

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ЩИТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ЧЕБОТАРЬ А.О., МАХНАЧ Д.Н.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ИНЖЕНЕР КИСЛЯКОВ А.Ю.

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СТАТИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА

МАСЛОВСКИЙ В.И., ВИШЕВСКАЯ М.М., СОКОЛОВ В.В.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АССИСТЕНТ ПОТАЧИЦ Я.В.

СОВРЕМЕННЫЕ СИЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

КАБАК С.И., ХОМЯКОВА А.П.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ДЕРЮГИНА Е.А.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ГРОЗОЗАЩИТЫ ПОДСТАНЦИЙ

ВРУБЛЕВСКИЙ М.Д., МАМОНЧИК А.Н., КАТРИЧ А.Е.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АССИСТЕНТ БЫЧКОВ М.М.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ЛАШАКОВ А.А., ПЫЛИНСКАЯ Е.Р.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ГУБАНОВИЧ А.Г.

ГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ДЛЯ АГРЕГАТОВ 800 – 1600 МВТ

КОВАЛЁВ А.В., ДУДАРЕВ А.В.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ МАЗУРКЕВИЧ В.Н.

КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

ХРУЩЕВ Р.И., ДУНЧЕНКО Д.А., МАМОНЧИК А.Н.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ДЕРЮГИНА Е.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ УСТАНОВКИ МЕЖДУФАЗНЫХ РАСПОРОК ТИПОВЫХ ОРУ

РУДАК М.С., ЛУКЬЯНЮК М.С.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ТОКОПРОВОДОВ 6 – 10 КВ ДЛЯ КРУ

КОРОЛЬ Д.Ю., АНДРЕЕВ А.Ф.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ БУЛАТ В.А.

УСТАНОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ

ГЕФТЕР М.В., ПЫЛИНСКАЯ Е.Р.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ БУЛАТ В.А.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВОЗДУШНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

РУБЛЕВСКИЙ Е.В., ГАПАНОВИЧ А.В.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ГУБАНОВИЧ А.Г.

КАБЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

МЫШКОВСКИЙ Д.Г., ХОМЯКОВА А.П.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ТЕТЕРИНА Л.В.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

РЫМКЕВИЧ Л.П., АЛЕЙНИК В.С., БАРАН А.Г.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ СИЛЮК С.М.

ЭЛЕКТРОЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Герасимов Е.О., Федоров Д.С., Синяк В.С.
Научный руководитель – к.т.н., доцент С.М. Силюк

ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Кулик Д.А., Водопьянова А.А., Будников В.В.
Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДНИКАМИ

Мухин Р.А., Лукьянюк М.С.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Ефременко А.А., Тукай П.А.
Научный руководитель – инженер Кисляков А.Ю.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Юшкевич А.М., Лукьянюк М.С.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ВЫБОРА РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

Карпилович А.В., Киселев П.К.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Булат В.А.

МОЛНИЕЗАЩИТА

Остроушко Г.А., Сарыев А.Н., Катрич А.Е., Дунченко Д.А.
Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

Олипа А.С., Баран А.Г.
Научный руководитель – инженер Андрукевич А.П.

ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ РЕАКТОРОВ

Дурдымырадов К.Г., Свитин М.В., Олипа А.С., Лапко Д.А.
Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДНИКАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ ПОДОБИЯ

Голотин И.А., Францевич Р.Г., Махнач Д.Н.
Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Дроздов А.А., Карпович В.П., Гавриелок Ю.В.
Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСИЛИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

Бабаханов А.М., Джуманазаров К.Ч., Шпаковский А.А., Баран А.Г.
Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

АНАЛИЗ БЕСЩЕТОЧНЫХ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ И СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Францевич Р.Г., Карпович В.П., Гавриелок Ю.В.

СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ЦИФРОВЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ БРОСКОВ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ

Беседа А.С., Гавриелок Ю.В.
Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

ПРОГРАММА РАСЧЕТА САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

НОВАК А.В., БАРАН А.Г., БАШАРКЕВИЧ Я.В.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ НОВАШ И.В.

ГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

БАЛУХО А.Д., СЕРЕДА Ю.Д., ДУДАРЕВ А.В.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ МАЗУРКЕВИЧ В.Н.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЕСТИФАЗНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ 1200 МВТ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

ИВЧЕНКО А.С., МАЛИНОВСКИЙ П.С.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ МАЗУРКЕВИЧ В.Н.

МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

ХОМИЧ В.В., СИВЫЙ А.И., БОБРИК Е.В., ЕРМОЛА Д.С.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ СИЛЮК С.М.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

НОВАК А.В., БАРАН А.Г., ЕРОХОВ Е.Л., БАШАРКЕВИЧ Я.В.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ КЛИМКОВИЧ П.И.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРОЭФФЕКТИВНОСТЬ

БАШАРКЕВИЧ Я.В., ВАСИЛЬЕВА А.А., ПЛЕШКО Д.Ю.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ САМОЗАПУСКЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

БАРАН А.Г.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ НОВАШ И.В.

УДК 621.3

ЩИТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Чеботарь А.О., Махнач Д.Н.

Научный руководитель – инженер Кисляков А.Ю.

Щит постоянного тока ЩПТ предназначен для приёма и распределения электрической энергии собственных нужд постоянного тока от аккумуляторной батареи номинальным напряжением 110; 220 В. Устанавливается на станциях, котельных, подстанциях до 220 кВ и других объектах энергетики. Главная схема ЩПТ – две секции с неавтоматическим секционированием, с вводом от аккумуляторной батареи.

ЩПТ состоит из панели ввода питания и панелей отходящих присоединений (1-я и 2-я секция).

ЩПТ имеет четыре, а при наличии шкафов оперативного постоянного тока (ШРОТ) и более секций. При наличии четырех вводов питания и отключенных секционных выключателях в работе всегда остаются неповрежденные секции. При этом всегда сохраняется питание комплектов защит и соленоидов отключения выключателей для ликвидации аварийной ситуации.

Наиболее ответственными потребителями оперативного тока являются цепи защиты, автоматики и электромагнитов силовых выключателей в распределительных устройствах станций и подстанций, крупных распределительных пунктах и распределительных устройствах предприятий. Исторически сложилось так, что указанные цепи в основном работают на постоянном оперативном токе. Обеспечение бесперебойного питания оперативных цепей в любой момент времени с необходимым уровнем напряжения и мощности независимо от состояния основной сети, возможно только в случае применения в качестве источника оперативного тока стационарных аккумуляторных батарей, являющихся одним из самых надёжных источников оперативного тока.

ЩПТ обязан изготавливаться согласно МЭК 22789 и требований «Норм технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 750 кВ, СТО56947007–29.240.10.028–2009» ОАО «ФСК ЕЭС».

ЩПТ-220-Э1-У3.1 выполняет следующие функции:

- ввод электроэнергии с необходимым уровнем напряжения и мощности независимо от состояния основной сети от аккумуляторных батарей (АБ) с подзарядкой от выпрямительных устройств (ВУ);
- распределение электроэнергии между потребителями;
- бесперебойное питание цепей аварийного освещения;
- организация шинок для питания потребителей, шинок управления, сигнализации и «мигающего света»;
- селективная защита вводов и отходящих линий от токов перегрузки и короткого замыкания;
- управление независимыми расцепителями;
- дублирование системы питания и распределения электроэнергии с секционированием шин;
- непрерывный автоматический контроль напряжения на шинах ЩПТ с формированием сигнала об отклонении напряжения от номинального значения;
- непрерывный автоматический контроль сопротивления изоляции сети постоянного тока относительно земли с формированием сигнала о снижении сопротивления изоляции ниже допустимого уровня;
- автоматический поиск и сигнализация замыканий на землю каждого присоединения;
- формирование обобщенного аварийного сигнала при срабатывании защиты и в случае отсутствия питания цепей защиты;

- локальная и центральная сигнализации (сигнализация положения автоматических выключателей, отключение вводных автоматических выключателей);
- измерение основных параметров АБ аналоговыми измерительными приборами. NEVACAD.

ЩПТ-220-Э1-У3.1 производится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51321.1 и постоянно совершенствуется с учетом нижеследующих требований:

- простой и лёгкий монтаж;
- минимальное обслуживание;
- возможность дополнительного расширения конструкций;
- соответствие требованиям международных стандартов;
- высокая надёжность работы;
- высокая степень защиты персонала.

ЩПТ-220-Э1-У3.1 представляет собой щит одностороннего обслуживания в металлическом корпусе с воздушной изоляцией. Приборы контроля тока, напряжения, уровня изоляции, переключатели, автоматические выключатели, стационарный комплект устройства автоматического поиска и сигнализации замыканий на землю, панель индикации расположены на лицевой панели ЩПТ-220-Э1-У3.1.

Каркас ЩПТ-220-Э1-У3.1 состоит из профилей, изготовленных из 2 мм горячекатаного листа с алюминиево-цинковым покрытием. Профили каркаса соединяются угловыми фиксаторами, обеспечивая прочную и надежную конструкцию.

Двери и наружные панели изготавливаются из листовой стали толщиной 2 мм. Конструктивное исполнение этих элементов, а также уплотнительная резина, устанавливаемая по периметру, обеспечивают степень защиты до IP 54.

Металлоконструкции выполняются на базе НКУ ЩО-2000 «Нева», которое может быть использовано совместно с ЩПТ-220-Э1-У3.1 в качестве щита собственных нужд. Данное решение упрощает работу персонала, так как эксплуатируется однотипное оборудование.

УДК 621.3

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СТАТИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА

Масловский В.И., Вишевская М.М., Соколов В.В.
Научный руководитель – ассистент Потачиц Я.В.

Расчет токопроводов при статической нагрузке производят с целью проверки их устойчивой работы при коротких замыканиях (КЗ). Известно, что электрические токи взаимодействуют. Силы взаимодействия проводников с током называют электромагнитными или электродинамическими. Они пропорциональны квадрату тока и достигают наибольших значений при коротких замыканиях.

Действию электродинамических сил подвержены все элементы электрических систем, в том числе токопроводы и электрические аппараты. Последние должны обладать достаточной механической прочностью, чтобы противостоять действию электродинамических сил при КЗ. Под электродинамической стойкостью понимают способность аппаратов или проводников выдерживать механические усилия.

При проверке проводников и электрических аппаратов электроустановок на электродинамическую и термическую стойкость при КЗ предварительно должны быть выбраны расчетные условия КЗ.

В качестве расчетного вида КЗ следует принимать при проверке жестких проводников с относящимися к ним поддерживающими и опорными конструкциями на электродинамическую стойкость трехфазное КЗ.

Токопроводом (ТП) называется устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из неизолированных или изолированных проводников и относящихся к ним изоляторов, защитных оболочек, поддерживающих и опорных конструкций. В качестве проводников используют трубы, а также проводники прямоугольного и корытного сечений.

Многопролетный токопровод с жесткими проводниками представляет собой упругую систему, которая при КЗ под действием электродинамических сил приходит в сложное колебательное движение.

Проводники изгибаются и передают нагрузку на опоры, обладающие также некоторой упругостью. В материале проводников и изоляторов возникают значительные напряжения.

Токопровод должен противостоять электродинамическим воздействиям. Расчет токопровода с заданными параметрами на электродинамическую стойкость состоит в определении максимальной мгновенной нагрузки на изоляторы и максимального мгновенного напряжения в проводниках в переходном колебательном процессе.

Анализ частотных характеристик, показывает, что важнейшим параметром ТП, определяющим его электродинамическую стойкость, является основная частота собственных колебаний проводника. Поэтому эта частота должна быть принята в качестве независимого параметра для упрощенного расчета.

Для ТП с жесткими опорами основная частота может быть легко определена, тогда как для ТП с упругими опорами необходима сложная программа для ЭВМ. Однако в этом нет необходимости, поскольку обычно применяемые ТП могут рассматриваться как конструкции с жесткими опорами.

В токопроводах напряжением 110 кВ и выше основная частота проводников не превышает 10 Гц и опоры обладают некоторой упругостью, которая должна быть учтена при расчете.

Характеристики, учитывающие упругость опор, являются функциями только основной частоты проводников. В основу их построения положены известные частотные характеристики для крайних проводников А и С однопролетных ТП с жесткими опорами.

Допустимая нагрузка на изоляторы при КЗ принимается согласно ПУЭ равной 60 % минимальной разрушающей нагрузки.

Допустимое напряжение в материале проводников согласно ПУЭ принимается равным 70 % временного сопротивления.

Поведение ТП с гибкими проводниками при КЗ было изучено экспериментально. Были разработаны методы расчета. Они достаточно сложны и здесь не изложены. Мы ограничиваемся рассмотрением графиков, определяющих зависимости отклонений и тяжений проводников от параметров ТП, тока КЗ и других условий. Эти графики могут быть использованы при проектировании для правильного выбора основных размеров ТП в целях повышения их электродинамической стойкости.

Токопроводы применяют для питания крупных потребителей, передачи электроэнергии от электростанции или главной понижающей подстанции при напряжении 6, 10 или 35 кВ к основным цехам предприятия, подсоединения генераторов и трансформаторов большой мощности к сборным шинам РУ, а также для соединения их между собой при работе по схеме блока генератор – трансформатор.

Преимущества токопроводов по сравнению с кабельными связями:

- замена дефицитных кабелей алюминиевыми шинами и изолированными проводами;
- повышение надежности вследствие отсутствия больших потоков кабелей и большого числа кабельных муфт;
- улучшение условий эксплуатации;
- облегчение условий наблюдения за электроустановкой и устранения неисправностей;
- обеспечение высокого уровня монтажных работ;
- существенное снижение стоимости (жесткие токопроводы дешевле кабельных линий такой же пропускной способности более чем в 2 раза).

На электростанциях для соединения мощных генераторов с трансформаторами и трансформаторов с шинами РУ применяют экранированные токопроводы, отдельные для каждой фазы.

Внутри производственных помещений токопроводы выше 1000 В применяют редко и только в закрытом или пыленепроницаемом исполнении, а в помещениях сырых и особо сырых – в брызгозащищенном исполнении.

Прокладка открытых токопроводов выше 1000 В в производственных помещениях не допускается.

На мощных тепловых станциях для соединения генераторов с повышающими трансформаторами широко применяются комплектные пофазнэкранированные токопроводы.

К недостаткам токопроводов относят:

- большее индуктивное сопротивление, что приводит к дополнительным потерям напряжения;
- сопротивления фаз различны, что приводит к несимметрии напряжения фаз протяженных токопроводов при токах 2,5 кА и более;
- дополнительные потери электроэнергии в шинодержателях, арматуре и конструкциях при токах 1 кА и более от воздействия магнитного поля;
- следует считаться и с укрупнением единичной мощности токопровода по сравнению с несколькими кабельными линиями.

Для увеличения надежности токопроводы применяются, как правило, состоящими из двух линий с секционированием и автоматическим включением резерва.

Более экономичны гибкие и жесткие токопроводы с расположением фаз в вершинах равностороннего треугольника по сравнению с токопроводами с вертикальным или горизонтальным расположением фаз за счет взаимной компенсации магнитных полей фаз; такие токопроводы являются симметричными.

Жесткие токопроводы более компактны, чем гибкие, имеют разнообразное крепление к поддерживающим конструкциям.

УДК 621.3

СОВРЕМЕННЫЕ СИЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Кабак С.И., Хомякова А.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Дерюгина Е.А.

Кабель силовой предназначен для передачи электрической энергии от различных источников к потребителям. Бывает кабели низкого и высокого напряжения. В зависимости от целей использования силового кабеля различается и его конструкция.

Современные кабели производятся с изоляцией из сшитого полиэтилена и используются в сетях различного класса напряжения. Применение сшитого полиэтилена обеспечивает высокие диэлектрические свойства изоляции, высокие механические свойства, более высокие по сравнению с бумажно-масляной изоляцией термические режимы, надёжность и долговечность кабелей.

К этому классу относятся кабели на напряжение 6, 10, 35, 110, (150), 220, (380) и 500 кВ применительно к номинальным напряжениям систем электропередачи, принятых странах СНГ. Напряжения 150 и 380 кВ используются в отдельных случаях. Кабели предназначены для передачи крупных мощностей электроэнергии (60 – 620 МВ·А) на указанных напряжениях. Области применения кабелей следующие:

- глубокие вводы к центрам потребления электроэнергии в условиях крупных городов (применяются кабели на напряжение 110 – 220 кВ для питания районных городских подстанций);
- выводы мощности с крупных гидро- и тепловых электростанции преимущественно при напряжениях 220 и 500 кВ;
- питание энергоёмких производственных комплексов (автозаводы, металлургические и химические предприятия).

К электрической изоляции кабелей высокого напряжения предъявляются высокие требования в части электрической прочности, высокой надёжности в течение длительных сроков службы (35 и более лет). Напряжённости электрического поля в изоляции таких кабелей составляют от 7 до 15 кВ/мм, то есть являются наиболее высокими по сравнению с напряженностями поля в любых электротехнических аппаратах и устройствах. Напряжённость электрического поля является одним из главных параметров, обеспечивающих приемлемые конструктивные размеры (диаметры) кабелей. Высокие рабочие напряжённости электрического поля ставят серьёзные научно-технические проблемы с точки зрения обеспечения высокого ресурса работы кабелей. Эти проблемы успешно решены для двух видов электрической изоляции кабелей: бумажно-пропитанной, работающей под избыточным давлением масла (маслонаполненные кабели – МНК) и из сшитого ПЭ с применением соответствующих технологий, обеспечивающих чистоту и требуемое качество изоляции.

В газонаполненных кабелях увеличение электрической прочности изоляции кабелей реализуется за счет повышения давления в газовых включениях, находящихся в бумажной изоляции. Они устроены таким образом, что в кабель подводится чистый сухой газ под давлением. Величина давления определяется особенностями конструкции кабеля и условиями его прокладки и находится в пределах от 0,7 до 3,0 МПа.

В зависимости от конструкции кабеля сжатый газ может поступать либо непосредственно в изоляцию кабеля, либо не иметь непосредственного соприкосновения с изоляцией, а передавать давление на изоляцию через специальную мембрану. Если газ под давлением непосредственно подается в изоляцию, то для изолирования кабеля могут применяться либо бумажные ленты с последующей сушкой, пропиткой изоляции и удалением излишек пропиточного состава (обедненно-пропитанная изоляция), либо предварительно пропитанные бумажные ленты. Если сжатый газ непосредственно не

соприкасается с изоляцией, то кабель изолируется бумажными лентами с последующей пропиткой вязким составом или жидким маслом, а поверх изоляции на кабель наносят пластмассовую оболочку, которая играет роль мембраны.

Маслонаполненные кабели (МНК) с бумажно-масляной изоляцией остаются пока наиболее распространенными кабелями высокого напряжения. При этом, чем выше класс номинального напряжения кабелей, тем больше удельный вес МНК среди всех кабелей высокого напряжения.

МНК применяются для электроснабжения городов и крупных потребителей энергии, для вывода мощности с тепловых станций и гидроэлектростанций, а также для передачи электроэнергии через труднопроходимые местности (водные пространства, горные районы и др.). Основные типы конструкций силовых МНК – кабели низкого давления (до 3–5 атм.) в свинцовой или алюминиевой оболочке на номинальное напряжение 110, 150 и 220 кВ и кабели высокого давления в стальном трубопроводе на номинальное напряжение 110, 220, 330, 380 и 500 кВ. Повышение давления масла приводит к увеличению электрической прочности бумажно-масляной изоляции и к возможности применения силовых МНК при более высокой рабочей напряженности электрического поля в изоляции кабелей (до 15 кВ/мм и более).

УДК 621.3

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ГРОЗОЗАЩИТЫ ПОДСТАНЦИЙ

Врублевский М.Д., Мамончик А.Н., Катрич А.Е.
Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

Электростанция – электрическая станция, совокупность установок, оборудования и аппаратуры, используемых непосредственно для производства электрической энергии, а также необходимые для этого сооружения и здания, расположенные на определённой территории.

Грозозащита – это обязательная часть любого здания. Без системы молниезащиты (грохозащиты) здание и соответственно, люди и имущество, находящиеся в нем, беззащитны перед ударом стихии. Молниезащита объектов нужна для защиты от прямого удара молнии в здание, защиты от вторичных её проявлений, таких как перенапряжения (наводки, возникающие в электрических цепях при грозовом разряде), проще говоря, для того, чтобы сберечь вашу жизнь и имущество.

Оборудование подстанции (ПС) надежно защищается от прямых ударов молнии системой молниеотводов, у которых обеспечено малое импульсное сопротивление заземления, что исключает обратные перекрытия на электрооборудование. Повреждаемость изоляции электрооборудования ПС от воздействия на нее грозовых перенапряжений зависит от частоты появления набегающих с присоединенной воздушной линии (ВЛ) волн грозовых перенапряжений и работоспособного состояния ограничителя перенапряжений нелинейного (ОПН). Набегающая по ВЛ на ПС грозовая волна может образовываться вследствие ударов молнии непосредственно в ВЛ (трос, провод) и при близких к ВЛ ударах молнии в наземные сооружения.

Причиной возникновения на подстанции опасных перенапряжений от набегающих волн являются грозовые поражения ВЛ электропередачи. При ударе молнии в линию на проводах ВЛ образуется волна напряжения, движущаяся в сторону подстанции. Амплитуда такой волны ограничена импульсной прочностью линейной изоляции.

Приход волны напряжения на подстанцию приводит к возникновению волнового переходного процесса, в результате которого на изоляции электрооборудования могут возникнуть опасные перенапряжения. Поэтому для защиты изоляции оборудования применяются ОПН, пришедшие на смену вентильным разрядникам (РВ). Серийный выпуск РВ прекращен в России, но в эксплуатации находится еще много таких устройств.

Ограничители перенапряжений нелинейные с нелинейными резисторами (варисторами) предназначены для защиты от коммутационных и грозовых перенапряжений изоляции электрооборудования. Отсутствие искрового промежутка обеспечивает постоянное подключение ОПН к защищаемому оборудованию. Защитные свойства ОПН обусловлены вольтамперной характеристикой варисторов. Микроструктура варисторов включает в себя кристаллы оксида цинка и междукристаллической прослойки. В нормальном рабочем режиме ток через ограничитель носит емкостной характер и составляет десятые доли миллиампера. При возникновении в сети перенапряжений сопротивление ОПН резко падает до единиц, варисторы ограничителя переходят в проводящее состояние и ограничивают дальнейшее нарастание перенапряжения до уровня, безопасного для изоляции защищаемого электрооборудования, поглощая энергию импульса перенапряжения, которая преобразуется в тепловую энергию и затем рассеивается в окружающую среду. Когда волна перенапряжения проходит, ограничитель вновь возвращается в непроводящее состояние. Время перехода ограничителя в проводящее состояние составляет единицы наносекунд, что позволяет ОПН эффективно ограничивать высокочастотные перенапряжения.

