ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ 110–220 КВ НА БАЗЕ ВАКУУМНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАЗРЯДНИКОВ*

АВТОРЫ:

АКИНИН А.А.,
К.Т.Н.
ОАО «ИНСТИТУТ «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ВОРОНИН В.А.
ОАО «ИНСТИТУТ «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ИВАНОВ И.А.,
К.Т.Н.
ОАО «ИНСТИТУТ «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

КОСОЛАПОВ А.М.
ОАО «ИНСТИТУТ «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ЛЮБАРСКИЙ Д.Р.,
Д.Т.Н.
ОАО «ИНСТИТУТ «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

МАРУСОВ Н.Л.
ОАО «ИНСТИТУТ «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

Развитие мегаполисов характеризуется значительной концентрацией энергопотребления на небольших площадях. Для удовлетворения возрастающей потребности в электроэнергии вводятся новые генерирующие мощности, узлы распределения и линии электропередачи, что приводит к значительному росту токов короткого замыкания (КЗ). Тенденция увеличения токов КЗ характерна для всего мира. Особенно высокие значения токов КЗ наблюдаются в мегаполисах.

Ключевые слова: энергосистема, противоаварийная автоматика, управляемые вакуумные разрядники.

* Статья написана по материалам доклада, представленного Косолаповым А.М. на конференции молодых ученых «Энергия единой сети» (22 июня 2013, г. Санкт-Петербург). Конкурсной комиссией доклад был отмечен премией по тематике «Технологии передачи электроэнергии»

При проектировании координация токов КЗ состоит в выборе оптимальной схемы и связей с узловыми подстанциями энергосистемы

УПРАВЛЯЕМЫЙ ВАКУУМНЫЙ РАЗРЯДНИК (РВУ)

Рис. 1

В настоящее время в Москве и Московской области существуют подстанции, у которых величина токов КЗ на шинах превышает номинальные токи отключения выключателей или будет превышать эти значения в ближайшем будущем. Проведенные расчеты токов КЗ на перспективу до 2015 г. [1] показали, что в полностью замкнутой электрической сети Московской энергосистемы значения токов КЗ на шинах 110–220 кВ крупных станций, подстанций увеличатся до 120–140 кА.

КООРДИНАЦИЯ ТОКОВ КЗ

Для координации токов КЗ используют [2]:

- оптимизацию структуры сети и ее параметров (схемные решения);
- переход на новую ступень по параметрам коммутационных аппаратов;
- стационарное и автоматическое (аварийное) секционирование сети;
- опережающее деление сети (ОДС);
- применение токоограничивающих реакторов (ТОР) и токоограничивающих устройств (ТОУ).

Оптимизация структуры и параметров электрических сетей и генерирующих мощностей станций для ограничения роста уровня токов КЗ может быть обеспечена в новых строящихся районах энергопотребления.

Для обеспечения надежности в современных сетях создается большое количество параллельных связей, разделять которые недопустимо. Поэтому при реконструкции существующих энергосистем ограничение уровня токов КЗ только за счет оптимизации схемных решений практически невозможно. Необходимо использовать различные сочетания указанных выше технических решений.

Установка силового оборудования следующей ступени является весьма дорогостоящей мерой, но в ряде случаев позволяет решить проблему. Однако реконструкция, предусматриваемая инвестиционной программой ФСК (в т. ч. для замены выключателей), не в полной мере соответствует темпам роста токов КЗ. Кроме того, согласно расчетам [1] на 2015 г., на наиболее крупных объектах, прежде всего на уровне 220 кВ, даже установка выключателей специального исполнения с номинальным

ИНФОРМАЦИЯ

КООРДИНАЦИЯ УРОВНЕЙ ТОКОВ КЗ

Координация уровней токов КЗ – это согласование их значений в различных узлах энергосистемы и приведение в соответствие с параметрами электрооборудования.

При проектировании электроустановки цель координации состоит в выборе ее оптимальной схемы и связей с узловыми подстанциями энергосистемы. При этом должны учитываться параметры электрооборудования, режимные ограничения, требования к устойчивости и надежности работы электроустановки.

