

УПРАВЛЯЕМЫЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ИНДУКТИВНО- ЕМКОСТНОГО ТИПА НА БАЗЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ НАСЫЩАЕМЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ОДНООБМОТОЧНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РЕАКТОРОВ

Зазимко К.Г., Макарова М.А., Чобан В.Б.

Освещена история развития инновационного направления – систем стабилизации напряжения и автоматического управления параметрами высоковольтных сетей. Представлены производственные показатели, география поставок оборудования и результаты работ по совершенствованию технических параметров этих систем. Отмечено дальнейшее развитие инноваций, создание нового отечественного источника реактивной мощности для FACTS-технологии – ферро-тиристорного компенсатора.

Ключевые слова: управляемые шунтирующие реакторы; источники реактивной мощности; ферро-тиристорный компенсатор; стабилизация напряжения; компенсация реактивной мощности; интеллектуальные сети; FACTS-технологии

В последние десятилетия все более актуальным становится вопрос стабилизации напряжения в электрических сетях различного класса напряжения. Причиной тому является высокий износ электросетевого оборудования электрических сетей, который по информации из справочных изданий превышает отметку в 50% [1]. Учитывая сохраняющуюся в последние годы тенденцию сокращения объемов инвестиций в строительство новых электросетевых объектов и реконструкцию существующего физически и морально устаревшего оборудования, ситуация изменится не скоро.

Работы по созданию эффективного инновационного оборудования для автоматического регулирования напряжения были начаты еще в конце прошлого века [2]. Так, в 1989 г. коллективом российских ученых и конструкторов был создан опытно-промышленный образец однофазного шунтирующего управляемого реактора типа РОДУ-60000/500 мощностью 60 Мвар для

The history of the innovative development of constant-voltage regulation systems, and of HV grids parameters automatic control is highlighted. Performance indicators, sales of the equipment geography, and the results of these systems' technical parameters improvement are presented. Further development of innovation, the creation of a new domestic source of reactive power for FACTS-technology – ferro-thyristor compensator, are noted.

Keywords: controlled shunt reactors, reactive power sources, ferro-thyristor compensator, constant-voltage regulation, reactive power compensation, smart grids, FACTS-technology

ВЛ 500 кВ, который успешно прошел все заводские испытания и подтвердил эффективность на сетевом стенде подстанции 500 кВ «Белый Раст» ПО «Дальние электропередачи».

Следующим этапом в разработке систем стабилизации напряжения послужило создание в 1989 г. головного промышленного образца управляемого шунтирующего реактора (УШР) типа РТУ-25000/110-У1 (управляемый шунтирующий реактор 110 кВ мощностью 25 Мвар), который, совместно с установленной на подстанции 110 кВ «Кудымкар» в сетях «Пермэнерго» батареей статических конденсаторов (БСК) мощностью 52 Мвар вот уже на протяжении 15 лет эффективно решает вопросы стабилизации напряжения в сети [3].

В 2004 г. на серию реакторов УШР в установленном порядке дополнительно были разработаны и согласованы в ОАО «ФСК» технические условия ТУ 3411-001-53950285-2004 «Реакторы управляемые трехфазные

масляные тип РТУ мощностью от 32000 до 180000 квар классов напряжения 110, 220, 330 и 500 кВ».

Оборудование источников реактивной мощности (ИРМ) полностью соответствует электротехническим требованиям и внесено в «Справочник по проектированию электрических сетей» (под редакцией Д.Л. Файбисовича) в раздел «5.5. Компенсирующие устройства», с указанием номенклатуры и схем ИРМ для классов напряжения 6-500 кВ [1].

В настоящее время ООО «ЭСКО» предлагает широкий спектр технических решений по стабилизации напряжения с применением имеющегося выпускаемого промышленно оборудования [4]. Это источники реактивной мощности на базе УШР и БСК (рис. 1), являющиеся по существу первым отечественным оборудованием для FACTS-технологии – комплекса технических и информационных средств автоматического управления параметрами линий электропередачи [5].

