



**Некоммерческое партнерство  
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ  
Единой энергетической  
системы»**

109044 г. Москва, Воронцовский пер., дом 2  
Тел. (495) 912-1078, 912-5799, факс (495) 632-  
7285  
E-mail: [dtv@nts-ees.ru](mailto:dtv@nts-ees.ru), <http://www.nts-ees.ru/>  
ИНН 7717150757

**УТВЕРЖДАЮ**

Председатель Научно-технической  
коллегии НП «НТС ЕЭС», д.т.н.,  
профессор

 Н.Д. Рогалев

« 06 » 09 2024 г.

**ПРОТОКОЛ**

совместного заседания секции «Электротехническое оборудование»

НП «НТС ЕЭС» и НТС АО «Россети Научно-технический центр» по теме:

**«Анализ применения токоограничивающих реакторов в составе БСК  
напряжением 110-220 кВ на подстанциях ПАО «Россети»**

от 05 сентября 2024 г.

Москва

Присутствовали члены НТС АО «Россети Научно-технический центр»  
очно в переговорной 220, посредством видеосвязи и в заочной форме:

- |   |  |
|---|--|
| <b>Хренников<br/>Александр Юрьевич</b>  | - Председатель секции «Электротехническое оборудование» НП НТС ЕЭС, ученый секретарь НТС Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «Россети Научно-технический центр»; |
| <b>ПАНФИЛОВ<br/>Дмитрий Иванович</b>    | - Начальник Департамента НТС и научно-технической информации - Научный руководитель АО «Россети Научно-технический центр»;   |
| <b>ДЕМЕНТЬЕВ<br/>Юрий Александрович</b> | - Председатель НТС, Главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «Россети Научно-технический центр»;  |

- ВОРОТНИЦКИЙ**  
Валерий Эдуардович
- Главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «Россети Научно-технический центр»;
- МОРЖИН**  
Юрий Иванович
- Ведущий научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «Россети Научно-технический центр»;
- СМЕКАЛОВ**  
Владимир  
Валентинович
- СОРОКИН**  
Дмитрий  
Владимирович
- Научный сотрудник Управления подстанций Центра электротехнического оборудования АО «Россети Научно-технический центр»;
  - Заместитель научного руководителя Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «Россети Научно-технический центр»;
- КУЛИКОВ**  
Александр Леонидович
- Заместитель научного руководителя Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «Россети Научно-технический центр»;
- СЫТНИКОВ**  
Виктор Евгеньевич
- Заместитель научного руководителя Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «Россети Научно-технический центр»;
- НОВИКОВ**  
Николай Леонтьевич
- Заместитель научного руководителя Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «Россети Научно-технический центр»;
- ПОПОВ**  
Сергей Григорьевич
- Начальник управления функциональных и сертифицированных испытаний вторичного оборудования энергообъектов Департамента автоматизированных систем АО «Россети Научно-технический центр»;
- СОКУР**  
Павел Вячеславович
- Ведущий эксперт Отдела преобразовательной техники Управления качеством электроэнергии АО «Россети Научно-технический центр»;
- РЯБЧЕНКО**  
Владимир Николаевич
- Главный технолог Управления перспективного развития электрических сетей АО «Россети Научно-технический центр»;

**ТОКАРСКИЙ**  
Андрей Юрьевич

- Ведущий эксперт Управления перспективного развития электрических сетей АО «Россети Научно-технический центр»;

**МАКОКЛЮЕВ**  
Борис Иванович

- Главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «Россети Научно-технический центр»;

**РАБИНОВИЧ**  
Марк Аркадьевич

- Главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «Россети Научно-технический центр»;

**ДРОБЫШЕВСКИЙ**  
Александр  
Александрович  
**ЛАЧУГИН**  
Владимир Федорович

- Главный эксперт отдела трансформаторного и реакторного оборудования АО «Россети Научно-технический центр»;

- Ведущий научный сотрудник Управления организации НТС Департамента НТС и научно-технической информации АО «Россети Научно-технический центр»;

