

Ярмарка-презентация достижений
передовой технологии по
обрабатывающей промышленности в
Чанчжоу (КНР) 2009г.

Форум
российских технологий
сверхвысоковольтной и
высоковольтной электропередачи

СБОРНИК ДИССЕРТАЦИИ

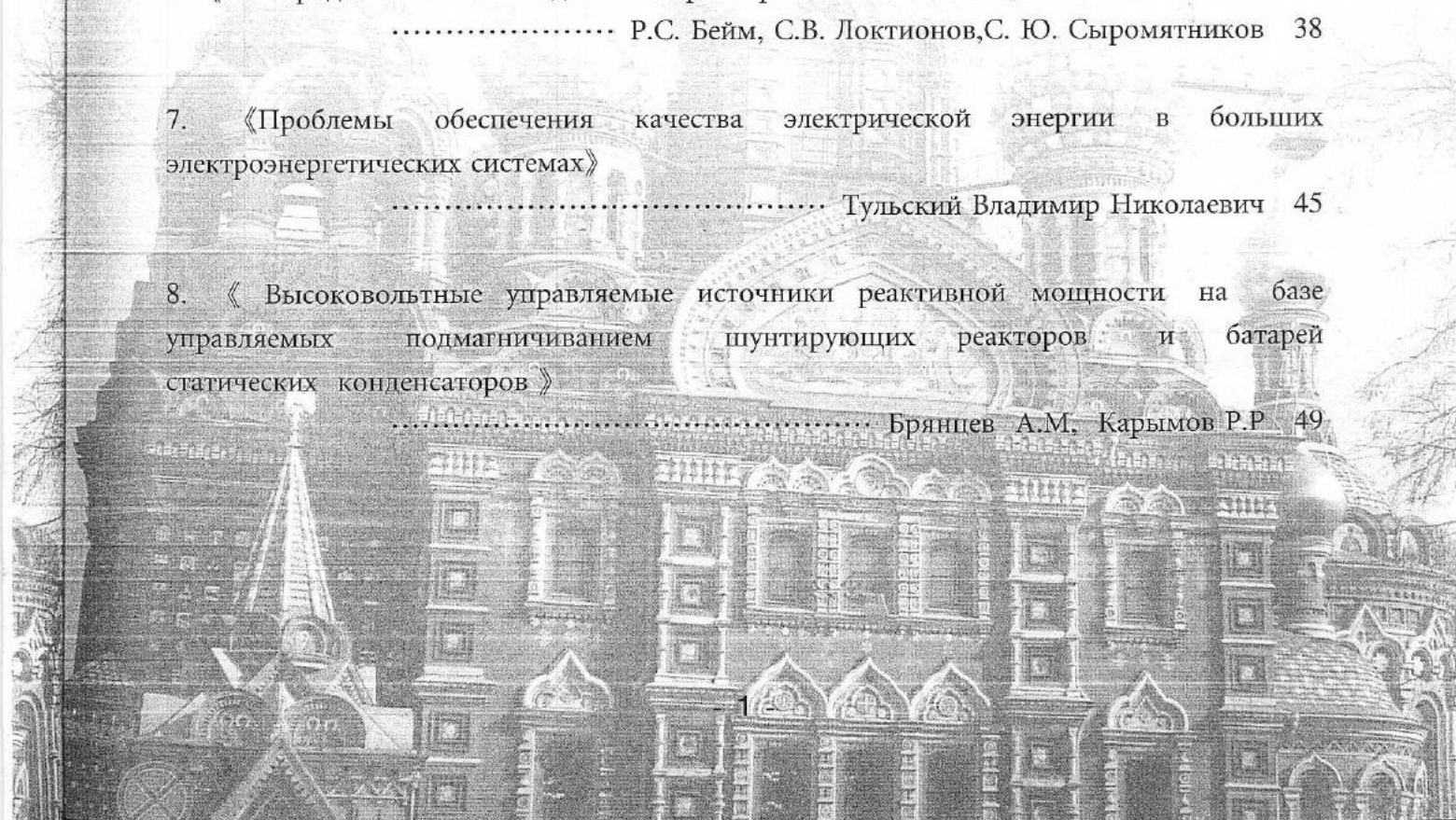
Организатор: Народное правительство Чанчжоу

Поддерживающая организация:

Хэйлундзянский центр китайско-российского
научно-технического сотрудничества и промышленной
трансформации