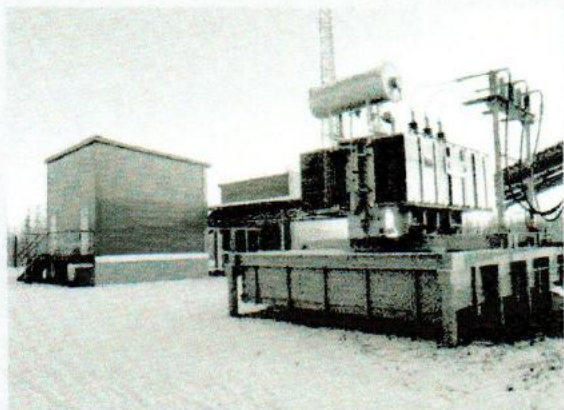


Рис. 1. Внешний вид источника реактивной мощности ИРМ-35/10/10 на базе управляемого шунтирующего реактора РТМУ-10000/35-УХЛ1 и батарей статических конденсаторов 10 МВА 35 кВ

Основное назначение ИРМ – это превращение электрической сети из «пассивного» устройства транспорта электроэнергии в «активный» элемент управления режимами работы [6]. Данное оборудование обеспечивает:

- регулирование напряжения в точке подключения в диапазоне $\pm 15\%$ от номинального напряжения;
- автоматическую стабилизацию напряжения по заданной уставке с точностью $\pm 0,5\%$;
- повышение пропускной способности прилегающей сети до 1,5 раз;
- снижение удельных потерь в сети вплоть до 30%;
- снижение уровня высших гармоник напряжения сети до требования ГОСТ [7];
- снижение предпосылок развития аварий из-за локальных аварийных возмущений в сети;
- обеспечение устойчивой работы генераторов с оптимальным $\cos\phi$.

За последние 15 лет УШР и ИРМ подтвердили свою эффективность на 86 объектах (от Заполярья до эк-

Таблица 1
География поставок УШР по состоянию на 1 августа 2014 года

	Россия	Казахстан	Ангола	Беларусь	Литва
Количество, шт. *	84	14	9	2	1
Мощность, Мвар	6264	785	785	360	180

* - в том числе в составе ИРМ

ватора) (рис. 2, 3, табл. 1). При этом объем поставок оборудования по проектам с использованием технических решений ООО «ЭСКО» за этот период составил 8374 Мвар, из них 33% в количественном исчислении в составе ИРМ (1540 Мвар), в том числе 19 УШР 6-35 кВ суммарной мощностью 325 Мвар [4].

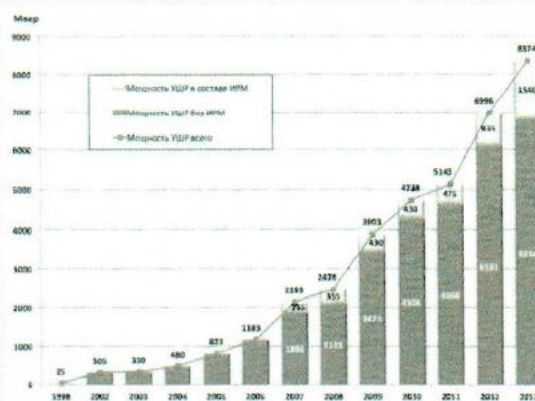


Рис. 2. Суммарная мощность произведенных УШР в динамике, 1998-2013 гг.

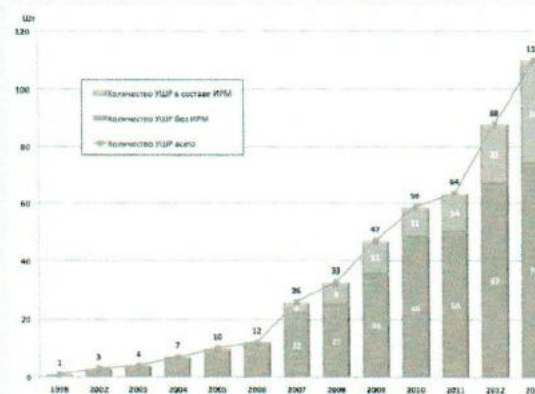


Рис. 3. Количество произведенных УШР в динамике, 1998-2013 гг.

В 2009 г. были реализованы первые системы стабилизации напряжения с применением ИРМ 35 кВ, а с 2011 г. налажено производство ИРМ с УШР 6, 10 и 35 кВ нового поколения, обладающих лучшими техническими характеристиками и меньшими массогабаритными параметрами (рис. 1). При этом потребность в данных ИРМ возникла в слабых и изношенных электрических сетях среднего напряжения региональных электросе-

Таблица 2

Линейка выпускаемого оборудования

Наименование	Номинальная мощность, Мвар				
	3,6	6,3	10	16	25
УШР 6, 10, 35 кВ для электрических сетей с изолированной нейтралью	3,6	6,3	10	16	25
УШР 110, 220, 330, 500, 750 кВ для электрических сетей с заземленной нейтралью	25	63	100	180	330
ИРМ 6 - 750 кВ на базе УШР и БСК	от ± 3,6 до ± 330				

товых и нефтедобывающих компаний, и она была технически и экономически обоснованной (рис. 3).