Уровень перенапряжений зависит от параметров ОПН и уменьшается в случае применения ОПН с меньшими остающимися напряжениями. Расчет грозовых перенапряжений в реальных схемах подстанций осуществляется с помощью численного

моделирования. Для исследования на расчетной модели нужно составить схему замещения подстанции, используя план подстанции с обозначением расстояний по ошиновке. Значения этих емкостей для основных видов электрооборудования класса напряжения 110 кВ.

Основным показателем надежности защиты от набегающих волн является среднее число лет безаварийной работы подстанционного электрооборудования. При проектировании защиты от грозовых перенапряжений экономически целесообразным оказывается не исключать полностью возможность появления перенапряжений, превышающих допустимые значения, а ограничиться малой вероятностью повреждения изоляции оборудования. Рекомендуемые показатели надежности грозозащиты наиболее дорогого и ответственного подстанционного оборудования (силовых трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов) в зависимости от класса номинального напряжения подстанции.

Технико-экономический анализ показывает, что выполнить воздушные линии электропередачи абсолютно грозозащищенной нельзя. Приходится сознательно идти на то, что воздушные линии электропередачи какое-то ограниченное число раз в год будет отключаться. В задачу грозозащиты линий электропередачи входит снижение до минимума числа грозовых отключений. Допустимое число отключений воздушной линии электропередачи в год определяется из условий:

- надежного электроснабжения потребителей;
- надежной работы выключателей, коммутирующих воздушных линий электропередачи.

Ожидаемое число грозовых отключений линии в первую очередь определяется интенсивностью грозовой деятельности в районе прохождения трассы линии. Ориентируясь на средние цифры, принято считать, что на 1 км земной поверхности за один грозовой час приходится 0,067 удара молнии.

Процессы, протекающие на подстанции при воздействии набегающих с линии волн, кратковременны. Их длительность составляет десятки микросекунд, а максимальные перенапряжения возникают в течение нескольких микросекунд переходного процесса.

Длительности фронта воздействующих напряжений оказываются соизмеримыми с временами пробега волн по участкам ошиновки распределительного устройства, что приводит к необходимости учета волнового характера процессов при качественном анализе и в численном моделировании.

Метод бегущих волн, включая в себя правило эквивалентной волны, позволяет производить расчет схем содержащих ряд узлов.

При исследовании волновых процессов на подстанции необходимо учитывать отходящие от нее линии. В расчетной схеме замещения отходящая линия может быть представлена своим волновым сопротивлением. Это представление справедливо до тех пор, пока в начале линии не появится отраженная волна, то есть в течение двух времен пробега волны по отходящей линии.

При этом напряжение в начале линии относится к втекающему в нее току так же, как соотносятся друг с другом напряжение и ток падающей волны, то есть входное сопротивление линии определяется ее волновым сопротивлением.

Обычно время пробега волны по отходящей линии значительно больше характерных времен волнового процесса на подстанции, поэтому замещение отходящей линии волновым сопротивлением справедливо.

Участки ошиновок на подстанции в схеме замещения представить волновыми сопротивлениями нельзя, так как время пробега волны по ним в большинстве практических случаев меньше длительности фронта.

УДК 621.3

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Лашаков А.А., Пылинская Е.Р.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Губанович А.Г.

Все аккумуляторной батареи на электрических станциях и подстанциях должны работать в режиме постоянного подзаряда. Полностью заряженную аккумуляторной батареи необходимо включить на шины параллельно с постоянно работающим подзарядным агрегатом. Подзарядный агрегат питает нагрузку постоянного тока и одновременно подзаряжает батарею, компенсируя ее саморазряд. Концевые элементы также должны работать в режиме постоянного подзаряда. При включении мощной толчковой нагрузки, а также при потере питания подзарядного агрегата на стороне переменного тока аккумуляторная батарея берет на себя всю нагрузку сети постоянного тока. Для аккумуляторной батареи типа СК напряжение подзаряда должно соответствовать $2,2 \pm 0,05$ В на аккумулятор. Для аккумуляторной батареи типа СН напряжение подзаряда должно соответствовать $2,18 \pm 0,04$ В на аккумулятор при окружающей температуре не выше 35°C и если эта температура выше $-2,14 \pm 0,04$ В. Необходимые конкретные значения тока и напряжения не могут быть заданы заранее. Необходимо установить и поддерживать среднее значение напряжения подзаряда и вести за батареей наблюдение. Снижение плотности электролита в большинстве аккумуляторов свидетельствует о недостаточности тока подзаряда. При этом, как правило, необходимое напряжение подзаряда оказывается $2,25$ В для аккумуляторов СК и не ниже $2,2$ В – для аккумуляторов СН.

Режим заряда может производиться при постоянной силе тока, при плавно убывающей силой тока, при постоянном напряжении. Метод заряда устанавливается местной инструкцией. Заряд при постоянной силе тока необходимо производить в одну или две ступени. При двухступенчатом заряде зарядный ток первой ступени не должен превышать для аккумуляторов СК $0,25 \cdot C_{10}$, для аккумуляторов СН $0,2 \cdot C_{10}$. При повышении напряжения до $2,3 - 2,35$ В на аккумулятор заряд переводится на вторую ступень, ток заряда при этом должен быть не более $0,12 \cdot C_{10}$ для аккумуляторов СК, для аккумуляторов СН – $0,05 \cdot C_{10}$. При одноступенчатом заряде ток заряда не должен превышать значения, равного $0,12 \cdot C_{10}$ для аккумуляторов СК и СН. Заряд таким током аккумуляторов СН допускается только после аварийных разрядов. Заряд ведется до постоянства напряжения и плотности электролита в течение одного часа для аккумуляторов СК, для аккумуляторов СН – двух часов. Заряд плавно убывающей силой тока аккумуляторов СК и СН проводят при начальном токе, не превышающем $0,25 \cdot C_{10}$ и конечном токе, не превышающем $0,12 \cdot C_{10}$. Признаки окончания заряда такие же, как для заряда при постоянной силе тока. Заряд при постоянном напряжении необходимо производить в одну или две ступени. Заряд в одну ступень производится при напряжении $2,15 - 2,35$ В на аккумулятор. При этом начальный ток может значительно превышать значение $0,25 \cdot C_{10}$, но затем он автоматически снижается ниже значения $0,005 C_{10}$. Заряд в две ступени производится на первой ступени током, не превышающим $0,25 \cdot C_{10}$ до напряжения $2,15 - 2,35$ В на аккумулятор, а затем при постоянном напряжении от $2,15$ до $2,35$ В на аккумулятор. Заряд аккумуляторной батареи с элементным коммутатором необходимо производить в соответствии с местной инструкцией. При заряде при постоянной силе тока или плавно убывающей силой тока напряжение в конце заряда может достигать $2,6 - 2,7$ В на аккумулятор и заряд сопровождается сильным «кипением» аккумуляторов, что вызывает более усиленный износ электродов. На всех зарядах аккумуляторам должно быть сообщено не менее 115 % емкости от снятой на предыдущем разряде. Во время заряда необходимо проводить измерения напряжения, температуры и плотности электролита аккумуляторов. Перед включением, через 10 мин после включения и по окончании заряда перед отключением зарядного агрегата необходимо

измерить и записать параметры каждого аккумулятора, а в процессе заряда – контрольных аккумуляторов. Записывается также ток заряда, сообщаемая емкость нарастающим итогом и дата заряда. Температура электролита при заряде аккумуляторов СК не должна превышать 40°C. При температуре 40°C Зарядный ток должен быть снижен до значения, обеспечивавшего указанную температуру. Температура электролита при заряде аккумуляторов СН не должна превышать 35 °С. При температуре выше 35 °С заряд проводится током, не превышающим $0,05 \cdot C_{10}$, а при температуре выше 45°C – током $0,025 \cdot C_{10}$. При зарядах аккумуляторов СН постоянной или плавно убывающей силой тока необходимо снять вентиляционные фильтр-пробки.

Одинаковый ток подзаряда даже при оптимальном напряжении подзаряда батареи из-за различий в саморазряде отдельных аккумуляторов может быть недостаточным для поддержания всех аккумуляторов в полностью заряженном состоянии. Для приведения всех аккумуляторов СК в полностью заряженное состояние и для предотвращения сульфатации электродов должны проводиться уравнивательные заряды напряжением 2,3 – 2,35 В на аккумулятор до достижения установившегося значения плотности электролита во всех аккумуляторах $1,2 - 1,21 \text{ г/см}^3$ при температуре 20 °С. Частота проведения уравнивательных зарядов аккумуляторов и их продолжительность зависят от состояния батареи и должны быть не реже одного раза в году; продолжительностью не менее 6 ч. На тех аккумуляторной батареи, где по условиям работы электроустановки напряжение подзаряда может поддерживаться лишь на уровне 2,15 В на аккумулятор уравнивательные заряды необходимо проводить ежеквартально. При снижении уровня электролита до 20 мм над предохранительным щитом аккумуляторов СН следует произвести доливку воды и уравнивательный заряд для полного перемешивания электролита и приведения всех аккумуляторов в полностью заряженное состояние. Уравнивательные заряды проводится при напряжении 2,25 – 2,4 В на аккумулятор до достижения установившегося значения плотности электролита во всех аккумуляторах $1,240 \pm 0,005 \text{ г/см}^3$ при температуре 20 °С и уровне 35–40 мм над предохранительным щитком. Продолжительность уравнивательного заряда ориентировочно составляет от 5 до 30 суток. Если в аккумуляторной батарее имеются единичные аккумуляторы с пониженным напряжением и сниженной плотностью электролита (отстающие аккумуляторы), то для них может проводиться дополнительный уравнивательный заряд от отдельного выпрямительного устройства. Аккумуляторные батареи, работающие в режиме постоянного подзаряда, в нормальных условиях практически не разряжаются. Они разряжаются только в случаях неисправности или отключения подзарядного устройства, в аварийных условиях или при проведении контрольных разрядов. Отдельные аккумуляторы или группы аккумуляторов подвергаются разряду при проведении ремонтных работ или при устранении неисправностей в них. Для аккумуляторных батарей на электростанциях и подстанциях расчетная длительность аварийного разряда устанавливается равной 1,0 или 0,52. При разряде батареи токами меньшими разрядами в течение 10 ч разряда не допускается определять окончание разряда только по напряжению.

Конец разряда определяется из следующих условий:

- снижение плотности электролита до значения $1,15 \text{ г/см}^3$;
- снижение напряжения до значения не менее 1,8 В;
- снятие емкости после 10-часового режима.

Контрольные разряды необходимо выполнять для определения фактической емкости аккумуляторной батареи производить десяти- или трехчасовым режимом разряда. На тепловых электростанциях контрольный разряд батарей должен выполняться один раз в один – два года. На гидростанциях и подстанциях разряды должны выполняться по мере необходимости. В тех случаях, когда число аккумуляторов недостаточно, чтобы обеспечить напряжение на шинах в конце разряда в заданных пределах, допускается осуществлять разряд части основных аккумуляторов. Перед контрольным разрядом необходимо провести уравнивательный заряд батареи. Результаты измерений необходимо сравнить с результатами измерений предыдущих разрядов. Для более правильной оценки состояния батареи

необходимо, чтобы все контрольные разряды данной батареи проводились в одном и том же режиме и заносились в журнал аккумуляторной батареи. Перед началом разряда необходимо фиксировать дату разряда, напряжение, плотность каждого электролита и температуру в контрольных аккумуляторах. При разряде на контрольных и отстающих аккумуляторах следует произвести измерения напряжения, температуры и плотности электролита.

Электроды в аккумуляторах должны быть всегда полностью погружены в электролит. Уровень электролита в аккумуляторах СК необходимо поддерживать на 1,0–1,5 см выше верхнего края электродов. При понижении уровня электролита требуется производить доливку аккумуляторов дистиллированной водой, проверенной на отсутствие содержания хлора и железа. Допускается использование парового конденсата. Вода может подаваться в придонную часть бака через трубку или в верхнюю его часть. В последнем случае рекомендуется провести подзаряд батареи с «кипением» для выравнивания плотности электролита по высоте бака. Доливки электролитом плотностью $1,18 \text{ г/см}^3$ аккумуляторов с плотностью электролита ниже $1,20 \text{ г/см}^3$ можно производить только при выявлении причин понижения плотности. Уровень электролита в аккумуляторах СП должен быть в пределах от 20 до 40 мм над предохранительным щитком. Если доливка производится при снижении уровня до минимального, то необходимо провести уравнильный заряд.

УДК 621.3

ГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ДЛЯ АГРЕГАТОВ 800 – 1600 МВТ

Ковалёв А.В., Дударев А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мазуркевич В.Н.

Основу мощных энергосистем составляют крупные электростанции (КЭС, АЭС, ТЭЦ, ГЭС). Блочные агрегаты большой мощности применяются на ТЭС и АЭС. В состав таких блоков входят генераторы, мощность которых достигает 800 – 1600 МВт. Для включения и отключения генераторов в их цепях устанавливаются генераторные выключатели.

В цепях генераторов выключатели устанавливаются в случае присоединения их к сборным шинам генераторного напряжения. По ПУЭ в блочных схемах требуется устанавливать выключатели, если генераторы соединяются с трехобмоточными трансформаторами или автотрансформаторами, в укрупненных и обобщенных блоках, а также в случае, если отпайкой от блока питается нагрузка на напряжении 6 – 10 кВ. Сегодня установка генераторных выключателей между генератором и блочным трансформатором обязательна.

Для применения на электростанциях всех видов шведско-швейцарская фирма АВВ разработала генераторные выключатели и генераторные распределительные устройства типов HECS и HEC. В дугогасительной камере выключателей элегаз используется как для гашения дуги, так и для обеспечения внутренней изоляции. Внешняя изоляция – воздушная. Для отключения тока используется сочетание принципов автодутья и поршневого дутья; конструкция оптимизирована с целью существенного снижения энергии привода. Принцип автодутья позволяет достигнуть большую отключающую способность, а также отключение небольших индуктивных токов почти без перенапряжений. Для генераторов большой мощности (100МВт и выше) изготавливаются генераторные комплексы – генераторные распределительные устройства, которые содержат выключатель, разъединитель, измерительные трансформаторы тока и напряжения, ограничители перенапряжения (ОПН). Разъединитель последовательно соединен с выключателем. Он установлен со стороны трансформатора в том же кожухе и имеет телескопически перемещающуюся трубу. Заземлитель может быть установлен с одной или обеих сторон выключателя. Заземлитель и его соединения предназначены для защитного заземления, то есть он рассчитан на полный аварийный ток, но не обладает включающей способностью и способностью длительного пропускания тока.

Выключатели фирмы АВВ имеют гидропружинный привод, который соединяет преимущества гидравлического привода и аккумулирования энергии в пружинах. Аккумулирование энергии происходит здесь с помощью комплекта тарельчатых пружин, который гарантирует долговременную стабильность, безотказность и устойчивость к изменению температуры. Для срабатывания механизма привода и освобождения энергии пружин используются клапаны управления.

Трансформаторы тока с тороидальными сердечниками можно установить с одной или двух сторон выключателя. В зависимости от требуемого класса и мощности можно установить до трех на один трансформатор. Вторичные обмотки постоянно соединены с клеммами в шкафу управления. Однофазный измерительный трансформатор напряжения в корпусе из герметизирующей смолы можно установить с одной или двух сторон выключателя. Для защиты от перенапряжений применяется металлооксидный разрядник, который можно установить со стороны трансформатора для защиты трансформатора и генератора. Конденсаторы для защиты от перенапряжений установлены с обеих сторон выключателя и обеспечивают добавочную защиту от перенапряжений, а также способствуют гашению дуги в выключателе, ограничивая переходное восстанавливающееся напряжение.

Для агрегатов 800 МВт и выше производит генераторные выключатели французская фирма AREVA. Здесь применяется элегазовый выключатель FKG1. Принцип гашения дуги

такой же, как у выключателей АВВ. В указанном выше выключателе используется полностью пружинный привод. Преимущества привода: высокая надежность; простой принцип функционирования; максимальная энергетическая стабильность в течение десятилетий; минимальные затраты на обслуживание.

Применение генераторных выключателей (ГВ) влияет на технический уровень применяемых схем собственных нужд станции, обеспечивает существенное повышение надежности работы блоков и электростанции в целом: обеспечивается возможность синхронизации генератора с сетью посредством ГВ, представляется возможным применять более экономичные схемы электрических соединений с использованием укрупненных трансформаторов, обеспечивается возможность применения рабочих и резервных трансформаторов собственных нужд одинаковой мощности.

УДК 621.3

КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Хрущев Р.И., Дунченко Д.А., Мамончик А.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Дерюгина Е.А.

Всякая электрическая система обладает колебательными свойствами, однако в нормальном режиме работы эти колебательные свойства обычно не проявляются. Колебательные свойства электрической системы, которые могут вызвать появление перенапряжений, проявляются при нарушении баланса между генерируемой и поглощаемой энергией. Причиной нарушения баланса может явиться внезапное отключение элементов, способных поглощать энергию (активной нагрузки, сосредоточенных и распределенных сопротивлений и проводимостей схемы).

Внутренние перенапряжения при коммутациях имеют только переходный характер, т. е. являются коммутационными. Величины, числом характеризующие внутренние перенапряжения, оказываются зависимыми от ряда случайных обстоятельств: от схемы сети, ее режима, ее параметров, от наличия средств борьбы с перенапряжениями и эффективности этих средств, а также от некоторых других факторов. Поэтому количественные характеристики внутренних перенапряжений оказываются величинами случайными, требующими при их рассмотрении привлечении методов математической статистики.

Практически каждая коммутация линии сопровождается возникновением переходных процессов, которые могут привести к перенапряжениям. Наиболее высокие напряжения возникают, если от предшествующего режима работы на линии осталось напряжение противоположной полярности, а включение происходит в момент положительного максимума

Существует ряд мер, направленных на снижение вероятности появления высоких перенапряжений при включениях линии. Меры снижения коммутационных перенапряжений можно подразделить на группы. Меры ограничения вынужденной составляющей коммутационных перенапряжений. К ним относятся: деление дальних линий электропередачи на участки длиной не более 300 км с подключенными к промежуточным точкам устройствами поддержания нормального уровня напряжения; применение трансформаторов с регулирующимся коэффициентом трансформации, шунтирующих реакторов и синхронных компенсаторов; выбор такой последовательности включения концов линии, при которой сначала линия подключается к шинам наиболее мощной подстанции, а затем к шинам менее мощной подстанции. К мерам, направленным на ослабление переходной составляющей коммутационного процесса при включении линий относят установку шунтирующих сопротивлений в выключателях и синхронное включение выключателей. Ослабление интенсивности переходного процесса при включении линии можно достичь также путем введения на время коммутации активных сопротивлений в цепь тока, протекающего по шунтирующим реакторам, например, включения резистора в нейтраль обмоток группы трехфазных реакторов. Вентильные разрядники и ОПН поглощают в своих рабочих резисторах значительную часть энергии перенапряжений.

Перенапряжения при коммутации ненагруженных линий электропередачи связаны с включениями или отключениями выключателями емкостных токов. Подобные же процессы возникают при отключениях батарей конденсаторов поперечной компенсации (БК) или сборных шин подстанций.

Коммутации АПВ линии происходят реже, чем плановые включения, но могут сопровождаться более высокими перенапряжениями. Главной причиной повышенных перенапряжений является наличие на линии остаточного заряда, не успевающего стечь за время бестоковой паузы АПВ и создающего в момент включения начальное напряжение на линии U_0 . Особенно неблагоприятными являются АПВ линии на устойчивое короткое замыкание. При этих коммутациях кратность переапряжения на здоровых фазах

увеличивается за счет повышения установившейся составляющей напряжения, вызванного протеканием в сеть несимметричного тока короткого замыкания. Однако, доля таких неуспешных АПВ в общем количестве автоматических включений линий в сетях 110-500 кВ составляет всего около 20 %.

Коммутационные перенапряжения на линиях могут возникать при отключениях коротких замыканий и при разрыве электропередачи в случае потери синхронизма. Наиболее интенсивный переходный процесс возникает на поврежденной фазе, где разница между начальным (до отключения линии) и установившемся значением напряжения линии после отключения имеет наибольшую величину.

Перенапряжения при отключениях электродвигателей имеют такую же природу, как и при отключениях трансформаторов или реакторов. Эти перенапряжения вызваны обрывом тока в выключателе и обусловлены свободными колебаниями, возникающими в процессе обмена энергией между индуктивностью отключаемого электродвигателя и емкостью питающего кабеля. Они могут возрасти при отключении синхронного электродвигателя в режиме асинхронного хода, а также при двухфазных коротких замыканиях в статорной обмотке машины. В аварийных режимах работы электродвигателя увеличивается скольжение ротора и возрастает ток в обмотке статора, что также приводит к повышению кратностей перенапряжений. Возникающие при отключениях электродвигателей перенапряжения, как правило, представляют собой комбинацию колебательных процессов разной частоты, наложенных на напряжение рабочей частоты 50 Гц. Перенапряжения, которые возникают при срезе тока до его естественного перехода через нуль, представляют собой высокочастотные колебания.

Ограничение коммутационных перенапряжений может осуществляться путем снижения вероятности возникновения таких аварийных ситуаций, а также установки вентильных разрядников и ОПН.

УДК 621.315

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ УСТАНОВКИ МЕЖДУФАЗНЫХ РАСПОРОК ТИПОВЫХ ОРУ

Рудак М.С., Лукьянюк М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

В распределительных устройствах (РУ) высокого напряжения электростанций и подстанций в Республике Беларусь общепринято применять токоведущие конструкции с гибкими проводами.

Начальное положение проводов и тяжения в пролете, при изменении температуры, скорости ветра и толщины гололеда, могут существенно изменяться. В связи с этой проблемой актуальным становится вопрос повышения электродинамической стойкости существующих токоведущих конструкций с минимальными затратами средств и времени.

Пролеты типовых ОРУ 110 – 330 кВ в основном используются на территории Республики Беларусь в составе электростанций и подстанций. Из всех пролетов выбраны пролеты наибольшей длины, где отклонения проводов будут самыми большими. Чтобы избежать вторичного КЗ на шинах РУ из-за недопустимого сближения фаз или их схлестывания, устанавливаются изолирующие междуфазные распорки.

