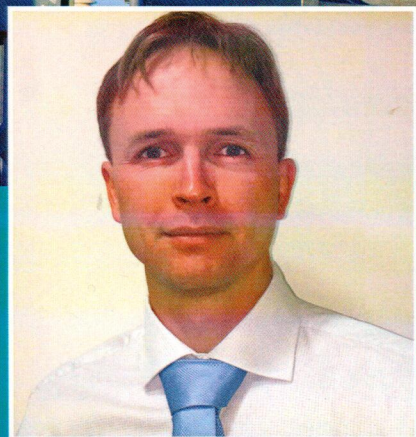


РУМ

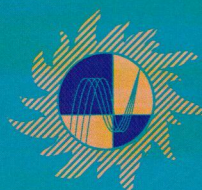
РУКОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Научно-технический журнал



*Роман Шамонов, заместитель начальника
Департамента оперативно-технологического
управления, начальник отдела электрических
режимов ПАО «ФСК ЕЭС»;*

Широкий набор технических средств по управлению качеством электроэнергии, а также практический опыт их внедрения позволяют рассчитывать на существенный прогресс в решении задачи обеспечения надежного и качественного электроснабжения потребителей России уже в ближайшее время.



АО «НТЦ ФСК ЕЭС»



4 МОДИФИЦИРОВАННАЯ СЕРИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

24 ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ (СТРОИТЕЛЬСТВА) ОПОР И ФУНДАМЕНТОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

42 ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ИСТОЧНИКОВ ИСКАЖЕНИЙ И СВОЙСТВ ПРИМЫКАЮЩЕЙ СЕТИ

56 ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО ПАО «ФСК ЕЭС» № ЖА/22/507 «ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ РЕПЕЛЛЕНТНЫХ СРЕДСТВ НА ОРУ»



Александр Новак, министр энергетики Российской Федерации

Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

От всей души поздравляю Вас с наступившим Новым 2018 годом!

Работая в стержневой отрасли российской экономики, Вы лучше других чувствуете пульс происходящих изменений, быстрее находите ответы на новые вызовы времени.

2017 год ознаменовался целым рядом знаковых для отрасли положительных изменений, многие из которых готовились ни один год. Так, по доступности электросетевой инфраструктуры Россия совершила грандиозный скачок в международном рейтинге Doing Business — с 188 на 10 место. Показатель России — лучший во всем рейтинге.

Одним из важнейших направлений нашей работы в этом году было обеспечение надёжного энергоснабжения Республики Крым. На сегодняшний день среднесуточное потребление на полуострове покрывается за счет собственной генерации и составляет порядка 1200 МВт.

Активно шла работа по подготовке к проведению в 2018 году Чемпионата мира по футболу — энергетики построили и реконструировали инфраструктуру энергоснабжения. Проведённая работа позволила без сбоев провести Кубок Конфедераций FIFA-2017.

В этом году был принят закон об «альтернативной котельной», который позволит существенно повысить эффективность и привлечь инвестиции в теплоэнергетику.

По итогам 2017 года ожидается завершение работ по объектам ВИЭ мощностью около 130 МВт, включая первый крупный ветропарк на 35 МВт в Ульяновской области.

Следующий год потребует от нас решения целого ряда острых задач. Среди них ключевыми являются: вывод из эксплуатации неэффективных, устаревших мощностей, которые сегодня ложатся дополнительной нагрузкой на потребителя; продолжение обновления фондов после завершения программы ДПМ; сокращение перекрестного субсидирования; сокращение ТСО и наведение порядка в сбытовой сфере.

Первый и очень важный шаг на пути решения этих задач нами уже сделан. В ноябре 2017 года на совещании по вопросам развития электроэнергетики Президент России В.В. Путин поддержал наше предложение о реинвестировании средств, высвобождающихся от программы ДПМ, в модернизацию оборудования. Это привлечет в отрасль около 1,5 триллионов рублей, обеспечит загрузку предприятий сферы энергетического машиностроения и создаст синергетический эффект для всей экономики.

Уверен, что имеющийся у энергетиков потенциал, опыт ветеранов и энтузиазм молодого поколения будут способствовать развитию отрасли.

Желаю Вам, уважаемые коллеги, безграничной энергии, новых успехов, крепкого здоровья, благополучия и счастливого 2018 года!





