### СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

### ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

### ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКОВ МОЛНИИ

Дунченко Д.А.

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

### АКТИВНАЯ МОЛНИЕЗАЩИТА

Рылач А. В.

Научный руководитель – ассистент Бычков М. М.

### КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ КРУЭ 500 КВ ПО СХЕМЕ 3/2 ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НА ПЕПЬ

Милюткин А.В.

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

#### СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Голота А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

#### МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Ковалевский К.В.

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

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЫБОРЕ АППАРАТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Гапанович А. В.

Научный руководитель – аспирант Шпаковский А. А.

## АНАЛИЗ БЕСЩЕТОЧНЫХ ТИРИСТОРНЫХ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Шеметовец Е.В.

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

#### НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МТЅ

Емелина А.С.

Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

### РАЗНОВИДНОСТИ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ КРУЭ

Воропай М. В.

Научный руководитель – Климентионок А.К.

#### ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ

Комиссаров М.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

## ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ ЗОН МОЛНИЕЗАЩИТЫ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Яблонский О. В., Баран А. Г.

Научный руководитель – аспирант Шпаковский А.А.

### ТЕРМИНАЛЫ ДУГОВЫХ ЗАЩИТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

МАСЮКЕВИЧ С.В., МЕЛЬНИК Е.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ САПОЖНИКОВА А.Г.

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА ТОКОВЫХ ЗАЩИТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Каченя В.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

### МЕТОДЫ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Валенто А.Е.

Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

## ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПЕРЕРЫВА ПИТАНИЯ НА УСПЕШНОСТЬ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Гавриелок Ю.В., Башаркевич Я.В., Баран А.Г.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДОЦЕНТ БОБКО Н.Н.

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ И ИХ КОНСТРУКЦИИ

Семёнов Н. Н.

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

### КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВ С ЭЛЕГАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ТИПА 8DN8

Михалькевич С.И.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ГУБАНОВИЧ А.Г.

#### ПЕРЕДВИЖНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Мамончик А.Н., Баран А.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

### АСИНХРОНИЗИРОВАННАЯ СИНХРОННАЯ МАШИНА

Катрич А.Е.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Д.Т.Н., ПРОФЕССОР СЕРГЕЙ И.И.

#### ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЭЛЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Овчинникова А.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Шумай А. Я.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К. И.

### ОБОБЩЕНИЕ ЧАСТНЫХ ЧИСЛЕНЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ ПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

Махнач Д.Н.

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

### ВНУТРИФАЗНЫЕ И МЕЖДУФАЗНЫЕ РАСПОРКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСВ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Дисковец А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я. В.

### РАЗВИТИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В РАМКАХ БОЛОНСКОГО ПРОЦЕССА

Трипутень А.Д.

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

## СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 110 КВ И ВЫШЕ С ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКОЙ

Соколов В. В., Баран А. Г.

Научный руководитель – Андрукевич А. П.

#### МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ ТКХ

Андреев А. Ф., Гавриелок Ю. В.

Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

## ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА УСПЕШНОСТЬ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Башаркевич Я.В., Баран А.Г.

Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

### ДЕМПФЕРЫ ТЯЖЕНИЯ И ГАСИТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ

Кимстач Д.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я.В.

#### ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Машлякевич С.Ю.

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

#### РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ СЕТЕЙ 6–35 КВ

Холопик Н. Н.

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

### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ И ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРОВ ТЗВ МОЩНОСТЬЮ 1200 МВТ

Малиновский П.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ МАЗУРКЕВИЧ В.Н.

## КОНСТРУИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ В СИСТЕМЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ VISSIM

Синяк В.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

### ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ПОСТСОВЕТСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Жуковский Е.С.

Научный руководитель – ассистент Климентионок А.К.

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ

Ничипорчик Д.Г.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6—35 КВ С РЕЗИСТИВНО-ЗАЗЕМЛЁННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Салобуто С.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

## ДУГОВАЯ ЗАЩИТА В СОСТАВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Бобрик Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЗАКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Санюк В.Д.

Руководитель – Кисляков А.Ю

### ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Лукьянюк М.С.

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

### АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И БИОСФЕРА

Боков Е.С.

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

### ЭЛЕМЕНТЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Мигус Н.А., Будников В.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ БУЛОЙЧИК Е.В.

### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ТОКОПРОВОДОВ

Карасёва В.В.

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

## ОБОБЩЕНИЕ ЧАСТНЫХ ЧИСЛЕНЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ ПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

ГРИГОРЬЕВ Р.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

#### ЦИФРОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Исаков Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Кулявец Д.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

### ВЛИЯНИЕ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ НА РАБОТУ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ФУРЬЕ

РУМЯНЦЕВ В.Ю., ПРОХОРОВА М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

## ПРОВЕРКА КАБЕЛЕЙ НА НЕВОЗГОРАНИЕ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ И ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ИХ К ЭКСПЛУОТАЦИИ ПОСЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ

Дударев А. В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ МАЗУРКЕВИЧ В.Н.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ФУРЬЕ ПРИ ЧАСТОТАХ, ОТЛИЧНЫХ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ

Диордица В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИИ

Стасевич А.Ю.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

#### ГАШЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ГЕНЕРАТОРА

Подрез А.А.

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

### АЭС НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Приходько Р. Н.

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

### ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

Тимофейчик Л.А.

Научный руководитель – Гурьянчик О.А.

## ВЫБОР, РАСЧЕТ ЕМКОСТИ АБ И ПОДЗАРЯДНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

Гагина Т. М.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ САПОЖНИКОВА А.Г.

### ДИФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРА

Байрамов Д.Г.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ГУРЬЯНЧИК О.А.

### ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА В БЕЛАРУСИ

Дайлидко А.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ

Сырокваш Е. В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АССИСТЕНТ АРТЕМЕНКО К.И.

### ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Юшкевич Р.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

### ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6—35 КВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Шуманский В.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

#### ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Сапаров М.У.

Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ДЛЯ СЕТЕЙ 6–35 КВ С РЕЗИСТИВНО ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Сирисько К.В.

Научный руководитель – Кисляков А.Ю.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТАХ

Залозный Р.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

ЕРМОЛА Д.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

#### ДЕЛИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА

Селивонюк Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

#### ДУГОВАЯ ЗАЩИТА НА КРУ

Якимчик А.А., Кулак И.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СХЕМАХ 0,4 КВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Дубовский А.А., Гавриелок Ю.В.

Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

#### АДАПТИВНАЯ ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА. ДЕМФЕРЫ ТЯЖЕНИЯ

Шульга Е.В., Алексеев С.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я.В.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

Щербицкий А.В.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

### КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Норко Н.С.

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

#### ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛНЕНИЯ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Тимофеев В.О.

Научный руководитель – Кисляков А.Ю.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА В *D*, *Q*, 0 КООРДИНАТАХ

Яловчик Н. Н.

Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

### ДЕЛИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Пылинская Е.Р., Чирич В.В.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

#### СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Куликова А. С.

Научный руководитель – Гавриелок Ю. В.

### МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ ИЗОЛЯЦИИ

TAPACOB B.C.

Научный руководитель – ассистент Климентионок А.К.

### КАБЕЛИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА АЭС И ИХ ПРОВЕРКА НА НЕВОЗГОРАЕМОСТЬ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Ментюк Т.В.

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

#### **ЧАСТОТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

Буров Н.А.

Научный руководитель – ассистент Климентионок А.К.

#### ВРАЩАЮЩИЕСЯ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Мазур А.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л. В.

### ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ГЕНЕРАТОРНЫЕ ЭЛЕГАЗОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Козловский Н.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

#### АДАПТИВНАЯ ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА С ЭЛЕМЕНТАМИ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Целобанов В. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я. В.

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ КОМПЛЕКТНЫХ ПОФАЗНО-ЭКРАНИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДОВ В СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

Совко А. С.

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

### ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Гавриелок Ю. В., Тукай П. А., Баран А. Г.

### РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

Гавриелок Ю. В.

Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

### СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

ТУКАЙ П. А., БАРАН А. Г.

Научный руководитель – Гавриелок Ю. В.

### РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП С РАСЩЕПЛЕННОЙ ФАЗОЙ

Тукай П.А.

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

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Хлиманков А. В.

Научный руководитель – Кисляков А. Ю.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Витязев А. С.

Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

### ЛИТЫЕ ТОКОПРОВОДЫ

Лапко Д. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

### РАСЧЁТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ ОРУ 330 КВ

Богатко А.С.

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

### ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Карпович В. П.

Научный руководитель – ассистент Климентионок А. К.

#### ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

ЧЕРНАЯ Е.О., БУДНИКОВ В.В.

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

### ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Денисевич Т.А.

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

### ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКОВ МОЛНИИ

Дунченко Д.А.

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

Заземлением какой-либо части электрической установки называется преднамеренное соединение ее с заземляющим устройством с целью сохранения на ней достаточно низкого потенциала и обеспечения нормальной работы системы или ее элементов. Различают три вида заземлений: рабочее заземление, защитное заземление для безопасности людей и заземление грозозащиты.

К частям, подлежащим заземлению, относятся металлические части оборудования, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением при перекрытии или пробое изоляции.

Для заземляющего устройства станций и подстанций в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители. Естественными заземлителями являются металлические элементы, проложенные в земле для других целей, но которые могут быть использованы в качестве электродов заземлителя подстанции. Такими естественными заземлителями в первую очередь являются металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций, имеющие соединение с землей. К естественным заземлителям можно отнести и систему трос — опоры, т. е. грозозащитные заземления опор линий высокого напряжения, соединенные с заземлителем подстанции грозозащитным тросом.

Для защитного заземления станций и подстанций всех напряжений используется общее заземляющее устройство. Общий заземлитель используется также и для рабочего заземления.

Искусственный заземлитель станции и подстанции состоит из вертикальных электродов, расположенных по контуру, охватывающему всю установку (открытое и закрытое распределительные устройства, машинный зал, котельную), и горизонтальных полос. Металлический забор, ограничивающий территорию станции и подстанции, заземляться не должен во избежание выноса потенциала за территорию.

В связи с повреждением большого количества железобетонных опор и возникновением опасных значений напряжений прикосновения и шага при длительных однофазных замыканиях на ВЛ 3–35 кВ внесена рекомендация о заземлении всех типов опор ВЛ 3–35 кВ. Для линий напряжением 110 кВ и выше с металлическими и железобетонными опорами, проходящими в местах с глинистыми, суглинистыми, супесчаными и подобными грунтами и не содержащих агрессивных вод, допустимое значение сопротивления заземления может быть обеспечено использованием естественных заземлителей — железобетонных подножников опор или же их сочетанием с искусственными заземлителями.

Для искусственных заземлителей используются вертикальные и горизонтальные электроды, уложенные на глубине 0,5–1 м от поверхности земли. В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы, угловая и круглая (прутковая) сталь длиной  $L=2\div 10$  м. Наименьшие поперечные размеры допускаются следующие: у круглых электродов диаметр  $d_0=6$  мм, толщина полок угловой стали b=4 мм и толщина стенок стальных труб b=3,5 мм.

Наименьшие поперечные размеры электродов диктуются необходимостью надежной работы заземлителя при коррозии и могут быть увеличены из условий достаточной прочности при погружении их в грунт.

Горизонтальные полосовые заземлители в виде лучей, колец или контуров используются как самостоятельные заземлители или как элементы сложного заземлителя из горизонтальных и вертикальных электродов. Для горизонтальных заземлителей применяется

полосовая сталь сечением не менее  $48~\mathrm{mm}^2$  и толщиной  $4~\mathrm{mm}$  и круглая сталь с диаметром не менее  $10~\mathrm{mm}$ .

Для анализа грозоупорности подстанции и сопоставления потенциала на заземлителе с импульсным испытательным напряжением изоляции оборудования имеют значение как напряжение на заземлителе  $u_I$  в момент максимума импульса тока I с заданной длительность фронта  $\tau_{\phi}$ , так и максимальное напряжение на заземлителе U с фронтом импульса напряжения  $\tau_{U}$ , длительность которого меньше  $\tau_{\phi}$ .

При протекании импульсного тока по заземлителю в первые моменты времени после начала его протекания индуктивность препятствует проникновению тока к удаленным участкам заземлителя, и они слабо участвуют в отводе тока в землю. Постепенно распределение напряжения вдоль заземлителя выравнивается и сопротивление его уменьшается, стремясь к своему предельному значению  $R = 1/g \cdot l$ .

Различают стационарное сопротивление R, характерное для рабочих и защитных заземлений, отводящих ток 50  $\Gamma$ ц, когда индуктивность, емкость, а также искровые процессы в земле не имеют существенного значения, импульсное сопротивление заземлителя  $Z_{\rm u}$ , характерное для заземлителей грозозащиты, которое определяется как импульсным характером тока, так и физико-химическими процессами и искрообразованием в грунте. Импульсное сопротивление заземлителя подстанции определяется отношением напряжения на заземлителе к току, стекающему с него, и изменяется во времени с момента протекания тока.

Эффективной мерой по снижению  $Z_{\it H}$  рассматриваемого контура является уменьшение его индуктивности путем увеличения параллельных путей для растекания тока от места подсоединения к контуру молниеотвода, например при прокладке пересекающих контур полос или лучей вне контура.

Импульсное сопротивление заземлителя с сеткой зависит от места ввода тока. Заземлитель ОРУ подстанции из сетки с вертикальными электродами по контуру или без них при вводе тока в центре или на стороне контура приближенно можно рассматривать как сложный протяженный заземлитель из ряда параллельных горизонтальных полос.

Импульсное сопротивление при вводе тока в центре заземлителя будет меньше, чем при вводе тока на его стороне вследствие уменьшения индуктивности. Благодаря этому уменьшается длительность переходного процесса. Вследствие этого предпочтительнее расположение и подсоединение молниеотвода ближе к центру заземлителя или, по крайней мере, в тех местах, где обеспечено растекание тока по трем, четырем горизонтальным магистралям.

Импульсные сопротивления при вводе тока в угол или на стороне сетки увеличиваются по сравнению с вводом тока в центр сетки при уменьшении  $\rho$  и I вследствие усиления влияния индуктивности при ослаблении искровых процессов. Стационарное сопротивление заземлителя не зависит от места ввода тока, поэтому отношение импульсных сопротивлений равняется отношению импульсных коэффициентов заземлителя при различном месте ввода тока.

### Литература

Рябкова Е. Я. Заземления в установках высокого напряжения. – М.: Энергия, 1978 г. – 224 с.

### АКТИВНАЯ МОЛНИЕЗАЩИТА

Рылач А. В.

Научный руководитель – ассистент Бычков М. М.

Активная молниезащита — это решение в области систем внешней молниезащиты, появившееся в конце 90-х годов 20-го столетия. Активная молниезащита обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с традиционными средствами, например, такими как молниеприемная сеть, металлический молниеприемный стержень, молниеприемный трос.

В интересующем нас случае явление молнии разряд атмосферного электричества на землю вследствие роста напряженности в воздухе. Разряд происходит не мгновенно, а начинает развиваться сверху, из облака (так называемый нисходящий лидер или стример), и в определенный момент времени ему навстречу стартует восходящий лидер. В момент их встречи происходит главный разряд. Он и несет основную опасность при попадании молнии в какие-либо значимые объекты. Характеризуется главный разряд следующими основными параметрами: сила тока, форма импульса тока, длительность импульса. Соответственно, чем выше все эти параметры, тем опаснее разряд.

Систему молниезащиты можно условно поделить на две составляющие: внешнюю и внутреннюю.

Цель внутренней системы — ограничить импульсные перенапряжения, которые возникают вследствие прямых и непрямых попаданий молнии и могут причинить ущерб электрооборудованию. Внутренняя молниезащита представлена устройствами защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), которые устанавливаются в вводных щитах. Основную концепцию внутренней молниезащиты можно выразить следующим образом: УЗИП ограничивают уровень напряжения на электрооборудовании на безопасном уровне.

Цель внешней молниезащиты — уловить молнию и отвести её ток в землю, то есть не дать главному разряду поразить защищаемый объект. Система внешней молниезащиты состоит из нескольких элементов. Во-первых, молниеприемник (стержень, устанавливаемый выше защищаемого объекта), который улавливает молнию. Традиционный молниеприемник имеет некую, примерно коническую область защиты. После попадания молния «уходит» в землю по токоотводам, которые представляют собой стальные, медные или алюминиевые проводники. Токоотводы соединены с системой заземления, с помощью которой энергия молнии безопасно рассеивается в земле. Таким образом обеспечивается защита объекта.

Долгие годы для молниезащиты использовались традиционные стержневые и тросовые молниеприемники.

В последнее время все большую популярность завоевывают так называемые активные молниеприемники, которые не просто принимают удар молнии на себя, но и отводят ее от защищаемого объекта.

В пользу активного молниеотвода можно привести и следующие аргументы. При установке обычных систем грозозащиты дом приходится «опутывать» проводами. Если здание большое, то такое «опутывание» — дорогостоящее мероприятие, особенно, если на кровле здания в качестве молниеотвода укладывается металлическая сетка.

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 силу большей области защиты число активных молниеприемников на объект в несколько раз меньше, по сравнению числом традиционных молниеприемников. Отсюда вытекают два преимущества по отношению к традиционным систем молниезащиты.

Применение активной молниезащиты позволяет получить значительную экономию, так как при меньшем числе молниеприемников требуется меньшее число токоотводов. Таким образом, несмотря на довольно высокую стоимость самих активных молниеприемников, за счет экономии на материалах токоотводов достигается экономия на системе молниезащиты в целом. Сюда же можно отнести и растущую простоту монтажа.

Данное преимущество особенно актуально при использовании активной молниезащиты в области гражданского строительства (в частности, на коттеджах), где в наш век дизайна владелец недвижимости предъявляет самые высокие требования к внешнему виду здания. Преимущество объясняется просто: меньшее число молниеприемников и токоотводов — меньшее нарушение эстетики объекта.

Активная молниезащита была изобретена во Франции, и, как следствие, основное число производителей происходят из этой страны: Duval-Messien, Indelec. Помимо этого на российском рынке представлена активная молниезащита Galmar, Forend, Schritec, КНГ. Во второй половине 2011 года один из лидеров мировой электротехники компания АББ представила свое решение в области активной молниезащиты — две линейки молниеприеников Pulsar и OPR.

### Литература

Молниеотвод с упреждающей стримерной эмиссией [Электронный ресурс] / Сайт содержит информацию о различном электрооборудовании. – Режим доступа: http://www.electrika.by/component/content/article/54/111, свободный. – Загл. с экрана.

### КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ КРУЭ 500 КВ ПО СХЕМЕ 3/2 ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НА ЦЕПЬ

Милюткин А.В.

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

КРУЭ это небольшое и малозаметное распределительное устройство, которое полностью соответствует требованиям экологии и законам сохранения естественной природной среды.

Элегазовое комплектное распределительное устройство электроэнергии характеризуется: минимумом занимаемой площади и требований к строительной части, большими возможностями по расширению подстанции или ее модификации, высокой эксплуатационной возможностью и длительным сроком службы, малыми затратами обслуживания.

КРУЭ 500 кВ являются частью схемы выдачи электроэнергии и предназначены для приема и распределения энергии.

Основные преимущества КРУЭ — возможность создания подстанций с любой компоновкой. Экономия площадей и объемов. Низкая чувствительность к внешним воздействиям. Высокая надежность, большой срок службы и высокая эксплуатационная готовность. При заземлении металлических корпусов всех элементов КРУЭ обеспечивается максимально возможная степень безопасности обслуживающего персонала. Сравнительно низкий вес. Уменьшение объема и возможность быстрого выполнения строительномонтажных работ. Малые габариты ячеек КРУЭ снижают объемы занимаемых помещений. Поставка ячеек в сборе всех ее элементов сокращает объем строительно-монтажных работ, позволяя сократить сроки ввода подстанций с КРУЭ в эксплуатацию. Высокая сейсмостойкость. Низкое расположение центра тяжести КРУЭ, а также специальные меры повышения сейсмостойкости, например оптимальное размещение аппаратов и элементов конструкции, монолитный фундамент и прочные опоры, позволяет КРУЭ выдерживать высокие сейсмические нагрузки, практически не получая повреждений.

В состав элегазового электротехнического оборудования входят комплекс аппаратов, комплектные распределительные устройства протяженные составляющих (КРУЭ), изолированные шинопроводы и отдельные аппараты: выключатели, измерительные трансформаторы, выполняющие свои функции традиционных составе электроэнергетических предприятий.

КРУЭ представляют собой единую герметизированную, трехфазную конструкцию со встроенными высоковольтными выключателями, измерительными трансформаторами тока, трансформаторами напряжения, разъединителями, заземлителями, а также ограничителями перенапряжений.

Трансформатор напряжения предназначен для измерения напряжения на сборных шинах. К его вторичным обмоткам подключаются измерительные приборы, счетчики и устройства релейной защиты и автоматики. Применение трансформатора напряжения позволяет изолировать низковольтные логические цепи защиты и измерительные цепи от высокого напряжения, что в свою очередь позволяет использовать более дешёвое оборудование в низковольтных сетях и удешевляет их изоляцию. Так как трансформатор напряжения не предназначен для перетока через него потоков мощностей, основной режим работы трансформатора напряжения — режим холостого хода.

Трансформатор напряжения типа ЗНОГ (заземляемый, однофазный, с газовой изоляцией) имеет шихтованный стержневой магнитопровод. На нем намотаны три обмотки: одна первичная и две вторичных – основная и дополнительная.

Корпус в отличие от других элементов ячеек изготавливается стальным с мембраной для выпуска элегаза при резком повышении давления в случае внутреннего пробоя.

С одной стороны в корпус вмонтирован дисковый эпоксидный изолятор, а с противоположной стороны расположена клеммная коробка выводов вторичных обмоток.

Для закачки элегаза предусмотрен вентиль. Для выравнивания электрического поля острые края внутренних изделий конструкции прикрыты экраном.

При монтаже ЗНОГ герметично с помощью резинового уплотнения присоединяется с помощью розеток через промежуточный элемент к фазе сборной шины.

Трансформаторы тока имеют своим назначением измерение тока ячейки. К их вторичным обмоткам подключаются измерительные приборы, счетчики электроэнергии и устройства релейной защиты и автоматики.

Во всех конструкциях токоведущий стержень, входящий в розеточные контакты элементов полюса ячейки, выполняет роль первичной обмотки.

На отдельный фазный магнитопровод наматываются вторичные обмотки: одна измерительная для подключения измерительных приборов и счетчиков электроэнергии и четыре — для подключения релейной защиты и устройств автоматики. В ячейках трансформаторы тока устанавливаются по два на полюс одинаковой мощности.

Основное назначение ограничителей перенапряжения является защита элегазового оборудования от атмосферных и коммутационных перенапряжений.

Ограничитель перенапряжений представляет собой резервуар, заполненный внутри элегазом, в котором установлены блоки нелинейных оксидно-цинковых резисторов. Каждый блок имеет защитный экран. Блоки собираются в виде колонны на стягивающей натяжными гайками изоляционной тяге. Высоковольтный ввод снабжен розеточным контактом. Для выравнивания электрического поля применены электростатические экраны. Электрическое соединение в колонне выполнено с помощью армированных в эпоксидных блоках токоведущих элементов, включающих входной и выходной электроды и проводники.

Элегазовая ячейка состоит из полостей, заполняемых элегазом под различным давлением: выключатель, измерительные трансформаторы, разъединители и заземлители. Разъединители имеют электродвигательные привода, а выключатель снабжен пневмоприводом.

В распределительных устройствах 550 кВ применяется схема с двумя системами шин и тремя выключателями на два присоединения.

Как следует из схемы на шесть присоединений необходимо иметь в этой схеме 9 выключателей, т.е. на каждое присоединение приходится полтора выключателя (поэтому схема носит название «полуторной» или «3/2 выключателя на цепь»).

Достоинства схемы: высокая надежность и гибкость, при ревизии любого выключателя все присоединения остаются в работе, схема позволяет производить опробование выключателей в рабочем режиме без операций разъединителями, количество необходимых операций разъединителями в течение года для вывода в ревизию поочередно всех выключателей, разъединителей и сборных шин в этой схеме значительно меньше, чем в схеме с двумя рабочими и обходной системами шин.

Недостатки схемы, отключение КЗ на линии двумя выключателями, что увеличивает количество ревизий выключателя, удорожание конструкций РУ в связи с увеличением числа выключателей, особенно при нечетном числе присоединений, так как каждая цепь должна присоединяться через два выключателя, снижение надежности схемы, если количество линий не соответствует числу трансформаторов. В этом случае к одной цепочке из 3 выключателей присоединяется две линии, поэтому возможно аварийное отключение одновременно двух линий, номинальный ток выключателей определяется режимом ремонта одного из выключателей, когда по смежному с ремонтируемым выключателю может протекать ток двух присоединений, усложнение релейной защиты, увеличение количества выключателей.

### Литература

Неклепаев Б. Н., Крючков И. С. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 456 с., ил.

### СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Голота А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

Сверхпроводимость – это способность вещества пропускать ток, не оказывая ему ни малейшего сопротивления.

Явление, заключающееся в полном исчезновении электрического сопротивления проводника при его охлаждении ниже критической температуры, было открыто в 1911 году, однако практическое использование этого явления началось в середине шестидесятых годов, после того как были разработаны сверхпроводящие материалы, пригодные для технических применений.

Сверхпроводимость — физическое явление, наблюдаемое у некоторых веществ (сверхпроводников), при охлаждении их ниже определенной критической температуры Тк, и состоящее в обращении в нуль электрического сопротивления постоянному току и выталкивания магнитного поля из объема образца.

Основой для открытия явления сверхпроводимости стало развитие технологий охлаждения материалов до сверхнизких температур. В 1877 году французский инженер Луи Кайете и швейцарский физик Рауль Пикте независимо друг от друга охладили кислород до жидкого состояния. В 1883 году Зигмунт Врублевски и Кароль Ольшевски выполнили сжижение азота. В 1898 году Джеймсу Дьюару удалось получить и жидкий водород. В 1911 году голландский физик X. Камерлинг-Оннес открыл явление сверхпроводимости.

Открытие высокотемпературных сверхпроводников, критическая температура которых с запасом превышает температуру кипения жидкого азота, принципиально меняет экономические показатели сверхпроводниковых устройств, поскольку стоимость хладоагента и затраты на поддержание необходимой температуры снижаются в 50-100 раз. Кроме того, открытие высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) сняло теоретический запрет на дальнейшее повышение критической температуры с 30 вплоть до комнатной.

Сверхпроводимость исчезает под действием следующих факторов: повышение температуры, действие достаточно сильного магнитного поля, достаточно большая плотность тока в образце, изменение внешнего давления.

В 1913г. немецкие физики Мейснер и Оксенфельд решили экспериментально проверить, как именно распределяется магнитное поле вокруг сверхпроводника. Результат оказался неожиданным. Независимо от условий проведения эксперимента магнитное поле внутрь проводника не проникало. Поразительный факт заключался в том, что сверхпроводник, охлажденный ниже критической температуры в постоянном магнитном поле, самопроизвольно выталкивает это поле из своего объема, переходя в состояние, при котором магнитная индукция B=0, т.е. состояние идеального диамагнетизма.

Бардин, Купер и Шриффер в 1957г. построили долгожданную микроскопическую теория сверхпроводимости. Эта теория, известная сегодня под названием «теория БКШ», не только позволила с уверенностью сказать, что механизм сверхпроводимости действительно ясен, но и впервые привела к установлению связи между критической температурой Тк и параметрами металлов.

Каждый электрон несет с собой определенное количество энергии, которая измеряется в электрон-вольтах, это внесистемная единица измерения, но используется в атомной и ядерной физике, в физике элементарных частиц и в других близких областях науки. Запрещённая зона — область значений энергии, которыми не может обладать электрон в идеальном кристалле. То есть, это такая зона, через которую не может проходить электрон, иначе ему придется находиться между валентной зоной и зоной проводимости.

Наличие энергетической щели в электронном спектре считалось характерным признаком сверхпроводимости без энергетической щели — бесщелевая сверхпроводимость. Существование щели само по себе вовсе не является обязательным условием проявление сверхпроводящего состояния. Тем более что бесщелевая сверхпроводимость, как оказалось явление не столь уж и редкое. Главное — это наличие связанного электронного состояния — куперовской пары. Именно это состояние может проявлять сверхпроводящие свойства и в отсутствии энергетической щели.

Эффект Джозефсона – явление протекания сверхпроводящего тока через тонкий слой диэлектрика, разделяющий два сверхпроводника. Такой ток называют джозефсоновским током, а такое соединение сверхпроводников – джозефсоновским контактом.

Существует несколько критериев для классификации сверхпроводников: по отклику на магнитное поле (сверхпроводники I и II рода), по их критической температуре (низкотемпературные и высокотемпературные), по материалу (чистый химический элемент, сплавы, керамика и органические сверхпроводники).

Преимущества высокотемпературных сверхпроводников: резкое снижение затрат на охлаждение, высокое значение критических параметров, повышение стабильности

Сверхпроводимость может использоваться в самых разных сферах. Впервые она была применена при создании магнитов с высокими полями. С помощью сверхпроводников может быть обеспечена магнитная левитация, позволяющая высокоскоростным поездам двигаться плавно, без шума и трения. Создаются ВТСП электродвигатели ДЛЯ промышленности, которые обладают существенно меньшими массогабаритными параметрами при равной мощности. Сверхпроводимость интересна с точки зрения микроэлектроники и компьютерной техники. Низкотемпературные сверхпроводники применяются в медицинских диагностических аппаратах (томографах), и даже в таких проектах, как большой адронный коллайдер и международный термоядерный реактор.

Одно из самых очевидных применений сверхпроводников связано с передачей электроэнергии. ВТСП кабели могут передавать значительную мощность при минимальном сечении, то есть обладают пропускной способностью другого порядка, нежели традиционные кабели. При прохождении тока через сверхпроводник не выделяется тепло, и практически отсутствуют потери, то есть решается главная проблема распределительных сетей.

Для существенного увеличения пропускной способности линий электропередач можно использовать сверхпроводящие кабели. Используя такой кабель, можно получить ряд преимуществ: повышенная пожарная безопасность, снижение потерь, увеличение удельной мощности, высокая плотность потребления; ветвление электрических сетей.

Применение высокотемпературной сверхпроводящей линии дает ощутимые преимущества: защита от каскадных отключений, возможность регулирования потока мощности. Высокотемпературные сверхпроводящие линии тока имеют возможность значительно снизить нагрузки на параллельных и резервных линиях, из-за своей способности пропускания большой мощности. И это одно из главных преимуществ такой системы, ввиду того, что проблема увеличения токов к.з. является весьма важной в крупных городах.

### Литература

Лутинов В. С. Физические основы сверхпроводимости. Учебное пособие для вузов — М.: Высш. шк., 1989.

### МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Ковалевский К.В.

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

Заземлением какой-либо части электрической установки называется преднамеренное соединение ее с заземляющим устройством с целью сохранения на ней достаточно низкого потенциала и обеспечения нормальной работы системы или ее элементов. Различают три вида заземлений: рабочее заземление, защитное заземление для безопасности людей и заземление грозозащиты.

Наличие в эксплуатации большого числа трансформаторов, изоляция которых ухудшена, требует четкой оценки ее состояния до вывода в капитальный ремонт. Такая оценка является целью разработок во многих странах мира методов контроля состояния изоляции трансформаторов, позволяющих определить возможность их дальнейшей работы и ее остаточный ресурс.

Среди причин повреждения изоляции немалую долю занимает увлажнение. Оно не только снижает электрическую прочность изоляции, но и сильно ускоряет процесс старения. Так как непосредственное определение степени старения изоляции при эксплуатации трансформатора затруднительно, общепринятым методом оценки состояния изоляции в работе является определение содержания в ней влаги.

Высокой чувствительностью к наличию влаги в изоляции обладают методы, использующие анализ поляризационных (абсорбционных) явлений в ней. Эти явления проявляются при перераспределении зарядов при изменении приложенного к изоляции напряжения. Оценка увлажненности изоляции с помощью анализа поляризационных процессов основана на выявлении неоднородности ее структуры из-за включений влаги.

Наиболее наглядно электрические свойства неоднородной изоляции представляет схема замещения Максвелла, состоящая из включенных параллельно, так называемой, геометрической емкости (определяемой размерами, конфигурацией изоляции, ее диэлектрической постоянной), не зависящей от неоднородностей, и абсорбционной емкости, состоящей из бесконечного ряда параллельно включенных RC-цепочек, представляющих совокупность взаимных емкостей и сопротивлений утечки неоднородных включений.

Принципиальная возможность оценки даже небольшой увлажненности изоляции на основе анализа поляризационных процессов стимулировала активные разработки таких методов контроля влажности, в том числе проводимых за рубежом в последнее время. Несколько примеров основных применяемых метода контроля: измерение восстанавливающегося на изоляции напряжения после ее заряда и кратковременного разряда, анализ кривых тока заряда и разряда изоляции и анализ зависимости емкости и тангенса угла диэлектрических потерь изоляции от частоты, на которой проводятся измерения.

В настоящее время в разных странах проводятся разработки методов контроля состояния изоляции на основе анализа поляризационных процессов — измерения восстанавливающегося напряжения (RVM), токов заряда и разряда (POC), параметров изоляции на переменном токе — емкости или тангенса угла диэлектрических потерь (FDS).

Чувствительными к увлажнению изоляции и удобными на практике являются измерения тангенса угла диэлектрических потерь и емкости на очень низких частотах (разработанный в самое последнее время метод FDS).

### Литература

Houhannesian V. D., Zaengl W. Диагностика силовых трансформаторов. Поляризационные процессы в изоляции. – Bulletin SEV / VSE, 1996, № 23.

### ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЫБОРЕ АППАРАТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Гапанович А. В.

Научный руководитель – аспирант Шпаковский А. А.

В наше время информация становится важным составляющим элементом всех сфер жизни. Развитие компьютеров и информационных технологий как средств, методов и инструментов обработки информации привело к увеличению технической оснащенности современных промышленных предприятий, увеличение мощности оборудования, усложнение производственных процессов. Всё это объясняет необходимость повышения качества управления технологическими процессами.

При переходе к модернизации компаний, генерирующих электрическую энергию, возникает острая нужда в разработке высокотехнологических информационных решений. Ведь при обновлении оборудования происходит повышение степени его надежной работы, большая экономия топлива, а также уменьшается расход ресурсов на его обслуживание. Поэтому эксперты говорят о необходимости глобального внедрения инновационных технологий в энергетическую сферу.

Применение самых новых технологий электрогенерирующими компаниями позволяет повысить результаты работы, обеспечить стабильность процессов и работы оборудования, а так же повысить генерируемые мощности.

Электроэнергетика, без всяких сомнений, является приоритетной отраслью экономики современных развитых стран, от надежного и эффективного функционирования которой зависят условия жизни их граждан.

Сегодня проводятся масштабные реформы в этой области, направленные на формирование полноценного конкурентного оптового рынка и розничных рынков электроэнергии. В частности, предусмотрено разделение бизнесов генерации, передачи и сбыта электроэнергии, а также вспомогательных производств, создание инфраструктуры этих рынков, включающей системных операторов, администраторов торговой системы, федеральную и региональные сетевые компании.

Сохранение качества и надежности электроснабжения потребителей в рамках новой структуры единой энергетической системы требует организации четкого оперативно-информационного взаимодействия между субъектами рынка и выполнения каждым из них определенных специфических функций и обязанностей. Кроме того, перспектива вхождения в европейскую, а впоследствии и в мировую энергетическую систему зависит от повышения качества и эффективности функционирования практически всех систем автоматического и автоматизированного управления в электроэнергетике. Таким образом, уже на начальном этапе формирования этого рынка необходимо обеспечить опережающее развитие технических и программных средств, способных удовлетворить рост информационных запросов его участников. Очевидно, что сегодня это невозможно без использования новейших компьютерных и информационных технологий, внедрения современного оборудования практически на всех уровнях систем диспетчерского и технологического управления.

В числе первых разработок «РТСофт» на базе технологий Копtron - многофункциональный телемеханический комплекс SMART, предназначенный для создания распределенных систем сбора и передачи информации на энергетических объектах (тепловые и гидростанции, распределительные подстанции различного класса напряжения). В состав ПТК входят четыре основных компонента: телемеханический терминал SMART-КП, коммуникационный сервер «Интегратор», центральная приемопередающая станция (ЦППС) и автоматизированные рабочие места (АРМ) оперативного персонала. Типовая

структурная схема комплекса представлена на рисунке 1. Сбор и передача данных о работе и состоянии технологического оборудования объекта производятся телемеханическими терминалами SMART-КП, распределенными по отдельным технологическим участкам. «Интегратор» играет роль локального сервера системы, обеспечивающего такие функции, как коррекция системного времени, сбор информации, архивирование, интерфейс к рабочим местам, взаимодействие с другими подсистемами энергообъекта. АРМ базируются на стандартных персональных компьютерах офисного или промышленного исполнения со специализированным программным пакетом InTouch фирмы Wonderware (США) для визуализации технологического процесса.

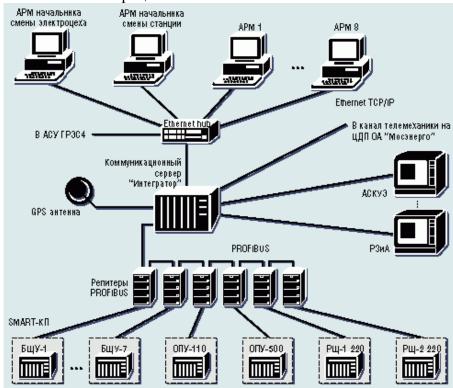


Рисунок 1 - Структурная схема многофункционального комплекса SMART

Все компоненты телемеханического комплекса, рассчитанные на работу в жестких условиях промышленного объекта (электромагнитные помехи, повышенная температура окружающего воздуха, вибрация, запыленность и др.), построены на основе процессорной платформы Motorola и многозадачной операционной системы реального времени (ОСРВ). ЦППС, предназначенные для работы в диспетчерских пунктах энергосистем, обеспечивают прием, обработку и представление оперативному персоналу технологической информации, получаемой по каналам связи от локальных систем сбора и передачи данных на объектах, входящих в состав энергосистемы.

В заключение хотелось бы отметить, что область применения компьютерных технологий в электроэнергетике огромна, мы рассмотрели только некоторые примеры их использования, в основном на самой нижней ступени информационной структуры, т. е. на объектном уровне. Между тем сегодня очень большой интерес проявляется к информационным технологиям, позволяющим оптимизировать технологические процессы генерации, распределения и потребления электрической энергии с целью снижения потерь, увлечения рентабельности, повышения отдачи основных фондов, улучшения финансовых показателей предприятия и др.

### Литература

Чунихин А. А., Жаворонков М. А. Аппараты высокого напряжения: Учебное пособие для вузов. – М.:Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.

### АНАЛИЗ БЕСЩЕТОЧНЫХ ТИРИСТОРНЫХ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Шеметовец Е.В.

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

Бесщеточная система возбуждения — система возбуждения турбогенератора (гидрогенератора, синхронного компенсатора), в которой передача энергии от возбудителя к обмотке возбуждения синхронной машины осуществляется без посредства скользящего шеточного контакта

Бесщеточная систем используется для возбуждения синхронных компенсаторов мощностью 50 MBA и более и турбогенераторов мощностью 1000 MBт и более.

Бесщеточные системы могут быть двух исполнений: положительными и реверсивными. Достоинством бесщеточной системы возбуждения является отсутствие коллекторов, контактных колец и щеток, благодаря чему значительно повышается надежность ее работы и облегчается эксплуатация. Недостатком этой системы возбуждения является необходимость останова машины для подключения резервного возбуждения и замены вышедших из строя выпрямителей и перегоревших предохранителей.

В бесщеточной системе в качестве возбудителя применяют обращенный синхронный генератор переменного тока, сочлененный с валом главного генератора. Обмотка возбуждения возбудителя размещена на статоре, а на роторе – трехфазная или многофазная обмотка переменного тока.

Принцип действия бесщеточной системы возбуждения заключается в следующем. При пуске машины обмотка возбуждения в зависимости от знака переменного напряжения, наводимого на ее зажимах, замыкается либо через неуправляемые вентили и якорную обмотку возбуждения, либо через пусковой тиристор, разрядное сопротивление обмотки якоря возбудителя. По окончании пуска тиристор закрывается, и после подачи сигнала управления на тиристор управляемого преобразователя синхронный возбудитель возбуждается.

Основным силовым звеном бесщеточной системы возбуждения является возбудитель переменного тока, состоящий из обращенного синхронного генератора и вращающегося выпрямителя. Как правило, нагрузкой преобразователей в этих случаях являются обмотки возбуждения электрических машин с большой индуктивностью.

Тиристорные системы возбуждения должны предусматривать возможность гашения поля генераторов и синхронных компенсаторов переводом преобразователя в инверторный режим.

Тиристорная система возбуждения и бесщеточная диодная с постоянной времени 0.5 с при кратности форсирования возбуждения имеют приблизительно одинаковое влияние на статическую и динамическую устойчивость энергосистемы.

Для управления тиристорными системами возбуждения существуют цифровые и цифроаналоговые системы. Такие системы позволяют повысить быстродействие регулятора, а также осуществить комплексное автоматическое управление агрегатом в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах. На базе цифровых систем изготавливаются регуляторы сильного действия, обеспечивающие практически постоянное напряжение на зажимах генератора.

Промышленные тиристорные системы возбуждения универсальны, но имеют высокие массо-габаритные показатели. Работа электродвигателей в тяжелых климатических условиях и в условиях, оказывающих неблагоприятное воздействие на электрическую изоляцию, предъявляют повышенные требования к релейной защите.

Для турбогенераторов мощностью 500 МВт применяется независимая тиристорная система возбуждения с питанием обмотки ротора от вспомогательного синхронного

трехфазного генератора, с преобразователем переменного тока в постоянный с помощью статических тиристорных преобразователей.

Для турбогенераторов мощностью 160 — 800 МВт применяется тиристорная система независимого возбуждения. В качестве возбудителя. Используются синхронные трехфазные генераторы переменного тока. Генераторы имеют замкнутую воздушную вентиляцию, воздух охлаждается охладителями, встроенными в корпус статора. Возбудители имеют два стояковых подшипника скольжения с принудительной смазкой. Возбуждение регулируется автоматическим регулятором.