При эксплуатации энергосистемы координация уровней токов КЗ осуществляется изменением схемы, режимов работы:

- деление сети на секционных или шиносоединительных выключателях;
- разземление нейтралей трансформаторов, заземление нейтралей трансформаторов через резисторы или реакторы;
- токоограничивающие реакторы или трансформаторы с расщепленной обмоткой НН.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ВБК НА НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ 110 КВ И ТОК ОТКЛЮЧЕНИЯ 80 КА

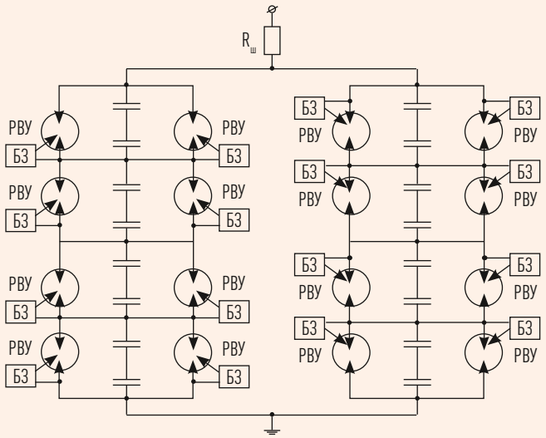

Рис. 2

током отключения 80 кА окажется неэффективной.

Мероприятия, связанные с секционированием и опережающим делением сети, применяются довольно часто. Но они, как правило, приводят к увеличению потерь и снижению надежности функционирования системы электроснабжения.

Современные ТОУ [4] должны обеспечивать:

- ограничение тока КЗ и переходных восстанавливающихся напряжений (ПВН);
- высокое быстродействие при включении и отключении (до единиц мс);
- стабильные характеристики, отсутствие воздействия на нормальный режим работы сети (на уровень напряжений);
- отсутствие нелинейных искажений напряжения и тока в нормальном режиме работы сети;
- стабильную работу при многократном автоматическом повторном включении (АПВ);
- интеграцию в качестве сетевого элемента в общую систему управления и защиты.

ВЫЯВЛЕНИЕ ОПАСНОГО ТОКА В УСЛОВИЯХ НАСЫЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Рис. 3

Однако существующие типы ТОУ привязаны к конкретной топологии сети. Они могут потреблять значительную мощность в нормальном режиме (токоограничивающие реакторы) и оказывать неблагоприятное влияние на ПВН при отключении выключателей. Кроме того, они требуют значительных площадей для установки. Эти недостатки существенно ограничивают эффективность их применения, особенно в условиях плотной застройки мегаполисов, где существует острый дефицит свободной земельной площади.

Современные конструкции управляемых ТОУ – это результат значительного прогресса в развитии силовой электроники, вакуумных и импульсных технологий и появления мощных коммутационных аппаратов на базе управляемых вакуумных разрядников (РВУ) [5].

РВУ представляет собой герметизированный безнакальный трехэлектродный прибор с давлением остаточных газов не более 10^{-4} Па (рис. 1). Основным элементом РВУ является электродная система, содержащая два основных и один управляющий электроды. Электродная система размещается в герметизированном корпусе, который выполняет также функцию изолятора. Управляющий электрод устанавливается на одном из основных электродов и отделяется от него диэлектрической вставкой. Комбинация управляющего электрода с этой вставкой называется узлом запуска. Расстояние между основными электродами всегда фиксированно и определяется требуемой электрической прочностью вакуумного промежутка. Разрядник содержит также экранную систему, которая защищает внутренние стенки корпуса от металлизации продуктами эрозии основных электродов. Включение РВУ осуществляется подачей пускового импульса напряжения на управляющий электрод.