Основными заказчиками УШР и ИРМ являются следующие энергетические системы и организации: ОАО «ФСК ЕЭС», АО «KEGOC», АО «Lietuvos Energija», ОАО «МЭС Сибири», ОАО «МЭС Востока», ОАО «Сетевая компания» (Татарстан), ОАО «МРСК Центра и Приволжья», ОАО «МРСК Северо-Запада» «Комиэнерго», ОАО «Тюменьэнерго», ООО «Нарьянмарнефтегаз», ОАО «НК «Роснефть», ЗАО «Ванкорнефть», ОАО «ДРСК», ОАО «Газпромнефть», «ЛУКОЙЛ Оверсиз» и др.

Ассортимент выпускаемого оборудования динамично расширялся в зависимости от потребностей заказчика и на сегодня включает обширный ряд наименований (табл. 2).

На постоянной основе проводятся работы по совершенствованию оборудования. Так с учетом проведенных исследований, накопленного опыта проектирования и производства, а также исходя из анализа результатов многих заводских и сетевых испытаний, специалистами ООО «ЭСКО» проведена очередная инновационная разработка для FACTS-технологии – ферро-тиристорный компенсатор (ФТК) реактивной мощности, обладающий лучшими по сравнению с ИРМ (на базе УШР и БСК) технико-экономическими показателями.

В состав оборудования ФТК входит трансформатор с регулируемым насыщением фаз, быстродействующий регулятор насыщения фаз трансформатора, широкополосный фильтр высших гармоник и батарея конденсаторов (БСК).

Важное преимущество новых ФТК в том, что БСК подключается не к высоковольтной сети, а к относительно низковольтной обмотке специального транс-

форматора с регулируемым насыщением фаз. Это позволяет использовать существенно более простую, относительно низковольтную БСК, а также ограничивает броски тока при включении БСК (дополнительное важное увеличение надежности работы ФТК) и служит дополнительным фильтром высших гармоник. Вторичная обмотка специального трансформатора может быть также использована как дополнительный источник напряжения для питания собственных нужд подстанции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые ООО «ЭСКО» источники реактивной мощности (ИРМ) эффективно решают назревшую проблему создания надежных, быстродействующих и плавно регулируемых систем стабилизации напряжения в электрических сетях всех классов напряжения. Достаточное быстродействие и широкий диапазон регулирования реактивной мощности оптимизируют стационарные режимы работы электрических сетей и синхронных генераторов по критериям потерь мощности и устойчивости, а регулировочные возможности указанных ИРМ практически позволяют отказаться от недостаточно надежных устройств РПН трансформаторов и резко облегчить работу коммутационной аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей. М.: НЦ ЭНАС, 2012.
2. Пат. № 989597 Казахстан. Электрический реактор с подмагничиванием / Брянецв А.М. 30 июля 1981.
3. Брянецв А.М. Управляемые подмагничиванием электрические реакторы. Сб. статей. М.: Знак, 2010.
4. ООО «ЭСКО» «Высоковольтные системы стабилизации напряжения на базе УШР и БСК и перспективные разработки» // Деловая Россия. 2014. № 8.
5. N.G. Hingorani и L. Gyugyi, Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems, Wiley-IEEE Press, 1999.
6. Брянецв А.М., Базылев Б.И., Лурье А.И. и Смоловик С.В. Регулирование и стабилизация напряжения высоковольтной электрической сети управляемыми источниками реактивной мощности индуктивно-емкостного типа // Электричество. 2012. № 10.
7. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения., Москва, 1998.

Зазимко Константин Геннадьевич – зам. генерального директора по развитию ООО «Электросетевые компенсаторы» (ООО «ЭСКО»), Москва
(495) 9955228 konstantin.zazimko@eskomoscow.com

Макарова Мария Александровна – аспирант МГУ им. Ломоносова, зам. технического директора ООО «ЭСКО»
(495) 9955228 mrmakarova@gmail.com

Чобан Виктор Борисович – генеральный директор ООО «Сетевые компенсаторы реактивной мощности» (ООО «СКРМ»), Москва
(495) 7953222 victor.cioban@faramax.com

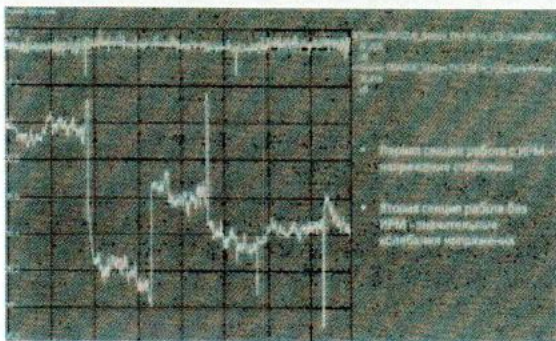


Рис. 4. Пример эффективности работы ИРМ 35/10/10 в сети 35 кВ