

**АЗ / ПТ 2: УПРАВЛЕНИЕ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ: ОПЫТ И МЕРЫ  
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ НАГРУЗОК И ПЕРЕГРУЗОК**

**Исследование перенапряжений в режимах коммутации кабельных и кабельно-воздушных линий, силовых трансформаторов, шунтирующих реакторов и конденсаторных установок 110-750 кВ и разработка устройства управляемой коммутации вышеуказанным электрооборудованием.**

**Смекалов В.В., Назаров И.А., Мерзляков А.С., АО «НТЦ ФСК ЕЭС;  
Балашов С.В., Ерохин Е.Ю., ОАО «ВНИИР»  
Россия**

Коммутации электрооборудования в электроустановках могут сопровождаться недопустимо высокими перенапряжениями, бросками коммутируемых токов, соизмеримых по величине с токами короткого замыкания, и появлением в отключаемом токе апериодических составляющих с параметрами (величина и длительность), превышающими возможности коммутационной аппаратуры по их отключению.

Несмотря на кратковременность воздействия, перенапряжения характеризуются высокой кратностью по отношению к длительному рабочему напряжению и могут представлять опасность, как для основного электрооборудования, так и для вторичных цепей.

Наличие апериодической составляющей в отключаемом токе может приводить к невозможности отключения такого тока в период работы выключателя, «затягиванию» процесса отключения и, как следствие, к тяжелой аварии на выключателе.

Последние годы в мировой энергетике широко внедряются методы и средства управляемой коммутации энергетического оборудования, не реактированных и реактированных ЛЭП, шунтирующих реакторов, конденсаторных батарей и силовых трансформаторов.

За последние 14 лет CIGRE WG A3.07 выпустила ряд основополагающих документов, [1-10], посвященных упомянутой тематике, а также подготовила обширный обзор применения управляемой коммутации в мировой практике.

Исследования, проведенные в России, посвященные исследованию перенапряжений и разработке отечественного устройства управляемой коммутации (УУК), позволили предложить ряд технических решений обеспечивающих:

- универсальность использования предлагаемого устройства с элегазовыми выключателями различных фирм, различных классов напряжения и различных годов выпуска;
- возможность применения устройства на выключателях с пофазным и трехфазным управлением;
- наличие алгоритмов управления коммутациями различных видов электрооборудования (конденсаторными батареями, шунтирующими реакторами, силовыми трансформаторами) и линий электропередачи (воздушными, кабельными и кабельно-воздушными), сосредоточенных в одном устройстве;
- наличие функции диагностики состояния выключателей 110-750 кВ по результатам мониторинга нормальных и аварийных режимов работы (коммутационный ресурс, механический ресурс, синхронность работы приводов, и др.);

- универсальные интерфейсы обмена информацией, как для внутренних целей устройства, так и для внешних цепей АСУ ТП на основе МЭК 61850;
- возможность встраивания в технологию «цифровой подстанции» для управления работой электрооборудования ПС 110-750 кВ;
- уменьшение стоимости разрабатываемого устройства на 15-25% по сравнению с импортными аналогами за счет универсального характера устройства и использования отечественных возможностей производства.

В рамках упомянутых исследований проведены:

- проверка эффективности разработанной структурной схемы и алгоритма работы УУК с использованием разработанного специально для данных целей «Эмулятора тестирования алгоритмов УУК в реальном времени»;
- оценка экономии коммутационного ресурса выключателя при работе в режиме однофазной и трехфазной коммутации (с чередованием фаз) по сравнению с режимом трехфазного управления без задержек времени.