Гибкость проводов распределительных устройств позволяет им принимать форму, обусловленную внешними нагрузками. При протекании по ним токов КЗ проводники соседних фаз начинают взаимодействовать. В результате они могут сблизиться на недопустимое по условию электрической прочности изоляционного промежутка расстояние. При этом на электрические аппараты РУ и опорные конструкции воздействуют ударные нагрузки.

Токи электродинамической стойкости гибкой ошиновки возрастают с увеличением сечения проводника. Это объясняется большей инерционностью тяжелых проводников. Одним из мероприятий, ограничивающих размах колебаний, может стать уменьшение стрелы провеса. Однако это приводит к дополнительным нагрузкам на опорные и изоляционные конструкции.

В закрытых распределительных устройствах с гибкой ошиновкой для ограничения колебаний сборных шин применяются V-образные гирлянды изоляторов, конструкция которых ограничивает отклонения зажимов. Более эффективно ограничивают размах колебаний шин при КЗ V-образные стержневые изоляторы.

Однако, такие технические решения применимы лишь для ЗРУ, где длина пролетов невелика. В ОРУ большая часть длины пролета приходится на провод, и ограничение колебаний зажимов существенного технического эффекта не даст.

Наиболее действенным решением, не требующим больших материальных и временных затрат, является установка междуфазных распорок. Их можно применять как во вновь сооружаемых, так и в существующих ОРУ.

Использование распорки, в состав которой входят тарельчатые изоляторы, для РУ 110 кВ и выше представляется нецелесообразным из-за ее значительной массы и гибкости. В качестве альтернативы можно предложить распорки на основе современных полимерных стержневых изоляторов.

Такие распорки могут быть применены для ограничения сближения фаз друг с другом в пролетах типовых ОРУ 110 – 330 кВ.

Основу такого изолятора составляет стержень из стеклопластика, который способен выдерживать значительные механические нагрузки во всех направлениях. Сверху такой стержень покрыт полимерной ребристой оболочкой для увеличения разрядных напряжений по поверхности.

Подобные полимерные распорки применялись на ЛЭП 220 – 500 кВ для ограничения пляски проводов.

Установка одной распорки в середине пролета значительно повышает электродинамическую стойкость пролета, а применение двух и более распорок может полностью исключить возможность недопустимого сближения гибких шин при любых возможных токах КЗ. Количество и место установки распорок должны определяться расчетом для каждого конкретного пролета. Такую возможность дает компьютерная программа FLEBUS, дополненная подпрограммой динамики междуфазной распорки.

Растягивающие усилия на распорку по результатам расчета могут достигать 250 даН, сжимающие – 150 даН.

Распорки в компьютерной программе представлены как пружины с жесткостью, соответствующей жесткости распорок. Вес распорок переносится на проводники в точки крепления распорок.

Основные параметры электродинамической стойкости – минимальные междуфазные расстояния в процессе колебания проводников и максимальные тяжения.

Существуют следующие схемы установки междуфазных распорок в пролете: в центре пролета; в одной трети пролета в шахматном порядке; в одной трети пролета; в одной пятой пролета в шахматном порядке.

УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ТОКОПРОВОДОВ 6 – 10 КВ ДЛЯ КРУ

Король Д.Ю., Андреев А.Ф.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булат В.А.

Современные токопроводы имеют следующие исполнения: с жесткими шинами, закрепленными на опорных изоляторах, с расположением фаз в одной плоскости; с жесткими шинами на опорных изоляторах, с симметричным расположением фаз по вершинам равностороннего треугольника; с жесткими шинами с наружным экраном; с гибкими шинами наружной прокладки на подвесных изоляторах.

По сравнению с расположением фаз в одной плоскости (горизонтальной или вертикальной) симметричное расположение фаз отличается меньшими потерями электроэнергии, не требует устройства транспозиции фаз, а также имеет меньшее индуктивное сопротивление.

Фазо-шины жестких токопроводов чаще всего выполняются из алюминиевого коробчатого профиля, а гибких токопроводов – из пучка голых, чаще алюминиевых проводов, расположенных по периметру круга.

При выборе конструкций токопровода существенную роль, наряду с основными затратами, играют потери энергии в металлических частях поддерживающих и ограждающих конструкций, в арматуре и закладных деталях, в шинодержателях и др. Значительную долю их составляют потери на перемагничивание стали. Наибольшего значения потери достигают при несимметричном расположении фаз. Если в этом случае стальные части заменить на части из алюминиевых или медных сплавов, которые не имеют потерь на перемагничивание, то удастся снизить общие потери на 35 – 40 %.

В токопроводах при симметричном расположении фаз переход от стали к сплавам не имеет актуального значения ввиду малых потерь в конструкциях благодаря скомпенсированному полю трех фаз. По этой причине поддерживающие конструкции из немагнитных сплавов находят применение главным образом при сооружении токопроводов с расположением фаз в одной плоскости. Вторая важная особенность этих токопроводов заключается в различной индуктивности фаз (из-за полей рассеяния), вызывающей нежелательный перекося фазных напряжений у электроприемников. Чтобы избежать этого, прибегают к транспозиции фаз. Транспозиция сводится к взаимному изменению положения всех трех фаз (скрещение).

Особое место в передаче электроэнергии занимают экранированные (закрытые) токопроводы. Экранированный токопровод представляет собой трубу в трубе (или короб в трубе) с установленными между ними изоляторами, при этом внутренняя труба выполняет функции собственно токопровода, а наружная – экрана. Обе трубы выполняются из одного и того же проводникового материала – алюминия.

Шинный пакет с охватывающим его экраном (кожухом) принципиально представляет трансформатор тока без железного сердечника. Поэтому при прохождении тока по шине в экране возникает индуктированный ток размагничивающего действия, благодаря чему результирующее магнитное поле внутри короба заметно ослабляется, и, следовательно, электродинамическое воздействие между шинными пакетами отдельных фаз такого токопровода также в значительной мере ослаблено.

Экранированные токопроводы безопасны при прикосновении к экранам и устойчивы в динамическом отношении при прохождении токов короткого замыкания. Однако высокая их стоимость является серьезным препятствием к широкому распространению.

Развивающимся в настоящее время симметричным токопроводам с жесткими шинами присущи тоже некоторые недостатки, они характеризуются использованием дорогостоящих опорных изоляторов типа ИШД-35, а также технологической сложностью выполнения

поворотов шинных пакетов в пространстве. Это вызывает необходимость дальнейших поисков новых конструктивных решений. Одним из возможных вариантов нового решения явится переход от жестких опорных конструкций (треугольников) к гибким подвесам с использованием более дешевых подвесных изоляторов типов П, ПМ и ПС, применяющихся на линиях электропередачи.

Токопроводы пофазно-экранированные: токопроводы серии ТЭНЕ-10 имеют пофазно-экранированное исполнение. Каждая фаза токопровода состоит из токоведущей шины соответствующего сечения, кожуха-экрана и изоляторов. Шина закрепляется по сечению одним изолятором специальным шинодержателем. Изоляторы крепятся к крышкам, которые, в свою очередь, закрепляются на кожухах-экранах болтами.

Токопроводы комплектные закрытые: токопроводы серии ТЗК состоят из оболочки, общей для трех фаз, и токоведущих шин соответствующего профиля и сечения. Шины закрепляются к изоляторам внутри оболочек по вершинам равностороннего треугольника посредством специальных шинодержателей. Токопроводы 6 и 10 кВ на номинальные токи до 4000 А служат для электрического соединения на электростанциях различных по назначению трансформаторов со шкафами комплектных распределительных устройств, а также турбогенераторов с повышающими трансформаторами. Токопроводы могут быть применены также для других объектов энергетики, промышленности, транспорта, сельского хозяйства и др.

Токопроводы ТЗКР выполняются с междуфазовыми разделительными перегородками из металла. Перегородки предназначены для исключения возможности перехода однополюсного замыкания в междуфазное короткое замыкание.

Токопроводы серии ТЗКЭП-6 пофазно-экранированного исполнения. Каждая фаза токопровода состоит из алюминиевой токоведущей шины соответствующего трубчатого сечения, цилиндрического кожуха-экрана из алюминия и изоляторов. Опорные изоляторы устанавливаются на крышках, крепление каждой из которых на оболочках выполнено шестью болтами. Шина по сечению закрепляется одним изолятором посредством специального шинодержателя.

В настоящее время востребованы два основных вида токопроводов – это токопроводы с воздушной изоляцией и токопроводы с литой изоляцией. В настоящее время производители работают над совершенствованием конструкции таких токопроводов путем изменения конфигурации кожухов на более компактную, а также путем оптимизации изоляции. Помимо этого, производители переходят на более современные материалы, что делает изделие более надежным и продлевает срок эксплуатации.

Конструкция токоведущих частей электроустановок могут быть в жестком или гибком исполнении. Жесткие соединительные выводные провода и шины (перемычки и вывод) изолированные и голые применяются в аппаратах со сложной схемой коммутации, например в панелях управления, контроллерах, реостатах, комплектных распределительных устройствах (КРУ) и в других комплектных аппаратах. Гибкие соединения из кабеля и тонкой ленты применяются во многих аппаратах, имеющих подвижные контакты, например в контакторах, контроллерах, воздушных автоматических и некоторых масляных выключателях, а также в других аппаратах.

В электроустановках (электростанциях и подстанциях) применяются неизолированные жесткие проводники, неизолированные гибкие многопроволочные провода, кабели и комплектные токопроводы. В настоящее время применяются в основном алюминиевые токоведущие части и шины, но в связи с уменьшением разницы цен алюминиевых и медных проводников в последнее время расширилась возможная область применения медных проводников. Выбор конкретных типов проводников зависит от номинального напряжения, тока, рода установки и особенностей проектируемой электроустановки.

Увеличение передаваемых мощностей в системе электроснабжения промышленных предприятий требует повышения сечения сетей. В последние 20 лет наблюдается

постепенный переход от кабельных линий к токопроводам, обладающим большими надежностью и перегрузочной способностью.

УДК 621.3

УСТАНОВКИ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ

Гефтер М.В., Пылинская Е.Р.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булат В.А.

Совокупность источников питания, кабельных линий, шин питания переключающих устройств и других элементов оперативных цепей составляет систему оперативного тока данной электроустановки. Оперативный ток на электрических станциях и подстанциях служит для питания вторичных устройств, к которым относятся оперативные цепи защиты, автоматики и телемеханики, аппаратура дистанционного управления, аварийная и предупредительная сигнализация. При нарушениях нормальной работы подстанции оперативный ток используется также для аварийного освещения и электроснабжения электродвигателей.

Применяются следующие системы оперативного тока на подстанциях:

– постоянный оперативный ток – система питания оперативных цепей, при которой в качестве источника питания применяется аккумуляторная батарея;

– переменный оперативный ток – система питания оперативных цепей, при которой в качестве основных источников питания используются измерительные трансформаторы тока защищаемых присоединений, измерительные трансформаторы напряжения, трансформаторы собственных нужд. В качестве дополнительных источников питания импульсного действия используются предварительно заряженные конденсаторы;

– выпрямленный оперативный ток – система питания оперативных цепей переменным током, в которой переменный ток преобразуется в постоянный (выпрямленный) с помощью блоков питания и выпрямительных силовых устройств. В качестве дополнительных источников питания импульсного действия могут использоваться предварительно заряженные конденсаторы;

– смешанная система оперативного тока – система питания оперативных цепей, при которой используются разные системы оперативного тока (постоянный и выпрямленный, переменный и выпрямленный).

В системах оперативного тока различают:

– зависимое питание, когда работа системы питания оперативных цепей зависит от режима работы данной электроустановки (электрической подстанции);

– независимое питание, когда работа системы питания оперативных цепей не зависит от режима работы данной электроустановки.

Постоянный оперативный ток применяется на подстанциях 110–220 кВ со сборными шинами этих напряжений, на подстанциях 35–220 кВ без сборных шин на этих напряжениях с масляными выключателями с электромагнитным приводом, для которых возможность включения от выпрямительных устройств не подтверждена заводом изготовителем.

Переменный оперативный ток применяется на подстанциях 35/6(10) кВ с масляными выключателями 35 кВ, на подстанциях 35–220/6(10) и 110–220/35/6(10) кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда выключатели 6(10)–35 кВ оснащены пружинными приводами.

Выпрямленный оперативный ток должен применяться:

– на подстанциях 35/6(10) кВ с масляными выключателями 35 кВ;

– на подстанциях 35–220/6(10) кВ и 110 – 220/35/6(10) кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда выключатели оснащены электромагнитными приводами;

– на подстанциях 110 кВ с малым числом масляных выключателей на стороне 110 кВ.

Смешанная система постоянного и выпрямленного оперативного тока применяется для уменьшения емкости аккумуляторной батареи за счет применения силовых выпрямительных устройств для питания цепей электромагнитов включения масляных выключателей.

Целесообразность применения этой системы должна быть подтверждена технико-экономическими расчетами.

Смешанная система переменного и выпрямленного оперативного тока применяется:

- для подстанций с переменным оперативным током при установке на вводах питания выключателей с электромагнитным приводом;

- для питания электромагнитов включения которых устанавливаются силовые выпрямительные устройства;

- для подстанций 35 – 220 кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда не обеспечивается надежная работа защит от блоков питания при трехфазных коротких замыканиях на стороне среднего или высшего напряжения.

Всех потребителей энергии, получающих питание от аккумуляторной батареи, можно разделить на три группы:

- постоянно включенная нагрузка – аппараты устройств управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты, постоянно обтекаемые током, а также постоянно включенная часть аварийного освещения;

- временная нагрузка – появляющаяся при исчезновении переменного тока во время аварийного режима – токи нагрузки аварийного освещения и электродвигателей постоянного тока;

- кратковременная нагрузка (длительностью не более 5 с) создается токами включения и отключения приводов выключателей и автоматов, пусковыми токами электродвигателей и токами нагрузки аппаратов управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты, кратковременно обтекаемых током.

Источниками питания переменного оперативного тока являются трансформаторы тока, трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд.

Для получения выпрямленного напряжения (тока) применяют:

- силовые выпрямители для питания электромагнитов включения приводов выключателя;

- зарядные устройства с аккумулятором энергии, запасенная энергия которых служит для питания различных аппаратов даже при исчезновении напряжения на объекте;

- блоки питания, включаемые на трансформаторы тока трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд для питания вторичных цепей.

Потребители собственных нужд первой и второй групп атомных электрических станций (АЭС) требуют надежного питания, поэтому используют автономные источники питания: дизель-генераторы, агрегаты бесперебойного питания (АБП), преобразовательные устройства, газотурбинные установки. Для потребления постоянного и переменного тока этих групп на АЭС устанавливают АБП, в которые входят управляемые и неуправляемые выпрямители, автономные инверторы, тиристорные ключи с естественной и искусственной коммутацией.

Самым надежным источником питания оперативных цепей считаются аккумуляторные батареи. Большим преимуществом их является независимость от внешних условий, что позволяет обеспечивать работу вторичных устройств даже при полном исчезновении напряжения в основной сети станции (подстанции). Наиболее распространенными являются свинцово-кислотные аккумуляторы, на сегодняшний день применяется исключительно схема аккумуляторной установки, работающей по методу постоянного подзаряда.

УДК 621.316

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВОЗДУШНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Рублевский Е.В., Гапанович А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Губанович А.Г.

Автоматические выключатели делят на автоматы низкого (до 1000 В) и высокого (выше 1000 В) напряжения.

Высоковольтные выключатели производят коммутацию, как номинальных токов, так и токов короткого замыкания и осуществляют функции защиты в аварийных режимах в системах распределения электроэнергии. Автоматический выключатель высокого напряжения предназначен для включения и отключения номинальных токов, тока холостого хода силовых трансформаторов и ёмкостных токов конденсаторных батарей и длинных линий, токов перегрузки и токов короткого замыкания. Гашение электрической дуги осуществляется потоком сжатого воздуха, получаемого от специального источника, под давлением 2–4 МПа. Изоляция токоведущих частей и дугогасительного устройства осуществляется фарфором или другими твёрдыми изолирующими материалами. Но защитные функции они выполняют через устройства линейной защиты, которые подают сигнал на привод выключателя. К высоковольтным относятся генераторные выключатели, предназначенные для подключения и отключения генераторов к блочному трансформатору.

Автоматические воздушные выключатели низкого напряжения также защищают сеть, но с помощью специальных устройств – расцепителей, которые воздействуют на механизм свободного расцепления автомата, что приводит к его отключению. Автоматический выключатель низкого напряжения – аппарат для нечастой ручной коммутации электрических цепей и автоматической защиты их при коротких замыканиях, длительной перегрузке или при снижении напряжения. При автоматическом выключении воздушного выключателя срабатывает расцепитель. Расцепитель представляет собой электромагнитное или тепловое реле, срабатывающее, например, при увеличении тока сверх допустимого. При этом приводится в действие механизм свободного расцепления автомата и происходит разрыв силовых контактов. Время срабатывания (отключение выключателя) может составлять 0,025 – 0,05 с. Автомат более удобен, чем рубильник или плавкий предохранитель. Он обеспечивают лучшую защиту при малых перегрузках, является аппаратом многократного действия. кратность коммутационных перенапряжений. Дальнейшее снижение этого уровня требует усиления дугогасящей способности искровых промежутков разрядников и связано с риском повреждения разрядников при длительных квазистационарных перенапряжениях

Воздушные выключатели отличаются от других (например, газовых, масляных и вакуумных) тем, что гашение электрической дуги осуществляется потоком сжатого воздуха. Примеры высоковольтных выключателей: ВВБ, ВНВ, генераторные выключатели. Примеры низковольтных выключателей: АП-50, АЗ700. Как и всякий электрический прибор, автомат нуждается в техническом обслуживании. Техническое обслуживание автоматических выключателей низкого напряжения производится один раз в квартал или один раз в год, в зависимости от условий среды и режима работы, а также после каждого отключения максимальных токов короткого замыкания. При профилактике и ремонте автоматов применяются все меры электробезопасности и пожаробезопасности. К шарнирным механизмам низковольтных выключателей применяется приборное масло, для чистки контактов применяется спирт, для внутренних поверхностей дугогасительных камер – бензин. Обслуживание и ремонт автоматов производится согласно инструкции по эксплуатации. В высоковольтных выключателях удобен для ремонта модульный принцип построения. Средний срок службы до среднего ремонта – 8 лет. Срок службы до списания – 25 лет. Техническое обслуживание высоковольтных выключателей включает в себя следующие виды ремонтов: текущий, внеочередной и капитальный.

При ремонте и эксплуатации генераторных выключателей применяется несколько степеней защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током. К выключателям высокого напряжения предъявляются следующие требования: надёжное отключение любых токов, вплоть до токов КЗ, быстрота действия, т.е. наименьшее время отключения; пригодность для работы с системой быстродействующего автоматического повторного включения (АПВ), возможность пофазного управления для выключателей 110 кВ и выше, лёгкость ревизии и осмотра контактной группы, взрыво- пожаробезопасность, удобство в эксплуатации.

УДК 621.3

КАБЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Мышковский Д.Г., Хомякова А.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

Развитие технологии изготовления высоковольтного кабеля позволило создавать кабель с изоляцией из поперечно-сшивного полиэтилена, допускающего высокую напряженность. Сегодня этот кабель широко применяется в подземных распределительных и промышленных сетях. Имеется много примеров применения такого кабеля на напряжение выше 400 кВ. Одной из главных причин замены воздушных линий кабельными является повышение надежности энергоснабжения. Считается, что рабочая напряженность в таком кабеле сегодня может быть равной 15 кВ/мм (действующего значения), что подтверждено существующими кабельными линиями на напряжение 500 кВ. По практическим мотивам в настоящее время для рассматриваемых напряжений в кабельных трансформаторах применяется кабель с рабочей напряженностью около 10 кВ/мм. В будущем могут быть использованы более высокие напряженности.

При изготовлении кабельного трансформатора был использован кабель, изготовленный на заводе АВВ в Карлскрона (Швеция). В таком кабеле токопроводящие медные или алюминиевые жилы окружены общим полупроводящим цилиндрическим экраном, позволяющим снизить высокую напряженность электрического поля на жилах проводника и сделать его квазиравномерным на поверхности экрана. Далее идет изоляция из поперечно сшивного полиэтилена, наружный слой которого также сделан полупроводящим. При относительно малом диаметре такого кабеля он может быть использован для изготовления трансформатора. При применении такого кабеля для обычных целей он должен быть снабжен защитной оболочкой, предохраняющей от воздействия земли и воды.

Первый кабельный трансформатор был изготовлен фирмой АВВ и поставлен энергетической компании в Швеции. Это был трехфазный трансформатор мощностью 20 МВА и напряжением 140/6,6 кВ. Обмотка ВН слоевая намотана полиэтиленовым кабелем. Дистанцирующие рейки между слоями на концах закреплены радиальными концевыми деталями, изготовленными из стеклопластика. Аксиальные рейки изготовлены из немагнитного проводящего материала. Их назначение создавать каналы между слоями, обеспечивать охлаждение, создавать механический каркас обмотки и заземление кабеля.

Функции отдельных частей кабельного трансформатора определены более четко, чем обычных трансформаторах. Так, кабель полностью обеспечивает электрическую изоляцию обмотки. Воздух служит только для охлаждения, и не выполняет функции изоляции, как в обычных сухих трансформаторах. Главной функцией немагнитных металлических реек является обеспечение механической прочности обмоток, в том числе при воздействиях токов короткого замыкания. В отличие от обычных трансформаторов, обмотка не требует прессовки с опорой на ярмо. Все это позволяет лучше оптимизировать отдельные части трансформатора.

Испытания кабеля были проведены на однофазной модели мощностью 10 МВА, с напряжением 52/17 кВ. Обмотка в отличие от обычных трансформаторов не требует сжатия с опорой на ярмо. В нормальном режиме механической нагрузкой на кабель является только собственный вес, обычно составляющий 3 кг/м. Кабель способен выдерживать такую нагрузку, что подтверждено длительными испытаниями. Испытания на прочность при воздействии токов короткого замыкания проводились в соответствии с МЭК 600.76 и стандартом IEEE C.57.1201. Модель имела полное сопротивление к.з. 8,1% и номинальный ток обмотки НН равный 1118 А. Ток короткого замыкания составил 12600 А (действующий) и пиковое значение асимметричной составляющей 32000 А. Длительность воздействий была 500 мс. Испытания проводились при температуре 25 °С и 70 °С. Количество ударов равно 3. Вышеуказанные стандарты не содержат указаний о температуре трансформатора во время

испытаний. Однако известно, что механические свойства полиэтиленового кабеля изменяются с изменением температуры и, особенно, при высоком ее значении. Поэтому испытания при полном токе короткого замыкания были также проведены при рабочей температуре трансформатора.