КАТАЛОГ

1. «Всероссийский электротехнический институт им. В.И. Ленина»
..... Коваленко Ю. А. 2
2. «Относительно координации изоляции силовых трансформаторов ультравысокого напряжения»
..... А.К.Лоханин 9
3. «Расчет изоляции силовых трансформаторов ультравысокого напряжения»
..... Ларин В.С., Лоханин А.К., Матвеев Д.А. 18
4. «Московский Энергетический Институт» (Технический университет)
..... Кузнецов Олег 27
5. «Исследование на электродинамической модели МЭИ сложных электроэнергетических систем, содержащих дальние электропередачи напряжением 1000 кВ и выше»
..... Р.С. Бейм, С.В. Локтионов, С.Ю. Сыромятников 31
6. «Электродинамическая модель электроэнергетических систем»
..... Р.С. Бейм, С.В. Локтионов, С. Ю. Сыромятников 38
7. «Проблемы обеспечения качества электрической энергии в больших электроэнергетических системах»
..... Тульский Владимир Николаевич 45
8. «Высоковольтные управляемые источники реактивной мощности на базе управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов и батарей статических конденсаторов»
..... Брянцев А.М. Карымов Р.Р. 49



Высоковольтные управляемые источники реактивной мощности на базе управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов и батарей статических конденсаторов.

Брянцев А.М.–д.т.н., профессор МЭИ (ТУ) ,Карымов Р.Р.– к.т.н., доцент МЭИ (ТУ)

Научно исследовательская лаборатория “Гибкие системы передачи электроэнергии” кафедры “Электроэнергетические системы” Московского энергетического института (технического университета) была создана приказом ректора МЭИ (ТУ) №172нк от 31.03.04г. Основная научная концепция НИЛ – создание гибких систем передачи электроэнергии за счет применения новых высоковольтных (110 кВ и выше) реверсивных устройств поперечной компенсации на базе управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов (УШР) и батарей статических конденсаторов (БСК).

В настоящее время в энергосистемах России получили применение управляемые реакторы с магнитно–вентильным управлением, разработанные в нашей стране [1]. В этих реакторах используется эффект предельного насыщения стали за счет подмагничивания и специальной конструкции магнитопровода. На сегодняшний день на Запорожском трансформаторном заводе освоено производство управляемых реакторов серии РТУ на напряжение 110–220–330–500 кВ мощностью 32–63–100–180 МВА. Аналогов таких реакторов в зарубежной практике нет.

Схема и конструкция фазы всего разнообразия реакторов с магнитно–вентильным управлением представлена на рис. 1а. Фаза управляемого реактора – это по существу двухобмоточный трансформатор с расщепленным стержнем. Одна из обмоток, сетевая, подключена к электрической сети (UC), вторая – управляющая, подключена к регулируемому по величине источнику постоянного напряжения (Uy). Секции сетевой и управляющей обмоток включены встречно – параллельно и не имеют прямой электромагнитной связи. Каждая из обмоток фазы создает свои магнитные потоки: сетевая обмотка – переменный поток (Ф) промышленной частоты; управляющая – постоянный, регулируемый по величине поток подмагничивания (ФS). Постоянный поток подмагничивания смещает переменный поток в область насыщения кривой намагничивания стали, что и приводит к изменению индуктивного сопротивления устройства. Графики изменения напряжений, токов и магнитных потоков, характеризующих этот процесс, показаны на рис.1б.