Уважаемые коллеги!

Традиционно для работников и ветеранов отрасли декабрь знаменуется не только подведением итогов года, но и нашим профессиональным праздником – Днём энергетика.

Уходящий 2017 год был для Федеральной сетевой компании юбилейным – исполнилось 15 лет с даты ее основания.

За это время ФСК ЕЭС реализованы сотни проектов, в том числе выдача мощности крупных электростанций, энергообеспечение зимних Олимпийских игр в Сочи, объединение энергосистем, создание энергокольца 330 кВ в Санкт-Петербурге и многие другие.

Уже в этом, юбилейном году построены объекты присоединения Нижне-Бурейской ГЭС, инфраструктура для крупнейшего в России нефтехимического комплекса в Западной Сибири. Возведены и модернизированы центры питания по всей стране. На финальном этапе ключевые системные проекты на Северо-Западе и Юге страны. Были приняты решения, которые позволят компании обеспечить энергией резидентов TOP на Дальнем Востоке.

Планы на 2018 год не менее амбициозны. Ключевыми задачами являются создание новой инфраструктуры для повышения надежности снабжения регионов Юга и Дальнего Востока, завершение проекта по укреплению связей Северо-Запада и Центра, выход на новые площадки в рамках проекта внешнего электроснабжения БАМ и Транссиба.

Ключ к надежной работе отрасли – слаженная и профессиональная работа сотен тысяч специалистов. Вместе мы создаем возможности для развития экономики страны, комфортные условия для жизни россиян.

Отдельно хочу поблагодарить наших коллег, которые встретили День энергетика на рабочем месте.

Здоровья Вам, благополучия и неиссякаемой энергии!

Андрей Муров, председателя правления ПАО «ФСК ЕЭС»

Модифицированная серия высоковольтных управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов с расширенными функциональными возможностями

*А.М. Брянцев, Б.И. Базылев, М.А. Макарова,
ООО «Электросетевые компенсаторы»*

С начала промышленного производства и по настоящее время управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы (УШРп) пользуются устойчивым спросом с постоянно расширяющимся рынком сбыта [1]. В электрических сетях РФ и других стран эксплуатируется более сотни УШРп мощностью от 10 до 180 Мвар, напряжением от 10 до 500 кВ. Установленная мощность УШРп всех типов составляет около 9 Гвар (таблица 1). Наибольшее применение УШРп находят в электрических сетях Сибирского и Дальневосточного регионов РФ. УШРп производятся Запорожским трансформаторным заводом (Украина), заводом ETD TRANSFORMATORY (Чехия) и Московским Электрозаводом (Россия). Как по конструкции, так и по

электрической схеме производящиеся УШРп имеют существенные различия. УШРп производства ЗТР имеют 3 конструктивных модификации УШРп напряжением 35-500 кВ [2-4]. Завод ЕТД производит УШРп напряжением 6-35 кВ с совмещённой обмоткой переменного и постоянного тока [5, 6]. В конструкции и схеме УШРп 180 Мвар 500 кВ Московского Электрозавода использованы технические решения, отличающиеся от конструкций реакторов ЗТР и ЕТД [7-9].

Модифицированная серия управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов (УШРм) в отличие от прототипов имеет единые конструкцию, электрическую схему и состав оборудования в диапазоне

Таблица 1 – Производство УШРп и ИРМ на их базе с 1998 г.

Тип УШРп	Класс напряжения кВ	Всего УШРп		УШРп в составе	
		шт	Мвар	шт	Мвар
10 000/10	10	6	60	6	60
10 000/35	35	4	40	4	40
25 000/35	35	11	275	5	125
25000/110	110	31	775	10	250
63 000/110	110	1	63	-	-
25 000/220	220	2	50	1	25
63 000/220	220	8	504	1	60
100 000/220	220	20	2 000	1	100
180 000/330	330	4	720	1	180
100 000/400	400	7	700	7	700
180 000/500	500	18	3 240	-	-
ИТОГО:		112	8 424	36	1 540

мощностей 4-330 Мвар и классов напряжения 6-750 кВ (рисунок 1). В тоже время при разработке УШРп сохранены следующие основные функции УШРп:

- высокоточная автоматическая стабилизация напряжения в точке подключения с отклонением от установленного значения не более 0,3 % [6];
- безынерционный, менее, чем за 0,02 с, выход на номинальную мощность при подключении к сети [2];
- параметрический наброс/сброс мощности при аварийных возмущениях напряжения сети [11];
- переход из любого текущего режима в режим фиксированного значения потребляемой мощности на время паузы ОАПВ [10].

