

10. РД 153-34.0-11.209-99. Рекомендации. Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии и мощности. Типовая методика выполнения измерений электроэнергии и мощности [Текст]. - Введ. 01.12.1999. – Москва: Изд-во стандартов, 1999. 78 с.

11. Кюснер А.В., Паздерин А.В., Паниковская Т.Ю., Плесняев Е.А. Расчет распределения потоков электрической энергии в сети по данным измерительных комплексов учета электроэнергии на основе оценивания состояния // Управление электроэнергетическими системами – новые технологии и рынок. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2004. С.100-107.

12. ООО «Сележ». Исходящее письмо №15. от 03.09.2014 Генеральному директору ООО «МЭК» Балабанову Г.С.

13. Iskra Sistemi. Energy Sector Solutions and Products.

Научный руководитель: М.С. Балабанов, главный инженер ООО «Международная Энергосберегающая Корпорация».

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ШУНТИРУЮЩЕГО РЕАКТОРА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОЕКТИРУЕМОМ ЭНЕРГОРАЙОНЕ ОЭС ВОСТОК

А.А.Суворов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Энергетический институт, кафедра Электроэнергетических систем

Одним из важнейших режимных параметров электроэнергетических систем (ЭЭС) являются напряжения, значения которых в наибольшей мере связано с перетоками реактивной мощности (РМ). Основные средства регулирования напряжения и генерации РМ сосредоточены на электрических станциях, а средств расположенных в электрических сетях недостаточно для регулирования РМ и поддержания напряжения в допустимых пределах. Например, в российских сетях, наиболее распространенными средствами компенсации реактивной мощности (СКРМ) являются шунтирующие реакторы, которые обеспечивают только одноступенчатое регулирование. Эффективным путем решения указанной проблемы является применения устройств FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems - Гибкие системы передачи электроэнергии переменным током), к которым относятся: управляемые шунтирующие реакторы (УШР), статические тиристорные компенсаторы (СТК), статические синхронные компенсаторы (СТАТКОМ) и другие [1]. Среди FACTS устройств наиболее распространенным в настоящее время является УШР, представляющий собой устройство шунтирующего типа с плавно регулируемым индуктивным сопротивлением. В настоящее время разработано два типа управляемых реакторов: УШР трансформаторного типа (УШРТ) и УШР с подмагничиванием (УШРП), в российских сетях наиболее распространены УШРП.

Исследования эффективности применения УШРП и анализ полученных режимов проводились в реально проектируемом в настоящее время энергокластере «Эльгауголь» в ОЭС Восток. Исследуемый энергорайон, как и любая современная ЭЭС, образует большую, нелинейную, динамическую систему. Проектирование, исследование и эксплуатация таких систем является трудной задачей из-за сложности получения достоверной и своевременной информации о протекающих процессах в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах. Получение информации о протекающих процессах в ЭЭС путем натурных испытаний, за редким исключением, недопустимо, а из-за сложности ЭЭС невозможно

полноценное физическое моделирование. В результате основным путем получения необходимой информации об ЭЭС является математическое моделирование [2]. Моделирование исследуемой ЭЭС проводилось на Всережимном моделирующем комплексе реального времени электроэнергетических систем, который был создан в Энергетическом институте Томского политехнического университета [3]. Целью работы является исследование эффективности применения УШРП для регулирования напряжения и РМ, что позволит:

1. Поддерживать допустимый уровень напряжения в ЭЭС;
2. Снизить потери электроэнергии при ее транспортировке и распределении;
3. Оказать положительное влияние на режимы работы энергорайона и энергосистемы в целом.

Целью первого эксперимента было исследование применения УШР для поддержания напряжения в узле нагрузке при работе электрооборудования по реальному суточному графику активной и реактивной нагрузки горнодобывающего предприятия при трехсменной работе в зимнее время. Для оценки влияния УШР в данном эксперименте осциллографировались процессы при включенных (рисунок 1), а затем при отключенных (рисунок 2) СКРМ. В исследуемом энергорайоне совместно с УШРП установлено две батареи статических конденсаторов (БСК) для генерации РМ.