#### **Основные сценарии коммутации:**

- 1) Включение по команде от диспетчера под напряжение и под нагрузку не реактивированных ЛЭП, конденсаторных батарей (схема «звезда с нулем»), УПК и силовых трансформаторов под нагрузку без дуги между контактами выключателя.
- 2) Включение по команде от диспетчера под напряжение и под нагрузку не реактивированных ЛЭП, конденсаторных батарей (схема «звезда с нулем»), УПК и силовых трансформаторов под нагрузку с минимальным временем горения дуги между контактами выключателя.
- 3) Включение по команде от диспетчера конденсаторной батареи, включенной по схеме «звезда без земли» или по схеме «треугольник».
- 4) Включение по команде диспетчера под напряжение реактивированных ЛЭП (в т.ч. и при АПВ), и шунтирующих реакторов
- 5) Включение по команде от диспетчера ненагруженного силового трансформатора
- 6) Отключение по команде от диспетчера не реактивированных ЛЭП, конденсаторных батарей и УПК.
- 7) Отключение по команде от диспетчера реактивированных ЛЭП, шунтирующих реакторов и силовых трансформаторов.
- 8) Отключение по команде от диспетчера конденсаторной батареи, включенной по схеме «звезда без земли» или по схеме «треугольник».
- 9) Передача команды от УУК на отключение выключателя без задержки времени.

Проверка работоспособности алгоритмов осуществлялась с моделированием различных условий воздействия внешних факторов:

- Изменение температуры привода (от -40°C до +40°C)
- Отклонение частоты сети от 50 Гц (от 40 Гц до 60 Гц)
- Изменение напряжения питания цепей управления выключателя от 0,7 до 1,1 Уном
- Изменение температуры газа в выключателе (от -40°C до +70°C)
- Различный RDDS полюсов выключателя
- Недопустимый разброс времени срабатывания полюсов выключателя

Проверка показала адекватность работы предлагаемого устройства при реализации указанных сценариев коммутаций в условиях изменения внешних воздействий.

#### **Экономия коммутационного ресурса выключателя**

Суть исследования заключалась в определении количества операций отключения выключателем номинальных токов (4кА) и токов КЗ (50 кА), приводящих к расходованию коммутационного ресурса ниже заданного порога для каждого из описанного выше режимов.

При использовании технологии управляемой коммутации при отключении номинальных токов, 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 до 50 кА, преимущество управляемой коммутации значительно увеличивается, экономия коммутационного ресурса может достигать *до 34% при трехфазном управлении с чередованием фаз*, и до *40 раз – при однофазной управляемой коммутации*.

Проведенные исследования позволяют поставить вопрос о целесообразности применения режимов управляемой коммутации как при плановых коммутациях оборудования, так и при отключениях токов КЗ, по меньшей мере, на линиях электропередачи.

## Литература

- [1] WG 13.07, 'Controlled switching of HVAC circuit-breakers. Guide for application lines, reactors, capacitors, transformers. Ist part.', E-Cigré, no. ELT-183\_2, 1999.
- [2] WG 13.07, 'Controlled switching of HVAC circuit-breakers. Guide for application lines - reactors - capacitors - transformers. 2nd Part.', E-Cigré, vol. ELT 185-2, 1999.
- [3] WG 13.07, 'Controlled switching of HVAC circuit-breakers. Planning - specification and testing of controlled switching systems.', E-Cigré, no. ELT-197, 2001.
- [4] 'Controlled Switching of HVAC Circuit breakers - Benefits and Economic aspects', E-Cigré, no. ELT\_217\_9, 2004.
- [5] WG A3.07, 'Controlled Switching of HVAC CBs: Benefits & Economic Aspects', TB\_262, 2004.
- [6] WG A3.07, 'Controlled Switching of Hvac Cbs - Guidance for Further Applications Including Unloaded Transformer Switching, Load and Fault Interruption and Circuit-Breaker Uprating', TB-263, 2004.
- [7] WG A3.07, 'Controlled switching of HVAC CBs - Planning, Specifications & Testing', TB-264, 2004.
- [8] De Carufel, S. et al., 'Special Considerations with Controlled Switching Projects'. CIGRE, Colloquium NAGOYA, 2015.
- [9] Mercier, A. et al., 'Present and Future of Controlled Switching Commissioning (On behalf of CIGRÉ WG A3. 35)', CIGRÉ-CEI Colloq. 2016 Montr., 2016.
- [10] WG A3.35 Guidelines and best practices for the commissioning and operation of controlled switching projects CIGRÉ February 2019