Использование явления сверхпроводимости может представлять определенный интерес для бесщеточных тиристорных систем возбуждения обычных турбогенераторов большой мощности. В данном случае прочность листовой электротехнической стали ограничивает размеры якоря а, следовательно, и мощность обращенной синхронной машины. Применение сверхпроводящей обмотки позволяет для данной мощности снизить габариты возбудителя или при заданных габаритах существенно увеличить его мощность. Для тиристорного преобразователя необходимо приблизительное поддержание напряжения возбудителя. Сверхпроводящая обмотка возбуждения обеспечивает постоянство магнитного потока, в результате чего напряжение якоря будет приблизительно неизменным.

При электромашинных системах возбуждения кратность потолка напряжения возбуждения обычно соответствует кратности потолка тока ротора. При тиристорных системах возбуждения легко достигается четырехкратный (и более) потолок напряжения возбуждения, что позволяет ускорять нарастание тока ротора до двукратного значения, после чего вступает в действие устройство ограничения форсировки указанным значением.

### Литература

Васильев А. А. Электрическая часть станций и подстанций – М.: Энергоатомиздат, 1990. - 551 с., ил.

Глебов И. А. Электромагнитные процессы систем возбуждения синхронных машин Л.: Наука, 1987. – 344 с., ил.

### НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МТЅ

Емелина А.С.

Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

Компактные трансформаторы MTS, с ферромагнитной обмоткой, совмещающей функции центрального сердечника, пока непривычны, поэтому у специалистов возникают вопросы: каковы нагрузочная способность трансформатора, электродинамические усилия между его частями, излучения помех. В процессе создания новых электромагнитных устройств и систем у многих специалистов накапливаются собственные, часто применяемые лаконичные методы расчетов и описания явлений, универсальные технические и технологические решения, которые обеспечивают разной степени удобства в работе, сокращают сроки и повышают качество ее выполнения. Обмен такой статистической информацией между специалистами важен, так как позволяет уменьшить количество собственных экспериментов и расчетов, снижает уровень погрешностей и количество дорогостоящих ошибок. Для описания новой конструкции трансформатора в данной статье использованы собственные краткие трактовки, которые, может быть, понравятся электротехникам, несмотря на то, что для последовательного изложения пришлось также кратко повторить общеизвестные истины. Здесь рассмотрим только синусоидальные напряжения и токи, так как напряжения и токи с другими временными диаграммами можно свести к сумме синусоидальных. В формулах используем систему единиц измерений СИ.

Научные и практические результаты исследования можно сформулировать в виде следующих выводов:

- 1. Выполнен анализ повреждаемости силовых трансформаторов в системах электроснабжения потребителей резкопеременных нагрузок. Установлено, что аварийность трансформаторов при резкопеременных нагрузках на 70 % выше, чем у таких же трансформаторов, работающих в системах общего назначения.
- 2. В системах электроснабжения резкопеременных потребителей работают трансформаторы общего назначения, которые не рассчитаны на такой характер нагрузки. В этой связи в диссертации разработаны технические требования к трансформаторам, предназначенным для питания резкопеременных пирометаллургических установок типа дуговой сталеплавильной печи.
- 3. С помощью разработанных устройств и методик экспериментального исследования мгновенных параметров выявлено, что нестационарные эксплуатационные режимы трансформаторов имеют сложный, вероятностный характер, где имеют место: несинусоидальность тока со сложным гармоническим составом, включая пульсацию отдельных полупериодов; несимметрия нагрузки по фазам (при коэффициенте несимметрии до 30%), включая чередующиеся и изменяющиеся с модулированной частотой 10 Гц; превышения номинального тока в отдельных фазах до 2,6; наличие технологических коротких замыканий кратностью до 3,2 в количестве до 5 за один технологический цикл; перенапряжения кратностью до 10, вызванные спецификой коммутационной аппаратуры.
- 4. С учетом резкопеременного характера нагрузки исследованы системы прессовки и подпрессовки обмоток силовых трансформаторов. На основании результатов предложена комбинированная система прессовки с одновременной подпрессовкой в процессе эксплуатации с элементами тарельчатого типа и сплавов с памятью.

### Литература

- 1 Казаков В. В. Новые модульные трансформаторы. Москва: Компоненты и технологии, 2006 254 с
- 2 Казаков В. В. Ещё раз о преимуществах трансформаторов MTS. Москва: Компоненты и технологии,  $2006-358\ c.$

3 Немцев Г. И., Казаков В. В. Новые модульные трансформаторы. – Чувашская Республика: Академия электротехнических наук Чувашской Республики, 2006-210 с.

4 Тамм И. Е. Основы теории электричества. – Москва: Наука, 1976 – 550 с.

.

### РАЗНОВИДНОСТИ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ КРУЭ

Воропай М. В.

Научный руководитель – Климентионок А.К.

В связи с ростом городов, укрупнением промышленных предприятий и широкой автоматизацией производственных процессов резко возрастает потребление электроэнергии. При этом возникает необходимость максимального приближения линий 110, 220 и 330 кВ к потребителям. При таких напряжениях допустимые изоляционные расстояния в воздухе между токоведущими частями РУ очень велики. Это приводит к резкому увеличению габаритов как самих РУ, так и зданий и площадей для их установки. Существующие открытые РУ создают большие радиопомехи и звуковые эффекты (выстрелы), связанные с работой воздушных выключателей.

Выходом из этого положения является создание РУ, в которых изоляция осуществляется твердыми и жидкими изоляционными материалами или газами под повышенным давлением. Твердая изоляция распространения не получила по причине того, что надежную изоляцию при переходе от одного элемента РУ к другому трудно обеспечить. Минеральное масло из-за пожароопасности и взрывоопасности не применяется. Другие жидкости (негорючие хлорированные масла) дороги, выделяют хлор. Поэтому наиболее подходящими являются воздух и элегаз. Первый требует высокого давления, а следовательно, большой прочности оболочек. Поэтому элегаз нашел преимущественное применение. Площадь, занимаемая КРУ с напряжением 110, 220 кВ, может быть уменьшена в 10–15 раз за счет использования элегаза. В элегазовых КРУ (КРУЭ) элегаз используется и как изолирующая, и как дугогасящая среда. Заключение в металлические оболочки токоведущих цепей высокого напряжения (экранирование) резко снижает уровень радиопомех. Применение элегазовых выключателей, работающих без выброса газа в окружающую среду, делает работу КРУЭ бесшумной.

Распределительное устройство (РУ) — электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики, телемеханики, связи и измерений.

Комплектное распределительное устройство, состоящее из шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами измерения, защиты и автоматики и соединительных элементов (например, токопроводов), поставляемых в собранном или полностью подготовленном к сборке виде.

К преимуществам КРУЭ можно отнести:

- многофункциональность в одном корпусе совмещены сборные шины, выключатель, разъединители с заземляющими разъединителями, трансформаторы тока, что существенно уменьшает размеры и повышает надежность ОРУ;
  - взрыво- и пожаробезопасность;
  - высокая надежность и стойкость к воздействию внешней среды;
- возможность установки в сейсмически активных районах и зонах с повышенной загрязненностью;
  - отсутствие электрических и магнитных полей;
  - безопасность и удобство эксплуатации, простота монтажа и демонтажа.

### Литература

Васильев А. А. Электрическая часть станций и подстанций. – М.: Энергоиздат, 1990 г. – 551 с., ил.

### ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ

Комиссаров М.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

Вейвлеты относительно независимо были предложены в квантовой физике, физике электромагнитных явлений, математике, электронике и сейсмогеологии. Междисциплинарные исследования привели к новым приложениям данных методов, в частности, в сжатии образов для архивов и телекоммуникаций, в исследованиях турбулентности, в физиологии зрительной системы, в анализе радарных сигналов и предсказании землетрясений.

Вейвлет-анализ представляет собой особый тип линейного преобразования функций из некоторого достаточно широкого класса. Базис собственных функций, по которому проводится разложение, обладает многими специальными свойствами. Правильное применение этих свойств позволяет исследователю сконцентрировать внимание на тех или иных особенностях анализируемого процесса, которые не могут быть выявлены с помощью традиционно применяемых преобразований Фурье и Лапласа.

Вейвлет-преобразование имеет много общего с преобразованием Фурье. В то же время имеется ряд существенных отличий.

Вейвлет-анализ по существу представляет собой семейство функций, реализующих различные варианты соотношения неопределенности и предоставляющих исследователю возможность гибкого выбора между ними. Фурье-анализ и его модификации (дискретное косинусное преобразование и прочие) такими свойствами не обладают.

Большинство ограничений, накладываемых на вейвлет, связано с необходимостью иметь обратное преобразование. Основные ограничения:

- локализация;
- ограниченность;
- нулевое среднее;
- автомодельность базиса.

При локализации вейвлет-преобразование использует базисную функцию, локализованную в пространстве времен и частот. Функции, не стремящиеся к нулю за пределами некоторой ограниченной окрестности, не могут являться вейвлетами.

Для очистки сигнала от шума применяется последовательно:

- прямое вейвлет-преобразование;
- зануление незначимых коэффициентов преобразования с порогом, пропорциональным амплитуде шума;
  - обратное вейвлет-преобразование.

Пороговое обрезание коэффициентов вейвлет-преобразования не влияет на структуру сигнала, сильно понижая шум. Вейвлет-преобразование близко к «идеальному» проектору, сохраняющему те и только те коэффициенты, для которых сигнал превышает шум.

Огромное значение имеет задача разработки приложений, использующих вейвлетанализ – как в перечисленных областях, так и во многих других, перечислить которые просто не представляется возможным.

Коэффициенты вейвлет-преобразований используются для построения статистических моделей турбулентности.

Приложения методов глубокой компрессии и качественного восстановления сигналов при помощи вейвлет-преобразований охватывают не только область телекоммуникаций, но и емких архивов видео и телеинформации.

# ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ ЗОН МОЛНИЕЗАЩИТЫ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Яблонский О. В., Баран А. Г.

Научный руководитель – аспирант Шпаковский А.А.

Молниезащита — это система мер по предотвращению и нейтрализации опасных проявлений атмосферного электричества, которые защищают здания, сооружения, материалы от пожаров, взрывов и разрушений. К частям, подлежащим заземлению, относятся металлические части оборудования, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением при перекрытии или пробое изоляции.

Наиболее опасным является прямой удар молнии, так как при этом происходит непосредственный контакт молнии с объектом, в результате индукции возникают токи высокого напряжения на металлических с изолированных от земли предметах. Это приводит к искрению между ними и заземленными металлическими элементами конструкций и оборудования.

От прямых ударов молнии сооружения защищают молниеотводами, которые воспринимают молнию и отводят ее ток в землю. Молниеотвод состоит из трех частей: молниеприемника, токоотвода и с заземлителя.

Значение импульсного сопротивления заземления должно быть не более 10 Ом. Для защиты от индукции все расположено горизонтально, металлическое оборудование соединяют между собой так, чтобы оно представляло собой единую и непрерывную электрическую цепь, заземляют в нескольких местах. Объекты и сооружения или их части в зависимости от назначения, интенсивности, грозовой деятельности, а также, от ожидаемого количества поражений молнией в год, должны быть защищены в соответствии с категорией ул. обустройство молниезащиты и типа зоны защиты (А или Б). Молниезащита объектов первой категории и складов взрывчатых материалов должна устраиваться с типом зоны защиты А, независимо от грозовой активности. Зона защиты — это часть пространства, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности.

Программный комплекс Model Studio CS Молниезащита предназначен для расчета и трехмерного интерактивного проектирования молниезащиты зданий, сооружений и открытых территорий. Помимо решения задач молниезащиты, программа позволяет выполнять компоновку всего объекта: в этом приложении доступен весь инструментарий Model Studio CS для трехмерного проектирования.

Model Studio CS Молниезащита - многофункциональная программа для расчета и трехмерного интерактивного проектирования молниезащиты зданий, сооружений и открытых территорий. База данных оборудования, изделий и материалов встроена в среду проектирования и не требует вызова дополнительного программного обеспечения. Model Studio CS Молниезащита содержит все инструменты, необходимые для работы с базой: поиск (простой или сопровождающийся предварительно заданными условиями), работа с предопределенными выборками и классификаторами.

Программа Model Studio CS Молниезащита работает в среде AutoCAD версий от 2007 до 2010, а также программных средств, в состав которых AutoCAD включен: AutoCAD Architecture, AutoCAD Civil 3D, AutoCAD MEP. Model Studio CS Молниезащита значительно расширяет возможности платформы AutoCAD, делая работу инженера более комфортной и эффективной. Данная программа позволяет решать следующие задачи: компоновочное решение объекта, требующего молниезащиты; построение горизонтального сечения зон молниезащиты на заданной высоте; формирование и выпуск полного комплекта проектной документации; табличная проектная документация с рамками, штампами, эмблемами и другими элементами (в форматах Microsoft Word, Microsoft Excel, AutoCAD, адаптируемых

под стандарт проектной организации).

При размещении молниеприемника, взятого из базы данных или со-зданного с помощью специализированной команды, зона молниезащиты автоматически строится по правилам, сформулированным в нормативных документах. Выбор зон защиты ведется в строгом соответствии с положениями действующих норм и стандартов. Для удобства работы с моделью предусмотрен виртуальный спецификатор — всегда доступное для просмотра специальное диалоговое окно, где состав модели отображается в виде таблицы заданной формы (при необходимости пользователь программы Model Studio CS Молниезащита может задать собственный вариант таблицы).

Комплекс Model Studio CS Молниезащита позволяет нажатием одной кнопки формировать спецификации, экспликации, ведомости, сохраняя их в наиболее востребованных форматах (Microsoft Word, Microsoft Excel, RTF), а также непосредственно на чертеже в AutoCAD (DWG).

### Литература

Построение зон молниезащиты [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.news.elteh.ru, свободный. – Загл. с экрана.

### ТЕРМИНАЛЫ ДУГОВЫХ ЗАЩИТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Масюкевич С.В., Мельник Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

Цель дуговой защиты определить дуговое замыкание и минимизировать время горения дуги, защищая тем самым людей и оборудование.

Дуговая защита шин применяется для защиты сборных шин и элементов ошиновки распределительных устройств 6–10 кВ, размещенных в закрытых отсеках (КРУ или КРУН).

Для исключения ложного срабатывания защиты при случайном открытии люка или при вспышке света, не связанной с появлением дуги, применяется блокировка защиты по току питающих элементов: ввода трансформатора и секционного выключателя.

В настоящее время ряд отечественных и зарубежных разработчиков и производителей предлагают для электроэнергетических и промышленных предприятий технические решения защиты от дуговых КЗ, реализующие в основном контроль параметров тока и светового потока.

Дуговое КЗ сопровождается как изменением параметров и характеристик электрической сети (ток, напряжение, сопротивление), так и существенным повышением температуры, давления, электропроводимости и теплового (светового) излучения внутри отсеков КРУ.

Достаточно простым техническим решением для защиты от дуговых КЗ является применение максимальной токовой защиты (МТЗ).

Оценка чувствительности защит, использующих оптические датчики информации, показывает, что их чувствительность достаточна практически для всех типов КРУ, подключаемых к трансформаторам мощностью 2,5 МВА и выше.

Сравнение способов построения дуговых защит КРУ показывает, что наиболее перспективным с позиции получения максимального быстродействия при абсолютной селективности и минимальном количестве информационных признаков является способ контроля освещенности (светового потока) внутри отсеков.

Оптико-электрические дуговые защиты по типу используемых датчиков можно разделить на две группы: с полупроводниковыми фотодатчиками и с ВОД.

Дуговая защита КРУ должна строиться с учетом его конструктивных особенностей и типов коммутационных аппаратов.

Терминалы защиты трансформатора RET 541/543/545 предназначены для использования в распределительных сетях для защиты, управления и мониторинга двухобмоточных силовых трансформаторов и блоков генератор - трансформатор.

Микропроцессорные терминалы типа БЭ2502A02XX предназначены для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации секционного выключателя в сетях с напряжением 6-35кВ.

Терминалы защиты, автоматики и управления электродвигателем осуществляют функции трехступенчатой направленной МТЗ от междуфазных повреждений с пуском по напряжению, 3ОЗЗ, защиты от перегрева, защиты от затянутого пуска, защиты от блокировки ротора, ограничения количества пусков, минимальной токовой защиты от потери нагрузки, защиты от обратной мощности, ЗДЗ, ЗМН, ЗНР, УРОВ, АПВ выключателя, АУВ, выполнения команд внешних воздействий АЧР и ПАА.

Микропроцессорные терминалы типа БЭ2502A01XX предназначены для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации линии с номинальным напряжением сети  $6-35~\mathrm{kB}$ .

МР600 – терминал защиты по напряжению и частоте.

Микропроцессорный терминал MP500 предназначен для защиты кабельных и воздушных линий электропередач напряжением 6-35 кB, резервной защиты трансформаторов, объектов малой энергетики.

### Литература

- 1 Нагай В.И. Релейная защита ответвительных подстанций электрических сетей. М.: Энергоатомиздат, 2002. 312 с.
- 2 Нагай В.И., Сарры С.В. Определение чувствительности оптико-электрических защит от дуговых коротких замыканий в комплектных распределительных устройствах напряжением 6–10 кВ // Изв. вузов. Электромеханика. 1999. № 1. C. 48–51.
- 3 Коротков Л.В., Погодин Н.В. Быстродействующая оптическая система дуговой защиты ЗРУ  $6-10~\mathrm{kB}$  // Релейная защита и автоматика энергосистем 2000: тез. докл. XIV научно-технической конференции. М.: ЦДУ ЕЭС России, 2000. С. 48-49.
- 4 Нагай В.И. Сарры С.В., Войтенко А.С. Релейная защита КРУ с контролем светового потока // Промышленная энергетика. -2001. -№ 11. С. 32–36.
- 5 Нагай В.И., Сарры С.В., Войтенко А.С. Быстродействующие релейные защиты КРУ от дуговых коротких замыканий с оптико-электрическими датчиками // Электрические станции. -2002. -№ 3. C. 55–59.

### ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА ТОКОВЫХ ЗАЩИТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Каченя В.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Повышение технического совершенства токовых защит линий распределительных сетей обеспечивается путём введения в алгоритм её функционирования функций определения вида и места короткого замыкания, а также использованием не стандартных устройств защит.

Примером устройств не стандартных защит могут служить реле на магниточувствительных элементах, в частности на герконах. Преимуществом такого принципа выполнения защит является то, что для них не нужны трансформаторы тока, что в свою очередь несёт существенную экономию средств, а также отменяет погрешность обусловленную трансформаторами тока.

Герконы устанавливаются непосредственно возле токоведущего провода, и реагируют на магнитный поток создаваемый током текущим в проводнике. В настоящее время созданы максимальные токовые защиты с независимой от тока выдержкой времени. Однако в ряде случаев такие защиты не удовлетворяют требованиям чувствительности.

Одним из направления совершенствования токовых защит является использование информации о месте повреждения, которая может быть получена путем анализа величины относительного значения расстояния от места установки защиты до точки повреждения. В Белорусском Национальном Техническом Университете разработан следующий алгоритм, в соответствии с формулой 1:

$$l_{k*} = \frac{(k \cdot I_{k(H)}^{(3)} - I_k) \cdot I_{k(K)}^{(3)}}{\left(I_{k(H)}^{(3)} - I_{k(K)}^{(3)}\right) \cdot I_k},\tag{1}$$

где k – коэффициент, зависящий от вида повреждения; при трёхфазном КЗ k=1 , а при двухфазных  $k=0,5\cdot\sqrt{3};\;I_{k({\rm H})}^{(3)},\;I_{k({\rm K})}^{(3)}$  — токи при трёхфазных повреждениях соответственно в начале и конце линии;  $I_k$  среднее значение из трёх или двух токов фаз для соответствующего вида КЗ.

Если  $l_{k^*} \le 1$ , то K3 находится на защищаемой линии и ее можно отключать без выдержки времени. Когда  $l_{k^*} > 1$ , то местом КЗ является смежная линия и отключение ее защитой должно производиться с выдержкой времени. Таким образом контролируя в режиме КЗ только одни параметр, а именно протекающий по линии ток КЗ, вполне возможно определить место повреждения с погрешностью, абсолютное значение которой не превышает 15 %.

Также увеличить техническое совершенство токовых защит можно увеличив зону мгновенного отключения ТО для двухфазных КЗ путём выявления несимметричных КЗ и изменением соответствующим образом тока срабатывания первой ступени, в соответствии с формулой 2:

$$I_{c3} = k_{\text{orc}} \cdot I_{\kappa_3 \text{ min}}^{(2)},$$
 (2)

 $I_{\rm c3} = k_{\rm orc} \cdot I_{\rm K3\;min}^{(2)},$  (2) где  $I_{\rm K3\;min}^{(2)}$  – минимальное значение тока трехфазного КЗ;  $k_{\rm orc}$  – коэффициент отстройки. Для реализации этого метода в Белорусском Национальном Техническом Университете разработан следующий алгоритм выявления несимметричных КЗ, в соответствии с формулой 3:

$$\Delta I = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{min}}},\tag{3}$$

где  $I_{\rm max}$  — максимальное действующее значение тока;  $I_{\rm min}$  — минимальное действующее значение тока.

В результате исследований методом вычислительного эксперимента формула 3 позволяет чётко выявить режим двухфазных металлических КЗ как на контролируемой, так и на смежной линиях. При этом время определения вида повреждения на защищаемой линии зависит от места его возникновения и не превышает одного периода промышленной частоты.

### Литература

- 1. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем / А. М. Федосеев. М.: Энергоатомиздат, 1984. С. 123–124.
- 2. Романюк, Ф. А. Определение места повреждения на линиях напряжением 6–35 кВ / Ф. А. Романюк, М. А. Шевалдин // Энергетика... ( Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объеденений СНГ). -2014. № 5. С. 5–13.
- 3. Романюк, Ф. А. Определение вида повреждения на линиях распределительных сетей в объеме функционирования микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, Е. В. Булойчик // ( Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объеденений СНГ). − 2011. № 4. С. 5–10.

### МЕТОДЫ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Валенто А.Е.

Научный руководитель – ассистент Бычков М.М.

В практике научных и технических расчетов встречаются задачи, требующие в качестве решения получения поля распределения в двух или трехмерном пространстве той или иной величины. Простейшим примером может служить расчет поля температур в футеровке печи. При решении данной задачи инженерными методами моделируемая область сводится простейшему объекту — участку бесконечной в двух направлениях среды со стабильными свойствами. В двумерной постановке у данной поверхности появляются края со своими граничными условиями, что заставляет перейти к двумерности в постановке задачи, и, наконец, такой сложный объект как, например, футеровка дуговой сталеплавильной печи может быть обсчитан сразу, без разбиения на несколько простых объектов, только в трехмерной постановке.

Примерами задач, требующих полевого решения являются также расчет сложных гидродинамических и газодинамических явлений при обтекании воздухом крыла самолета или исследование работы лопаток турбины и гребного винта судна. Важными задачами являются расчет поля температур в работающем электрическом аппарате или электрическом двигателе, исследование индукционного нагрева деталей сложной поверхности, расчет параметров проводников коротких сетей дуговых печей, исследование, наконец, явлений, происходящих при ядерных взрывах.

Среди существующего многообразия программных продуктов предназначенных для решения полевых задач можно выделить три универсальных пакета такого рода. Во-первых, это ANSYS - один из первых пакетов конечно-элементного анализа, во-вторых, Femlab интегрируемый в Matlab новейший пакет для решения полевых задач, и, в-третьих, Elcut – моделирования практически единственный отечественный пакет, пригодный электротехнологических установок. Bce три пакета являются универсальными (предназначены для решения различных типов полевых задач), позволяют решать линейные и нелинейные задачи, и обладают примерно одинаковой точностью и возможностями.

Среди рассматриваемых программ Elcut на первый взгляд обладает ограниченными возможностями по сравнению с другими программами. Однако некоторые ограничения достаточно легко преодолеваются. Например, Elcut не позволяет моделировать трехмерные объекты, однако существует множество объектов являющихся с точки зрения геометрии телами вращения, а осесимметричные задачи с помощью Elcut решаются и дают те же результаты, что и в трехмерной постановке. Наиболее серьезным же недостатком Elcut является то, что в этой программе на сегодняшний день отсутствует возможность одновременного решения полевых задач (например, электромагнитной и тепловой). Это не позволяет автоматически учитывать изменение свойств материалов в процессе расчета. К примеру, нельзя учесть изменение магнитной проницаемости металла при изменении его температуры. Данный недостаток можно частично преодолеть, разбив временной отрезок, на котором производится тепловой расчет, на несколько отдельных участков. На каждом из таких участков необходимо предварительно решать электромагнитную задачу с новыми значениями свойств материалов. Преимуществом же Elcut безусловно является наличие русскоязычной версии, документации на русском языке, большое количество примеров, поставляемых с программой, а также развитые возможности по обработке результатов расчета (расчет индуктивностей, емкостей, усилий и т.п.).

Пакет ANSYS обладает наибольшим числом достоинств. Это единственный пакет среди перечисленных, позволяющий моделировать переход материала из твердого состояния в жидкое и наоборот (фазовый переход). Однако сложность интерфейса программы, большое число параметров ее настройки и почти полное отсутствие учебников по программе на

русском языке затрудняют ее использование. Пакет Femlab соединяет в себе достоинства двух других пакетов. Он обладает простым и понятным интерфейсом, как Elcut, и имеет практически те же расчетные возможности, что и ANSYS. Кроме этого Femlab является инструментом (toolbox) пакета Matlab и работает под его управлением. Это означает, что все возможности программирования, доступные в Matlab, могут быть использованы и в Femlab (например, при обработке результатов расчета). Еще одним огромным достоинством Femlab является возможность экспорта конечно-элементной модели в Simulink (инструмент моделирования динамических систем, встроенный в Matlab). Это позволяет моделировать не только простейшие внешние электрические цепи, но и работу установки совместно с преобразователями электрической энергии, системами управления, исследовать частотные характеристики и устойчивость электротехнологической установки и т.п.

### Литература

Молниеотвод с упреждающей стримерной эмиссией [Электронный ресурс] / Сайт содержит информацию о различном электрооборудовании. – Режим доступа: http://www.electrika.by/component/content/article/54/111, свободный. – Загл. с экрана.

### ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПЕРЕРЫВА ПИТАНИЯ НА УСПЕШНОСТЬ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Гавриелок Ю.В., Башаркевич Я.В., Баран А.Г. Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

В работе выполнено исследование влияния времени перерыва питания на успешность самозапуска электродвигателей 6 кВ собственных нужд Светлогорской ТЭЦ с помощью программы SAMOSAPU, разработанной на кафедре «Электрические станции» БНТУ.

При отключении питания напряжение на секции с неотключенными двигателями исчезает не сразу, а за счет электромагнитной и кинетической энергии, запасенной двигателями, затухает за время 1–1,5 с. Участвующие в групповом выбеге двигатели механизмов с большим моментом инерции (вентиляторы, дымососы) работают в этом случае в режиме генераторов, отдавая часть энергии двигателям механизмов с меньшим моментом инерции, работающим в двигательном режиме.

Частота затухающего напряжения при групповом выбеге по мере торможения двигателей уменьшается со скоростью примерно 4–7  $\Gamma$ ц/с. Групповой выбег продолжается до снижения напряжения на секции до  $(0,25-0,2)U_{\rm Hom}$ , после чего все двигатели останавливаются. Из-за снижения частоты затухающего напряжения оно быстро отстает по фазе от напряжения сети. Уже через 0,3–0,4 с с момента отключения питания секции угол расхождения напряжения достигает  $180^\circ$ . При этом разность напряжений на секции и в сети может достигнуть  $(1,6-1,8)U_{\rm Hom}$ . При самопроизвольном или ошибочном отключении рабочего питания, а в некоторых случаях и при действии защит с малой выдержкой времени напряжение на секцию от ABP подается через 0,4–0,5 с, т. е. в момент противофазы. Несмотря на это, переходные токи в двигателях близки к нормальным пусковым токам. Это является следствием значительного падения напряжения в источнике резервного питания от одновременного самозапуска мощной группы двигателей. Поэтому повреждений двигателей при самозапуске от динамических усилий в обмотках не наблюдается.

Самозапуск двигателей до нормальной частоты вращения происходит каскадно. Первыми заканчивают разбег двигатели механизмов с легкими условиями пуска, например, циркуляционных (ЦЭН), конденсатных насосов. Благодаря снижению пусковых токов этих двигателей до номинальных напряжение на секции повышается, что облегчает разбег других двигателей: питательных насосов (ПЭН), дымососов (Д), дутьевых вентиляторов (ДВ) и т. д. Для облегчения самозапуска все неответственные двигатели при снижении напряжения на шинах СН до  $(0.6-0.7)U_{\rm ном}$  отключаются защитой минимального напряжения с выдержкой 0.5 с. Каскадный разбег двигателей позволяет обеспечить их самозапуск при начальном напряжении несколько ниже того, которое требуется для двигателей механизмов с тяжелыми условиями пуска.

Чем более кратковременный перерыв питания, тем меньше двигатели успевают затормозиться, тем меньше их пусковые токи и больше начальное напряжение на шинах после включения резервного питания и, следовательно, тем быстрее самозапуск двигателей. Поэтому следует по возможности сокращать время действия защит и ABP на собственных нуждах. Предельно допустимая продолжительность перерыва ограничивается также режимом работы котлоагрегата. Перерыв более 3 с вызывает такое снижение частоты вращения тягодутьевых механизмов, при котором факел в топке может погаснуть. Одновременное последующее восстановление работы тягодутьевых механизмов и питателей топлива может привести к взрыву в топке котла. При перерывах питания СН на 4 с и более работа котлоагрегата нарушается, и самозапуск двигателей не только не имеет смысла, но даже и недопустим.

Для успешности самозапуска начальное напряжение на шинах СН должно быть достаточным, чтобы создать избыточный момент для разбега всех основных двигателей, а продолжительность разбега двигателей, зависящая как от начального напряжения, так и скорости его восстановления, не должна превышать предельно допустимую.

К числу основных электродвигателей на ТЭЦ относятся следующие: электродвигатели мазутных, тягодутьевых, питательных, конденсатных, циркуляционных насосов. Все они являются ответственными механизмами и требуют наличия резервного источника питания.

В результате выполнения вычислительного эксперимента с помощью компьютерной программы SAMOSAPU, установлено, что наибольший скачок тока на секции наблюдается уже при перерыве питания на  $0.11\,\mathrm{c}$ , что является следствием снижения частоты затухающего напряжения, которое быстро отстает по фазе от напряжения сети. За это время угол расхождения напряжения достигает  $180^\circ$ .

Предельное время отключения для исследуемых электродвигателей составило 1,21 с. При таком перерыве питания при КЗ на секции А самозапуск электродвигателей циркуляционных насосов ЦН-2 оказывается неуспешным.

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ И ИХ КОНСТРУКЦИИ

Семёнов Н. Н.

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

Силовой кабель применяют при передаче электрической энергии в быту и на производстве от источника к приборам и оборудованию. Силовые кабели различают по конструкции, которая определяет цели и условия его использования.

Независимо от типа кабеля и сложности его строения основные элементы, которыми обладает силовой кабель – это жила, изоляция и оболочка.

Чаще всего силовой кабель служит для стационарной прокладки, когда радиус его изгиба определен, и при отсутствии значительных изгибов и смещений при его эксплуатации. Токопроводящие жилы силового кабеля имеют гибкость класса 1 или 2, и могут быть однопроволочными или состоящими из нескольких проволок. Кабели с многопроволочными жилами более гибкие, класс их гибкости 5—6.

Силовой кабель для проводки способен выдерживать напряжение до 660 В.

Изоляцию силового кабеля выполняют из таких материалов, как пропитанная кабельная бумага, резина или пластмасса. Она должна выдерживать повышенные переменные температуры, возникающие от изменяющихся нагрузок, от перегрузок и токов короткого замыкания.

Силовые кабели состоят из следующих основных элементов: токопроводящих жил, изоляции, оболочек и защитных покровов.

Силовые кабели различают: по роду металла токопроводящих жил – кабели с алюминиевыми и медными жилами, по роду материалов, которыми изолируются токоведущие жилы, кабели с бумажной, с пластмассовой и резиновой изоляцией, по роду защиты изоляции жил кабелей от влияния внешней среды – кабели в металлической, пластмассовой и резиновой оболочке, по способу от механических повреждений – бронированные и небронированные, по количеству жил – одно-, двух-, трех-, четырех- и пятижильные.

Токопроводящие жилы изготовляют из медной проволоки марок ММ (мягкая) и МТ (твердая) и алюминиевой марок АМ (мягкая), АПТ (полутвердая), АТ (твердая) и АТП (повышенной твердости).

Проволоку скручивают в стренгу (часть гибкой многопроволочной жилы, скрученная из нескольких проволок) или в жилу. При правильной скрутке проволока в жиле, в стренге, а также стренги в жиле должны прилегать друг к другу, при этом не должно быть перекрещиваний проволок или стренг, расположенных в одном повиве.

Силовые кабели удобно классифицироваться по номинальному напряжению, на которые они рассчитаны. Классификационными признаками могут служить также вид изоляции и конструктивные особенности кабелей.

Все силовые кабели по номинальному рабочему напряжению можно условно разделить на две группы. В группу низкого напряжения включены кабели, предназначенные для работы в электрических сетях с изолированной нейтралью переменного напряжения 1, 3, 6, 10, 20 и 35 кВ частотой 50 Гц. Эти же кабели могут быть использованы с заземленной нейтралью и в сетях постоянного тока. Такие кабели выпускаются с бумажной пропитанной, пластмассовой и резиновой изоляцией, причем наиболее перспективным видом изоляции является пластмассовая. Кабели с пластмассовой изоляцией более просты в изготовлении, удобны при монтаже и эксплуатации.

Маркировка силовых кабелей обычно включает буквы, обозначающие материал, из которого изготовлены жилы, изоляция, оболочка, и тип защиты покрова. Маркировка кабелей высокого напряжения отражает также особенности его конструкции.

Силовой кабель находит применение в самых разных отраслях — он задействован в схемах передачи и распределения электроэнергии при прокладке требующей повышенной надежности бытовой и промышленной проводки, включая высоковольтные линии передач.

# КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВ С ЭЛЕГАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ТИПА 8DN8

Михалькевич С.И.

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

Ячейки КРУ, обладают высокой стойкостью, к дуговым воздействиям, при возникновении аварии внутри шкафа, что способствует минимизации ущерба, и надежно защищает обслуживающий персонал от воздействия электрической дуги, внутренний объем ячейки, разделен на четыре функциональных изолированных отсека, несгораемыми металлическими перегородками, которые надёжно локализуют дугу, в пределах одного отсека, три отсека имеют каналы, для организации направленного выброса газов вверх, что обеспечивает безопасность обслуживающего персонала.

Три отсека имеют каналы, для организации направленного выброса газов вверх, что обеспечивает безопасность обслуживающего персонала, в качестве дуговой защиты, в базовом исполнении применяются концевые выключатели, и клапаны сброса избыточного давления, по дополнительному заказу возможно применение оптоволоконной или фототиристорной системы дуговой защиты, что позволяет максимально быстро отключить поврежденный участок цепи, тем самым снизить время, разрушающего воздействия электрической дуги.

Схемы вспомогательных цепей шкафов КРУ, могут быть выполнены, на различных микропроцессорных устройств защиты, управления, автоматики и сигнализации, учёт электроэнергии, может выполняться, на электронных, или многофункциональных микропроцессорных счётчиках, электрической энергии, существует возможность интеграции, распределительного устройства.

Для защитного заземления станций и подстанций всех напряжений используется общее заземляющее устройство. Общий заземлитель используется также и для рабочего заземления.

Для защиты персонала, от выбросов продуктов, горения дуги, в коридор обслуживания, двери отсеков ВЭ и присоединений, оснащаются дополнительными защитными металлическими экранами, устанавливаемыми с внутренней стороны шкафа.

Благодаря широкой функциональности, и гибкой архитектуре шкафов, в жизнь могут воплощаться, самые сложные схемные решения, обеспечивая при этом высокий уровень, удобства эксплуатации и обслуживания оборудования.

Наличие тех или иных элементов сигнализации, и управления зависит от того, какое оборудование установлено в шкафу, и какие защиты для него необходимы, разделение шкафа, на несколько независимых отсеков, позволяет локализировать внезапно возникшую аварию, не допустить ее распространение, а также обеспечивает удобство, и безопасность обслуживания ячейки, комплектного РУ.

Существует, еще одно неоспоримое, преимущество комплектных РУ: разделение ячейки, перегородками на несколько отсеков, перегородки разделяют друг от друга отсеки, сборных шин, высокого напряжения, электрических аппаратов, цепей вторичной коммутации, устройств управления, и защиты, релейный отсек ячейки. на лицевой панели, релейного отсека, верхняя часть шкафа, расположены элементы, управления, и сигнализации: накладки, ключи управления, переключатели, указательные реле и сигнальные лампы.

#### Литература

Рябкова Е. Я. Комплектные распределительные устройства. – М.: Энергия, 1978 г. – 224 с., ил.

## ПЕРЕДВИЖНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Мамончик А.Н., Баран А.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

Трансформатор — это статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки на каком-либо магнитопроводе и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем (напряжений) переменного тока в одну или несколько других систем (напряжений), без изменения частоты.

Передвижной трансформатор — трансформатор, который можно перевозить по железной дороге или другим видом транспорта, практически без демонтажа узлов и деталей и без слива масла, предназначенный для использования в качестве передвижного резерва

Основные особенности высоковольтных передвижных трансформаторов:

- Модульная концепция для напряжений 345, 400 и 525 кВ;
- Быстрое развертывание;
- Быстрота и простота транспортировки;
- Возможность использования систем на несколько значений напряжения.

Конструкция трансформатора дорабатывается с учетом конкретного применения с целью сокращения объема работ по разборке. Для оптимизации размеров используют броневые трансформаторы. Некоторые преимущества броневых трансформаторов:

- Компактность конструкции, при этом магнитопровод ограждает обмотки, что упрощает выполнение требований по перевозке и погрузке-разгрузке.
- Горизонтальная укладка, что упрощает перевозку и оптимизирует конструкцию трансформатора.

Сварочные трансформаторы серии ТД с механическим регулированием. Основные узлы каждого трансформатора - магнитопровод, первичные и вторичные обмотки, механизм регулирования тока, переключатель диапазонов тока, токоуказательный механизм, кожух. По принципу регулирования – это трансформаторы с подвижными обмотками.

Сварочные трансформаторы серии ТДМ с механическим регулированием. В ближайшие годы эти трансформаторы заменят передвижные трансформаторы серии ТД (ТД-300, ТД-500, ТД-502, ТД-500-4). По принципу регулирования, схеме соединения катушек обмоток и конструктивному исполнению они близки к передвижным трансформаторам серии ТД.

Трансформатор сварочный типа ТДЭ-402. Трансформатор имеет два диапазона регулирования сварочного тока, в пределах диапазона ток плавно регулируется с пульта дистанционного управления.

Тиристорный трансформатор ТДЭ-402 предназначен для ручной дуговой сварки, резки и наплавки металлов специальными электродами с железным порошком в обмазке, а также электродами общего применения.

Сварочные переносные, или облегченные, трансформаторы предназначены для прихваточных и ремонтных работ, а так же для нужд народного хозяйства, выпускаются на напряжение сети 220 и 380 В.

Сварочные трансформаторы для автоматической сварки под флюсом выпускаются в стационарном исполнении, рассчитаны на продолжительный режим, работы при принудительном воздушном охлаждении.

В основу конструкции сварочных трансформаторов серии ТДФ положен трансформатор с магнитным шунтом, подмагничиваемым постоянным током.

Сварочные трансформаторы серии ТДФЖ имеют тиристорное регулирование и обеспечивают импульсную стабилизацию процесса сварки.

Комплексные передвижные трансформаторные подстанции предназначены электроснабжения трехфазным переменным током промышленной других электропотребителей распределительного пункта участка И потребителей, эксплуатируемых в шахтах, опасных по газу или пыли, а также для обеспечения электрических защит линий низшего напряжения. Применение передвижных подстанций позволяет периодически приближать их к электропотребителям и тем самым обеспечивать благоприятные условия работы электроприемников забойного оборудования.

Серийно выпускаемые передвижные подстанции типа ТСВП (рисунок 1) представляют агрегатированную конструктивно собой систему, состоящую ИЗ распределительного устройства 1 высшего напряжения (РУВН), силового трансформатора 2, распределительного устройства 3 низшего напряжения (РУНН) и ходовой тележки 4.

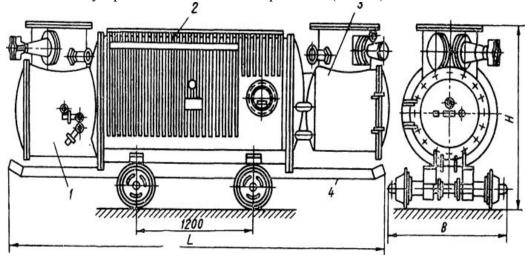


Рисунок. 1 – Передвижная подстанция типа ТСВП.

Переносные, или облегченные, трансформаторы предназначены для прихваточных и ремонтных работ, где продолжительность нагрузки (ПН) не превышает 20-25 %. Передвижные сварочные трансформаторы предназначены для обычных условий работы с ПН = 60 %.

#### АСИНХРОНИЗИРОВАННАЯ СИНХРОННАЯ МАШИНА

Катрич А.Е.

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

Синхронные турбо- и гидрогенераторы способны в определенных пределах регулировать реактивную мощность, однако эти пределы ограничены. В турбогенераторах старых серий потребление реактивной мощности ограничено (иногда исключено). Это ограничение связано с повышенным нагревом, увеличением механических усилий в торцевых зонах статоров, в частности, в крайних пакетах сердечника, а также требованиями по обеспечению условий устойчивости.

Эти требования (нормализации и регулирования уровней напряжения в электрических сетях энергосистем) не могут быть обеспечены только традиционными синхронными рассчитанными турбогенераторами  $(CT\Gamma)$ , номинальный режим работы перевозбуждением (T.e. конденсаторным характером реактивности). Практика c эксплуатации показывает, что серийные СТГ непригодны для работы в режимах недовозбуждения и требуют модернизации.

