



**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, <http://www.nts-ees.ru/>

УТВЕРЖДАЮ

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

 А.Ф. Дьяков

 «02 » августа 2012 г.

02 августа 2012 г.

№ 5

г. Москва

**ПРОТОКОЛ
совместного заседания секции «Электротехническое оборудование»
НП «НТС ЕЭС» и НТС ОАО «НТЦ электроэнергетики».**

**Тема заседания: «Токоограничительное устройство ТОУ 220 кВ».
Докладчик: А.В. Шурупов, директор Шатурского филиала ОИВТ РАН.**

Организация, выполняющая экспертизу: ОАО «НТС ФСК ЕЭС».

Присутствовали: 27 чел.

На заседании выступили:

С вступительным словом: научный руководитель ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»
Ю.Г. Шакарян

По вопросу повестки дня выступил директор Шатурского Филиала ОИВТ РАН Шурупов А.В., который в своем докладе отметил, что Основной концепцией, принятой при разработке токоограничивающего устройства, является возможность глубокого ограничения токов КЗ при напряжении 220 кВ (ТОУ-220) с помощью специального реактора и коммутационных элементов взрывного типа.

В основу схемного решения ТОУ-220, защищённого патентом и основанного на идеи магнитосвязанного реактора, были положены следующие основополагающие принципы:

- уровень напряжений, на которые разработаны взрывные коммутационные размыкатели, составляет не более 35 кВ (литературные данные на момент получения патента и открытия работы);

- ограничение тока КЗ обеспечивается индуктивным сопротивлением (реактансом) специального реактора-трансформатора при разомкнутой вторичной обмотке (режим ХХ).

Первоначально в ТОУ-220 было предложено использовать трансформатор, понижающий напряжение не менее чем в 4 раза (для сети 220 кВ) и включенный в рабочем состоянии в режиме с короткозамкнутой вторичной обмоткой (режим КЗ). Разрыв тока во вторичной обмотке производится быстродействующим взрывным коммутационным элементом и плавким коммутационным элементом. Время отключения тока – 1-3 мс.

В результате всестороннего анализа пришли к выводу, что построить ТОУ-220 на основе магнитосвязанного реактора можно. Однако получаемое при этом оборудование весьма громоздко и достаточно дорогостояще, что не всегда приемлемо.

Был проведен дополнительный поиск решений, которые могли привести к успеху в решении поставленной задачи. Исходили из условия, что поименованные выше основополагающие принципы не являются догмой. Действительно, идея магнитосвязанного реактора превращает проблему отключения умеренных токов (порядка 2-4 кА) при весьма высоком напряжении (сотни киловольт) в проблему отключения токов при умеренном напряжении (уровня десятков кВ), но больших токах уровня десятков кА. Из литературных данных не известны технические решения построения взрывных коммутационных размыкателей, позволяющих отключать токи в сетях 220 кВ и удерживать в режиме отключения напряжения вплоть до 450 кВ.

Идея такого взрывного коммутационного устройства на напряжения сотни киловольт была предложена специалистами ЗАО «Специальные энергетические технологии» и ЦФ ОИВТ РАН и изложена в заявлении о выдаче патента Российской Федерации на изобретение «Способ ограничения тока короткого замыкания в системах защиты от разрушения высоковольтного оборудования» № 2010104961. Приоритет патента 12.02.2010 г. Патентообладатели: Чулков А.Н., Смирнов И.А., Виноградов А.А.

Известно, что фирма G&W ELECTRIC CO (США) предпринимает попытку строить высоковольтные размыкатели токов по принципу каскадирования отработанного взрывного размыкателя на напряжение 13 кВ и 27 кВ. По крайней мере, данная фирма заявила о создании взрывного размыкателя для сетей 35 кВ и планирует в ближайшие годы создать взрывные размыкатели на 63 кВ и 140 кВ. При этом, как мы понимаем, основная трудность, с которой они сталкиваются, - удержание напряжения в открытом состоянии взрывного размыкателя. Такое решение проходит для относительно низковольтных сетей, например, 13 кВ и 27 кВ. Однако простое каскадирование отработанной ячейки не приводит к успеху. Наиболее важной причиной неудачи при таком подходе является разброс срабатывания каскадов, что приводит к перенапряжению на отдельных каскадах.

Решение было найдено и заключается в следующем: *для выравнивания напряжения на каскадном взрывном коммутационном элементе применяется емкостной делитель напряжения или резистивный делитель напряжения. Важным моментом является следующее решение – плавкий коммутационный элемент является общим для всех каскадов, а не составной частью каждого каскада отдельно.* Этими решениями достигается следующее: выравниваются потенциалы на всех каскадах взрывного коммутационного элемента, и исключается разброс времени

срабатывания отдельных плавких коммутационных элементов. Решение было проверено при совместных испытаниях специалистов ШФ ОИВТ РАН и специалистов ЗАО «СЭТ».

