

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ ШИННЫХ ПРОЛЕТОВ ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 110 КВ

БАРАН А.Г.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СРЕДЕ SIMULINK MATLAB

БАРАНОВ В.Б.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АРТЕМЕНКО К.И.

КООРДИНАЦИЯ УРОВНЕЙ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

БАШАРКЕВИЧ Я.В., ЗАРИХТА К.С., ПОЗНЯК Д.О., РУСЕЦКИЙ К.И.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ

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

ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ОРУ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА БАЗЕ КОМПАКТНОГО ЭЛЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ЧЕРНЯВСКАЯ А.Г.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ПОТАЧИЦ Я.В.

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

БУЦЕНКО М.А.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

ПРОГРАММА ТК315

ВИШЕВАТЫЙ А.Д., ЗАРИХТА К.С.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДОЦЕНТ БОБКО Н.Н.

БЛУЖДАЮЩИЕ ТОКИ В КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ

ГУЛИДА В.Д.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ГУРОВ А.В., БАРАН Ю.Г., АНТОНОВ И.И.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – КИСЛЯКОВ А.Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

ДУДАРЕВ А.В.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ДЕРЮГИНА Е.А.

АВТОМАТЫ ГАШЕНИЯ ПОЛЯ ГЕНЕРАТОРОВ И КОМПЕНСАТОРОВ

ЕЛИСЕЕВ В.С.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – КЛИМКОВИЧ П.И.

КОМПЬЮТЕР КАК ИСТОЧНИК ПОМЕХ

КАРАНИК А.А.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В КОНСТРУКЦИЯХ ТОКОПРОВОДОВ МОЩНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Емельянов А.В.

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

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СХЕМАХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

Бурло В.В., Зарихта К.С.

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

ДИСКРЕТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАПЛАСА

Жиркова К.Ю.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ПРОЛЕТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 110 КВ С ОДНИМ ПРОВОДОМ В ФАЗЕ АС-185/29

БАРАН А.Г., БАРАН Ю.Г.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

БАШАРКЕВИЧ Я.В., ЗАРИХТА К.С.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВОДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Исmoilов Н.А.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

ПУТИ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПОМЕХ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА

Калитуха А.А.

Научный руководитель – ГУРЬЯНЧИК О.А.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Плющев Б.В.

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

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОНИТОРИНГ ВЕРОЯТНЫХ ТОЧЕК ОТКАЗА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

БАРАН А.Г., БАРАН Ю.Г., Антонов И.И.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

ДИСКРЕТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ

Жиркова К.Ю.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЭЛЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Лашук М.С.

Научный руководитель – ТЕТЕРИНА Л.В.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ

БАШАРКЕВИЧ Я.В.

Научный руководитель – АРТЕМЕНКО К.И.

ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДАМИ

Ложечников И.И.

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

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ МАТНСАД

БАРАН А.Г.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ГИБКИХ ШИН РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

МАНЦЕВИЧ А.В.

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

ЭКРАНИРОВАНИЕ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

МУХА В.О.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГУРЬЯНЧИК О.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

БАРАН А.Г., ЗАРИХТА К.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

ЦИФРОВЫЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ RTDS

МШАР Д.И.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ РУМЯНЦЕВ В.Ю.

ГАЗАПОРШНЕВЫЕ АГРЕГАТЫ

НИКОЛАЕНКО Д.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – КИСЛЯКОВ А.Ю.

RTDS – ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИРУЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

РАБУШКО П.С.

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

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

КОЗАК С.И., БАРАН Ю.Г.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

ВИЗУАЛЬНЫЕ ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

РУМЯНЦЕВ В.О.

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

ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ СХЕМ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

СКУРЧАЕВ А.Ф., БАШАРКЕВИЧ Я.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – КЛИМКОВИЧ П.И.

СПОСОБЫ КОМПЕНСАЦИИ ОДНОФАЗНОГО ТОКА НА ЗЕМЛЮ

СТРУНЕЦ К.П.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ПРОФЕССОР СИЛЮК С.М.