При повреждении обычного маслonaполненного трансформатора всегда есть опасность возгорания масла. В случае разрыва бака горящее масло разливается вокруг трансформатора. В кабельном трансформаторе количество горючих материалов гораздо меньше, чем в обычном. Кроме того, горючесть материалов, применяемых в кабельном трансформаторе, имеет меньшую тенденцию к развитию возгорания, чем горючие материалы, применяемые в обычном трансформаторе.

Простота конструкции кабельного трансформатора позволяет предположить о более высокой его надежности по сравнению с обычными трансформаторами.

Чтобы определить возможную повреждаемость трансформатора, можно выяснить повреждаемость отдельных его частей и определить повреждаемость всего трансформатора. Тем же методом определяется среднее время между ремонтами и среднее время нахождения трансформатора в ремонте. Так как компоненты кабельного трансформатора имеют длительную историю, можно предсказать их надежности в составе кабельного трансформатора. Для этого были использованы статистические данные о повреждаемости трансформаторов и отдельных его частей, включая кабель и все вспомогательное комплектующее оборудование.

Экологические преимущества и безопасность кабельных трансформаторов позволяет приблизить их установку к местам потребления энергии, в том числе к бытовым потребителям. Кабельные трансформаторы обладают повышенной надежностью благодаря простоте конструкции и высокой надежности кабеля. Благодаря отсутствию масла кабельные трансформаторы меньше воздействуют на окружающую среду, чем маслonaполненные, и более безопасные. Кабельные трансформаторы открывают новые возможности для глубокого ввода энергоснабжения на высоком напряжении в густонаселенные районы, где имеются высокие требования к пожаро и взрывобезопасности и снижению загрязнения воздуха и почвы.

Фактором, препятствующим промышленному применению кабельных трансформаторов в настоящее время, является их высокая стоимость.

УДК 621.3

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Рымкевич Л.П., Алейник В.С., Баран А.Г.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Силюк С.М.

По уровню токов и мощностей КЗ осуществляют выбор сечения шин, токопроводов, проводов и кабелей, отключающую и коммутационную способность аппаратов, электродинамическую и термическую стойкость токоведущих частей и конструкций электрооборудования. Выбор электрооборудования по факторам аварийного режима не только означает предъявление более жестких требований к его техническим характеристикам, но и свидетельствует о соответствующем росте его стоимостных показателей.

При проектировании ЭЭС решается технико-экономическая задача ограничения уровней токов и мощностей КЗ до значений, допустимых параметрами электрооборудования, которые экономически целесообразно применять. В процессе эксплуатации ЭЭС, сопровождающейся их развитием с включением новых источников электрической энергии, возникает задача ограничения уровней токов и мощностей КЗ, если они превышают параметры установленного электрооборудования. При ее решении используют различные меры и средства, связанные с уменьшением токов КЗ и направленные на увеличение сопротивления цепи КЗ, локализацию в аварийном режиме источников ее питания и отключение поврежденной электрической сети за время менее 5 мс.

К методам ограничения токов КЗ относятся: выбор структуры и схемы электрических соединений элементов ЭЭС; стационарное и автоматическое деление электрической сети; выбор режима ее эксплуатации; выбор схем коммутации; применение оборудования с повышенным электрическим сопротивлением; использование быстродействующих коммутационных аппаратов; изменение режима нейтрали элементов сети.

Структура и схемы электрических соединений элементов ЭЭС выбираются на стадии ее проектирования и реконструкции. В основу принимаемых решений при этом должны быть положены следующие принципы: максимальное приближение источников питания к электроприемникам; секционирование всех ступеней распределения электрической энергии в системе электроснабжения (СЭС); построение и выбор конфигурации электрической сети (радиальной, магистральной, радиально-магистральной) должны обосновываться (наряду с такими основными факторами, как надежность, потери мощности и энергии, расход цветного металла и другие) также степенью использования сечений проводников, выбранных по току КЗ; использование токоограничителя в схеме электроснабжения, при котором токоограничивающие устройства устанавливаются на нескольких последовательных ступенях распределения электрической энергии.

Стационарное или автоматическое деление сетей выполняется обычно в системах внешнего электроснабжения в связи с увеличением числа и мощности источников электрической энергии, как в энергетической системе, так и на собственных ТЭЦ. Необходимость деления сети получается в тех случаях, когда уровень токов КЗ в узлах нагрузки превышает допустимый уровень по параметрам электрооборудования, находящегося в эксплуатации.

Применение электрооборудования с повышенным электрическим сопротивлением предусматривает установку как общесетевых, так и специальных элементов. При проектировании СЭС можно целенаправленно выбирать элементы сети с большим реактивным и активным сопротивлениями, изменяя количество и мощность трансформаторов, применяя трансформаторы с повышенным относительным напряжением КЗ, воздушные линии и токопроводы с увеличенным расстоянием между фазами, протяженные токопроводы и тому подобное. К специальному электрооборудованию

относятся трансформаторы и автотрансформаторы с расщепленными обмотками низшего напряжения, одноцепные и сдвоенные реакторы.

Реализация различных способов ограничения токов КЗ предусматривает применение специальных технических средств, которые непосредственно, благодаря своему конструктивному исполнению, ограничивают значение или продолжительность воздействия тока КЗ либо используются в схемах соединения элементов, выполняющих в совокупности эту функцию. К таким средствам относятся: аппараты и устройства, реализующие автоматическое деление сети; силовые трансформаторы и автотрансформаторы с особым исполнением конструкции и соединения фазных обмоток; токоограничивающие элементы и устройства; токоограничивающие коммутационные аппараты; устройства изменения режима работы нейтрали силовых трансформаторов.

Автоматическое деление сети может использоваться во внешнем электроснабжении предприятий в сетях напряжением 35 кВ и выше. Такая операция реализуется с применением устройств противоаварийной автоматики и коммутационных аппаратов, устанавливаемых на мощных присоединениях, между секциями РУ и на вводах. Средства противоаварийной автоматики включают в себя: релейную защиту, реагирующую на появление КЗ; устройства автоматического выполнения последовательного отключения коммутационных аппаратов; устройства автоматической частотной разгрузки, АПВ и АВР.

Трансформаторы и автотрансформаторы могут выполняться с расщепленными обмотками низшего напряжения. Части расщепленной обмотки размещаются симметрично относительно обмотки высшего напряжения, имеют самостоятельные выводы и допускают произвольное распределение нагрузки между обмотками. Ограничение токов КЗ конструктивно достигается большим значением напряжения КЗ между частями расщепленной обмотки. Для ограничения несимметричных токов КЗ существенную роль играет схема соединения фазных обмоток трансформаторов и автотрансформаторов. Так как в схему замещения нулевой последовательности включаются только те ветви, по которым циркулируют токи нулевой последовательности, то она не содержит участков электрической сети, находящихся за обмотками, соединенными в треугольник.

Токоограничивающие реакторы представляют собой дополнительные реактивные сопротивления, которые включаются в различных точках электрической сети напряжением 6 – 220 кВ. Их назначение – снижение тока КЗ за реактором и сохранение требуемого уровня остаточного напряжения в узловых точках сети перед реактором.

Токоограничивающие коммутационные аппараты совмещают функции ограничения наибольших значений токов КЗ и защиты от воздействия сверхтоков путем их отключения. К ним относятся быстродействующие токоограничивающие предохранители, ограничители ударного тока, а также специальные автоматические выключатели на напряжение до 1 кВ.

Для ограничения токов КЗ на землю разземляют нейтраль части силовых трансформаторов, включают в цепь нейтрали элементов сети реакторы с линейной характеристикой, насыщающиеся реакторы, дугогасящие реакторы и резисторы, нелинейные сопротивления. Эти устройства могут включаться постоянно в нейтраль, вводиться в цепь ее рабочего заземления при КЗ на землю с помощью коммутационных аппаратов или изменять результирующее сопротивление при появлении КЗ на землю путем срабатывания пороговых элементов (насыщающихся реакторов), индуктивно-емкостных контуров, настроенных в резонанс напряжений.

Высокие токи короткого замыкания обуславливают предъявление повышенных требований в отношении функционирования коммутационной аппаратуры, релейной защиты, системной автоматики, а также электродинамической и термической стойкости элементов ЭЭС, что в свою очередь вызывает повышение стоимости данных элементов. Также высокие уровни токов короткого замыкания являются причиной снижения надежности силовых трансформаторов. Эти причины определяют задачу поиска методов и средств ограничения токов короткого замыкания, некоторые из которых описаны в данной работе.

УДК 621.3

ЭЛЕКТРОЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Герасимов Е.О., Федоров Д.С., Синяк В.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.М. Силюк

При эксплуатации действующих электроустановок применяют различные электрозащитные средства и предохранительные приспособления. Изолирующие средства защиты служат для изоляции человека от частей электрооборудования, находящихся под напряжением, или от земли в случае прикосновения к заземленным частям электрооборудования и к токоведущим частям электроустановок. Изолирующие средства защиты подразделяются на основные и дополнительные.

Основными называются такие изолирующие средства защиты, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановки и которые позволяют прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением. К основным изолирующим средствам защиты в электроустановках напряжением выше 1 кВ относятся: изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, комплекты для фазировки и др.

Дополнительными называются такие изолирующие средства защиты, которые сами по себе не могут при данном напряжении электроустановки обеспечить безопасность персонала от поражения электрическим током и являются лишь дополнительной мерой защиты к основным средствам. К дополнительным средствам защиты, применяемым в электроустановках напряжением выше 1 кВ, относятся: диэлектрические перчатки, диэлектрические боты, диэлектрические резиновые ковры, изолирующие накладки и подставки на фарфоровых изоляторах, диэлектрические колпаки, переносные заземления, ограждающие устройства, плакаты и знаки безопасности.

Изолирующие штанги по назначению делятся на оперативные и измерительные. Оперативные штанги предназначаются для включения и отключения однополюсных разъединителей, для определения наличия напряжения, для замены предохранителей выше 1 кВ, для установки искрового промежутка, для снятия и установки трубчатых разрядников, для очистки изоляции оборудования от пыли под напряжением и для других работ. Измерительные штанги предназначаются для измерения распределения потенциала по гирлянде подвесных или по колонке штыревых изоляторов, контроля качества контактных соединений токоведущих частей посредством измерения падения напряжения или температуры контактов и т. д.

Указателями напряжения являются переносные приборы, предназначенные для определения наличия или отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок. Отсутствие напряжения должно быть проверено перед включением заземляющих ножей или наложением на токоведущие части переносного заземления.

Переносные заземления предназначаются для защиты людей, работающих на отключенных токоведущих частях оборудования или электроустановки, от поражения электрическим током в случае ошибочной подачи напряжения на отключенный участок или при появлении на нем наведенного напряжения. Переносные заземления применяются в тех частях электроустановки, в которых нет стационарных заземляющих ножей. Защитное действие переносных заземлений или стационарных заземляющих ножей заключается в том, что они не позволяют появиться дальше места их установки напряжению опасной для персонала величины. При подаче напряжения на заземленный и закороченный участок возникает короткое замыкание. Благодаря этому напряжение в месте короткого замыкания снижается практически до нуля и на токоведущие части за заземлением напряжение не будет попадать. Кроме того, сработает защита и отключит источник напряжения. Основным требованием, предъявляемым к переносным заземлениям, является их термическая и

динамическая устойчивость к току короткого замыкания. Переносные заземления устанавливаются на токоведущих частях со всех сторон, откуда может быть подано напряжение на отключенный для производства работ участок.

Изолирующие клещи предназначаются для операций по установке и снятию предохранителей, установке и снятию изолирующих накладок, перегородок. Изолирующие клещи состоят из трех основных частей: рабочей части, изолирующей части и рукоятки. Рукоятка и изолирующая часть изготавливаются из изоляционного материала. Рабочая часть (губки клещей) изготавливаются как из изоляционного материала, так и из металла. При работе с клещами оператор должен стоять на полу, земле или на прочных подмостях и работать в диэлектрических перчатках.

Клещи электроизмерительные предназначены для измерения тока и напряжения, а также мощности без разрыва токовой цепи. Клещи для электроустановок до 10 кВ состоят из трех частей: рабочей, изолирующей и рукояток. Рабочую часть клещей составляют разъемный магнитопровод, обмотка и съемный или встроенный измерительный прибор. Изолирующая часть и рукоятка должны быть выполнены из изоляционного материала с устойчивыми диэлектрическими характеристиками (например: пластмассы, бакелита). Электроизмерительные клещи переменного тока основаны на принципе одновиткового трансформатора тока, у которого первичной обмоткой является провод или шина с измеряемым током, а вторичная многовитковая обмотка, к которой подключен измерительный прибор, насажена на магнитопровод. Электроизмерительные клещи должны применяться в электроустановках закрытого типа соответствующего напряжения. В открытых электроустановках они могут применяться лишь в сухую погоду, когда отсутствует вероятность их увлажнения.

Среди средств, защищающих персонал от поражения током, наиболее широкое распространение имеют диэлектрические перчатки, галоши, боты и ковры. Они изготавливаются из резины специального состава, обладающей высокой электрической прочностью и хорошей эластичностью. Однако и специальная резина разрушается под действием тепла, света, минеральных масел, бензина, щелочей и прочего, легко повреждается механически.

Диэлектрические перчатки изготавливаются двух типов: диэлектрические перчатки для электроустановок до 1 кВ, в которых они применяются как основное защитное средство при работах под напряжением, и диэлектрические перчатки для электроустановок выше 1 кВ, в которых они применяются как дополнительное защитное средство при работах с по мощью основных изолирующих защитных средств (штанг, указателей высокого напряжения, изолирующих и электроизмерительных клещей). Кроме того, эти диэлектрические перчатки используются без применения других защитных средств при операциях с приводами разъединителей, выключателей и другой аппаратуры напряжением выше 1 кВ.

Диэлектрические галоши и боты как дополнительные защитные средства применяются при операциях, выполняемых с помощью основных защитных средств. При этом боты могут применяться как в закрытых, так и открытых электроустановках любого напряжения, а галоши – только в закрытых электроустановках до 1 кВ включительно. Кроме того, диэлектрические галоши и боты используются в качестве защиты от шаговых напряжений в электроустановках любого напряжения и любого типа, в том числе на воздушных линиях электропередачи.

Диэлектрические ковры применяются в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных по условиям поражения током. При этом помещения не должны быть сырими и пыльными. Ковры расстилаются по полу перед оборудованием, где возможно соприкосновение с токоведущими частями, находящимися под напряжением до 1 кВ, при эксплуатационно-ремонтном обслуживании оборудования, в том числе перед щитами и сборками, у колец и щеточного аппарата генераторов и электродвигателей, на испытательных стендах и т. д.. Они применяются также в местах, где производятся включение и отключение рубильников, разъединителей, выключателей, управление

реостатами и другие операции с коммутационными и пусковыми аппаратами как до 1 кВ, так и выше.

УДК 621.3.014.1

ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Кулик Д.А., Водопьянова А.А., Будников В.В.
Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

Основным направлением развития электроустановок и электрооборудования для их комплектации на современном этапе является сокращение габаритов, веса, запасов механической прочности и тепловой устойчивости, а также повышение надежности и экономичности.

Составной частью электроустановок являются токоведущие системы, по которым осуществляются передача и распределение электроэнергии. Именно к ним предъявляются самые высокие требования надежности и экономичности работы, определяемые их ролью и местоположением, как единственного пути, по которому передается колоссальная мощность современных энергоблоков. Успехи в создании эффективных и компактных токоведущих систем достигнуты как за счет разработки новых конструкций, применения в них более рациональных форм сечения проводников и систем охлаждения, так и в значительной степени благодаря пересмотру традиционных методов расчета электромагнитных процессов, протекающих в самих токоведущих системах и окружающих их металлоконструкциях.

Конструкционным материалам (электротехническим и конструкционным сталям) многих составных частей присущи нелинейные свойства. Однако при аналитических решениях задачу линеаризуют. Наряду с этим следует различать два режима намагничивания. Одним из них является режим, когда известен закон изменения намагничивающего тока (намагничивающей силы), то есть известно изменение напряженности магнитного поля на краях исследуемой области.

Значительная часть узлов и деталей электроустановок выполнены из конструкционных и электротехнических сталей, которые обладают гистерезисными магнитными характеристиками. Исследование электромагнитных полей в таких средах в зависимости от режима намагничивания требует установления функциональных связей между индукцией и напряженностью магнитного поля – $B(H)$ или $H(B)$ с учетом явления гистерезиса.

В переменном поле токоведущих систем электроустановок располагаются различные металлические конструкции в виде коробов, перегородок и ограждений из листов, щитов, плит, опорных балок и т.п.. Электромагнитные процессы в таких конструкциях вызывают их нагрев и вибрацию, существенно влияют на работу самих систем, изменяют их параметры, что требует проведения расчета электромагнитных полей и принятия соответствующих технических решений по устранению их вредного влияния.

Задача расчета электромагнитных взаимодействий токоведущих частей и металлических конструктивных элементов основывается на классической задаче анализа электромагнитных процессов в проводящих средах, расположенных в поле переменных токов промышленной частоты. Исследование таких процессов проводят аналитически, численно или на основе экспериментальных данных.

Проектирование токопроводов и систем электроснабжения с их использованием требует тщательного проведения расчетов электромагнитных процессов, протекающих в токонесущей системе и определяющих их электрические параметры, нагрузочную способность, электродинамическую стойкость и т.п. в нормальных и аварийных режимах работы. Различными аспектами этой проблемы посвящено значительное число исследований. Однако, несмотря на обилие работ, задача расчета электромагнитных полей и их характеристик далека от завершения из-за отсутствия простых алгоритмов решения. Токопроводы обладают незначительным электрическим сопротивлением по сравнению с сопротивлением цепи, в которой они установлены. Их электромагнитное состояние определяется по ним током нагрузки цепи.

При формировании магистральных цеховых сетей, а также для питания мощных сварочных машин и электропечей применяются шинопроводы большого сечения, рассчитанные на токи 4000 А и более. Такие шинопроводы используются на напряжениях до 1000 В, расстояния между токоведущими частями весьма малы, что приводит к резкому проявлению эффекта близости, увеличивающему активное сопротивление шины. Учет этого эффекта традиционными методами связан с весьма сложными расчетами, мало приемлемыми в практике проектирования и эксплуатации систем электроснабжения (СЭС). Кроме того, методика основывается на рассмотрении шинопровода как локального объекта, вне его связей с питающей СЭС. В связи с этим необходим новый, системный подход к моделированию шинопроводов, отличающийся тем, что предлагаемые модели непосредственно используются в задачах расчета установившихся режимов СЭС.

Несмотря на существующее многообразие методов исследования электромагнитных процессов, эта проблема далека от своего завершения. До сих пор задачи проектирования многих частей токоведущих систем и окружающих их проводящих конструкций решаются эмпирически или с помощью упрощенной теории, основанной на замене сложных геометрических форм конструктивных элементов простыми, реальных свойств проводящих материалов идеализированными, а также обобщении накопленного опыта, аналогиях и инженерной интуиции.

УДК 621.3

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДНИКАМИ

Мухин Р.А., Лукьянюк М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

В распределительных устройствах (РУ) высокого напряжения электростанций и подстанций в Республике Беларусь общепринято применять токоведущие конструкции с гибкими проводниками. Они имеют малое сопротивление изгибу и шарнирное крепление на порталных конструкциях. При протекании по ним токов короткого замыкания происходит взаимное сближение фазных гибких проводников РУ друг с другом или с заземленными конструкциями РУ. В ПУЭ нормированы минимальные допустимые расстояния между фазами, а также между фазами и заземленными конструкциями, при которых не возникает электрического пробоя изоляционных воздушных промежутков. При меньших расстояниях между ними возникает повторное КЗ. Возникновение первичного КЗ на шинах РУ электростанций и крупных подстанций маловероятно в связи с надежностью их конструкции, увеличенными междуфазными расстояниями, усиленной изоляцией и наличием постоянного обслуживающего персонала. Более вероятным и поэтому представляющим большую опасность является повторное КЗ на сборных шинах, возникающее в результате электродинамического действия тока первичного КЗ на ЛЭП, приводящее к отключению всех присоединений. На электрические аппараты РУ и опорные конструкции при этом воздействуют ударные нагрузки. Подобные явления возможны также на линиях электропередач, в цепях гибких токопроводов электростанций и промышленных предприятий.

В некоторых случаях из-за роста уровней токов КЗ в уже спроектированных и эксплуатирующихся распределительных устройствах с гибкими проводниками возможны случаи нарушения электродинамической стойкости. В связи с этой проблемой актуальным становится вопрос повышения электродинамической стойкости существующих токоведущих конструкций с минимальными затратами средств и времени.

В настоящее время все конструктивные элементы РУ высшего напряжения, эксплуатируемые в Республике Беларусь, подразделяются на стальные и железобетонные. Порталы ошиновки выполняются свободно стоящими в виде П-образных конструкций с заземленными на фундаментах стойками и шарнирным соединением стоек с траверсами. Траверсы и узкобазные стойки выполняются решетчатого типа с соединением на сварке внахлестку или с соединением элементов на болтах.

Гибкость проводов распределительных устройств позволяет им принимать форму, обусловленную внешними нагрузками. При протекании по ним токов КЗ проводники соседних фаз начинают взаимодействовать: при двухфазном КЗ они вначале отталкиваются, затем сближаются; при трехфазном – два провода из трех движутся согласно с разными скоростями, поэтому вначале также происходит расхождение, а затем сближение проводников. В результате они могут сблизиться на недопустимое по условию электрической прочности изоляционного промежутка расстояние. При этом на электрические аппараты РУ и опорные конструкции воздействуют ударные нагрузки. КЗ на отходящих воздушных ЛЭП может сопровождаться вторичным КЗ на шинах РУ с последующим отключением всех присоединений. Это приводит к необходимости разработки методов расчета динамики гибких проводов при КЗ, с помощью которых можно было бы определить критерии электродинамической стойкости проводов – максимальные отклонения и тяжения

Выделяются две стадии движения проводов: вынужденное – под воздействием электродинамических усилий и свободное – после отключения КЗ. После отключения

движение провода определяется сочетанием действия инерционных и упругих сил и тяжения провода.