На взрывном коммутационном элементе, состоящем из двух каскадов с системой выравнивания потенциалов, было достигнуто в заводских испытаниях напряжение, при котором не наблюдалось пробоя, свыше 150 кВ. Испытания продемонстрировали правильность выбранного решения.

Итак, предложенное решение по взрывному коммутационному элементу цикла отключение (ВКЭО) совместно с плавким коммутационным элементом цикла отключение позволило разработать иную схему построения ТОУ-220.

Стало очевидно, что устройство должно состоять как минимум из трёх основополагающих элементов: каскадного взрывного коммутационного элемента (размыкателя), системы выравнивания потенциалов на каскадном взрывном размыкателе (емкостного или резистивного) и общем плавком коммутационном элементе (выключателе).

Плавкий коммутационный элемент цикла отключение (ПКЭО), по сути, является ключевым элементом устройства отключения. В рабочем состоянии через ПКЭО течёт незначительный ток, не приводящий к какому-либо нагреву, например 0,1% от действующего тока в сети. Большой ток в ПКЭО появляется только в момент разрыва основного медного проводника в ВКЭО. При этом ток в ПКЭО возрастает в 10^3 - 10^5 раз. Время деформации элементов токопровода ВКЭО до достижения ими состояния, при котором заведомо достигается нужный уровень электрической прочности разрыва, составляет около 1 мс. Параметры ПКЭО выбираются таковыми, что за указанное выше время токопроводящий элемент ПКЭО сохраняет металлическую проводимость, затем токопроводящий элемент ПКЭО расплывается и продукты распаривания диссилируют в окружающей среде. Геометрией, физико-техническими характеристиками материала проводника, агрегатным состоянием среды, окружающей проводник, достигается заданная времятоковая характеристика ПКЭО и уровень его электрической прочности.

Таким образом, при наличии высоковольтного взрывного коммутационного элемента цикла отключение (ВВКЭ) способного удерживать в открытом состоянии напряжения уровня сотен киловольт даёт возможность отказаться от схемы с магнитосвязанным реактором и разработать новые схемы реализации ТОУ-220 на основе индуктивных и резистивных реакторов.

Были проанализированы несколько схемных решений ТОУ-220, не основанных на применении магнитосвязанного реактора:

- токоограничивающее устройство на основе специального импульсного индуктивного реактора и каскадных коммутационных элементов взрывного типа цикла отключение;

- токоограничивающее устройство на основе специального резистивного реактора и высоковольтных взрывных коммутационных элементов цикла отключение и включение;

- токоограничивающее устройство на основе специального резистивного реактора и взрывных коммутационных элементов цикла отключение без взрывного коммутационного элемента цикла включение;

- токоограничивающее устройство на основе высоковольтных взрывных коммутационных элементов цикла отключение с резистивным реактором – делителем напряжения.

В результате был сделан вывод, что на подстанции «Каскадная» целесообразно применить ТОУ, выполненный на основе импульсного индуктивного реактора и высоковольтных взрывных коммутационных элементов нового поколения ВВКЭ. Для гашения перенапряжения в сети при работе ТОУ-220 был разработан безындукционный резистор. Это новаторское решение. Предлагаемое решение по совокупности тактико-технических показателей, стоимостных показателей и надёжности решения задачи токоограничения на межшинных соединениях в условиях ПС «Каскадная», на наш взгляд, наиболее оптимально.

Устройство ТОУ-220 для ПС «Каскадная» состоит из следующих основных отдельных блоков:

- специальный индуктивный реактор;
- высоковольтный взрывной коммутационный элемент цикла отключение, включая:

- каскадный взрывной коммутационный элемент цикла отключение;
 - емкостной делитель напряжения;
 - плавкий коммутационный элемент цикла отключение;
- шунтирующий безындукционный резистор;
- плавкий коммутационный элемент цепи резистора;
- система управления ТОУ-220 (2 устройства);
- несущая платформа;
- вспомогательное оборудование.

