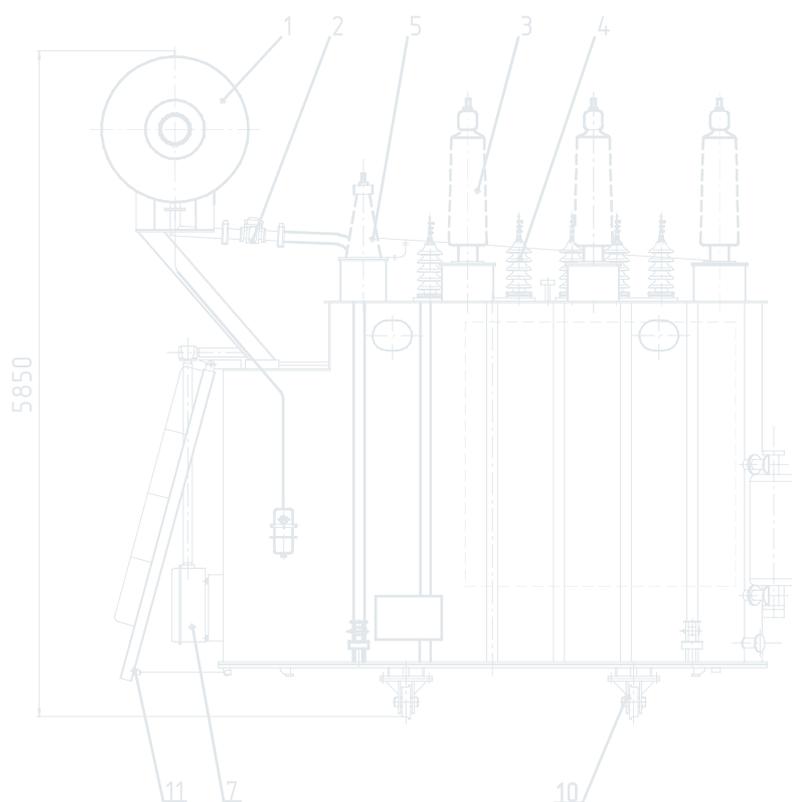


- РТУ 25 МВАр, 35 кВ
- РТУ 25 МВАр, 110 кВ
- РТУ 63 МВАр, 110 кВ
- РТУ 180 МВАр, 330 кВ
- РТУ 60 МВАр, 220 кВ
- РТУ 63 МВАр, 220 кВ
- РТУ 100 МВАр, 220 кВ
- РТУ 100 МВАр, 400 кВ
- РОДУ 60 МВАр, 500 кВ (РТУ 180 МВАр, 500 кВ)
- РТУ 180 МВАр, 500 кВ

География и объем поставок управляемых шунтирующих реакторов имеет постоянную тенденцию к увеличению. По сравнению с периодом 1999–2004 гг., когда только несколько единиц оборудования было установлено в электрических сетях Российской Федерации, на сегодняшний день УШР установлены в России, Беларуси, Казахстане, Литве и Анголе. Общее количество этих реакторов составляет 90 единиц.

Общая установленная мощность УШР превышает 6000 МВАр.

В количественном выражении наибольшее распространение нашли управляемые реакторы мощностью 25 МВАр, напряжением 110 кВ. При этом большинство из них введено в эксплуатацию совместно с батареями статических конденсаторов, что позволяет в полном объеме обеспечить все функциональные возможности статических тиристорных компенсаторов.



СОСТАВ КОМПЛЕКСА УШР

12

В состав комплекса управляемого шунтирующего реактора входят следующие три основных элемента:

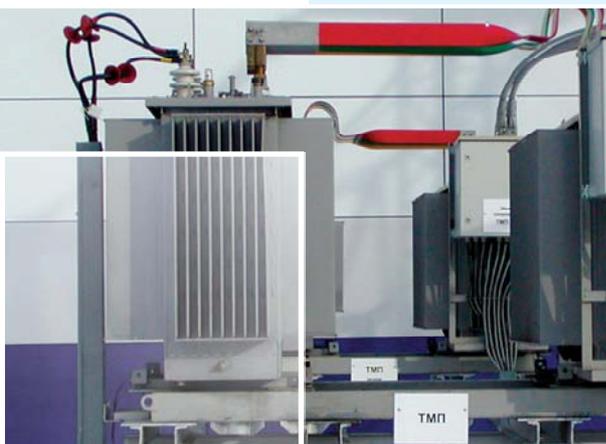
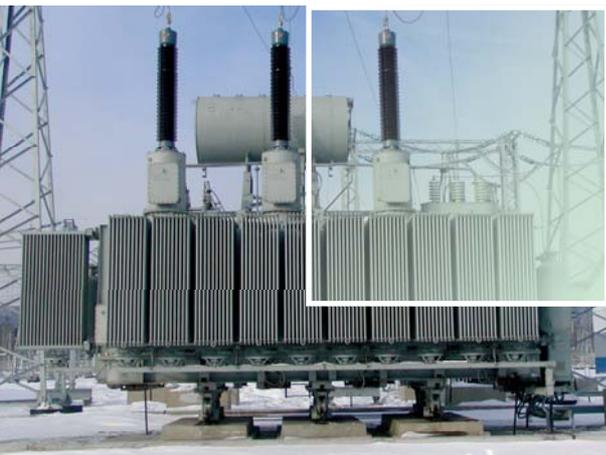
- электромагнитная часть реактора трехфазного (типа РТДУ) или однофазного (типа РОДУ) исполнения;
- система подмагничивания;
- система автоматического управления.

При необходимости по требованию заказчика УШР дополнительно комплектуется:

- резервной фазой типа РОДУ;
- заземляющим реактором;
- системой мониторинга, контролирующей состояние изоляции высоковольтных вводов, появление растворенных в масле реактора опасных газов, контроль влагосодержания, температурный режим обмоток и масла, а также обрабатывает показания контрольно-измерительной аппаратуры и контрольных сигналов защитной аппаратуры.
- системой пожаротушения.

Электромагнитная часть УШР в свою очередь включает сетевую обмотку (СО), подключенную непосредственно к электрической сети, а также компенсационную обмотку (КО) и обмотку управления (ОУ), которые в некоторых конструктивных решениях выполняются совмещенными. Сетевая обмотка служит для непосредственного потребления реактивной мощности из сети, в то время как обмотка управления решает задачу подмагничивания электромагнитной части реактора. Компенсационная обмотка используется для замыкания в ней гармоник, кратных трем, и питания трансформатора преобразовательного блока.