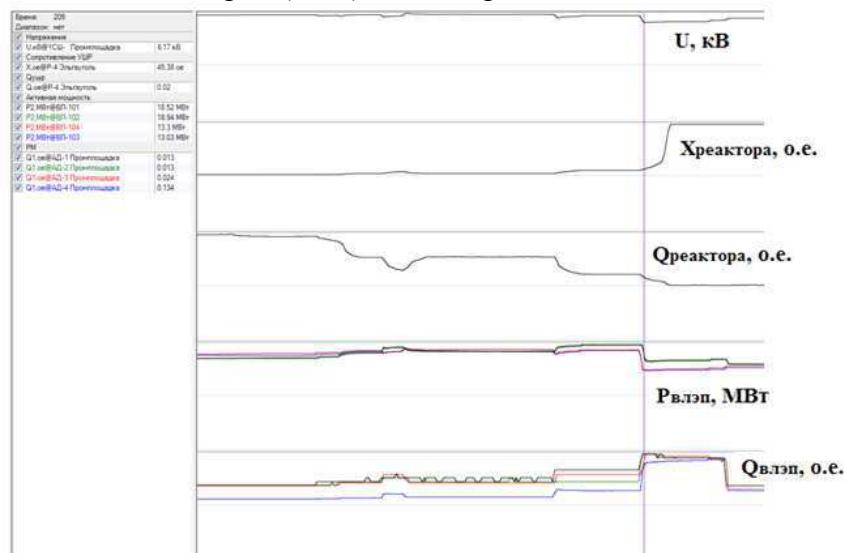


Рис. 1. Осциллограммы изменения нагрузки при включенных УШР и БСК на ПС Эльгауголь

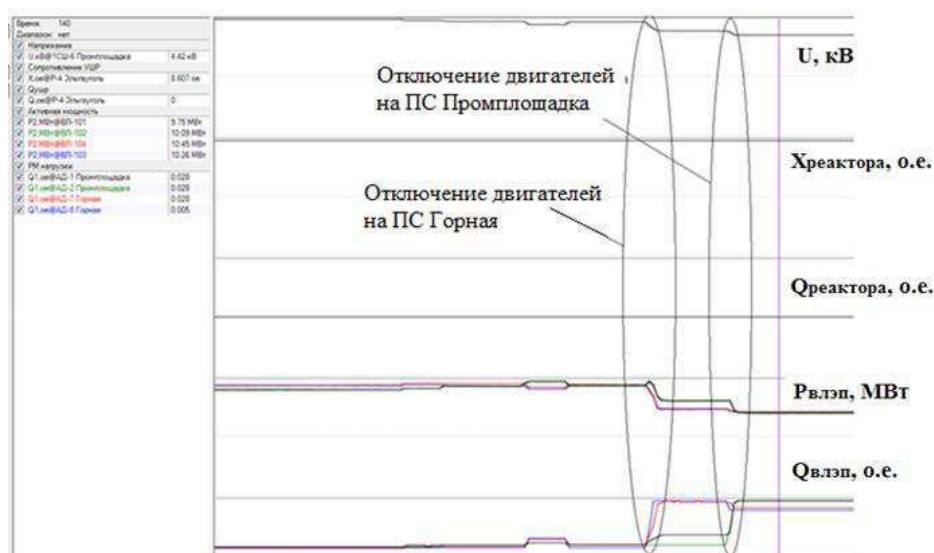


Рис. 2. Осциллограммы изменения нагрузки при выключенных УШР и БСК на ПС Эльгауголь

Как видно из диаграмм на рисунке 1, при увеличении нагрузки «отрабатывают» заданные уставки по напряжению, разгружая реактор по мощности. При достижении максимальной нагрузки происходит форсированная разгрузка реактора, благодаря этому напряжение на шинах нагрузки не выходит из допустимой 5-ти процентной зоны от уставки, перебои в питании потребителей не произошло. Согласно рисунку 2, во время набора нагрузки произошло значительное снижение напряжения, что, в конечном счете, привело к остановке двигателей на ПС Промплощадка и ПС Горная, питаемых от шин 110 кВ ПС Эльгауголь, где установлены СКРМ. Вследствие этого активная мощность линий отходящих от шин 110 кВ ПС Эльгауголь резко уменьшилась, а реактивная мощность увеличилась. Таким образом, подводя итоги экспериментов, продемонстрированных на рисунках 1 и 2, можно сделать вывод о том, что от УШР зависит бесперебойность питания ключевых потребителей энергокластера «Эльгауголь».