Перспективы использования РВУ обусловлены такими их преимуществами (по сравнению с другими типами коммутирующих устройств), как возможность практически мгновенного включения (не более 100 мкс) в широком диапазоне рабочих напряжений и токов, высокая удельная мощность, высокая стойкость к аварийным воздействиям и сравнительно низкая стоимость в сравнении с газоразрядными и полупроводниковыми приборами.

ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКОВ КЗ НА БАЗЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ВАКУУМНЫХ РАЗРЯДНИКОВ

В настоящее время ОАО «Институт «Энергосетьпроект» совместно с ФГУП ВЭИ в рамках инновационной программы ОАО «ФСК ЕЭС» осуществляют разработку системы ограничения токов КЗ и переходных восстанавливающихся напряжений в сетях 110–220 кВ на основе вакуумных управляемых разрядников (СОТ-РВУ).

Указанные выше свойства РВУ позволяют создать систему с уникальными и по существу не имеющими аналогов характеристиками: снижение ударного тока в поврежденном присоединении и ограничение переходных восстанавливающихся напряжений на контактах выключателя при отключении последнего.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА КЗ ПРИ ОТКЛЮЧЕННОМ СОСТОЯНИИ ВБК

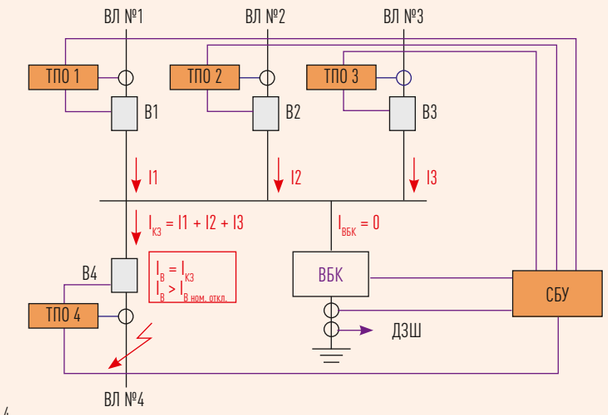

Рис. 4

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА КЗ ПРИ ВКЛЮЧЕННОМ СОСТОЯНИИ ВБК

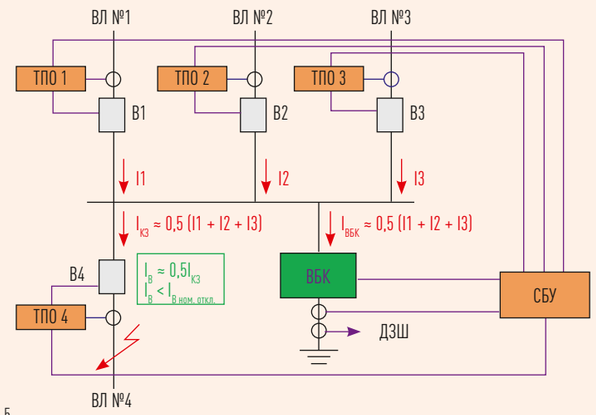

Рис. 5

ВРЕМЕННАЯ ДИАГРАММА РАБОТЫ СОТ-РВУ

$t_{сраб.\ ТПО}$ – время срабатывания ТПО (не более 4 мс); $t_{вкл.\ ВБК}$ – время включения ВБК (не более 100 мкс); $t_{ф.в.\ ВБК}$ – время обнаружения тока через ВБК (не более 4 мс); $t_{ПРОМ}$ – время срабатывания промежуточного реле (не более 10 мс); $t_{откл.\ Q}$ – время отключения выключателя; $t_{ф.от.\ Q}$ – время обнаружения отключения выключателя – не более 20 мс; $t_{откл.\ ВБК}$ – время отключения ВБК – не более 20 мс.