Необходима либо дополнительная установка в сетях устройств регулирования (статических или электромашинных), реактивной энергии либо установка электростанциях, кроме обычных крупных СТГ, специальных турбогенераторов, роль которых заранее будет определена, как не столько генерирующих систем электроэнергии, как машин, способных устойчиво работать в режимах глубокого потребления реактивной мощности. Во всем мире решение этой проблемы возложено на гидрогенераторы ГАЭС, которые исходно определены для работы в режиме двигатель-генератор. Однако существуют и другие пути регулирования баланса реактивной мощности в энергосистеме. Наиболее перспективным способом регулирования реактивной мощности в сети является установка на электростанциях асинхронизированных генераторов.

Основной отличительной особенностью асинхронизированных машин от обычных синхронных машин является наличие двух (трёх) обмоток возбуждения. В формальном режиме ротор может питаться постоянным или переменным током. При питании постоянным током, в отличие от обычной синхронной машины, осуществляется векторное управление возбуждением, что делает возможным устойчивую работу при любом угле нагрузки вплоть до 180 градусов. При питании ротора переменными токами возбуждения вращается относительно ротора, при этом сохраняется синхронность с полем статора. В результате, появляется возможность работы с переменной частотой вращения турбины, что актуально для гидрогенераторов, а также генераторов ветроустановок. Асинхронизированные турбогенераторы (АСТГ) мощностью от 110 до 320 МВт введены в эксплуатацию и работают в энергосистемах России и Украины. АСТГ позволяют работать не только с выдачей, но и с глубоким потреблением реактивной мощности, тем самым регулируя напряжение на шинах станции в широком диапазоне.

Асинхронизированные турбогенераторы позволяют решать ряд задач, актуальных для современных энергетических систем:

- отказаться от установки шунтирующих реакторов на линиях электропередачи, существенно сократив, таким образом, затраты на нормализацию уровней напряжения;
  - расширить допустимый диапазон регулирования напряжения на шинах станции;
- вывести параллельно работающие синхронные турбогенераторы из неблагоприятных для них режимов работы с высоким коэффициентом мощности близким к 1 (или с потреблением реактивной мощности) в безопасные для них режимы с выдачей реактивной мощности и, тем самым, продлить их срок службы (увеличить межремонтные периоды);
- повысить в целом надёжность эксплуатации энергоблоков электростанции, не только за счёт более высокой живучести АСТГ (работа в резервных режимах при отказах в системе

возбуждения), но также и за счёт повышения надёжности параллельно работающих энергоблоков с синхронными турбогенераторами.

#### Литература

- 1 Поспелова Т. Г. Эффекты применения  $\widehat{FACTS}$  и ACM в повышении эффективности региональных и национальных энергосистем. International conference «Energy of Moldova 2012. Regional aspects of development»
- 2 Абубакиров III. И. Опыт и перспективы использования асинхронизированных гидрогенераторов в проектах ОАО «Институт Гидропроект». Гидротехника, 2010.
- 3 Лабунец И. А. Опыт эксплуатации и перспективы применения в энергосистемах России мощных асинхронизированных турбогенераторов. М: Электро, 2010.
- 4 Манусов В. 3. Особенности параллельной работы ветроэлектростанций и электроэнергетических систем. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2008.

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЭЛЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Овчинникова А.П.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

Элегазовые генераторные комплексы (распределительные устройства) типов HECS разработаны для применения на электростанциях всех видов (АЭС, ТЭС, ГЭС и т. д.). Также они могут быть использованы при модернизации, расширении и (или) автоматизации существующих электростанций. Они производится как для внутренней, так и для наружной установки.

Распределительное устройство имеет 3 полюса элегазового выключателя, укомплектованных конденсаторами и разъединителем, вмонтированные на раму с приводами и оборудованием управления и контроля. В систему могут быть вмонтированы в пофазные оболочки встроенный заземлитель, трансформатор тока либо напряжения и ограничитель перенапряжений.

Современные элегазовые генераторные выключатели АВВ повышают безопасность и эффективность электростанций всех типов во всем мире. Увеличение таких важных показателей работы станций происходит благодаря тому, что применение генераторных выключателей позволяет:

- упростить количество и процесс оперативных переключений;
- увеличить уровень защиты основного оборудования;
- повысить эксплуатационную готовность станции.

На рисунке 1 представлена схема с возможными вариантами оборудования.

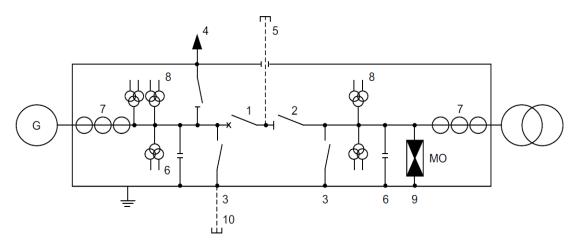


Рисунок 1 – Схема элегазового генераторного комплекса

Стандартная конструкция элегазового генераторного комплекса состоит из следующих частей:

- элегазового выключателя 1 и разъединителя 2;
- заземлителей 3 с одной или обеих сторон (для HECS на одной стороне выключателя можно смонтировать шину для использования в качестве закоротки);
- трансформаторов тока 7 с одной или обеих сторон до трех сердечников на трансформатор (в зависимости от класса);
- трансформаторов напряжения 8 с одной или обеих сторон, с одной или двумя обмотками;
- пускового выключателя 4 для (с пониженным напряжением) пуска газовой турбины через статический преобразователь частоты (SFC);
  - конденсаторов 6 для защиты от перенапряжениис обеих сторон.

Если этого требует планировка электростанции, из стандартного исполнения можно удалить некоторые составные элементы.

Также стандартное исполнение можно расширять следующими опциональными компонентами:

- для HECS: короткозамыкающее соединение 5 в сочетании с заземлителем 3 со стороны генератора или монтируемое вручную (для настройки защиты электростанции)
- для HEC 7/8: короткозамыкающее соединение 10 или стационарно установленное с заземлителем или монтируемое вручную ( для настройки защиты электростанции);

-разрядник 9 со стороны трансформатора.

Трехполюсное элегазовое распределительное устройство с последовательно соединенными выключателем и разъединителем в однополюсных кожухах, поставляется полностью смонтированным на раме, с приводом и с системой управления и контроля.

В дугогасительной камере элегаз используется как для гашения дуги, таки 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.

В выключателе применены отдельные дугогасительные контакты и главные токопроводящие контакты для проведения тока во включенном положении выключателя. Такое решение дает возможность избежать износа (эрозии) главных контактов и гарантировать их токопроводящую способность даже после большого количества операций.

Гидропружинный привод 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 испытанные элементы гидравлической техники, такие как клапаны управления и гидроцилиндры.

Разъединитель имеет телескопически перемещающуюся трубу. Подвижный контакт расположен со стороны вывода, неподвижный — со стороны выключателя. Такое расположение гарантирует свободный доступ и делает более простым техническое обслуживание и ремонт.

Заземлитель и его соединения предназначены для защитного заземления, то есть он рассчитан на полный аварийный ток, но не обладает включающей способностью или способностью длительного пропускания тока.

Заземлитель является конструкцией с рубящим ножом на шарнире, соединённым с кожухом, и с неподвижным контактом на токоведущем контуре.

Короткозамыкатель можно установить между выключателем и разъединителем. Короткозамыкатель и его соединители между полюсами разработаны для проведения испытаний и регулировок системы защиты электростанции. Включение короткозамыкателя создает цепь трехфазного короткого замыкания без земли, которую можно соединить с генератором, включив выключатель.

Конденсаторы для защиты от перенапряжении установлены с обоих сторон выключателя и обеспечивают добавочную защиту от перенапряжении, а также способствуют гашению дуги в выключателе, ограничивая переходное восстанавливающиеся напряжение.

Конденсаторы для защиты от перенапряжений установлены вне кожуха полюса. Только фарфоровые проходные изоляторы проходят во внутренние кожуха полюса.

Все аппараты управления и контроля установлены в *шкафу управления*. Шкаф управления расположен над приводом выключателя и механически не соединен с общей рамой. Активная мнемоническая схема показывает положение и обеспечивает локальное управление выключателем и другими аппаратами. Она находится на панели двери, сзади стеклянных дверей коробки управления.

В шкафу управления установлен также переключатель управления «местное / дистанционное», счётчики числа операции выключателя и пусков насоса привода выключателя.

Весь комплекс, полностью собранный со всем оборудованием, испытывается на заводе. Затем оборудование отправляется на место назначения в виде одного агрегата.

Монтаж на месте установки требует хорошо подготовленного фундамента. Так как оборудование доставляется в виде одного агрегата, собранного целиком и испытанного, время, требующееся для монтажа и ввода в эксплуатацию, очень мало.

На месте нужно только выполнить сварку кожухов полюсов и кожухов шин, присоединить гибкие проводники и выполнить приемочные испытания.

Генераторные выключатели HECS и HEC 7/8 не нуждаются в техническом обслуживании. Ремонт можно проводить, основываясь на времени работы и числе отключений тока. Удаление кожухов полюсов дает свободный доступ ко всем компонентам полюса, включая измерительные трансформаторы, конденсаторы и разрядник.

Эрозию контактов можно измерить, не открывая дугогасительную камеру с помощью метода DRM (метод измерения динамического сопротивления), который был специально разработан для генераторных выключателей. Это позволяет оптимизировать промежуток между техническим обслуживанием, даже в условиях большой частоты коммутации больших токов.

#### Литература

ABB [Электронный ресурс] / Сайт содержит информацию систем управления, приводов, электрического оборудования. – Режим доступа: http://www.abb.by/ProductGuide/, свободный.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Шумай А. Я.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К. И.

Силовые трансформаторы (СТ) являются основными преобразователями электрической энергии в современных энергосистемах. В рабочем цикле СТ можно выделить моменты наиболее ответственного функционирования - переходные процессы, возникающие при включениях, изменениях нагрузки со стороны потребителей энергии, аварийные режимы работы и т.д. Поэтому главной задачей автоматизированного проектирования СТ является создание проекта, позволяющего при минимизации затрат и материалов на его создание, обеспечить надежность нового объекта во всех режимах.

Для проектирования CT используются методики, которые в большой степени опираются на эмпирические зависимости. В связи с этим расчетные значения параметров проектируемого устройства могут отличаться от параметров реального трансформатора.

Поскольку любой процесс проектирования характеризуется последовательным уточнением параметров объекта, в арсенале проектировщика должен быть набор математических моделей, позволяющий определять эти параметры с повышающейся степенью точности.

До последнего времени уточненный расчет рабочих характеристик трансформатора многих предприятиях, выпускающих данные устройства и затруднен. предпочтение отдавалось осуществляющих ИХ ремонт, классическим инженерным большие погрешности при выходе конструкции за пределы методикам, дающим традиционных исполнений. Так как в условиях современного рынка возрастает спрос на мелкие партии и даже штучные экземпляры трансформаторов, зачастую нет времени на создание опытных образцов и на корректировку методики проектирования и алгоритмов. Все предъявляет повышенные требования К точности, универсальности и быстродействию математических моделей. При оценке вариантов использования системы математического моделирования динамических режимов трансформаторов можно сделать следующие выводы: использование системы при проектировании трансформаторов позволит выполнять поверочные расчеты рабочих характеристик в статических режимах работы проектируемого объекта и поможет оценить надежность трансформатора в моменты аварийных ситуаций с учетом динамики их развития и как следствие - повысить качество проектов; использование системы в целях диагностирования состояния трансформаторов поможет обслуживающему персоналу при принятии оперативных решений, а также позволит создавать системы интеллектуального мониторинга на основе метода сравнительного анализа, что позволит продлить срок службы СТ; расширение возможностей обучающего проектирования и проведения диагностики «виртуальных» объектов также осуществимо при привлечении системы моделирования; реализуется возможность проведения подобных действий с привлечением Интернет технологий, позволяющая раздвинуть рамки использования системы.

# ОБОБЩЕНИЕ ЧАСТНЫХ ЧИСЛЕНЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ ПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

Махнач Д.Н.

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

Уравнения движения проводов, представленных гибкой упругой нитью.

Единственное решение гиперболических уравнений выделяется при помощи дополнительных условий: начальных и краевых.

Однако численные методы позволяют найти только частное решение задачи динамики провода при КЗ, соответствующее конкретным граничным условиям.

В процессе преобразования уравнения к безразмерному виду выявляются сочетания и комбинации параметров провода, одинаковые для подобных решений задачи.

Согласно третьей теореме подобия для сходства решений уравнений движения проводов при КЗ должны быть соответственно одинаковы определяющие критерии подобия и подобны условия однозначности, то есть начальные и краевые условия.

В качестве базисных величин примем длину пролета, максимальную стрелу провеса, начальное тяжение провода до КЗ и угловую частоту собственных колебаний провода.

Таким образом, одинаковые динамические решения могут иметь провода с одинаковыми геометрическими критериями подобия.

На первом этапе считаем, что концы проводов жестко закреплены на опорах и неподвижны при КЗ, для всех частных решений краевые условия одинаковы.

Согласно теории динамическое подобие механических систем обеспечивается при параллельности и пропорциональности сил в сходственных точках.

Для решения уравнений необходимо обеспечить совпадение мгновенных величин распределенных ЭДУ, имеющих четыре составляющие, в том числе пульсирующие с частотами 50 и 100  $\Gamma$ ц.

Принимаем, что эти силы равномерно распределены по пролету и действуют в горизонтальной плоскости.

Эквивалентирование ЭДУ производится с помощью интегрального критерия КЗ, импульса ЭД.

Указанная задача эквивалентирования ЭДУ решается следующим образом.

Практическая реализация указанного алгоритма вычисления импульса ЭДУ таким способом затруднительна, так как он базируется на численном решении дифференциальных уравнений движения проводов.

Достоверность приближенного алгоритма определения импульсов ЭДУ подтверждается сопоставлением результатов численного вычисления импульса по компьютерной программе (КП).

Для оценки погрешности расчета параметров динамики провода при КЗ, возникающей от замены динамических ЭДУ эквивалентными, выполнено их сравнение для различных токов и длин пролетов.

В момент, предшествующий отключению КЗ, на провод действуют мгновенные величины ЭДУ, тяжений, силы инерции и вес провода.

С использованием критериев геометрического и динамического подобий выполнено обобщение результатов частных численных решений по компьютерной программе, представленное в графической форме.

Жесткие шины чувствительны к сейсмическим воздействиям, а также к просадкам и наклонам опорных конструкций, требуют точной установки изоляционных опор и высокого качества строительно-монтажных работ.

В проектной и эксплуатационной практике для системы подвешенных проводов распределительных устройств (РУ) применяется термин «гибкая ошиновка».

Основными элементами гибкой ошиновки являются многопроволочные сталеалюминиевые провода марок АС, АСК, АСКП, а с сечениями 70–1000 мм<sup>2</sup>.

#### Литература

Сергей И. И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент / И. И. Сергей, М. И. Стрелюк. – Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 252 с.

# ВНУТРИФАЗНЫЕ И МЕЖДУФАЗНЫЕ РАСПОРКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСВ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Дисковец А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я. В.

Использование: в электроэнергетике, в воздушных линиях передачи, для гашения паразитных колебаний проводов. Сущность изобретения: распорка содержит два элемента, установленных с возможностью продольного перемещения одного относительно другого и упругий упор в виде витой цилиндрической пружины, прикрепленной с помощью установленных на ее торцах зажимов непосредственно к проводам.

Известны распорки виброгасители колебаний проводов, содержащие упругие ограничители в виде отрезков троса, один конец которых закреплен на корпусе распорки, а другой введен в непосредственный контакт с зажимом для крепления к проводу [1, 2] Снижение уровня вибрации проводов происходит за счет затраты части энергии колебаний на преодоление внутривиткового трения упругих ограничителей.

Недостатком данных аналогов является низкая эффективность гашения вибраций проводов.

Известны также распорки для проводов, содержащие тягу, выполненную в виде двух элементов с возможностью взаимного перемещения, и зажимы для крепления тяги к проводам [1, 2] Данные распорки снижают взаимную передачу энергии между проводами ввиду отсутствия жесткой связи между элементами тяги.

Недостатком данных аналогов является низкая эффективность гашения вибраций проводов. Это объясняется тем, что здесь также нет активного гашения паразитных колебаний, а обеспечивается лишь пассивная виброизоляция проводов друг от друга.

Наиболее близкой по технической сущности и достигаемому эффекту к изобретению является выбранная в качестве прототипа распорка для проводов воздушных линий электропередачи, содержащая два элемента, являющихся частями жидкостного демпфера, установленных с возможностью продольного перемещения одного относительно другого, каждый из которых взаимосвязан с зажимом для крепления к соответствующему проводу, и две цилиндрические пружины, торцы которых непосредственно скреплены с зажимами для крепления к проводам [6]

Недостатком прототипа является низкая эффективность гашения вибраций проводов. Это объясняется тем, что в устройстве происходит только пассивное гашение энергии паразитных колебаний проводов и практически не происходит активная "отстройка" колебательной системы с резонансных режимов.

При значительных амплитудах колебаний в резонансном режиме, когда витки пружины полностью сжаты и распорка становится жесткой, возникает эффект "отстройки" от резонанса.

Однако это явление мгновенное, в следующий после "отстройки" момент времени амплитуда колебаний падает, собственная частота системы опять совпадает с частотой внешних воздействий, опять возникает резонансный режим и так далее, то есть будет происходить периодическое затягивание упругой системы провод распорка провод на резонансные режимы, вызывающие раскачку системы.

Известна дистанционная распорка-гаситель колебаний для проводов расщепленной фазы воздушной линии электропередачи, содержащая корпус, тяги по числу проводов расщепленной фазы, каждая из которых на одном конце выполнена с обоймой, закрепленной в корпусе, а другом за одно целое с плашкой-зажимом, и эластомерные вкладыши в виде шариков, расположенные равномерно внутри каждой обоймы.

Известна дистанционная распорка-гаситель колебаний для проводов расщепленной фазы воздушной линии электропередачи, содержащая корпус, тяги по числу проводов

расщепленной фазы, каждая из которых на одном конце выполнена с обоймой, закрепленной в корпусе, а другом за одно целое с плашкой-зажимом, и эластомерные вкладыши в виде шариков, расположенные равномерно внутри каждой обоймы.

#### Литература

Калентионок Е.В., Филипчик Ю.Д. Исследование устойчивости электроэнергетических систем на ЭВМ: Методическое пособие к курсовой работе по дисциплинам «Устойчивость электроэнергетических систем», «Переходные процессы в электроэнергетических системах». - Мн.: БНТУ,  $2010-85\ c$ .

УДК 668.409.81

# РАЗВИТИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В РАМКАХ БОЛОНСКОГО ПРОЦЕССА

Трипутень А.Д.

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

Болонский процесс есть технологический процесс по становлению демократических и гуманитарных принципов образования. Особенность технологии Болонского процесса состоит в его широкомасштабности, этапности, емкости и продуманности технических и методических аспектов. Развернуть технологично Болонский процесс на постсоветском пространстве возможно только при соотнесении целевых рамок Европейской интеграции и Беларуси, после рефлексии мыслительных, социокультурных и исторических различий, и программных процессов.

Проблематика Болонского процесса в Беларуси актуализировалась неоднократно. Научные обсуждения по данной теме то затихали, то возгорались с новой силой, но принципиального окончательного решения по данному вопросу на уровне государственной политики так и не было принято.

Болонский процесс – процесс сближения и гармонизации систем высшего образования стран Европы с целью создания единого европейского пространства высшего образования. Его начало относится к середине 1970-х годов, когда Советом министров Европейского Союза была принята Резолюция о первой программе сотрудничества в сфере образования.

Присоединение Республики Беларусь к Болонскому процессу потребует соответствующего нормативно-правового обеспечения. В данной работе рассматриваются некоторые положения Болонской декларации с точки зрения дальнейшей их имплементации в Республике Беларусь, исследуется национальное законодательство в области образования, а также российский опыт реализации отдельных задач Болонской декларации.

Приблизительно две трети стран, подписавших Болонскую декларацию, ратифицировали наиболее важный юридический акт — Конвенцию о признании квалификаций, относящихся к высшему образованию в европейском регионе, принятую в Лиссабоне 11 апреля 1997 года (далее — Лиссабонская конвенция).

Для содействия достижению поставленных целей и установления процедур признания в транснациональном образовании созданы Европейская сеть национальных информационных центров по академическому признанию и мобильности (ENIC) и Информационные центры национального академического признания (NARIC).

Что касается самих процедур признания и установления эквивалентности документов иностранных государств об образовании, ученых степенях и ученых званиях, а также выдачи соответствующих свидетельств, то в Российской Федерации они осуществляются Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки, находящейся в ведении Министерства образования и науки Российской Федерации.

Подтверждение эквивалентности документов о высшем образовании, признание и установление соответствия периодов обучения и курсов высшего образования, а также подтверждение степеней высшего образования Республики Беларусь и других государств осуществляются Министерством образования Республики Беларусь в порядке, установленном Правительством Республики Беларусь.

Общей философией Единого Европейского приложения к диплому — описать полученное студентом образование таким образом, чтобы работодателю без дополнительных вопросов стало понятно, образование какого качества и в каком объеме получил предъявивший его выпускник любого уровня высшего образования. В приложении помимо конкретных данных об учебе студента описывается общая система образования в стране, что позволяет понять, на каком этапе «болонских» преобразований находится национальная система высшего образования.

Образец единого европейского приложения к диплому включает в себя восемь разделов, обязательных для заполнения: «информация об обладателе квалификации», «информация о полученной квалификации», «сведения об уровне квалификации», «информация о содержании обучения и полученных результатах», «профессиональная характеристика квалификации», «дополнительная информация», «сведения о сертификации диплома», «общая информация о национальной системе образования».

Внедрение европейской системы перевода кредитов (European Credits Transfer Systems (ECTS) – третья задача Болонской декларации – направлена на развитие крупномасштабной студенческой мобильности. Европейская система перевода кредитов была разработана Комиссией Европейского Сообщества для обеспечения академического признания. В данной системе созданы методы измерения и сравнения учебных достижений, а также их перевода из одного вуза в другой имеет собственную систему кредитов, основанную на измерении трудозатрат студента. Трудозатраты студента включают в себя посещение лекций, аудиторные часы и часы для самостоятельной работы. Она также включает в себя работу по подготовке к экзаменам и другим зачетным мероприятиям. Кредиты ECTS отражают количество работы, требуемой для каждого отдельного курса, по отношению к общему количеству работы, необходимой для завершения полного года академического обучения в вузе.

Поскольку ВУЗы Республики Беларусь — это самостоятельные юридические лица, а участники образовательного процесса — как правило, совершеннолетние дееспособные физические лица, то они в соответствии с принципами гражданского законодательства свободны в установлении своих прав и обязанностей на основе договора и в определении любых не противоречащих законодательству условий договора, в том числе и в части академической мобильности.

#### Литература

Болонский процесс в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / Сайт содержит информацию о присоединении Республики Беларусь к Болонскому процессу. — Режим доступа: http://www.interstudy.by/index.php?option=com, доступ свободный. — Загл. с экрана

# СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 110 КВ И ВЫШЕ С ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКОЙ

Соколов В. В., Баран А. Г.

Научный руководитель – Андрукевич А. П.

Жесткая ошиновка может использоваться в ОРУ всех напряжений.

В ОРУ и ЗРУ напряжением 110–500 кВ рекомендуется использовать экономичные конструктивные решения с жесткой трубчатой ошиновкой.

Жесткая ошиновка включает в себя жесткие шины, шинодержатели, компенсаторы температурных деформаций, спуски или ответвления, изоляторы или изоляционные опоры.

В ОРУ или ЗРУ (далее – РУ) напряжением 110–500 кВ рекомендуется использовать жесткие трубчатые шины (шины кольцевого сечения).

Длина пролета сборных шин (расстояние между соседними изоляционными опорами), как правило, выбирается равной шагу ячейки.

Ответвления от жестких трубчатых шин, а также соединения отдельных участков шин должны выполняться сваркой, опрессовкой (для гибких проводников спусков).

Для крепления жесткой ошиновки используются фарфоровые и полимерные опорные изоляторы и изоляционные опоры.

Для борьбы с ветровыми резонансными колебаниями следует использовать технические решения, обеспечивающие увеличение рассеяния.

Использование интерцепторов допустимо только после натурных испытаний (опытной эксплуатации отдельных пролетов).

Длина пролета внутриячейковых связей нижнего яруса обычно меньше длины пролета сборной шины.

Температурные деформации (удлинения и сжатия) шин не должны приводить к дополнительным усилиям на изоляционные опоры, аппараты, измерительные трансформаторы и другое оборудование.

Шинодержатели (компенсаторы температурных деформаций) в узлах свободного крепления шины должны обеспечивать продольные перемещения шины.

Следует отдавать предпочтение шинодержателям, обеспечивающим наименее трудоемкий монтаж ошиновки.

Прочность всех шинодержателей должна соответствовать ожидаемым электродинамическим, ветровым, гололедным нагрузкам.

Изоляторы должны отвечать номинальному напряжению установки, уровню ожидаемых перенапряжений.

При снижении жесткости, а также увеличении массы опор, частота собственных колебаний ошиновки снижается.

Снижение жесткости опор приводит к увеличению максимальных прогибов шин при K3.

Изоляторы проверяются по условиям стойкости (прочности) при действии электродинамических, ветровых, гололедных нагрузок.

При расчете нагрузочной способности шин должны приниматься наиболее тяжелые условия окружающей среды.

Ошиновка должна проверяться по условиям короны и радиопомех.

Проверку шин по условиям короны допускается проводить расчетным путем.

Трубчатые шины РУ напряжением до 220 кВ допускается не проверять по условиям короны.

Температурные удлинения или сжатия шин не должны приводить к дополнительным усилиям на изоляционные опоры.

Следует учитывать, что в ОРУ при штиле условия конвективного теплообмена эффективнее, чем в ЗРУ и определяются свободно-вынужденной (смешанной) конвекцией.

#### Литература

Методические указания по расчету и испытаниям жесткой ошиновки ОРУ 110-500 кВ, М., 2005.

УДК 621.3.064.1

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ ТКХ

Андреев А. Ф., Гавриелок Ю. В. Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

Проблемы автоматизации проектирования технических устройств в последние годы привлекают внимание все большего числа исследователей. Развитие методологии, численных методов и алгоритмов оптимального проектирования (процесса выбора наилучшего с точки зрения технико-экономической эффективности устройства РЭА или ЭВА) оказывает решающее влияние на особенности систем автоматизированного проектирования (САПР), внедряемых в НИИ, КБ и на предприятиях.

Поэтому в учебные планы по подготовке студентов различных специальностей – будущих специалистов, использующих САПР в своей инженерной деятельности, введена специальная дисциплина по основам принятия оптимальных решений с помощью ЭВМ.

Общим для задач принятия оптимальных решений, которые возникают на разных этапах проектирования, является то, что они могут быть сформулированы математически как задача нелинейной оптимизации: для заданной математической модели проектируемого устройства требуется подобрать такие значения варьируемых параметров, чтобы они обеспечивали экстремальное значение (максимум или минимум) одной из наиболее важных технико-экономических характеристик при условии, что другие характеристики удовлетворяют заданной совокупности технических требований.

К сожалению, среди численных методов поиска оптимальных решений, которые получили название методов оптимального проектирования (методов оптимизации, методов поиска), не существует универсального, который позволял бы эффективно решать любую задачу нелинейной оптимизации. В настоящее время решение каждой задачи оптимального проектирования требует индивидуального подхода и связано с применением нескольких методов поиска оптимального решения, и даже в этом случае успех во многом будет зависеть от квалификации и опыта проектировщика. В связи с этим в разрабатываемых системах автоматизированного проектирования большое внимание отводится вопросам принятия оптимальных решений в интерактивном режиме, когда пользователь имеет возможность оперативно взаимодействовать с ЭВМ на любом этапе решения своей задачи. При этом в результате диалога «человек-машина» он может менять как число, так и тип варьируемых переменных, выбирать наиболее эффективный в сложившейся ситуации метод поиска, подстраивать численные параметры методов к конкретным особенностям оптимизируемой функции и т. д. Такой подход к решению задач оптимального проектирования позволяет осуществлять адаптацию методов поиска к особенностям и трудностям конкретной задачи, но для этого разработчик должен понимать, в каких случаях и какие методы оптимального проектирования необходимо применять для того или иного класса экстремальных задач, возникающих на разных этапах проектирования.

Коротким замыканием (КЗ) называется соединение токоведущих частей разных фаз или потенциалов между собой или на корпус оборудования, соединенный с землей, в сетях электроснабжения или в электроприемниках. КЗ может быть по разным причинам: ухудшение сопротивления изоляции во влажной или химически активной среде, при недопустимом перегреве изоляции, механические воздействия, ошибочные воздействия персонала при обслуживании и ремонте и т. д.

Как видно из самого названия процесса, при КЗ путь тока укорачивается, т. е. он идет, минуя сопротивление нагрузки, поэтому он может увеличиться до недопустимых величин, если напряжение не отключится под действием защиты.

Но напряжение может не отключиться и при наличии защиты, если КЗ случилось в удаленной точке, и из-за большого сопротивления до места КЗ ток недостаточен для

срабатывания защиты. Но этот ток может быть достаточным для загорания проводов, что может привести к пожару.

Отсюда возникает необходимость расчета тока короткого замыкания (ТКЗ). Очевидно, что с развитием вычислительной и компьютерной техники, будет рационально максимально автоматизировать процесс расчёта КЗ. Примером программы, которая рассчитывает токи короткого замыкания при правильно оформленных входных данных является программа ТКZ, созданная Н. Н. Бобко. В данной работе будет рассмотрена модификация данной программы, позволяющая учитывать активные сопротивления проводников.

#### Литература

- 1 Булат, В. А. Конспект лекций по дисциплине «Переходные процессы» / В. А. Булат. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2010. 78 с.
- 2 Бобко, Н. Н. Методические указания по лабораторной работе № 6 «Расчёт токов несимметрических коротких замыкания на ЭВМ» по дисциплине «Математические задачи энергетики» / Н. Н. Бобко. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2000. 28 с.

# ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА УСПЕШНОСТЬ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Башаркевич Я.В., Баран А.Г. Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

В работе выполнено исследование влияния величины напряжения резервного источника питания на успешность самозапуска электродвигателей 6 кВ собственных нужд Светлогорской ТЭЦ с помощью программы SAMOSAPU, разработанной на кафедре «Электрические станции» БНТУ.

Основу всей нагрузки на электростанциях любого типа составляют электродвигатели 6 кВ собственных нужд, которые приводят в действие наиболее ответственные механизмы и аппараты (питательные насосы, дутьевые вентиляторы, дымососы, конденсатные насосы, дробилки, циркуляционные насосы и др.).

Кратковременное снижение или полное исчезновение напряжения на шинах собственных нужд, вызванное коротким замыканием или переключением на резервное питание из-за автоматического или ошибочного ручного отключения рабочего питания, ведет к снижению частоты вращения двигателей вплоть до полной остановки части из них. Для сохранения в работе основных агрегатов электростанции двигатели ответственных механизмов при этом не отключаются от шин. После устранения причины кратковременного нарушения электроснабжения они восстанавливают нормальную частоту вращения без вмешательства персонала. Такой процесс называется самозапуском.

Продолжительность самозапуска двигателей не должна превышать 9–10 с. Для некоторых механизмов время самозапуска электродвигателей ограничивается в еще большей степени по технологическим причинам.

Чем более кратковременный перерыв питания, тем меньше двигатели успевают затормозиться, тем меньше их пусковые токи и больше начальное напряжение на шинах после включения резервного питания и, следовательно, тем быстрее самозапуск двигателей. Поэтому следует по возможности сокращать время действия защит и ABP на собственных нуждах.

Некоторые особенности имеет самозапуск ответственных механизмов (питательных или циркуляционных насосов) с синхронными двигателями. При перерыве питания менее 0,5 с вхождение двигателя в синхронизм происходит достаточно быстро, если вращающий асинхронный момент двигателя обеспечивает увеличение частоты вращения, необходимое для втягивания в синхронизм. Большую помощь в этом обеспечивает форсировка возбуждения. При недостаточном асинхронном моменте (слишком восстанавливающееся напряжение, работа с обмоткой ротора, замкнутой на якорь возбудителя), а также при перерывах в питании более 0,5 с втягивания в синхронизм может не произойти, и тогда потребуется ресинхронизация под нагрузкой или повторный пуск, если возможна кратковременная остановка механизма. Это осуществляется специальными схемами автоматики, которые воздействуют на отключение АГП и замыкание обмотки ротора на сопротивление, в 7-10 раз превышающее сопротивление этой обмотки, с одновременной форсировкой возбуждения (производится ресинхронизация). Или приводят в действие нормальную схему пуска после восстановления напряжения на СН. В случае необходимости схема ресинхронизации дополняется автоматикой разгрузки механизма.

Для успешности самозапуска начальное напряжение на шинах СН должно быть достаточным, чтобы создать избыточный момент для разбега всех основных двигателей, а продолжительность разбега двигателей, зависящая как от начального напряжения, так и скорости его восстановления, не должна превышать предельно допустимую.

В результате выполнения вычислительного эксперимента с помощью компьютерной программы SAMOSAPU, установлено, что при перерыве питания длительностью 1 с обеспечивается успешный самозапуск электродвигателей, подключенных к исследуемым секциям, при снижении напряжения резервного источника до величины 5,5 кВ.

УДК 668.409.81

# ДЕМПФЕРЫ ТЯЖЕНИЯ И ГАСИТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ

Кимстач Д.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я.В.

Воздушной линией электропередачи выше 1 кВ называется устройство для передачи электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам и стойкам на инженерных сооружениях (мостах, путепроводах и т. п.). Для обеспечения надежной работы ВЛ необходимо обеспечивать ее защиту различными устройствами в зависимости от вида климатических воздействий.

Пляска проводов обычно возникает при сочетании порывистого ветра с гололедом при скоростях ветра 5-20 м/c и направлении под углом  $30-90^{\circ}$  к оси линии.

Вибрация проводов это периодические колебания проводов с большой частотой и малой амплитудой. Такие колебания обычно наблюдаются при слабом ветре (при скорости ветра от 0,5 до 7,0 м/с) и в основном при отсутствии гололеда. Вибрация возможна при отложении цилиндрической изморози и тогда она происходит с малой частотой и большой амплитудой (равной диаметру изморози).

Вибрация проводов возникает вследствие образования завихрений воздушного потока при обтекании провода.

Вибрирующий провод в пролете ВЛ имеет волнообразную форму. Колебания провода при вибрации представляют собой стоячие волны, когда точки провода с наибольшим размахом колебаний (пучности) и точки провода, остающиеся неподвижными в процессе колебаний (узлы), не меняют своего положения по длине провода. Длина волны вибрации равна удвоенному расстоянию между двумя соседними узлами (или пучностями). Наибольший размах колебаний называется амплитудой вибрации. Амплитуда вибрации обычно не превышает 3–5 см при длине волны от 1 до 10 м за 1 с происходит от 5 до 100 колебаний.

Вероятность возникновения вибрации возрастает с увеличением длины пролета линии, диаметра и высоты подвески провода. С изменением тяжения по проводу меняются длина волны, амплитуда и частота вибрации.

В результате вибрации в месте крепления провода в поддерживающем или натяжном зажиме возникают перегибы.

Происходит разрушение отдельных проволок провода, а затем и обрыв провода при нормальном тяжении. Провод до разрушения выдерживает от полумиллиона до нескольких десятков миллионов перегибов. С увеличением тяжения по проводу усталость металла наступает при меньшем числе перегибов.

Известен гаситель вибрации для проводов воздушной линии электропередачи, содержащий выполненный в виде проволочного стального троса упругий демпферный элемент, жестко закрепленные на некотором расстоянии от подвески гасителя на концах упругого демпферного элемента литые грузы и выполненный в виде захвата и плашки зажим, причем зажим закреплен на средней части упругого демпферного элемента, а захват крепится на проводе при помощи плашки и крепежного болта. Такой гаситель достаточно эффективен при гашении эоловых вибраций в диапазоне частот от 5 до 100 Гц, где он имеет все необходимые собственные частоты. Но главный недостаток этого гасителя вибрации состоит в том, что он не может эффективно работать как ограничитель гололедообразования, так и гасителя пляски.

Установка гасителей вибрации обязательна как для одиночных проводов, так и для расщепленных независимо от среднеэксплуатационных напряжении в проводах при пересечении больших рек, водоемов, открытых горных долин, если длина пролета

пересечения превышает 500 м для больших рек и водоемов и 800 м для горных долин, где вибрация проявляется несколько в меньшей степени, чем при пересечении рек и водоемов.

В начале 80-х годов некоторое время выпускались гасители вибрации с укороченными грузами и с грузами каплевидной формы вместо цилиндрической.

Эффективность работы таких гасителей очень низкая. Имелись случаи усталостных повреждений проводов и грозозащитных тросов ВЛ, оснащенных этими гасителями. В настоящее время выпуск таких гасителей прекращен, а установленные ранее гасители с укороченными грузами и грузами каплевидной формы подлежат замене на стандартные.

При установке двух гасителей в пролете с каждой стороны пролета устанавливается по одному гасителю; при установке одного гасителя в пролете (с одной стороны пролета) рекомендуется устанавливать их через одну опору – по обе стороны от крепления провода или троса к гирлянде.

Защита от вибрации расщепленной фазы, состоящей из двух проводов, соединенных в пролете распорками с расстоянием между ними не более 75 м при длине пролетов 150 м и более, осуществляется типовыми гасителями типа ГВН.

При установке четырех гасителей в пролете с каждой стороны пролета устанавливается по два гасителя (по одному на каждом проводе); при установке двух гасителей они устанавливаются по одному на фазу с каждой стороны пролета поочередно на разных проводах фазы.

Провода расщепленной фазы, состоящей из трех-пяти проводов и более, соединенные распорками с расстоянием между ними не более 75 м, в обычных пролетах не требуют защиты от вибрации при любых значениях среднеэксплуатационного напряжения. При этом для четырех и пяти проводов в фазе до разработки распорок повышенной надежности и стойкости к вибрации рекомендуется для обеспечения безопасного уровня колебаний проводов устанавливать сосредоточенные распорки поочередно с группами из пяти и семи парных распорок (соответственно для фаз из четырех и пяти проводов) с расстоянием между ними (под пролетами) не более 40 м. Подпролеты, примыкающие к опорам, сокращаются: первый до 20 м, а следующий за ним до 25–30 м. В отдельных случаях могут применяться только группы из парных распорок.

#### Литература

Васильев А. А. Контактные сети и линии электропередач. — М.: Энергоиздат, 1990 г. – 551 с., ил.

УДК 621.311

# ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Машлякевич С.Ю.

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

Повреждения в главных схемах обычно сопровождаются короткими замыканиями. Процессы короткого замыкания характеризуются прохождением больших токов и глубоким понижением напряжения. Они возникают и развиваются в очень короткое время.

Время, затрачиваемое персоналом на ликвидацию несложных аварий после автоматического отключения поврежденного оборудования релейной защитой, исчисляется минутами, если персонал находился на щите управления и был готов к экстренным действиям. На ликвидацию сложных аварий уходят десятки минут.

Опыт эксплуатации показывает, что значительная часть отключений релейной защитой оборудования вызывается такими нарушениями высоковольтной изоляции, которые самоустраняются при снятии напряжения. Повреждения такого рода называют неустойчивыми.

Пуск в действие устройства АПВ осуществляется различными способами: один из них – релейной защитой при отключении выключателя поврежденной цепи.

В эксплуатации получили распространение два вида устройств АПВ линий: трехфазное (ТАПВ), подающее импульс на включение трех фаз выключателя, и однофазное (ОАПВ), осуществляющее включение лишь одной фазы выключателя, отключенной релейной защитой при однофазном коротком замыкания.

Наибольший эффект дает применение устройств ТАПВ на одиночных линиях с односторонним питанием, так как при каждом успешном автоматическом повторном включении линии восстанавливается питание потребителей и предотвращается авария.

Однофазные устройства АПВ применяются в сетях напряжением 220 кВ и выше, работающих с глухозаземленной нейтралью.

Однофазные АПВ не действуют при междуфазных короткого замыкания. Поэтому на линиях электропередачи 330–750 кВ применяются комбинированные устройства, которые действуют как ОАПВ при однофазных короткого замыкания и как ТАПВ при междуфазных.

Наименьшая выдержка времени, с которой производится АПВ линий с односторонним питанием, не менее 0,3–0,5 с.

Успешность их действия достигает 65–75 % случаев автоматических отключений шин. Применяются два способа АПВ шин: с использованием имеющихся устройств АПВ выключателей на питающих линиях и трансформаторах и с помощью специальных комплектов устройств АПВ шин.

Для предотвращения недопустимого включения электрических цепей на несинхронное напряжение их устройства АПВ выполняются с контролем синхронизма.

Устройства АПВ трансформаторов выполняются по тем же схемам, что и устройства АПВ линий. При необходимости в их схемы вводятся органы контроля напряжения и синхронизма.

В нормальном режиме работы на вал турбогенератора действует два момента: момент турбины (Мт), вращающий ротор генератора и стремящийся ускорить его вращение, и синхронный электромагнитный момент (Мс), противодействующий вращению ротора.

Полная потеря возбуждения может иметь место при неисправности возбудителя, обрыве в цепи ротора, ошибочном отключении АГП и в других случаях.

Регулятор турбины, стремясь сохранить частоту вращения турбогенератора нормальной, уменьшит пропуск пара в турбину, вследствие чего несколько снизится скольжение и активная мощность генератора.

Нагрев турбоенератора зависит от значения активной нагрузки, он не везде контролируется термометрами сопротивления и нарастает очень быстро в течение 8–10 мин.

При обрыве в цепи возбуждения показание амперметра будет равным нулю.

Практика показывает, что после восстановления возбуждения при сниженной до соответствующих значений активной нагрузки ресинхронизация турбогенератора проходит успешно, без повторных циклов колебаний асинхронного режима.

Турбогенератор, частично потерявший возбуждение, утрачивает статическую устойчивость и выходит из синхронизма.

Все синхронные генераторы рассчитаны для работы с симметричными нагрузками, когда токи в фазах практически равны между собой.

Магнитное поле токов обратной последовательности вращается в сторону, противоположную вращению ротора. Частота его вращения относительно ротора достигает двойного значения, при этом реакция ротора на обратно вращающееся поле проявляется очень сильно.