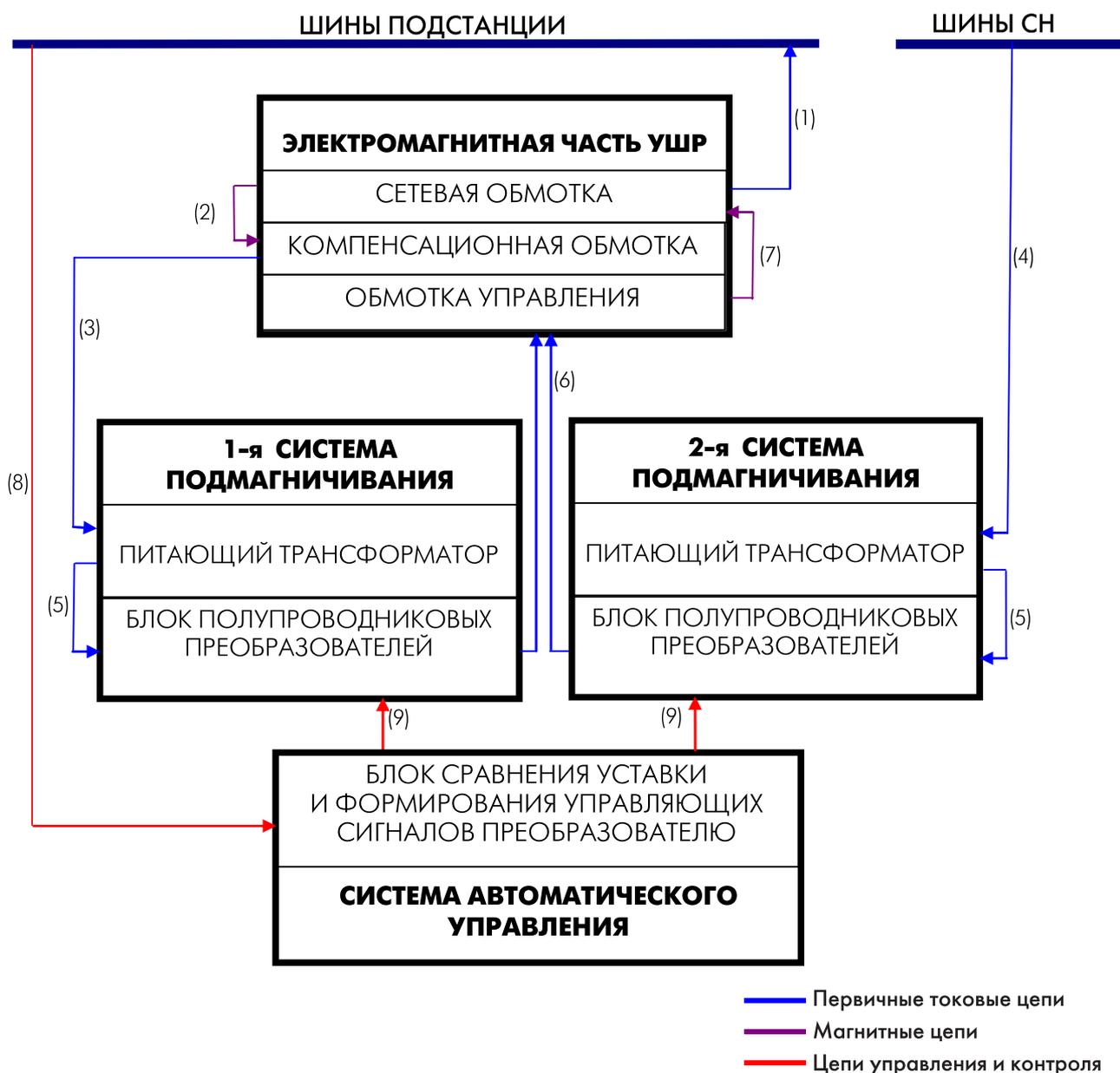
Система подмагничивания УШР состоит из питающих масляных трансформаторов и блоков полупроводниковых преобразователей. Система подмагничивания предназначена для регулирования величины выпрямленного тока в обмотке управления, что осуществляется за счет изменения значения выпрямленного напряжения преобразовательного блока. При этом величина тока подмагничивания определяется углом открытия вентилях полупроводниковых преобразователей, питание которых осуществляется от однофазных или трехфазных трансформаторов.

В зависимости от конструкции УШР питающие трансформаторы могут иметь трехфазное или однофазное исполнение. В целях повышения надежности работы системы подмагничивания, резервирования и обеспечения возможности безынерционного включения УШР один из преобразовательных блоков питается через свой трансформатор от собственных нужд подстанции, в то время как второй – непосредственно от компенсационной обмотки реактора. Номинальная мощность системы подмагничивания не превышает одного, двух процентов номинальной мощности реактора.

Система автоматического управления представляет собой электронное устройство, выполненное в виде стандартного шкафа. Система автоматического управления предназначена для выработки командных сигналов преобразовательным блокам. По цепям обратной связи она подключается к шинному или линейному трансформатору напряжения подстанции. В зависимости от величины рассогласования значений фактического и заданного напряжения (тока) формируется сигнал на изменение угла открытия тиристоров преобразовательного блока, что приводит к изменению уровня подмагничивания стержней реактора и соответственному увеличению/уменьшению потребляемой реактивной мощности.

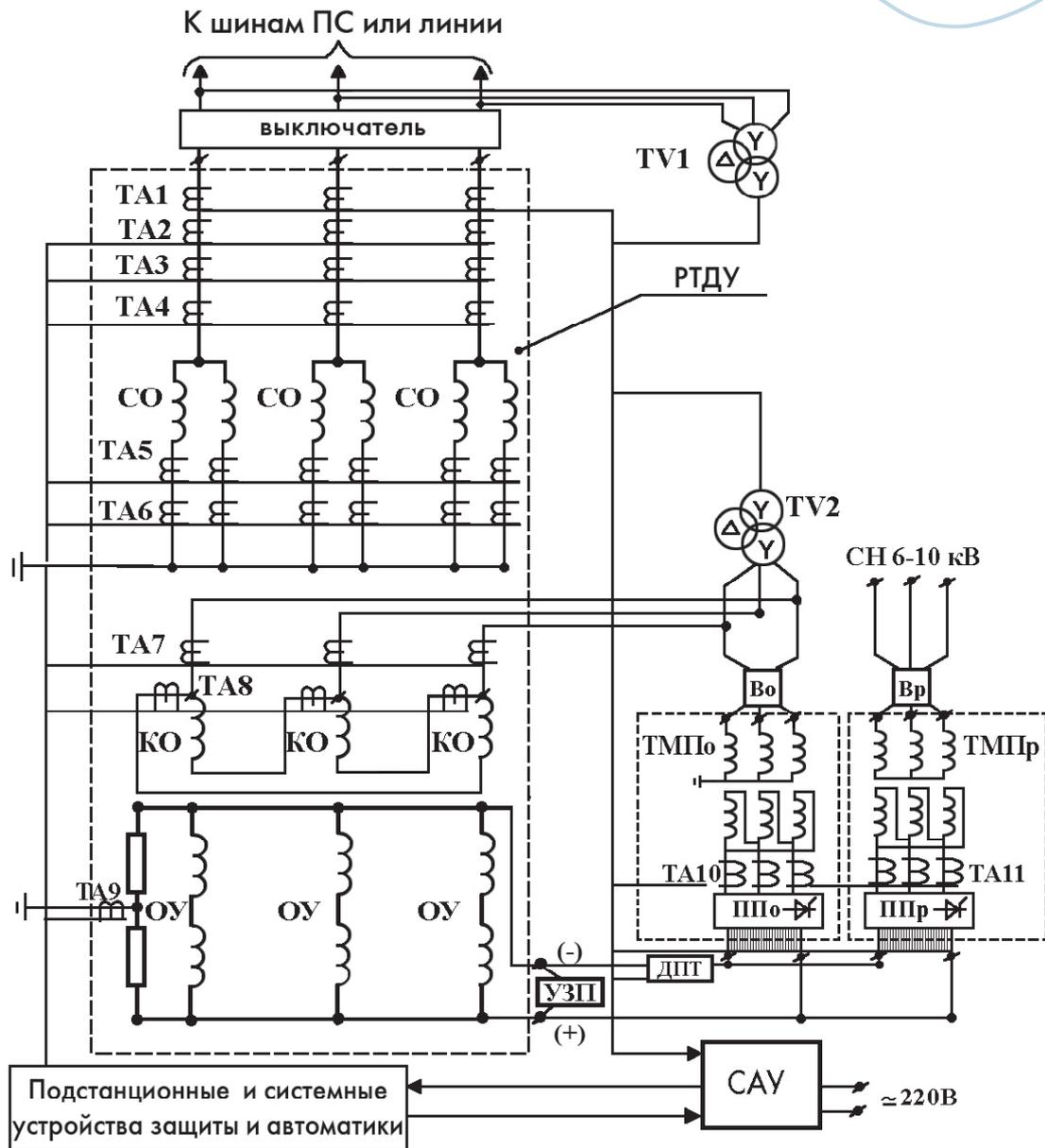
ОДНОЛИНЕЙНАЯ БЛОК-СХЕМА ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЯЕМОГО ШУНТИРУЮЩЕГО РЕАКТОРА