Наиболее действенным решением, не требующим больших материальных и временных затрат, является установка междуфазных распорок. Их можно применять как во вновь сооружаемых, так и в существующих РУ. Но использование распорки в состав которой входят тарельчатые изоляторы, для РУ 110 кВ и выше представляется нецелесообразным из-за ее значительной массы и гибкости. В качестве альтернативы можно предложить распорки на основе современных полимерных стержневых изоляторов (рисунок 1). Основу такого изолятора составляет стержень из стеклопластика, который способен выдерживать значительные механические нагрузки во всех направлениях. Сверху такой стержень покрыт полимерной ребристой оболочкой для увеличения разрядных напряжений по поверхности. Подобные полимерные распорки применялись на ЛЭП 220 и 500 кВ для ограничения пляски проводов. Установка одной распорки в середине пролета значительно повышает электродинамическую стойкость пролета, а применение двух и более распорок может полностью исключить возможность недопустимого сближения гибких шин при любых возможных токах КЗ. Количество и место установки распорок должны определяться расчетом для каждого конкретного пролета.



Рисунок 1 – Распорка междуфазная изолирующая полимерная (РМИ)

Такие распорки применялись для пролетов проводов воздушных ЛЭП 220 кВ Черепетской ГРЭС (город Суворов Тульской области). Предварительные расчеты показали, что для обеспечения электродинамической стойкости пролета достаточно одного комплекта распорок, установленного в середине пролета. Однако для создания запаса стойкости и для снижения максимальных тяжений следует установить два комплекта распорок в каждой трети пролета

УДК 621.311.22

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Ефременко А.А., Тукай П.А.

Научный руководитель – инженер Кисляков А.Ю.

Когенерация – процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии. В технической литературе распространён термин теплофикация – централизованное теплоснабжение на базе комбинированного производства электроэнергии и тепла на теплоэлектроцентралях. Отличием от теплофикации является утилизация тепла после получения электроэнергии (фактически использование вторичного энергоресурса – тепла после отработки в установках по производству электроэнергии). При теплофикации процесс выработки электроэнергии и тепла идет параллельно. Когенерация широко используется в энергетике, например на ТЭЦ (теплоэлектроцентралях) с установленными газотурбинными установками (ГТУ), где рабочее тепло (продукты сгорания) после использования в выработке электроэнергии применяется для нужд теплоснабжения. Тем самым значительно повышается КПД – до 90 % и даже выше.

Когенерационные установки – это оборудование, позволяющее вырабатывать электроэнергию и тепло одновременно.

Эти системы, по сравнению с существующими монопольными тарифами, позволяют существенно снизить затраты на потребляемую энергию, а так же решить важную проблему пиковых нагрузок и недостатков централизованных систем.

Когенерационные установки имеют большой ресурсный потенциал, а также преимущества в надежности, диапазоне мощностных ресурсов. Очевидным является и то, что монопольное владение электроэнергетическим рынком, подкрепленное технико-правовыми нормами и существующей практикой ставит промышленного, сельскохозяйственного и гражданского потребителя в безвыходное положение, вынуждая его к приобретению когенерационных установок.

Благодаря меньшим денежным затратам на строительство, использование когенерационных установок положительно повлияет на экономику страны.

Экологическая выгода от использования когенерационных систем так же является очевидной: их использование значительно уменьшает уровень выброса загрязняющих веществ в атмосферу.

УДК 621.315.177

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Юшкевич А.М., Лукьянюк М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

Повышение уровней токов короткого замыкания, сооружение компактных воздушных линий сопровождается усилением тяжести электродинамического действия токов КЗ на гибкие проводники ВЛ. Короткие замыкания на ВЛ могут сопровождаться недопустимым сближением и схлестыванием фазных проводников и появлением значительных динамических усилий (максимальных тяжений), передающихся на опоры ВЛ. В соответствии с нормативными документами расстояния между фазами в момент их наибольшего сближения при КЗ не должны быть меньше минимальных допустимых расстояний выбранных по рабочему напряжению. Возникающие при КЗ кратковременные нагрузки могут превысить допустимые тяжения проводов.

Оценка электродинамической стойкости гибких проводников электроустановок производится по двум условиям: допустимого сближения фазных проводников по критерию электрической прочности воздушного промежутка и допустимых максимальных тяжений проводов при КЗ. Для нахождения параметров электродинамической стойкости необходимо решить задачу динамики гибких проводов под воздействием электродинамических усилий от токов КЗ. Она сводится к решению нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа, описывающих движение провода как механической системы с распределенной массой. Существующие подходы к решению указанной сложной задачи отличаются в первую очередь выбором расчетной модели гибкого провода и делятся на две группы:

- 1) упрощенные, основанные на расчетной модели провода в виде сосредоточенной массы;
- 2) методы, учитывающие распределение масс провода по длине пролета.

При использовании упрощенных методов провод представляется сосредоточенной массой, расположенной в центре масс провода, с одной или несколькими степенями свободы. Этот класс методов вычисления использует упрощенные аналитические выражения, описывающие воздействие токов короткого замыкания на шины. Они могут быть приспособлены к ручному счету с использованием калькулятора. Для экономии времени могут быть использованы персональные компьютеры с программами, включающими все формулы, диаграммы и таблицы, необходимые для расчета. Упрощенные методы дают возможность вычислять также нагрузки нормальных режимов (ветровые и гололедные с учетом температурных изменений) и позволяют получить оптимальное решение с достаточной точностью за короткий промежуток времени.

Однако упрощенные методы позволяют получить только максимальные значения расчетных параметров и не дают информации о развитии процесса во времени. При их применении нужно знать только основные данные, например, длину пролета, статическое тяжение, междуфазное расстояние, жесткость конструкций, данные по проводам, ток короткого замыкания и его длительность. Наиболее часто применяемым на практике упрощенным методом является метод физического маятника.

Указанные методы не учитывают жесткости провода на изгиб. Предполагается, что расщепленная фаза с двумя или более проводниками в пучке ведет себя приблизительно также как одиночный проводник эквивалентного сечения и массы.

Что касается продолжительности КЗ, то, как и во многих случаях при выборе и проверке оборудования на устойчивость к воздействию токов КЗ, рекомендуется учитывать «наихудший случай». Хотя наибольшая продолжительность КЗ не всегда вызывает

максимальное электродинамическое воздействие. Случай неуспешного АПВ также не рассматривается.

К методам, приближенно учитывающим распределенные параметры провода, можно отнести метод веревочного многоугольника. По этому методу провода, гирлянды изоляторов и поддерживающие конструкции заменяются конечным числом сосредоточенных масс, связанных между собой невесомыми пружинами. Для каждого узла провода в виде такого многоугольника составляются уравнения движения массы под действием ЭДУ и внутренних упругих сил. Совместное решение дифференциальных уравнений второго порядка с нелинейными правыми частями для всех узлов дает пространственное положение провода и тяжение для каждого момента времени. Недостатком метода является то, что он не имеет строгого обоснования по количеству выбираемых узлов многоугольника, что может привести к искажению результатов расчета.

В БНТУ для решения сложной задачи расчета электродинамической стойкости воздушных линий разработаны методы математического моделирования и вычислительного эксперимента. В расчетах провода ВЛ представляются гибкой упругой нитью движение которой под воздействием распределенных электродинамических усилий описывается нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных гиперболического типа. Единственное решение этих уравнений, соответствующее заданному току КЗ и геометрии пролета, определяется начальными и граничными условиями. Численное решение поставленной краевой задачи производится разностным методом с использованием безусловно устойчивой неявной схемы. Для расположенных в вершинах произвольного треугольника фазных проводников расчетным видом КЗ является трехфазное короткое замыкание.

При проектировании ВЛ рекомендуется проверку их электродинамической стойкости проводить по компьютерной программе LINEDYS+ с определением начального положения проводов до КЗ в предусмотренных ПУЭ климатических режимах при трехфазном КЗ и продолжительности КЗ, определяемой временем действия основных защит, а также в цикле неуспешного АПВ.

УДК 621.3

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ВЫБОРА РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

Карпилович А.В., Киселев П.К.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Булат В.А.

Вся коммутационная аппаратура распределительного устройства электрической станции и подстанции должна надежно работать в условиях длительных нормальных режимов, а также обладать достаточной термической и динамической стойкостью при возникновении самых тяжелых коротких замыканий. Поэтому при выборе коммутационных аппаратов РУ очень важна проверка соответствия их параметров длительным рабочим и кратковременным аварийным режимом, которые могут возникать при эксплуатации.

Кроме того, следует учитывать внешние условия работы РУ (влажность, загрязненность воздуха, окружающую температуру, высоту над уровнем моря), так как эти условия могут потребовать коммутационную аппаратуру специального исполнения, обладающую повышенной надежностью.

Разъединитель – это коммутационный аппарат, который предназначен для отключения и включения электрической сети без нагрузки либо с незначительной нагрузкой: намагничивающий ток силового трансформатора, остаточный ток кабельных и воздушных линий электропередач, а также ток нагрузки не более 15 А (в зависимости от типа коммутационного аппарата). Кроме того, разъединители предназначены для создания видимого разрыва цепи при отключении питания линии. Это необходимо, прежде всего, для безопасности при выполнении ремонтных работ. В данном случае аппарат создает видимый разрыв в цепи между оборудованием, которое выведено в ремонт и оборудованием, которое находится под рабочим напряжением.

В настоящее время широко внедряется автоматизированный выбор коммутационного оборудования. Ранее выбор оборудования заключался в долгом просмотре справочной литературы. В настоящее время стали появляться программы, которые упрощают и ускоряют выбор аппаратов. Для таких программ создаются базы паспортных данных аппаратов, существующих на данный момент. Программы строятся на сравнении критериев, по которым выбирается оборудование. Исходной информацией для выбора разъединителей являются: напряжение установки, номинальный ток, ударный ток и импульс квадратического тока КЗ. Для работы программы выбора разъединителей необходимо наличие файла каталожных данных. Эта информация находится в банке данных. Также необходим файл содержащий расчетные параметры цепей, где будут выбираться разъединители и признаки установки и типа разъединителя.

При работе программы выбора разъединителей определяется блок параметров в банке данных, соответствующих заданным условиям, затем производится выбор разъединителей. Банк каталожных данных разъединителей содержится в отдельном файле. Результаты выбора разъединителей и его параметры выводятся в табличной форме. Программа предназначена для выбора разъединителей электрических станций и подстанций. По программе одновременно может быть выполнен выбор четырех разъединителей для различных цепей главной схемы электрических соединений станции или подстанции.

В данной работе была обновлена база данных программы выбора разъединителей. Программа написана на алгоритмическом языке FORTRAN и содержит два файла исходных данных: VR1.DAT с банком каталожных данных разъединителей и VR2.DAT с описанием цепей, где выбираются разъединители, и программный модуль. После запуска программы производится выбор разъединителей по заданным параметрам. Полученные результаты сводятся в файл результатов в виде таблиц.

В ходе выполнения работы был обновлен банк данных разъединителей. В него были внесены параметры разъединителей, устанавливаемых в настоящее время.

УДК 621.311.4

МОЛНИЕЗАЩИТА

Остроушко Г.А., Сарыев А.Н., Катрич А.Е., Дунченко Д.А.
Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

Фактически, линейная молния это очень длинная искра, возникающая вследствие значительного напряжения между грозовой тучей и землёй, несущая электрический заряд. Разряд между облаком и землей обычно начинается с прорастания от облака к земле слабо светящегося канала, движущегося толчкообразно со средними скоростями от 100 до 1000 километров в секунду. Этот предварительный разряд назван ступенчатым лидером. Когда лидер достигает земли, начинается фаза главного разряда, воспринимаемая невооруженным глазом как собственно разряд молнии.

В результате прямого попадания молнии в здание возникает реальная угроза поражения электрическим током людей и животных, воспламенения, расплавления различных материалов, расщепления древесины и образования трещин в кирпиче и бетоне, заноса в здание высокого потенциала по инженерным коммуникациям проводам линий электропередач, трубопроводам с опасностью повреждения бытовой электроники. Но, даже в случае непрямого попадания, волна перенапряжения распространяется по коммуникациям на многие километры и способна мгновенно вывести из строя дорогостоящее оборудование вашего дома.

Для защиты зданий от этих нежелательных последствий удара молнии используется система различных типов молниезащиты. На сегодняшний день существуют: стержневой, тросовый тип молниезащиты, молниеприемная сетка и молниезащита с использованием активных молниеприемников. В 2007 году на белорусском рынке появились молниеприемники с упреждающей стриммерной эмиссией PREVECTRON 2 производства французской компании INDELEC. Эти устройства представляют собой улучшенную версию одиночного молниеприемника, воплотившую в себе самые последние разработки в области молниезащиты.

До недавнего времени не было проведено сколько-нибудь серьезных сравнительных испытаний, демонстрирующих преимущества и недостатки одного типа молниеотвода перед другим. Такие испытания провели в Институте электроэнергетики (Франция), где объектом стал активный молниеприемник.

В качестве оппонента «выступил» обычный стержневой молниеприемник. В ходе испытаний оба молниеприемника (МП) располагались на заземленной плоскости испытательного поля. Высоковольтный электрод, на который подавалось отрицательное напряжение, представлял собой плоскость с закругленными краями; длина промежутка составляла 2 м. Оба МП устанавливались симметрично относительно вертикальной оси промежутка на расстоянии, достаточном для исключения их взаимного влияния. При одном и том же значении напряжения производились серии по 20 разрядов и определялось соотношение числа разрядов с стержневого МП и активного МП. Результаты были таковы: при одинаковой высоте в 1 м, при всех 20 воздействиях срабатывал активный МП; при высоте активного МП 1 м, а обычного молниеприемника 1,02 м, при 20 воздействиях 19 раз срабатывал активный МП и 1 раз обычный МП; при высоте активного молниеприемника 1 м, а обычного молниеприемника 1,06 м, при 20 воздействиях 16 раз срабатывал активный МП и 4 раза обычный МП. Вывод очевиден: стабильное преимущество активного МП.

Компания INDELEC активно исследовала эффект опережающей стриммерной эмиссии и дорабатывала свои изделия с начала 90-х годов прошлого века на специально оборудованных полигонах во Флориде, Канаде, Бразилии, Японии.

С активной системой намного проще, поскольку все решается установкой над объектом одного активного молниеприемника. Выглядит он гораздо эстетичней, что имеет значение для зданий с архитектурными концепциями, и в итоге, оказывается более экономичным в

эксплуатации. Уход за активным громоотводом намного проще, чем за обычным. Отпадает необходимость постоянно контролировать множество соединений, которые в течение зимы под воздействием снега и льда могут повредиться и нуждаются в восстановлении.

В зависимости от типа головки активного молниеотвода и высоты, на которой она установлена, радиус территории, защищаемой таким молниеотводом, может составлять 100 метров, а потому защищёнными будут не только дом, но и стоящий рядом с ним автомобиль, а также постройки и прилегающая территория. Это означает, что там, где по классическим схемам защиты необходимо выстраивать сложную систему штыревых молниеприемников, достаточно поставить один активный молниеотвод и степень защиты будет как минимум на том же уровне, что и по классической схеме. Существует миф, что активные молниеприемники притягивают молнии. На самом деле и пассивный, и активный молниеотводы защищают строения, притягивая молнии к себе, только у активного молниеотвода радиус защиты больше.

УДК 621.3

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

Олипа А.С., Баран А.Г.

Научный руководитель – инженер Андрукевич А.П.

Современные токоограничивающие реакторы отличаются большей долговечностью и меньшими массогабаритными показателями в сравнении с их бетонными предшественниками. Их механическая прочность и температурная стойкость позволяет выдерживать большие ударные нагрузки при токах короткого замыкания.

Сухие реакторы относятся к новому направлению в конструировании токоограничивающих реакторов. В одном из вариантов конструкции сухого реактора обмотки выполняются в виде кабелей, обычно прямоугольного сечения для уменьшения габаритов и повышения механической прочности, с кремнеорганической изоляцией, намотанных на диэлектрический каркас.

Большинство генерирующих станций, электросетей, распределительных подстанций и промышленных предприятий сменили бетонные устаревшие модели на усовершенствованные токоограничивающие реакторы сухого типа. Применение новых европейских технологий позволило снизить массу реакторов и уменьшить их габариты.

Конструктивно реакторы представляют собой катушки с обмоткой из многожильного, иногда транспонированного, провода круглого сечения или из алюминиевой или медной ленты.

Для изоляции обмоток реактора применяется кремнийорганическая изоляция и изоляция из полиамидной пленки в сочетании со стеклянными нитями и клеем. Преимуществом применения кремнеорганической изоляции является большая термостойкость, устойчивость к электродинамическим нагрузкам, эластичность, герметичность, неизменность диэлектрических и механических свойств, при длительном времени эксплуатации. В другой конструкции реакторов провод обмотки изолируется полиамидной плёнкой, а затем двумя слоями стеклянных нитей с проклейкой и пропиткой их кремнеорганическим лаком и последующим запеканием, что соответствует классу нагревостойкости Н, с рабочей температурой до 180 °С.

В зависимости от места установки и особенностей распределительных устройств трехфазный комплект реактора может иметь вертикальное, ступенчатое и горизонтальное расположение фаз. При горизонтальной и ступенчатой установке фаз реакторов необходимо строго выдерживать, указанные в паспорте, минимальные расстояния между осями фаз, определяемые допустимыми горизонтально действующими усилиями при гарантированной электродинамической стойкости.

Угол между выводами обмотки фазы обычно составляет 0°; 90°; 180°; 270°, но также в настоящее время производители предоставляют возможность заказа изготовления выводов под любым углом.

Для обеспечения надежной и безопасной работы токоограничивающие реакторы проходят ряд испытаний.

Защитные экраны минимизируют циркуляцию петлевых токов и оптимизируют размеры реактора за счет лучшего охлаждения и более низкого темпа роста температуры. При использовании реактора с защитным экраном, стойкость при протекании тока короткого замыкания определяется для всей конструкции в целом.

Лидирующие производители сухих токоограничивающих реакторов используют для расчета системы автоматизированного проектирования (САПР), которые позволяют достичь максимальной точности расчетов за минимальное время. Данный подход позволяет получить наиболее подробную информацию о процессах протекающих в реакторе.

На сегодняшний день лидерами в направлении разработки и производства сухих токоограничивающих реакторов в России являются: группа «СвердловЭлектро», группа компаний «Трансформер», предприятие ООО «КПМ», Свердловский Завод Высоковольтного Оборудования «СЗВО».

УДК 621.3

ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ РЕАКТОРОВ

Дурдымырадов К.Г., Свитин М.В., Олипа А.С., Лапко Д.А.

Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

Автоматические выключатели, осуществляя отключение цепей при коротких замыканиях, не защищают эти цепи от разрушающего действия электродинамических сил. В современных мощных сетях токи короткого замыкания, а, следовательно, и электродинамические силы бывают настолько велики, что часто не представляется возможным выполнить установки с требуемой электродинамической и термической стойкостью. С целью ограничения ударного тока короткого замыкания (КЗ) в мощных сетях применяются токоограничивающие реакторы, которые устанавливаются на отходящих фидерах и между секциями сборных шин.

На напряжения до 35 кВ и для внутренней установки почти исключительное распространение получили бетонные реакторы. Благодаря своей эластичности провод демпфирует термические и динамические усилия и тем самым частично снимает напряжения с бетона. Обмотки реактора на большие токи выполняются из нескольких параллельных проводов с транспозицией этих параллелей, обеспечивающей равномерное распределение токов.

Шунтирующий реактор (ШР) – это статическое электромагнитное устройство, обладающее большой индуктивностью и очень малым активным сопротивлением. ШР применяют для повышения пропускной способности линий сверхвысокого напряжения, регулирования реактивной мощности и напряжения. Шунтирующие реакторы рассчитаны на напряжения 35–750 кВ и могут, как присоединяться к линии, так и включаться на шины подстанции.

Дугогасящие реакторы применяются для заземления нейтрали трехфазных сетей 6, 10, 35 кВ.

Из-за распределенной по линии электропередач или кабелю емкости, при ОЗЗ в месте повреждения изоляции возникает емкостной ток. Если он превышает 20 – 30 А, возникает электрическая дуга, горение которой разрушает изоляцию и проводник кабеля, что может приводить к переходу ОЗЗ в двух или трёхфазное замыкание и отключению линии релейной защитой. Таким образом, потребитель электроэнергии может временно лишиться электроснабжения.

Современные ДГР оснащаются цифровыми системами управления, возможности которых намного шире, чем только измерение емкости сети и регулировка индуктивности реактора. Это и сбор статистики замыканий, и телеметрия, и помощь персоналу в поиске поврежденных линий и многое другое.

В 1996 – 2000 гг. на Раменском электротехническом заводе «Энергия» было освоено серийное производство принципиально нового вида электротехнического оборудования – управляемых подмагничиванием дугогасящих реакторов серии РУОМ (реактор управляемый однофазный масляный) для сетей с изолированной нейтралью 6 – 35 кВ.

Плавное регулирование тока РУОМ в широком диапазоне обеспечивается насыщением участков магнитопровода, на которых расположены секции обмотки, с помощью встроенного теристорного преобразователя, угол открытия которого управляется регулятором САНК в соответствии с заданным текущим значением емкостного тока замыкания на землю. В режиме холостого хода при отсутствии управления амплитуда переменного потока не превышает индукции насыщения стали, и ток реактора составляет несколько процентов от номинального значения.

К настоящему времени в электрических сетях РФ и за рубежом эксплуатируются несколько десятков дугогасящих реакторов данного типа. Опыт эксплуатации показал, что они, по крайней мере, втрое уменьшают количество замыканий на землю и полностью

предотвращают их переход в короткие замыкания сети. По массе, габаритам и условиям эксплуатации реакторы типа РУОМ соизмеримы с известными дугогасящими реакторами электромеханического типа и могут устанавливаться вместо устаревших реакторов аналогичного назначения без изменений в строительной части проекта.

В настоящее время возрастают требования к надежности электроснабжения потребителей, и задачи по снижению удельных затрат на строительство новых ЛЭП. Таким образом, мы, рассмотрев основные виды современных дугогасящих, шунтирующих и токоограничивающих реакторов можем сделать вывод, что эти задачи успешно выполняются. В настоящий момент идет повсеместная замена устаревших бетонных токоограничивающих реакторов на сухие токоограничивающие реакторы и замена неуправляемых шунтирующих реакторов на управляемые что позволяет значительно повысить устойчивость энергосистем.