Принципиальным отличием УШРп является использование широкополосного фильтра высших гармоник, позволяющего улучшить форму тока и напряжения обмоток (рисунок 1) [12]. В любом из УШРп в пределах рабочего диапазона регулирования мощности коэффициент искажений формы тока не превышает 1,5-2 % от номинального значения, а синусоидальность напряжения обмоток соответствует требованиям ГОСТ 32144-2013.

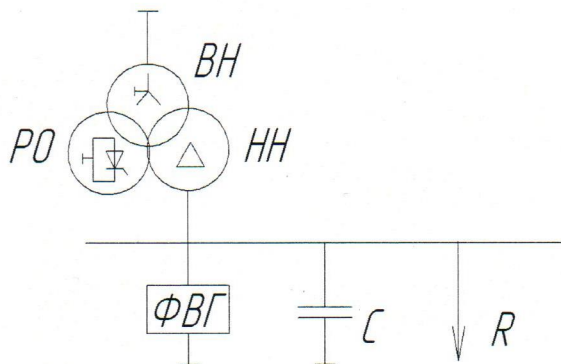


Рисунок 1 — Принципиальная однолинейная схема УШРп, содержащая обмотки высокого (ВН) и низкого напряжения (НН), регулировочную обмотку (РО) с подключенными к обмотке НН фильтром высших гармоник (ФВГ), ёмкостной нагрузкой С и сетью общего назначения R

В УШРп полностью устранено негативное влияние параметров нелинейности на качество напряжения в точке подключения. Также в отличие от прототипов конструкция УШРп содержит полноценную вторичную обмотку трансформаторного типа, а обмотка управления (регулирующая обмотка) выполняется с глухо заземлённой средней точкой (рисунок 1) [13]. При разработке УШРп использовано не менее 10 патентов и полезных моделей РФ и других стран.

Применение в конструкции УШРп новых элементов с новыми взаимными соотношениями и изменение критериев оптимизации параметров комплектующего оборудования позволило расширить функциональные возможности в части:

- длительности перегрузки (превышение номинального значения мощности) в 1,4 раза с сохранением синусоидальности формы тока и напряжения вторичной обмотки в диапазоне регулирования мощности [14];
- плавного регулирования мощности от номинального потребления (индуктивный режим) до номинальной выдачи (ёмкостной режим) за счёт подключения к вторичной обмотке ёмкостной нагрузки за время, не превышающее 0,2-0,3 с [15];
- отбора мощности от вторичной обмотки в электрическую сеть общего назначения, вплоть до номинального значения мощности первичной обмотки [1].

Таким образом, технические характеристики УШРп соответствуют требованиям стандарта ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.180.03.198-2015 на управляемые шунтирующие реакторы.

Предварительное участие в торгах на закупку УШРп напряжением 110, 220 и 500 кВ показало высокую конкурентоспособность УШРп по сравнению с аналогами в части функциональных возможностей, потерь и стоимости оборудования. Как устройство, обладающее функцией статического компенсатора реактивной мощности электромагнитного типа, или как устройство, обладающее функцией трансформатора с плавным регулированием напряжения обмоток, модифицированная серия управляемых шунтирующих реакторов прямых аналогов не имеет.

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ УПРАВЛЯЕМЫХ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ НА КАЧЕСТВО НАПЯЖЕНИЯ СЕТИ

В силу нелинейности регулировочных характеристик изменение потребляемой мощности управляемых шунтирующих реакторов сопровождается искажениями форм тока и напряжения обмоток. Такие искажения негативно сказываются на качестве напряжения электрической сети. В качестве примера, характерного для сети 220 кВ с использованием УШРп мощностью 30 Мвар, проанализированы графики изменения тока и напряжений обмоток управляемого подмагничиванием шунтирующего реактора (УШРп) [16]. УШРп подключён к центру питания через электрическую сеть с мощностью короткого замыкания (КЗ), равной 10-кратной номинальной мощности реактора (рисунок 2).