14



- (1) Высоковольтные цепи подключения реактора к шинам подстанции
- (2) Электромагнитная связь СО и КО
- (3) Цепь подключения питающего трансформатора
- (4) Цепь питания системы подмагничивания от СН подстанции
- (5) Цепи питания преобразовательного блока
- (6) Цепи ввода энергии в обмотку управления для изменения тока подмагничивания
- (7) Цепи изменения величины подмагничивания стержней реактора
- (8) Цепи контроля уровня напряжения на шинах подстанции для сравнения с заданной уставкой
- (9) Цепи управления для передачи команд на изменение угла открытия тиристоров преобразовательного блока

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ШУНТИРУЮЩЕГО РЕАКТОРА 220-500 КВ



Обозначения и сокращения:

1. РТДУ - трехфазная электромагнитная часть реактора
2. СО - сетевая обмотка
3. КО - компенсационная обмотка
4. ОУ - обмотка управления
5. ТМП - трансформатор подмагничивания с преобразователем
6. ПП - полупроводниковые трехфазные преобразователи
7. САУ - система автоматического управления
8. УЗП - устройство защиты от перенапряжений
9. ДПТ - датчик постоянного тока
10. TV - трансформатор напряжения
11. ТА - трансформатор тока
12. В - выключатель



СТАТИЧЕСКИЕ КОМПЕНСАТОРЫ НА БАЗЕ УШР

17

Конструкция статического компенсатора на базе УШР состоит из параллельно подключенных к шинам подстанции управляемого реактора и батареи статических конденсаторов (БСК). По своим функциональным возможностям подобное решение полностью соответствует классическим конструкциям статических тиристорных компенсаторов (СТК). При этом управляемый реактор выполняет роль переменной индуктивности, а БСК может быть секционирована на несколько групп, с целью обеспечения возможности ее ступенчатого регулирования. Общая система автоматического управления осуществляет не только регулирование величины потребляемой УШР реактивной мощности, но и формирует управляющие сигналы на включение/отключение выключателей БСК, как показано на схеме 1. Выбор мощности и количества секций БСК выполняется исходя из условия минимизации числа коммутаций выключателей, что в ряде случаев позволяет полностью избежать операций по включению/отключению батарей, либо выполнять их сезонно, дважды в год.

Структурная схема статического компенсатора на базе УШР

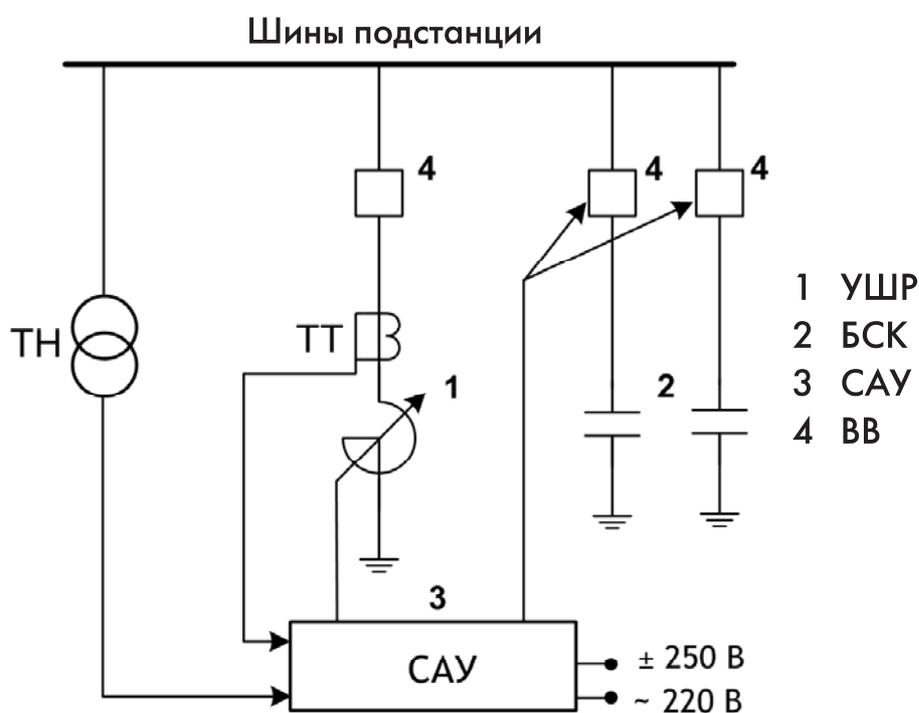


Схема 1



В отличие от классических конструкций СТК, статические компенсаторы на базе УШР не содержат на высокой стороне тиристорного встречно-параллельного вентиля на полную мощность. Максимальное напряжение, на которое изготавливаются тиристорные вентили, не превышает 35 кВ, что обуславливает необходимость использования повышающего трансформатора для подключения классического СТК, как показано на схеме 2.

Отсутствие повышающего трансформатора в статических компенсаторах на базе УШР позволяет повысить эффективность регулирования напряжения и добиться значительного удешевления устройства, как показано на схеме 3. Это в первую очередь связано с тем, что повышающий трансформатор имеет собственное сопротивление, в результате чего часть мощности СТК поглощается трансформатором и не используется для регулирования уровней напряжения на высокой стороне. Таким образом, присутствует постоянное расхождение между целевым воздействием СТК и фактическим эффектом регулирования на шинах высокого напряжения. Кроме того, дорогостоящая конструкция СТК вынуждено удорожается на стоимость повышающего трансформатора, что не позволяет обеспечить эффективный срок окупаемости устройства.



Подключение к сети СТК

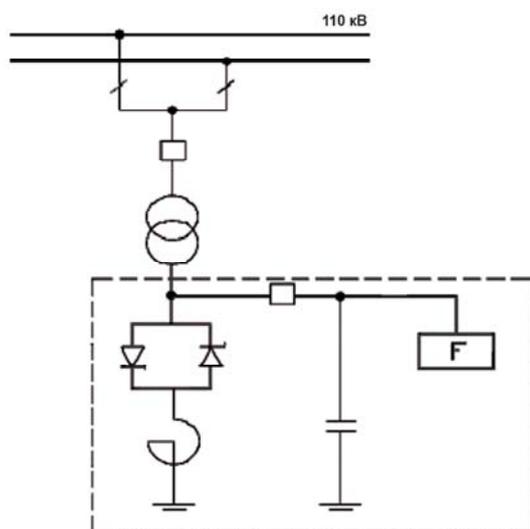


Схема 2



В некоторых случаях производители классических конструкций СТК используют прямое включение СТК в сеть через третичную обмотку автотрансформатора, как показано на схеме 4. Такой подход не требует установки повышающего трансформатора, однако тоже имеет ряд недостатков. Включение СТК в третичную обмотку автотрансформатора приводит к его дополнительной загрузке по реактивной мощности и соответственному снижению пропускной способности. Более того, чем больше величина перетока по автотрансформатору, тем больше величина падения напряжения на нем. Для поддержания заданных уровней напряжения СТК вынужден генерировать все большее количество реактивной мощности и тем самым все более снижать пропускную способность автотрансформатора. В итоге, это может привести к перегрузке автотрансформатора и ограничения передаваемой им мощности. Кроме того, при регулировании уровней напряжения в третичной обмотке, реактивная мощность от источника перераспределяется как в сторону высокого напряжения, так и в сторону среднего напряжения автотрансформатора. Поэтому регулировочный диапазон СТК в третичной обмотке никогда не может быть использован полностью.