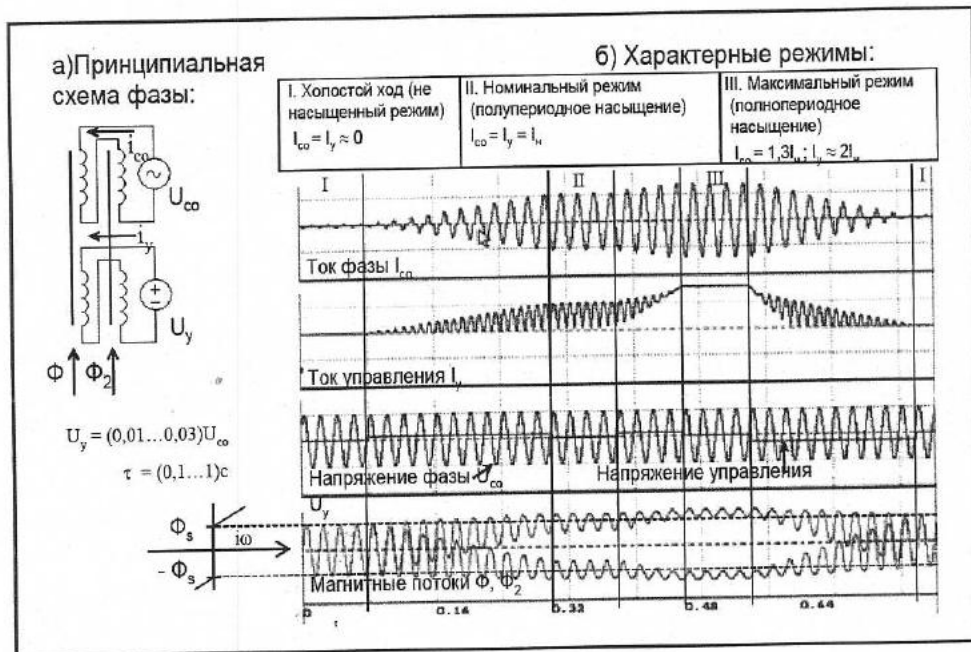


Рис.1 Характерные режимы работы и принципиальная схема фазы УШР.

Управляемые реакторы серии РТУ 110 – 500 кВ характеризуются следующими основными показателями:

1. Техничко-экономические показатели :

- удельная полная масса 1,5 – 3 кг/квар;
- удельные потери:
холостого хода 0,5 – 1,0 Вт/квар;
номинальные 4 – 8 Вт/квар.

2. Эксплуатационные показатели:

- полностью автоматический режим эксплуатации;
- диапазон изменения мощности от 0,01 до 1,2 номинальной;
- гарантированная скорость плавного изменения мощности при переходе от одного установившегося значения к другому 0,3?0,5 с.;
- издержки эксплуатации, надежность, текущее обслуживание аналогично обычным шунтирующим реакторам.

3. Функциональные показатели:

- в полном объеме выполняют функции обычных шунтирующих реакторов, ступенчато регулируемых реакторов, тиристорно-реакторных групп.

Управляемые шунтирующие реакторы способны только потреблять реактивную мощность, что во многих случаях недостаточно для нормализации напряжения в электрических сетях напряжением 110 кВ и выше. Для нормализации напряжения в настоящее время на подстанциях 110 кВ и выше применяют синхронные и статические тиристорные компенсаторы, способные не только генерировать, но и потреблять

реактивную мощность. Одним из недостатков синхронных и статических тиристорных компенсаторов является то, что они рассчитаны на напряжения до 35 кВ. Применение компенсирующих устройств, которые можно включать в сеть без промежуточного трансформатора, позволяет снизить их установленную мощность и повысить эффективность регулирования напряжения. Такие компенсирующие устройства могут быть созданы из ступенчато регулируемой конденсаторной батареи и плавно регулируемого реактора, включенных параллельно. Принципиальную возможность создания такого высоковольтного ИРМ на базе УШР и БСК доказало введение в эксплуатацию в 1997 г. на подстанции "Кудымкар" первого управляемого реактора РТУ 25000/110, установленного параллельно с БСК мощностью 42 Мвар.

Применение УШР на подстанции "Кудымкар" было вызвано тем, что вследствие резко переменного графика нагрузки требовалась ежедневная коммутация существующей БСК (число коммутаций в год доходило до 800) и постоянная работа регуляторов напряжения (РПН) трансформаторов (около 1800 переключений). При этом значения напряжения на шинах 110 кВ изменялись от 107 кВ до 118 кВ. После установки УШР число коммутаций БСК и РПН сократилось примерно в 100 раз, колебания напряжения ограничены до $\pm 1,5\%$. Кроме того, за счет повышения пропускной способности транзита строительство дополнительной линии 220 кВ отнесено на 10–15 лет.