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ФАЙЛЕР Р.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ПРОФЕССОР СИЛЮК С.М.

НАЗНАЧЕНИЕ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

ЧЕМЕРКО П.П.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ПОТАЧИЦ Я.В.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДНИКАМИ

МАРТИНАЙТИС А.Э.

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

БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ

СЕВРУК Д.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ОРУ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА БАЗЕ КОМПАКТНОГО МОДУЛЯ КМ-ОРУ-110

ЧЕРНЯВСКАЯ А.Г.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ПОТАЧИЦ Я.В.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА 110 КВ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ПОДСТАНЦИИ

БАРАН А.Г.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕРКОНОВ

ЯКУШЕВ Д.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., БУЛОЙЧИК Е.В.

КОНСТРУКЦИЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

КАРАЧЕВ П.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ БУЛАТ В.А.

ПРИНЦИП РАБОТЫ И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

ПЕТРАШКО В.Ю.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – КИСЛЯКОВ А.Ю.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БРОСКА ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СРЕДЕ SIMULINK MATLAB

БОЙКОВ А.Д.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АРТЕМЕНКО К.И.

ЗАЩИТА ОТ ДУГОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ

ЛОБАЧЕВ В.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГУРЬЯНЧИК О.А.

ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6–35 КВ

ТУРУК К.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н. БУЛОЙЧИК Е.В.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ОШИНОВКОЙ

МАСЮК С.С.

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

ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

ХОМЯКОВ Э.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ РУМЯНЦЕВ В.Ю.

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ТРАНСФОРМАТОРЫ

КИТАЕВ А.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ТЕТЕРИНА Л.В.

ЦИФРОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

СОРОКО В.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – САПОЖНИКОВА А.Г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКОВ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

ЛАЗАРЕВИЧ И.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТОКА

ВЛАСЮК И.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н. БУЛОЙЧИК Е.В.

НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ БОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ

ФЕДОРОВИЧ В.Л.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – САПОЖНИКОВА А.Г.

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКИХ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

МАКСИМОВА М.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

АВТОМАТИКА ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА

БАРКИН А.К.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ВРЕМЯ ИМПУЛЬСНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

ГРИЦКЕВИЧ Д.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ИЗУЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СРЕДЕ SIMULINK MATLAB

ИЗОИТКО О.Л.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – АРТЕМЕНКО К.И.

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

РОЖКО А.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – САПОЖНИКОВА А.Г.

НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

МАЗУРОВ А.Ю.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

БАРАН А.Г., БАРАН Ю.Г.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – БОГУСЛАВСКИЙ С.И.

ЭЛЕКТРОЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА И КОНТРОЛЬ ИХ СОСТОЯНИЯ

АНДРАЛОЙТЬ О.Ю.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

МАГЕР Н.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНО-ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

АПЕТЁНОК В.О.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ТОКИ НЕБАЛАНСА В ТОКОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ

РОМАНОВИЧ Л.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н. БУЛОЙЧИК Е.В.

НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

ТЫЩИК И.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ ИЛИ КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

КУЦ И.А.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СЕРИИ РЕТОМ

ЛИСОВЕЦ А.В.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н. БУЛОЙЧИК Е.В.

АКТИВНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

БОРОДИЧ М.С.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

КАЗАК А.В.
Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ СО СНЯТИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ

МИХНЕВИЧ Ю.Ч.
Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СВЯЗЬ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

ДОБРОЛИНСКАЯ А.С.
Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

АППРОКСИМАЦИЯ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ

БРИКУН Г.А.
Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

СТОЛЯР Р.В.
Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

ПИЛЬСТЬ В.Г.
Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ДАТЧИКИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

ДУБРОВ И.А.
Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

ПОЗНЯК Д.А.
Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ДУГОВАЯ ЗАЩИТА

ЗАЯЦ Д.В.
Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

ТИМОФЕЙЧИК И.А.
Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

ЗАЩИТНОЕ ЗАНУЛЕНИЕ И ЗАЗЕМЛЕНИЕ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

КНИГА К.С.
Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ОДНОКРАТНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ НЕСИММЕТРИИ СЕТИ

МАХНАЧ Д.Н.
Научный руководитель – к.т.н., доцент БУЛАТ В.А.