Подключение к сети СТК на базе УШР

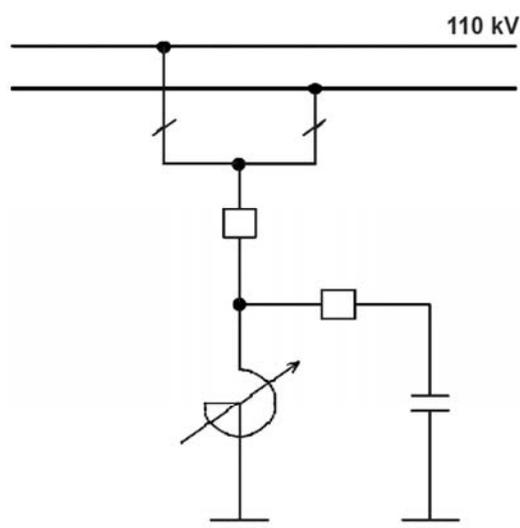


Схема 3

Применение статического компенсатора на базе УШР позволяет более гибко подходить к вопросу компенсации реактивной мощности и снижения потерь электроэнергии, как показано на схеме 5. Не все элементы статического компенсатора могут быть подключены к одной точке электрической сети. В некоторых случаях могут применяться схемы, когда на одной и той же подстанции УШР и батареи конденсаторов подключаются к шинам разных напряжений. При этом реактор обычно включается на шины высокого напряжения и служит для компенсации избытков реактивной мощности, генерируемой высоковольтными линиями электропередачи. Дополнительно он обеспечивает стабилизацию и поддержание оптимальных уровней напряжения в условиях резко-переменного суточного графика напряжения. Батарея конденсаторов подключается на шины низкого напряжения и служит для обеспечения требуемого качества напряжения у потребителя. При таком подходе УШР используется для соблюдения общесистемных критериев по надежности передачи мощности высоковольтными системообразующими сетями, а батарея конденсаторов решает задачи обеспечения необходимых режимных условий работы потребителей.



Подключение СТК в третичную обмотку трансформатора

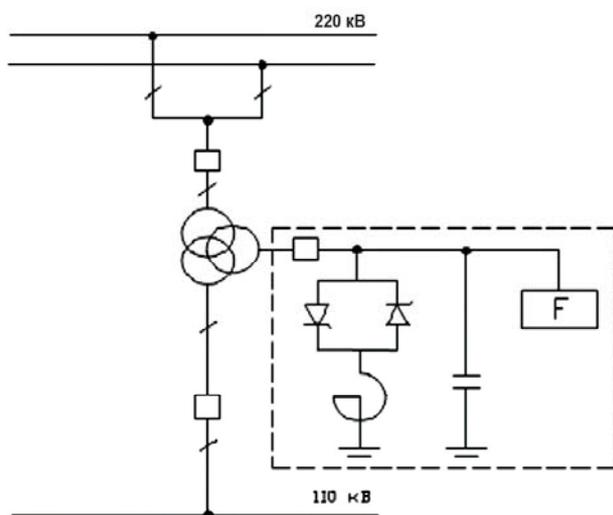


Схема 4



При неизменной нагрузке подключенных к шинам низкого напряжения потребителей такая схема подключения статического компенсатора на базе УШР позволяет довести переток реактивной мощности через подстанционный трансформатор до нуля, обеспечивая тем самым существенное снижение потерь электроэнергии.

К дополнительным преимуществам СТК на базе УШР относятся:

- высокая надежность, обусловленная схожестью с обычным трансформаторным оборудованием;
- отсутствие мощных фильтров высших гармоник;
- отсутствие требований к специальной подготовке обслуживающего персонала;
- отсутствие необходимости в водяном охлаждении мощных тиристорных вентилей;
- условия эксплуатации, аналогичные обычному трансформаторному оборудованию;
- более низкая стоимость.



Варианты включения статического компенсатора на базе УШР

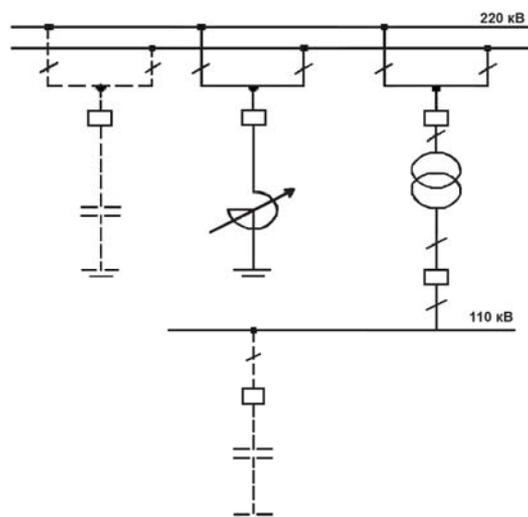


Схема 5

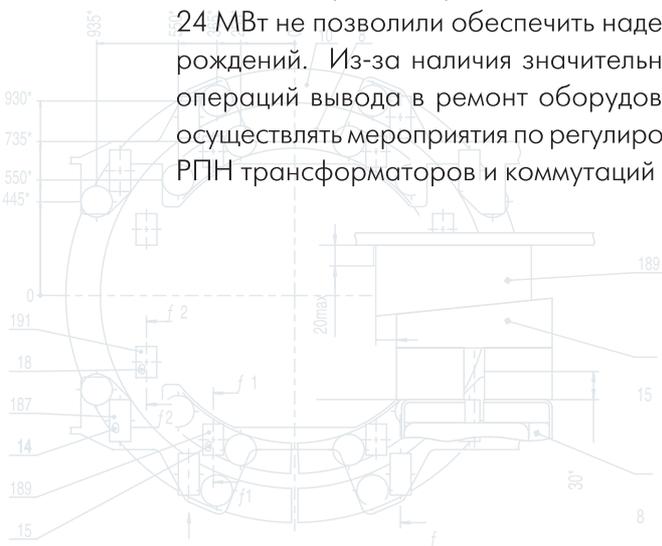


ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАТИЧЕСКИХ КОМПЕНСАТОРОВ НА БАЗЕ УШР В СЕТЯХ КРУПНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Одним из характерных примеров использования УШР в распределительных электрических сетях является эффективная эксплуатация трех реакторов РТУ 25 МВАр, 110 кВ на подстанциях 110 кВ «Двуреченская», «Катыльгинская», «Игольская».

К концу 2003 года в сетях, осуществляющих электроснабжение нефтяных месторождений ОАО «Томскнефть» сложилась критическая ситуация. В течение предшествующих нескольких лет в данном регионе наблюдался постоянный рост уровня электропотребления. Суммарная протяженность распределительной сети 110 кВ, по которой непосредственно обеспечивалось электроснабжение потребителей, составляло более 700 км. Питающая магистральная сеть 220 кВ была спроектирована в виде замкнутого кольца двух транзитов, в полном соответствии с требованиями критерия № 1 по сохранению надежности электроснабжения в аварийных ситуациях. Однако, в связи с большой разностью фаз напряжения на концах транзита его замыкание было невозможно. В этих условиях уровни напряжения на шинах подстанций 110 кВ оказались значительно пониженными и практически не превышали 85% номинального значения, или 90 кВ. Как следствие снижения уровней напряжения в условиях постоянного роста электропотребления, пропускная способность питающих линий электропередачи была полностью исчерпана. При этом нагрузка месторождений, состоящая на 90-95% из асинхронных и синхронных электродвигателей, была крайне неустойчива к возмущениям в системе электроснабжения (короткие замыкания, вывод в ремонт/ввод из ремонта ВЛ-110кВ, сброс/наброс нагрузки). Каждое из указанных возмущений, как правило, приводило к практически полному «развалу» подключенной нагрузки по всему транзиту с ростом уровней напряжения до 128-130кВ. Производственные мощности ОАО «Томскнефть» столкнулось с проблемой значительных потерь нефтедобычи как из-за недопоставок электроэнергии, так и по причине частого отключения двигательной нагрузки вследствие колебаний уровней напряжения и невозможности обеспечить стабильную работу транзита 110 кВ. К концу 2004 года количество аварийных отключений нефтедобывающих потребителей достигло значения 392 откл./год (до 60 отключений в отдельные месяцы). При этом потери от невыработки нефти составили 38,5 тыс. т (более 7,5 тыс. т в отдельные месяцы).