Далее приведены результаты экспериментов, демонстрирующие влияние функционирования УШР на устойчивость нагрузки. На рисунке 3 представлен график изменения нагрузки на шинах 110 кВ ПС Эльгауголь при включенных УШР и БСК. В некоторый момент времени моделируется короткое замыкание (КЗ) на шинах 110 кВ ПС Горная, которая питается по двум воздушным линиям электропередач (ВЛЭП) от ПС Эльгауголь. Затем происходит срабатывание релейной защиты (РЗ) и успешное автоматическое повторное включение (АПВ). При этом, как видно из диаграммы, устойчивость нагрузки сохраняется. На рисунке 4 представлены результаты аналогичного эксперимента, при отключенных УШР и БСК. Очевидно, что после короткого замыкания в ЭЭС происходит остановка всех двигателей энергокластера.

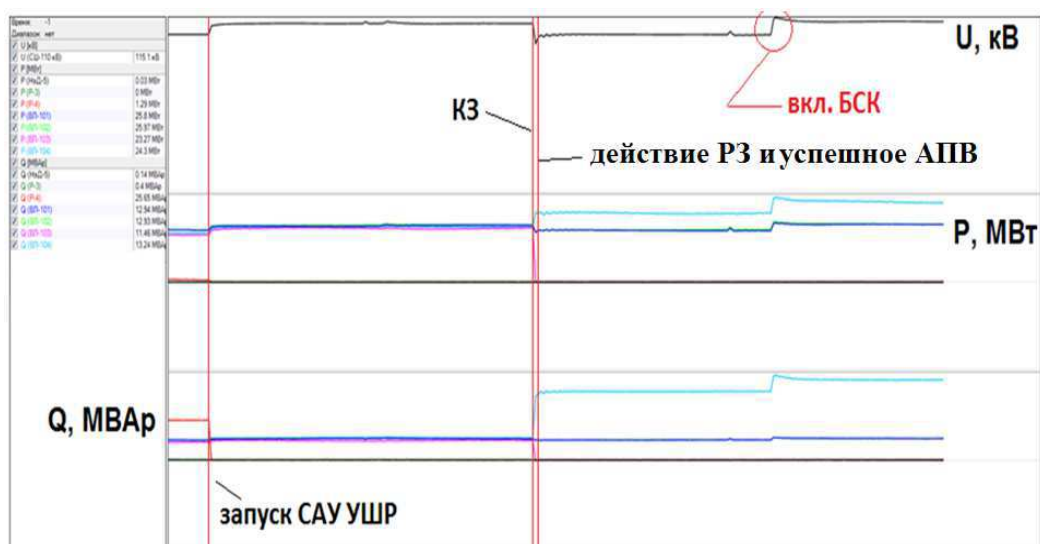


Рис. 3. Осциллограммы изменения нагрузки на шинах 110 кВ ПС Эльгауголь при КЗ на одном из присоединений (УШР и БСК ПС Эльгауголь включены)

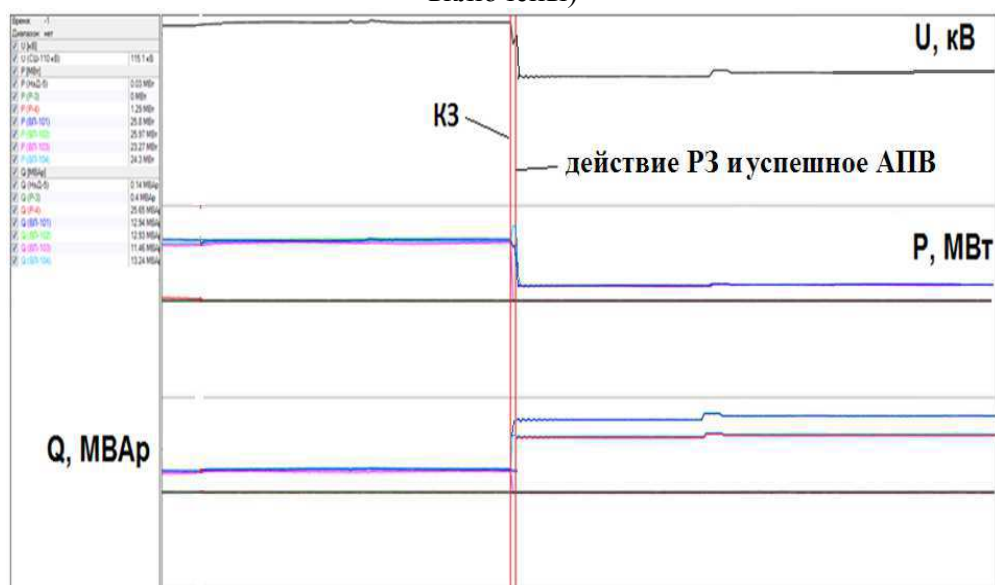


Рис.4. Осциллограммы изменения нагрузки на шинах 110 кВ ПС Эльгауголь при КЗ на одном из присоединений (УШР и БСК ПС Эльгауголь отключены)