КАБЕЛИ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ И ОБЩИМ ЭКРАНАМИ

ГЕФТЕР М.В., АЛЕХНОВИЧ А.С.
Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И.И.

ЧАСТОТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

БУРОВ Н.А.
Научный руководитель – КЛИМЕНТИОНОВ А.К.

ВЫБОР РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ШИННОЙ КОНСТРУКЦИИ КОМПЛЕКТНЫХ ШКАФОВ К-БЭМН

БАРАН А.Г., АЛЕХНОВИЧ А.С., КЛИМКОВИЧ И.П.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Д.Т.Н., ПРОФЕССОР СЕРГЕЙ И.И.

ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТОВ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ТК315

БАЗЫЛЬЧИК В.С., БАШАРКЕВИЧ Я.В., ЗАРИХТА К.С.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – ДОЦЕНТ БОБКО Н.Н.

МЕТОДЫ НЕ РАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ ИЗОЛЯЦИИ

ТАРАСОВ В.С.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – КЛИМЕНТИОНОК А.К.

УЧЕТ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ НАДСТАВОК СБОРНЫХ ШИН ПРИ ОЦЕНКЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ КРУ 6–10 КВ

АЛЕХНОВИЧ А.С., БАРАН А.Г.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Д.Т.Н., ПРОФЕССОР СЕРГЕЙ И.И.

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

КАРПОВИЧ В.П.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – КЛИМЕНТИОНОК А.К.

ОПЕРАТИВНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В ГЛАВНОЙ СХЕМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

АЛЕХНОВИЧ А.С.
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – К.Т.Н., ДОЦЕНТ ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

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

УДК 621.316

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ ШИННЫХ ПРОЛЕТОВ ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 110 КВ

Баран А.Г.

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

В электроустановках высокого напряжения энергосистем широко применяются токоведущие конструкции с гибкими проводами [1–3]. Особенностью их динамики является недопустимое сближение и даже схлестывание соседних фаз в результате электродинамического действия токов короткого замыкания (КЗ), сопровождающегося ударными нагрузками на конструктивные элементы распределительных устройств (РУ) и воздушных ЛЭП [3–5]. Электродинамические воздействия больших токов КЗ – ключевые факторы, влияющие на выбор геометрических размеров и механической прочности токоведущих конструкций с гибкими проводами.

При выполнении работы использованы типовые материалы для проектирования 407-03-539.90 «Открытые распределительные устройства 110 кВ на унифицированных конструкциях». Проведен вычислительный эксперимент по оценке электродинамической стойкости шинных пролетов типовых конструкций распределительного устройства 110 кВ длиной 18 и 27 м с различным количеством и сочетанием отпаек к конструктивным элементам РУ (рисунок 1 и 2). Количество отпаек в исследуемых пролетах (не более трех) ограничивается техническими особенностями используемого инструмента исследования – компьютерной программы FleBus [5]. Вычисления проводились для пролетов с проводом АС-500/27. Подвес провода выполнен гирляндами изоляторов 9×ПС6-А. Стрела провеса провода составляет 5 % от длины пролета. Расчеты выполнены для климатического режима: температура воздуха 25 °С, отсутствие ветра и гололедного отложения.