Для защиты ротора генератора от чрезмерного нагрева при работе в несимметричном режиме применяется специальная токовая защита, реагирующая на ток обратной последовательности, превышающий максимально допустимое его значение по условию нагрева ротора.

При неполнофазном отключении выключателя генератор перейдет в неполнофазный режим синхронного двигателя. В двигательном режиме при включенном АГП и возбуждении, соответствующем холостому ходу, ток обратной последовательности в генераторе ничтожно мал и генератор может длительно оставаться включенным в сеть.

При включении одной или двух фаз выключателя блока в момент его синхронизации генератор может втянуться в синхронизм и остаться в работе синхронно с системой. Обнаружить несимметричный режим в данном случае можно только по сигнализации неполнофазного включения.

При неполнофазном отключении выключателя блока, находящегося под номинальной нагрузкой может привести к значительной несимметрии токов в фазах генератора.

#### Литература

Калентионок Е.В. Предупреждение и ликвидация аварийных режимов. – Мн.: БНТУ, 2004. – 187 с.

УДК 621.316

# РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ СЕТЕЙ 6-35 КВ

Холопик Н. Н.

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

Способ заземления нейтрали сети определяет: ток в месте повреждения и перенапряжения на неповрежденных фазах при однофазном замыкании; схему построения релейной защиты от замыканий на землю; уровень изоляции электрооборудования; выбор ОПН для защиты от перенапряжений; бесперебойность электроснабжения; допустимое сопротивление контура заземления подстанции; безопасность персонала и электрооборудования при однофазных замыканиях.

Существующие режимы заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ. Изолированная (незаземленная); заземленная через дугогасящий реактор; заземленная через резистор (низкоомный или высокоомный); глухозаземленная (в России не применяется).

Недостатки сетей с изолированной нейтралью.

Многолетний опыт эксплуатации позволяет говорить о существенных недостатках режима изолированной нейтрали в сетях 6-35 кВ, таких как: дуговые перенапряжения и пробои изоляции при однофазных замыканиях на землю; возможность возникновения многоместных повреждений изоляции (одновременное повреждение изоляции нескольких фидеров); повреждения ТН (НТМИ, ЗНОЛ, ЗНОМ) при замыканиях на землю; сложность обнаружения места повреждения; неправильная работа релейных защит от однофазных замыканий на землю; опасность электропоражения персонала и посторонних лиц при длительном существовании замыкания на землю.

В связи с наличием такого количества недостатков режим изолированной нейтрали в сетях 6-35 кВ должен быть исключен, как это сделано в подавляющем большинстве стран Европы, Северной и Южной Америки, Австралии и др.

Режим заземления нейтрали сетей среднего напряжения 3-69 кВ в зарубежных странах.

В сетях среднего напряжения 3-69 кВ стран Европы, Северной и Южной Америки, Австралии, Азии режим изолированной нейтрали применяется крайне редко (в исключительных случаях).

В основном сети среднего напряжения 3-69 кВ работают с нейтралью заземленной через резистор или дугогасящий реактор.

Рекомендуемые к использованию в сетях 6-35 кВ режимы заземления нейтрали: через резистор (высокоомный или низкоомный), через дугогасящий реактор с шунтирующим низковольтным резистором.

Преимущества сетей с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор.

В сетях среднего напряжения 3-69 кВ европейских стран (Германия, Чехия, Швейцария, Австрия, Франция, Италия, Румыния, Польша, и др.) широко используется заземление нейтрали через дугогасящий реактор с шунтирующим низковольтным резистором. Такое техническое решение имеет следующие преимущества: отсутствие необходимости в немедленном отключении однофазного замыкания на землю и соответственно потребителя; малый остаточный ток в месте повреждения (не более 1-2A); самоликвидация замыканий (особенно на воздушных линиях); возможность организации селективной автоматически действующей релейной защиты от однофазных замыканий на землю; исключение повреждений измерительных ТН из-за феррорезонансных процессов.

Высокоомное и низкоомное резистивное заземление нейтрали.

Высокоомное резистивное заземление нейтрали это заземление нейтрали через резистор, при котором суммарный ток в месте замыкания (активный ток резистора плюс емкостный ток сети) не превышает 10А. Как правило, однофазное замыкание на землю при таком режиме заземления нейтрали можно не отключать и защиты от замыканий на землю действуют на сигнал.

Низкоомное резистивное заземление нейтрали это заземление нейтрали через резистор, при котором суммарный ток в месте замыкания (активный ток резистора плюс емкостный ток сети) превышает 10А. Как правило, суммарный ток однофазного замыкания при этом режиме заземления нейтрали существенно превышает 10А, а именно достигает десятков и сотен ампер, что требует действия защит от замыканий на землю на отключение без выдержки времени (или малой выдержкой).

Выбор тока заземляющего резистора.

Низкоомное заземление нейтрали может выполняться в сетях с любым емкостным током, при этом активный ток  $I_R$ , создаваемый резистором, должен быть больше емкостного тока сети. Как правило, активный ток, создаваемый резистором, превышает емкостный ток сети не менее чем в 2 раза. Выбор тока, создаваемого резистором, при низкоомном заземлении нейтрали является разумным компромиссом между двумя противоположными задачами: повышением чувствительности защит от замыканий на землю за счет увеличения тока однофазного замыкания и ограничением тока в месте повреждения (однофазного замыкания) для снижения объема разрушения оборудования.

Преимущества и недостатки сетей с нейтралью, заземленной через резистор.

Преимущества: отсутствие необходимости в немедленном отключении однофазного замыкания на землю (только для высокоомного заземления нейтрали); отсутствие дуговых перенапряжений; простая реализация релейной защиты; исключение повреждений измерительных ТН из-за феррорезонансных процессов; уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц (при низкоомном заземлении нейтрали и быстром отключении).

Недостатки: увеличение тока в месте повреждения; необходимость отключения однофазных замыканий (только для низкоомного заземления нейтрали).

Режим заземления нейтрали - важный вопрос эксплуатации и проектирования.

Выбор режима заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ является исключительно важным вопросом при эксплуатации и проектировании сети.

От выбора режима заземления нейтрали зависит уровень аварийности в сети, правильная работа защит от замыканий на землю, автоматизация поиска поврежденного фидера и последствия от возникновения однофазных замыканий на землю.

Применение в сетях 6-35 кВ современного оборудования заземления нейтрали (дугогасящих реакторов с шунтирующими низковольтными резисторами и высоковольтных резисторов заземления нейтрали) позволяет существенно повысить надежность работы сетей и снизить аварийность при однофазных замыканиях на землю.

#### Литература

Режимы заземления нейтрали [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.news.elteh.ru, свободный. – Загл. с экрана.

# ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ И ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРОВ ТЗВ МОЩНОСТЬЮ 1200 МВТ

Малиновский П.С.

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

Турбогенераторы серии Т3В – турбогенераторы с полным водяным охлаждением обмоток статора, ротора и активной стали сердечника статора типа Т3В (три воды).

По влиянию на безопасность генератор и его вспомогательные системы относятся к 4 классу по НП-001-97 (ОПБ-88/97, классификационное обозначение 4H), по сейсмостойкости – ко 2 категории сейсмостойкости по НП-031-01.

Климатическое исполнение турбогенератора по ГОСТ 15150-У (для работы в районах с умеренным климатом), категория размещения -3, тип атмосферы -2 (условно-чистая). Окружающая среда - невзрывоопасная, не содержащая агрессивных паров и газов в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, не насыщенная водяными парами и токопроводящей пылью. Концентрация инертной пыли не должна превышать 10 мг/м3. Степень загрязнения по ПУЭ -2 (по ГОСТ 9920-89-II).

Система охлаждения турбогенератора водяная двухконтурная, с циркуляцией охлаждающего дистиллята по замкнутому контуру. Первый контур включает в себя цепи охлаждения обмотки статора и охладителей нажимных колец. Второй контур обеспечивает охлаждение обмотки возбуждения и демпферной обмотки, сердечника статора, посадочных мест лабиринтных уплотнений вала.

Корпус статора заполнен воздухом при давлении, близком к атмосферному. Система вентиляции внутреннего пространства генератора обеспечивает непрерывный поток воздуха через статор и зазоры в лабиринтных уплотнениях, предотвращая попадание влаги или увлажненного воздуха внутрь статора из сливных камер. Для поддержания температуры и влажности воздуха внутри генератора в необходимых пределах при длительном останове и исключения увлажнения изоляции установлены электронагреватели.

Подшипник турбогенератора со стороны возбудителя и подшипники возбудителя предусматривают применение жидкости ОМТИ и снабжаются резервными емкостями, предназначенными для обеспечения подшипников смазкой при кратковременных перерывах питания и в случае аварийного останова турбогенератора при отказе всех электронасосов смазки. Система смазки подшипников генератора общая с турбиной, принудительная.

Применение полного водяного охлаждения и отказ от водорода, заполняющего внутреннее пространство генератора, является важнейшим преимуществом, исключающим возможность взрыва и возгорания.

Статор имеет две трехфазных обмотки по схеме «звезда», которые сдвинуты относительно друг друга на 30 электрических градусов. Каждая из обмоток имеет две параллельные ветви.

Система возбуждения – бесщеточная диодная. Бесщеточный возбудитель состоит из синхронного генератора обращенного типа и вращающегося выпрямителя.

Автоматический регулятор возбуждения построен по принципу подчиненного регулирования.

Внешний контур регулирования напряжения генератора замыкается через автоматический регулятор напряжения генератора, реализующий пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон регулирования.

Внутренний контур регулирования тока возбуждения возбудителя замыкается через регулятор напряжения возбуждения, реализующий пропорционально-интегральный закон регулирования. Внутренний контур имеет ограничение, предотвращающее недопустимое повышение напряжения на обмотке ротора.

Турбогенератор с системами обеспечения снабжен необходимыми измерительными и нормирующими датчиками и преобразователями для передачи в АСУТП энергоблока для обеспечения технологического контроля.

При расчете токов короткого замыкания в цепи обмоток шестифазного генератора необходимо учитывать, что параметры обмоток, имеющих магнитную связь по путям магнитных потоков рассеяния, зависят от положения точки КЗ в схеме.

В ходе научно-исследовательской работы были рассмотрены особенности конструкции, основные и дополнительные технические данные, а также основные преимущества турбогенераторов ТЗВ-1200, которые являются развитием серии турбогенераторов с полным водяным охлаждением — высокоэффективных пожаробезопасных турбогенераторов для атомных электростанций, не имеющих аналогов в мировом атомном энергомашиностроении.

#### Литература

Силовые машины [Электронный ресурс] / Турбогенераторы с полным водяным охлаждением (ТЗВ). – Режим доступа: http:// power-m.ru/products/turbogenerators/tg\_3.aspx, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ., исп.

# КОНСТРУИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ В СИСТЕМЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ VISSIM

Синяк В.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

Цифровые системы — это системы с цифровыми сигналами на входе и выходе. Фильтры являются основой для большинства приложений обработки сигналов. Типичное назначение — это извлечение или вырезка области спектра входного сигнала или определенной частоты.

Цифровые фильтры, в силу дискретной природы ЦВМ, принимаются сигналы к обработке только в дискретные моменты времени. Информация о промежуточных значениях сигнала теряется. Таким образом, обрабатываемая цифровым фильтром входная непрерывная функция становится решетчатой. Выходное значение цифрового фильтра есть взвешенная сумма текущего и нескольких предыдущих значений как входного сигнала, так (в случае БИХ-фильтров) и предыдущих значений выходного сигнала.

VisSim имеет библиотечный блок «регистрЗадержки (1/Z)», который позволят на основе расчетов во временном домене реализовать цифровые фильтры по любой из существующих альтернативных блок-схем. При проектировании собственных блок-схем цифровых фильтров следует следовать простому правилу: если в данный момент на входе последовательной цепочки блоков «регистрЗадержки (1/Z)» вы имеете значение координаты x[k], то на последующих выходах присутствуют предыдущее ее значения x[k-1], x[k-2], ..., x[k-m].

Нерекурсивные КИХ-фильтры имеет конечную «память». То есть после снятия входного сигнала переходный процесс завершится за конечное число периодов дискретизации, в отличие от БИХ-фильтров, которым свойственно асимптотическое затухание вследствие зависимости от всех предыдущих выходных значений.

При проектировании БИХ-фильтра возможно использовать аналоговые прототипы: фильтры Баттерворта, Бесселя, Чебышева или инверсный Чебышева. Генерация БИХ-фильтра состоит в том, что VisSim, согласно заданию, вычисляет полиномиальные коэффициенты числителя и знаменателя его передаточной функции ( $\Pi\Phi$ ).

Синтез дискретного (цифрового) КИХ-фильтра — это задача поиска коэффициентов z-  $\Pi\Phi$  из взвешенной окном (урезанной до конечной длины) импульсной характеристики непрерывного прототипа, которая решается посредствам алгоритма множественного обмена Peмesa. VisSim может синтезировать коэффициенты  $\Pi\Phi$  КИХ-фильтра, как для дискретного времени, так и для непрерывного. Генерация КИХ-фильтра состоит в том, что VisSim, согласно заданию, вычисляет полиномиальные коэффициенты числителя и знаменателя его передаточной функции ( $\Pi\Phi$ ).

Используя блок «передаточная Функция», вы можете выполнять проектирование БИХ-фильтров, используя в качестве прототипов аналоговые или КИХ-фильтры.

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ПОСТСОВЕТСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Жуковский Е.С.

Научный руководитель – ассистент Климентионок А.К.

Элегаз представляет из себя бесцветный, нетоксичный, негорючий тяжёлый газ, при нормальных условиях он в 6 раз тяжелее воздуха.

Высокие изоляционные свойства элегаза были положены в основу создания комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией.

Основным преимуществом КРУЭ по сравнению с открытыми распределительными устройствами является его компактность.

Эти и другие преимущества КРУЭ способствовали его широкому применению при строительстве и реконструкции подстанций в России и за рубежом.

Первая трансформаторная группа вместе с КРУЭ была включена 7 октября 1970 года.

За первые 10 месяцев быстродействующими разъединителями были выполнены 56 эксплуатационных переключений, что подтвердило, что КРУЭ работает надежно и безопасно в соответствии с предъявляемыми к нему требованиями.

Нечувствительность к загрязнениям, надежность механических приводов и целесообразная конструкция позволяют длительное время эксплуатировать КРУЭ без персонала.

Повреждения высоковольтных трансформаторов от коммутационных перенапряжений, относительно новая проблема в российской энергетике.

В 2002 г. в России было принято решение о применении в схеме выдачи мощности Бурейской ГЭС на напряжении 500 кВ оборудования типа КРУЭ.

Вместо схемы три выключателя на два присоединения была применена схема шестиугольника (шесть выключателей на шесть присоединений), что позволило значительно снизить затраты на закупку оборудования КРУЭ.

Соединение блочного трансформатора с оборудованием КРУЭ 500 кВ необходимо было выполнить только кабелем с изоляцией из сшитого полиэтилена длиной более 900 метров.

В 2005 году четвертый блок генератор-трансформатор в составе объединенного блока был включен в сеть 500 кВ, а в 2006 году произошло его аварийное отключение.

Завод считал, что наиболее вероятной причиной повреждения являлись коммутационные перенапряжения.

ОАО «Мосэнерго» на протяжении всего своего периода развития внедряло, и было первопроходцем во многих передовых решений в энергетике России. Ярким примером этого является развитие и освоение высоковольтного электротехнического оборудования с элегазовой изоляцией.

Разработчиком и изготовителем первого отечественного промышленного КРУЭ было НПО «Электроаппарат»

На данный момент в Московском регионе работает уже порядка 40 подстанций с КРУЭ 110 кВ и 220 кВ, в том числе 18 подстанций с отечественным оборудованием.

Использование КРУЭ 110 кВ и 220 кВ позволяет сэкономить площадь помещения примерно в 10 раз, а объем в 15 раз.

ПАО «КИЕВЭНЕРГО» завершило строительство стратегически важного объекта, как для столицы Украины, так и отечественной энергетики в целом, КРУЭ 330 кВ.

В качестве производителя и поставщика высоковольтного оборудования для КИЕВЭНЕРГО выступила швейцарская компания АВВ.

Первым опытом сотрудничества КИЕВЭНЕРГО с ABB был проект установки высоковольтного элегазового оборудования на подстанции «Центр» 110/10 кВ в 2002 году.

В Украине КРУЭ различных типов и классов напряжения установлены на Алчевском металлургическом комбинате, «Полтаваоблэнерго», «Симферопольская ТЭЦ», «Ивано-Франковск цемент», «Волынь цемент», Днестровской ГЭС.

#### Литература

Балаков Ю. Н. Конструкции и схемы КРУЭ: учебное пособие по курсу «Проектирование электростанций» / Ю. Н. Балаков, А. Т. Шевченко, Московский энергетический институт, 1993. – 59 с.

# **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ**

Ничипорчик Д.Г.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

Модель – некоторый объект, с помощью которого исследуются свойства оригинала и находящегося во взаимозначном соответствии с ним и более доступном для изучения.

Она достоверно отображает некоторые свойства оригинала, подлежащие изучению.

Модель должна быть наглядной, простой и доступной для изучения.

Трансформаторы тока (ТТ) в неустановившемся режиме существенно искажают информацию о состоянии защищаемого объекта, подводимую к устройству защиты.

Основным фактором, определяющим искажение вторичного тока ТТ, является его ток намагничивания.

Математическое описание TT, входящее в состав комплексных математических моделей P3, предназначенных для оценки их ожидаемого поведения в переходных режимах защищаемого объекта, должно составляться с учетом реальных условий работы TT и их конструктивных особенностей.

Основным достоинством TT с малым немагнитным зазором является низкий уровень остаточных индукции при сравнительно высокой отдаваемой мощности.

Для питания токовых цепей P3 применяются TT простейшей конструкции без какихлибо дополнительных средств уменьшения погрешностей, за исключением витковой поправки.

Учет активных потерь в магнитопроводе оказывает качественное влияние на форму кривой вторичного тока, приближая ее к реальной осциллограмме, получаемой экспериментальным путем.

Математическое описание схемы содержит три дифференциальных уравнения равновесия ЭДС в контурах вторичных обмоток и уравнения равновесия МДС в сердечниках TT.

Трехфазные группы TT с соединением вторичных обмоток в треугольник находят применение в дифференциальных защитах силовых трансформаторов.

Продольная дифференциальная токовая защита электроэнергетического объекта содержит несколько трехфазных групп TT, имеющих общую нагрузку дифференциальной пепи

В защитах синхронных генераторов высоковольтных электродвигателей содержится две, а в защитах сборных шин - более двух групп с соединением вторичных обмоток в звезду.

Защиты силовых трансформаторов, автотрансформаторов, блоков генератортрансформатор содержат несколько групп TT с разнородными схемами соединения вторичных обмоток.

В комплексных математических моделях дифференциальных защит целесообразно использовать модель токовых цепей, позволяющую задавать нужную схему соединений каждой трехфазной группы ТТ. Математическая модель шоковых цепей содержит дифференциальные уравнения равновесия ЭДС в контурах схемы, алгебраические уравнения балансов МДС в сердечниках ТТ токов в узлах и характеристики намагничивания.

С целью сокращения объема исходной информации сопротивления дифференциальной цепи и характеристики намагничивания сердечников ТТ, их геометрические размеры в различных фазах каждой трехфазной труппы приняты одинаковыми.

#### Литература

Романюк, Ф. А. Новаш, В. И. Информационное обеспечение вычислительного эксперимента в релейной защите и автоматике энергосистем. – Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 1998. – 173 с.

# ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6–35 КВ С РЕЗИСТИВНО-ЗАЗЕМЛЁННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Салобуто С.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

Заземление нейтрали через резистор имеет несомненные достоинства, подтвержденные мировой практикой и опытом:

- полное устранение феррорезонансных явлений;
- возможность построения простых селективных защит от ОЗЗ.

К недостаткам резистивного заземления нейтрали следует отнести:

- увеличение тока замыкания на землю;
- появление на подстанции греющегося оборудования (резистора мощностью 30–400 кВт).

Опыт работы показывает, что при сохранении традиционных способов заземления нейтрали существенного «прорыва» в этой области едва ли можно ожидать. Принципиально новые возможности появляются при заземлении нейтрали через резистор. При этом в некоторых случаях (при больших, порядка десятков ампер, емкостных токах сети) резистивное заземление совмещают с включением в нейтраль дугогасящего реактора.

В целом ненаправленные токовые защиты от ОЗЗ могут быть эффективны лишь в установках с большим количеством подключенных к секции присоединений, каждое из которых имеет малый емкостный ток. Тогда отстройка от этого тока не приведет к недопустимому снижению чувствительности. Этот случай характерен, например, для цехов предприятий с большим количеством маломощных электродвигателей, включенных через короткие кабели.

Если в такой сети установлен дугогасящий реактор, то для обеспечения эффективного действия защиты от O33 целесообразно параллельно этому реактору включить заземляющий резистор, причем ток, протекающий по резистору при O33, должен превышать уставку самой «грубой» защиты в 1,5–2 раза. В этом случае ненаправленные токовые защиты могут обеспечить необходимую селективность и высокую чувствительность при O33.

Установка в сети заземляющего резистора облегчает условия выбора уставок и улучшает селективность работы релейных защит от O33.

Наибольший эффект установка резистора дает в сетях с малыми токами 3I0 в минимальном режиме, т.е. когда по каким-то причинам (ремонт, необходимость технологического цикла и т.д.) некоторые присоединения в сети отключаются и ее емкостный ток уменьшается. В следующем номере журнала мы расскажем об особенностях применения более совершенных защит от O33.

Области применения ненаправленных токовых защит от замыканий на землю: это кабельные сети со значительным числом присоединений к каждой секции, причем каждое из этих присоединений характеризуется относительно малым емкостным током. Такой случай характерен, например, для внутризаводских сетей 6–10 кВ. Использование заземляющих резисторов существенно расширяет возможности эффективного использования ненаправленных токовых защит в таких сетях даже при наличии в сети дугогасящего реактора.

В настоящее время на отечественном рынке представлено значительное количество устройств направленной защиты от ОЗЗ, которые могут быть использованы в резистивно-заземленных сетях. Наибольшее распространение получили направленные токовые защиты, реагирующие на составляющую промышленной частоты тока нулевой последовательности, с фазовыми характеристиками двух типов. Фазовой характеристикой первого типа обладает, например, защита типа УЗЛ производства НГТУ. Такие защиты реагируют как на активную, так и на емкостную составляющие токов ОЗЗ.

Фазовой характеристикой второго типа обладают защиты, реагирующие только на активную (или только на емкостную) составляющую тока нулевой последовательности. Эти защиты также содержатся в некоторых импортных микропроцессорных терминалах. При выборе типа защиты следует иметь в виду, что характеристика первого типа обеспечивает работоспособность защиты не только в нормальном режиме — при наличии в сети заземляющего резистора, но и при выходе последнего из строя и работе сети в режиме с изолированной нейтралью. Защита при этом будет работать хуже, но в принципе останется работоспособной. Характеристика второго типа в большей степени соответствует самой идее использования заземляющего резистора — защита срабатывает только в том присоединении, по которому протекает активный ток этого резистора, т.е. идеально выявляет поврежденное присоединение.

УДК 621.311.1:621.316

# ДУГОВАЯ ЗАЩИТА В СОСТАВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Бобрик Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ) появились на рынке в привычном сегодня виде около 20 лет тому назад и за прошедшее время серьезно потеснили все остальные виды реле защиты. Принцип действия и устройство современных МУРЗ очень сильно отличаются от защит других видов и имеют целый ряд специфических особенностей. Целесообразна установка дуговой защиты в КРУ.

Достаточно простым техническим решением для защиты от дуговых КЗ является применение максимальной токовой защиты (МТЗ). Требованию абсолютной селективности отвечают токовые дифференциальные защиты и «логические защиты шин» (ЛЗШ) секций, в зону действия которых входят сборные шины и выключатели. «Мертвой» зоной этих защит являются отсеки измерительных трансформаторов тока (ТТ) и кабельной разделки. Клапанная дуговая защита как механическое устройство реагирует не на дугу, а на последствия дуги, и будет работать при достижении давления газов, достаточного для срабатывания, поэтому имеет определенные недостатки, – в частности недостаточную чувствительность.

Широко применяемая в ячейках фототиристорная дуговая защита ( $\Phi$ Д3). В конструкции некоторые производители применяют в своих ячейках оптоволоконной дуговой защиты (ОД3). Живучесть ячейки обеспечивается тем, что время срабатывания ОД3 не более 8 мс при минимальном токе дуги 160 А. Повреждения при таком быстродействии – как механические, так и прожиг – столь малы, что возникла проблема определения места повреждения в ячейке.

Реле дуговых защит типа РДЗ предназначены для быстродействующего отключения комплектных распределительных устройств (КРУ) при возникновении коротких замыканий (КЗ) внутри отсеков КРУ и сопровождаемых открытой электрической дугой. Реле способны выполнять функции централизованной защиты. Принцип действия предлагаемых реле основан на контроле светового потока (освещенности) внутри отсеков ячеек КРУ. Реле имеют встроенный тестовый контроль, обеспечивающий проверку измерительного органа, соединительных проводов и фотодатчиков.

Устройства дуговой защиты с оптоволоконным датчиком предназначены для ускоренного отключения секции комплектных распределительных устройств (КРУ) 6-35 кВ при возникновении в них электрического дугового замыкания путем воздействия на вводные и секционные выключатели. В качестве чувствительного элемента используются волоконно-оптические датчики (ВОД). Чувствительность ВОД к току дугового короткого замыкания на длине ВОД ( $700 \pm 50$ ) мм и на расстоянии ( $500 \pm 50$ ) мм от дуги, составляет не более 500 А.

ЭТЮД – высокоточная оптоволоконная микропроцессорная система защиты комплектных распределительных устройств низкого, среднего и высокого напряжения от дуговых коротких замыканий. Модельный ряд ДЗ «Этюд» представлен следующими изделиями: шкафом управления ЭТЮД-М с блоками Selekt-М для построения схем ДЗ магистрального типа для защиты крупных РП (блок Selekt-М может использоваться автономно для защиты отдельных потребителей или малых РП), блоком Selekt-L для защиты отдельных потребителей, токовым блоком МТ-Э.

В системе REA использован запатенетованный принцип распределенного улавливания света по всей длине оптического кабеля, встроенного в корпус оборудования или смонтированного на контролируемом участке электросети, что позволяет мгновенно обнаружить возникновение дуги в любой точке защищаемой системы. В качестве светочувствительного датчика используется длинный прочный, не требующий защитного

экрана, оптоволоконный кабель. Он распределен по защищаемому пространству и реагируюет на световое излучение от вспыхнувшей дуги, независимо от места ее возникновения.

Дуговая защита «ОВОД-МД» — это устройство нового поколения устройств изготовленных на основе волоконной оптики и микропроцессорной техники, предназначено для защиты шкафов комплектных распределительных электрических подстанций 0,4–35 кВ при возникновении в них коротких замыканий, сопровождаемых открытой электрической дугой. Устройство представляет собой стальной шкаф с передней дверцей. Волоконно-оптические датчики (линзы), установленные в отсеках высоковольтных шкафов и имеющие практически круговую диаграмму направленности, фиксируют световую вспышку от электрической дуги и передают ее по оптическому волокну в блок детектирования света устройства. При этом устройство дуговой защиты формирует сигнал на отключение высоковольтного выключателя или отключает выключатель ввода (высокого напряжения от распредустройства), тем самым, защищая оборудование от разрушения. В зоне действия электрической дуги находятся только пассивные компоненты (датчик и волоконно-оптический кабель), обладающие абсолютной невосприимчивостью к электромагнитным помехам.

Устройство VAMP 120 представляет собой современный прибор защиты от электрической дуги, предназначенный для систем распределения электроэнергии. VAMP 120 является автономным и компактным решением для систем, не требующих измерения тока. Устройство может получать информацию о токе дугового замыкания с помощью дискретного входа от любого устройства релейной защиты или других устройств дуговой защиты.

Система VAMP 321 включает в себя все функции дуговой защиты, такие как контроль тока и детектирование возникновения дугового замыкания. VAMP 321 имеет модульную конструкцию. Она оптимизирована для использования в электроустановках низкого и среднего напряжения.

# ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЗАКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Санюк В.Д. Руководитель – Кисляков А.Ю

Распределительное устройство — это электроустановка, предназначенная для приема и распределения электрической энергии, содержащая электрические аппараты, шины и вспомогательные устройства.

Если распределительное устройство расположено внутри здания, то оно называется закрытым. Закрытые распределительные устройства (ЗРУ) сооружаются обычно при напряжении 3–20 кВ. При больших напряжениях, как правило, сооружаются открытые РУ. Однако при ограниченной площади под РУ или при повышенной загрязненности атмосферы, а также в районах Крайнего Севера могут применяться ЗРУ на напряжения 35–220 кВ.

Электрические аппараты и токоведущие части любой электроустановки должны быть выбраны так, чтобы могли надежно работать как в нормальном режиме работы, так и при отклонении от него.

Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей электроустановок производят по условиям работы в нормальном режиме и проверяют на термическую и динамическую устойчивость при коротком замыкании.

3РУ 6–10 кВ с одной системой шин без реакторов на отходящих линиях широко применяются в промышленных установках и городских сетях.

В ЗРУ применяются коммутационные аппараты внутренней установки. В настоящее время распространены вакуумные и элегазовые выключатели фирм HEAG, ABB.

В данной работе были рассмотрены конструкции закрытых распределительных устройств и особенности проектирования электрической части ЗРУ, также рассмотрены вопросы выбора и проверки коммутационных аппаратов и токоведущих частей распределительных устройств с иллюстрацией конкретных примеров.

### Литература

1 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций / Л.Д. Рожкова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 448 с.

2 Наяшков, Е.Ф., Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций / Е.Ф. Наяшков, А.А. Васильев. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 411 с.

УДК 621.316.99

# ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Лукьянюк М.С.

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

Анализ методов расчета электродинамической стойкости электроустановок с гибкими проводниками.

Дифференциальный принцип позволяет получить точную оценку смещений и тяжений проводов в функции пространства и времени.

Необходимо решить задачу динамики гибких проводов под воздействием электродинамических усилий от токов КЗ.

Наиболее часто применяемым на практике упрощенным методом является метод физического маятника, что регламентировано в нормативных документах СИГРЭ.

К методам, приближенно учитывающим распределенные параметры провода, можно отнести метод веревочного многоугольника.

Для каждого узла провода в виде такого многоугольника составляются уравнения движения массы под действием ЭДУ и внутренних упругих сил.

Максимальные расчетные отклонения проводов определяются из траекторий их движения при КЗ в точках максимального размаха колебаний.

Необходимо также проверять возможность недопустимого сближения отклоненных фаз с заземленными конструкциями РУ.

Допустимые тяжения проводов определяются допустимыми механическими напряжениями в них.

Наиболее слабыми по механической прочности элементами являются опорные конструкции и аппараты РУ.

В разработанном на кафедре «Электрические станции» БНТУ методе расчета провод представляется гибкой упругой нитью.

На кафедре «Электрические станции» БНТУ были разработаны компьютерные программы EDY4 и BUSEF, которые по своим характеристикам не уступали зарубежным аналогам.

Провода и гирлянды изоляторов описываются уравнениями гибкой упругой нити с равномерно-распределенной по длине массой. Опорные конструкции представлены в виде сосредоточенной массы, закрепленной на пружинах, жесткости которых определяются жесткостями стойки и траверсы.

Разработанный метод численного решения дифференциальных уравнений по неявной схеме был использован при составлении компьютерной программы BUSEF(IS), которая предназначена для расчета динамики проводов по уравнениям гибкой упругой нити с малой стрелой провеса.

В общем виде математическое описание движения гибких проводников производится по точным уравнениям упругой нити.

Более точным способом выбора расчетных сочетаний комбинаций параметров КЗ и геометрических характеристик пролетов воздушных ЛЭП является их определение из решения уравнений динамики проводов, записанных в безразмерной форме, что позволяет определить критерий динамического подобия решений гиперболических уравнений динамики гибкой упругой нити в режиме КЗ. С помощью критерия динамического подобия обобщены результаты частных численных решений, полученных по компьютерной программе BUSEF для проводов, закрепленных в одной горизонтальной плоскости.

При выборе расчетного вида К3, следует отметить, что максимальные отклонения, а, соответственно, и сближения проводников могут наблюдаться как при двухфазном, так и при

трехфазном КЗ. Влияющих факторов очень много. Поэтому в каждом конкретном случае для определения расчетного вида КЗ необходимо проводить вычислительный эксперимент.

Анализ методов расчёта электродинамической стойкости токоведущих конструкций с гибкими проводниками выявил существование двух принципов оценки недопустимого сближения фаз и максимальных тяжений в них: дифференциального и интегрального (энергетического).

Проанализирован численный векторно-параметрический метод расчёта электродинамической стойкости проводов воздушных ЛЭП, использующий неявную схему, обладающей абсолютной устойчивостью решений, и позволяющий проводить расчёты электродинамической стойкости с учётом динамики опорных конструкций ЛЭП и других конструктивных элементов.

Получено дополнительное условие электродинамической стойкости проводов ЛЭП по допустимой длине пролёта с использованием разработанной диаграммы отклонений проводов.

Оценка электродинамической стойкости гибких проводников электроустановок производится по двум условиям: недопустимого сближения фазных проводников по критерию электрической прочности воздушного промежутка и недопустимых максимальных тяжений проводов при КЗ.

Максимальные тяжения в проводах наблюдаются, как правило, при трехфазном КЗ. Его и следует принять в качестве расчетного вида при определении механической прочности элементов токоведущих конструкций с гибкими проводниками.

### Литература

Проверка на схлестывание гибкой ошиновки распределительных устройств электростанций: методические указания / И.И. Сергей, Е.Г. Пономаренко. – Минск: Изд-во БНТУ, 2008. – 32 с.

УДК 621.316.99

## АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И БИОСФЕРА

Боков Е.С.

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

Атомная электростанция (АЭС) — ядерная установка для производства энергии в заданных режимах и условиях применения, располагающаяся в пределах определённой проектом территории, на которой для осуществления этой цели используются ядерный реактор (реакторы) и комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений с необходимыми работниками.

Принцип работы атомной электростанции очень прост — это обычное преобразование тепловой энергии в электрическую. Иными словами АЭС работают по тому же принципу, что и обычные тепловые электростанции, с одним лишь отличием — для нагрева воды используется энергия, получаемая при распаде ядер урана.

Огромным преимуществом АЭС является её относительная экологическая чистота. На ТЭС суммарные годовые выбросы вредных веществ, в которые входят сернистый газ оксиды азота оксиды углерода, углеводороды, альдегиды и золовая пыль, на 1000 МВт установленной мощности составляют от примерно 13000 тонн в год на газовых и до 165000 тонн на пылеугольных ТЭС.

Техногенные влияния на окружающую среду при строительстве и эксплуатации атомных электростанций разнообразные. Обычно говорят, что имеются физические, химические, радиационные и другие факторы техногенного влияния эксплуатации АЭС на объекты окружающей среды. Наиболее существенные факторы локальное механическое влияние на рельеф: при строительстве стек поверхностных и грунтовых вод, которые содержат химические и радиоактивные компоненты, изменение характера землепользования и обменных процессов в непосредственной близости от АЭС, изменение микроклиматических характеристик прилегающих районов.

Чтобы полностью устранить радиационную опасность АЭС, их ядерные реакторы снабжают практически безотказной аварийной защитой; резервными системами охлаждения, срабатывающими при внезапном повышении температуры; устройствами, удерживающими осколки радиоактивных веществ; запасными резервуарами на случай выброса радиоактивных газов. Все это при надлежащем уровне надежности оборудования и его эксплуатации приводит к тому, что атомные электростанции практически не оказывают загрязняющего воздействия на окружающую среду.

АЭС оказывает на окружающую среду - тепловое, радиационное, химическое и механическое влияние. Для обеспечения безопасности биосферы нужны необходимые и достаточные защитные средства. Под необходимой защитой окружающей среды будем понимать систему мер, направленных на компенсацию возможного превышения допустимых значений температур сред, механических и дозовых нагрузок, концентраций токсикогенных веществ в экосферы. Достаточность защиты достигается в том случае, когда температуры в средах, дозовые и механические нагрузки сред, концентрации вредных веществ в средах не превосходят предельных, критических значений.

Международным агентством по атомной энергетике (МАГАТЭ) разработана международная шкала событий на АЭС, включающая 7 уровней. По ней авария в США относится к 5 уровню (с риском для окружающей среды), в Великобритании – к 6 уровню (тяжелая), Чернобыльская авария – к 7 уровню (глобальная).

Академик Анатолий Александров считал, что «ядерная энергетика крупных масштабов явится величайшим благом для человечества и разрешит целый ряд острых проблем».

США и Япония ведут разработки мини-АЭС, с мощностью порядка 10-20 МВт для целей тепло- и электроснабжения отдельных производств, жилых комплексов, а в перспективе – и индивидуальных домов. С уменьшением мощности установки растёт

предполагаемый масштаб производства. Малогабаритные реакторы (см., например, Hyperion AЭC) создаются с использованием безопасных технологий, многократно уменьшающих возможность утечки ядерного вещества.

Литература

www.rosatom.ru, www.myatom.ru

УДК 621.314.224

# ЭЛЕМЕНТЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Мигус Н.А., Будников В.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Главная особенность цифрового программно-аппаратного комплекса подстанции (ПАК ПС) - это оцифровка всего набора сигналов и команд, свойственных основному электрооборудованию и устройствам контроля, управления и защиты.

Основой функционирования всех будущих цифровых программно-аппаратных комплексов на объектах энергетики по всему миру призван стать международный стандарт МЭК-61850.

В МЭК 61850 регламентируются вопросы передачи информации между отдельными устройствами и формализации описания схем первичных цепей, схем защиты, автоматики и измерений, конфигурации устройств

Для быстрой передачи информации о событиях на подстанции, например, команды на отключение, сигнала предупреждения используется механизм связи GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event), определенный протоколом МЭК 61850.

Состав устройств MU определяется составом основного электрооборудования: цифровые трансформаторы тока и напряжения (ЦТТ, ЦТН), MU выключателей, MU трансформаторного оборудования, MU разъединителей и заземляющих ножей, MU для КРУ 6 кВ, MU для оборудования щитов постоянного тока (ЩПТ) и щитов собственных нужд (ЩСН) подстанции.

Сформированные мультиплексорами пакеты передаются по сети Ethernet (шине процесса) в устройства уровня присоединения.

Силовое оборудование оснащается набором цифровых датчиков электрических и неэлектрических величин, предназначенных для непрерывной самодиагностики его состояния.

Современные КРУЭ оснащаются встраиваемыми цифровыми трансформаторами тока и напряжения, а шкафы управления в КРУЭ позволяют устанавливать выносные УСО для сбора дискретных сигналов.

ПКЦ - программно-аппаратное ядро ЦПС, координирующее основные информационные потоки в ЦПС и автоматизирующее процессы принятия и реализации решений по управлению оборудованием ПС. Математическое описание схемы содержит три дифференциальных уравнения равновесия ЭДС в контурах вторичных обмоток и уравнения равновесия МДС в сердечниках ТТ.

Разработка собственного российского решения по Цифровой подстанции позволит не только развивать отечественное производство и науку, но и повысить энергобезопасность нашей страны.

Продольная дифференциальная токовая защита электроэнергетического объекта содержит несколько трехфазных групп TT, имеющих общую нагрузку дифференциальной цепи.

В защитах синхронных генераторов высоковольтных электродвигателей содержится две, а в защитах сборных шин - более двух групп с соединением вторичных обмоток в звезду.

Шина процесса - совокупность активных и пассивных компонентов резервированной цифровой сети на основе волоконно-оптических каналов связи с технологией передачи Ethernet.

В случае повреждения оптического кабеля, по которому в упакованном виде будет передаваться информация, ранее передававшаяся по разным жилам нескольких контрольных

кабелей, может произойти потеря управляемости и наблюдаемости сразу нескольких единиц электрооборудования.

Кроме этих основных особенностей шины процесса необходимо отметить, что от цифрового ПАК, в отличие от ПАК обычной современной подстанции, требуется питать цифровые ТТ и ТН, другие устройства типа МU и активное сетевое оборудование, а это может существенно повлиять на надёжность.

### Литература

Метапром [Электронный ресурс] межотраслевой промышленный портал. Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.metaprom.ru, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 62-2

# ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ТОКОПРОВОДОВ

Карасёва В.В.

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

Токопроводы предназначены для передачи и распределения электроэнергии, как правило, в пределах одной электроустановки и состоят из шин, изоляторов, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций, а также могут иметь защитные кожухи (оболочки или экраны) и другие элементы.

По конструктивному исполнению различают токопроводы с гибкими и жесткими шинами.

По способу изготовления все токопроводы делятся на сборные и комплектные.

Надежность токопроводов обеспечивается нормированным запасом прочности их отдельных элементов с учетом условий окружающей среды, монтажа и эксплуатации. Токопроводы должны: соответствовать номинальному напряжению электроустановки и наибольшему рабочему току; быть термически стойкими, т. е. оставаться работоспособными при нагреве шин большими токами короткого замыкания (КЗ); электродинамически стойкими, т. е. обладать прочностью при механических воздействиях, обусловленных токами КЗ.

Степень надежности токопроводов должна соответствовать условиям их применения.

Критерием экономичности токопроводов служат затраты, определяемые капитальными вложениями на их сооружение, издержками, т. е. расходами на текущий и капитальный ремонт, заработную плату обслуживающего персонала, стоимость потерь энергии, а также ущербом от возможного перерыва питания из-за отказа токопровода.

Удобство монтажа и эксплуатации токопроводов обеспечивается простотой их конструкции, технологичностью изготовления, доступностью для осмотра и замены отдельных элементов и другими факторами.

Безопасность обслуживания токопроводов обеспечивается: надежностью их работы; выбором соответствующих расстояний от токоведущих частей до поверхности земли, заземленных конструкций, частей здания и ограждений; использованием защищенных шин (огражденных от прикосновения и попадания посторонних предметов сетками, коробами из перфорированных листов), экранированных проводников и заземлением экранов.

В качестве проводников в токопроводах используют гибкие и жесткие шины.