УДК 621.311.4

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДНИКАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ ПОДОБИЯ

Голотин И.А., Францевич Р.Г., Махнач Д.Н.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

Под электродинамической стойкостью гибких проводников электроустановок понимают их способность противостоять электродинамическому действию токов короткого замыкания (КЗ) до и после автоматического отключения цепи КЗ без повреждений. Согласно ПУЭ, наименьшим током, начиная с которого необходимо проверять гибкие шины РУ на схлестывание или опасное сближение, является ток трёхфазного КЗ в 20 кА.

Расчёт параметров электродинамической стойкости токоведущих конструкций с гибкими проводниками производится по разработанной на кафедре «Электрические станции» БНТУ компьютерной программе FLEBUS. В программе FLEBUS применена расчётная модель провода в виде гибкой упругой нити. Представление провода расчётной моделью с распределённой массой позволяет более точно выполнить расчёт электродинамического взаимодействия. Движение провода описывается нелинейными дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных с переменными коэффициентами. Решить нелинейные уравнения движения провода классическим методом не удаётся. Для этого использован численный метод, где производные представлены конечными разностями. Однако численные методы позволяют найти только частное решение задачи динамики провода при КЗ.

Для обобщения частных численных решений задачи динамики провода при КЗ его уравнения движения решены в безразмерной форме. В процессе преобразования уравнений движения к безразмерной форме выявлены сочетания и комбинации параметров, одинаковые для подобных решений задачи. В теории подобия их называют критериями подобия. Подобие механических систем включает в себя геометрическое, кинематическое и динамическое подобия, требующие параллельности и пропорциональности скоростей и сил в любых сходных точках системы. После приведения к безразмерной форме уравнения движения провода с учётом малой стрелы провеса в полёте принимают вид:

$$T_* \frac{d^2 y_*}{dx_*^2} + \pi_D = \frac{d^2 y_*}{dt_*^2}, \quad (1)$$

$$T_* \frac{d^2 z_*}{dx_*^2} + \pi_\Gamma = \frac{d^2 z_*}{dt_*^2}, \quad (2)$$

где $x_* = \frac{x}{l}$; $y_* = \frac{y}{f_0}$; $z_* = \frac{z}{f_0}$ – относительные декартовы координаты мгновенного положения провода;

T_* – кратность динамического тяжения относительно начального;

t_* – текущее время в относительных единицах;

π_D , π_Γ – соответственно динамический и геометрический критерии подобия.

Текущее время в относительных единицах можно найти по формуле:

$$t_* = \omega_c \cdot t, \quad (3)$$

где ω_c – собственная частота колебаний провода, c^{-1} .

Собственная частота колебаний провода с малой стрелой провеса определяется по формуле:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{T_0}{\rho_{\text{э}} \cdot l^2}}, \quad (4)$$

где T_0 – начальное тяжение провода, Н;

$\rho_{\text{э}}$ – приведённая масса одного метра провода, кг/м;

l – длина пролёта.

Одинаковые решения могут иметь системы с гибкими проводниками, имеющие одинаковые геометрический π_{Γ} и динамический $\pi_{\text{д}}$ критерии подобия.

Геометрический критерий подобия находится по выражению:

$$\pi_{\Gamma} = \frac{p_z \cdot l^2}{T_0 \cdot f_0}, \quad (5)$$

где p_z – нагрузка на гибкие проводники по оси z (вес провода, гололёд, вес натяжных гирлянд изоляторов);

f_0 – стрела провеса провода.

Критерий динамического подобия рассчитывается с использованием эквивалентных ЭДУ за время короткого замыкания.

$$\pi_{\text{д}} = \frac{f_{\text{э}}^{(2)} \cdot l^2}{T_0 \cdot f_0}, \quad (6)$$

где $f_{\text{э}}^{(2)}$ – эквивалентная ЭДУ при двухфазном КЗ, даН/м.

Эквивалентная ЭДУ рассчитывается по формуле:

$$f_{\text{э}}^{(2)} = 0,2 \frac{(I_{\text{п},0}^{(2)})^2}{a}, \quad (7)$$

где $I_{\text{п},0}^{(2)}$ – периодическая составляющая тока двухфазного КЗ, кА;

a – междуфазное расстояние, м.

Начальное тяжение провода определяется из выражения:

$$T_0 = \frac{P_{\text{э}} \cdot l^2}{8 \cdot f_0}, \quad (8)$$

где $P_{\text{э}}$ – приведённый вес одного метра провода, даН/м.

Если подставить значение T_0 в (6), то можно получить более простой критерий динамического подобия:

$$\pi_{\text{д}} = 8 \cdot \frac{f_{\text{э}}^{(2)}}{P_{\text{э}}}, \quad (9)$$

Приведённый вес провода – это вес провода с учётом натяжных гирлянд изоляторов и спусков к аппаратам. Он находится по формуле:

$$P_{\text{э}} = P_0 \cdot c, \quad (10)$$

где P_0 – вес одного метра провода, даН/м;

c – коэффициент нагрузки пролёта.

В результате выполнения работы получены графические зависимости, обобщающие частные численные решения дифференциальных уравнений движения провода. С их помощью можно без использования компьютерной программы быстро определить максимальное отклонение провода от положения равновесия, зная лишь начальное тяжение фазы, стрелу провеса, удельный вес провода, междуфазное расстояние и ток КЗ.

УДК 621.3

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Дроздов А.А., Карпович В.П., Гавриелок Ю.В.
Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

Асинхронизированные машины – новый класс электрических машин, обладающих рядом преимуществ по сравнению с традиционными синхронными машинами, благодаря чему обеспечивается более надежная, устойчивая и экономичная работа электроэнергетической системы в целом.

Основной отличительной особенностью асинхронизированных машин от обычных синхронных машин является наличие двух–трех обмоток возбуждения.

Для нормализации уровней напряжения из-за перетоков реактивной мощности между сетями различных классов напряжений персонал электростанций, работающих на шины 110–500 кВ, вынужден переводить турбогенераторы в режимы потребления реактивной энергии. Это позволяет несколько снизить уровни напряжения, но со временем приводит к ускоренному износу этих турбогенераторов, а в ряде случаев и к аварийным отключениям из-за разрушения торцевых зон статоров, т. к. синхронные турбогенераторы не рассчитаны на эти режимы. В некоторой степени проблема регулирования перетоков реактивной мощности может быть решена за счет применения асинхронизированных турбогенераторов.

Классический асинхронизированный турбогенератор имеет на роторе, в отличие от синхронных, две одинаковые обмотки возбуждения, расположенные под углом 90° относительно друг друга. Каждая из обмоток возбуждения подключена к управляемым реверсивным тиристорным возбудителям. Последние питаются от согласующего трансформатора (схема самовозбуждения) или от вращающегося возбудительного генератора. В цепи каждой обмотки имеются устройства защиты от перенапряжений, устройства замыкания обмоток ротора накоротко или на дополнительные симметрирующие сопротивления, автоматы гашения поля. Управление возбуждением осуществляется с помощью автоматического регулирования возбуждения, получающего информационные сигналы от датчиков: углового положения ротора, токов и напряжений.

Система управления асинхронизированными турбогенераторами реализует принципиальное свойство асинхронизированных машин – независимость регулирования электромагнитного момента и напряжения. Регулирование напряжения может осуществляться эффективно во всех режимах генератора по активной нагрузке и реактивной мощности и не влияет на общую устойчивость генератора.

Структура двух обмоток возбуждений с несовпадающими осями и наличие реверсивных возбудителей у каждой обмотки дает возможность в переходных режимах оптимально ориентировать магнитодвижущую силу генератора с целью создания максимального тормозящего электромагнитного момента.

Результаты исследований асинхронизированных турбогенераторов показали, что уровень их динамических ограничений мало зависит от режима по РМ и выше, чем у синхронных аналогов, которые в режимах потребления РМ требуют глубокого снижения нагрузки. При механических возмущениях наличие в группе АСТГ оказывает положительное влияние на динамические процессы параллельно работающих синхронных турбогенераторов, а в случае работы в группе только асинхронизированных турбогенераторов самораскачивание отсутствует, переходные процессы затухают очень быстро.

Уровень динамических ограничений асинхронизированных турбогенераторов мало зависит от режима по реактивной мощности и выше, чем у синхронных аналогов, которые в режимах потребления реактивной мощности требуют глубокого снижения нагрузки.

Применение асинхронизированных турбогенераторов позволяет повысить КПД электростанции. Асинхронизированный турбогенератор имеет наибольший КПД в режиме потребления реактивной мощности, в то время как максимальный КПД синхронного генератора соответствует выдаче реактивной мощности.

Синхронный компенсатор представляет собой ненагруженный синхронный электродвигатель с широким диапазоном регулирования тока возбуждения. По сравнению с обычным синхронным двигателем СК изготавливаются с облегченным валом, они имеют меньшие размеры и массу.

Если ток возбуждения уменьшать (режим недовозбуждения), то в токе, потребляемом синхронным компенсатором от сборных шин подстанции, появится и будет увеличиваться индуктивная составляющая, что соответствует потреблению из сети реактивной мощности, при этом возрастают потери в сети. В режиме перевозбуждения ток возбуждения превышает ток холостого хода, синхронный компенсатор потребляет из сети опережающий ток, что соответствует выдаче реактивной мощности.

Передача реактивной мощности потребителям от генераторов электростанций сопряжена с потерями энергии в линиях электропередачи, трансформаторах и распределительных сетях. Поэтому считается выгодным снижение реактивной мощности, получаемой от электростанций, и выработка ее вблизи потребителей. Это позволяет уменьшить потери энергии и напряжения в сетях, увеличить пропускную способность линий электропередачи и одновременно повысить уровни напряжений на шинах приемных подстанций. Таким образом, синхронные компенсаторы являются экономичным регулируемым источником реактивной мощности в электрических системах.

По отношению к сети синхронный компенсатор ведет себя в зависимости от значения тока возбуждения как индуктивность или емкость, выполняя соответственно роль потребителя или источника реактивной мощности.

В настоящее время внедрена тиристорная система возбуждения. Широкое применение нашла система бесщеточного возбуждения. В нормальных условиях работы регулирование возбуждения СК производится автоматически, однако возможно и ручное регулирование. При пуске синхронного компенсатора напряжение на трансформатор, преобразователь и систему управления тиристорами подается одновременно с включением пускового выключателя. Управляющие импульсы на тиристоры подаются после включения рабочего выключателя. В момент включения рабочего выключателя ток возбуждения равен нулю. Автоматическое регулирование возбуждения включается лишь после автоматической подстройки его уставки к напряжению на шинах синхронного компенсатора, т.е. через несколько секунд после включения рабочего выключателя. Установленный режим работы синхронного компенсатора может самопроизвольно изменяться в результате изменения по тем или иным причинам внешнего напряжения, а также при коротких замыканиях в сети. В последнем случае необходима автоматическая форсировка возбуждения, чтобы поддержать устойчивость параллельной работы электростанций и уменьшить колебания напряжения у потребителей. В нормальных условиях работы регулирование возбуждения синхронного компенсатора производится автоматически, однако возможно и ручное регулирование. Система бесщеточного возбуждения снабжена защитой от внутренних коротких замыканий в цепях ротора и защитой тиристорного преобразователя от сверхтока. При неисправности в системе возбуждения сигналы передаются на щит управления.

Нормальная работа синхронного компенсатора возможна при отводе тепла охлаждающей средой – воздухом или водородом. Применяемая в синхронных компенсаторах система охлаждения называется косвенной (или поверхностной), потому что тепло передается охлаждающему газу внешней поверхностью активных частей машины.

На случай внезапного повреждения водородной системы и загорания струи водорода около синхронного компенсатора должен всегда находиться баллон с диоксидом углерода и шланги, позволяющие ликвидировать загорание на любом участке водородной системы.

УДК 621.311.4

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСИЛИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

Бабаханов А.М., Джуманазаров К.Ч., Шпаковский А.А., Баран А.Г.
Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

При нормальных эксплуатационных условиях электродинамические силы, как правило, малы и не вызывают каких-либо деформаций, а тем более поломок деталей в аппаратах. Однако при коротких замыканиях эти силы достигают весьма больших значений и могут вызвать деформацию или разрушение не только отдельных деталей, но и всего аппарата. Это обстоятельство требует проведения расчета аппарата (или отдельных его узлов) на электродинамическую устойчивость, т. е. на способность выдержать без повреждений прохождение наибольшего возможного в эксплуатационных условиях (или заданного) тока короткого замыкания. Такой расчет тем более необходим ввиду того, что с целью получения минимальных габаритов в аппаратах стремятся располагать токоведущие части как можно ближе друг к другу.

Для расчета электродинамических усилий (ЭДУ) используется два способа. Первый заключается в рассмотрении силы как результата взаимодействия проводника с током и магнитного поля.

Этот способ применяется, когда индукцию в любой точке проводника можно найти аналитически, используя закон Био – Савара – Лапласа.

Второй способ основан на использовании энергетического баланса системы проводников с током. Электростатическая энергия системы не учитывается. При этом принимается, что независимо от перемещения или деформации токоведущих контуров под действием сил ЭДУ токи в них неизменны

Однако при коротких замыканиях эти силы достигают весьма больших значений и могут вызвать деформацию или разрушение не только отдельных деталей, но и всего аппарата. Это обстоятельство требует проведения расчета аппарата (или отдельных его узлов) на электродинамическую устойчивость, т. е. на способность выдержать без повреждений прохождение наибольшего возможного в эксплуатационных условиях (или заданного) тока короткого замыкания. Такой расчет тем более необходим ввиду того, что с целью получения минимальных габаритов в аппаратах стремятся располагать токоведущие части как можно ближе друг к другу. Так как переменный ток при отсутствии апериодической составляющей отличается от постоянного изменением силы тока и направлением изменяющихся по синусоидальному закону, то и электродинамическая сила будет иметь переменное значение.

Наибольшая величина этих электродинамических усилий определяется максимальным возможным током короткого замыкания, т. е. ударным током короткого замыкания i_y . Поэтому начальный момент короткого замыкания ($t = 0,01$ с) является наиболее опасным с точки зрения величины динамических усилий.

При прохождении через выключатель сквозного тока короткого замыкания или при включении на существующее в сети короткое замыкание отдельные его части – вводы, токоведущие стержни, траверсы, штанги и др., а также соответствующие шины и ошиновка – подвергаются внезапной механической нагрузке, носящей характер удара.

В современных мощных электрических системах при напряжениях 6 – 20 кВ ударные токи короткого замыкания могут достигать значений до 200 – 300 кА и более, а электродинамические усилия при этом достигают нескольких тонн на один пролет сборных шин (или шинопроводов) длиной 1 – 1,5 м.

В таких условиях недостаточная механическая прочность того или иного элемента электрического оборудования может послужить причиной дальнейшего развития аварии и вызвать серьезные разрушения в распределительном устройстве. Поэтому для надежной

работы всякой электрической установки все ее элементы должны обладать электродинамической устойчивостью (надлежащей механической прочностью), т. е. противостоять воздействиям при коротких замыканиях.

При определении электродинамических усилий по приведенной выше формуле исходят из условия, что ток протекает по оси круглых проводников, диаметр которых не оказывает влияния на величину усилий. Следует заметить, что размеры и форма сечения проводников при больших расстояниях между ними не оказывают сколько-нибудь заметного влияния на величину электродинамических усилий.

Если же проводники имеют форму прямоугольных полос и расположены на небольшом расстоянии друг от друга, когда расстояние в свету меньше периметра полосы, то размеры их сечения могут оказать существенное влияние на электродинамические усилия. Это влияние поперечных размеров проводника при расчетах учитывается при помощи коэффициента формы.

УДК 621.3

АНАЛИЗ БЕСЩЕТОЧНЫХ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ И СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Францевич Р.Г., Карпович В.П., Гавриелок Ю.В.

Система возбуждения предназначена для питания обмотки возбуждения синхронной машины постоянным током и соответствующего регулирования тока возбуждения.

Системы возбуждения относятся к числу наиболее ответственных элементов генератора. Несмотря на то, что относительная мощность возбудителей невелика и составляет всего 0,4 – 0,6 % мощности генераторов, их характеристики существенно влияют как на устойчивость работы генераторов, так и на устойчивость двигательной нагрузки собственных нужд электростанции. Последнее очень существенно для обеспечения устойчивости технологического режима мощных блочных станций.

Развитие электроэнергетики сопровождается ростом единичных мощностей турбогенераторов, а соответственно, и мощностей их возбудительных систем. В результате этого тока возбуждения получаются очень большими, и проблема обеспечения надежной работы щеточно-контактного аппарата становится все более сложной. Радикальным способом решения этой проблемы является применение бесщеточных возбудителей.

Целью данной работы является анализ бесщеточных, в том числе бесщеточных фототиристорных систем возбуждения, а также изучение способов передачи импульсов управления тиристорами на вращающиеся элементы.

Источником энергии для питания обмотки возбуждения генератора является вспомогательный синхронный генератор обращенного исполнения, у которого якорная обмотка вращается, а индукторная неподвижна. Возбуждение вспомогательного генератора осуществляется от возбудителя.

Ток от вращающейся обмотки переменного тока вспомогательного генератора подводится через проводники, закрепленные на валу, к вращающемуся полупроводниковому выпрямителю, обычно кремниевому. Выпрямленный ток подводится непосредственно к обмотке возбуждения основного генератора.

Регулирование тока возбуждения в обмотке ротора производится изменением тока в обмотке возбуждения вспомогательного генератора.

Системы бесщеточные диодные предназначены для питания обмоток возбуждения турбогенераторов выпрямленным регулируемым током. Бесщеточный возбудитель представляет собой синхронный генератор обращенного типа, якорь которого с обмоткой переменного тока и диодным выпрямителем жестко соединен с ротором турбогенератора. Обмотка возбуждения возбудителя расположена на статоре возбудителя.

В синхронных компенсаторах мощностью 50–160 МВ·А возбуждение бесщеточное, с применением реверсивной системы, с двумя обмотками на роторе. Основная обмотка служит для положительного возбуждения, а дополнительная обмотка создает встречный поток. Магнитодвижущая сила дополнительной обмотки составляет около 15 % магнитодвижущей силы основной обмотки. К основной обмотке ротора подключен диодный бесщеточный возбудитель положительного возбуждения, к дополнительной обмотке – возбудитель отрицательного возбуждения меньшей мощности. Возбудители выполнены герметично закрытыми. Они установлены с обеих сторон компенсатора. Якоря обращенных генераторов и блоки выпрямителей расположены на валу компенсатора.

Вращающийся выпрямитель выполняется в виде двух вентильных цепей. Платы, на которых крепятся вентили, имеют сварную конструкцию и омедненные контактные поверхности в местах крепления диодов.

Возбуждение компенсатора регулируется при помощи АРВ. В шкафах АРВ размещены тиристорный преобразователь, электронная система управления, устройства защиты и магнитные усилители. Напряжение возбуждения возбудителя регулируется изменением фазы

импульсов, отпирающих тиристоры, относительно анодного напряжения. Фаза управляющих импульсов может изменяться автоматически и вручную. Основным режим регулирования автоматический. В случае неисправности АРВ переходят на ручное управление.

Устройство управления фототиристорами вращающегося выпрямителя содержит связанные с валом фотоприемники и связанные со статором излучающие сигнальные элементы, выполненные в виде излучателей. Число приемных окон световодов равно числу плеч выпрямителя. Число излучателей равно числу пар полюсов P возбудителя и расположены они с возможностью оптического контакта с приемными окнами световодов через воздушный зазор.

Устройство синхронизации выполнено в виде датчика, число связанных со статором чувствительных элементов которого равно числу излучателей, а число связанных с валом сигнальных элементов равно числу фотоприемников. Сигнальные элементы расположены равномерно. Излучатели и чувствительные элементы размещены в обоймах, укрепленных с возможностью поворота в пределах двойного полюсного деления возбудителя.

Действие устройства синхронизации заключается в том, что при вращении вала в чувствительных элементах при поочередном прохождении мимо них сигнальных элементов за каждый оборот вырабатываются серии импульсов синхронизации с последующей паузой, причем количество импульсов в серии равно числу сигнальных элементов, которое соответствует числу плеч вращающегося фототиристорного выпрямителя. Порядок следования импульсов в серии повторяет порядок прохождения сигнальных элементов мимо чувствительных, а интервалы между импульсами синхронизации соседних чувствительных элементов соответствуют принимаемым условиям, в зависимости от частоты тока и циклической частоты вращения вала.

Устройство бесконтактного контроля бесщеточного возбудителя содержит электронную аппаратуру, регистрирующую по отсутствию тока в шинах вышедшие из строя вентили, расположенную вне возбудителя, и электромагнитные датчики тока, расположенные на неподвижной части возбудителя вблизи шин переменного тока. Электромагнитные датчики тока помещены в открытые пазы шихтованного сердечника на валу возбудителя и соединяют фазные ветви обмотки якоря с мостовым выпрямителем, в плечах которого последовательно анодным и катодным вентилям включены предохранители.

Также известно устройство бесконтактного контроля бесщеточного возбудителя с мостовым выключателем, а не с мостовым выпрямителем.

В этом устройстве бесконтактного контроля количество импульсов ЭДС, наведенных в электромагнитных датчиках тока, соответствует числу и взаиморасположению шин переменного тока только при токах, составляющих 5 – 8 % номинального значения тока возбудителя.

Повышение эксплуатационной надежности достигается тем, что шины переменного тока выполнены с прямоугольным поперечным сечением и обращены своей узкой гранью в сторону рабочей поверхности электромагнитных датчиков тока.

При вращении якоря возбудителя формирование импульса наведенной ЭДС в обмотке электромагнитного датчика тока происходит в узкой угловой зоне, соответствующей высокой концентрации магнитного поля около узкой грани шины переменного тока.

Устройство бесконтактного контроля применяется, как правило, в бесщеточных системах возбуждения мощных турбогенераторов, поэтому обеспечение высокой надежности его срабатывания позволяет предотвратить отключение средствами защиты всего энергетического блока по причине ложных срабатываний устройства и тем самым исключить большие потери в выработке электроэнергии из-за простоя оборудования и избежать большого экономического ущерба.