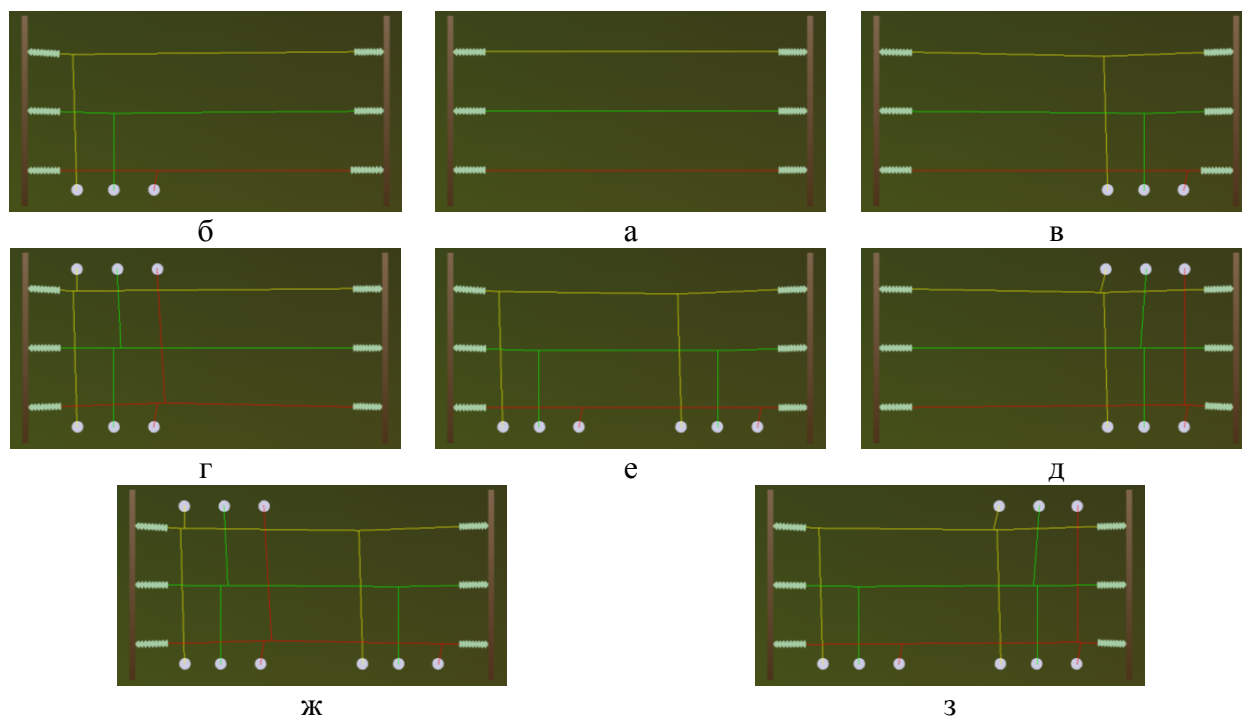


Рисунок 1 – Шинные пролеты длиной 18 м

Механический расчет проводников шинных пролетов распределительного устройства выполнен по компьютерной программе MR215, а расчет электродинамической стойкости – по компьютерной программе FleBus [5].