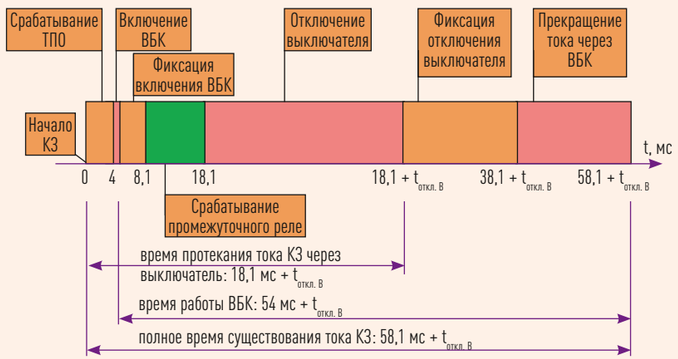

Рис. 6

СОТ-РВУ реализована с использованием группы РВУ [6] и состоит из следующих основных частей:

- высоковольтного быстродействующего коммутатора (ВБК);
- токовых пусковых органов (ТПО);
- системного блока управления (СБУ).

ВБК представляет собой группу последовательно/параллельно соединенных РВУ (рис. 2) вместе со своими блоками запуска (БЗ). Для измерения тока, проходящего через ВБК, включается специальный шунт ($R_ш$).

Используемый РВУ имеет следующие параметры: номинальное напряжение – 35 кВ, номинальный ток – 40 кА. Для обеспечения требований технического задания по прочности изоляции и надежности в нормальном режиме каждая ветвь ВБК содержит четыре последовательно соединенных РВУ. Требуемый ток отключения (80 кА) создается одновременным включением двух параллельных ветвей. Собственное время включения ВБК не превышает 100 мкс.

Система управления ВБК обеспечивает формирование синхронных сигналов пуска на соответствующие блоки запуска РВУ в зависимости от полярности тока, который надо пропустить.

ТПО должны устанавливаться на присоединениях, по которым может протекать опасный ток КЗ. При наличии обходного выключателя ТПО должны устанавливаться и на нем.

Реализованные в ТПО программно-технические решения обеспечивают быстрое (до 3 мс) выявление опасных токов КЗ даже в условиях насыщения трансформаторов тока класса 10 Р (рис. 3), а также логику работы с выключателем присоединения.

Системный блок управления обеспечивает логику взаимодействия всех элементов СОТ-РВУ и связь с АСУ ТП энергообъекта.

Все цифровые элементы СОТ-РВУ и оптические линии связи между ними контролируются системой непрерывной диагностики.

Принцип ограничения токов КЗ в поврежденном присоединении основан на перераспределении токов КЗ между точкой КЗ и местом включения ВБК во время работы ВБК [6] (рис. 3, 4).

ТПО контролирует величину тока в присоединении и при срабатывании формирует два сигнала: 1) сигнал пофазного включения ВБК, который подается в системный блок управления (СБУ), и 2) сигнал запрета отключения выключателя, блокирующий действие РЗ присоединения. Сигнал включения ВБК через СБУ поступает в систему управления ВБК.

Успешное включение ВБК фиксируется в СБУ, который передает сигнал о включении ВБК на ТПО поврежденного присоединения. Последний формирует команду отключения выключателя.

После подтверждения отключения выключателя сигнал включения снимается с блоков поджига ВБК, и не более чем через 20 мс ток через ВБК прекращается.

СБУ контролирует состояние ВБК и при выявлении отказа ВБК (под отказом понимается его включенное состояние при отсутствии сигнала пуска или отключенное состояние при наличии сигнала пуска в течение заданного времени) формирует сигнал отказа ВБК, который может использоваться, например, для отключения секции шин через ее дифференциальную защиту.

Временная диаграмма нормального цикла работы СОТ-РВУ приведена на рис. 6.

Приведенные на рис. 6 параметры позволяют получить следующие

временные характеристики работы СОТ-РВУ:

- время работы ВБК $t_{горения}$ = 54 мс + $t_{откл.\ Q}$;
- время протекания тока КЗ через выключатель $t_{КЗ\ Q}$ = 18,1 мс + $t_{откл.\ Q}$;
- полное время существования КЗ $t_{КЗ}$ = 58,1 мс + $t_{откл.\ Q}$.