Несмотря на то, что напряжение центра питания строго синусоидально, а искажения формы тока относительно невелики (примерно на половине диапазона регулирования мощности УШРп незначительно превышают требования отраслевого стандарта ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.180.30.198-2015), искажения напряжений как компенсационной, так и сетевой обмоток превышают требования ГОСТ 31244-13 во всем диапазоне регулирования (рисунок 3-4).

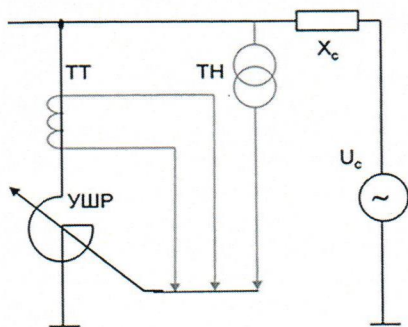


Рисунок 2 — Принципиальная однолинейная схема подключения УШРп к центру питания через линию электропередачи

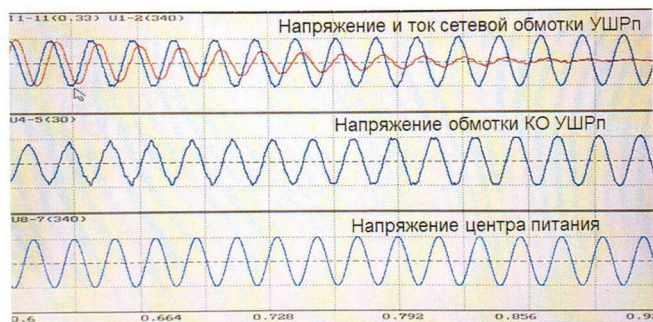


Рисунок 3 — Моделирование искажений формы напряжений в диапазоне регулирования мощности УШРп

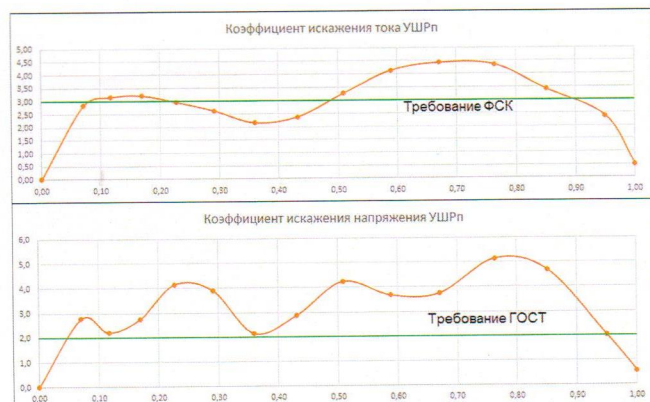


Рисунок 4 — Коэффициенты искажения форм тока и напряжения в УШРп

Та же качественная картина имеет место и при подключении к электрической сети шунтирующего реактора, управляемого тиристорами, (УШРт) с вентильными обмотками (рисунок 5) [17]. Различие заключается в том, что, несмотря на относительно небольшие по условиям стандарта ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.180.30.198-2015 искажения тока, нарушения формы синусоидальности напряжения вентильных обмоток и сетевой обмотки при установке УШРт имеют место в большей части диапазона регулирования и носят более выраженный характер, чем при установке УШРп (рисунки 6-7).

В рассмотренных выше случаях, нарушения качества напряжения электрической сети обусловлены искажениями, возникающими в обмотках НН управляемых шунтирующих реакторов обоих типов. Вследствие трансформаторной связи искажения формы напряжения обмоток транслируются непосредственно в электрическую сеть.

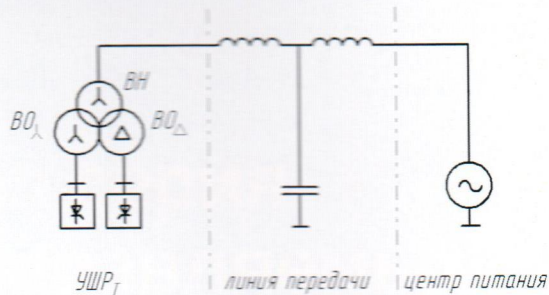


Рисунок 5 — Принципиальная однолинейная схема подключения УШРт к центру питания через линию электропередачи