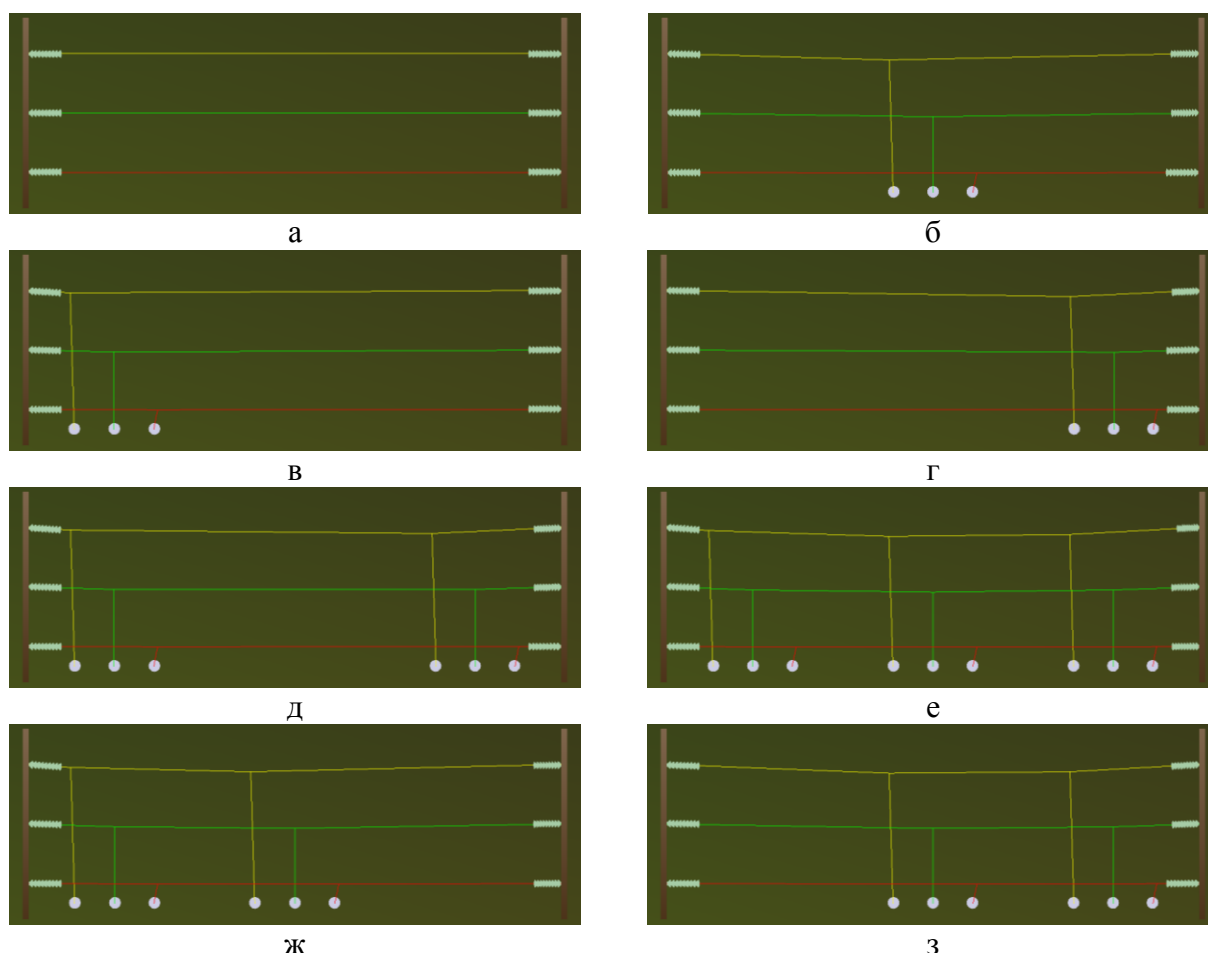


Рисунок 2 – Шинные пролеты длиной 27 м

В проектной практике при оценке электродинамической стойкости токоведущих конструкций нельзя полагаться на результаты одного расчета [5]. Необходимо выполнить серию расчетов с подбором наиболее тяжелых условий КЗ, изменяя величину тока, продолжительность, вид и место КЗ, климатические условия и другие параметры [5]. Исходя из изложенного вычислительный эксперимент выполнен путем проведения серийных расчетов для токов двухфазного КЗ от 0 кА до 50 кА с шагом 0,5 кА.

Таблица 1 – Ток электродинамической стойкости шинных пролетов длиной 18 м по критерию – схлестывание проводов фаз

Пролет	КЗ между фазами		
	А и В	В и С	А и С
рисунок 1а	43 кА	43 кА	> 50 кА
рисунок 1б	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1в	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1г	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1д	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1е	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1ж	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1з	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА

Результаты вычислительного эксперимента для шинных пролетов длиной 18 м приведены в таблицах 1 и 2, анализ которых показывает, что:

– по критерию схлестывания проводов фаз (таблица 1) наименьший ток электродинамической стойкости в 43 кА имеет пролет без отпаяк (рисунок 1а);

– по критерию схлестывания спусков отпайки с проводниками шин (таблица 2) – наименьший ток электродинамической стойкости в 26 кА имеет пролет с двумя отпайками (рисунок 1е);

– по критерию схлестывания спусков отпайки (таблица 2) – каждый пролет (рисунок 1) имеет ток электродинамической стойкости более 50 кА.