Проведенные расчеты распределения токов (рис. 7) показали, что быстрое включение ВБК обеспечивает снижение ударного тока в выключателе примерно на 40%. После затухания апериодической составляющей (постоянная составляет около 10 мс) ток через ВБК и ток через выключатель практически сравняются.

В настоящее время в ОАО «Институт «Энергосетьпроект» и ФГУП ВЭИ успешно проведены испытания элементов СОТ-РВУ. Завершение разработки экспериментального образца СОТ-РВУ и проектных решений по его установке на пилотном объекте предполагается завершить в 2013 г.

ВЫВОДЫ

1. Разработанный образец системы ограничения токов короткого замыкания представляет собой на сегодня единственное комплексное решение, обеспечивающее (в том числе при многократных циклах АПВ):

- ограничение ударного тока в защищаемых присоединениях за счет высокого быстродействия;
- ограничение тока КЗ, протекающего через выключатель поврежденного присоединения;
- снижение переходных восстанавливающихся напряжений при отключении выключателем тока КЗ;
- интеграцию в систему управления энергообъектом.

2. Силовая часть СОТ-РВУ устанавливается на шинах (или на секции шин) и защищает все отходящие присоединения. Изменение топологии сети – в частности, подключение новых присоединений – потребует только установки дополнительных токовых пусковых органов.

3. По сравнению с другими предлагаемыми вариантами токоограничивающих устройств СОТ-РВУ имеет меньшие массу и габаритные размеры.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ КЗ ДЛЯ ПС 220 КВ «РАДИЩЕВО»

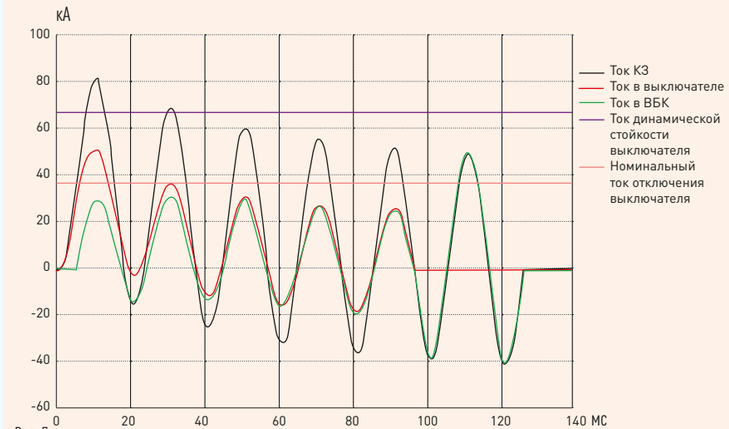

Рис. 7

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульгинов Н. Г., Кучеров Ю. Н., Чемоданов В. И., Утц Н. Н., Ярош Д. Н. Перспективы развития высоковольтных сетей на примере Московского региона // Электроэнергия. Передача и распределение, 2011, № 6 (9). – С. 66–75.
2. Указания по ограничению токов короткого замыкания в сетях напряжением 110 кВ и выше. – СПО «ОРГРЭС», 1976.
3. Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия. ГОСТ Р 52565–2006.
4. Ковалев В. Д., Ивакин В. Н. Применение токоограничивающих устройств в высоковольтных электрических сетях // Электро, 2009, № 2. – С. 8–13.
5. Алферов Д. Ф., Белкин Г. С., Будовский А. И., Иванов В. П., Сидоров В. А., Дорф Г. Л. Применение быстродействующих управляемых коммутирующих устройств в электроэнергетике // Электричество, 1998, № 7. – С. 2–8.
6. Воронин В. А., Любарский Д. Р., Подъячев В. Н. Способ защиты высоковольтного оборудования от токов короткого замыкания. Патент РФ № 2366055. Опубл. 27.08.2009. Бюл. № 24.
7. Воронин В. А., Дмитриев К. С., Иванов И. А., Косолапов А. М., Любарский Д. Р. Ограничение токов КЗ и переходных восстанавливающихся напряжений в сетях 110–220 кВ // Электрические станции, 2012, № 5. – С. 50–54.