**РУДНЕВ**  
Николай Сергеевич

- Начальник Управления по проверке качества и разработке оборудования ВЛ и ПС Департамента аттестации оборудования «Россети Научно-технический центр»;

**БРАГУТА**  
Максим Валерьевич

- Начальник Департамента автоматизированных систем АО «Россети Научно-технический центр»;

**КАЛИНКИНА**  
Маргарита  
Анатольевна

- Заместитель начальника управления – начальник отдела реализации НИОКР Управления энергоэффективных технологий и снижения потерь АО «Россети Научно-технический центр»;

**ЩЕДРИН**  
Михаил Борисович

- Ведущий эксперт Дирекции интеллектуальной собственности АО «Россети Научно-технический центр».

**Приглашённые:**

**ШАМОНОВ**  
Роман Геннадьевич

– Заместитель начальника Департамента оперативно-технологического управления ПАО «ФСК ЕЭС»;

**БУЛЫКИН**  
Павел Юрьевич

– Заместитель начальника УОЭП АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;

**ЧУПРИКОВ**  
Виктор Сергеевич

Заместитель генерального директора  
- ООО «Усть-Каменогорский конденсатор»;

**Крупенин** Николай Генеральный директор  
Владимирович АО НПО «ВЭИ -Электроизоляция»

Заседание вел Председатель НТС АО «НТЦ ФСК ЕЭС», главный научный сотрудник АО «НТЦ ФСК ЕЭС» Юрий Александрович Дементьев

#### Слушали:

Доклад заместителя генерального директора ООО «Усть-Каменогорский конденсатор» по развитию, к.т.н. Чуприкова В.С. на тему:  
**«Анализ применения токоограничивающих реакторов в составе БСК напряжением 110-220 кВ на подстанциях ПАО «Россети»**

#### Актуальность и Цель работы:

Батареи статических конденсаторов (БСК) на напряжение 110 и 220 кВ являются одним из основных видов электрооборудования подстанций ПАО «Россети» классов напряжений 110...500 кВ и выполняют функции компенсации реактивной мощности и повышения напряжения на шинах подстанций.

В большинстве случаев на БСК присутствуют токоограничивающие реакторы в сухом исполнении и с воздушным сердечником, устанавливаемые в каждую фазу БСК. Цель их установки, согласно проектам - ограничение тока включения БСК в сеть. Причем индуктивность реактора не зависит ни от мощности БСК, ни от номинального напряжения, в большинстве проектов от БСК-110-26 до БСК-220-104 требуемая индуктивность одинакова и равна 1 мГн, иногда еще меньше – 0,5 мГн.

Реально ток включения БСК ограничивается реактансом КЗ сети в точке ее подключения, т.е. на шинах 110 или 220 кВ подстанции. Амплитуда свободной составляющей тока включения БСК с глухо заземленной

нейтралью в сеть определяется формулой:

$$i = \sqrt{2} \cdot U_{\phi} \cdot \sqrt{C/L_c},$$

где  $i$  – пиковый ток свободной составляющей при включении БСК;  $3 U_{\phi}$  – фазное напряжение;  $C$  – емкость фазы БСК;  $L_c$  – индуктивность КЗ сети в точке подключения БСК.

В случае наличия в фазе БСК реактора его индуктивность суммируется с индуктивностью КЗ сети.

Но есть случаи, когда установка реакторов в фазы БСК действительно необходима. При наличии двух и более БСК, подключаемых к ОДНОЙ секции шин, при включении каждой следующей БСК происходит разряд на нее включенных ранее БСК. Ток при этом ограничивается только реактансом ошиновки между ними и может достигать десятков кА, причем очень высокой частоты. Аналогичная ситуация может иметь место при объединении двух секций шин с единичными БСК в аварийном или ремонтном режимах работы подстанции. А реакторы обеспечивают снижение тока коммутации и его частоты. Величина тока коммутации в общем случае определяется следующей формулой:

$$i = \sqrt{2} \cdot U_{\phi} \cdot \sqrt{\frac{C_1 \cdot C_2}{(C_1 + C_2) \cdot (L_1 + L_2)}}$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – емкости конденсаторных батарей;  $L_1$  и  $L_2$  – индуктивности реакторов в фазах батарей.