На подстанции "Кудымкар" управляемый реактор был включен в схему параллельно с БСК через общий ранее существовавший выключатель. Это не позволяет автоматизировать переход комплекса УШР с БСК из режима выдачи в режим потребления реактивной мощности и наоборот. Кроме того, реализованная на подстанции "Кудымкар" схема компенсации не позволяет создать ИРМ на напряжении выше 220 кВ. Однако успешный опыт эксплуатации УШР совместно с БСК дал основание для создания новых высоковольтных реверсивных источников реактивной мощности 110 – 500 кВ на базе УШР. Эта работа была выполнена в Московском энергетическом институте совместно с ОАО "Электрические управляемые реакторы" по заказу Федеральной сетевой компании в рамках программы создания и применения в Единой энергосистеме России устройств FACTS. В ходе ее выполнения были разработаны следующие схемы ИРМ на базе УШР и БСК:

1. Коммутируемые БСК подключаются параллельно с УШР. Мощность одной секции БСК должна быть меньше или равна мощности УШР. Учитывая, что промышленностью освоено производство БСК на напряжение 220 кВ и ниже эта схема рекомендуется для сетей напряжением до 220 кВ. Достоинством этого технического решения является то, что количество секций конденсаторной батареи может быть любым и зависит от потребности в выдаче реактивной мощности в точке подключения реактора.

2. БСК подключаются к обмотке управления УШР, с номинальным напряжением 11–38,5 кВ. Максимальная мощность БСК ограничивается допустимым тепловым режимом обмотки управления и составляет 30–40% от мощности сетевой обмотки. Переход от режима потребления к режиму выдачи и наоборот происходит без коммутации БСК. Это связано с тем, что напряжение короткого замыкания между сетевой обмоткой и обмоткой управления не менее 50% и поэтому напряжение на БСК по мере роста нагрузки реактора снижается. При полной загрузке реактора это напряжение будет в несколько раз меньше номинального, а так как реактивная мощность, выдаваемая БСК, пропорциональна квадрату напряжения, то она снижается в десять и более раз. При полностью разгруженном реакторе БСК выдают полную мощность. Эта схема рекомендуется для сетей с напряжением 110–500 кВ.

В настоящее время разработаны модификации управляемого реактора, у которого имеется третья обмотка – компенсационная. Напряжение компенсационной обмотки 11 кВ, а мощность 25–30% от мощности сетевой обмотки, но существует возможность модификаций конструкции фаз в части увеличения ее мощности до 100% [1]. При таком конструктивном исполнении реактора коммутируемая БСК может подключаться к компенсационной обмотке УШР. Максимальная мощность БСК в этом случае равна мощности компенсационной обмотки УШР. Эта схема также рекомендуется для сетей с напряжением 110–500 кВ.

Для проверки реализуемости предложенных технических решений была создана физическая модель УШР и его системы управления. Проведенные на электродинамической модели МЭИ исследования показали работоспособность всех трех вариантов предлагаемого устройства, а также то, что применение ИРМ на базе УШР и БСК в электрических сетях позволяет:

обеспечить значительное увеличение пропускной способности линии электропередачи по условию апериодической статической устойчивости;

поддерживать напряжение в узком диапазоне при изменении в широких пределах мощности нагрузки;

снизить потери активной мощности в линии за счет уменьшения передаваемой по ней реактивной мощности в режимах больших нагрузок;

существенно снизить отклонение напряжения при колебаниях нагрузки, а при набросе нагрузки и при коротком замыкании еще и предотвратить нарушение устойчивости асинхронной нагрузки.

Одновременно с проведением исследований специалисты кафедры также принимали участие в работе по установке ИРМ на базе УШР и БСК на ПС–110 кВ “Игольская” и “Двуреченская” для электроснабжения нефтяных месторождений ОАО “Томскнефть”. К концу 2003 г. на нефтяных месторождениях Южного Васюгана ОАО “Томскнефть” возникла кризисная ситуация. Пропускная способность электропередачи

110 кВ “Парабель –Лугинецкая –Игольская –Крапивинская” была исчерпана, а уровни напряжения на ПС–110 кВ “Крапивинская” не превышали 85 % от номинального. И только в августе –октябре 2004 г. после ввода на ПС –110 кВ “Игольская” батареи статических конденсаторов (БСК) 23 Мвар, УШР 25 МВар и ПС–110 кВ “Двуреченская” с БСК 23 и УШР 25 Мвар ситуация изменилась в лучшую сторону коренным образом. Пропускная способность выросла на 30–50 %, уровни напряжения достигли 105–110 % от номинального и могут регулироваться в широком диапазоне в зависимости от режимов. Главный энергетик компании ОАО “Томскнефть” в своем заключении по итогам первоначального периода эксплуатации реакторов РТУ–25000/110–У1 отметил, что реакторы совместно с батареями статических конденсаторов:

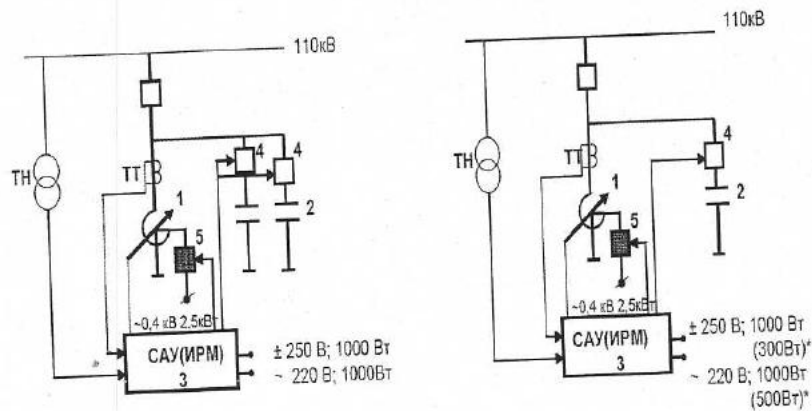
1. Обеспечивают оптимальные потоки реактивной мощности, позволяющие довести передаваемую мощность вплоть до предельно допустимой токовой нагрузки проводов по нагреву. По состоянию нагрузок на март 2005 г. достигнуто 100 % взаимного резервирования электрических нагрузок электропередачи “Парабель –Двуреченская – Чапаевка”. Необходимость перевода региона на напряжение 220 кВ потеряла свою актуальность.

2. Снижают потери активной мощности в проводах ВЛ–110 кВ. При нагрузке 72 МВт потери составляют 7,5 МВт против 11,9 МВт, в том числе в сетях ООО “ЭнергонефтьТомск” 1,8 МВт против 2,9 МВт.

3. Обеспечивают плавную автоматическую стабилизацию заданных уровней напряжения в установившихся режимах при сокращении числа коммутаций БСК и РПН в десятки раз.

Результаты исследований на электродинамической модели и опыт полученный при реализации первых ИРМ на базе УШР и БСК были использованы в дальнейшем при создании прототипов автоматических и автоматизированных высоковольтных ИРМ компанией ООО “Электросетевые компенсаторы”.

Первый автоматизированный ИРМ – 110/25/25 с диапазоном регулирования ± 25 Мвар напряжением 110 кВ введен в эксплуатацию в 2007г. на подстанции “Звездная” (“Сумгутская –2”). В ИРМ такого типа БСК включена параллельно с УШР и коммутируется разъединителем. Такой ИРМ может работать как в режиме выдачи, так и потребления реактивной мощности. Однако при этом переход из одного режима в другой без отключения ИРМ не возможен. В тех случаях, когда это недопустимо по условиям эксплуатации, следует применять автоматические ИРМ. Принципиальная схема автоматических ИРМ, разработанных по заказу ОАО “Тюменьэнерго”, показана на рисунке 2, где 1 – управляемый шунтирующий реактор, 2 – батарея статических конденсаторов, 3 – система автоматического управления (САУ), 4, 5 – выключатели, ТН – трансформатор напряжения, ТТ – трансформатор тока [2].



ИРМ-110/50/25 ИРМ-110/25/25

Рис.2. Принципиальные схемы автоматических ИРМ.

В этих ИРМ были применены управляемые реакторы с самоподмагничиванием, что позволило обеспечить питание трансформаторов со встроенными преобразователями непосредственно от реактора без использования шин 10 кВ собственных нужд подстанции. Это упрощает включение ИРМ в схему подстанции и приводит к удешевлению ИРМ за счет того, что не требуется фидер питания по стороне 10 кВ.

Управление автоматическими ИРМ [3,4] покажем на примере ИРМ -110/25/25. Предположим, что ИРМ работает в режиме выдачи реактивной мощности. Система автоматического управления (САУ) поддерживает заданное значение напряжения на выводах сетевой обмотки (СО) УШР. При снижении нагрузки напряжение на выводах сетевой обмотки УШР увеличится. САУ начнет выработать команды, на увеличение тока подмагничивания, увеличивая мощность реактора. Процесс регулирования будет продолжаться до тех пор, пока напряжение на выводах СО УШР не станет равно заданному значению. Если в процессе регулирования реактивная мощность, потребляемая реактором, достигнет своего максимального значения, САУ с заданной выдержкой времени отключит БСК и ИРМ перейдет в режим потребления реактивной мощности. После отключения БСК напряжение на выводах СО УШР снизится и САУ начнет выработать команды, на снижение тока подмагничивания, снижая мощность реактора. Процесс регулирования закончится, когда напряжение на выводах СО УШР станет равно заданному значению.