Установка в районе трех БСК мощностью 54 МВАр каждая и включение в работу ГТС мощностью 24 МВт не позволили обеспечить надежное и качественное электроснабжение нефтяных месторождений. Из-за наличия значительных колебаний напряжения, грозовых явлений, и сложных операций вывода в ремонт оборудования эксплуатационный персонал продолжал постоянно осуществлять мероприятия по регулированию напряжений за счет переключения отпаек устройств РПН трансформаторов и коммутаций установленных БСК.





При этом эффект от коммутации одной батареи конденсаторов составлял 10-15 кВ, что по-прежнему являлось недопустимым для надежной работы расположенной рядом двигательной нагрузки. Эффект каскадных отключений потребителей нефтедобывающего производства сохранился.

Только в августе-октябре 2004 года после установки и ввода в эксплуатацию на ПС-110 «Игольская», ПС-110 «Двуреченская» и ПС-110 кВ «Катыльгинская» трех управляемых шунтирующих реакторов 25 МВАр, включенных параллельно к установленным БСК, ситуация изменилась коренным образом. Установленный статический компенсатор на базе УШР обеспечил повышение уровней напряжения в сети до величины 105-110% номинального значения и практически полностью устранила колебательные процессы как в нормальных, так и в аварийных режимах. Пропускная способность линий электропередачи 110 кВ была увеличена на 30-50%.

Даже непродолжительный период эксплуатации трех РТУ 25 МВАр, 110 кВ позволил отметить, что реакторы совместно с батареями статических конденсаторов:

- обеспечили оптимальные потоки реактивной мощности, позволяющие довести передаваемую мощность до предельно допустимой по сечению проводов величины;
- устранили необходимость перевода электропитания региона на напряжение 220кВ;
- снизили потери активной мощности в проводах ВЛ-110кВ с 11,9 МВт до 7,5 МВт, то есть более чем на 35%.
- обеспечили плавную автоматическую стабилизацию заданных уровней напряжения, сокращение числа коммутаций БСК и переключений устройств РПН в десятки раз.

Эффект каскадных отключений потребителей был полностью устранен. Аварийное отключение части двигательной нагрузки не приводило более к скачкам напряжения и не сказывалась на работе оставшейся части нефтедобывающих мощностей. Значительно была упрощена процедура коммутаций линий электропередачи, и другого электротехнического оборудования, что позволило выполнять ремонтные и профилактические работы без угрозы перерыва электроснабжения потребителей. При этом аварийные отключения в нефтедобывающей отрасли сократились до единичных случаев, а потери нефтедобычи были снижены более чем в 50 раз. В этих условиях срок окупаемости трех установленных управляемых шунтирующих реакторов составил менее 1 месяца.



ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УШР В СЕТЯХ 220-110 КВ

24

Эффективность использования УШР в сетях 220-110 кВ можно проанализировать на примерах их установки на ПС «Кудымкар» и ПС «Чита».

Питание подстанции «Кудымкар» от энергосистемы Пермэнерго осуществляется по двум линиям 110 кВ протяженностью более 100 км. Резко переменный суточный и сезонный график нагрузок при значительной удаленности от центра питания приводил к регулярным отклонениям напряжения в пределах от 97 кВ до 120 кВ. При этом ежедневно осуществлялась коммутация существующей конденсаторной батареи (число коммутаций доходило до 800 раз в год) и постоянное переключение отпаек устройств РПН трансформаторов (порядка 1800 переключений в год). Броски напряжения при коммутации конденсаторов достигали 10-15 кВ. Ситуация усугублялась наличием отходящих на север тупиковых линий 110 кВ, длина которых также превышает 100 км.

Наряду со значительными отклонениями напряжения, а также износом выключателей и устройств РПН в энергосистеме наблюдались избыточные потери мощности, вызванные неоптимальными потоками реактивной мощности.

В результате выполнения ТЭО применения реактора на подстанции «Кудымкар» было определено, что существующие проблемы могут быть устранены за счет установки на ПС «Кудымкар» управляемого шунтирующего реактора. УШР в блоке с батареей статических конденсаторов, которая уже была установлена на подстанции ранее, обладает той же функциональностью, что и аналогичная по мощности классическая конструкция статического тиристорного компенсатора (СТК). Это заключение было впоследствии полностью подтверждено практической эксплуатацией УШР. Более того, в отличие от СТК, управляемый реактор с БСК имеет не только значительно меньшую стоимость изготовления, но и существенно более низкие затраты на монтаж и эксплуатацию, поскольку основное высоковольтное оборудование реактора не отличается по условиям монтажа и эксплуатации от аналогичных по напряжению и мощности трансформаторов или неуправляемых реакторов, не требует закрытых помещений и высококвалифицированного специализированного персонала.





После 9 месяцев эксплуатации реактора на базе предприятия Северных электрических сетей ОАО «Пермэнерго» был проведен семинар с участием ведущих специалистов энергетической отрасли России. Во время семинара были проанализированы регистрограммы работы УШР. Участники семинара приняли следующее решение:

- колебания напряжения в точке подключения в режиме автоматической стабилизации ограничены величиной 1,5 % относительно напряжения уставки;
- число коммутаций БСК и РПН сократилось примерно в 100 раз и выполняются в среднем один раз в месяц;
- в часы максимумов графика нагрузок потери электроэнергии в прилегающей сети снижены на 2,5 МВт, что обеспечивает окупаемость реактора менее, чем за три года;
- в режиме автоматической работы реактор не требует вмешательства эксплуатационного персонала;
- обеспечено бесперебойное электроснабжение потребителей Коми-Пермяцкого автономного округа, что позволило отложить строительство новой линии 220 кВ на 10–15 лет;
- за время эксплуатации с сентября 1999 года аварийные отключения реактора и ложные срабатывания релейной защиты отсутствовали.

В 2001 году, на шинах 220 кВ ПС-500 кВ Чита был установлен трехфазный УШР типа РТУ 100 МВАр, 220 кВ. До его установки в системе Читаэнерго из средств регулирования реактивной мощности имелось два неуправляемых шунтирующих реактора мощностью по 100 МВАр, установленных на шинах ТЭЦ-1 и Харанорской ГРЭС. При этом реактор на шинах ТЭЦ-1 в летний период коммутировался выключателем не менее двух раз в сутки. Использование управляемого реактора, имеющего возможность неограниченное количество раз изменять свою мощность в пределах регулировочного диапазона, позволило избежать указанных коммутаций. Были устранены резкие изменения напряжения в сети 220 кВ и ежегодные двухразовые ремонтные (ревизионные) работы на выключателях присоединений.