Таблица 2 – Ток электродинамической стойкости шинных пролетов длиной 18 м

Пролет	Отпайка	Схлестывание спусков отпайки с проводниками шин			Схлестывание спусков отпайки		
		КЗ между фазами			КЗ между фазами		
		А и В	В и С	А и С	А и В	В и С	А и С
рисунок 1а	–	–	–	–	–	–	–
рисунок 1б	1	29 кА	31 кА	40 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1в	1	27 кА	42 кА	41 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1г	1	31 кА	> 50 кА	45 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	> 50 кА	27 кА	40 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1д	1	> 50 кА	30 кА	45 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	28 кА	> 50 кА	42 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1е	1	35 кА	41 кА	46 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	26 кА	32 кА	40 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1ж	1	38 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	> 50 кА	27 кА	40 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	3	29 кА	> 50 кА	46 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 1з	1	36 кА	50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	> 50 кА	30 кА	45 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	3	29 кА	> 50 кА	46 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА

Результаты вычислительного эксперимента для шинных пролетов длиной 27 м приведены в таблицах 3 и 4, анализ которых показывает, что:

– по критерию схлестывания проводов фаз (таблица 3) наименьший ток электродинамической стойкости в 26 кА имеет пролет без отпайки (рисунок 2а);

– по критерию схлестывания спусков отпайки с проводниками шин (таблица 4) – наименьший ток электродинамической стойкости в 23 кА имеют пролет с одной отпайкой (рисунок 2б) и пролеты с двумя отпайками (рисунок 2ж и 2з);

– по критерию схлестывания спусков отпайки (таблица 4) – каждый пролет (рисунок 2) имеет ток электродинамической стойкости более 50 кА.

Таблица 3 – Ток электродинамической стойкости шинных пролетов длиной 27 м по критерию – схлестывание проводов фаз

Пролет	КЗ между фазами		
	А и В	В и С	А и С
рисунок 2а	26 кА	26 кА	> 50 кА
рисунок 2б	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 2в	33 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 2г	31 кА	29 кА	> 50 кА
рисунок 2д	33 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 2е	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 2ж	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 2з	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА

Таблица 4 – Ток электродинамической стойкости шинных пролетов длиной 27 м

Пролет	Отпайка	Схлестывание спусков отпайки с проводниками шин			Схлестывание спусков отпайки		
		КЗ между фазами			КЗ между фазами		
		А и В	В и С	А и С	А и В	В и С	А и С
рисунок 2а	—	—	—	—	—	—	—
рисунок 2б	1	23 кА	30 кА	32 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 2в	1	27 кА	29 кА	38 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 2г	1	29 кА	33 кА	32 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 2д	1	29 кА	32 кА	41 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	29 кА	30 кА	37 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 2е	1	36 кА	31 кА	38 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	24 кА	27 кА	38 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	3	26 кА	30 кА	32 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 2ж	1	31 кА	40 кА	41 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	23 кА	30 кА	33 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
рисунок 2з	1	23 кА	31 кА	34 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	25 кА	40 кА	34 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА

В ходе вычислительного эксперимента установлено, что наличие отпайк в пролетах ограничивает свободные движения гибких шин, увеличивая ток электродинамической стойкости исследуемого пролета по критерию схлестывания проводов фаз. Однако, наличие отпайк также может привести к снижению тока электродинамической стойкости связанным со схлестыванием спусков отпайк с проводами шин, что наблюдается для каждого из пролетов длиной 18 м, а также для ряда рассмотренных пролетов длиной 27 м (рисунок 2б, 2е–з)

Литература

- 1 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций : учебник для техникумов / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. – 3-е изд., перерад. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
- 2 Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.
- 3 Токоведущие части электростанций и подстанций: методическое пособие для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» / И.И. Сергей [и др.]. – Минск : БНТУ, 2011. – 82 с.
- 4 Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.
- 5 Сергей, И.И. Проверка на схлестывание гибкой ошиновки распределительных устройств электростанций: методические указания для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроснабжение» и 1-43 01 03 «Электрические системы и сети» / И.И. Сергей, Е.Г. Пономаренко. – Минск : БНТУ, 2008. – 44 с.