Изоляторы предназначены для крепления и изоляции шин, а также токоведущих частей аппаратов от земли и других частей электроустановок. В токопроводах выше 1 кВ наиболее широко применяют фарфоровые или стеклянные опорные, проходные и подвесные изоляторы.

Гибкие токопроводы связи, называемые также шинными мостами, обычно используют на подстанциях, а также на ТЭЦ для электрического соединения трансформаторов или генераторов с 3PY 6–10 кВ.

Жесткими открытыми шинными линиями 6–35 кВ выполняют открытые токопроводы генераторов (мощностью до 60 МВт включительно), токопроводы связи наружной установки между машинным залом и ЗРУ, а также между трансформатором связи и ЗРУ 6–10 кВ или ОРУ 35 кВ, жесткая ошиновка ЗРУ 6–10 кВ (реже ОРУ и ЗРУ 35 кВ); шинные мосты между секциями (полусекциями) сборных шин.

Экранированные генераторные токопроводы предназначены для электрического соединения генераторов мощностью 100 МВт (иногда 60 МВт) и выше с блочными трансформаторами и трансформаторами собственных нужд, а также нулевых выводов генератора.

Секции генераторных токопроводов стыкуют на прямолинейных участках, соединяя токоведущие шины сваркой. Болтовые соединения, предусмотренные только в местах подключения шин к генератору, трансформаторам, выключателям, разъединителям и разрядникам, должны обладать высокой надежностью, малым переходным сопротивлением и быть доступными для ревизии.

При прохождении тока по шинам и экранам выделяется теплота, которая отводится излучением (от нагретых к холодным телам) и естественной конвекцией (естественной циркуляцией воздуха).

Принудительное охлаждение целесообразно использовать в генераторных токопроводах, передающих мощность не менее 500–800 МВт.

### Литература

Долин А. П. Современные токопроводы. – М.: Высшая школа, 1998.

УДК 621.311 (075.8)

# ОБОБЩЕНИЕ ЧАСТНЫХ ЧИСЛЕНЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ ПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

Григорьев Р.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

Расчет электродинамических сил ведется обычно либо на основании закона взаимодействия проводника с током и магнитным полем либо по изменению запаса магнитной энергии системы.

Расчет электродинамических сил на основании закона взаимодействия проводника с током и магнитным полем.

Возьмем систему из двух произвольно расположенных проводников обтекаемых токами. Вычисляем силу в ньютонах.

Расчет электродинамических сил по изменению запаса электромагнитной энергии контуров.

Электромагнитное поле вокруг проводников и контуров с током обладает определенным запасом энергии.

Согласно теории динамическое подобие механических систем обеспечивается при параллельности и пропорциональности сил в сходственных точках.

Для решения уравнений необходимо обеспечить совпадение мгновенных величин распределенных ЭДУ, имеющих четыре составляющие, в том числе пульсирующие с частотами 50 и 100  $\Gamma$ п.

Принимаем, что эти силы равномерно распределены по пролету и действуют в горизонтальной плоскости.

Эквивалентирование ЭДУ производится с помощью интегрального критерия КЗ, импульса ЭД.

Электродинамические силы между заимноперпендикулярными проводниками

На первом этапе считаем, что концы проводов жестко закреплены на опорах и неподвижны при КЗ, для всех частных решений краевые условия одинаковы.

Согласно теории динамическое подобие механических систем обеспечивается при параллельности и пропорциональности сил в сходственных точках.

Приведенные формулы для электродинамических сил применимы не только к одному витку но и к обмоткам с любым числом витков п занимающим данное сечение.

Рассмотрим силы действующие между параллельными проводниками сначала при однофазном токе.

Силу f можно представить как сумму двух составляющих: постоянной и переменной меняющейся с двойной частотой по закону косинуса. Так как косинус угла принимает значения от +1 до -1 то сила будет изменяться

Силы действующие на проводник будут такими же как и силы действующие на проводник 1 но обратными по направлению.

Расчет электродинамических сил ведется обычно либо на основании закона взаимодействия проводника с током и магнитным полем либо по изменению запаса магнитной энергии системы.

Расчет ведется на максимальное усилие получаемое при ударном токе.

### Литература

Кузнецов Г. Н. Электродинамические усилия в токоведущих частях электрических аппаратов и токопроводах/ И. Ф. Кузнецов, Г. Н. Цицякин; Ленингр.: Энергоатомиздат, 1989. – 176с.

УДК 621.316.99

### ЦИФРОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Исаков Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Основные достоинства и преимущества оптических трансформаторов тока по сравнению с их электромагнитными аналогами заключаются в возможности масштабного преобразования и измерения как переменного, так и постоянного или импульсного тока различных уровней напряжений, интеграции в измерительные и информационные системы с использованием различных интерфейсов — аналоговых (по напряжению, току, унифицированному токовому сигналу), дискретных (по частоте, коду) и цифровых (с передачей цифровых результатов измерений) — и исключением влияния вторичной нагрузки на процессы измерения, которое характерно для электромагнитных изделий.

Эти преимущества являются следствием применения в рассматриваемых изделиях маломощных поляризованных световых сигналов, распространяющихся в оптическом волокне, помещенном в магнитное поле измеряемого тока, бесконтактного воздействия поля на данные сигналы в виде эффекта Фарадея и электронной цифровой обработки результатов измерений поворота плоскости поляризации.

Главным чувствительным элементом любого оптического трансформатора тока или оптического преобразователя тока, существенно влияющим на его основные технические и метрологические параметры, является оптическое волокно — волокно для передачи световой энергии и оптических сигналов.

Конструкция оптического волокна представляет собой цилиндрическое стеклянное волокно в защитной оболочке, световедущая жила которого – сердцевина — выполнена из сверхчистого кварцевого стекла и окружена оболочкой из другого стекла или полимера с меньшим показателем преломления. Вследствие этого на поверхности раздела сердцевины и оболочки лучи света, падающие под соответствующими углами, подвергаются полному внутреннему отражению. Благодаря такому свойству оптическое волокно обеспечивает возможность передачи световой волны на большое расстояние без промежуточного усиления и с минимальными потерями энергии.

Типичная схема оптического трансформатора тока содержит чувствительный элемент в виде нескольких витков оптического волокна, помещенных в жесткую защитную оболочку из немагнитного материала, – токовую головку для трансформатора тока или измерительную петлю для преобразователя тока и электронно-оптический блок, соединяемый с чувствительным элементом непосредственно или через оптический кросс.

Электронно-оптический блок генерирует с помощью встроенного лазера и поляризатора на своем оптическом выходе монохроматический циркулярно поляризованный световой сигнал, направляемый по поддерживающему поляризацию оптического волокна на вход чувствительного элемента.

Измерительная информация может быть получена на выходе электронно-оптического блока для дальнейшего использования в аналоговом или дискретном виде.

Следует отметить, что аппаратные, алгоритмические и программные решения в конкретных оптических трансформаторах тока всех производителей являются, как правило, коммерческой тайной, что обусловлено значительными затратами на разработку этой новейшей техники, большой конкуренцией на мировых рынках высоких технологий и высокой стоимостью самих изделий.

### Литература

- 1 Правила устройства электроустановок, 7-е изд. М., Энергосервис, 2003.
- 2 Правила устройства электроустановок, 6-е изд. М., Энергоатомиздат, 1986.
- 3 СНи<br/>П 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика, Госстрой СССР, ЦНТП Госстроя СССР, М., Стройиздат, 1983.

- 4 Методические указания по расчету и испытаниям жесткой ошиновки ОРУ 110-500 кВ, М., 2005.
- 5 ГОСТ Р50254-92. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока кроткого замыкания, М., Изд-во стандартов, 1993.
- 6 ГОСТ 8024-90. Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний, М., Издво стандартов, 1990.

УДК 621.3.022

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Кулявец Д.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

Проблемы, связанные с несимметрией нагрузок в схемах электроснабжения, возникли еще на ранней стадии развития энергетики. Выход из сложившегося положения был предложен Фортескью в 1918 году. Он создал новый метод расчёта токов и напряжений при несимметричных режимах в трёхфазной цепи переменного тока, который впоследствии получил название метода симметричных составляющих.

В последующие годы метод был успешно использован при разработке целого класса устройств релейной защиты, в которых применены специальные фильтры симметричных составляющих напряжений или токов.

В основе метода симметричных составляющих лежит представление, что любая несимметричная система векторов может быть показана в виде трёх симметричных трёхфазных систем векторов – прямой, обратной и нулевой последовательностей, называемых симметричными составляющими исходной несимметричной системы.

Любой из векторов симметричной трёхфазной системы может быть выражен с помощью вектора другой фазы той же системы, если воспользоваться вспомогательным оператором a. Оператор a называют ещё фазовым множителем, так как умножение любого вектора на а означает поворот этого вектора на угол 120 градусов против часовой стрелки. Благодаря этому можно разложить известную несимметричную систему векторов A, B, C на симметричные составляющие.

Для создания фильтров симметричных составляющих используют возможность реализации электрическими средствами приведенных в первом пункте формул разложения, с помощью которых можно вычислить любую из симметричных составляющих несимметричной системы векторов.

Формула для выявления вектора составляющей нулевой последовательности не требует дополнительного поворота фазных векторов исходной несимметричной системы. Поэтому реализация ее электрическим способом получается довольно просто.

Выделение составляющих прямой и обратной последовательностей электрическими средствами, основываясь непосредственно на формулах разложения, является довольно сложной задачей, так как при этом нужно суммировать вектора, предварительно повернутые на угол 120 градусов против или по часовой стрелке. Поэтому большинство из практически осуществленных фильтров базируется на более удобных для практики преобразованных математических выражениях для выделения симметричных составляющих.

На их основе осуществлено большинство существующих схем фильтров симметричных составляющих. В этих схемах получают токи или напряжения, пропорциональные электрическим величинам, подведённым к фильтру, но повернутые на заданный угол при помощи специальных фазноповоротных схем.

Устройства релейной защиты, имеющие в своем составе аппаратуру и реагирующие на симметричные составляющие токов и напряжений различной последовательности, начали применяться в нашей стране еще в годы, предшествовавшие Великой Отечественной войне. Даже во время войны этот процесс не останавливался.

Число разных типов реле и отдельных измерительных органов, входящих в состав сложных шкафов и панелей релейной защиты, в которых применены фильтры симметричных составляющих, очень велико.

Аппаратура, включающая в себя фильтры симметричных составляющих, весьма разнообразна. Она выполняется как на базе различных электромеханических реле, в том

числе электромагнитных, индукционных, поляризованных и магнитоэлектрических, так и на базе статических органов, осуществляемых с помощью операционных усилителей.

При наладке и текущем облуживании такой аппаратуры необходимо обеспечить выполнение всех специфических требований, предъявляемых к проверке базовых элементов, на которых осуществлен испытываемый аппарат. Объем работы по наладке аппаратуры, реагирующей на симметричные составляющие токов и напряжений, мало чем отличается от объема проверок других устройств релейной защиты. Обычно эти работы осуществляются в такой последовательности:

- внешний осмотр и проверка состояния монтажа;
- чистка и механическая регулировка реле, их подвижных контактов переключателей и разъемных соединений;
- проверка электрических характеристик преобразователей и стабилизаторов оперативного тока, а также при необходимости встроенных измерительных преобразователей тока и напряжения отдельных функциональных узлов и деталей;
  - снятие электрических характеристик фильтров симметричных составляющих;
  - снятие электрических характеристик реле (блока защиты) в полной схеме;
  - проверка реле (блока защиты) рабочим током и напряжением.

Аппаратура, реагирующая на симметричные составляющие токов и напряжений, находит широкое применение в технике релейной защиты, технологической и противоаварийной автоматике установок, служащих для производства, распределения и потребления электрической энергии в трехфазных системах переменного тока.

## ВЛИЯНИЕ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ НА РАБОТУ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ФУРЬЕ

Прохорова М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

Цифровой фильтр (ЦФ) — устройство, пропускающее, либо подавляющее заданные в цифровой форме сигналы в определенной полосе частот. В отличие от аналоговых фильтров, у которых входной сигнал изменяется непрерывно, в цифровых входной сигнал представляется в дискретной форме, то есть принимает каждый раз новое значение через интервал дискретизации.

Простейший ЦФ состоит из сумматора и устройства задержки во времени (которое можно реализовать на запоминающем устройстве). Если входной сигнал ЦФ — синусоидальный с частотой f, а задержка во времени составляет половину периода этого сигнала, то на сумматоре сигналы вычитаются и входной сигнал ЦФ равен нулю.

В более общем случае ЦФ состоит из набора устройств задержки и сумматора, причем сдвинутые во времени сигналы суммируются с различными коэффициентами передачи. Говорят, что импульсная характеристика ЦФ состоит из набора сдвинутых во времени отсчетов входного сигнала, а поскольку количество этих отсчетов определяется количеством устройств задержки, то импульсная характеристика ограничена во времени. Поэтому такие фильтры называют фильтрами с конечной импульсной характеристикой или КИХ-фильтрами.

Характеристика КИХ-фильтров становится более прямоугольной и исчезают пульсации. Но при этом основной дефект КИХ-фильтров — частотная характеристика повторяется через интервал частот  $f = 1/t_3$ . От этого недостатка свободны ЦФ с бесконечной импульсной характеристикой — БИХ-фильтры.

Если на вход БИХ-фильтра подать отсчет единичной амплитуды, то выходные отсчеты будут формироваться как сумма задержанных отсчетов с различными весами  $a_1$ ,  $a_2$ , которые снова через сумматор подаются на устройства задержки. Процесс этот длится бесконечно, откуда название ЦФ. Следует отметить, что все весовые коэффициенты должны быть меньше единицы, иначе процесс на выходе ЦФ будет бесконечно нарастать по амплитуде.

Применение в ЦФ весовых коэффициентов, не равных единице или нулю, требует применения умножителей. Поэтому в последнее время ЦФ чаще реализуют программным путем в ЭВМ. В программу записывают все необходимые математические операции и задержки во времени. Такую программу (состоящую из сотен и тысяч элементарных машинных операций) необходимо выполнять для каждого отсчета входного сигнала, поэтому на ЭВМ можно построить только сравнительно низкочастотные ЦФ. При аппаратной реализации можно получить более высококачественные ЦФ, однако потребуются десятки микросхем.

Анализ Фурье закладывает основы многих методов, применяющихся в области цифровой обработки сигналов (ЦОС). Преобразование Фурье позволяет сопоставить сигналу, заданному во временной области, его эквивалентное представление в частотной области. Наоборот, если известна частотная характеристика сигнала, то обратное преобразование Фурье позволяет определить соответствующий сигнал во временной области.

В дополнение к частотному анализу, эти преобразования полезны при проектировании фильтров. Частотная характеристика фильтра может быть получена посредством преобразования Фурье его импульсной реакции. И наоборот, если определена частотная характеристика сигнала, то требуемая импульсная реакция может быть получена с помощью обратного преобразования Фурье над его частотной характеристикой. Цифровые фильтры могут быть созданы на основе их импульсной реакции, поскольку коэффициенты фильтра с

конечной импульсной характеристикой (КИХ) идентичны дискретной импульсной реакции фильтра.

Единственный член, который имеет отношение к цифровой обработке сигналов, — это дискретное преобразование Фурье (ДПФ), которое оперирует дискретной по времени выборкой периодического сигнала во временной области. Для того, чтобы быть представленным в виде суммы синусоид, сигнал должен быть периодическим. Но в качестве набора входных данных для ДПФ доступно только конечное число отсчетов (N). Эту дилемму можно разрешить, если мысленно поместить бесконечное число одинаковых групп отсчетов до и после обрабатываемой группы, образуя, таким образом, математическую (но не реальную) периодичность.

УДК 621.315.2.016.2

# ПРОВЕРКА КАБЕЛЕЙ НА НЕВОЗГОРАНИЕ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ И ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ИХ К ЭКСПЛУОТАЦИИ ПОСЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ

Дударев А. В.

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

Короткое замыкание — не предусмотренное нормальными условиями работы электрическое соединение точек электрической цепи с различными потенциалами через малое сопротивление. КЗ возникает вследствие нарушения изоляции и соединения токопроводящих частей электроустановок друг с другом или с заземлёнными поверхностями непосредственно или через токопроводящий материал.

Возгорание – Начало горения под действием источника зажигания

При проверке кабелей на невозгорание расчет токов КЗ и тепловых импульсов (интегралов Джоуля) следует проводить, руководствуясь ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ», ГОСТ 27514-87 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ» и ГОСТ 30323-95 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания», а также «Методическими указаниями по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электростанций и подстанций с учетом влияния электрической дуги» (М.: СПО ОРГРЭС, 1993).

При проверке кабелей на невозгорание рассчитывается ток трехфазного металлического короткого замыкания в начале проверяемого кабеля.

При этом допускается принимать точку K3 за отрезками кабеля длиной 50 м от начала (кабели напряжением до 10 кВ) и 20 м (кабели напряжением до 1 кВ).

Расчет токов КЗ для проверки кабелей на невозгорание проводить с учетом следующего:

- учитывается влияние тока подпитки от асинхронных электродвигателей на полный ток K3;
- в сети 0,4 кВ если суммарный номинальный ток одновременно включенных электродвигателей превышает 10% начального значения периодической составляющей тока КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей. При этом следует учитывать электродвигатели, непосредственно примыкающие к месту КЗ, а также электродвигатели секций, объединяемых действием АВР;
- в сети 6 кВ учитывать одновременно включенные электродвигатели мощностью 100 кВт и более, если они не отделены от точки КЗ токоограничивающими реакторами или силовыми трансформаторами;
- ток подпитки места КЗ от асинхронных электродвигателей рассчитывается без учета апериодической составляющей;
- в расчетах периодической составляющей тока подпитки места K3 от асинхронных электродвигателей 6,0 кВ допускается не учитывать их активное сопротивление;
- в расчетах сети 0,4 кВ следует считать ток трехфазного КЗ с учетом переходного сопротивления электрической дуги в месте КЗ и увеличение активных сопротивлений кабелей от протекающего тока трехфазного КЗ по ГОСТ 28249-93 и по «Методическим указаниям по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электростанций и подстанций с учетом влияния электрической дуги»;
- электродвигатели  $0,4\,$  кВ, подключенные ко вторичным сборкам, в расчетах не учитываются.

При испытании на возгорание силовых кабелей напряжением до 6 кВ токами КЗ длительностью до 4 с установлено, что разрыв оболочек, разрушение концевых заделок и возгорание кабелей не происходит, если температура токопроводящих жил не превышает  $350^{\circ}C$  для небронированных кабелей с пропитанной бумажной и пластмассовой изоляцией и  $400^{\circ}C$  для бронированных кабелей с пропитанной бумажной изоляцией и кабелей с изоляцией из вулканизированного полиэтилена.

### Литература

- 1 Электрическая часть станций и подстанций : Учеб. для вузов/ А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова и др.; Под ред. А. А. Васильева. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Энергоатомиздат, 1990.-576 с.
- 2 Online Electric [Электронный ресурс] /Проверка кабелей на невозгорание при воздействии тока короткого замыкания ЦИРКУЛЯР № Ц-02-98 (Э). Режим доступа: http://www.online-electric.ru/theory/359.php, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ФУРЬЕ ПРИ ЧАСТОТАХ, ОТЛИЧНЫХ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ

Диордица В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

В наше современное время, компьютеры и компьютерные системы используются во многих сферах, но, сами же компьютеры работают с информацией, представленной в цифровой форме (т. е. дискретной). С появлением компьютеров, также появились и новые виды обработки информации — цифровые фильтры, которые улучшают качество сигнала и снижают действие различных шумов, помех, наводок (высших гармоник), которые являются искажениями в сигнале.

Задача фильтра – снизить воздействие этих самых высших гармоник в сигнале.

В энергетике РБ сейчас наиболее часто используются различные релейные защиты, с использованием цифровых фильтров, построенных на преобразованиях Фурье. Примерами таких защит могут являться микропроцессорные реле, производства БЭМН, типов МР-300, МР-500, МР-600, МР- 700, МР-741, МР-801. Указанные цифровые реле являются многофункциональными (реализуют функции защиты, автоматики, индикации, контроля, местного и дистанционного управления), особой примечательностью подобных реле, это возможность и простота их программирования.

Таким образом, их можно сконфигурировать как угодно, настроить на работу с любыми частотами, отличными от промышленных.

С целью облегчения понимания данного материала, я буду проводить аналогию с звуковыми сигналами (у которых частоты имеют спектр от  $20 \, \Gamma \mu - 20 \, \kappa \Gamma \mu$ ).

Вообще, многие сигналы удобно анализировать, раскладывая их на синусоиды (гармоники). Тому есть несколько причин. Например, подобным образом работает человеческое ухо. Оно раскладывает звук на отдельные колебания различных частот. Кроме того, можно показать, что синусоиды являются «собственными функциями» линейных систем (т. к. они проходят через линейные системы, не изменяя формы, а могут изменять лишь фазу и амплитуду).

Преобразование Фурье – это разложение функций на синусоиды. Существует несколько видов преобразования Фурье:

- 1. Непериодический непрерывный сигнал можно разложить в интеграл Фурье;
- 2. Периодический непрерывный сигнал можно разложить в бесконечный ряд Фурье;
- 3. Непериодический дискретный сигнал можно разложить в интеграл Фурье;
- 4. Периодический дискретный сигнал можно разложить в конечный ряд Фурье.

Компьютер способен работать только с ограниченным объемом данных, следовательно, реально он способен вычислять только последний вид преобразования Фурье.

Вычисление преобразований Фурье требует очень большого числа умножений (около N в квадрате) и вычислений синусов. Существует способ выполнить эти преобразования значительно быстрее: примерно за операций умножения.

Этот способ называется быстрым преобразованием Фурье (БПФ). Он основан на том, что среди множителей (синусов) есть много повторяющихся значений (в силу периодичности синуса). Алгоритм БПФ группирует слагаемые с одинаковыми множителями, значительно сокращая число умножений. В результате быстродействие БПФ может в сотни раз превосходить быстродействие стандартного алгоритма (в зависимости от N). При этом следует подчеркнуть, что алгоритм БПФ является точным. Он даже точнее стандартного, т.к. сокращая число операций, он приводит к меньшим ошибкам округления.

Эффект от умножения спектров сигналов при свертке называется фильтрацией. Когда спектры умножаются как комплексные числа, происходит умножение амплитуд гармоник исходного сигнала и ядра свертки. Таким образом, мы получаем возможность изменять спектр сигнала. Это очень полезная операция. Например, в звукозаписи изменение спектра

сигнала позволяет очищать запись от шумов, компенсировать искажения сигнала различными устройствами звукозаписи, менять тембры инструментов, акцентировать внимание слушателя на отдельных партиях. Также фильтрация является составным компонентом многих других, более сложных процессов.

В общем случае, фильтр меняет в спектре сигнала и амплитуды гармоник, и их фазы. Однако фильтры можно проектировать так, чтобы они не меняли фазу сигнала. Такие фильтры называются фильтрами с линейной фазой. Это означает, что если они и меняют фазу сигнала, то делают это так, что все гармоники сигнала сдвигаются по времени на одну и ту же величину. Таким образом, фильтры с линейной фазой не искажают фазу сигнала, а лишь сдвигают весь сигнал во времени.

Основное свойство любого фильтра – это его частотная и фазовая характеристики. Они показывают, какое влияние фильтр оказывает на амплитуду и фазу различных гармоник обрабатываемого сигнала. Если фильтр имеет линейную фазу, то рассматривается только частотная характеристика фильтра. Обычно частотная характеристика изображается в виде графика зависимости амплитуды от частоты (в децибелах).

В зависимости от общего вида частотной характеристики можно выделить следующие распространенные типы фильтров: НЧ-фильтры, ВЧ-фильтры, полосовые фильтры, которые пропускают или подавляют сигнал только в определенной частотной полосе. Существуют и другие типы фильтров с более сложными частотными характеристиками.

Обычно в задачах фильтрации сигнала для фильтра задается требуемая частотная характеристика. Целью является построить фильтр, отвечающий заданным требованиям, и провести фильтрацию. Часто бывает невозможно построить в точности заданный фильтр. Тогда строится фильтр, близкий по характеристикам к заданному.

Часто к фильтрам предъявляются более сложные требования. Например, фильтр может иметь несколько частотных полос пропускания и непропускания. Причем для полос пропускания могут быть заданы разные коэффициенты усиления, а для полос непропускания – разные коэффициенты подавления. Иногда требуемая частотная характеристика фильтра задается вообще произвольной кривой.

Существует множество способов построения фильтров с заданной частотной характеристикой. Мы кратко рассмотрим один из них. Это проектирование фильтров с линейной фазой с помощью взвешивающих окон. Этот способ является универсальным, т.к. позволяет получить фильтр с любой заданной частотной характеристикой. В то же время он достаточно прост и широко применяется. (Будет рассмотрен пример).

Прогресс шагает вперёд, а вместе с ним и новые инновации, цифровые вычислительные мощности компьютеров растут, растёт база данных компьютеров, а это всё означает, что качество цифровых фильтров улучшается, они становятся более точными, более быстрыми, более совершенными (близки к идеальным). Ведь, в последнее время цифровые фильтры всё чаще реализуются программным способом на ЭВМ. В программу вписывают все необходимые математические модели, алгоритмы, параметры и т.п., а сами же фильтры реализуются на микропроцессорах. А сам анализ Фурье является фундаментом для многих других методов обработки цифрового сигнала.

В данной работе я на примере звукового сигнала показал принцип функционирования цифрового фильтра Фурье, но, также данный принцип может применятся и в других областях повседневной жизни: электроэнергетике, программировании, фоторедактированнии, видеоредактированнии и любых других.

УДК 621.3.022

# ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИИ

Стасевич А.Ю.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

В дифференциальных защитах, установленных на трансформаторах с регулированием напряжения под нагрузкой или многообмоточных трансформаторах с несколькими питающими обмотками, токи небаланса в установившемся режиме имеют значительную величину.

Реле состоит из трехстержневого насыщающегося трансформатора, питающего обмотку электромагнитного реле.

Насыщающийся трансформатор имеет первичную обмотку, вторичную обмотку, в цепь которой включено дифференциальное реле.

Рабочая обмотка включается дифференциально, тормозная включается в рассечку плеча токовой цепи релейной защиты.

В результате ток тормозной обмотки не создает тока в реле и служит для подмагничивания крайних стержней магнитопрвода, насыщая их и ухудшая трансформацию тока из рабочей среды обмотки во вторичную.

При отсутствии тормозного тока реле работает как обычное реле, но без короткозамкнутых обмоток.

При внешнем коротком замыкании ток, проходящий по тормозной обмотке, насыщает крайние стержни магнитопроводов, в результате чего ток срабатывания реле возрастает, одновременно с этим ухудшается трансформация тока небаланса появляющегося в рабочей обмотке трансформатора.

Магнитная индукция при токе срабатывания реле достигает значения, при котором начинается насыщение магнитопровода, благодаря чему апереодический ток почти не трансформируется во вторичную обмотку. Поэтому рассмотренное реле не реагирует на апереодическую составляющую, содержащуюся в намагничивающем токе и токе небаланса при неустановившихся режимах.

В основе метода симметричных составляющих лежит представление, что любая несимметричная система векторов может быть показана в виде трёх симметричных трёхфазных систем векторов – прямой, обратной и нулевой последовательностей, называемых симметричными составляющими исходной несимметричной системы.

Дифференциальная защита ДЗТ-11, имеющая промежуточный насыщающийся трансформатор и одну тормозную обмотку, устанавливается по действующим правилам на понижающих двухобмоточных трансформаторах 110-220 kB.

Эта защита выполняется в двухленейном исполнении.

В зону действия дифференциальной защиты, кроме выводов НН трансформатора, попадают также подключенные к ним реакторы  $6-10~\mathrm{kB}$ .

Ток срабатывания защиты выполняется большим.

Если необходимый коэффициент чувствительности при котором замыкании за реактором не обеспечивается, дифференциальная защита выполняется в виде двух комплексов) с использованием реле типа ДЗТ-11): грубого, действующего без выдержки времени током срабатывания релейной защиты и чувствительного.

При использовании со стороны ВН ТТ с вторичным током 1A релейная защита должна выолняться с реле типа ДЗТ-11/3.

Реле с магнитным торможением ДЗТ-11, обеспечивает отстройку как от броского тока намагничивания, так и от бросков тока небаланса.

Важнейшим преимуществом реле являются ее простота контрукции, наличие тормозной характеристики.

Также ее важным преимуществом является небольшая зависимость тока срабатывания от фазы тормозных токов, надежная отстройка от апереодической оставляющей токов намагничивания и возможность выполнения рее с тремя и более тормозными обмотками.

УДК 621.316.99

### ГАШЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ГЕНЕРАТОРА

Подрез А.А.

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

Гашение поля синхронного генератора — это операция, заключающаяся в снижении магнитного потока машины до величины, близкой к нулю, которая проводится как при плановых, так и при аварийных отключениях генератора от сети. При плановом отключении одновременно с раз грузкой генератора снижают и его ток возбуждения для поддержания напряжения на его выводах близким к номинальному. Этот процесс проводится до тех пор, пока ток возбуждения не снизится до значения тока холостого хода генератора.

Необходимость в аварийном отключении генератора от сети возникает при повреждениях в энергосистеме или при повреждениях в зоне действия дифференциальной защиты генератора или блока генератор - трансформатор. В первом случае после отключения генератора от сети напряжение на его выводах резко возрастает до значения, соответствующего его ЭДС, что значительно выше номинального и нежелательно как для его изоляции, так и для изоляции подключенного к нему оборудования (блочного, выпрямительного трансформаторов и др.). Во втором случае к гашению поля предъявляются особые требования, поскольку, чем больше время горения дуги при этом повреждении, тем не только больше объем разрушения в месте КЗ, но и выше вероятность повреждения изоляции под действием дуги на других узлах генератора (например, развитие двухфазного КЗ в трехфазное) и рядом стоящего оборудования. Кроме того, машина при близком коротком замыкании (КЗ) испытывает динамический удар, и силы, возникающие при этом, стремятся отогнуть лобовые части статорной обмотки, что может привести к дополнительному повреждению изоляции этих частей и дорогостоящему ремонту. При пробоях изоляции дуга горит до тех пор, пока ЭДС генератора не снизится до величины, недостаточной для ее поддержания. Проведенные опыты показали, что при напряжении 500 В про исходит естественное погасание дуги переменного тока внутри машины. Для снижения ущерба от повреждения при такой аварии магнитный по ток (ток возбуждения) как можно быстрее должен быть снижен до величины, практически равной нулю. Как правило, для гашения поля используют контур возбуждения генератора, поскольку напряжение на обмотке возбуждения (ОВ) является единственным параметром, который одновременно влияет на время гашения поля и, в то же время, является доступным для воздействия на него при гашении поля в различных условиях. На ОВ при гашении поля создается отрицательное напряжение, под действием которого ток возбуждения машины снижается до нуля. Чем выше значение этого напряжения, тем быстрее гасится поле.

На сегодняшний день применяются следующие способы гашения поля:

- гашение поля выводом энергии в сеть переменного напряжения (в тиристорных СВ);
- гашение поля рассеиванием энергии магнитного поля ОВ на дугогасительной решетке выключателя;
- гашение поля рассеиванием энергии на резисторе с линейным сопротивлением и на резисторе с нелинейным сопротивлением.

Устройства, реализующие эти способы, различны по эффективности (скорости гашения поля) и стоимости. При гашении поля инвертированием или на резисторе с линейным сопротивлением время гашения поля оказывается большим, что говорит о недостаточной эффективности этих способов. С другой стороны устройства, осуществляющие гашение поля на резисторе с нелинейным сопротивлением и на дугогасительной решетке выключателя (АГП) позволяют быстро гасить поле. Однако их стоимость высока и это стимулирует поиск решений, альтернативных уже существующим.

Таким образом, актуален поиск решений, позволяющих создать такое УГП, которое сможет быстро гасить поле синхронных машин и будет иметь приемлемую стоимость.

УДК 621.316.96

## АЭС НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

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

Первая в мире атомная электростанция (АЭС), построенная в городе Обнинске под Москвой, дала ток в июне 1954 года. Мощность ее была весьма скромной – 5 МВт. Однако она сыграла роль экспериментальной установки, где накапливался опыт эксплуатации будущих крупных АЭС. Впервые была доказана возможность производства электрической энергии на основе расщепления ядер урана, а не за счет сжигания органического топлива и не за счет гидравлической энергии.

После чернобыльской катастрофы 1986 года ученые стали сомневаться в безопасности эксплуатации АЭС и, в особенности, реакторов типа РБМК. Тип ВВЭР в этом отношении более благополучен: авария на американской станции в 1979 году, где частично расплавилась активная зона реактора, радиоактивность не вышла за пределы корпуса. В пользу ВВЭР говорит долгая безаварийная эксплуатация японских АЭС.

Есть направление, которое, по мнению ученых, способно обеспечить человечество теплом и светом на ближайшее тысячелетие. Имеются в виду реакторы на быстрых нейтронах, или реакторы-размножители. В них используется уран, но для получения не энергии, а горючего. Этот изотоп хорошо поглощает быстрые нейтроны и превращается в другой элемент – плутоний. Реакторы на быстрых нейтронах очень компактны: им не нужны ни замедлители, ни поглотители – их роль играет уран. Называются они реакторамиразмножителями, или бридерами. Воспроизведение ядерного горючего позволяет в десятки раз полнее использовать уран, поэтому реакторы на быстрых нейтронах считаются одним из перспективных направлений атомной энергетики. В реакторах такого типа, кроме тепла, нарабатывается еще и вторичное ядерное топливо, которое можно использовать в дальнейшем.

Примером АЭС на быстрых нейтронах служит проект «БРЕСТ» (Россия). «БРЕСТ» – проект реакторов на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем. Электрическая мощность 300 и 1200 МВт. На основе опыта к 2030 году намечено и сооружение отдельной АЭС этого типа. Реактор отличается от эксплуатируемых в настоящее время аппаратов в конструктивном плане.

Реакторы-размножители на быстрых нейтронах, производят больше топлива, чем сами потребляют, позволяют использовать фактически весь уран, произведенный горнодобывающей промышленностью утилизировать в огромных количествах бедные урановые и ториевые руды, рассеянные в земных горных породах. Реакторы бридерного типа можно использовать в качестве источника электроэнергии в течение тысяч лет. Вместе с тем работа бридерных реакторов не связана с выбросом в атмосферу вредных продуктов сгорания (утечка радиоактивности из быстрых бридеров в воздух близка к нулю). Чрезвычайно высокая эффективность делает реакторы-бридеры привлекательными для энергетики. Однако, их высокая стоимость, с одной стороны, и распространенность дешевого урана, с другой, вряд ли будут способствовать их широкому внедрению в атомную энергетику в течение ближайших десятилетий до 2050 года.

#### Литература

- 1 Ганев И. Х. Физика и расчет реактора. М.: Энергоатомиздат, 1992.
- 2 Матвеев В. Л., Рудик А. П. Почти все о ядерном реакторе. М.: Энергоатомиздат, 1990.

УДК 621.3.022

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

Тимофейчик Л.А.

Научный руководитель – Гурьянчик О.А.

В обмотках трансформаторов в процессе эксплуатации могут возникать короткие замыкания (КЗ) между фазами, замыкание одной или двух фаз на землю, замыкание между витками одной фазы и замыкания между обмотками разных напряжений. На вводах трансформаторов и автотрансформаторов, ошиновке и в кабелях могут также возникать КЗ между фазами и на землю. В эксплуатации могут происходить нарушения нормальных режимов работы трансформаторов.

Согласно ПУЭ, для трансформатора требуются следующие защиты:

- защита от внутренних повреждений для трансформаторов менее 4 MBA максимальная защита и токовая отсечка, для трансформаторов большей мощности дифференциальная защита;
- защита от повреждения внутри бака трансформатора или РПН газовая защита трансформатора и устройства РПН с действием на сигнал и отключение;
- защита от внешних коротких замыканий максимальная защита с блокировкой по напряжению или без неё. Она же используется как резервная защита трансформаторов от внутренних повреждений;
- защита от однофазных коротких замыканий на сторонах трансформатора с глухозаземлённой нейтралью;
- защита от перегрузки с действием на сигнал. В ряде случаев, на ПС без обслуживающего персонала, защита от перегрузки выполняется с действием на разгрузку или на отключение.

Основными узлами МП устройства РЗА являются: входные преобразователи логических сигналов (U1-U2), входные преобразователи аналоговых сигналов (U3-U4), выходные преобразователи логических сигналов ( $KL_1-KLj$ ), тракт аналого-цифрового преобразования, содержащий мультиплексор (MUX) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП), кнопки управления и ввода информации от оператора (SB1-SB2), средства отображения информации (в данном случае показан жидкокристаллический индикатор ЖКИ) и блок питания (БП). Как правило, современные микропроцессорные устройства оснащаются коммуникационным портом для связи с другими МП устройствами или компьютерами.

Продольная дифференциальная защита трансформатора блока (ДЗТБ) является основной быстродействующей защитой трансформатора от всех видов КЗ в обмотках трансформатора блока и на его выводах.

Дифференциальная защита трансформатора блока, как правило, имеет три плеча.

Для обеспечения надежной работы защиты при больших токах повреждения в зоне действия защиты предусмотрена дифференциальная отсечка с током срабатывании  $I_{\rm orc}$ , регулируемым в диапазоне от 5,0 до 12,0 с шагом 0,1.

В защите обеспечена отстройка от токов небаланса при внешних K3 и асинхронном ходе. Время срабатывания защиты при двукратном и более превышении тока срабатывания не превосходит 0.03 с.

Для получения информации о токах в блоке турбогенератор-трансформатор используются три группы трансформаторов тока:

- трансформаторы тока, установленные на линейных выводах генератора;
- трансформаторы тока, установленные на выводах высшего напряжения трансформатора блока (при схеме распределительного устройства с одним выключателем на цепь используется группа трансформаторов тока, установленных в цепи выключателя);

– трансформаторы тока, установленные на стороне высшего напряжения отпаечного трансформатора собственных нужд.

Выбор трансформаторов тока выполняется в следующем порядке:

- рассчитываются номинальные первичные токи сторон защищаемого трансформатора  $I_{{\scriptscriptstyle \mathrm{HOM},i}}$  ;
  - Выбираются коэффициенты трансформации трансформаторов тока сторон;
- Рассчитываются вторичные номинальные токи сторон защищаемого трансформатора  $I_{{\scriptscriptstyle {\rm HOM}},Bj}$  .

Минимальный ток срабатывания защиты  $I_{c_{3 \min}}$  выбирается по следующим условиям:

- 1. Отстройка от расчетного периодического тока небаланса в режиме, соответствующем «началу торможения».
  - 2. Отстройка от броска тока намагничивания защищаемого трансформатора.

Ток срабатывания дифференциальной отсечки выбирается из условия отстройки от максимального тока небаланса, возникающего при коротком замыкании вне зоны действия дифференциальной защиты трансформатора или при асинхронном режиме работы генератора блока.

Для каждого из трех коротких замыканий рассчитывается ток небаланса. Расчетным является трехфазное короткое замыкание. Кроме того, рассчитывается ток небаланса при асинхронном ходе генератора блока.

Использование микропроцессорной техники позволит повысить эффективность функционирования релейной защиты трансформаторов. А это в свою очередь обеспечивает экономических эффект по следующим составляющим:

- уменьшение затрат на ремонт благодаря ограничению объема разрушения защищаемого трансформатора в пределах одной-двух катушек;
  - уменьшение ущерба за счет сокращения времени ремонта трансформатора.

# ВЫБОР, РАСЧЕТ ЕМКОСТИ АБ И ПОДЗАРЯДНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

Гагина Т. М.

Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

Постоянный оперативный ток применяется на электрических станциях и крупных подстанциях со сборными шинами. Источником постоянного оперативного тока являются аккумуляторные батареи (АБ), которые набираются из отдельных свинцово-кислотных аккумуляторов. Напряжения питания постоянного тока — 220 В (иногда 110 В).

АБ разделяются на три группы по способу обслуживания (взаимодействия с внешней средой):

- открытые;
- малообслуживаемые;
- герметичные.

Аккумуляторные батареи типа OpzS и Ogi выполняются как малообслуживаемые или необслуживаемые.

Выбор АБ производится так, что бы она совместно с кабелями, питающими цепи включения приводов выключателей и зарядно-подзарядных устройств, обеспечивала надежное и экономичное питание постоянного тока во всех возможных режимах работы.

Для выбора емкости батареи необходимо знать расчётный ток аварийного разряда  $I_{\rm pacч}$ , определяемый из графика аварийного разряда  $I_{\rm pacч}=f(t)$  при аварийном исчезновении переменного напряжения, и значение максимального толчкового тока также определяется из этого же графика.

В качестве исходных данных для расчета установки постоянного тока при применении аккумуляторных батарей должны быть заданы: типы выключателей и приводов к ним, номинальный ток электромагнитов включения приводов  $I_{\text{Сном}}$ , ток аварийного получасового разряда  $I_{0,5}$ , длина кабеля от щита постоянного тока до наиболее удаленного выключателя при наиболее неблагоприятной (ремонтной) схеме питания  $I_{\text{к}}$  и до ближайшего выключателя  $I_{1}$ , минимально допустимое значение напряжения на зажимах электромагнита включения  $K_{\text{с}}$ .

Минимальное число элементов батареи n, работающей в режиме постоянного подзаряда без элементного коммутатора с напряжением 2,15 В на элемент, определяется из условия поддержания на шинах постоянного тока напряжения 1,05  $U_{\text{ном}}$ .

Так же в системе постоянного оперативного тока предусмотрены зарядноподзарядные агрегаты, которые предназначены для поддержания оптимальных режимов работы AБ, таких как ее заряд, разряд и подзаряд.

Ток подзаряда должен быть  $0,15\cdot N$ , с учетом возможных продолжительных разрядов, тогда  $I_{\text{пз}} \geq 0,15\cdot N + I_{\text{п}}$  ( $I_{\text{п}}$  — ток постоянно включенной нагрузки).

Напряжение подзарядного устройства должно соответствовать условию:  $U_{\text{пз}} \geq 2,15 \cdot n_0$ , где  $n_0$  – число основных элементов.

В настоящее время в качестве них применяется ВАЗП- выпрямленный агрегат зарядно-подзарядный.