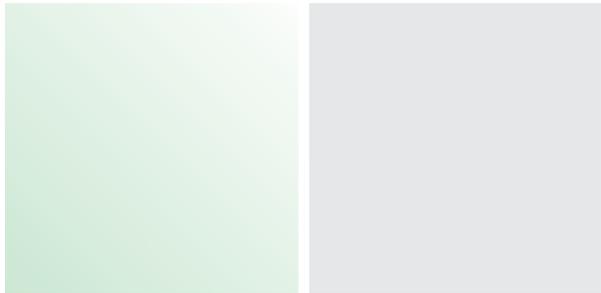
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УШР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОМПЛЕКСНОЙ НОРМАЛИЗАЦИИ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ В МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЯХ

27



В результате снижения величины потребления, произошедшего в энергосистеме Беларуси начиная с 1991 года, в магистральной системообразующей сети 750-330 кВ появились значительные избытки реактивной мощности, которая ранее служила для обеспечения транспортировки больших объемов электроэнергии. Появление избытков реактивной мощности привело к существенному повышению уровней напряжения в сетях всех классов напряжения. В условиях отсутствия достаточного количества средств компенсации реактивной мощности, в минимальных нагрузочных режимах приходилось применять ряд неэкономичных эксплуатационных мероприятий, приводящих к большим дополнительным потерям энергии. К этим мероприятиям в частности относились: отключение в резерв по режиму напряжения части линий 330 кВ для уменьшения суммарной зарядной мощности сети, массовое отключение конденсаторных батарей у потребителей, использование синхронных компенсаторов и генераторов в режиме потребления избыточной реактивной мощности, частое использование изношенных устройств РПН автотрансформаторов.

Задача нормализации уровней напряжения в энергосистеме Беларуси должна была решаться комплексно с учетом всех изменившихся условий работы как магистральных, так и распределительных сетей. Для определения мероприятий по нормализации уровней напряжения РУП «Белэнергосетьпроект» был выполнен комплекс научно-исследовательских и проектно-испытательных работ. В результате этих работ была определена необходимость использования четырех шунтирующих реакторов (комбинации управляемые ШР–неуправляемые ШР) напряжением 330 кВ и мощностью 180 МВАр каждый. Как показал проведенный экономический анализ, существовавшие в энергосистеме дополнительные потери электроэнергии от перетоков избыточных объемов реактивной мощности оказались столь велики, что установка шунтирующих реакторов окупается менее чем за пять лет.





ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УШР НА ДЛИННЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНЗИТАХ

28

Омская энергосистема является частью энергосистемы Сибири (Россия). По длинному транзиту 500 кВ, который проходит по территории Омской области, осуществляется связь энергосистемы России с энергосистемой Казахстана. От надежности работы транзита зависит устойчивое электроснабжение Омской области, а также эффективность параллельной работы энергосистемы Сибири с основной частью энергосистемы России. Негативной особенностью сети Омской энергосистемы является зависимость показателей ее работы от транзитных перетоков мощности, которые носят реверсивный характер. Это, в частности, приводило к колебаниям напряжения на шинах 500 кВ ПС «Таврическая» до 40 кВ в течение суток. В режимах раздельной работы энергосистемы Сибири с энергосистемой Казахстана надежность электроснабжения потребителей региона (в том числе и Омской энергосистемы) была понижена. В 2000 году, после перехода на параллельную работу по связям 500–220 кВ уровень надежности был повышен, однако управление режимом напряжения было еще более усложнено. В Омской энергосистеме стали наблюдаться стабильно повышенные уровни напряжения, для снижения которых в режимах минимальных перетоков активной мощности, в ущерб надежности на ПС 500 кВ «Таврическая» отключали отходящие линии 500 кВ. Количество коммутаций неуправляемых шунтирующих реакторов достигло значения 40 раз в неделю.





В декабре 2005 года на ПС «Таврическая» был установлен управляемый реактор 500 кВ мощностью 180 МВАр. Использование УШР позволило решить следующие проблемы:

- преждевременного износа оборудования от воздействия повышенных уровней напряжения;
- преждевременной выработки ресурса выключателей УШР;
- частых коммутационных перенапряжений электрооборудования при включении или отключении шунтирующих реакторов.

Использование управляемого реактора в режиме автоматической стабилизации напряжений позволило поддерживать уровни напряжения в прилегающем районе на оптимальном и надежном уровне, не зависимо от величины перетока активной мощности по транзиту 500 кВ и величины потребления энергорайона. УШР мгновенно реагирует на короткие замыкания на отходящих линиях электропередачи и обладает всеми функциональными возможностями неуправляемого шунтирующего реактора.

В некоторых режимах для максимального использования пропускной способности транзита, напряжения на шинах ПС «Таврическая» поддерживаются УШР близкими к предельно допустимым значениям. При этом использование УШР гарантирует невозможность нарушения этих предельных значений.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАПРАВЛЕНИЯ УШР

30

1997 • усилиями ПАО «Запорожтрансформатор», ОАО Раменский электротехнический завод «Энергия», ФГУП «ВЭИ» имени Ленина и НТЦ «ВЭИ» в г. Тольятти освоен первый трехфазный управляемый шунтирующий реактор 25 МВАр, 110 кВ

1999 • первый УШР 25 МВАр, 110 кВ типа РТУ 25 МВАр, 110 кВ введен в эксплуатацию на ПС Кудымкар ОАО «Пермэнерго»

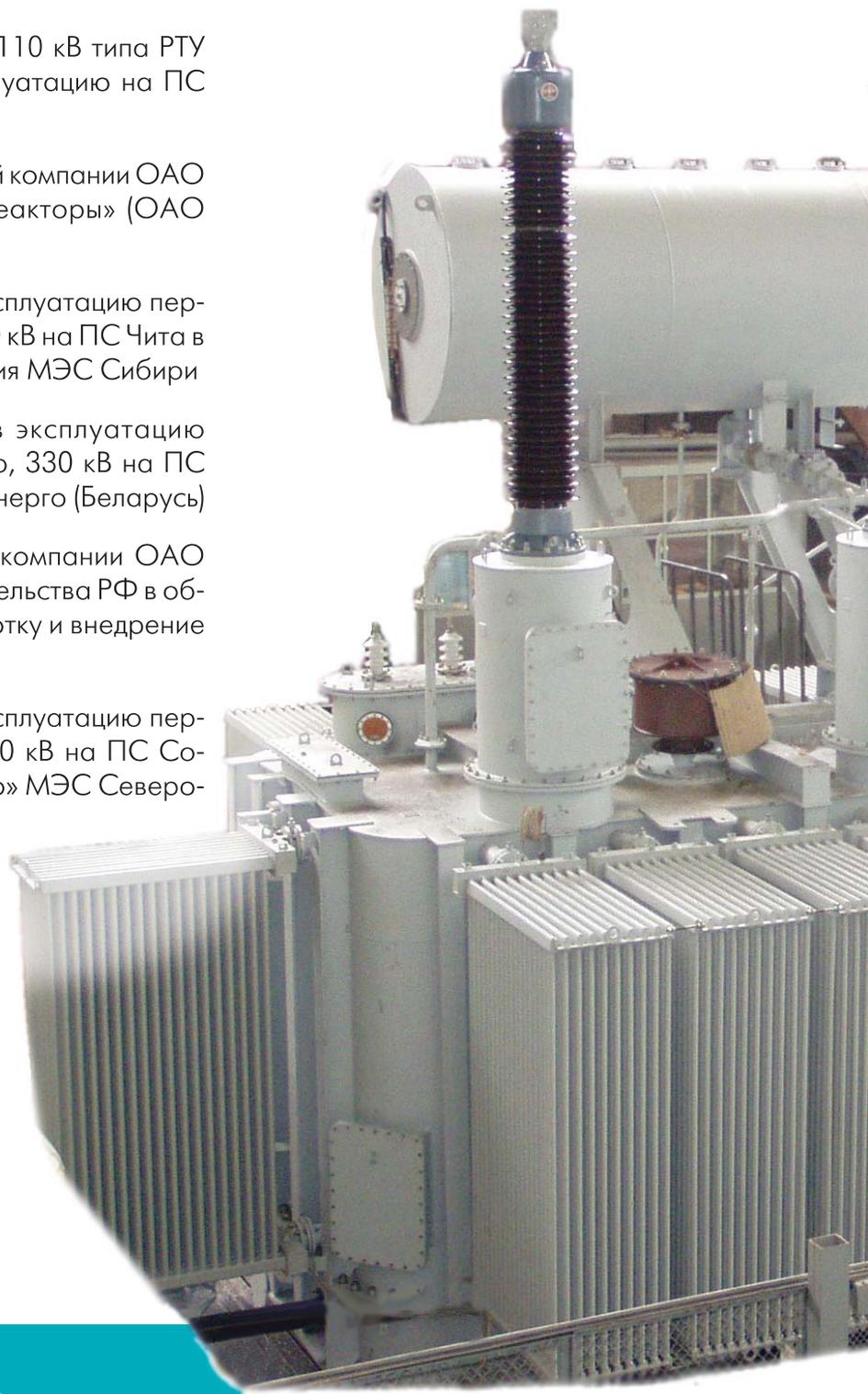
2000 • создание инжиниринговой компании ОАО «Электрические управляемые реакторы» (ОАО «ЭЛУР»)