Не менее половины БСК являются одиночными и не нуждаются в реакторах. Важно отметить, что даже при коммутации двух БСК друг на друга установка реактора в фазы БСК может быть необходима в первую очередь для ограничения тока выключателей, так как сами конденсаторы согласно ГОСТ 1282-88 «Конденсаторы для повышения коэффициента мощности», п.3.12: «... должны выдерживать пять разрядов накоротко после заряда напряжением постоянного тока 2,5 номинального».

Альтернативным решением является не просто снижение тока включения БСК, а практически исключение самого переходного процесса и связанных с ним сверхтоков и перенапряжений, является применение устройств т.н. управляемой (УК) или синхронной (СК) коммутации. Согласно материалам СИГРЭ [8] «Управляемая (или синхронная) коммутация широко применяется с 1990-х годов для сглаживания переходных процессов при включении и отключении различного энергетического оборудования, такого как шунтирующие реакторы, конденсаторные батареи, силовые трансформаторы, силовые кабели и линии электропередачи. Он также используется для уменьшения износа внутренних компонентов высоковольтных автоматических выключателей. Особенно часто УК используется в цепях управления выключателями батарей статических конденсаторов (БСК). Согласно исследованию СИГРЭ (брошюра 817) управляемая коммутация выключателей БСК применяется в 60 % всех высоковольтных выключателей. Контролируемое отключение конденсаторных батарей применяется в меньшем количестве случаев (около 20%), оно снижает вероятность повторного срабатывания автоматического

выключателя, поскольку, контролируя момент размыкания, можно обеспечить относительно большой контактный зазор.

Для расширения области применения УУК целесообразно проведение исследований возможности использования УУК не только для плановых коммутаций, но и для коммутаций аварийных режимов релейной защитой, которые в настоящее время запрещены:

1. Отключение токов КЗ с выбором наиболее удобного момента времени для уменьшения величины отключаемого тока и длительности горения дуги:

- При отключении номинальных токов с использованием технологии управляемой коммутации может быть достигнута экономия коммутационного ресурса выключателя до 23% при трехфазном управлении с чередованием фаз, и до 17 раз – при однофазной управляемой коммутации.

- В случае отключения больших токов КЗ (до 50 кА) преимущество управляемой коммутации значительно увеличивается, экономия коммутационного ресурса может достигать до 34% при трехфазном управлении с чередованием фаз, и вплоть до 40 раз – при однофазной управляемой коммутации.

- Выбор необходимого момента времени отключения при КЗ существенно экономит ресурс выключателя, но при этом имеется негативное воздействие токов КЗ на отключаемое оборудование вследствие увеличения длительности протекания тока КЗ (не более, чем на полпериода промышленной частоты)

Применение управляемой коммутации БСК в на подстанциях ПАО «Россети», помимо отказа от использования демпфирующих реакторов, может дать дополнительный технический эффект, особенно для совместной работы БСК с УШР: намного повысить частоту их коммутации для регулирования напряжения в сети и не выдерживать принятую паузу в 10 минут для разряда конденсаторов после отключения БСК перед последующим ее включением, так как УК позволяет включать в сеть и неразряженную БСК. В РФ 3 компании серийно производят устройства УК, которые не только не уступают по своим характеристикам западным образцам, но и имеют ряд преимуществ. Это ООО «АВМ-Энерго», НПП «ЭКРА и ОАО «ВНИИР», причем последняя разработка проводилась по заказу ПАО «Россети» в кооперации с АО «Россети Научно-технический центр».

Таким образом, нет никаких препятствий к внедрению управляемой коммутации БСК на подстанциях ПАО «Россети», особенно установок БСК.