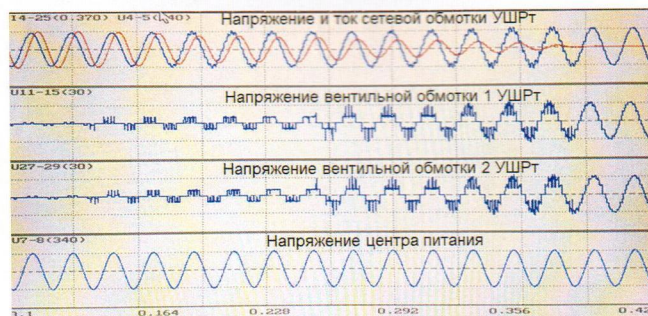


Рисунок 6 — Моделирование искажений форм напряжений во всем диапазоне регулирования мощности УШРт

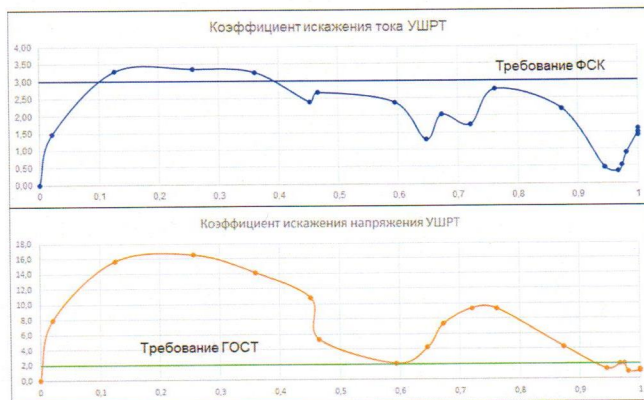


Рисунок 7 — Коэффициенты искажений тока и напряжения в УШРт

В УШРп в электрическую сеть передаются и резонансно усиливаются искажения, возникающие в напряжении компенсационной обмотки, а в УШРт искажения напряжения в электрической сети вызываются искажениями напряжения вентильных обмоток, и также передаются и резонансно усиливаются в прилегающей электрической сети.

В УШРп [16] данная проблема решается заменой компенсационной обмотки на трансформаторную обмотку НН с подключением к ней широкополосного фильтра высших гармоник (рисунок 8).

В УШРт [17] для достижения того же эффекта использования только одного фильтра оказывается недостаточным. Дополнительно требуется изменить схему и конструкцию обмоток трансформатора, а также подключить последовательно с вентильными ключами токоограничивающие реакторы (например, как это показано на рисунке 9).

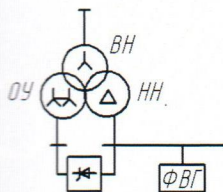


Рисунок 8 — Схема УШРп с подключённым к обмотке низкого напряжения фильтром высших гармонических

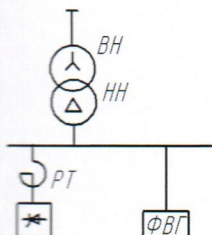


Рисунок 9 — Схема УШРт с подключённым к обмотке НН фильтром высших гармоник и токоограничивающим реактором, включённым последовательно с тиристорным ключом



Рисунок 10 — Моделирование формы напряжения в диапазоне регулирования мощности при изменении схемы и включении ФВГ в состав комплектующих УШРт и УШРп

В результате изменения схем и комплектующих УШРп (рисунок 8) и УШРт (рисунок 9) форма тока и напряжения обмоток становится практически синусоидальной во всем диапазоне регулирования мощности (рисунки 10-11).

ВЫВОДЫ

1. Существующие типы УШР могут вызывать появление высших гармоник напряжения, уровень которых значительно превышает требования ГОСТ 32144-2013 как в точке подключения, так и в прилегающей сети.
2. Предложенные авторами схемы и конструкции позволяют устранить недостатки, присущие обоим типам УШР.
3. В модифицированной серии УШР полностью устранено негативное влияние параметров нелинейности на качество электроэнергии в точке подключения. Как устройство, обладающее функцией статического компенсатора реактивной мощности электромагнитного типа, или как устройство, обладающее функцией трансформатора с плавным регулированием напряжения обмоток, модифицированная серия управляемых шунтирующих реакторов прямых аналогов не имеет.