При исследовании влияния СКРМ на потери снимались показания потерь активной и реактивной мощности линий электропередач и трансформаторов энергокластера при работе электрооборудования по заданному графику нагрузки. Полученные диаграммы представлены на рисунках 5 и 6. Представленные результаты показывают, что активные и реактивные потери в энергокластере при отключенных СКРМ выше, чем при их функционировании.

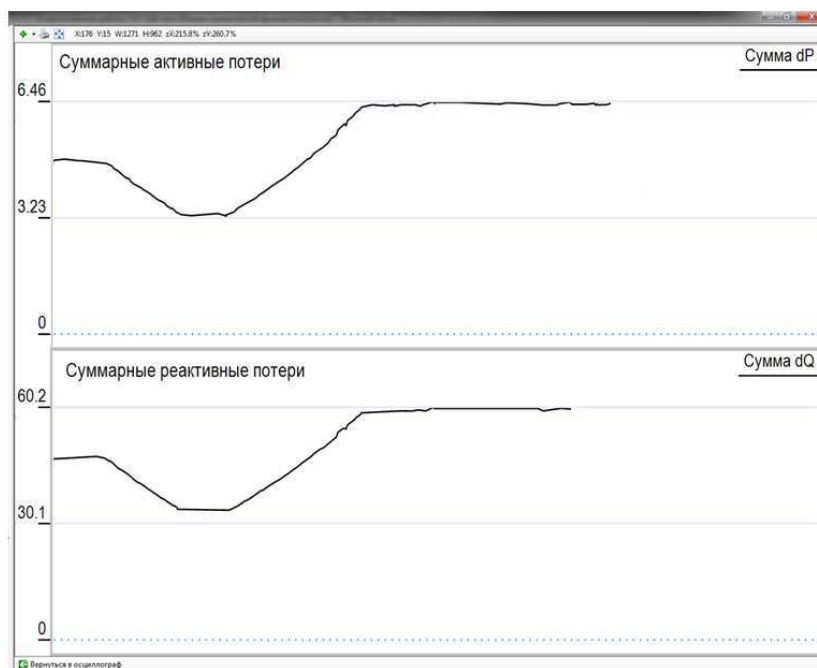


Рис.5. Осциллограммы суммарных текущих потерь в энергокластере при функционирующих СКРМ