### **Выступили:**

Дементьев Ю.А., Булыкин П.Ю., Антонов А.В., Смекалов В.В., Рябченко В.Н., Крупенин Н.В.

### **Отметили:**

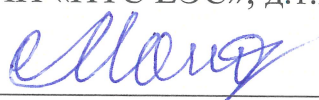
1. Установка в каждой фазе одиночной БСК токоограничивающего реактора не имеет технического смысла и приводит к увеличению площади установки и повышению ее стоимости, так как индуктивность 1 мГн не оказывает существенного влияния на ток включения БСК, который зависит в основном от реактивного сопротивления короткого замыкания сети.
2. Установка реактора необходима при наличии двух и более БСК на шинах 110-220 кВ, так как при включении БСК в сеть и при объединении содержащих БСК секций систем шин происходит разряд БСК под напряжением на вновь включаемую с током, ограниченным незначительной индуктивностью ошиновки.
3. Индуктивность реактора величиной 1 мГн достаточна для ограничения тока коммутации БСК друг на друга с 2,5 – кратным запасом по отношению к предельно допустимому для конденсаторов.
4. Реактор, устанавливаемый в цепи БСК при ее коммутации на шины с другими БСК, в мировой практике называется демпфирующим.
5. Одиночные установки составляют согласно данным Технической брошюры № 817 СИГРЭ 64% от всего мирового парка БСК. При этом 60% БСК за рубежом оснащены устройствами управляемой коммутации.
7. Применение УУК может позволить отказаться от применения реакторов в цепях параллельных БСК. Такая возможность должна подтверждаться конкретными расчетами. Если бросок тока получается не большой (менее предельно допустимых токов для БСК и выключателя при отсутствии реактора) реакторы можно не ставить и УУК обеспечит снижение броска тока и перенапряжений при коммутациях до минимума. И даже в том случае если УУК откажет и коммутация произойдет в случайный момент времени броски тока не повредят ни БСК ни выключатель. Так же УУК может позволить отказаться от 10-минутной паузы на разряд емкости отключенной БСК при производстве оперативных переключений в схемах группового регулирования напряжения с УШР.
8. В тех проектах, где к одним шинам подстанции подключаются две и более БСК или в других случаях, предусматривающих установку токоограничивающих реакторов, в проектной документации должен

присутствовать раздел «Проведение расчетов (включая аварийные и резонансные режимы) для подтверждения целесообразности установки реакторов в фазы БСК и выбора их параметров».

**Совместное заседание решило:**

1. Рекомендовать НТС ПАО «Россети» рассмотреть вопрос об исключении токоограничивающих реакторов из состава одиночных БСК, используемых в проектах подстанций ПАО «Россети» с целью экономии площади под БСК и снижения затрат на их закупку и эксплуатацию, а также повышение надежности за счет уменьшения количества высоковольтного оборудования.
2. Считать целесообразным проведение НИОКР по разработке руководящих материалов для расчета параметров реакторов БСК, включая соответствующий пакет программного обеспечения.
3. Считать целесообразным проведение НИОКР по оценке возможности и эффективности использования технологии управляемой коммутации для аварийных режимов и разработке специализированного УУК для коммутации БСК в нормальных и аварийных режимах работы.

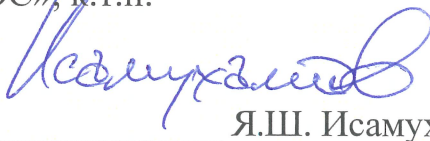
Первый заместитель Председателя  
Научно-технической коллегии  
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор

  
В.В. Молодюк

Председатель НТС АО «Россети  
Научно-технический центр»

  
Ю.А. Дементьев

Ученый секретарь Научно-  
технической коллегии НП «НТС  
ЕЭС», к.т.н.

  
Я.Ш. Исамухамедов

Председатель секции  
«Электротехническое оборудование»  
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор

  
А.Ю. Хренников

Ученый секретарь секции  
«Электротехническое оборудование»  
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.

  
Н.М. Александров