Пусть ИРМ работает в режиме потребления реактивной мощности. При увеличении нагрузки напряжение на выводах СО УШР снизится. САУ начнет выработать команды, на снижение тока подмагничивания, снижая мощность реактора. Процесс регулирования будет продолжаться до тех пор, пока напряжение на выводах СО УШР не станет равно заданному значению. Если в процессе регулирования реактивная мощность, потребляемая реактором, достигнет минимального значения,

САУ с заданной выдержкой времени включит БСК и ИРМ перейдет из режима потребления в режим выдачи реактивной мощности. После включения БСК напряжение на выводах СО УШР возрастет и САУ начнет вырабатывать команды, на увеличение тока подмагничивания, увеличивая мощность реактора. Процесс регулирования закончится, когда напряжение на выводах СО УШР станет равно заданному значению.

Управление ИРМ-110/50/25 принципиально ни чем не отличается от управления ИРМ - 110/25/25.

Первый автоматический ИРМ был введен в эксплуатацию на переключательном пункте (ПП) "Таврическая". До установки ИРМ напряжение на шинах 110 кВ ПП "Таврическая" не превышало 98 кВ. РПН трансформаторов на подстанциях, получающих от нее питание, находились в крайнем положении. При выводе в ремонт одной из питающих линий вводились ограничения потребителей на 70 МВт. Анализ результатов начального периода эксплуатации ИРМ-110/50/25 на ПП "Таврическая", выполненный специалистами ОАО "Тюменьэнерго", показал, что после ввода в работу ИРМ напряжение на шинах 110 кВ этой подстанции увеличилось на $3 \div 4,4\%$, а колебания напряжения снижены более чем в 8 раз. Вследствие повышения напряжения на 2 ступени в сторону уменьшения коэффициента трансформации изменились положения РПН трансформаторов на подстанциях, получающих питание от ПП "Таврическая". Изменилась нагрузка реактивной мощностью питающих линий на 33-42% и автотрансформаторов на 9-20%. Более поздний анализ показал, что введение в эксплуатацию ИРМ на ПП "Таврическая" дало возможность увеличить пропускную способность линий электропередачи, а также повысить надежность электроснабжения потребителей и качество электроэнергии. В частности, ограничения потребителей при выводе в ремонт одной из питающих линий снизились до 30 МВт. Кроме того, при аварийном останове потребительской газотурбинной электростанции отключения потребителей, как это было ранее, не происходило.

В заключении отметим, что за период с 2008г. по настоящее время было введено в эксплуатацию 9 ИРМ на базе УШР и БСК. Еще три установки находятся на стадии наладочных работ или изготовления. Причем одна из них имеет номинальное напряжение 240 кВ. Ведутся проектные работы по созданию ИРМ на базе УШР и БСК на напряжение 35 кВ. Все ИРМ комплектуются УШР серии РТУ выпускаемых серийно ОАО "Запорожтрансформатор" и БСК производства "Nokia Capacitors". Интерес, проявляемый к ИРМ на базе УШР и БСК, объясняется тем, что при значительно меньшей стоимости в функциональном отношении они полностью замещают статический тиристорный компенсатор или синхронный компенсатор вместе с повышающим трансформатором. Кроме того, они требуют существенно меньших затрат на монтаж и эксплуатацию.

Литература

1. Управляемые подмагничивание электрические реакторы // Сб. статей. Под ред. д. т.н. проф. А.М. Брянцева. М.: "Знак". 2004. 264 с.

2. Брянцев А.М. Источники реактивной мощности. Патент № 2335056. Бюллетень № 27 от 27.09.08

3. Брянцев А.М. Источники реактивной мощности. Патент № 2335026. Бюллетень № 27 от 27.09.08

4. Брянцев А.М. Способы управления источником реактивной мощности. Патент № 2337424. Бюллетень № 30 от 27.10.08.

Сведения об авторах:

Карымов Ринат Рамильевич – к.т.н., доцент, заведующий лабораторией “Гибкие системы передачи электроэнергии” кафедры “Электроэнергетические системы” МЭИ (ТУ).

Брянцев Александр Михайлович – д.т.н., профессор, научный руководитель лаборатории “Гибкие системы передачи электроэнергии” кафедры “Электроэнергетические системы” МЭИ (ТУ),.