Применение бесщеточных возбудителей обусловлено благодаря их главному достоинству – отсутствию скользящего контакта в цепи обмотки ротора турбогенератора. Системы бесщеточного возбуждения интенсивно совершенствуются и являются перспективными, особенно для турбогенераторов большой мощности – 300–1200 МВт.

УДК 621.316

СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ЦИФРОВЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ БРОСКОВ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ

Беседа А.С., Гавриелок Ю.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Дифференциальная защита является защитой с абсолютной селективностью, действующей без выдержки времени, и применяется для организации защиты электрических машин, силовых трансформаторов, сборных шин и присоединений всех уровней напряжения.

Дифференциальная защита вычисляет сумму всех токов, втекающих и вытекающих из защищаемой зоны. Пренебрегая токами намагничивания и емкостными токами, можно сказать, что указанная сумма всегда будет равна нулю (согласно закону Кирхгофа), если защищаемый объект не поврежден. Внутренние повреждения обнаруживаются за счет того, что появляется дифференциальный ток.

Используются три способа отстройки от токов намагничивания.

Первый из них заключается в применении быстросыщающихся промежуточных ТТ (НТТ), через которые включаются дифференциальные реле тока. НТТ не пропускает апериодическую составляющую тока, составляющего значительную часть тока намагничивания, и позволяет, таким образом, надежно отстроить дифференциальные реле от периодической составляющей намагничивающих токов.

Второй способ, примененный в реле типа ДЗТ-21, основан на использовании различия времени Δt бестоковых пауз в дифференциальном реле при броске тока намагничивания трансформатора и при токе КЗ для блокирования действия реле в сочетании с торможением второй гармонической составляющей тока намагничивания (отсутствующей в кривой тока КЗ).

Третий способ состоит в отстройке тока срабатывания реле от тока намагничивания по величине. Такой способ используется в дифференциальной отсечке, но он может применяться только при токе КЗ, превышающем бросок намагничивания.

Дифференциальная защита трансформатора обладает рядом дополнительных функций (функцией выравнивания коэффициентов трансформации, учета фазового сдвига группы соединения обмоток силового трансформатора, функцией торможения при бросках тока намагничивания и в случае перевозбуждения) и, тем самым, при расчете уставок и конфигурировании защиты требуется учет некоторых основных положений.

При включении силового трансформатора под напряжение имеет место одностороннее его перевозбуждение в связи с наличием остаточного магнитного потока, что вызывает значительное увеличение тока (БНТ).

Магнитный поток не уменьшается до нуля, когда силовой трансформатор отключается от сети, а остается на некотором уровне Φ_{Rem} , который может превышать 80 % номинальной магнитной индукции. Когда вновь производится включение силового трансформатора под напряжение, магнитный поток начинает увеличиваться именно с точки, соответствующей уровню остаточного магнитного потока. В зависимости от фазы напряжения в момент включения трансформатора под напряжение, может произойти смещение магнитного потока. Большие значения магнитного потока диапазона насыщения обуславливают большой ток намагничивания и характерные периодические его броски. Форма кривой БНТ соответствует полуволнам выпрямленного периодического тока, который затухает с большой постоянной времени.

Бросок тока намагничивания особенно значителен, когда магнитопровод из холоднокатанной стали с номинальной индукцией (1,6 – 1,8 Тл) работает в условиях близких к индукции насыщения (приблизительно 2 Тл). В трехфазных силовых трансформаторах будет характерен трехфазный БНТ, который зависит от группы соединения обмоток силового

трансформатора и способа заземления нейтрали трансформатора. В общем случае, две фазы войдут в насыщение и будут характерны значительные токи намагничивания.

На двух трансформаторных подстанциях (где два силовых трансформатора соединены в параллель) при включении под напряжение одного трансформатора происходит ложное срабатывание дифференциальной защиты трансформатора, находящегося в работе. Причиной тому является индуцированный БНТ, который возникает из-за включения под напряжения одного из трансформаторов.

Бросок тока намагничивания втекает в защищаемый объект с одной стороны при этом защита воспринимает его как внутреннее КЗ. Дифференциальная защита трансформатора не должна срабатывать в подобной ситуации. Факт большого содержания второй гармоники в БНТ уже использовался для торможения при реализации защиты на традиционной элементной базе. Вторая гармоника отфильтровывается из дифференциального тока (рабочего тока), а затем используется в качестве дополнительной величины торможения. При содержании второй гармоники в дифференциальном токе приблизительно в 15 % (по отношению к основной) характерным являлось значительное дополнительное торможение для предотвращения ложного срабатывания защиты. Другие производители осуществляли сравнение токов основной гармоники и второй гармоники непосредственно при помощи отдельной дифференциальной цепи, которая затем осуществляла блокирование защиты, что и реализуется программным образом в современных цифровых устройствах защиты.

Наличие гармоник низшего порядка может выступать критерием, разрешающим срабатывание защиты, а содержание гармоник высшего порядка, наоборот, являться критерием проявления БНТ и использоваться для блокировки действия защиты.

Наиболее простой подход – использование амплитуды тока второй гармоники в дифференциальном токе по данной фазе в качестве сигнала комбинированного гармонического тока и амплитуды основной гармоники в дифференциальном токе по той же фазе в качестве комбинированного дифференциального тока.

Другой способ – использовать в качестве комбинированного дифференциального тока действующее значение.

Существует два метода отстройки на основе оценки кривой тока.

Первый и наиболее распространенный способ использует в качестве критерия идентификации БНТ значение пауз между импульсами тока. Второй способ производит оценку знака максимального значения тока и скорости затухания БНТ.

Также существует ряд иных способов, основанных на оценке параметров математической модели. Производится вычисление либо определенных параметров модели на основе информации об измеренных величинах, либо производится вычисление ряда величин на выводах трансформатора, а затем их сравнение с измеренными величинами.

Метод вычисления и оценки значения дифференциальной мощности.

Осуществляется вычисление и контроль значения дифференциальной мощности. Сигналом, оценка которого производится, здесь является разность между значениями мгновенных мощностей на выводах трансформатора. При применении данного метода необходимо измерение токов и напряжений со всех сторон трансформатора, однако не требуется выполнение учета группы соединения его обмоток и отличия коэффициентов трансформации, используемых защитой ТТ. Надежность идентификации БНТ может быть повышена путем компенсации активных потерь в трансформаторе, как в меди, так и в стали.

Метод вычисления и оценки значения магнитной индукции.

При использовании данного алгоритма отличие режима внутреннего КЗ от режимов БНТ и перевозбуждения производится на основе вычисления магнитной индукции в сердечнике. Преимуществом данного способа является то, что в нем оказываются взаимосвязаны проблема, вызывающая БНТ (насыщение сердечника трансформатора), и параметр, используемый для его идентификации (магнитная индукция сердечника).

УДК 621.316

ПРОГРАММА РАСЧЕТА САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Новак А.В., Баран А.Г., Башаркевич Я.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Новаш И.В.

Натурные испытания по самозапуску электродвигателей на станциях очень опасны, потому как нельзя предусмотреть и предугадать всевозможные режимы и результаты, капиталозатратны и не могут охватить все реальные ситуации по условиям самозапуска электродвигателей. Кроме того, натурные испытания снижают надежность работы самих электрических станций. По этой причине на кафедре «Электрических станций» была разработана программа самозапуска электродвигателей станции.

Программа расчета самозапуска электродвигателей станции предназначена для расчета самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ собственных нужд ТЭЦ и КЭС. Программа состоит из нескольких частей: базы данных, расчета (непосредственно сама программа) и результатов расчета. Программа позволяет рассчитать исходный установившийся режим, режим короткого замыкания, групповой выбег электродвигателей в бестоковую паузу и групповой самозапуск электродвигателей после восстановления напряжения. Ручной счет таких сложных процессов занимает очень большой промежуток времени. Программа значительно уменьшает затраты умственного и физического труда. В программе очень хорошо отражены параметры элементов. Их многообразие позволяет быстро и качественно менять режимы работы станции. В программе сделаны некоторые учеты и допущения. Очень удобно выдаются результаты расчетов – с помощью масштабной сетки от функции времени. Программа может работать не только в DOS, но и в современных программных обеспечениях, таких как Windows XP, потому что разработана на базе алгоритмических языков Паскаль и Фортран.

Программа представляет собой комплекс, включающий в себя программу-диспетчер и отдельные программные блоки, позволяющие выполнять операции с базой данных, расчет самозапуска электродвигателей и отображение результатов расчета.

Результаты расчета самозапуска электродвигателей представляются в виде графиков изменения напряжения и тока секции (секций), скоростей вращения электродвигателей в процессе самозапуска. Исходные данные для каждого конкретного расчета формируются в виде таблиц, содержащих условия расчета и необходимые пояснения.

Горизонтальное меню содержит следующие возможные режимы работы компьютерной программы:

- инструкция;
- корректировка данных;
- расчет;
- условия расчета;
- выход.

В режиме «Инструкция» выполняется просмотр настоящей инструкции.

В режиме «Корректировка данных» выполняются операции с базой данных.

В режиме «Расчет» выполняется расчет самозапуска выбранной секции РУ СН.

В режиме «Условия расчета» производится просмотр на видеомониторе исходных данных последнего выполненного расчета самозапуска электродвигателей.

Режим «Выход» обеспечивает прекращение работы программы.

Программный комплекс построен таким образом, что позволяет создавать новую базу данных или редактировать существующую базу данных.

База данных, необходимых для выполнения расчетов самозапуска электродвигателей, содержит информацию об элементах схемы СН, каталог двигателей 6 кВ и каталог

механизмов СН. Вся исходная информация об элементах схемы СН в зависимости от их объема и вида выделена в следующие группы:

- секции 6 кВ;
- присоединения к секциям, под которыми понимаются электродвигатели 6 кВ и механизмы СН;
- основные и резервные ТСН, питающие секции 6 кВ;
- реакторы, питающие секции 6 кВ;
- сопротивления связей, под которыми понимается сопротивления токопроводов между секциями 6 кВ и основными и резервными источниками питания;
- сопротивления (мощности) КЗ на стороне высшего напряжения основных и резервных ТСН, которые характеризуют режим питающих систем.

В программе предусмотрены следующие операции с базой данных:

- добавление и удаление данных о новых элементах схемы СН ТЭЦ и описаний двигателей и механизмов в каталоги электродвигателей и механизмов;
- корректировка (изменение) имеющихся исходных данных об элементах схемы СН и описаний двигателей и механизмов в каталогах электродвигателей и механизмов;
- просмотр на экране видеомонитора исходных данных об элементах схемы СН и описаний двигателей и механизмов;
- вставка данных о новых элементах схемы СН ТЭЦ и описаний двигателей и механизмов в каталоги электродвигателей и механизмов;
- сортировка каталогов электродвигателей и механизмов.

Выполнение расчетов осуществляется при реализации режима «Расчет» горизонтального меню. В этом случае на экране видеомонитора появляется вертикальное меню с номерами секций РУ напряжением 6 кВ. Задание расчета самозапуска электродвигателей какой-либо секции выполняется путем выбора номера этой секции в вертикальном меню.

В процессе расчета результаты расчета выдаются на экран монитора в графическом отображении. При этом на экран видеомонитора выводится масштабная сетка для отображения контролируемых параметров процесса самозапуска электродвигателей в функции времени. В верхней части масштабной сетки в процессе расчета выдаются сообщения о рассчитываемом в настоящий момент виде режима (исходный режим, короткое замыкание, групповой выбег, самозапуск электродвигателей). По окончании расчета в верхней части масштабной сетки появляется сообщение, в котором показываются номера секций и дата выполнения расчета.

Проведенные расчеты позволяют в доступной и удобной форме отображать результаты расчета и документально фиксировать. Поэтому программа расчета самозапуска электродвигателей станции может быть использована как на стадии проектирования электрических станций, так и для оперативных расчетов персоналом на действующих электрических станциях.

УДК 621.313(075.8)

ГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Балухо А.Д., Середа Ю.Д., Дударев А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мазуркевич В.Н.

Генераторными выключателями обычно называются выключатели на номинальный ток 3150А и более и на напряжение 10 – 36 кВ. Они предназначены для оперативной и аварийной коммутации нагрузочных токов и токов короткого замыкания (КЗ) в трехфазных цепях переменного тока на генераторном напряжении. Проблема применения генераторных выключателей на электростанциях весьма сложна. На ранней стадии развития энергетики генераторы электростанций соединялись с повышающими и без выключателей. Вырабатываемая генераторами электроэнергия выдавалась через повышающий трансформатор в сеть 110 или 220 кВ. Такой принцип использовался примерно до второй половины 60-х годов. К концу 60-ых, началу 70-ых годов мощность турбогенераторов возросла до 500 МВт и более. Вырабатываемая этими генераторами энергия стала выдаваться в сети с напряжением 330 – 500 кВ. Для облегчения эксплуатационного разграничения функций производства (машинный агрегат) и передачи (подстанция) энергии, а также получения существенного технико-экономического эффекта появилась целесообразность применения генераторных выключателей. По этим же причинам при реконструкции электростанций, работавших ранее без них, предусматривается установка этих выключателей.

Одна из основных причин установки таких выключателей – улучшенная защита, которую он обеспечивает как для генератора, так и для повышающего трансформатора от повреждений токами короткого замыкания, токами разбаланса нагрузки и несогласования фаз.

Современный генераторный выключатель должен выполнять множество различных функций, к которым относятся: синхронизация генератора с основной энергетической системой; отделение генератора от энергетической системы; отключение токов нагрузки (с величиной, достигающей до уровня тока полной нагрузки генератора); отключение тока короткого замыкания, независимо от того, произошло оно на стороне энергосистемы или на стороне генератора; прерывание тока при выходе из синхронизма (при сдвигах по фазе до 180°).

К характеристикам генераторных выключателей, предназначенных для работы в эксплуатации, предъявляются более высокие требования, чем к силовым выключателям на средние классы напряжения.

Одним из основных параметров, определяющих выбор выключателя, является номинальный ток отключения. Как правило, при выборе выключателя принимается условие отключение максимального тока КЗ, протекающего через выключатель.

Однако, установка выключателя между генератором и повышающим трансформатором тем не менее оказывает влияние на тип и величину возникающих перенапряжений, инициированных выключателем в течение операций коммутации и в отключенном состоянии, например, из-за воздействия молнии, быстрого срабатывания разъединителя, токов намагничивания.

С помощью установки генераторных выключателей в цепях генераторов достигается существенное повышение надежности эксплуатации, так как при аварийных отключениях генератора обеспечивается непрерывность питания системы собственных нужд 6 – 10 кВ. Без генераторных выключателей любое отключение генератора, в том числе и по режимным условиям, должно сопровождаться переключением трансформатора собственных нужд с рабочего на резервный. Это существенно снижает надежность работы энергоблоков и электростанции в целом.

Кроме того при установке генераторных выключателей сокращается время протекания токов КЗ в трансформаторе и соответственно объемы повреждения.

В результате генераторные выключатели являются идеальным решением для того, чтобы повысить надежность и упростить работу электростанции.

УДК 621.313.322

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЕСТИФАЗНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ 1200 МВТ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Ивченко А.С., Малиновский П.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Мазуркевич В.Н.

С учетом перспектив развития энергетики "Силовыми машинами" разработана и освоена в производстве серия мощных турбогенераторов с полным водяным охлаждением обмоток статора, ротора и активной стали сердечника статора типа ТЗВ (три воды), не имеющая мировых аналогов. Они обладают повышенной взрывобезопасностью и пожаробезопасностью, повышенной надежностью; высокой маневренностью и перегрузочной способностью вследствие низких уровней нагрева и вибрации, отсутствием масляных уплотнений вала, вентиляторов и встроенных в статор газоохладителей.

Основные особенности конструкции: наличие самонапорной системы охлаждения ротора, в которой отсутствуют гидравлические связи обмоток ротора с валом; наличие полной демпферной системы ротора; применение плоских силуминовых охладителей в виде сегментов с залитыми в них змеевиками из нержавеющей стальной трубки, устанавливаемых между пакетами для охлаждения активной стали сердечника статора. Высокая надежность обеспечена: мероприятиями, исключаящими кавитацию и эрозию стенок полых проводников обмоток статора и ротора; повышенной усталостной прочностью ротора; низким уровнем поперечных колебаний ротора и подшипников; креплением пазовой части обмотки статора с помощью встречных клиньев и упругих прокладок; специально разработанной конструкцией крепления лобовых частей обмотки статора; улучшенной спрессовкой сердечника статора ввиду отсутствия вентиляционных распорок между пакетами.

В турбогенераторе обмотки статора и ротора охлаждаются непосредственно водой, протекающей по каналам трубчатых медных проводников. Активная сталь сердечника статора охлаждается охладителями из силумина, запрессованными между пакетами. Сталь ротора и воздух, заполняющий генератор, охлаждаются в основном водоохлаждаемой демпферной обмоткой ротора. Контуры водяного охлаждения статора и ротора выполнены раздельными. Статорный контур выполнен герметичным, изолированным от атмосферы, с подушкой инертного газа (азота) над поверхностью дистиллята в подпиточном баке и сливных камерах. Контур включает в себя обмотку статора, сталь статора, экраны ребер и нажимных колец.

Роторная система – открытая, связанная через газ, заполняющий машину с системой осушки. Контур включает в себя обмотки возбуждения и демпферную. В каждом контуре предусмотрены насосы – рабочий и резервный, теплообменники, фильтры механические, магнитные, подпиточный бак (слив из стали – свободный, слив из обмотки – затопленный) и ионообменный фильтр для непрерывной очистки дистиллята. Для уменьшения коррозии медных проводников систем охлаждения предусматривается ввод в оба контура ингибиторов коррозии – соответственно для контуров статора и ротора.

В комплект поставки турбогенератора входят: статор обмотанный с рым-лапами; ротор в сборе; концевые части со щитами, уплотнениями, камерами сливными и напорными, крышками; трансформаторы тока и напряжения, устанавливаемые в коробках нулевых выводов; гибкие связи для соединения линейных выводов турбогенератора с токопроводами; подшипники в сборе; фундаментные плиты; бесщеточный возбудитель с шумозащитным кожухом; аппаратура системы возбуждения; система водяного охлаждения; система вентиляции; оборудование для технологического контроля состояния турбогенератора.

Такие турбогенераторы установлены на Костромской ГРЭС, Нововоронежской АЭС, Ленинградской АЭС и Ленинградской АЭС-2. Шестифазные генераторы 1200 будут ставиться на всех АЭС проекта «АЭС-2006».

МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Хомич В.В., Сивый А.И., Бобрик Е.В., Ермола Д.С.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Силюк С.М.

Вопросы регулирования напряжения в распределительных сетях занимают сейчас важное место в комплексе вопросов технической эксплуатации энергосистем и сетей потребителей. Многочисленные исследования подтверждают, что поддержание напряжения на уровне номинального или в пределах допустимых отклонений его от номинального имеет большое значение. При некачественном чрезмерно высоком напряжении потребители и энергосистемы несут прямые убытки и порчи продукции, недоиспользовании мощностей, замедления технологического процесса, преждевременного износа изоляции и потерь энергии. Учет экономических факторов особенно важен в условиях экономического стимулирования труда и автоматизации технологических процессов.

Номинальным напряжением U_n источников и приемников электроэнергии (генераторов, трансформаторов) называется такое напряжение, на которое они рассчитаны в условиях нормальной работы. Каждая электрическая сеть характеризуется номинальным напряжением приемником электрической энергии, в том числе и трансформаторов, которые от нее питаются.

Качество электроэнергии характеризуется качеством частоты напряжения переменного тока и качеством напряжения. Для оценки качества частоты установлен один показатель – отклонение частоты, под которым понимают медленные плавные изменения частоты (менее одного процента в секунду) относительно ее номинального значения.

К одному из важнейших средств управления и регулирования, оказывающие влияние на режимы относятся устройства РПН трансформаторов.

Сущность регулирования напряжения с помощью трансформаторов заключается в том, что при необходимости изменения напряжения на вторичной стороне трансформатора изменяют его коэффициент трансформации. С этой целью на всех трансформаторах выполняют специальные ответвления, каждое из которых соответствует определенному числу витков обмотки и, следовательно, определенному коэффициенту трансформации.

Таким образом, каждому ответвлению трансформатора соответствует свое номинальное напряжение обмотки. Переводя переключатель ответвлений из одного положения в другое, т. е. изменяя n , можно изменять номинальное напряжение обмотки ВН, что приведет к регулированию напряжения U_n на шинах НН.

Так же часто используется метод регулирования напряжения изменением потоков реактивной мощности.

Сущность регулирования напряжения за счет воздействия на потоки реактивной мощности по элементам электрической сети заключается в том, что при изменении реактивной мощности изменяются потери напряжения в реактивных сопротивлениях

В отличие от активной мощности, реактивную мощность в узлах сети можно изменять путем установки в них устройств поперечной компенсации, т. е. компенсирующих устройств (КУ), подключенных параллельно нагрузке. В качестве таких компенсирующих реактивную мощность устройств могут служить батареи конденсаторов, синхронные компенсаторы, шунтирующие и управляемые реакторы, статические тиристорные компенсаторы.

Зачастую регулирующие возможности трансформаторов, снабжённых дорогостоящим регулятором напряжения, не используется совсем или используется недостаточно. Для таких потребителей нет необходимости проектировать устройства регулирования напряжения, т. к. достаточно прибегнуть к средствам ступенчатого изменения напряжения:

а) отключение одного из двух параллельно работающих трансформаторов в режиме минимальной нагрузки. При этой операции происходит увеличение вдвое сопротивление звена трансформатора и напряжение на стороне нагрузки несколько снижается;

В общем, операцию по отключению параллельно работающих трансформаторов с целью ступенчатого изменения напряжения можно признать малоэффективной. Отключение мало загруженных трансформаторов в случае наличия нескольких параллельно работающих трансформаторов влечёт за собой некоторое снижение требований бесперебойности электроснабжения, т. к. в случае аварии с оставшимся трансформатором при отсутствии устройств для автоматического ввода резерва (АВР) неизбежен простой предприятия на время, необходимое для оперативных переключений. В сетях ВН, требующих известных мер безопасности, чрезмерное увеличение числа оперативных переключений также нежелательно;

б) отключение и включение параллельно работающих линий. Этот способ обладает тем же недостатком, что и операция с параллельно работающими трансформаторами, т. к. отсутствие устройств автоматического ввода резервной линии (АВР) ставит под угрозу бесперебойность электроснабжения. В некоторых случаях, когда потребитель имеет свою развитую сеть, можно произвести такое её оперативное переключение, при котором близко расположенные от питающей подстанции потребители (цеха) могут быть искусственно удалены созданием обходных цепей. Эту операцию можно рассматривать только как временную и крайнюю меру, т. к. обходные цепи вызывают дополнительную потерю энергии в сети, что экономически невыгодно;

в) выравнивание графика нагрузки предприятия. В ряде случаев величина напряжения на шинах данного потребителя зависит не только от режима работы системы, но и от режима работы данного предприятия и работы предприятий, питающихся от той же линии. Увеличить или уменьшить напряжение на шинах предприятия в некоторых случаях можно за счёт умело скоординированной нагрузки в течение суток. На ночную работу следует перевести большую часть энергоёмких потребителей или приёмников (насосные станции, компрессоры и др.). В том случае, когда от шин РТП системы питается несколько потребителей, можно по согласованию между технологами построить взаимно приемлемый график совместной работы предприятий, при котором напряжение в ночное время будет снижено, а в дневное время – повышено.