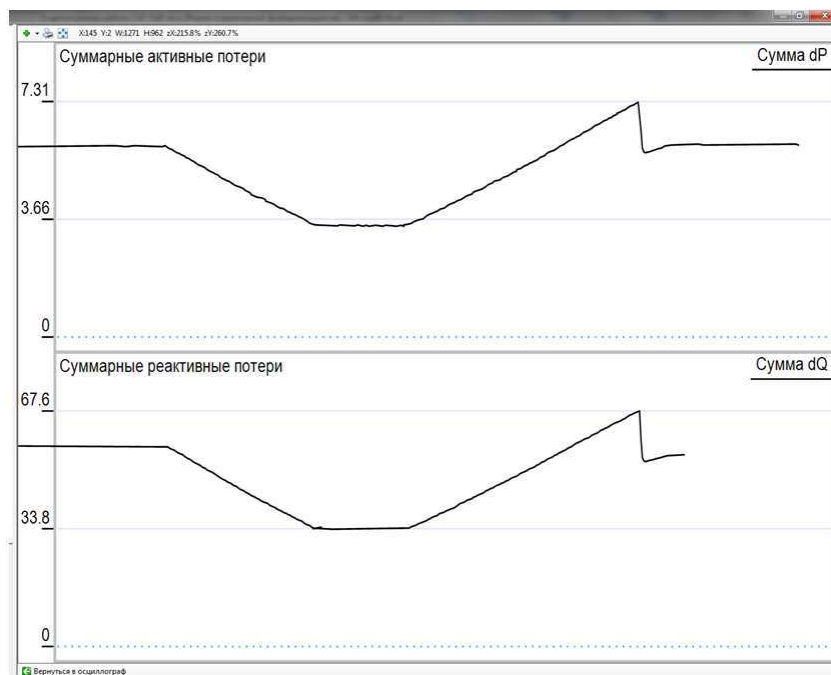


Рис.6. Осциллограммы текущих суммарных активных и реактивных потерь в энергокластере при отключенных СКРМ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В настоящее время регулирования уровня напряжения и генерация РМ в электрических сетях осуществляется с помощью шунтирующих реакторов, конденсаторных батарей, коэффициентов трансформации трансформаторов и автотрансформаторов, которые могут обеспечить только ступенчатое регулирование, которого оказывается недостаточным для поддержания уровня напряжения в допустимых пределах. В связи с этим обоснованным и целесообразным становится рассмотренный в работе подход к решению проблемы, который заключается в применении УШР и БСК, которые позволяют производить автоматическое плавное регулирование напряжения и РМ. В результате исследований установлено, что совместное применение УШР и БСК позволит:

1. Поддерживать допустимый уровень напряжения в ЭЭС в нормальных режимах;

2. Снизить потери мощности в энергокластере;
3. Оказать положительное влияние на режим работы ЭЭС.

Однако было установлено, что в аварийных режимах УШР в силу своей инерционности, не всегда способен обеспечить устойчивость узлов нагрузки. Это зависит от многих факторов, например от места короткого замыкания, от времени работы защиты, от длительности АПВ и др. Поэтому в некоторых случаях целесообразно использовать более быстродействующее устройство, например такое как статический синхронный компенсатор (СТАТКОМ).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кочкин В.И., Шакарян Ю.Г. Применение гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока в энергосистемах. М.: Торус Пресс, 2011. 326 с.
2. Веников В.А. Теория подобия и моделирование применительно к задачам электроэнергетики. М.: Высшая школа, 1966. 487 с.
3. Боровиков Ю. С., Гусев А. С., Сулайманов А. О. Принципы построения средств моделирования в реальном времени интеллектуальных энергосистем // Электричество. 2012. №6. С.10-13.

Научный руководитель: А.С. Гусев, д.т.н., профессор, кафедра ЭЭС ЭНИН ТПУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

В.В. Давыдов¹, П.М. Ерохин², М.А.Прудов³

¹Филиал ОАО “СО ЕЭС” – ОДУ Сибири, г.Улан-Удэ, ²ОАО “СО ЕЭС”, г.Екатеринбург,

³ВСГУТУ, г.Улан-Удэ

Вопросы устойчивости играют ключевую роль в функционировании электрической системы (ЭС). Для их всестороннего анализа требуется значительный объем исходной информации. Оперативная информация, как правило, ограничивается составом и выработкой генерирующего оборудования, нагрузкой потребителей. Поэтому весьма привлекательным является использование математических моделей, требующих малый объем исходной информации.

В существующей практике нахождения предельных режимов (ПР) наибольшее распространение получила модель с шинами неограниченной мощности (НМ-модель) [1]. Эта модель требует такой же объем информации, как обычный расчет потокораспределения. Однако она имеет недостаток – рассчитываемые ПР зависят от месторасположения балансирующего узла (БУ) [2]. Поэтому при разных БУ параметры ПР будут другими, иногда существенно отличающимися [3]. БУ является искусственным понятием [2], но без него нельзя рассчитать установившийся режим ЭС. Возникает вопрос, какую НМ-модель (т.е. с каким БУ) использовать для определения расчетных ПР при оценке коэффициента запаса статической устойчивости ЭС.

Другой моделью, требующей несколько больше информации, является классическая позиционная модель (П-модель): $[T_J] d^2\delta / dt^2 = \Delta P(\delta)$, где $[T_J]$ – диагональная матрица постоянных механической инерции; δ – вектор углов вращения роторов синхронных машин (СМ); $\Delta P(\delta)$ – вектор небалансов мощности на валу СМ. В П-модели БУ определен однозначно – это распределенный БУ с коэффициентами участия СМ пропорционально их постоянным механической инерции [4]. Предел по статической устойчивости П-модели в