В заключение можно сказать, что АБ являются наиболее надежным источником постоянного тока, но и дорогим. Они требуют отдельных помещений и квалифицированного ухода.

### Литература

- 1 Васильев, А. А. Электрическая часть станций и подстанций А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова. М. : Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
- 2. Барыбин, Ю. Г. Справочник по проектированию электроснабжения / Ю. Г. Барыбин, Ю. Н. Тищенко. М. : Энергоатомиздат, 1990. 576 с.

УДК 621.3.022

## ДИФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРА

Байрамов Д.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

Большинство повреждений генератора вызывается нарушением изоляции обмоток статора и ротора, которые происходят вследствие старения изоляции, ее увлажнения, наличия в ней дефектов, а также в результате перенапряжений, механических повреждений, например, из-за вибрации стержней обмоток и стали магнитопровода.

На генераторах устанавливаются P3 от внутренних повреждений и опасных ненормальных режимов, т.е. таких режимов, которые могут вызывать повреждение генератора. При ненормальных режимах работы генератора, не требующих немедленного отключения, P3, как правило, должна действовать на сигнал, по которому дежурный обязан принять меры к устранению ненормального режима без отключения генератора. Автоматическое отключение генератора допускается только в тех случаях, когда возникший ненормальный режим нельзя устранить, а его дальнейшее продолжение ведет к повреждению генератора. Для предотвращения развития повреждения, возникающего в генераторе, P3 от внутренних повреждений должны отделить генератор от сети, отключив генераторный выключатель, и прекратить ток в обмотке ротора.

Дифференциальная защита — один из видов релейной защиты, отличающийся абсолютной селективностью и выполняющийся быстродействующей (без искусственной выдержки времени). Применяется для защиты трансформаторов, автотрансформаторов, генераторов, генераторных блоков, двигателей, воздушных линий электропередачи и сборных шин (ошиновок). Различают продольную и поперечную дифференциальные защиты.

В настоящее время на генераторах, работающих на шины генераторного напряжения, применяются главным образом две схемы продольной дифференциальной защиты. В первой из них, которая применяется на генераторах мощностью меньше 30 МВт, используются два токовых реле и четыре трансформатора тока. Недостатком этой схемы защиты является то, что она не будет срабатывать при двойном замыкании на землю (одно в сети, другое в обмотке статора), если в генераторе замкнется на землю фаза статора, в которой отсутствуют трансформаторы тока защиты.

Продольная дифференциальная защита не действует при витковых замыканиях в обмотке статора, так как в этом случае токи, проходящие со стороны выводов и нулевой точки, одинаковы, вследствие чего ток в реле отсутствует.

С целью повышения чувствительности токовое реле включается через фильтр для отстройки от воздействия гармоник, кратных трем, наличие которых обусловлено искажением формы кривой ЭДС генератора. В результате ток срабатывания реле при частоте 150 Гц (третья гармоника) примерно в 10 раз больше, чем при частоте 50 Гц. На генераторах с непосредственным охлаждением обмоток защита выполняется без выдержки времени. На генераторах с косвенным охлаждением устанавливается дополнительно реле времени.

Реле выполняет сравнение дифференциальных токов во всех трех фазах и определяет среднеквадратичные значения синусоидальных токов. Для сокращения времени отклика в случае аварийной ситуации измерение производится по пиковым значениям тока. Для измерения дифференциальных токов обмотки внешних трансформаторов тока соединяются по параллельной схеме, но с противоположной полярностью.

Реле дифференциальной защиты типа MDR-2 представляет собой микропроцессорный блок управления, осуществляющий все необходимые функции для отслеживания дифференциальных токов синхронных и асинхронных генераторов и электродвигателей (далее – объектов контроля).

Устройства предназначено для применения на новых и реконструируемых подстанциях распределительных сетей и промышленных предприятий, а также для замены старых устройств РЗА и телемеханики.

Принцип действия продольной дифференциальной защиты основан на сравнении токов, протекающих через участки между защищаемым участком. Для измерения значения силы тока на концах защищаемого участка используются трансформаторы токам. Вторичные цепи этих трансформаторов соединяются с токовым реле таким образом, чтобы на обмотку реле попадала разница токов от первого и второго трансформаторов.

В нормальном режиме значения величины силы тока вычитаются друг из друга, и в идеальном случае ток в цепи обмотки токового реле будет равен нулю. В случае возникновения короткого замыкания на защищаемом участке, на обмотку токового реле поступит уже не разность, а сумма токов, что заставит реле замкнуть свои контакты, выдав команду на отключение поврежденного участка.

УДК 621.3.022

### ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА В БЕЛАРУСИ

Дайлидко А.В.

Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

Ветроэнергетика – отрасль энергетики, специализирующаяся на использовании энергии ветра — кинетической энергии воздушных масс в атмосфере. В современном мире многие развитые страны стараются внедрять новые возобновляемые источники получения энергии.

Ветроэнергетика, как и любая отрасль хозяйствования, должна обладать тремя обязательными компонентами, обеспечивающими ее функционирование:

- 1) ветроэнергетическими ресурсами;
- 2) ветроэнергетическим оборудованием;
- 3) развитой ветротехнической инфраструктурой.

Для ветроэнергетики Беларуси энергетический ресурс ветра практически неограничен. В стране имеется развитая централизованная электросеть и большое количество свободных площадей, не занятых субъектами хозяйственной деятельности. Поэтому размещение ветроэнергетических установок (ВЭУ) и ветроэлектрических станций (ВЭС) обусловливается только грамотным размещением ветроэнергетической техники на пригодных для этого площадях.

К основным исходным данным о ветроэнергетических ресурсах относится информация о распределении среднегодовых ветроэнергоресурсов по административному делению в зависимости от климатических характеристик территории Беларуси и по характерным особенностям рельефа.

Исследованиями по 244 контрольным точкам, включая 54 метеостанции (статистические сведения – за 25 лет), 190 контрольным пунктам на территории Республики Беларусь и в стокилометровой зоне за рубежом ветроэнергетический потенциал Беларуси оценён в 220 млрд кВт/ч при единичной мощности ветроэнергетических установок (ВЭУ) в диапазоне 100–500 кВт. Установки такой мощности хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации в странах со сходными с Беларусью условиями.

Сведения о ветроэнергетических ресурсах изложены в отчётах по научно-исследовательским работам, а также в различных публикациях и сформированы в комплекте кадастровых сведений, содержащих:

- информационный банк данных о ветроэнергетических характеристиках на территории Беларуси;
- информационную базу данных с программным обеспечением для расчетов ветроэнергетических ресурсов на территориях и оценки ветроэнергетического потенциала конкретной ветроэнергетической установки в конкретном месте внедрения ветротехники;
- ветроэнергетический атлас, содержащий набор карт для размещения ветротехники на территории Республики Беларусь и паспорта точек (площадок) преимущественного внедрения ветроэнергетики;
- руководящие документы по применению, созданию, сертификации, строительству и эксплуатации ветротехники;
- техническое руководство по оценке ветровых режимов по требованиям ветроэнергетики.

При выборе конкретных образцов ВЭУ необходимо дополнительно учитывать ряд факторов, связанных с величиной фактического ветроэнергетического ресурса в месте непосредственного размещения ВЭУ. К таким факторам относятся: 1) абсолютная отметка поверхности земли; 2) высота возвышения площадок и их открытость; 3) отдалённость предлагаемого места размещения ВЭУ от потребителя, от линий электропередач и т. д.

При массовом строительстве ветроэлектростанций можно рассчитывать на то, что в дальнейшем цена одного киловатт-часа существенно снизится и окажется сравнимой со стоимостью электроэнергии, вырабатываемой ТЭС и ГЭС.

Конструкции ВЭС постоянно совершенствуются: улучшаются их аэродинамика и электрические параметры, уменьшаются механические потери и т. д.

С возрастанием установленной мощности ветроэнергоустановок увеличивается и часть годового производства электроэнергии на 1кВт установленной мощности, что достигается за счёт улучшения характеристик ВЭУ, и снижается такой технико-экономический показатель, как стоимость 1кВт установленной мощности.

УДК 621.3.022

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ**

Сырокваш Е. В.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

Трансформаторы тока широко используются для измерения электрического тока и в устройствах релейной защиты электроэнергетических систем, в связи, с чем на них накладываются высокие требования по точности. Трансформаторы тока обеспечивают безопасность измерений, изолируя измерительные цепи от первичной цепи с высоким напряжением, часто составляющим сотни киловольт.

К трансформаторам тока предъявляются высокие требования по точности. Как правило, трансформатор тока выполняют с двумя и более группами вторичных обмоток: одна используется для подключения устройств защиты, другая, более точная для подключения средств учёта и измерения.

Трансформаторы тока (TT) в неустановившемся режиме существенно искажают информацию о состоянии защищаемого объекта, подводимую к устройству защиты. Полная погрешность TT при наличии в первичных токах апериодических составляющих в первые 2—5 периодов после возникновения КЗ может достигать 80–90 % и более. Основным фактором, определяющим искажение вторичного тока TT, является его ток намагничивания. Он достигает наибольших значений при наличии апериодических составляющих в первичном токе и остаточной индукции в сердечнике и совпадении их знаков.

Математическое описание TT, входящее в состав комплексных математических моделей релейной защиты (РЗ), предназначенных для оценки их ожидаемого поведения в переходных режимах защищаемого объекта, должно составляться с учетом реальных условий работы TT и их конструктивных особенностей. К ним относятся:

- схемы соединения вторичных обмоток звезда с нулевым проводом, треугольник, дифференциальные схемы и т. п.;
- значения вторичных нагрузок, при необходимости с учетом их неодинаковости в различных фазах, наличия нелинейных индуктивностей в составе нагрузки и т. п.;
- характеристики намагничивания сердечника с возможностью задания остаточных индукций, учета динамики процесса перемагничивания;
- учет конструктивных особенностей обычное или каскадное исполнение, наличие немагнитных зазоров в магнитопроводе и другое.

Трансформаторы тока с немагнитным зазором привлекают в последнее время все большее внимание. Основным достоинством ТТ с малым немагнитным зазором является низкий уровень остаточных индукций при сравнительно высокой отдаваемой мощности. Наряду со снижением переходной составляющей тока небаланса отсутствие остаточных индукций вносит большую определенность в характер протекания переходных процессов. Это позволяет более достоверно оценивать способность различных средств отстройки от переходных токов небаланса и тем самым повышать чувствительность дифференциальных защит. В ближайшем будущем можно ожидать широкого использования ТТ с немагнитным зазором, поэтому в математических моделях ТТ должна предусматриваться возможность их учета.

Для питания токовых цепей P3 применяются TT простейшей конструкции без какихлибо дополнительных средств уменьшения погрешностей, за исключением витковой поправки. Устройство TT этого типа в общем случае с небольшим немагнитным зазором в сердечнике.

В переходном режиме падение напряжения в нулевом проводе оказывает существенное влияние на форму кривой вторичных токов. Поэтому математическое моделирование

трехфазной группы ТТ этого вида необходимо выполнять с учетом сопротивлений нулевого провода и включенных в него нагрузок.

Трехфазные группы ТТ с соединением вторичных обмоток в треугольник находят применение в дифференциальных защитах силовых трансформаторов. Вторичные нагрузки в этом случае соединяются в звезду без нулевого провода.

Продольная дифференциальная токовая защита электроэнергетического объекта содержит несколько трехфазных групп ТТ, имеющих общую нагрузку дифференциальной цепи. В защитах синхронных генераторов, высоковольтных электродвигателей содержится две, а в защитах сборных шин — более двух групп с соединением вторичных обмоток в звезду. Защиты силовых трансформаторов, автотрансформаторов, блоков генератортрансформатор содержат несколько групп ТТ с разнородными схемами соединения вторичных обмоток.

В комплексных математических моделях дифференциальных защит целесообразно использовать модель токовых цепей, позволяющую задавать нужную схему соединений каждой трехфазной группы ТТ. Наиболее просто это осуществляется при одинаковых нагрузках отдельных фаз в плече защиты, когда группа ТТ с соединением вторичных обмоток в треугольник.

Трансформаторы тока с немагнитным зазором привлекают в последнее время все большее внимание. Основным достоинством ТТ с малым немагнитным зазором является низкий уровень остаточных индукций при сравнительно высокой отдаваемой мощности. Наряду со снижением переходной составляющей тока небаланса отсутствие остаточных индукций вносит большую определенность в характер протекания переходных процессов. Это позволяет более достоверно оценивать способность различных средств отстройки от переходных токов небаланса и тем самым повышать чувствительность дифференциальных защит. В ближайшем будущем можно ожидать широкого использования ТТ с немагнитным зазором, поэтому в математических моделях ТТ должна предусматриваться возможность их учета.

УДК

## ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Юшкевич Р.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

В последнее время все больше внимания уделяется вопросам создания цифровых подстанций. Ключевым свойством цифровой подстанции является минимизация аналоговых и дискретных трактов в системах мониторинга и управления, что обеспечивается за счет максимально полной цифровизации систем оперативного и автоматического управления, в результате чего весь функционал устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики и автоматизированного диспетчерского управления сосредотачивается во взаимосвязанных компьютерных подсистемах энергообъекта.

Суть проблемы кибербезопасности заключается в том, что закрытость объекта больше не является барьером для кибератаки, которая может преодолеть изоляцию, и все данные на верхнем уровне АП с внедрением ІЕС 61850, если не принять специальные меры, могут стать доступными не по назначению. ІЕС 61850 лучше всего реализован через инфраструктуру преимуществ изоляции. Связь Связь с сетью лишает «клиент-сервер», поддерживающая клиента, увеличивают более одного возможность неавторизированного клиента.

Системы управления больше не защищены за счёт закрытости объекта, как это было раньше.

Используются TCP/IP и другие протоколы, характерные для обеих сред, что приводит к целому ряду проблем.

Для обеспечения требований по безопасности и для оценки её уровня предлагаем использовать семь основополагающих требований, кодифицированных в ISA 01.01.99:

- управление доступом (AC Access Control), чтобы защитить от несанкционированного доступа к устройству или информации;
- управление использованием (UC Use Control), чтобы защитить от несанкционированного оперирования или использования информации;
- целостность данных (DI Data Integrity), чтобы защитить от несанкционированного изменения;
- конфиденциальность данных (DC Data Confidentiality), чтобы защитить от подслушивания;
- ограничение потока данных (RDF Restrict Data Flow), чтобы защитить от публикации информации на несанкционированным источниках;
- своевременный ответ на событие (TRE Timely Response to Event), мониторинг и протоколирование связанных с безопасностью событий и принятие своевременных мер по ликвидации последствий в ответственных задачах и в критических ситуациях по безопасности;
- доступность сетевого ресурса (NRA Network Resource Availability), чтобы защитить от атак «отказ в обслуживании».

При анализе существующих и разрабатываемых стандартов выяснилось, что ни один из рассмотренных документов не удовлетворяет всем семи требованиям. Значит необходимо искать правильные решения, потому что эти требования должны стать исходным руководством для инженеров-релейщиков.

Так же проблемой при обеспечении кибербезопасности на энергетических объектах является человеческий фактор.

Суть проблемы состоит в том, что одно и то же устройство или программное обеспечение может быть настроено так, чтобы обеспечивать кибербезопасность и не допускать кибератаки, а может быть настроено по-другому, т.е. способствовать кибератакам.

Отличие исключительно в настройках. Нельзя выявить проблему путем каких-то периодических осмотров оборудования. Требуется привлечение специально обученных специалистов.

Важно также обеспечить независимые от цифровых подсистем элементы защиты и управления, независимым оперативным током

Мероприятия по повышению кибербезопасности цифровых подстанций и объектов электроэнергетики в целом:

- разделение информационных потоков различных подсистем на физически не связанные сегменты коммуникационных сетей передачи данных внутри подстанции, т.е. предлагается создание независимых друг от друга шин процессов и шин объектов для каждой функции автоматического или автоматизированного управления, требующей повышенной надежности;
- отказ от монотехнологичности в коммуникационных сетях передачи данных внутри подстанции (чтобы Ethernet и TCP/IP не были единственными коммуникационными технологиями цифровой подстанции);
- применение симплексных каналов с односторонней передачей информации там, где это достаточно для выполнения прикладной функции, например, односторонняя передача информации от цифрового ТТ (ТН) к устройствам РЗА, исключающая возможность кибератаки на сам ТТ (ТН) от неисправного устройства РЗА и т. д.

Поскольку в настоящее время инженеры-релейщики не имеют ни одного руководства для решения любой из обозначенных проблем, они должны обратиться к изучению ряда стандартов и отчётов с информацией об основополагающих требованиях, кодифицированных в ISA 01.01.99 и к отчёту рабочей группы Исследовательского комитета В5 СИГРЭ.

В связи с внедрением глобальных распределённых систем мониторинга, защиты и управления (WAMS, WAPS, WACS) должна быть решена задача помехоустойчивого приёма сигнала ГННС, обеспечивающего возможность векторных измерений пространственно разнесённых устройств с высокой точностью синхронизации.

# ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6–35 КВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Шуманский В.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Сапожникова А.Г.

Поскольку замыкания на землю не вызывают появления сверхтоков и не искажают значения междуфазных напряжений, то они не отражаются на питании потребителей и не сопровождаются перегрузкой оборудования опасными токами. Поэтому в отличие от КЗ замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью не требуют немедленной ликвидации.

Однако отключение замыканий на землю является все же необходимым, так как в результате теплового воздействия тока замыкания на землю и электрической дуги в месте повреждения возможно повреждение изоляции между фазами на кабельных ЛЭП и переход однофазного замыкания в междуфазное КЗ. Помимо этого, из-за перенапряжений, вызываемых замыканием на землю, возможен пробой или перекрытие изоляции на неповрежденных фазах, что приводит к образованию двойных замыканий на землю в разных точках сети.

Защита от однофазных замыканий на землю может быть реализована 2-мя способами:

- общий (неселективный) контроль состояния изоляции сети относительно земли;
- избирательно (селективно) действующие средства, выявляющие замыкания на землю на отдельных присоединениях.

Общий контроль состояния изоляции и выявление однофазных замыканий на землю, как правило, основан на непрерывном измерении напряжения нулевой последовательности в контролируемой электрической сети.

При непрерывном измерении напряжения нулевой последовательности в контролируемой электрической сети выявляется лишь факт возникновения замыкания. Но определить на каком из присоединений произошло повреждение, невозможно. Поэтому приходится их поочередно отключать. При отключении поврежденного присоединения напряжение нулевой последовательности в сети снижается до фонового уровня. Этот признак и используется при поиске повреждения.

В сетях с изолированной нейтралью замыкания одной фазы на землю не вызывает КЗ, так как в этом случае ЭДС поврежденной фазы не шунтируется накоротко, а только закорачивается емкостью (фаза — земля) этой фазы. Возникающий при этом в месте повреждения ток замыкается через емкость проводов «здоровых» фаз относительно земли и имеет небольшую величину. Поэтому снижения напряжения в сети не происходит. Однако фазное напряжение «здоровых» фаз относительно земли повышается до междуфазного. Линейные напряжения остаются неизменными. Чтобы все это усвоить и представить наглядно, нужно разобраться в векторных диаграммах токов и напряжений в нормальном и ненормальном режимах.

УДК 621.3.022

#### **ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ**

Сапаров М.У.

Научный руководитель – Гавриелок Ю.В.

Ветроэнергетика — отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую или в любую другую форму энергии, удобную для использования в народном хозяйстве. Такое преобразование может осуществляться такими агрегатами, как ветрогенератор (для получения электрической энергии), ветряная мельница (для преобразования в механическую энергию), парус (для использования в транспорте) и другими. В этой работе будет разобран способ выработки электроэнергии с помощью ветка.

Ветряные мельницы, производящие электричество, были изобретены в девятнадцатом веке в Дании. Там в 1890 году была построена первая ветроэлектростанция, а к 1908 году насчитывалось уже 72 станции мощностью от 5 до 25 киловатт. Крупнейшие из них имели высоту башни 24 метра и четырёхлопастные роторы диаметром 23 метра. Предшественница современных ветроэлектростанций с горизонтальной осью имела мощность 100 киловатт и была построена в 1931 году в Ялте. Она имела башню высотой 30 метров. К 1941 году единичная мощность ветроэлектростанций достигла 1.25 мегаватт. В период с 1940 по 1970 годы ветроэнергетика переживает период упадка в связи с интенсивным развитием передающих и распределительных сетей, дававших независимое от погоды энергоснабжение за умеренные деньги. Возрождение интереса к ветроэнергетике началось в 1980, когда в Калифорнии начали предоставляться налоговые льготы для производителей электроэнергии из ветра.

Предварительно проводят исследование потенциала местности. Анемометры устанавливают на высоте от 30 до 100 метров, и в течение одного двух лет собирают информацию о скорости и направлении ветра. Полученные сведения могут объединяться в карты доступности энергии ветра. Такие карты (и специальное программное обеспечение) позволяют потенциальным инвесторам оценить скорость окупаемости проекта.

Самый распространённый в настоящее время тип ветровых электростанций. Ветрогенераторы устанавливаются на холмах или возвышенностях.

Шельфовые ветровые электростанции строят в море: 10–60 километров от берега. Шельфовые ветровые электростанции обладают рядом преимуществ:

- их практически не видно с берега;
- они не занимают землю;
- они имеют большую эффективность из-за регулярных морских ветров.

Первый прототип плавающей ветровой турбины построен компанией H Technologies BV в декабре 2007 года. Ветрогенератор мощностью 80 киловатт установлен на плавающей платформе в 10.6 морских милях от берега Южной Италии на участке моря глубиной 108 метров.

Парящей называют ветровые турбины, размещенные высоко над землей, для использования более сильного и стойкого ветра. Концепция разработана в 1930 годы в СССР инженером Егоровым.

Первая на постсоветском пространстве горная ВЭС мощностью 1.5 МВт была запущена на Кордайском перевале в Жамбылской области Казахстана в 2011 году. Высота площадки — 1200 метров над уровнем моря. Среднегодовая скорость ветра 5.9 метров в секунду.

Автономные ветрогенераторы состоят из генератора, хвостовика, мачты, контроллера, инвертора и аккумуляторной батареи. У классических ветровых установок 3 лопасти, закреплённых на роторе. Вращаясь ротор генератора создаёт трёхфазный переменный ток, который передаётся на контроллер, далее ток преобразуется в постоянное напряжение и подаётся на аккумуляторную батарею. Ток, проходя по аккумуляторам, одновременно и

подзаряжает их и использует АКБ как проводники электричества. Далее ток подаётся на инвертор, где приводиться в наши привычные показатели: переменный однофазный ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Если потребление небольшое то сгенерированного электричества хватает для электроприборов и освещения, если тока с ветряка мало и не хватает - то недостаток покрывается за счёт аккумуляторов.

На первый взгляд ветер кажется самым доступным из возобновляемых источников энергии. В самом деле: не в пример Солнцу, он вполне работоспособен на юге и на севере, зимой и летом, днем и ночью, в дождь и туман. Однако на этом все достоинства и кончаются; дальше, увы, сплошные недостатки. Прежде всего, это очень рассеянный энергоресурс. Природа не собрала ветры в каких-то отдельных месторождениях, подобно горючим ископаемым. И не пустила их течь по руслам, подобно рекам. Всякая движущаяся воздушная масса размазана по огромной территории.

УДК 621.3.022

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ДЛЯ СЕТЕЙ 6–35 КВ С РЕЗИСТИВНО ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Сирисько К.В.

Научный руководитель – Кисляков А.Ю.

При проектировании электрической системы необходимо учитывать возможность аварий, вследствие которых может произойти ухудшение качества электроэнергии или разрушение оборудования, поэтому электрические установки снабжаются специальными электрическими автоматами — реле защиты.

Релейная защита – комплекс автоматических устройств, предназначенных для быстрого выявления и отделения от электроэнергетической системы поврежденных элементов в аварийных ситуациях с целью обеспечения нормальной работы всей системы.

В настоящее время в сетях напряжением до 35 кВ часто применяется резистивное заземление нейтрали – заземление нейтрали через активное сопротивление.

Возможны два варианта реализации резистивного заземления нейтрали высокоомный или низкоомный.

Защита от замыканий на землю при низкоомном резистивном заземлении нейтрали должна обеспечивать селективное отключение поврежденного присоединения за минимально возможное время. Защита должна выполняться в соответствии с требованиями.

Защита от замыканий на землю при высокоомном резистивном заземлении нейтрали и комбинированном заземление нейтрали должна обеспечивать селективную сигнализацию поврежденного присоединения.

Уменьшить величину дуговых перенапряжений и число замыканий на «землю» можно за счет включения в нейтраль сети высокоомного резистора величиной от нескольких сотен Ом до нескольких кОм. Высокоомный резистор в нейтрали сети обеспечивает стекание заряда за время, равное полупериоду промышленной частоты. Включение резистора в нейтраль сети позволяет получить в месте повреждения активную составляющую тока, примерно равную емкостной.

При высокоомном заземлении нейтрали резистор выбирается таким образом, чтобы ток, создаваемый им в месте однофазного повреждения, был равен или больше емкостного тока сети.

Соответственно высокоомное заземление нейтрали может применяться только в сетях с малыми собственными емкостными токами до 5–7 А.

При низкоомном заземлении нейтрали используется резистор, создающий ток в пределах 10–2000 А. Величина тока, создаваемого резистором, выбирается исходя из нескольких конкретных условий: стойкость опор воздушных линий, оболочек и экранов кабелей к протеканию такого тока однофазного замыкания; наличие в сети высоковольтных электродвигателей и генераторов; чувствительность релейной защиты.

Достоинствами резистивного заземления нейтрали являются:

- отсутствие дуговых перенапряжений высокой кратности и многоместных повреждений в сети;
  - отсутствие необходимости в отключении первого однофазного замыкания на землю;
- исключение феррорезонансных процессов и повреждений трансформаторов напряжения;
- уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц при однофазном замыкании;
- практически полное исключение возможности перехода однофазного замыкания в многофазное;
- простое выполнение чувствительной и селективной релейной защиты от однофазных замыканий на землю, основанной на токовом принципе.

Использование резистивного заземления нейтрали позволяет ограничить перенапряжения при дуговых замыканиях за счет разряда емкости здоровых фаз и снижения напряжения на нейтрали до значений, исключающих последующие пробои ослабленной Кроме практически аварийной фазы. того, исключаются феррорезонансные явления, что в свою очередь так же приводит к повышению надежности рассматриваемых сетей.

Отсутствие дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях и возможность организации селективной релейной защиты являются неоспоримыми преимуществами режима резистивного заземления нейтрали.

Таким образом, преимущества, перечисленные выше, способствовали широкому распространению такого режима заземления нейтрали в разных странах.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТАХ

Залозный Р.Н.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Микропроцессорное устройство релейной защиты (МП P3) – устройство релейной защиты, управляющая часть которых реализована на базе микропроцессорной элементной базе.

В настоящее время МП РЗ являются основным направлением развития релейной защиты. Помимо основной функции — аварийного отключения энергетических систем, МП РЗ имеют дополнительные функции по сравнению с устройствами релейной защиты других типов (например, электромеханическими реле) по регистрации аварийных ситуаций.

Вторичные токи и напряжения контролируемого объекта являются входными сигналами микропроцессорной системы защиты (МСЗ). К их информационным параметрам относятся частота, амплитуда и фазовые сдвиги. Величины, которые определяются в МСЗ по этим параметрам, называются контролируемыми.

Многие МСЗ в качестве полезной информации используют параметры синусоидальных сигналов основной частоты, которые можно выделить из сложных входных токов и напряжений, применяя соответствующие частотные фильтры.

Одной из основных задач, которые приходится решать на этапе разработки МСЗ, является выбор шага дискретизации  $\Delta t$  входных сигналов, подвергшихся предварительной аналоговой фильтрации. Существенное влияние на быстродействие МСЗ и точность восстановления входных сигналов оказывает величина  $\Delta t$ . Оптимальное значение  $\Delta t$  зависит от многих факторов, и с учетом которых может быть наиболее достоверно определено методом вычислительного эксперимента, при проведении которого необходимо иметь диапазон возможных значений  $\Delta t$ .

Теорема Котельникова содержит теоретическое обоснование выбора шага дискретизации аналоговых сигналов с ограниченным спектром частот.

Определение амплитуд входных токов и напряжений в MC3 сводится к нахождению амплитудных значений сигналов основной частоты. Оно может производиться по ортогональным составляющим сигнала либо на основе непосредственных операций с отсчетами его мгновенных значений.

Для получения ортогональной составляющей (OC) основной частоты целесообразно использование формирователя ортогональных составляющих ( $\Phi$ OC), которые также выполняют частотную фильтрацию входного сигнала. Более предпочтительны для этой цели частотно-независимые  $\Phi$ OC, которые обеспечивают стабильность амплитуды сигнала при любой частоте.

Амплитуду сигнала основной частоты можно вычислить без формирования ОС по двум или трем отсчетом его мгновенных значений. В этом случае входной сигнал предварительно подвергается аналоговой фильтрации фильтром нижних частот (ФНЧ), из выходного сигнала которого с помощью ЦФ выделяется составляющая основной частоты.

В МСЗ могут применяться только быстродействующие методы определения фазовых сдвигов. При этом  $\delta$  не должен зависеть как от входных сигналов в широко диапазоне их изменения, так и от отклонений частоты от номинальной.

Основное влияние на точность получения  $\delta$  оказывают апериодическая составляющая и высшие гармоники, степень подавления которых зависит от параметров  $\Phi OC$ .

Методы определения частоты должны обеспечивать высокую точность в широком диапазоне изменений входного напряжения, быстродействие в несколько периодов и достаточную надежность. Наибольшее распространение в релейной защите (РЗ) получили цифровые способы измерения частоты, основанные на счете числа периодов входного сигнала за определенный промежуток времени либо на фиксировании количества импульсов

эталонного генератора за несколько периодов входного напряжения. Эти методы удобно использовать в МСЗ с цифровой обработкой длительностей время импульсных сигналов. В МСЗ с цифровой обработкой отсчетов мгновенных значений сигналов наиболее целесообразно определять частоту по указанным отсчетам, что не требует привлечения дополнительных аппаратных средств.

#### Литература

- 1 Андрианов, В. Н. Микропроцессорная релейная защита / В. Н. Андрианов, Д. Н. Быстрицкий, К. П. Вашкевич. М. : Госэнергоиздат, 2003. 294 с.
- 2 Романюк, Ф. А. Информационное обеспечение микропроцессорных защит электроустановок : учебное пособие / Ф. А. Романюк. Минск : Технопринт, 2001. 133 с.

УДК 621.311

### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Ермола Д.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Булойчик Е.В.

Внедрение приборов определения места повреждения началось в нашей стране в 60-х годах и в настоящее время большинство линий напряжением 110 кВ и выше оснащено такими приборами.

Известно большое количество различных методов определения места повреждения (ОМП) и определения места короткого замыкания (ОМКЗ).

Прежде всего, методы делятся на дистанционные и топографические. Топографические методы подразумевают определение искомого места непосредственно при движении по трассе, и средства топографического отыскания места повреждения находятся в распоряжении поисковой бригады. Дистанционные методы подразумевают использование приборов и устройств, устанавливаемых на подстанциях и указывающих расстояние до повреждения.

Другое деление методов – на высокочастотные и низкочастотные. Под низкочастотным диапазоном подразумеваются частоты от нуля до нескольких килогерц. Под высокочастотным – десятки килогерц.

В настоящее время в энергосистемах преимущественное распространение получили методы определения места КЗ, основанные на измерении параметров нулевой последовательности, несмотря на то, что при этом невозможно определить место междуфазного замыкания.

Фиксирующие приборы используются в энергосистемах преимущественно для фиксации симметричных составляющих токов и напряжений нулевой или обратной последовательности. Передача показаний фиксирующих приборов может быть осуществлена автоматически по телеканалу, а для расчетов диспетчером могут быть использованы различные вычислительные средства. В последние годы в энергосистемах получили распространение фиксирующие омметры ФИС.

Определение мест повреждения по показаниям фиксирующих приборов на ВЛ электропередачи производится путем двухсторонних или односторонних измерений параметров аварийного режима. Выбор метода определения места повреждения зависит от конкретных условий – конфигурации сети, параметров контролируемой линии и другие.

Внедрение фиксирующих приборов для определения мест повреждения в электрических сетях 6–750 кВ является одним из важных факторов повышения надежности электроснабжения потребителей, снижения потерь электроэнергии в сетях, обеспечения экономичности эксплуатации и безопасности обслуживания электрических сетей.

В настоящее время известно несколько модификаций фиксирующих приборов с запоминающими конденсаторами. Они различаются в основном схемами считывающих устройств и конструкциями воспроизводящих элементов. К этой группе фиксирующих приборов относятся приборы ФИП, ФИ11-1 и ФИП-2, ЛИФП, Ф11Т, ФПН и ФИС. Считывающее устройство этих приборов выполнено в виде вспомогательного конденсатора и измерительного реле, производящих разряд запоминающего конденсатора дискретными ступенями. Выходным элементом приборов является счетчик импульсов, регистрирующий число циклов разряда.

Применение современных средств для определения мест повреждения существенно улучшает технико-экономические показатели электроснабжения народного хозяйства, повышает надежность работы энергосистем, сокращает аварийный недоотпуск электроэнергии потребителям и значительно сокращает трудозатраты на отыскание повреждений.

**Литература**Кузнецов, А.П. Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи / А.П. Кузнецов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 94 с.

#### ДЕЛИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА

Селивонюк Т.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

Делительные защиты, как правило, должны быть селективными и не производить отделения электростанций в тех случаях, когда связь с системой не нарушается, например, при коротких замыканиях на линиях, отходящих от шин электростанций и подстанций и не являющихся линиями связи станции с системой.

Применяются следующие основные типы делительных защит электростанций малой мощности, используемые в различных сочетаниях:

- делительная защита, действующая при понижении частоты;
- делительная защита, действующая при понижении напряжения;
- делительная защита, реагирующая на появление симметричных составляющих обратной и нулевой последовательностей тока или напряжения в режиме короткого замыкания.

Выбор делительных защит для конкретных энергетических узлов с небольшими электростанциями должен производиться одновременно с выбором релейной защиты и устройств противоаварийной автоматики: АПВ, АВР, АЧР и др. Определение необходимости установки делительной защиты. Прежде чем приступить к выбору устройств противоаварийной автоматики и в том числе делительных защит, необходимо проанализировать многолетние данные по режимам работы электростанции и потребляемой мощности в наиболее характерные периоды времени (зимний максимум, весенний паводок, воскресные дни, ночное время). Эти данные могут иметь решающее значение при выборе средств противоаварийной автоматики.

В настоящее время делительные защиты выполняются в виде комплекса защит, состоящего обычно из следующих обязательных элементов, взаимно дополняющих друг друга:

- защиты по снижению частоты;
- защиты по снижению напряжения;
- защиты, реагирующей на появление симметричных составляющих тока, напряжения или мошности.

Делительные защиты являются частью комплекса автоматических устройств, предназначенных для ликвидации аварийных режимов, вызванных отделением от системы узлов нагрузки с электростанциями небольшой мощности. При выборе и расчете этих устройств необходимо обеспечить их согласованные последовательные действия.

Наибольший интерес представляет опыт эксплуатации следующих делительных защит.

- 1. Делительная защита установлена на подстанции 110/35/6 кВ, связанной с энергосистемой одной линией 110 кВ. Через подстанцию осуществляется параллельная работа системы с несколькими тепловыми и гидравлическими электростанциями общей мощностью более 30 МВт.
- 2. Делительная защита установлена на ТЭЦ мощностью 12 МВт, связанной с системой одной линией (аналогично ТЭЦ-2 на рисунок 2). Мощность района нагрузки в 2,5 раза превышает мощность ТЭЦ. Защита предназначена для обеспечения АПВ этого района.
- 3. Делительная защита установлена на тепловой электростанции энергосистемы, связанной с системой одной двухцепной линией небольшой протяженности. При отключении линии связи возникает большой дефицит мощности, который приводит к полному погашению электроприемников этого узла. Для предотвращения подобных аварий было разработано устройство АПВ района нагрузки с делительной защитой по снижению частоты и напряжения. Защита действует на отделение генераторов с частью нагрузки и собственными нуждами.

4. Делительные защиты установлены на двух промышленных ТЭЦ мощностью 14 и 25 МВт, отстоящих на расстоянии 30 км одна от другой и подключенных к одной линии 110 кВ связи с системой.

Делительные защиты, которые устанавливаются на работающих параллельно с энергосистемой электростанциях малой мощности и действуют на их отделение счастью нагрузки, предназначены, главным образом, для решения двух основных задач: предотвращения лавинообразного снижения частоты и напряжения вследствие большой перегрузки генераторов; предотвращения опасного несинхронного включения генераторов малой мощности при АПВ линий, связывающих энергосистему с электростанциями.

#### ДУГОВАЯ ЗАЩИТА НА КРУ

Якимчик А.А., Кулак И.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гурьянчик О.А.

Дуговая защита шин (ДуЗШ) или защита от дуговых замыканий (ЗДЗ) применяется для защиты сборных шин и элементов ошиновки распределительных устройств 6–10 кВ, размещенных в закрытых отсеках.

Может применяться только в КРУ, где все токоведущие части размещены в закрытых отсеках.

Выполнена блокировка защиты по току питающих присоединений.

Значительную опасность для комплектных распределительных устройств (КРУ) напряжением 6–10 кВ представляют внутренние короткие замыкания (КЗ).

Издание приказов по оснащению быстродействующими защитами от внутренних дуговых КЗ.

Технические решения защиты от дуговых К3, реализующие в основном контроль параметров тока и светового потока.

Дуговое K3 сопровождается как изменением параметров и характеристик электрической сети, так и существенным повышением температуры, давления, электропроводимости и теплового (светового) излучения внутри отсеков KPУ.

Основные способы распознавания дуговых К3: способы, основанные на контроле параметров и характеристик электрической цепи с дугой; способы, основанные на контроле параметров электрической дуги и сопутствующих ей явлений.

Достаточно простым техническим решением для защиты от дуговых КЗ является применение максимальной токовой защиты (МТЗ).

Положительными качествами МТЗ являются простота, высокая элементная надежность и низкая стоимость.

Ограничивающими факторами применения МТЗ являются относительная селективность и недостаточно высокое быстродействие.

Требованию абсолютной селективности отвечают токовые дифференциальные защиты и «логические защиты шин» (ЛЗШ).

«Мертвой» зоной этих защит являются отсеки измерительных трансформаторов тока (ТТ) и кабельной разделки.

Для контроля температуры в ячейке могут быть использованы контактные и дистанционные методы.

Для защиты КРУ в настоящее время применяются устройства, реагирующие на повышение давления на фронте ударной волны в начальный момент дугового КЗ.

Оптико-электрические дуговые защиты по типу используемых датчиков можно разделить на две группы: с полупроводниковыми фотодатчиками и с ВОД.

Дуговая защита КРУ должна строиться с учетом его конструктивных особенностей и типов коммутационных аппаратов.

Датчик дуговой защиты — это датчик, способный регистрировать возникновение электрической дуги.

Важным элементом дуговой защиты является полимерный кабель.

Дуговая защита VAMP – система защиты комплектных распределительных устройств низкого и среднего напряжения от дуговых коротких замыканий.

#### Литература

1. Нагай, В.И. Релейная защита ответвительных подстанций электрических сетей / В.И. Нагай. – М.: Энергоатомиздат, 2002. - 312 с.

2. Нагай, В.И., Сарры, С.В. Определение чувствительности оптико-электрических защит от дуговых коротких замыканий в комплектных распределительных устройствах напряжением 6–10 кВ // Изв. вузов. Электромеханика / В.И. Нагай, С.В. Сарры. − 1999. – № 1. – С. 48–51.

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СХЕМАХ 0,4 КВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Дубовский А.А., Гавриелок Ю.В. Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

Расчеты токов короткого замыкания (КЗ) в сетях напряжением до 1 кВ выполняются для выбора коммутационной аппаратуры, шинопроводов, кабелей и другого электрооборудования с целью проверки их по условиям термической и динамической стойкости, а также для выбора уставок устройств релейной защиты и автоматики и проверки их чувствительности. Короткие замыкания в электрических сетях напряжением до 1 кВ являются одними из наиболее опасных аварийных режимов, ибо, как правило, являются первопричиной пожаров в электроустановках и кабельном хозяйстве.

Следует отметить, что значительная разветвленность сетей напряжением до 1 кВ электрической станции, большое количество коммутационной и защитной аппаратуры создают условия для возникновения аварийной ситуации, при которых короткое замыкание переходит из одного вида в другой, более опасный. В отличие от сетей напряжение выше 1 кВ эти КЗ в большинстве случаев являются дуговыми, а не металлическими, что объясняется конструктивными особенностями этих сетей.

Поэтому при расчетах токов КЗ для проверки оборудования на термическую и динамическую стойкости и выбора аппаратуры по отключающей способности выполняются расчеты металлических КЗ, т. к. в этом случае значения токов КЗ являются максимальными. При проверке чувствительности устройств релейной защиты и защитных аппаратов выполняются расчеты дуговых КЗ, т. к. при этом значения токов КЗ являются минимальными.

Расчеты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ имеют ряд особенностей по сравнению с расчетами токов КЗ в сетях напряжением выше 1 кВ.

К ним относятся следующие:

- учет активных сопротивлений всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- учет индуктивных сопротивлений всех вышеперечисленных элементов короткозамкнутой цепи;
  - учет активных сопротивлений различных контактов и контактных соединений;
  - учет сопротивления электрической дуги в месте КЗ;
- учет параметров асинхронных двигателей, если суммарный номинальный ток этих двигателей превышает 1 % начального значения периодической составляющей тока КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей.

Дополнительно следует отметить, что в соответствии с ПУЭ влияние асинхронных двигателей на ток КЗ не учитывается, если ток от них поступает к месту КЗ по тем же элементам, по которым протекает основной ток КЗ от сети и которые имеют значительные сопротивления. Для сети 0,4 кВ такими элементами являются трансформаторы, воздушные и кабельные линии и переходные сопротивления в месте КЗ. Это означает, что влияние асинхронных двигателей на ток КЗ следует учитывать, если двигатели подключены либо непосредственно к месту КЗ, либо через кабельные и воздушные линии.

Кроме того, в сетях напряжением до 1 кВ рекомендуется учитывать изменение активного сопротивления проводников короткозамкнутой цепи, в основном кабелей, вследствие их нагрева токами.