Силовые трансформаторы напряжением 6 кВ и выше и мощностью 25 кВ выпускаются в двух модификациях, со встроенным устройством РПН или ПБВ (переключатель без возбуждения). Переключатели ПБВ долгое время устанавливались на большинстве маломощных трансформаторов и поэтому чрезвычайно распространены. Переключатели этого типа позволяют изменением положения рукоятки устанавливать три или пять коэффициентов трансформации с диапазоном регулирования $\pm 5\%$. При изменении напряжения со стороны питания можно, используя переключатель ПБВ и устанавливая соответствующий коэффициент трансформации, сохранить напряжение на стороне нагрузки неизменным. Очевидно, что при повышении напряжения следует увеличивать коэффициент трансформации, и наоборот. Т. к. цели, преследуемые изменением коэффициента трансформации, могут быть различными, то правомерно поставить вопрос о выборе наиболее выгодного коэффициента трансформации. Операция по переключению коэффициента трансформации требует полного отключения трансформатора от сети и принятия специальных мер безопасности, поэтому не может производиться часто.

Наиболее выгодным называется коэффициентом трансформации, при котором обеспечиваются наименьшие отклонения напряжения у приёмников или наиболее полно удовлетворяются другие поставленные требования.

Для регулирования напряжения в производственных условиях существует много способов и средств, часть из которых доступна и эффективна в энергосистемах, а часть наиболее приемлема для распределительных сетей потребителей. Очевидно то, что поддержание качества напряжения может быть осуществлено только на основе согласованных действий и взаимной ответственности за качество электрической энергии как энергосистемы, так и самого потребителя.

УДК 621.311.2.002.5.004

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Новак А.В., Баран А.Г., Ерохов Е.Л., Башаркевич Я.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

Одним из способов сохранения непрерывности технологических процессов промышленных предприятий при внезапных кратковременных перерывах электроснабжения является самозапуск электродвигателей собственных нужд.

Под самозапуском понимают процесс автоматического (без вмешательства персонала) восстановления работы ЭД после кратковременного нарушения нормального электропитания – исчезновения или глубокого снижения напряжения.

Самозапуск может быть успешным или неуспешным. Самозапуск будет успешным, если начальное напряжение на шинах собственных нужд при самозапуске обеспечивает разворот ЭД за такое время, при котором не происходит недопустимого перегрева электродвигателей и не нарушается технологический процесс энергоблока.

Выполнение самозапуска требует комплексного решения вопросов, связанных с работой электродвигателя и его системы управления, электрической сети, а также самого приводимого механизма.

Самозапуск асинхронных и синхронных электродвигателей начал применяться на тепловых электростанциях и в настоящее время для всех основных механизмов собственных нужд электростанций различного типа. В настоящее время он получил широкое распространение во многих отраслях промышленности, особенно со сложными непрерывными технологическими процессами (производство аммиака, азотных удобрений, нефтеперерабатывающей промышленности и др.). Обоснованное применение самозапуска в сочетании со средствами автоматики всегда приводит к повышению надёжности электроснабжения и уменьшению простоев механизмов. В некоторых случаях, кроме того, выполняется снижение эксплуатационных расходов (за счёт уменьшения персонала, снижения потерь электроэнергии и др.) и капитальных затрат.

Проектные организации применяют программы расчета самозапуска, базирующиеся на методах СПО (свободное программное обеспечение) Ленинградского и Донецкого политехнических институтов.

ElectricaNW – программа для автоматизированного проектирования электроснабжения силового электрооборудования и внутреннего электроосвещения промышленных и гражданских объектов строительства, а также для анализа действующей электрической сети.

Gumotors – программа может быть использована при настройке устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики, а также при проверке режимов работы электротехнического и технологического оборудования электростанций и промышленных предприятий при пусках и перерывах питания асинхронных электродвигателей напряжением 6 кВ.

Samos – Программный комплекс предназначен для расчета самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ собственных нужд (СН) ТЭЦ. При расчете самозапуска электродвигателей автоматически выполняются расчеты: исходного установившегося режима, режима короткого замыкания, группового выбега электродвигателей в бестоковую паузу и группового самозапуска электродвигателей после восстановления напряжения.

Как показал анализ исследований, в большинстве случаев программные продукты пользуются экономическим успехом в связи с внедрением на энергетические объекты. Но обладая большой стоимостью их использование энергетическими предприятиями затруднительно, не говоря о внедрении их в учебный процесс.

УДК 621.3

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Башаркевич Я.В., Васильева А.А., Плешко Д.Ю.

Энергосбережение (экономия электроэнергии) – реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на рациональное использование и экономное расходование ТЭР и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии. Энергосбережение – важная задача по сохранению природных ресурсов.

Энергоэффективность – эффективное использование энергетических ресурсов с модернизацией существующей техники и технологии и при соблюдении требований к охране окружающей среды.

Специфика повышения энергоэффективности в отдельных секторах экономики (организация управления и принятия решений, степень и возможности регулирования, структура и схожесть технических и институциональных решений) вызывает необходимость выделения следующих направлений:

- повышение энергоэффективности в электроэнергетике;
- повышение энергоэффективности в промышленности;
- повышение энергоэффективности в теплоснабжении и к\х;
- повышение энергоэффективности в жилищном секторе;
- повышение энергоэффективности в сельском хозяйстве;
- повышение энергоэффективности на транспорте;
- нормативно-законодательное, ресурсное, организационное и информационное

обеспечение деятельности по повышению энергоэффективности.

Основные шесть обширных сфер:

- сценарии и стратегии использования альтернативных источников энергии;
- энергоэффективность зданий, бытовых электроприборов, транспортных средств и промышленных объектов;
- более экологически чистые технологии использования ископаемых топлив;
- возобновляемые источники энергии;
- усиление международного сотрудничества.

Политическая поддержка энергоэффективности имеет под собой солидную основу по двум веским причинам.

Во-первых, повышение эффективности энергопотребления является самой рентабельной стратегией, дающей немедленный результат. В контексте изменения климата внедрение энергоэффективных технологий дает правительствам возможность выиграть время для подготовки экономик своих стран к будущему с низкими выбросами углерода.

Во-вторых, политические меры по повышению энергоэффективности уже доказали возможность обеспечить значительную экономию энергии. Цель, к которой следует стремиться, – не просто иметь закон «Об энергоэффективности», а, прежде всего, добиться того, чтобы это законодательство создало среду и инструменты для решений, касающихся эффективного конечного потребления, которые должны быть приняты во всех секторах экономики.

Во всем мире профилирующей сейчас является тема так называемого зелёного роста, то есть роста экономик за счёт использования современных, экологически выверенных, энергоэффективных технологий, в том числе с использованием альтернативных источников энергии. Эта тема абсолютно актуальна для нас, у нас тоже есть свои нормативы, свои цели по энергоэффективности, дл этого необходимо взаимодействие экологического законодательств с вопросом энергоэффективности. Сделать это надо так, чтобы у наших предприятий появилась экономическая мотивация, появились побудительные стимулы к

тому, чтобы вкладываться в общее оздоровление экологической ситуации, с одной стороны, а с другой стороны – подтягивать уровень своих производств и очистные сооружения, технологические стандарты ведения собственного бизнеса под лучшие мировые образцы.

Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР) – совокупность различных видов топлива и энергии (продукция нефтеперерабатывающей, газовой, угольной, торфяной промышленности, электроэнергия атомных и гидроэлектростанций, а также местные виды топлива), которыми располагает страна для обеспечения производственных, бытовых и экспортных потребностей.

Энергетика вносит значительный вклад в формирование основных социальных и экономических параметров развития страны, в частности доходов и бюджета. Государственный бюджет, инвестиции, внешняя торговля испытывают сильную зависимость от конъюнктуры на мировых рынках энергоносителей.

Условное топливо – принятая при технико-экономических расчетах единица, служащая для сопоставления тепловой ценности различных видов органического топлива. Теплота сгорания 1 кг твердого условного топлива (или 1 м³ газообразного) составляет 29,3 МДж.

Из потребляемой в быту энергии – 70 % – идет на отопление помещений, 15 % энергии расходуется на приготовление пищи, 10 % энергии потребляет бытовая техника и 5 % энергии расходуется на освещение.

С экономической точки зрения-меры по повышению энергоэффективности сосредоточены в трех секторах:

- недвижимое и строительство;
- топливо-энергетический комплекс;
- промышленность и транспорт.

Экономически привлекательны меры с низкими первоначальными инвестициями и относительно быстрой окупаемостью является применение энергосберегающих ламп. Однако это позволяет реализовать только 2 % общего потенциала энергосбережения.

Другая важная мера – установка термостатов и счетчиков тепла. Исследования показали, что наличие термостатов, регулирующих потребление тепла, и установка теплосчетчиков в жилых домах, в результате чего жильцы будут оплачивать только фактически потребляемый объем тепла, позволят сократить сумму счета за отопление на 20 %. Базовые меры по утеплению (например герметизация плинтусов и других областей утечки воздуха, уплотнение окон и дверей ленточным утеплителем, теплоизоляция чердачных помещений и пустот в стенах) позволят сократить потребление тепла еще на 20 %.

Барьеры, сдерживающие развитие энергосбережения и энергоэффективности в стране, можно разделить на четыре основные группы:

1. Недостаток информации.
2. Необходимость значительных объемов начальных инвестиций.
3. Отсутствие стимулов.
4. Слабая организация и координация действий.

Прежде был еще пятый барьер – недостаток технологий. Но на сегодня такого ограничения больше не существует. Рынок предлагает широкий выбор энергоэффективного оборудования, материалов, а также консультационных услуг по вопросам энергосбережения и энергоэффективности.

Недостаток информации. Информационное и мотивационное обеспечение подготовки и реализации решений по энергосбережению и энергоэффективности развито слабо. Стереотипы поведения («делай, как все»), то есть практически не делай ничего для экономии энергии, так широко распространены именно потому, что они избавляют как от поиска информации, так и от принятия самостоятельных решений.

Недостаток опыта финансирования проектов в сфере энергоэффективности со стороны инвестиционных банков. Требования к выделению финансовых средств на реализацию проектов по повышению энергоэффективности и снижению издержек, как правило,

существенно более жесткие, чем к проектам, связанным с новым строительством. Больше всего это касается тех предприятий, которые находятся в тяжелом финансовом положении и в силу этого не располагают собственными средствами для решения проблем энергосбережения и энергоэффективности. Для них непреодолим тест на финансовую устойчивость и, следовательно, невозможно получение кредитных ресурсов на развитие.

Недостаток организации и координации имеет место на всех уровнях принятия решений. Проблема повышения энергетической эффективности не воспринимается как средство решения широкого комплекса экономических и экологических проблем. Реализация ключевого приоритета «Энергетической стратегии России до 2020 года» – увеличения энергоэффективности экономики не обеспечена в полной мере организационными и финансовыми ресурсами. Наблюдается отсутствие согласованности различных областей законодательства: градостроительное планирование не связано с развитием энергосистем; законодательство о госзакупках не содержит требований по энергоэффективности и т. д.

Важно организовать четкое взаимодействие с бизнес сообществом, а также задействовать человеческий фактор, обеспечив информационную и образовательную поддержку мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности использования топливно-энергетических ресурсов на международном, региональном и муниципальном уровнях/

УДК 621.316

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ САМОЗАПУСКЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Баран А.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Новаш И.В.

Известно, что процессу самозапуска группы электродвигателей (ЭД) собственных нужд (СН) предшествует либо исчезновение, либо глубокое понижение напряжения на зажимах ЭД в течение времени перерыва питания. При этом уменьшается частота вращения ЭД.

Самозапуск агрегата (ЭД плюс механизм) СН до достижения нормальной частоты вращения при данной нагрузке агрегата происходит при повторной подаче достаточного напряжения на зажимы ЭД.

Характер процесса самозапуска в значительной мере зависит от того, участвует в нем один или группа ЭД, от состава ЭД, механизмов и их характеристик, от значения сопротивления внешней сети между ЭД и источником питания, от значения напряжения источника питания, от времени перерыва питания.

Самозапуск одиночного ЭД зависит от загрузки механизма в установившемся режиме, предшествующем выбегу, от характера момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма, от времени перерыва питания, от значения напряжения на шинах СН.

После отключения от сети одиночного ЭД накопленная в нем кинетическая и электромагнитная энергия расходуется постепенно, благодаря чему после отключения ЭД напряжение резко падает до значения $E_{|0|}$ и далее уменьшается пропорционально снижению магнитного потока по закону экспоненты и частоте вращения вала, а частота напряжения изменяется пропорционально частоте вращения ротора.

При отключении группы ЭД изменение частоты вращения каждого ЭД будет отличаться от изменения частоты вращения одиночно ЭД. Будучи электрически связанными между собой, ЭД воздействуют друг на друга таким образом, что те из них, которые имеют больший запас кинетической энергии, переходят в генераторный режим, поддерживая частоту вращения ЭД с меньшим запасом кинетической энергии. В результате частота вращения ЭД, перешедших в генераторный режим, снижается несколько быстрее, а частота вращения ЭД, оставшихся в режиме потребления активной мощности, напротив, снижается несколько медленнее частоты вращения тех же ЭД, выбегающих индивидуально при одиночном отключении.

Таким образом, в течение некоторого времени вследствие наличия на шинах секций СН остаточного напряжения все ЭД имеют тенденцию выбегать «синхронно» с частотой вращения, близкой к эквивалентной. Группа электрически связанных ЭД может быть при этом рассмотрена как один эквивалентный ЭД с эквивалентной механической постоянной времени.

В зависимости от соотношения моментов сопротивления механизмов и моментов вращения ЭД окончание «синхронного» выбега будет осуществляться при различных значениях остаточного напряжения. В первом приближении можно принять, что окончание «синхронного» выбега происходит при снижении остаточного напряжения, на шинах СН примерно до 0,25 номинального [1, 2].

Постоянная времени затухания остаточного напряжения на шинах СН при групповом выбеге электрически связанных ЭД составляет от 0,6 до 1,5 с, а изменение угла между вектором остаточного напряжения на отключенной секции СН и вектором напряжения сети до 180° происходит за 0,3 – 0,5 с. Абсолютное значение остаточного напряжения на отключенной секции при данной длительности перерыва питания составляет 0,5 – 0,7 номинального, а геометрическая разность ΔU вектора остаточного напряжения секции СН и напряжения сети может достигать 1,7 – 2,0 номинального. Следует отметить, что при включении группы ЭД на резервный источник питания в момент противофазы (при угле

180°) возникают большие переходные токи, которые протекают по обмоткам двигателей, это необходимо учесть при настройке токовых защит, которые не должны приводить к ложному отключению ЭД и трансформаторов питания.

При возникновении причин, вызвавших посадку напряжения на шинах СН, работают устройства РЗА, которые отключают поврежденный участок, и если повреждение находится в источнике рабочего питания, работает устройство АВР, и на шины СН повторно подается напряжение от резервного источника питания. Длительность перерыва питания определяется: временем действия основных или резервных электрических защит, которые устраняют повреждение, приведшее к перерыву питания; временем отключения выключателя рабочего ввода (отключение от рабочего источника питания); временем включения выключателя резервного ввода (резервного источника питания), т. е. временем действия АВР.

В настоящее время стремятся максимально уменьшить длительность перерыва питания для того, чтобы при понижении или полном исчезновении напряжения на шинах СН уменьшение частоты вращения ЭД было как можно меньше.

Согласно ПТЭ [3] время перерыва питания, определяемое выдержками времени технологических и резервных электрических защит, не должно превышать 2,5 с.

В порядке исключения допускается большее время перерыва питания, если обеспечивается самозапуск электродвигателей, который должен быть подтвержден расчетно-экспериментальным путем.

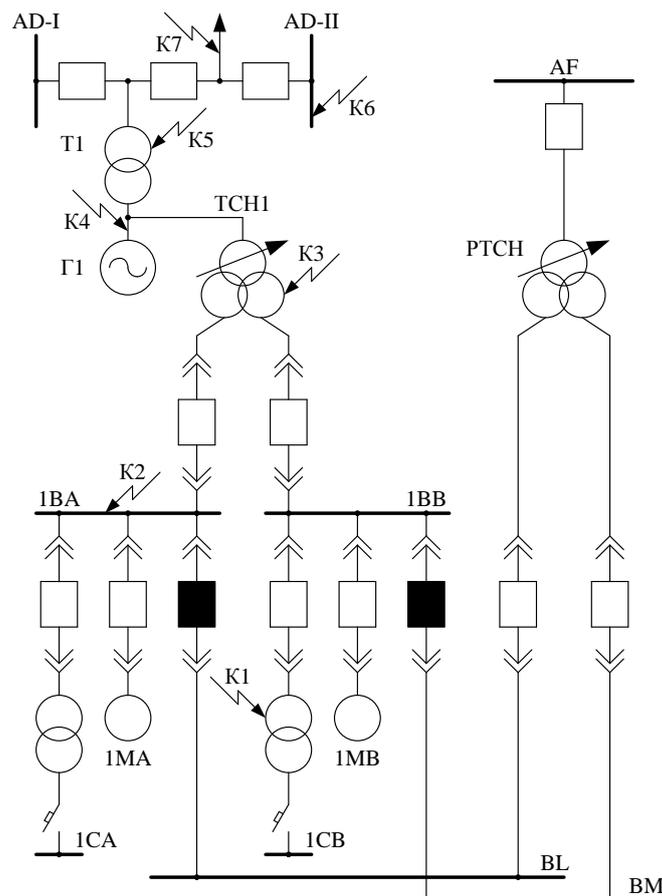


Рисунок 1. Расчетная схема энергоблока: BL, BM – шины резервного питания 6 кВ; 1BA, 1BB – шины рабочего питания 6 кВ; 1CA, 1CB – шины рабочего питания 0,4 кВ; 1MA, 1MB – электродвигатели 6 кВ; AD-I, AD-II, AF – шины распределительно устройства высокого напряжения; К1–К7 – точки КЗ

В зависимости от места возникновения КЗ в электрической схеме ТЭС группа ЭД СН будет реагировать по-разному. Так, при КЗ (рис. 1) на выводах обмотки высокого напряжения трансформатора 6/0,4 кВ (точка К1), на шинах секций СН (точка К2) напряжение на выводах ЭД уменьшается до нуля. При КЗ в цепи рабочего питания (точки К3, К4) напряжение на шинах СН, генерируемое группой ЭД, незначительно отличается от нуля в первый момент КЗ и с течением времени уменьшается до нуля. При выше рассмотренных случаях КЗ уменьшается до нуля и момент вращения ЭД. Происходит торможение (уменьшение частоты вращения вала) ротора ЭД только под действием противодействующего момента сопротивления его механизма.

При КЗ за блочным трансформатором (точка К5), на шинах ОРУ высокого напряжения (точка К6), на воздушных линиях электропередачи (точка К7) напряжение на шинах секции СН уменьшается до значений 0,3 номинального и выше. В этом случае торможение ротора ЭД происходит под действием избыточного момента вращения, равного разности момента вращения ЭД, уменьшенного пропорционально квадрату напряжения, и момента сопротивления механизма.

При восстановлении электропитания на шинах СН в начальный момент напряжение понижается до какого-то значения, которое в дальнейшем будет называться начальным напряжением $U_{нач}$. Разворот ЭД до установившейся частоты вращения происходит под действием избыточного момента, который представляет собой разность между моментом вращения ЭД при данном напряжении и моментом сопротивления механизма. Разворот будет успешным, если момент вращения ЭД в течение всего процесса самозапуска будет больше момента сопротивления механизма.

По мере ускорения группы ЭД в процессе самозапуска напряжение изменяет свое значение, и это напряжение $U_{сз}$ – напряжением самозапуска.

В связи с тем, что самозапуск ЭД секции СН происходит при пониженном напряжении, он может быть успешным или неуспешным. Успешным является лишь такой самозапуск, при котором ЭД достигают нормальной частоты вращения за время, допустимое по условиям сохранения устойчивости технологического режима электростанции блочного типа, а для электростанции с поперечными связями по воде и пару с ГРУ дополнительно по условию допустимого нагрева ЭД.

В процессе расчета самозапуска выполняются расчеты следующих режимов:

- исходный режим рабочей секции СН и рабочего источника питания;
- режим трехфазного КЗ на шинах рабочей секции СН;
- режим группового выбега двигателей СН;
- режим индивидуального выбега двигателей СН.

Исходный режим рабочей секции СН – это установившийся режим, характеризующийся неизменными скольжениями, моментами, действующими значениями токов фаз электродвигателей, синусоидальной формой кривых напряжений, токов статорных контуров двигателей, стационарной нагрузки, источника питания. В расчетах исходного режима по заданным значениям напряжения секции и коэффициентов загрузки электродвигателей определяются их скольжения, мгновенные значения всех токов, начальные значения потокосцеплений контуров двигателей и источника питания.

Режим КЗ характеризуется быстрым торможением электродвигателей, вызванным снижением до нулевого значения напряжения на шинах (рассматривается трехфазное КЗ). В процессе расчета определяются мгновенные значения всех токов, скольжения двигателей.

В режимах выбега продолжается интенсивное торможение электродвигателей. В процессе расчета определяются скольжения электродвигателей, а в режиме группового выбега при небольшой длительности бестоковой паузы – начальные значения некоторых интегрируемых переменных для последующего расчета самозапуска.

Литература

1 Руководящие указания по расчету самозапуска двигателей собственных нужд тепловых электростанций. – М.: ВНИИЭ, 1967.

2 Методические указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы при перерывах питания. МУ 34-70-026-82. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1982.

3 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – 14-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989.