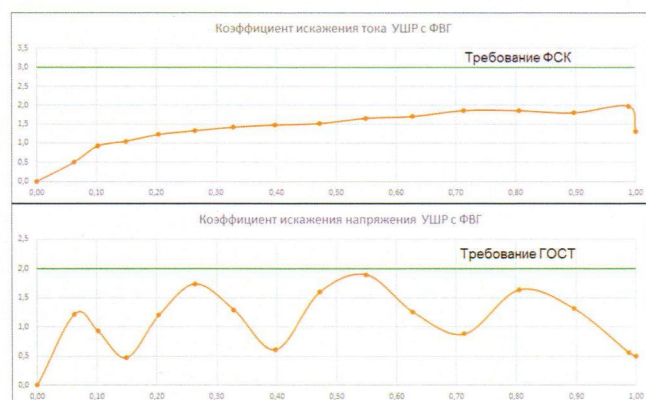


Рисунок 11 — Коэффициенты искажений тока и напряжения при изменении схемы и включении ФВГ в состав комплектующих УШРт и УШРп

ЛИТЕРАТУРА

1. Опыт применения управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов в сетях различных классов напряжения / Базылев Б.И. [и др.] // ЭЛЕКТРО — 2016. — № 3 — с. 28-33.
2. Результаты внедрения и промышленной эксплуатации управляемого подмагничиванием трехфазного шунтирующего реактора 110 кВ мощностью 25000 кВ·А в Пермьэнерго / Брянцев А.М. [и др.] // Электрические станции — 2001. — № 12.
3. Трехфазный шунтирующий управляемый реактор мощностью 100 МВ·А, 220 кВ на подстанции «Чита» МЭС Сибири / Брянцев А.М. [и др.] // Электротехника — 2003. — № 1 — с. 22-30.
4. Впервые в сети 500 кВ введён в эксплуатацию новый управляемый подмагничиванием шунтирующий реактор мощностью 180 МВ·А / Брянцев А.М., Долгополов А.Г., Лурье А.И. // Электричество — 2006. — № 8 — с. 65-68.
5. Патент № 2418332 Российская Федерация. Электрический трёхфазный реактор с подмагничиванием / Брянцев А. М.
6. Источник реактивной мощности на подстанции 35 кВ Ванкорского нефтяного месторождения / Базылев Б.И. [и др.] // Электротехника. — 2012. — № 3. — с. 59-62.
7. Авторское свидетельство СССР № 1164795. Электроиндукционное устройство / Брянцев А.М. Открытия. Изобретения. 1985. № 24.
8. Основные уравнения и характеристики магнитно-вентильных управляемых реакторов с сильным насыщением магнитной цепи / Брянцев А.М. // Электротехника — 1991. —

- № 2 — с. 24-28.
9. Controlled shunt reactor 500 kV 180 MVA with new design. Filed experience at NELYM substation. / L. MAKAREVICH, L. MASTRYUKOV, V. IVAKIN etc. // SIGRE — A2_206_2014.
10. Патент 2341858 Российская Федерация. Способ гашения дуги однофазного замыкания на землю в паузе ОАПВ линии электропередачи с шунтирующим трехфазным реактором / Брянцев А.М., Долгополов А.Г.
11. Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы для сети 35-500 кВ / Брянцев А.М. [и др.] // Электротехника — 2003. — №1 — с. 5-13.
12. Патент 2510556 Российская Федерация. Статический компенсатор реактивной мощности / Брянцев А. М.
13. Трёхфазный управляемый подмагничиванием реактор: патент RU № 2447529 С1 / Брянцев А.М.
14. П.М. Расчет трансформаторов / Тихомиров П.М. // Энергоатомиздат — 1986. — с. 528.
15. Управляемые ферромагнитные устройства с предельным насыщением в системах компенсации реактивной мощности и стабилизации напряжения высоковольтных сетей / Брянцев А.М. [и др.] // Энергоэксперт — 2013. — № 5 — с. 40-46.
16. Патент 2447529 Российская Федерация. Трёхфазный управляемый подмагничиванием реактор / Брянцев А.М.
17. Патент 2518149 Российская Федерация. Управляемый реактор с трёхстержневым магнитопроводом / Булыкин П.Ю., Крайнов С.В., Федосов Л.Л.