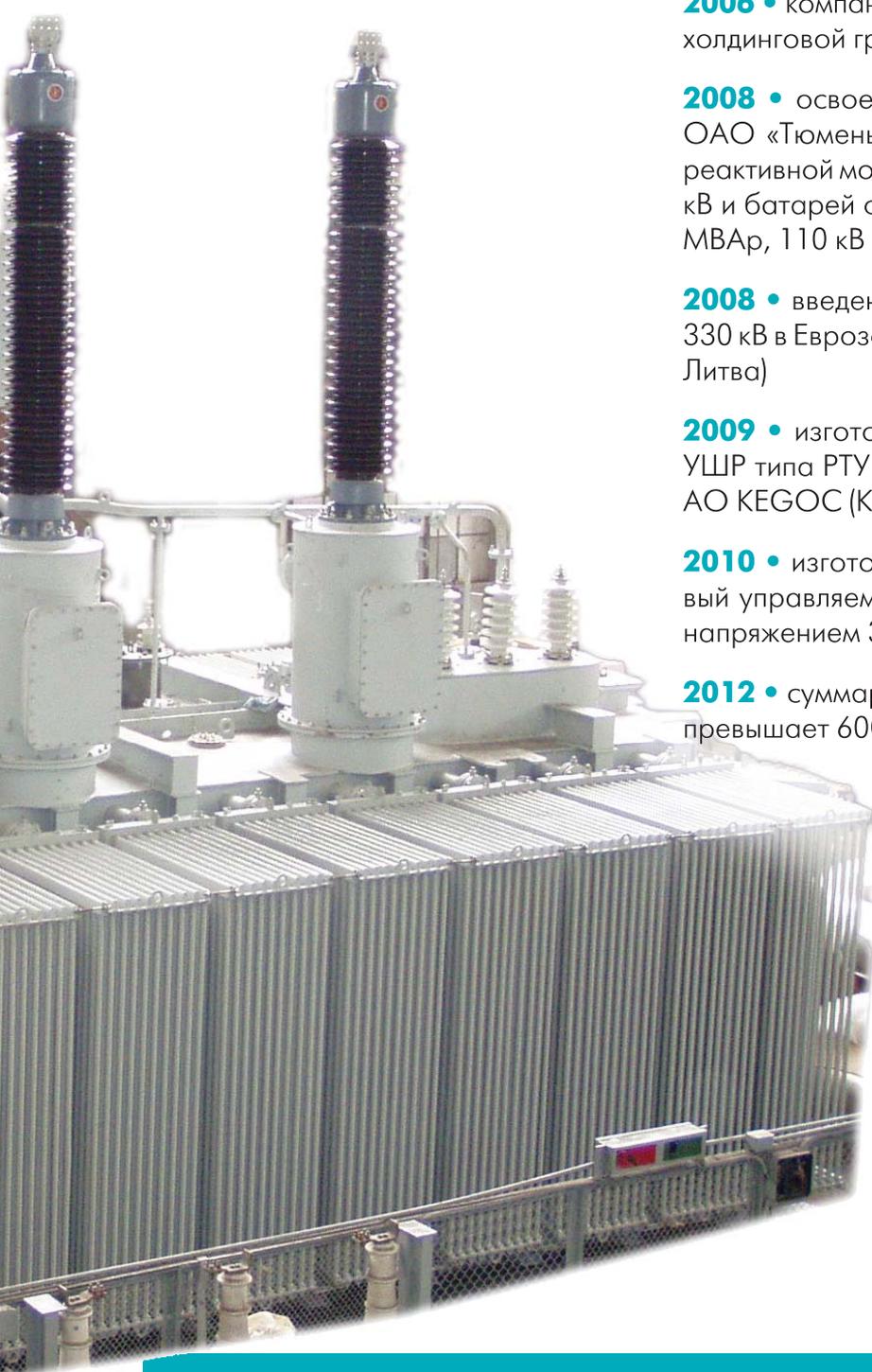
2002 • изготовлен и введен в эксплуатацию первый УШР типа РТУ 100 МВАр, 220 кВ на ПС Чита в сетях Забайкальского предприятия МЭС Сибири

2003 • изготовлен и введен в эксплуатацию первый УШР типа РТУ 180 МВАр, 330 кВ на ПС Барановичи в сетях ОАО Брестэнерго (Беларусь)

2003-2004 • представителями компании ОАО «ЭЛУР» получена премия Правительства РФ в области науки и техники за разработку и внедрение управляемых реакторов

2005 • изготовлен и введен в эксплуатацию первый УШР типа РТУ 63 МВАр, 110 кВ на ПС Советск в сетях ОАО «Янтарьэнерго» МЭС Северо-Запада





2005 • изготовлен и введен в эксплуатацию первый УШР типа РТУ 180 МВАр, 500 кВ в однофазном исполнении на ПС Таврическая в сетях Омского предприятия МЭС Сибири

2006 • компания ОАО «ЭЛУР» становится частью холдинговой группы Энергетический Стандарт

2008 • освоен и введен в эксплуатацию в сетях ОАО «Тюменьэнерго» статический компенсатор реактивной мощности на базе УШР 25 МВАр, 110 кВ и батарей статических конденсаторов БСК 25 МВАр, 110 кВ

2008 • введен первый УШР типа РТУ 180 МВАр, 330 кВ в Еврозоне (ОРУ 330 кВ Игналинской АЭС, Литва)

2009 • изготовлен и введен первый трехфазный УШР типа РТУ 180 МВАр, 500 кВ на ПС Агадырь АО КЕГОС (Казахстан).