УДК 621.373.13

## АДАПТИВНАЯ ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА. ДЕМФЕРЫ ТЯЖЕНИЯ

Шульга Е.В., Алексеев С.И.

Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я.В.

Полимерный изолятор — это устройство, предназначенное для изоляции и крепления проводов воздушных линий электропередачи (BЛ) и распределительных устройств электростанций и подстанций, выполненные с применением композитных материалов.

Полимерные изоляторы состоят из стержня, определяющего механическую и электрическую прочность изолятора.

Для защиты от воздействия различных климатических факторов и создания необходимой длины пути утечки, на стержень наносится оболочка, выполненная из полимерных материалов.

Первые полимерные изоляторы, относящиеся к изоляторам первого поколения, изготавливались по так называемой «шашлычной» технологии, при которой оболочка наносилась на стеклопластиковый стержень вручную пореберной склейкой.

На изоляторах второго поколения был осуществлен переход на цельнолитую кремнийорганическую защитную оболочку на основе силиконов.

Повышение надежности полимерных изоляторов третьего поколения обеспечивается защитой от проникновения влаги самого слабого узла входа стержня в оконцеватель.

Методы испытаний полимерных изоляторов.

В основе спиральной арматуры лежат проволочные спирали, охватывающие провод.

Спиральная арматура по своему назначению подразделяется на виды.

Применение многороликовых поддерживающих подвесов типа ПР является одним из типовых проектных решений для подвески проводов на переходах ВЛ.

Многолетняя практика показывает, что многозвенный трубчатый протектор не является оптимальным решением по защите проводов.

При использовании реле частоты РЧ-1 установка реле времени не требуется.

Для предотвращения повторного разрушения на новый провод вместо алюминиевых муфт M3 установили протектор спирального типа.

Спиральный протектор обладает рядом существенных преимуществ перед защитными алюминиевыми муфтами.

Гасители вибрации предназначены для защиты неизолированных проводов и молниезащитных тросов воздушных линий электропередачи.

Принцип работы гасителя.

Провода волоконных линий напряжением 6–10 кВ, монтаж которых был произведен на подвесных изоляторах, можно защищать от раскачивания и вибрации, используя гаситель петлевого типа.

Гасители мостового типа бывают с глухим креплением на проводе и сбрасывающийся для перехода.

Проводятся эксперименты по созданию искусственных колебаний исследуемых образцов виброзащитных устройств.

Ведущую роль для эффективности энергопоглощения играют величины и соотношения показателей жёсткостных и диссипативных свойств упругого демферного элемента (троса).

#### Литература

Виноградов А. А., Рыжов С. В. Гасители вибрации, – Минск: Лоранж-2, 2005.

УДК 621.3.022

## ОРГАНИЗАЦИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

Щербицкий А.В.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

Дифференциальная защита уже достаточно широко применялась к концу 19 века и является одной из первых систем защит в истории.

Защищаемая зона четко определяется местами установки измерительных трансформаторов тока. Тем самым, для защиты от внешних коротких замыканий необходимо применение резервной защиты, действующей с выдержкой времени (таковой может являться токовая ступенчатая защита или дистанционная защита).

Дифференциальная токовая защита является наиболее простой и часто используемой реализацией дифференциального принципа. Измерительные трансформаторы тока, установленные по концам защищаемой зоны, имеют последовательно соединенные вторичные цепи.

При реализации защиты сборных шин, необходимо суммировать токи нескольких присоединений. В нагрузочном режиме или при внешнем коротком замыкании, векторная сумма данных токов равна нулю, поэтому через устройство защиты дифференциальный ток не протекает.

При реализации цифровой защиты, все больше используется цифровая передача данных. Тем самым, измеряемые величины преобразуются в цифровой вид, и их передача осуществляется по выделенной волоконно-оптической линии связи или через цифровую систему обмена данными.

В современных цифровых устройствах защиты согласование и обработка измеряемых величин производится в цифровом виде. Тем самым, достигаются преимущества по сравнению с системами аналогового измерения. Цифровые фильтры и интеллектуальные алгоритмы обеспечивают высокую точность измерений и гибкость задания параметров.

Удаленное управление устройствами защиты обычно осуществляется через частную телефонную сеть ISDN (Integrated Services Digital Network — цифровая сеть с интеграцией служб, позволяющая совместить услуги телефонной связи и обмена данными) при использовании подходящих модемов.

Синхронизация выборок измеряемых величин (комплексных амплитуд) осуществляется через канал передачи данных при использовании современных устройств защиты.

Задержки передачи непрерывно контролируются и автоматически компенсируются защитой.

Повреждения проводов канала связи происходят, время от времени из-за земляных работ. Поэтому особенно рекомендуется мониторинг длинных проводных каналов связи.

Современные устройства защиты компактны и, помимо основной функции (в нашем случае, функции дифференциальной защиты), обладают рядом дополнительных функций (к примеру, функцией токовой ступенчатой защиты и функцией защиты от перегрузки), а также дополнительными функциями управления и измерения.

Представляется возможным осуществлять местное управление устройствами при помощи клавиатуры и дисплея лицевой панели устройства. Однако обычно для этой цели используется ПК с предустановленным программным обеспечением DIGSI.

#### КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Норко Н.С.

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

Квазистационарные перенапряжения относятся к внутренним, они продолжаются от единиц секунд до десятков минут и в свою очередь подразделяются на режимные, резонансные, феррорезонансные и параметрические. Режимные перенапряжения возникают при несимметричных коротких замыканиях на землю, а также при разгоне генератора в случае резкого сброса нагрузки. Резонансные перенапряжения имеют место при возникновении резонансных эффектов в линиях (при одностороннем питании линии), в электрических цепях при наличии реакторов. Феррорезонансные перенапряжения возникают в цепях с катушками с насыщенным магнитопроводом, что может быть как на частоте 50 Гц, так и на высших гармониках и на субгармониках. Особенностью феррорезонанса является скачкообразный вход в режим резонанса (триггерный эффект).

Квазистационарные перенапряжения продолжаются от единиц секунд до десятков минут и в свою очередь подразделяются на режимные, резонансные, феррорезонансные и параметрические.

При рассмотрении квазистационарных процессов можно не учитывать продольные активные и индуктивные сопротивления воздушных и кабельных линий, генераторов, трансформаторов, а также междуфазные проводимости линий и нагрузок. Эти проводимости включены на источники неизменных линейных напряжений и не влияют на напряжения относительно земли. Эквивалентные проводимости фаз сети на землю определяются собственными емкостями на землю кабелей, воздушных линий, генераторов и другого оборудования сети. Емкость на землю сетей 6–35 кВ различного назначения изменяется в широких пределах. Например, если в сетях собственных нужд электростанций токи однофазного замыкания на землю (прямо пропорциональные емкости сети) лежат в диапазоне 2–5 A, то в кабельных сетях крупных городов и промышленных предприятий они могут достигать нескольких сотен ампер.

УДК 621.373.13

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛНЕНИЯ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Тимофеев В.О.

Научный руководитель – Кисляков А.Ю.

Делительные защиты являются особой частью такой важнейшей области электроэнергетики, как релейная защита, автоматика и управление.

В замкнутых распределительных сетях делительные защиты предназначены: для автоматического деления сети при возникновении асинхронного режима частей энергосистемы; для автоматического деления сети при коротком замыкании (КЗ) на элементах высшего напряжения.

В нормально разомкнутых распределительных сетях, оборудованных устройствами автоматического ввода резерва (ABP), делительные защиты предназначены для действия перед ABP в целях предотвращения перегрузки трансформаторов и линий в режимах после ABP.

В распределительных сетях с параллельно работающими местными электростанциями относительно небольшой мощности делительные защиты предназначены для отделения в аварийных условиях этих электростанций на самостоятельную (изолированную) работу в целях сохранения питания их собственных нужд.

Наиболее просто защита выполняется с помощью трех токовых реле, включенных на фазные токи; контакты всех этих трех токовых реле включены последовательно.

Коэффициент чувствительности должен составлять 1,5-2.

Время срабатывания делительной защиты выбирается по условиям селективности с защитами элементов прилегающей сети, а также по условию термической стойкости этих элементов и обычно находится в пределах от 1 до 2 секунд.

Действие сетевого АВР должно быть однократным.

В настоящее время, как и прежде, к государственным энергосистемам подключается большое число промышленных и других электростанций, работающих изолированно.

Частота срабатывания делительной защиты от понижения частоты выбирается обычно равной 47–48  $\Gamma$ ц.

Делительная защита по снижению напряжения выполняется также как пусковой орган минимального напряжения схемы ABP.

В зависимости от скорости снижения частоты схема избирательной делительной защиты действует на отключение менее ответственных электроприемников (подобно АЧР) или на отключение генераторов

Несмотря на сравнительно ограниченную область применения делительных защит по скорости снижения частоты, из многолетнего опыта эксплуатации известен ряд случаев их успешного использования, как для постоянных, так и для переходных схем энергоузлов с электростанциями.

Установка делительных защит экономически целесообразна и может потребоваться для электростанций, уже работающих в энергосистеме, если потребляемая мощность их района нагрузки становится значительно больше мощности электростанции, а несинхронное включение их генераторов недопустимо.

#### Литература

Гончарук А.И. Расчёт, конструирование и принцип действия генераторов / А.И. Гончарук. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 348 с.

УДК 621.373.13

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА В D, Q, 0 КООРДИНАТАХ

Яловчик Н. Н.

Научный руководитель – доцент Бобко Н.Н.

Модель – некоторый объект, с помощью которого исследуются свойства оригинала и находящегося во взаимозначном соответствии с ним и более доступном для изучения.

Она достоверно отображает некоторые свойства оригинала, подлежащие изучению. Модель должна быть наглядной, простой и доступной для изучения.

При составлении математической модели генератора не учитываем магнитное насыщение генератора.

В воздушном зазоре машины действуют намагничивающие силы только первой гармоники, следовательно, ЭДС синхронного генератора – синусоидальный.

Также не учитываем потери на перемагничивание, считаем, что обмотки статора выполнены симметрично, а ротор генератора симметричен относительно осей d и q, все демпферные обмотки по оси d заменены одной демпферной обмоткой аналогичной по оси q.

Находим уравнение баланса напряжений, уравнение статора и ротора. Вычисляем потокосцепления фазы A, B, C, f.

Первая система уравнений, дополненная второй системой уравнений и уравнениями внешней цепи генератора представляет собой математическую модель СГ в фазных координатах.

С целью упрощения модели представляем её в виде 9 суперблоков.

Первый суперблок моделирует переменные коэффициенты в уравнения для определения потокосцепления.

Второй, третий, четвертый и пятый суперблоки моделируют потокосцепление, шестой, седьмой и восьмой имитирует фазное напряжение, девятый воспроизводит ток в обмотках возбуждения.

Первый суперблок состоит из двенадцати подблоков.

Первые три моделируют постоянные коэффициенты L0, M0, L2, M2.

При реализации модели СГ в первую очередь необходимо смоделировать постоянные коэффициенты L0, M0, L2, M2.

Каждый из трёх подблоков представляем в виде субблоков.

Каждый из подблоков преобразуем в субблок аналогично первым трём подблокам, при этом соединяя одноимённые входы и выходы подблоков.

Моделируем потокосцепления, связанные с соответствующими обмотками. Преобразуем суперблоки Sb2 - Sb5 в субблоки.

Подблоки четыре, пять, шесть моделируют индуктивности LA, LB, LC.

Моделируем фазные напряжения в обмотках статора. Воспроизводим ток в обмотке возбуждения.

Преобразуем каждый из суперблоков в субблоки и соединяем их одноимённые входы и выходы с предыдущими блоками.

Подблоки десять, одиннадцать, двенадцать моделируют взаимоиндукцию между обмотками возбуждения и фазными обмотками статора.

Этот блок Ssb содержит в себе все суперблоки и их подблоки.

На вход этого основного блока подаем напряжения в фазных обмотках и их потокосцепления.

Подключив осциллографы к соответствующим выходам SSb, наблюдаем изменение фазных напряжений и тока в обмотке возбуждения синхронного генератора в режиме холостого хода.

Объединяем фазные напряжения для просмотра в одной системе координат.

Так как, в данной модели фазные токи равны 0, то это модель синхронного генератора в режиме холостого хода.

Работа реализована в программном обеспечении VisSim.

#### Литература

Важнов А. И. Переходные процессы в машинах переменного тока. – Ленинград: Энергия, 1980. – 256 с.

УДК 621.373.13

## ДЕЛИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Пылинская Е.Р., Чирич В.В.

Научный руководитель – ассистент Артеменко К.И.

Делительные защиты устанавливаются на станциях малой мощности, работающих параллельно с энергосистемой

Возможные аварийные ситуации, вызванные нарушением связи станции с системой.

При отключении ВЛ или трансформатора станции отделяется от энергосистемы с частью сети и нагрузкой, значительно превышающей мощность ее генераторов.

При отключении ВЛ в отделившемся районе образовался небольшой дефицит мощности и станция продолжает работать.

Нарушение связи с системой произошло в результате короткого замыкания на ВЛ.

Для снятия напряжении ВЛ со стороны станции наиболее целесообразно отключить выключатель CB.

Защиты от внешних коротких замыканий не могут в ряде случаев обеспечить отделение станции из-за их недостаточной чувствительности к удаленным коротким замыканиям.

Способы выполнения делительных устройств

Выбор того или иного типа защиты должен производится с учетом местных условий.

Отделение от системы в районе может образоваться лишь небольшой дефицит мощности, делительная защита по снижению частоты окажется малоэффективной.

Защита по снижению частоты выполнена с дополнительным реле времени.

Полное время от момента отключения линии связи станции с системой до момента срабатывания этой делительной защиты

При использовании реле частоты РЧ-1 установка реле времени не требуется.

Делительная защита по снижению напряжения выполняется также, как пусковой орган минимального напряжения схемы ABP.

Время срабатывания определяется требованиями селективности с защитами смежных элементов.

После действия делительной защиты может произойти отделение генераторов с нагрузкой

Дежурный персонал не в состоянии изменять направления действия делительной защиты в зависимости от создаваемого режима работы и ожидаемого дефицита мощности.

Характер протекания процесса снижения частоты зависит от размера образовавшегося дефицита мощности.

Делительная защита может являться частью общесистемной разгрузки по частоте.

Скорость снижения частоты зависит не только от дефицита мощности.

#### Литература

Шабад М.А. Делительные защиты – автоматика деления при авариях. – Москва: Энергопрогресс, 2006. – 312 с.

#### СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Куликова А. С.

Научный руководитель – Гавриелок Ю. В.

Системы возбуждения предназначены для питания обмотки ротора постоянным током и соответствующего тока возбуждения. В настоящее время для регулирования тока возбуждения используют APB, которое реагирует на параметры генератора автоматически изменяя ток возбуждения в зависимости от режима его работы.

Электромашинные системы возбуждения, где источником энергии является генератор постоянного тока (возбудитель), использовались в течение длительного времени для большинства генераторов. Обычно они находились на одном валу с генератором и приводились во вращение той же турбиной, что и сам генератор. Такая система называется прямой. В случае, если возбудитель приводится во вращение отдельным двигателем, систему принято называть косвенной. В генераторостроении применяют, как правило, прямую возбуждения, имеющую меньшую стоимость И большую Электромашинные системы возбуждения, выпускавшиеся заводами более 30 лет назад и находящиеся до сих пор в эксплуатации, могут быть заменены на современные полупроводниковые статические системы с любым набором заданных Достоинством этой системы возбуждения является ее высокая надежность и независимость от внешней сети. Недостатком же является невозможность использования для возбуждения синхронных генераторов по условиям надежной коммутации и механической прочности коллектора.

При большой мощности СГ мощность возбуждения становится больше мощности ГПТ, в связи с этим для возбуждения крупных машин применяют выпрямитель с полупроводниковым выпрямлением. В зависимости от способа получения постоянного тока различают две разновидности выпрямительных систем:

- система независимого возбуждения (СТН);
- система самовозбуждения (СТС).

В СТН группа статических выпрямителей преобразует переменный ток возбудителя в постоянный. Возбудитель находится на одном валу с основным генератором. На статоре имеется трехфазная обмотка с отпайками к которой подключены две группы тиристоров. Обе группы соединяются по трехфазной мостовой схеме. Возбудитель имеет обмотку возбуждения питаемую от трансформатора через выпрямители. Система управления тиристорами питается от трансформатора связанного системой АРВ. В нормальном режиме работы возбуждение основного генератора обеспечивается рабочей группой тиристоров, а форсировочная группа почти закрыта. В режиме форсировки возбуждения тиристоры, питающиеся от полного напряжения трехфазной обмотки возбудителя, открываются полностью и дают весь ток форсировки, а рабочая группа при этом запирается более высоким напряжением форсировочной группы. Достоинством СТН является наибольшее быстродействие. Скорость форсировки 50 ед/с позволяет производить замену вышедших из строя тиристоров без остановки синхронного генератора. Недостатком является наличие контактных колец и щеток.

Основными элементами СТС являются две группы выпрямителей неуправляемые и управляемые, которые получают питание от выпрямительного трансформатора подключенного к цепи возбуждаемого синхронного генератора. Также два трансформатора: последовательный и выпрямительный.

Управляемые выпрямители получают питание от выпрямительного трансформатора, вторичное напряжение которого пропорционально напряжению генератора. В номинальном режиме неуправляемые выпрямители обеспечивают восемьдесят процентов тока возбуждения генератора. Важным недостатком СТС является зависимость от внешней сети, также наличие контактных колец и щеток.

Подвод тока к контактным кольцам с помощью щеток недостаточно надежен, особенно при токах более 3000 А. Для мощных машин перспективной является бесщеточная система возбуждения. В этой системе в качестве возбудителя используется синхронный генератор особой конструкции, его обмотка возбуждения располагается на неподвижном статоре, а обмотка трехфазного переменного тока на вращающемся роторе. Недостаток этой системы — останов машины для подключения резервного питания и замены вышедших из строя диодов.

Для управления тиристорами выпрямителя используется система импульсно-фазового управления (СИФУ), выполняющая следующие функции:

- определение моментов времени, в которые должны открываться те или иные конкретные тиристоры; эти моменты времени задаются сигналом управления, который поступает с выхода CAV на вход СИФУ;
- формирование открывающих импульсов, передаваемых в нужные моменты времени на управляющие электроды тиристоров и имеющих требуемые амплитуду, мощность и длительность.

По способу получения сдвига открывающих импульсов относительно точки естественного открывания различают горизонтальный, вертикальный и интегрирующий принципы управления.

УДК 621.315/316.351

## МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ ИЗОЛЯЦИИ

Тарасов В.С.

Научный руководитель – ассистент Климентионок А.К.

Электрические установки могут нормально работать только с исправной изоляцией. В процессе эксплуатации из-за увлажнения, перегрева, динамических нагрузок и перенапряжений происходит общее старение изоляции, то есть ухудшение ее физико-химических характеристик. В изоляции возникают распределенные и местные (сосредоточенные) дефекты, которые в конечном итоге приводят к ее пробою. Чтобы своевременно выявлять развивающиеся дефекты и не допускать внезапных пробоев электрической изоляции, свойства ее в процессе эксплуатации периодически проверяют. Для этого производят периодический контроль и испытания изоляции, а в случае необходимости — ее ремонт. Такие мероприятия обеспечивают поддержание необходимой степени надежности электрооборудования в процессе его эксплуатации.

К первой группе профилактических методов контроля относятся так называемые неразрушающие испытания, при которых используются малые напряжения и различные косвенные способы оценки характеристик изоляции (измерение сопротивления изоляции, тангенса угла диэлектрических потерь, емкости и других параметров). Контроль параметров изоляции этими методами производится при малых напряжениях, которые не причиняют вреда электрооборудованию и не могут его разрушить. Поэтому их и называют неразрушающими методами контроля.

При неразрушающих испытаниях для оценки качества изоляции большое значение имеет изменение ее характеристик во времени. Поэтому с повышением частоты контроля увеличивается вероятность своевременного выявления дефектов.

Контроль изоляции в эксплуатации, обозначаемый часто термином «профилактика изоляции», служит для выявления дефектов в изоляционных конструкциях и последующей их замены или восстановления на месте.

Контроль изоляции по  $tg\delta$  является одним из наиболее распространенных. Как показывает опыт, по значению  $tg\delta$  можно установить наличие в изоляции различных по характеру дефектов.

При профилактических испытаниях качество изоляции оценивают только по абсолютной величине  $tg\delta$ , которую измеряют при напряжении не выше 10~kB независимо от номинального напряжения оборудования. Измерения при более высоких напряжениях в условиях эксплуатации не проводятся, так как для этого требуется громоздкое оборудование.

Величину tgδ изоляции измеряют с помощью моста Шеринга.

Для контроля качества изоляции по tgб в энергосистемах используются компактные переносные мосты типов МД-16 и P-595, которые позволяют проводить измерения при напряжениях до 10 кВ по «нормальной» и «перевернутой» схемам. В качестве источника высокого напряжения обычно применяют измерительный трансформатор напряжения НОМ-10.

Внедрение неразрушающих методов диагностики силовых КЛ с использованием современного диагностического оборудования позволяет оценивать состояние изоляции и локализовать проблемные места в КЛ, не травмируя изоляцию КЛ; принимать обоснованное решение о дальнейшей эксплуатации или сроках замены кабелей, отработавших нормативный срок службы; рационально и обоснованно планировать сроки проведения ремонтов КЛ и в целом будет способствовать повышению надёжности работы силовых кабельных линий.

#### КАБЕЛИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА АЭС И ИХ ПРОВЕРКА НА НЕВОЗГОРАЕМОСТЬ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Ментюк Т.В.

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

К кабельной продукции, эксплуатируемой в условиях атомных электростанций (АЭС), предъявляются чрезвычайно высокие требования.

Кабель должен на 100 % соответствовать существующим техническим нормам по показателям пожарной и взрывобезопасности, а также сейсмоустойчивости.

Использования контрольного кабеля с низкими горючими свойствами, а также кабельной продукции с защитной оболочкой, стойкой к распространению огня.

Важно использовать низкодымные материалы, а также материалы, выделяющие при горении минимальное количество галогенсодержащих токсичных веществ.

На сегодняшний день лучше всех себя зарекомендовали при работе в условиях АЭС пожаробезопасные кабели, имеющие следующую маркировку:

- КуПП $H\Gamma$ (A)-HF;
- КуППмнг(A)-FRHF.

Маркировка кабелей осуществляется с использованием буквенных индексов, обозначающих степень пожарной безопасности такого изделия.

Пожароустойчивые кабельные изделия, не подверженные распространению огня по сети при одиночной прокладке.

Негорючий кабель Hr(A), не распространяющий горение при пучковой прокладке коммуникаций по A-категории.

Кабельные изделия для АЭС нг(A)-LS. Продукция, которая не только не распространяет горение при пучковой прокладке, но и отличается минимальными показателями газодымовыделения.

Электрические кабели марки  $H\Gamma(A)$ -FRLS. Изделия, отвечающие техническим требованиям предыдущей группы пожарных кабелей, но при этом обладающие максимальной огнеустойчивостью.

Изделия с маркировкой нг(A)-HF. Кабель для атомных электростанций серии Halogen free, при горении не выделяющий в атмосферу опасных летучих соединений.

Негорючие кабельные изделия марки  $\mathrm{Hr}(A)$ -FRHF. Огнеустойчивые типы кабеля, не подверженные распространению горения при пучковой прокладке и не выделяющие при горении и тлении токсичных галогенных газов.

Характеристика кабеля типа КуППнг(А)-НF.

Характерной способностью данного кабеля являются следующие характеристики: изоляция жил — полимерная композиция, не содержащая галогенов, экран — обмотка из алюмополимерной ленты (спирально с перекрытием) и контактная медная луженая проволока, оболочка — полимерная композиция, не содержащая галогенов.

Характеристика кабеля типа КуППмнг(A)-FRHF.

Кабели предназначены для передачи сигналов в системах связи и в системах противопожарной защиты общепромышленного применения, в том числе в зданиях и сооружениях метрополитена, а также для присоединения измерительных преобразователей и исполнительных механизмов к программно-техническим средствам АСУТП для прокладки внутри основных технологических сооружений АЭС.

Методика проверки кабеля на невозгорание.

Определяется начальная температура жил кабеля (до короткого замыкания).

Определяется значение коэффициента K.

Определяется температура жил в конце короткого замыкания.

Результаты сравнивают с допустимыми.

УДК 621.315/316.351

#### ЧАСТОТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Буров Н.А.

Научный руководитель – ассистент Климентионок А.К.

Преобразователь частоты — это устройство, преобразующее входное напряжение 220~B/380~B частотой  $50~\Gamma$ ц, в выходное импульсное напряжение посредством ШИМ (широтноимпульсной модуляции), которое формирует в обмотках двигателя синусоидальный ток частотой от  $0~\Gamma$ ц до  $400~\Gamma$ ц или даже до  $1600~\Gamma$ ц.

По типу питающего напряжения преобразователи частоты делятся на следующие виды: с однофазным питанием (однофазный); с трехфазным питанием (трехфазный); высоковольтные устройства.

По типу управляемого электрического двигателя подключенного к преобразователю, устройства разработаны для управления: однофазными двигателями с расщепленными полюсами и однофазные конденсаторные электрические двигатели; трехфазными асинхронными электрическими двигателями переменного тока; электрическими двигателями с постоянными магнитами.

По области применения типы частотных преобразователей будут следующими:

общепромышленного назначения; векторный преобразователь частоты; для управления механизмами, имеющими насосно-вентиляторный тип нагрузки; частотные преобразователи для кранов и прочих подъемных механизмов; адаптированный для использования в тяжелых условиях (частотный преобразователь взрывозащищенный); децентрализованный частотно регулируемый преобразователь, монтируемый непосредственно на электрический двигатель.

Электронный преобразователь частоты состоит из схем, в состав которых входит тиристор или транзистор, которые работают в режиме электронных ключей. В основе управляющей части находится микропроцессор, который обеспечивает управление силовыми электронными ключами, а также решение большого количества вспомогательных задач (контроль, диагностика, защита).

Выходное напряжение преобразователя формируется из «вырезанных» участков синусоид входного напряжения. Частота выходного напряжения у таких преобразователей не может быть равна или выше частоты питающей сети. Она находится в диапазоне от 0 до 30 Гц, и как следствие – малый диапазон управления частотой вращения двигателя (не более 1–10).

Преобразователи частоты являются нелинейной нагрузкой, создающей токи высших гармоник в питающей сети, что приводит к ухудшению качества электроэнергии.

Частотный преобразователь в комплекте с асинхронным электродвигателем позволяет заменить электропривод постоянного тока. Системы регулирования скорости двигателя постоянного тока достаточно просты, но слабым местом такого электропривода является электродвигатель. Он дорог и ненадежен. Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты дает применение частотного регулирования на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До сих пор самым распространённым способом регулирования производительности таких объектов является использование задвижек или регулирующих клапанов, но сегодня доступным становится частотное регулирование асинхронного двигателя, приводящего в движение, например, рабочее колесо насосного агрегата или вентилятора.

Большинство современных преобразователей частоты построено по схеме двойного преобразования. Они состоят из следующих основных частей: звена постоянного тока (неуправляемого выпрямителя), силового импульсного инвертора и системы управления. Звено постоянного тока состоит из неуправляемого выпрямителя и фильтра. Переменное напряжение питающей сети преобразуется в нем в напряжение постоянного тока. Силовой трехфазный импульсный инвертор состоит из шести транзисторных ключей. В выходных

каскадах инвертора в качестве ключей используются силовые IGBT-транзисторы. По сравнению с тиристорами они имеют более высокую частоту переключения, что позволяет вырабатывать выходной сигнал синусоидальной формы с минимальными искажениями.

Применение частотных преобразователей позволило успешно реализовать эффективные системы регулирования скорости нижеприведенных объектов: насосы горячей/холодной воды в системах тепло- и водоснабжения; вспомогательные агрегаты котельных, ТЭС, ТЭЦ и котлоагрегатов; дробилки, мельницы, экструдеры и мешалки; различные песковые и пульповые насосы обогатительных фабрик; лифтовые установки; центрифуги разных типов; производственные линии картона, пленки и прочих ленточных материалов; крановое и эскалаторное оборудование; механизмы силовых манипуляторов; приводы буровых станков, специализированного оборудования и так далее.

Этот тип оборудования позволяет получить существенный экономический эффект: экономия до 50 % электроэнергии в агрегатах путем поддержания двигателя в режиме оптимального КПД; увеличение объема и оптимизация качества выпускаемой продукции; повышение уровня производительности производственного оборудования; снижение степени износа механических звеньев; продление срока эксплуатации технологического оборудования, коммутационной аппаратуры.

Важно для сетей переменного тока система использующая преобразователь частоты служит нелинейной импульсной нагрузкой, где присутствуют токовые гармоники, отрицательно влияющие на качественные параметры линии электропередач в зависимости от значения сопротивления линии. Высшие гармоники обладают более низкой амплитудой и тем легче могут быть отфильтрованы. Гармонические токи способствуют увеличению электрических потерь и снижение коэффициента мощности, способствуют перегреву элементов сети, например: кабелей, трансформаторов, двигателей, конденсаторов.

Применение частотно-регулируемого электропривода является экономически выгодным и эффективным. Поэтому необходимо использовать его повсеместно для получения продукции самого высокого качества без лишних затрат на электроэнергию и ремонты приводных электродвигателей.

В конечном итоге, назначение преобразователя частоты – это обеспечение максимально эффективной и продуктивной работы оборудования со всеми вытекающими положительными аспектами.

#### ВРАЩАЮЩИЕСЯ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Мазур А.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л. В.

В работе представлена информация о трансформаторе предложенного в задании.

Областью возможного практического применения является система автоматического регулирования в качестве элементов (датчиков угла) для измерения рассогласования между двумя вращающимися осями.

Вращающимися трансформаторами (BT) называют электрические микромашины переменного тока, преобразующие угол поворота ротора  $\theta$  в напряжение, пропорциональное этому углу или некоторым его Функциям. В зависимости от закона изменения напряжения на выходе их подразделяют на следующие типы:

- синусно-косинусный трансформатор, позволяющий получать на выходе два напряжения, одно из которых пропорционально  $\sin \theta$ , а другое  $-\cos \theta$ ;
- линейный вращающийся трансформатор, выходное напряжение которого пропорционально углу  $\theta$ ;
- вращающийся трансформатор-построитель, выходное напряжение которого имеет связь с подаваемыми первичными напряжениями  $U_1$  и  $U_2$  в виде закона

$$U_{\text{BLIX}} = C\sqrt{U_1^2 + U_2^2} ,$$

где C – постоянная.

В технической литературе иногда употребляют термин «поворотные трансформаторы».

Вращающиеся (поворотные) трансформаторы предназначены для получения переменного напряжения, значение которого зависит от угла поворота ротора. По назначению вращающиеся трансформаторы относятся к информационным электрическим машинам и применяются в системах автоматического регулирования в качестве элементов (датчиков угла) для измерения рассогласования между двумя вращающимися осями. Вращающийся трансформатор конструктивно представляет собой электрическую машину индукционного типа малой мощности. Наибольшее применение получили двухполюсные вращающиеся трансформаторы с двумя парами одинаковых взаимно перпендикулярных обмоток.

#### Устройство вращающихся трансформаторов

Вращающийся трансформатор выполняют так же, как асинхронный двигатель с фазным ротором. На статоре и роторе размещают по две одинаковые однофазные распределенные обмотки, сдвинутые между собой в пространстве на 90°. Магнитопровод изготовляют из листов электротехнической стали или пермаллоя, изолированных друг от друга.

Вращающийся трансформатор может работать в режиме поворота ротора или в режиме вращения.

При работе вращающегося трансформатора в режиме непрерывного вращения обмотки возбуждения и компенсационную обычно размещают на роторе, а синусную и косинусную – на статоре. В этом случае компенсационную обмотку замыкают накоротко, а обмотку возбуждения подключают к сети переменного тока с помощью двух контактных колец.

#### Принцип действия вращающихся трансформаторов

Во вращающихся трансформаторах принимают меры к тому, чтобы распределение магнитной индукции в воздушном зазоре было по возможности близким к синусоидальному. Достигается это за счет специального выполнения обмоток, выбора соответствующего числа пазов статора и ротора, применения скоса зубцов и тщательного изготовления магнитопровода.

В зависимости от того, какая из обмоток используется, получаем синусный или косинусный, а при использовании обеих обмоток ротора синусно-косинусный вращающийся трансформатор.

При нагрузке по обмоткам ротора потечет ток, который создает магнитные потоки, направленные вдоль осей этих обмоток. Потоки каждой обмотки можно разложить на две составляющие – продольную, совпадающую с осью обмотки возбуждения, и поперечную, направленную перпендикулярно этой оси. Продольная составляющая потока обмотки ротора вместе с потоком обмотки возбуждения создают основной рабочий поток вращающегося транс форматора, который, как и в трансформаторе, зависит от подведенного напряжения и при  $U_1$  = const постоянен.

Для того чтобы избежать погрешностей от поперечных потоков, применяется симметрирование. Симметрирование может быть проведено как на вторичной, так и на первичной стороне. При симметрировании на вторичной стороне обе обмотки ротора замыкаются на одинаковую нагрузку  $Z_{\rm Hr\,1}=Z_{\rm Hr\,2}.$  В этом случае поперечные потоки обмоток будут численно равны, но так как они направлены встречно, то произойдет их взаимная компенсация.

В настоящее время для определения углового положения различных механизмов традиционно применяют синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ). Применение СКВТ наиболее оправданно в аналоговых системах измерения угла поворота или высокоточных цифровых системах с аналоговым входом. По сравнению с цифровыми датчиками углового положения применение СКВТ позволяет достичь большей точности преобразования углового перемещения в электрический сигнал. В зависимости от назначения СКВТ могут работать как в режиме поворота в пределах заданного угла, так и в режиме непрерывного вращения.

Основным свойством ВТ является то, что при повороте его ротора взаимная индуктивность между обмотками статора и ротора с высокой степенью точности изменяется по закону синуса или косинуса угла поворота. Вследствие этого эффективные значения ЭДС взаимоиндукции вторичных обмоток СКВТ строго следует этим зависимостям.

УДК 621.315/316.351

#### ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ГЕНЕРАТОРНЫЕ ЭЛЕГАЗОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Козловский Н.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Тетерина Л.В.

Благодаря применению в токоприемных цепях электростанций выключателей и других коммутационных и измерительных аппаратов можно в отличие от прямых блочных схем соединения генераторов с трансформаторами осуществлять гибкие автоматические схемы соединений, маневрируя каждым генератором в энергоблоках по отдельности, и надежно обеспечивать питание нагрузок собственных нужд. Это и определило необходимость дальнейшего развития генераторных аппаратов.

Для гидроэлектростанций (ГЭС) эффективным оказалось применение выключателей нагрузки, обеспечивающих все необходимые коммутации, кроме отключения КЗ, непосредственно в генераторной цепи

На атомных электростанциях (АЭС) необходима особенно высокая надежность электроснабжения собственных нужд реакторов, что тесно связано с надежностью работы генераторных коммутационных аппаратов.

На гидроаккумулирующих электростанциях (ГАЭС) частые коммутации агрегатов с генерирующего режима на двигательный и наоборот наиболее экономично и надежно производятся с помощью генераторных выключателей. Выключатели, устанавливаемые в цепях повышающих трансформаторов блоков АЭС и ТЭС, режим работы которых соответствует базисному графику, работают очень редко. В то же время выключатели, устанавливаемые в цепях блоков ГЭС, работающих по пиковой нагрузке, могут срабатывать дважды в сутки, что составляет порядка 600 операций в год или 15000 операций за 25 лет, что является плановым сроком службы выключателей. В связи с этим оправданным является увеличение норм механических испытаний генераторных коммутационных аппаратов с 2000—4000 до 10000 операций и более. Из этого следует, что вновь созданные генераторные коммутационные аппараты наиболее серьезную и объективную проверку на надежность проходят при эксплуатации их на ГЭС и ГАЭС.

Отечественная и зарубежная практика развития энергоблоков электростанций показывает, что генераторные аппараты в настоящее время должны охватывать весьма широкий диапазон параметров: номинальные токи 10000–50000 A, предельные токи отключения выключателей 100–350 кA, номинальные напряжения 15,75 кВ и более, ударные токи КЗ 500–1000 кА (амплитуда). В дальнейшем предполагается обеспечить и способность работы генераторных выключателей в режиме АПВ.

По мере увеличения мощности единичных энергоблоков все более сложными становятся задачи поиска рациональных компоновочных решений токопроводов между главными выводами генераторов и повышающих трансформаторов в сочетании со всеми необходимыми в этих цепях генераторными аппаратами. Осложнились взаимоустановки отдельных видов этих аппаратов, традиционно разрабатываемых как самостоятельных объектов электроаппаратной техники, подчас и выпускаемых на разных заводах без должного учета направлений взаимного развития их конструктивных форм, как и развития конструктивных решений токопроводов. Осложнились вследствие этого и вопросы поиска рациональных решений строительных конструкций, их габаритов и стоимости. С увеличением номинальных токов все труднее стало избегать перегревов арматуры железобетона и окружающих металлоконструкций под влиянием сильного магнитного поля токопроводов и токоведущих систем (ТВС) аппаратов и соответствующей потери прочности строительных элементов зданий электростанций: балок, стен, перекрытий и т. п. В свою очередь осложнились проблемы поиска и рациональных решений ТВС генераторных аппаратов, особенно при естественном охлаждении, а соответственно и конструкций этих аппаратов в целом.

## АДАПТИВНАЯ ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА С ЭЛЕМЕНТАМИ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Целобанов В. А. Научный руководитель – старший преподаватель Потачиц Я. В.

Линейная арматура — устройство, выполняющее одну или несколько функций: подвешивание и прикрепление проводов, молниезащитных тросов и подвесок к опорам воздушных линий электропередачи и распределительным устройствам; соединение, натяжение, поддерживание и фиксация проводов на заданном расстоянии; гашение колебаний проводов и тросов; составление подвесок; защита гирлянд изоляторов от действия электрической дуги и снижение радиопомех; установка штыревых изоляторов и крепление на них проводов; армирование подвесных изоляторов.

Линейную арматуру, применяемую при закреплении проводов в гирляндах подвесных изоляторов, можно подразделить по назначению на пять основных видов:

- зажимы, служащие для закрепления проводов и тросов, подразделяющиеся на поддерживающие, подвешиваемые на промежуточных опорах, и натяжные, применяемые на опорах анкерного типа;
- сцепная арматура (скобы, серьги, ушки, коромысла), служащая для соединения зажимов с изоляторами, для подвески гирлянд на опорах и для соединения многоцепных гирлянд друг с другом;
- защитная арматура, монтируемая на гирляндах линий напряжением 330 кВ и выше, предназначенная для более равномерного распределения напряжения между отдельными изоляторами гирлянды и для защиты их от повреждения дугой при перекрытиях;
- соединительная арматура, служащая для соединения проводов и тросов в пролете, а также для соединения проводов в шлейфах на опорах анкерного типа;
  - распорки, применяемые для соединения друг с другом проводов расщепленной фазы.

Сплавы с эффектом памяти формы прежде всего использовались в качеств однонаправленных элементов памяти, первоначально их применили для соединительных муфт. Для муфт использовался сплав Ti-Ni-Fe, температура превращения которого значительно ниже комнатной (150 °C). Внутренний диаметр муфты изготавливался примерно на 4 % меньше, чем наружный диаметр соединяемых труб. При соединении муфта прежде всего погружалась в жидкий воздух и выдерживалась при низкой температуре. В таком состоянии в муфту вводился дорн с определенной конусностью и расширялся внутренний диаметр на 7–8 %.

Эффект памяти формы в сплавах, например, на основе Ni-Ti настолько четко выражен, что диапазон температур можно с большой точностью регулировать от нескольких до десятков градусов, вводя в сплав различные дополнительные легирующие элементы. Кроме того, сплавы на основе Ni-Ti, получившие принятое название во всем мире название нитинол, достаточно технологичны в обработке, устойчивы к коррозии и обладают отличными физико-механическими характеристиками: например, предел прочности нитинола колеблется в пределах 770–1100 МПа, что соответствует аналогичным характеристикам большинства сталей, а демпфирующая способность выше чем у чугуна, высокая пластичность и способность вспоминать форму до миллиона раз.

Особенностью исполнительных элементов из сплавов с памятью формы является их миниатюрность. Это обусловлено простотой механизма их действия, а также тем, что элемент состоит из одного сплава. На действие таких исполнительных механизмов не влияет среда или атмосфера, а влияет только температура. Следовательно, возможна установка этих элементов в таких средах, как вакуум или вода, при этом нет необходимости в герметизированном подвижном узле, как при установке двигателей или гидропневматических цилиндров.

Материалы с элементами памяти форм могут применяться в простых тепловых двигателях, использующих разность температур горячей и холодной воды или горячей воды и холодного окружающего воздуха. Такие двигатели работают за счет преобразования в механическую энергию низкотемпературной бросовой тепловой энергии, например энергии горячей отходящей воды, геотермической или солнечной энергии.

УДК 621.315/316.35

# РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ КОМПЛЕКТНЫХ ПОФАЗНО-ЭКРАНИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДОВ В СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

Совко А. С.

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

В данной работе произведен вывод основных расчетных соотношений для определения параметров электромагнитного поля в экранах токопроводов. Полученные формулы справедливы для всех возможных схем соединения экранов токопроводов. Решение данной задачи производилось с некоторыми допущениями:

- электромагнитное поле в экранах плоскопараллельное;
- радиусы экранов мало отличаются от среднего, а длина экранов значительно больше расстояния между ними;
- тангенциальная составляющая напряженности на внутренней поверхности экрана  $H_1$  зависит только от тока шинопровода, а на внешней  $H_2$  одинакова по всей окружности;
  - экраны выполнены из немагнитного материала с линейными характеристиками.

При таких допущениях электромагнитное поле в экранах описывается уравнениями Максвелла и его параметры рассчитываются по известным тангенциальным составляющим напряженностей на поверхности экрана.