Технологически процесс ограничения токов КЗ построен на принципе быстрого подключения в цепь индуктивного реактора на время ограничения тока короткого замыкания. В нормальном режиме работы индуктивный реактор закорочен каскадным высоковольтным взрывным коммутационным элементом цикла отключение и плавким коммутационным элементом цикла отключение и безындукционным резистором через плавкий коммутатор. Плавкий коммутатор применён в цепи безындукционного резистора для отключения последнего в конце первой полуволны, т.к. к этому времени он выполнит основную свою функцию, а именно ограничение напряжения в момент перекоммутации цепей при работе высоковольтного взрывного коммутационного элемента. Быстро действующий высоковольтный взрывной коммутационный элемент цикла отключение выполняется каскадным с устройством выравнивания потенциала в виде емкостного делителя напряжения. Сечение проводника ВВКЭ выбирается согласно ГОСТ, и в нормальном режиме работы не вносит каких-либо возмущений в цепь, и практически не имеет тепловых потерь. При наступлении аварийной ситуации и возникновении тока короткого замыкания система управления выдаёт команду на подрыв каскадного ВКЭО. За ~ 0,1 мс происходит отключение ВКЭО и переключение тока в ПКЭО. Время достижения максимальной электрической прочности ВКЭО составляет около 1 мс. Время отключения тока ПКЭО больше и составляет 2 - 3 мс. Индуктивный реактор ограничивает ток короткого замыкания до заданного значения достаточного уровня для срабатывания штатных отключающих выключателей. Типичное время отключения тока современными выключателями составляет 60 -

180 мс. Поэтому индуктивный реактор оказывается включенным в цепь именно на время не более 180 мс.

В настоящее время выполнены все этапы НИОКР по разработке, изготовлению и испытаниям ТОУ-220 в трёхфазном исполнении. Были проведены типовые испытания ТОУ-220 в Центре по испытаниям и сертификации ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» и ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ. Испытаниям подвергались как отдельные элементы ТОУ-220, так и в целом отдельные фазы в комплектном состоянии. Испытания полностью подтвердили проектные параметры ТОУ-220. ТОУ-220 подготовлен к практическому внедрению на выбранном объекте. Председателем правления ОАО «ФСК ЕЭС» О.М. Бударгиным подписан приказ № 712 от 20.11.2012 «Об организации и проведении мероприятий по обеспечению пилотного внедрения инновационного оборудования по титулу «Установка токоограничивающего устройства ТОУ 220 кВ на ПС 500 кВ Каскадная» филиала ОАО «ФСК ЕЭС» - МЭС Центра».

По рассматриваемой теме также выступили:

Ведущий специалист Шатурского Филиала ОИВТ РАН А.В. Козлов, который в своем выступлении остановился на проблемах выбора расчетных параметров реактора и шунтирующего резистора, предназначенных для ограничения величины токов к.з. и ограничения перенапряжений соответственно.

Заместитель научного руководителя ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» Н.Л. Новиков доложил о требованиях к релейной защите и автоматики ПС «Каскадная», при ее оснащении ТОУ, показав, что основные уставки и функции имеющейся р.з. остаются неизменными требуется лишь организовать информационную систему РЗА о несрабатывании при к.з. ТОУ.

Заместитель генерального директора ОИВТ РАН Э.С. Сон изложил основные положения программы и методики испытаний ТОУ.

В обсуждении приняли участие: Ю.А. Горюшин (ОАО «ФСК ЕЭС»), Ю.Г.Шакарян, Н.Л. Новиков (ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»), Э.Е. Сон (ОИВТ РАН).

С критикой определенных разделов программы и методики выступили заместитель начальника службы режимов ОАО «ФСК ЕЭС» Р.Г. Шамонов и главный эксперт отдела инновационного развития Департамента технологий развития и инноваций ОАО «ФСК ЕЭС» Ю.А. Горюшин.

Заслушав и обсудив доклад, выступления в дискуссии **совместное заседание отмечает:**

1. Необходимость разработки и утверждения специальных технических требований к ТОУ.

2. Определенные недостатки программы и методики испытаний ТОУ.

Совместное заседание решило:

1. Одобрить выполненную ОИВТ РАН с участием других организаций разработку ТОУ 220 кВ коммутационного действия, отметив ее инновационность и новизну разработанных технических решений.

2. Поддержать решение ОАО «ФСК ЕЭС» об установке на ПС 500 кВ «Каскадная» МЭС Центра ТОУ 220 для проведения опытно-промышленной эксплуатации при ограничении токов к.з..

3. Рекомендовать ОИВТ РАН совместно с ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» доработать с учетом высказанных замечаний программы и методики испытаний, а также разра-

ботать специальные технические требования к ТОУ и представить их для утверждения руководству ОАО «ФСК ЕЭС».

Заместитель Председателя
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», д.т.н.

В.В. Молодюк

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

Я.Ш. Исамухамедов

Председатель Научно-технического
совета ОАО «НТЦ электроэнергети-
ки», к.э.н.

П.Ю. Корсунов

Ученый секретарь Научно-
технического совета ОАО «НТЦ
электроэнергетики», к.т.н.

О.Л. Магдалиев

Председатель секции «Электротехни-
ческое оборудование»
НП «НТС ЕЭС», д.т.н.

Ю.Г. Шакарян

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

О.Л. Магдалиев