2010 • изготовлен и введен в эксплуатацию первый управляемый реактор мощностью 25 МВАр, напряжением 35 кВ

2012 • суммарная мощность изготовленных УШР превышает 6000 МВАр

ОПЫТ ПОСТАВОК УПРАВЛЯЕМЫХ РЕАКТОРОВ

32

Тип РТУ	Кол-во	Страна	Заказчик	Объект	Год
РТУ-25000/35	7	Россия	МЭС Сибири	Селендума ПС	2010
			Нарьянмарнефтегаз	Южная Хыльчуя ПС	2009
			Якутскэнерго	Олекминск ПС	2010
РТУ-25000/110	31	Казахстан	Актогайский ГОК	Актогайский ГОК	2007
			Казахстан ТемирЖолы	Тассай ПС	2013
		Россия	Владимирэнерго	Покров ПС	2011
			Кубаньэнерго	Сочи ПС	2008
			МЭС Востока	Ургал ПС, Эльгауголь ПС	2008, 2013
			МЭС Западной Сибири	Арсенал ПС	2013
			МЭС Сибири	Приангарская ПС, Раздолинская ПС, Кызылская ПС	2009, 2010, 2012
			Сибнефть	Фоминская ПС	2007
			Промышленные предприятия	Лысенковская ПС, Технологическая ПС	2008, 2013
			Тюменьэнерго	Таврическая ПС, Сугмутская-2 ПС, Вандмтор ПС, Новогодняя ПС, Восточный ПП100	2007- 2008
			Якутскэнерго	Эльдыкан ПС	2007
Магаданэнерго	Павлик ПС	2012			
		ОАО Томскнефть	Кудымкар, Двуреченская, Игольная ПС, Капыльдинская ПС	1999- 2004	
РТУ-63000/110	1	Россия	МЭС Северо-Запада	Советск ПС	2005
РТУ-25000/220	2	Ангола	ENE	ENE / ПС Куито	2013
		Россия	Красноярская региональная энергетическая компания	Ергаки ПС	2010
РТУ-60000/220	1	Ангола	ENE	Уджи ПС	2012
РТУ-60000/230	2	Ангола	ENE	Виана ПС, Камама ПС	2008
РТУ-63000/220	6	Россия	ДВЭУК	Городская ПС, Пеледуй ПС	2012- 2013
			МЭС Сибири	Чадан ПС	2012



Тип РТУ	Кол-во	Страна	Заказчик	Объект	Год	
РТУ-100000/220	17	Казахстан	КЕГОК	Шымкент ПС	2013	
		Россия	МЭС Востока	Хабаровская ПС, Хекцир ПС, Владивосток ПС, Тында ПС, Призейская ПС, Томмот ПС, Майя ПС, Сквородино ПС	2005- 2006, 2008- 2009, 2012- 2013	
			МЭС ЗападнойСибири	Уренгой ПС, Мангазья ПС	2008, 2012	
			МЭС Сибири	Чита ПС, Ангара ПС, Таксимо ПС	2001, 2009, 2012	
			Тюменьэнерго	Надым ПС	2009	
РТУ-180000/330	3	Беларусь	Могилевэнерго РУП	Мирадино ПС	2006	
			Брестэнерго	Барановичи ПС	2002	
		Литва	Игналинская АЭС	Игналинская АЭС	2007	
РТУ-100000/400	7	Ангола	ENE	Капанда Элевадора ПС, Виана ПС, Капари ПС, Н'Зэто ПС, Сойо ПС	2012- 2013	
РТУ-180000/500 (трехфазное исполнение электромагнитной части)	6	Казахстан	КЕГОК	ЮкГРЭС ПС, Агадырь ПС	2007	
		Россия	МЭС Сибири	Озерная-2 ПС	2013	
			МЭС Урала	Озерная ПС, Тайшет ПС	2011, 2012	
РТУ-180000/500 (однофазное исполнение электромагнитной части: РОДУ-60000/500)	12 (43)	Казахстан	ЕЭК АО	Аксуская ТЭС	2009	
			Россия	МЭС Востока	Лозовая ПС, Амурская ПС	2009-2010
				МЭС ЗападнойСибири	Иртыш ПС, Луговая ПС	2009, 2011
				МЭС Сибири	Таврическая ПС, Барабинская ПС, Томская ПС, Ангара ПС, Камала ПС, Восход ПС	2005-2006, 2009-2010, 2012
		МЭС Урала		Удмуртская ПС	2011	



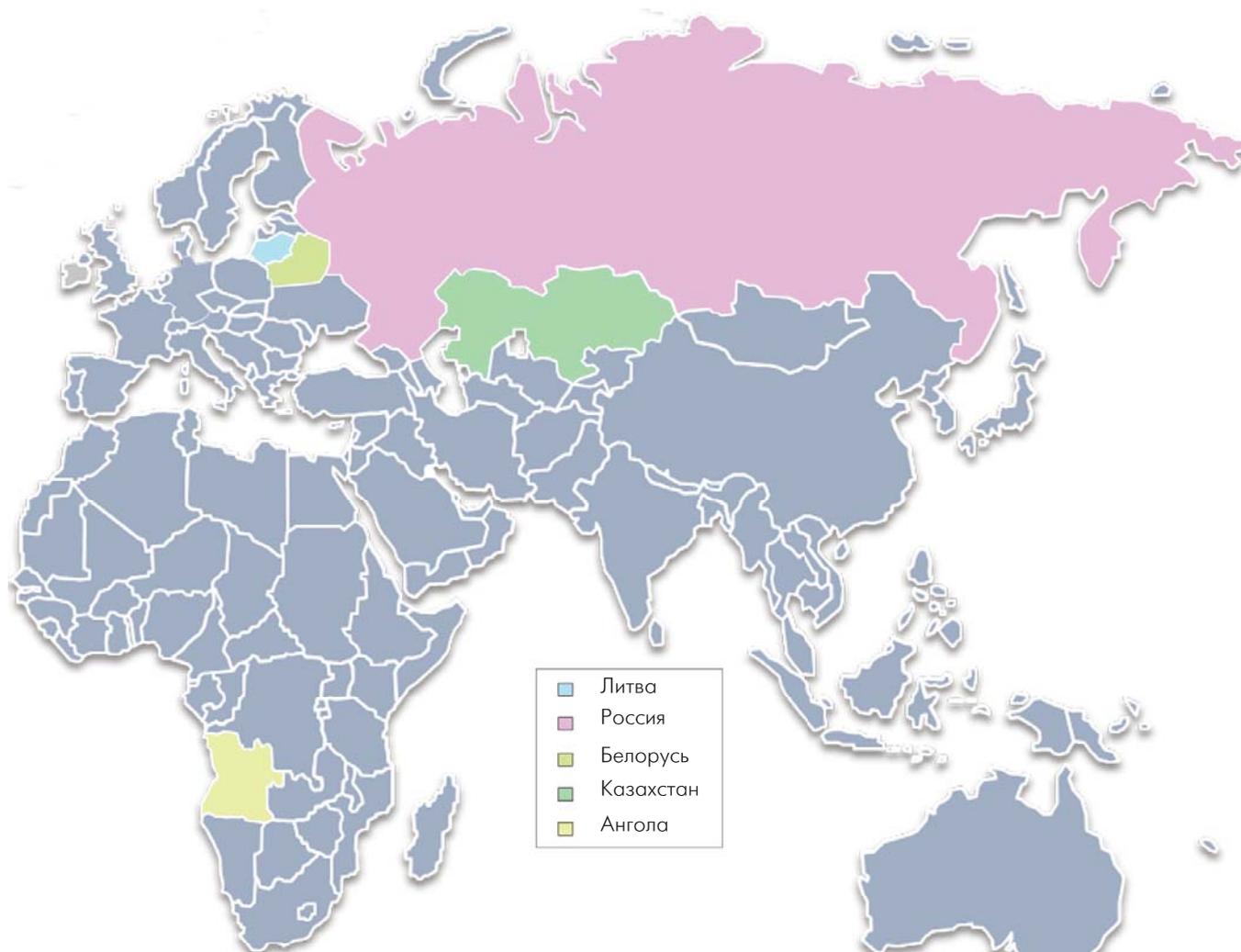
ПАО «ЗАПОРОЖТРАНСФОРМАТОР» ОАО «ЭЛУР»

Днепропетровское шоссе, 3
г. Запорожье, 69600, Украина

тел. +380 61 270 30 33
факс +380 61 270 37 39
e-mail: sales@ztr.ua
www.ztr.ua

Большая Якиманка, 17/2, стр. 1
г. Москва, 119180, РФ

тел. +7 495 230 09 72
факс +7 499 230 09 72
e-mail: elur@esgr.ru
www.elur.ru





ZTR
ZAPOROZHTRANSFORMATOR



ZTR
ZAPOROZHTRANSFORMATOR