Для экрана токопровода электромагнитное состояние описывается системой уравнений в комплексных амплитудах:

$$\frac{\partial Hm(Z)}{\partial Z} = \delta_m(Z),$$

$$\delta_m(Z) = \gamma E_m(Z),$$

$$\frac{\partial E_m(Z)}{\partial Z} = \frac{\partial B_m(Z)}{\partial t},$$

$$B_m(Z) = \mu H_m(Z).$$

Исходя из данной системы, после многочисленных преобразований, приходим к таким выражениям для расчёта активной и реактивной составляющей напряженности магнитного поля на внешней поверхности экрана:

$$H_{m2}^{a} = \frac{B_{1}(H_{m1}^{a}, H_{m1}^{p})m_{1} - B_{2}(H_{m1}^{a}, H_{m1}^{p})m_{2}}{m_{1}^{2} + m_{2}^{2}},$$

$$H_{m2}^{p} = \frac{B_{1}(H_{m1}^{a}, H_{m1}^{p})m_{2} - B_{2}(H_{m1}^{a}, H_{m1}^{p})m_{1}}{m_{1}^{2} + m_{2}^{2}}.$$

Эти формулы совместно с уравнениями Максвелла служат для расчета всех основных параметров электромагнитного поля экрана токопровода в стационарном режиме.

Такой расчёт параметров поля может быть рекомендован для исследования электромагнитных процессов в индукционных нагревателях, а также в металлических защищённых оболочках криогенных кабелей, выполненных по схеме экранированных токопроводов.

#### ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Гавриелок Ю. В., Тукай П. А., Баран А. Г.

Короткими замыканиями (КЗ) называются замыкания между фазами (фазными проводниками электроустановки), замыкания фаз на землю (нулевой провод) в сетях с глухо-и эффективно-заземленными нейтралями, а также витковые замыкания в электрических машинах. Короткие замыкания, как правило, сопровождаются увеличением токов в поврежденных фазах до значений, превосходящих в несколько раз номинальные значения.

Развитие энергосистем ведет к стремительному росту уровней токов K3, что предъявляет повышенные требования в отношении электродинамической и термической стойкости элементов электротехнических устройств энергосистем, а также коммутационной способности электрических аппаратов.

С целью уменьшения воздействия токов КЗ на электрооборудование предложены и используются различные методы и средства ограничения токов КЗ. Вопросы ограничения уровня токов КЗ затрагивают вопросы обеспечения устойчивости и надежности работы энергосистем, а также их технико-экономические характеристики. Поэтому помимо применения и усовершенствования проверенных методов и средств, разрабатываются и исследуются принципиально новые средства токоограничения, позволяющие ограничить не только значение тока КЗ, но и продолжительность КЗ.

Для ограничения токов K3 на электростанциях и в сетях энергосистем используются следующие методы:

- метод оптимизации структуры и параметров сети (схемные решения);
- стационарного или автоматического деления сети;
- использования токоограничивающих устройств;
- оптимизации режима заземления нейтралей элементов электрических сетей;
- изменения схем электрических соединений обмоток трансформаторов и автотрансформаторов.

В зависимости от местных условий, требуемой степени ограничения токов при различных видах КЗ, а также от технико-экономических показателей для ограничения токов КЗ в конкретных электроустановках или в конкретных сетях энергосистемы необходимы различные средства токоограничения или их комбинации, дающие наибольший технико-экономический эффект.

В настоящее время в отечественных энергосистемах для ограничения токов КЗ наиболее часто используются: стационарное и автоматическое деления сети, токоограничивающие реакторы и аппараты, трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения, а также разземление нейтралей части силовых трансформаторов сети, их заземление через реакторы и резисторы. Другие методы и средства ограничения токов КЗ находятся в стадии исследований, опытно-конструкторской разработки и проектной проработки.

Схемные решения принимаются, как правило, на стадии проектирования схем развития энергосистем, а также при проектировании мощных электростанций и схем развития сетей повышенного напряжения. Они предусматривают изменение степени жесткости электрических связей между сетями. Схемные решения состоят в выборе оптимальных (при поставленных условиях и ограничениях) схем выдачи мощности электростанций, структуры и параметров элементов сетей энергосистем.

Схемные решения в первую очередь касаются принципиальных схем выдачи мощности электростанций. Так переход схемы выдачи мощности к блочному принципу, с последующим понижением напряжения непосредственно у нагрузки, соответствует значительному уменьшению уровня токов КЗ в сети низкого напряжения. Это обусловлено

появлением в цепи протекания токов K3 значительного индуктивного сопротивления трансформаторов. Недостатком данного метода являются повышенные потери в нормальном режиме из-за двойной трансформации. Так изменение схемы выдачи мощности электростанций приводит к изменению темпа роста уровней токов K3 в сетях различного напряжения энергосистем. При этом в сетях более низкого напряжения могут быть образованы регионы со стабильным наибольшим уровнем токов K3.

Возможность деления сети используют в процессе эксплуатации, когда требуется ограничить рост уровней токов КЗ при развитии энергосистем. Различают деление сети на стационарное и автоматическое.

Стационарное деление сети – это деление сети в нормальном режиме, осуществляемое с помощью секционных, шиносоединительных или линейных выключателей мощных присоединений электроустановок. В последнем случае деление сети связано с выведением из работы соответствующих линий электропередачи или автотрансформаторов связи, т. е. с замораживанием капиталовложений.

Стационарное деление сети производят тогда, когда наибольший уровень тока КЗ в данной сети или уровень тока КЗ в конкретном узле сети превышает допустимый с точки зрения параметров установленного оборудования. На подстанциях и электростанциях, имеющих распределительные устройства генераторного напряжения, деление сети может осуществляться как на высшем, так и на низшем напряжении. Это зависит от того, в сети какого напряжения требуется и имеется возможность снизить уровень тока КЗ.

Другой вид деления сети — автоматический. Автоматическое деление сети осуществляется в аварийном режиме с целью облегчения работы коммутационных аппаратов при отключении ими поврежденной цепи. Оно выполняется на секционных или шиносоединительных выключателях, реже — на выключателях мощных присоединений. При повреждении на присоединении распределительного устройства (на линии) вначале отключается секционный или шиносоединительный выключатель, затем линейный выключатель и осуществляется цикл автоматического повторного включения.

В качестве токоограничивающих устройств могут использоваться аппараты: токоограничивающие реакторы (неуправляемые и управляемые, с линейной или с нелинейной характеристикой), трансформаторы и автотрансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения, трансформаторы с повышенным напряжением короткого токоограничивающие замыкания, безынерционные устройства различного (резонансные, реакторно-вентильные, co сверхпроводящими токоограничивающие коммутационные аппараты, токоограничивающие резисторы, вставки постоянного вставки переменного тока непромышленной автотрансформаторы, нормально выполненные без третичной обмотки, соединенной в треугольник и др.

Наиболее распространёнными из них являются: токоограничивающие реакторы, трансформаторы и автотрансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения, трансформаторы с повышенным напряжением короткого замыкания и токоограничивающие коммутационные аппараты.

Токоограничивающие реакторы могут иметь различные устройство и конструктивное исполнение, а также технические и технико-экономические характеристики и параметры. В настоящее время в энергосистемах для ограничения токов КЗ используются только нерегулируемые реакторы с линейной характеристикой. Линейный реактор, включаемый последовательно в соответствующую линию (присоединение), ограничивает ток КЗ и поддерживает относительно высокий уровень остаточного напряжения в узлах предвключенной сети.

Оптимизации режима заземления нейтралей элементов электрических сетей и изменения схем электрических соединений обмоток трансформаторов и автотрансформаторов позволяют ограничивать уровень токов несимметричных коротких замыканий (замыканий связанных с землей). Эти методы позволяют существенно влиять на

результирующе сопротивление токам нулевой последовательности. Увеличение, которого позволяет снизить ток несимметричного КЗ.

УДК 681.3.06

## РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

Гавриелок Ю. В.

Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

В методических указаниях приведены требования и порядок расчета токов короткого замыкания в схемах переменного тока напряжением до 1 кВ собственных нужд электрических станций, подстанций и тепловых сетей с учетом влияния электрической дуги, асинхронных электродвигателей и нагревания кабелей токами КЗ.

Методические указания предназначены для персонала электрических станций, предприятий электрических сетей и проектных организаций, которые занимаются расчетом токов КЗ и уставок защитных аппаратов сети. Параллельно излагаются методика ручных инженерных расчетов и алгоритмы расчета при использовании ЭВМ.

Расчет тока КЗ в сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняется, в основном, для следующих целей:

- для выбора электрооборудования по условиям K3 (отключающая способность электрических аппаратов, термическая и электродинамическая стойкость проводников);
- для выбора уставок защитной аппаратуры сети, проверки ее чувствительности и селективности.

Для выбора электрооборудования по условиям КЗ подлежат определению начальное значение периодической составляющей тока КЗ, апериодическая составляющая тока КЗ, ударный ток КЗ и действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени после КЗ.

Для выбора параметров защитной аппаратуры сети и проверки ее селективной работы определению подлежат максимальные и минимальные значения периодической составляющей тока в месте КЗ в начальный и произвольный моменты времени вплоть до расчетного времени размыкания поврежденной цепи.

Сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняются с глухим заземлением нейтрали. В таких сетях возможны все виды металлических и дуговых КЗ. Вид КЗ и величина переходного сопротивления в месте КЗ определяются многими факторами возникновения и существования повреждения изоляции электроустановки и являются случайными величинами. При этом в процессе развития повреждения один вид замыкания может переходить в другой: двухфазное в трехфазное или однофазное на землю в двухфазное на землю. Вероятность существования чистого металлического КЗ невысока, а ток дугового КЗ всегда меньше тока металлического КЗ.

Исходя из сказанного, ток металлического K3 используется для проверки электрооборудования на отключающую способность и на электродинамическую и термическую стойкость. Для проверки селективности защитной аппаратуры необходимо использовать токи дуговых замыканий в конце зоны действия защитных аппаратов с учетом наличия дуги в месте K3 и с учетом термического эффекта тока K3.

В соответствии с ГОСТ 28249-93 при расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

- индуктивные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;
- активные сопротивления короткозамкнутой цепи;
- активные сопротивления контактов и контактных соединений;
- наличие подпитки места КЗ от асинхронных электродвигателей.

При расчетах тока КЗ в соответствии с ГОСТ 28249-93 рекомендуется учитывать:

- сопротивление электрической дуги в месте КЗ;
- изменение активного сопротивления проводников электрической цепи вследствие их нагрева при КЗ;

При расчетах токов КЗ допускается:

- максимально упрощать и эквивалентировать всю внешнюю сеть по отношению к месту КЗ и индивидуально учитывать только автономные источники электроэнергии и электродвигатели, непосредственно примыкающие к месту КЗ;
  - не учитывать ток намагничивания трансформаторов;
  - не учитывать насыщение магнитных систем электрических машин;
- принимать коэффициенты трансформации трансформаторов равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней напряжения сетей, которые связывают трансформаторы. При этом следует использовать следующую шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ.
- не учитывать влияния АД (асинхронных двигателей), если их суммарный номинальный ток не превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета АД.

При разработке методик расчетов токов K3 в сети до 1 кВ на ЭВМ выдвигаются требования:

- учет активных сопротивлений элементов схемы замещения;
- учет дуги в месте повреждения для расчета минимальных значений токов короткого замыкания;
  - учет подпитки места КЗ от асинхронных электродвигателей (АД);
  - учет термического эффекта тока КЗ.

Эти требования учтены при составлении программы TKZdo1kV. На основе данной программы и будет производиться дальнейший анализ расчета токов короткого замыкания в сетях до 1 кВ.

Из допущений и требований к расчету как раз и вытекают особенности расчета. В качестве пояснения этого утверждения можно скачать, что учет активной составляющей приводит к необходимости расчета токов КЗ в комплексных величинах. Возникает необходимость учета сопротивления контактов и соединений, в отличие от сетей более высокого уровня напряжения. Это объяснимо тем, что в сетях высокого напряжения их сопротивление незначительно по отношению к суммарному, в отличие от рассматриваемой сети. При протекании тока по токоведущим частям они нагреваются, и их сопротивление изменяется, что необходимо учитывать. Далее в работе будет уделяться большее внимание самой методике расчета.

УДК 681.3.06

# СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

Тукай П. А., Баран А. Г. Научный руководитель – Гавриелок Ю. В.

Токоограничивающий реактор — электрический аппарат, предназначенный для ограничения ударного тока короткого замыкания. Включается последовательно в схему и работает как индуктивное дополнительное сопротивление при коротком замыкании, уменьшающее ударный ток. В нормальном режиме на реакторе наблюдается падение напряжения порядка 3 %, что вполне допустимо. В режиме короткого замыкания на реактор приходится большая часть напряжения.

Основными наиболее распространенными типами реакторов долгое время являлись бетонные, масляные и броневые реакторы.

Бетонные реакторы получили распространение для внутренней установки и при напряжениях сетей до 35 кВ. Бетонный реактор представляет собой концентрически расположенные витки изолированного многожильного провода, залитого в радиально расположенные бетонные колонки. При коротких замыканиях обмотки и детали реактора испытывают значительные механические нагрузки, обусловленные электродинамическими силами. Поэтому, при их изготовлении применяется бетон с высокой прочностью. Все металлические детали реактора изготавливаются из неферромагнитных металлов. Фазные катушки реактора располагают так, что при собранном реакторе поля катушек расположены встречно, что необходимо для преодоления продольных динамических усилий при коротком замыкании. Бетонные реакторы могут выполняться как естественно-воздушного, так и воздушно-принудительного охлаждения.

Масляные реакторы применяются в сетях выше 35 кВ. Данный реактор состоит из обмоток медных проводников, изолированных кабельной бумагой, которые укладываются на изоляционные цилиндры И заливаются трансформаторным маслом электротехническим жидким диэлектриком. Жидкость служит одновременно и изолирующей и охлаждающей средой. Для снижения нагрева стенок бака от токов Фуко, порождаемых переменным магнитным полем обмоток реактора применяют электромагнитные экраны или магнитные шунты. Также используются магнитные шунты – пакеты электротехнической стали, расположенные внутри бака реактора около стенок, и являются искусственным магнитопроводом с магнитным сопротивлением, меньшим сопротивлением стенок бака, что замыкает основной магнитный поток обмотки реактора, а не через ферромагнитные стенки бака.

Не смотря на тенденцию изготавливать токоограничивающие реакторы ферромагнитного магнитопровода, вследствие опасности насыщения магнитной системы при токе КЗ и как следствие резким падением токоограничивающих свойств, некоторые предприятия реакторы с сердечниками электротехнические выпускают броневой конструкции электротехнической Преимуществом ИЗ стали. данного типа токоограничивающих реакторов является меньшие массо-габаритные показатели и стоимость, за счёт уменьшения в конструкции доли цветных металлов. Недостаток является потери токоограничивающих свойств при ударных токах, возможность номинального для данного реактора, что в свою очередь требует тщательного расчёта токов короткого замыкания в сети и выбора броневого реактора таким образом, чтобы в любом режиме сети ударный ток короткого замыкания не превышал номинального.

Наиболее современным и инновационным в данной сфере является производство сухих реакторов (РТСТ). Они пришли на смену другим конструкциям, благодаря своим значительным преимуществам перед конструкциями другого типа. Основным преимуществом сухих токоограничивающих реакторов является их массо-габаритные

показатели, срок службы и электродинамическая стойкость. Разные производители сухих реакторов предлагают различные конструктивные решения основных составляющих элементов токоограничивающего реактора, таких как:

- обмотки;
- прессующая система;
- изоляторы;
- вводные и выводные шины;
- крепление реактора к фундаменту.

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».

Наиболее прогрессивной и технологичной считается конструкция реакторов из ленты. Лидером в производстве данных реакторов в России является группа компаний «Трансформер», которая имеет свои представительства по всем регионам СНГ.

Основными потребителями токоограничивающих реакторов являются генерирующие станции, распределительные подстанции, электрические сети, крупные промышленные предприятия, энергоемкие объекты инфраструктуры. Многие из этих предприятий приобретают сухие реакторы для замены бетонных аналогов, морально устаревших и уже не соответствующих современным требованиям.

Обмотки таких реакторов изготавливаются из алюминиевой ленты. Обмотки надежно скрепляются с помощью конструкций, выполненных из немагнитного материала.

Изоляция реактора состоит из изоляции проводника, межслоевой изоляции и пропиточного лака. Пропитка лаком осуществляется методом вакуум-давления, являющимся самым эффективным и позволяющим в максимальной степени использовать полезные свойства лака. Плотная намотка ленточного проводника в сочетании с пропиткой лаком вакуум-давлением делает конструкцию очень жесткой и устойчивой к механическим и электродинамическим нагрузкам при аварийных режимах.

Одним из преимуществ РТСТ «Трансформер», как и всех сухих реакторов в целом, является высокая динамическая стойкость. Что стало возможным благодаря применению современных изоляционных материалов и технологических особенностей производства.

Другим преимуществом является повышенная энергоэффективность. Разработанная компанией «Трансформер» уникальная математическая модель процессов, протекающих в ленточной обмотке, позволила в значительной степени снизить дополнительные потери за счет оптимизации сечения ленты и геометрии обмоток. Ленточная технология в совокупности с применением данной модели обеспечивают высокую энергоэффективность оборудования.

Токоограничивающие реакторы РТСТ являются более компактными в сравнении с громоздким бетонным аналогом. Сухие реакторы позволяют эффективно заменить бетонные реакторы в существующей камере с увеличением числа подключений.

РТСТ «Трансформер» выдерживают значительные электродинамические нагрузки при аварийных режимах, благодаря своим конструктивными особенностям, которая заключается в плотной намотке ленточного проводника. В сочетании с пропиткой лаком вакуумдавлением эта конструкция является очень жесткой. В совокупности с инновационным проектированием это позволяет возникающие в аварийном режиме в обмотке электродинамические усилия распределять по всей высоте ленты, а не сосредотачивать в отдельных проводниках. Каждая обмотка надежно скрепляется с двух сторон с помощью крестовин, выполненных из немагнитного материала.

В настоящее время реакторы из ленты изготавливает фирма Nokian (Финляндия), Trench (Австрия), Coilinnovation (Австрия), Areva (Франция), Hilkar (Турция), F.d.u.e.G. (Италия).

Основной недостаток реакторов из ленты состоит в наличии мощного эффекта вытеснения тока, что предъявляет повышенные требования как к методикам их расчета, так и к технологии производства. Поэтому остается актуальным производство сухих реакторов с проводниками в виде кабелей или многожильного провода, что создает конкурентную среду в этой области, способствующую дальнейшему развитию существующих и появлению новых конструкций и технологий производства реакторов.

# РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП С РАСЩЕПЛЕННОЙ ФАЗОЙ

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

Задачей проектирования компактных воздушных линий (ВЛ) с уменьшенными междуфазными расстояниями является предотвращение сближения проводов фаз при воздействии на них электродинамических усилий от токов короткого замыкания (КЗ). Для стабилизации воздушных промежутков ВЛ со сближенными расщепленными фазами разработаны междуфазные распорки на основе стеклопластиковых стержней.

Особенностью динамики токоведущих конструкций с гибкими проводами при КЗ является сближение и даже схлестывание соседних фаз. Второй неблагоприятный фактор электродинамического действия тока КЗ проявляется в виде динамических нагрузок в проводах, гирляндах и других элементах ВЛ, в два и более раз превышающих тяжения нормального режима. В общем случае электродинамическая стойкость расщепленной фазы ВЛ характеризуется тремя сдвинутыми во времени максимумами тяжения проводов. Стягивание проводов фазы при КЗ на большей части пролета обуславливает значительные силы сжатия, действующие на дистанционные распорки.

Проведенные в исследования показали, что междуфазные распорки препятствуют также образованию отложений гололеда на поверхности проводов и возникновению их пляски. Сохранение безопасных междуфазных расстояний достигается установкой распорок в критических точках длины пролета, которыми могут являться точки наибольшего провеса проводов или 1/4, 1/3, 2/3, 3/4 части длины пролета. В общем случае места установки изолирующих распорок зависят от длины пролета, схемы подвески и сечения проводов, междуфазных расстояний, величины тока КЗ, рельефа местности и климатических условий. Одним из основных параметров, определяющих работоспособность междуфазных изолирующих распорок на ВЛ, является их механическая прочность на продольное сжатие. Получение необходимой прочности на продольное сжатие распорок является сложной задачей. В эта задача решена использованием специальной конструкции распорки с поясами жесткости

В энергосистеме широко применяются токоведущие части с гибкими проводниками, которые в пролётах увеличенной длины имеют ряд преимуществ по сравнению с жёсткими проводниками. Для различных классов напряжения используются воздушные пролёты с расщепленными проводами. Они применяются для увеличения пропускной способности линий при использовании стандартных марок проводов и для уменьшения и исключения коронирования при напряжении 330 кВ и выше. Различают гибкие открытые токопроводы напряжением 6–10 кВ систем электроснабжения крупных промышленных предприятий с небольшой кратностью расщепления, а также генераторные токопроводы с большой кратностью расщепления.

Для предотвращения схлестывания они оснащаются как внутрифазными, так и междуфазными распорками. Наблюдается тенденция применения компактных воздушных линий с уменьшенными междуфазными расстояниями напряжением 110–220 кВ, надежность работы которых обеспечивается применением междуфазных распорок типа РМИ.

# ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Хлиманков А. В.

Научный руководитель – Кисляков А. Ю.

Когенерация – процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии.

Двигатель внутреннего сгорания — это тип двигателя, тепловая машина, в которой химическая энергия топлива, сгорающего в рабочей зоне, преобразуется в механическую работу.

Газотурбинная установка — это агрегат, состоящий из газотурбинного двигателя, редуктора, генератора и вспомогательных систем.

Технологическая себестоимость — затратами на сырье и материалы, комплектующие, возвратные отходы, заработную плату рабочим, налоги и отчисления от заработной платы, а также расходы на оборудование.

Цеховая себестоимость – затратами всех цехов и других производственных структур, которые непосредственно участвовали в процессе изготовления определенного набора товаров и услуг.

Производственная себестоимость – прибавления к цеховой себестоимости общезаводских и целевых расходов.

Полная себестоимость — затраты организации не только на выпуск продукции и организацию производственного процесса, но и на ее реализацию, то есть поставку на рынок конечных товаров и услуг.

Топливо – вещество способное выделять энергию в ходе определённых процессов, которую можно использовать для технических целей.

Генератор – устройство производящее какие-либо продукты, вырабатывающие электроэнергию или преобразующее один вид энергии в другой.

К основным преимуществам когенерационных установок относятся:

- увеличение эффективности использования топлива благодаря более высокому коэффициенту полезного действия;
- снижение вредных выбросов в атмосферу по сравнению с раздельным производством тепла и электроэнергии;
- уменьшение затрат на передачу электроэнергии, так как когенерационные установки размещаются в местах потребления тепловой и электрической энергии, потери в сетях практически отсутствуют;
  - возможность работы на биотопливе и на других альтернативных видах топлива;
  - бесшумность и экологичность оборудования:
  - обеспечение собственных потребностей котельной в электроэнергии.

Со временем выявились несомненные преимущества камер сгорания первого типа. Поэтому в современных газотурбинных установках топливо в большинстве случаев сжигают при постоянном давлении в камере сгорания.

Первые газотурбинные установки имели низкий коэффициент полезного действия, так как газовые турбины и компрессоры были несовершенны. По мере совершенствования этих агрегатов увеличивался коэффициент полезного действия газотурбинных установок и они становились конкурентоспособными по отношению к другим видам тепловых двигателей.

В настоящее время газотурбинные установки являются основным видом двигателей, используемых в авиации, что обусловлено простотой их конструкции, способностью быстро набирать нагрузку, большой мощностью при малой массе, возможностью полной автоматизации управления. Самолет с газотурбинным двигателем впервые совершил полет в 1941 году.

В энергетике газотурбинные установки работают в основном в то время, когда резко увеличивается потребление электроэнергии, то есть во время пиков нагрузки. Хотя

коэффициент полезного действия газотурбинных установок ниже коэффициента полезного действия паротурбинных установок использование их в пиковом режиме оказывается выгодным, так как пуск занимает гораздо меньше времени.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Витязев А. С.

Научный руководитель – доцент Бобко Н. Н.

Математическая модель электрической машины — это система уравнений, описывающих процессы электромеханического преобразования энергии с допущениями, обеспечивающими необходимую точность решения для рассматриваемой задачи.

Основные допущения при составлении математической модели синхронного генератора:

- не учитывается магнитное насыщение генератора;
- в воздушном зазоре машины действуют намагничивающие силы только первой гармоники;
  - не учитываются потери на перемагничивание;
- считаем, что обмотки статора выполнены симметрично, а ротор генератора симметричен относительно осей d и q;
- все демпферные обмотки по оси d заменены одной демпферной обмоткой аналогичной по оси q;
- при исследовании электромагнитных переходных процессов не учитывают изменение вращения скорости генератора.

Система дифференциальных уравнений ненасыщенного синхронного генератора с учетом успокаивающего контура в физической системе координат имеет вид:

$$\frac{d\Psi_{j}}{dt} = -u_{j} - R_{j}i_{j},$$

$$\frac{d\Psi_{f}}{dt} = u_{f} - R_{f}i_{f},$$

$$\frac{d\Psi_{3d}}{dt} = -R_{3d}i_{3d},$$

$$\frac{d\Psi_{3q}}{dt} = -R_{3q}i_{3q},$$

$$J\frac{d^{2}\gamma}{dt^{2}} = M_{T} - M_{3M}.$$
(1)

Все переменные величины в системе (1) выражены в именных единицах измерения.

Первые шесть уравнений системы являются дифференциальными уравнениями второго закона Кирхгофа для электрических контуров машины. Седьмое уравнение является дифференциальным уравнением, отражает вращательное движение ротора генератора в переходном режиме. Положительные направления токов в обмотках статора и в системе (1) выбраны от генератора к нагрузке, а в обмотке возбуждения — от источников питания к обмотке.

Математические модели электрических машин широко используются для исследования электромеханических систем благодаря применению аналоговых и цифровых вычислительных машин. В настоящее время созданы модели, позволяющие исследовать практически любые задачи, встречающиеся в электромашиностроении.

В режиме короткого замыкания генераторов сопротивление нагрузки равно нулю. В режиме короткого замыкания двигателей равна нулю частота вращения. Режим короткого замыкания характерен для начального момента пуска двигателя из неподвижного состояния. При включении обмотки статора на номинальное напряжение ток двигателя достигает больших значений, поэтому длительный режим короткого замыкания опасен для машин, не рассчитанных на работу при таких условиях.

Короткое замыкание двигателей и генераторов, проводимое при пониженном напряжении, используется при испытаниях электрических машин для опытного определения ряда их параметров.

### литые токопроводы

Лапко Д. А.

Научный руководитель – старший преподаватель Климкович П.И.

Системы литых токопроводов соответствуют всем требованиям для устройств распределения тока в установках низкого и среднего напряжения.

Благодаря особенностям конструкции, литые токопроводы имеют преимущества перед другими способами распределения и передачи электроэнергии. К ним можно отнести компактные размеры, простой монтаж, высокую пожаробезопасность, малое электрическое сопротивление, устойчивость к короткому замыканию, отличную химическую устойчивость и др.

Пофазноизолированный токопровод с литой изоляцией типа ТПЛ (SIS) предназначен для выполнения электрических соединений энергетического оборудования на электрических станциях и подстанциях и устанавливается в цепях трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц напряжением до 35 кВ, номинальным током до 12 000 А и в цепях постоянного тока напряжением до 1,2 кВ, номинальным током до 6300 А. Токопровод состоит из секций различной конфигурации (прямых, с изгибами) длиной не более 10 метров, соединительных муфт, шин и компенсаторов для соединения с выводами генераторов, трансформаторов и шкафов комплектных распределительных устройств.

Малогабаритный литой токопровод типа ТКЛ предназначен для выполнения электрических соединений в цепях переменного тока напряжением от 0.4 до 24 кВ, номинальным током до 14 500 A и частотой 50–60  $\Gamma$ ц, а также в цепях постоянного тока напряжением до 33 кВ, номинальным током до 18 000 A. ТКЛ предназначен для эксплуатации при температурах окружающей среды от  $-60^{\circ}$  до +55 °C.

Токопроводы открытые типа ТПО (номинальным напряжением до 35кВ, номинальным током до 6300 A) предназначены для выполнения электрических соединений высоковольтного оборудования в открытых и закрытых распределительных устройствах электрических станций и подстанций в цепях трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гп.

Шинопровод с литой изоляцией типа POWERDUCT предназначен для выполнения электрических соединений в цепях переменного тока напряжением до 1 кВ, номинальным током до 6300 А, частотой 50–60 Гц, а также в цепях постоянного тока. В шинопроводе типа POWERDUCT реализована гибридная изоляция токоведущих шин. Все проводники покрыты специальным компаундом (Hybrid Powder) на основе эпоксидной смолы, а также изолированы майларовой пленкой. Шинопровод предназначен для эксплуатации при температуре окружающей среды от –40 °C до +50 °C. Назначенный срок службы не менее 30 лет.

Токопроводы закрытые напряжением 6 и 10 кВ на номинальные токи до 4000 А применяются на электростанциях для электрического соединения трансформаторов со шкафами комплектных распределительных устройств, а также турбогенераторов с повышающими трансформаторами, устанавливаемых в цепях 3-фазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц.

Шинопроводы закрытые ШЗК-РТК-0,4 переменного тока напряжением до 1 кВ на номинальный ток до 2500 А частотой 50 и 60 Гц с общей для трех фаз оболочкой предназначены для выполнения электрического соединения трансформаторов собственных нужд мощностью до 1000 кВА с панелями ПСН или шкафами КТПСН-0,5 на электрических станциях.

Шинопроводы закрытые ШЗК-РТК-1,2 постоянного тока напряжением до 1,2 кВ на номинальные токи до 6300 А предназначены для выполнения электрического соединения возбудителей с панелями щитов рабочего и резервного возбуждения генераторов мощностью до 1200 МВт на электрических станциях.

Шинные мосты используются при соединении камер сборных одностороннего обслуживания (КСО). Камеры предназначены для приема и распределения электроэнергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением 6–10 кВ. Шинные мосты представляют собой сварную или сборную металлоконструкцию, состоящую из кожуха с установленными внутри на опорных изоляторах медными или алюминиевыми токоведущими шинами.

Токопроводы комплектные пофазно-экранированные генераторного напряжения 6, 10, 20, 24, 35 кВ с компенсированным электромагнитным полем типа ТЭНЕ предназначены для электрических соединений на электрических станциях, в цепях 3-фазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц турбогенераторов мощностью до 1500 МВт с силовыми повышающими трансформаторами, трансформаторами собственных нужд, преобразовательными трансформаторами трансформаторами возбуждения генераторов. тиристорного Токопроводы изготавливаются закрытыми в пофазном исполнении. Это исключает возможность междуфазных коротких замыканий от попадания на шины посторонних предметов и предотвращает доступ персонала к токоведущим частям токопровода.

Шинные компенсаторы типа FS имеют пластинчатую структуру. Изготавливаются методом диффузионной сварки под давлением из пакетов медной ленты толщиной до 0,2 мм или из пакетов алюминиевой ленты толщиной до 0,3 мм. Сварка алюминиевых пакетов выполняется в среде защитного газа для предотвращения окисления соединительных участков и обеспечения минимального электрического сопротивления в местах сварных соединений.

Шинные компенсаторы типа HFB имеют плетеную структуру. Отличаются повышенной, исключительной гибкостью во всех направлениях и незаменимы, когда требуется изгиб шины в нескольких плоскостях либо защита от передачи вибраций. Изготавливаются из медной проволоки толщиной 0,15 мм.

УДК 621.315/316.351

# РАСЧЁТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ ОРУ 330 КВ

Богатко А.С.

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

Гибкая ошиновка вместе с порталами образует расположенные рядами пролеты ячеек. В схемах со сборными шинами перпендикулярно пролетам ячеек располагаются шинные пролеты, ошиновка которых проходит ярусом ниже. Электрическая связь между соседними пролетами выполняется с помощью шлейфов. Соединение гибких шин и электрических аппаратов РУ выполняется посредством отпаек. Отпайки крепятся к шинам с помощью ответвительных зажимов практически без натяжения. В пролетах типовых ОРУ имеется не более трех спусков к электрическим аппаратам. Гибкая ошиновка РУ является неоднородной многоэлементной механической системой, которая пол электродинамических усилий при КЗ совершает сложное колебательное движение. При больших токах КЗ оно сопровождается недопустимым сближением проводов соседних фаз и значительными динамическими усилиями на опорные конструкции и электрические аппараты.

В результате электродинамического действия больших токов КЗ происходит сближение и даже схлестывание гибких проводов, сопровождаемые ударными нагрузками на элементы и опорные конструкции электроустановок энергосистем. При схлестывании большие токи КЗ ведут к пережогу проволок проводов, что может явиться причиной их обрыва. Более вероятное первичное КЗ на воздушных ЛЭП, устраняемое, как правило, во время бестоковой паузы АПВ, сопровождается вторичным КЗ на гибких шинах РУ высокого напряжения, вызванным их недопустимым сближением при колебаниях, обусловленных ЭДУ от токов первичного КЗ. Следующее за этим отключение системы шин РУ высокого напряжения дифференциальной защитой ведет к тяжелым последствиям для энергосистемы в целом. Собственные частоты колебаний проводов реальных пролетов РУ не превышают нескольких Герц, поэтому основное влияние на характер их вынужденного движения при КЗ оказывают низкочастотные составляющие ЭДУ. В связи с этим при трехфазном КЗ под действием ЭДУ крайние фазы движутся от средней фазы наружу. Горизонтальное перемещение средней фазы весьма ограничено. Направление ее движения определяется фазой включения тока КЗ. Наибольшие отклонения характерны для крайних фаз, в составе ЭДУ которых содержатся значительные постоянные составляющие. При двухфазном КЗ между крайней и средней фазами они отклоняются в противоположные стороны. Наибольшие отклонения крайних фаз при двух- и трехфазном КЗ близки. В случае неуспешного АПВ в траектории движения провода появляется второй участок вынужденного движения.

Указанным разновидностям движения проводов при КЗ соответствуют характерные максимумы тяжения. Выделяются три сдвинутых во времени максимума тяжений в проводах при КЗ. Первый максимум возникает только в расщепленных проводах и обусловлен сильным внутрифазным взаимодействием. Он наступает уже через несколько периодов тока промышленной частоты и характеризуется большой величиной. Существенное влияние на величину этого максимума оказывают ударные явления при схлестывании проводов фазы.

Динамика токоведущих конструкций с проводами представляет собой движение упругой многопролетной и многокомпонентной механической системы под воздействием ЭДУ. Изменение взаимного положения проводов влияет на величину и закон распределения по ним ЭДУ. Движение проводов описывается на основе законов и теорем механики. ЭДУ определяются по законам электротехники. При выборе расчетной модели вводятся допущения, идеализирующие провод. Ему придаются свойства и качества, облегчающие решение задачи динамики.

#### ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Карпович В. П.

Научный руководитель – ассистент Климентионок А. К.

Программируемый логический контроллер (сокращенно, ПЛК) — электронный компонент, применяемый в современных системах автоматизации. Программируемые логические контроллеры используются главным образом при автоматизации промышленных и производственных процессов. ПЛК различных типов также применяются для организации автоматизированного управления системами вентиляции и кондиционирования, для поддержания заданного температурного режима в помещении и т. д. Применение логических контроллеров позволяет создать практически полностью автономную систему управления, осуществляющую свою деятельность с учетом свойств, характеристик и состояния контролируемого объекта. Участие оператора сводится к общему наблюдению за процессом управления и, при необходимости — изменению заданной программы работы.

Один из самых важных параметров ПЛК быстродействие в каталогах фирм указывается в совершенно разных вариантах. Могут фигурировать время выполнения бинарных команд, время опроса 1К дискретных входов, время выполнения смешанных команд и т. д.

Контроллеры ПЛК относятся к категории устройств реального времени и обладают целым рядом существенных отличий от оборудования со сходными назначением и архитектурой. В частности, главным отличием программируемых логических контроллеров от обычных компьютеров является развитая система обработки входящих и исходящих сигналов исполнительных механизмов и различных датчиков; главным отличием от встраиваемых систем управления — схема монтажа, отдельного от объекта управления.

Для программирования ПЛК контроллеров был разработан ряд стандартизированных языков, описанных в международном стандарте МЭК 61131.

Современная логика системы управления установлена в ПЛК посредством компьютерной программы. Эта программа определяет, какие выходы находятся под напряжением и при каких входных условиях. Хотя сама программа напоминают схему логики реле, в ней не существует никаких контактов переключателя или катушек реле, действующих внутри ПЛК для создания связей между входом и выходом. Эти контакты и катушки мнимые. Программа пишется и просматривается с помощью персонального компьютера, подключенного к порту программирования ПЛК.

Одним из преимуществ реализации логического контроля в программном обеспечении, в отличие от контроля с помощью оборудования, является то, что входные сигналы могут быть использованы трех переключателей такое количество раз, какое потребуется.

Учитывая специфику устройств, критерии оценки можно разделить на три группы:

- технические характеристики;
- эксплуатационные характеристики;
- потребительские свойства.

#### ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Черная Е.О., Будников В.В.

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

Преимуществами световодной ОЭ-связи являются: высокая степень уплотнения световодов, обеспечивающая огромный объем передаваемой информации, экономия цветных металлов, высокая помехозащищенность, устойчивость к внешним воздействиям и ряд других преимуществ, приводящих в конечном счете к высокой технико-экономической эффективности. Все это создает основания для принципиально качественных изменений в построении различных систем передачи информации и расширяет ее возможности.

Волоконно-оптическая связь, использующая в качестве носителя информации свет, представляющий собой электромагнитные колебания, обладает замечательными характеристиками передачи. Ее специфическими особенностями являются:

- малый диаметр и масса волоконных световодов, большой объем передаваемой информации, быстродействие;
  - низкие потери передачи;
  - надежность в статических режимах работы;
  - высокая точность измерений в переходных режимах работы;
- помехозащищенность по отношению к шумам, наведенным внешними электромагнитными полями; возможность многих способов модуляции;
  - отсутствие необходимости в заземлении; малый допустимый радиус изгиба;
  - устойчивость к повреждениям; богатые природные ресурсы исходного материала.

Физическую основу ОЭ-методов измерения составляют процессы преобразования измеряемого (входного) электрического сигнала в световой и светового сигнала в выходной электрический сигнал.

Оптическое волокно сохраняет плоскость поляризации при двойном лучепреломлении. Двойное лучепреломление — это такое свойство материала, которое обусловлено зависимостью скорости света от поляризации. Когда плоскополяризованный пучок распространяется по двухлучепреломляющему волокну, он приобретает эллиптическую поляризацию и перемещается вдоль волокон по спиральной траектории, снижая чувствительность детектора к вращению.

Несмотря на определенные успехи, достигнутые при создании ОЭТТ с внутренней амплитудной модуляцией, следует отметить, что построение таких аппаратов высокого класса точности встречает трудности:

- сложность обеспечения стабильности результирующего коэффициента преобразования при действии возмущающих факторов;
- сложность передачи аналоговой информации от приемных устройств аппарата, размещенных обычно в самом аппарате, к усилительным устройствам и другим преобразователям, расположенным обычно в здании, станции; сложность защиты каналов связи между приемным и усилительным устройствами от помех и др.

УДК 624.97

# ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Денисевич Т.А.

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

Рост мирового энергопотребления и неизбежное сокращение природных запасов углеводородного топлива существенно подняли интерес к использованию возобновляемых источников энергии. Одной из бурно развивающейся отраслью энергетики является ветроэнергетика, которая специализируется на использовании кинетической энергии воздушных масс и преобразует ее в различные формы энергии: электрическую, механическую, тепловую.

Общий интерес в настоящее время представляет использование энергии ветра для обеспечения электрической и тепловой энергией частных домов и котеджей. Эту задачу могут выполнять ветряные электростанции для индивидуального пользования [1].

Небольшие ветряные электростанции удобны тем, что для их установки не требуется особого места, достаточно просто монтируются, имеют небольшой срок окупаемости и стабильно вырабатывают электрическую энергию [2].

В настоящее время максимальный коэффициент использования ветра имеют ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения (такая конструкция используется почти в 99% всех действующих промышленных ветровых электростанциях). Предварительные расчеты показывают, что для изготовления ветрогенератора в домашних условиях наиболее оптимальной конструкцией является шестилопастный ветрогенератор с диаметром винта 2 м. При максимальной рабочей скорости ветра 7-8 м/с максимальная мощность выбраной конструкции ветроэлектростанции будет равна 240 Вт. Это соответствует частоте вращения ветроколеса 229 об/мин. При более сильном ветре работа ветрогенератора будет небезопасной и должна ограничиваться.

Наиболее важной частью ветрогенератора является сам генератор, который и определяет эффективность работы всей установки. Промышленностью выпускается большое количество генераторов переменного и постоянного тока. Все они имеют свои достоинства и недостатки. Наиболее удачным по комплексу характеристик для домашней ветроустановки является генератор на постоянных магнитах. Достоинствами этого генератора являются высокая надежность и достаточная мощность, а из недостатков можно назвать только то, что его придется изготавливать самому.

Для изготовления генератора необходимо использовать самые мощные магниты, которые выпускает промышленность. Такими магнитами являются неодимовые (мощность 480 кДж/м3). Изготавливать генератор следует по трехфазной схеме. Это исключит вибрации, а показатель мощности ветряка будет иметь постоянное значение. Ветрогенератор, имеющий трехфазную систему, может быть более эффективным, чем однофазный.

В настоящее время считается, что применение ветрогенераторов в быту для обеспечения электричеством нецелесообразно из-за необходимости получения электроэнергии промышленного качества: напряжением 220 В и частотой 50 Гц. При использовании генератора постоянного тока требуется использование инвертора. Для обеспечения бесперебойной работы потребителей требуется использование аккумуляторов и дизельгенераторов. Все это приводит к значительному удорожанию получаемой энергии.

Поэтому, учитывая сказанное выше, экономически целесообразно получение с помощью ветрогенераторов не электрической энергии промышленного качества, а постоянного или переменного тока с последующим преобразованием его с помощью ТЭНов в тепло для обогрева жилья и получения горячей воды.

- **Литература** http://www.ekopower.ru/chto-nuzhno-znat-o-vetroenergetike/http://vopros-remont.ru/elektrika/samodelnyj-vetryak/
- 1. 2.