УДК 621.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СРЕДЕ SIMULINK MATLAB

Баранов В.Б.

Научный руководитель – АРТЕМЕНКО К.И.

Коммутационные перенапряжения формируются в результате резкого изменения режима работы электросети, связанными с изменениями включениями/отключениями мощных приемников, с емкостным или индуктивным характером нагрузки. Исследования коммутационных перенапряжений реализуются методами математического моделирования. Одной из программ является MatLab со своим приложением Simulink. Simulink выполняет симуляции работы моделируемых систем и устройств.

Целью работы является изучение возникновения коммутационных перенапряжений, их видов, особенностей и способов ограничения.

Задача исследования – определение уровней перенапряжений в момент коммутации.

Классификация коммутационных перенапряжений:

- перенапряжения при включении линий;
- перенапряжения при отключении линий;
- перенапряжения при включении индуктивных элементов;
- перенапряжения при отключении индуктивных элементов;
- перенапряжения при дуговых замыканиях на землю;
- перенапряжения при отключении конденсаторных батарей.

Главной причиной перенапряжений при включении линий является перезаряд в колебательном режиме емкости C_3 , линии через индуктивность L_3 от начального значения напряжения $U_{c0} = \text{const}$ до устанавливающегося напряжения, зависящего от мгновенного напряжения источника электродвижущей силы (ЭДС) e_3 в момент включения. Наиболее высокие напряжения возникают, если от предшествующего режима работы на линии осталось напряжение противоположной полярности $U_{c0} = -U_m$, а включение происходит в момент положительного максимума ЭДС $U_{уст} = U_m$ величина перенапряжения в этом случае составит:

$$U_{\max} = E_m + (E_m + E_m) \cdot 2 = 3 E_m$$

где E_m – амплитуда ЭДС источника питания.

Кратность перенапряжений на емкости линии представляется в виде произведения двух сомножителей:

$$k_n = \chi \cdot V, \quad (2)$$

где V – кратность квазистационарной составляющей перенапряжения на холостой линии, равная отношению амплитуды напряжения установившегося режима $U_{уст}$ к амплитуде ЭДС источника питания E_m ;

χ – коэффициент коммутационных перенапряжений, равный отношению амплитуды перенапряжения $U_{\max}$ к амплитуде напряжения установившейся составляющей $U_{уст}$.

Максимальное значение напряжения на линии:

$$U_{1\max} = U_{\text{нач}} + (U_{\text{уст}} - U_{\text{нач}}) \cdot K_{уд} = E_m + (-E_m - E_m) \cdot 1,8 = -2,6 E_m, \quad (3)$$

где $K_{уд} \approx 1,8$ – ориентировочное значение ударного коэффициента в эквивалентном контуре с учетом потерь в сопротивлении R_1 .

Перенапряжения при коммутации ненагруженных линий электропередачи связаны с включениями или отключениями выключателями емкостных токов. Отключения ненагруженной линии малообъемным масляным выключателем усугубляется тем, что перекрытие ее изоляции может повлечь разрушение выключателя. Радикальной мерой борьбы с этим видом коммутационных перенапряжений является применение выключателей без опасных повторных зажигания дуги при отключении линии. Эффективным оказывается

подключение к линии шунтирующего реактора, также ограничение перенапряжений при отключении линий может осуществляться с помощью вентильных разрядников или нелинейных ограничителей перенапряжений.

При проведении исследования простейшей электрической схемы, модель которой представлена на рисунке 1, уровни перенапряжений в момент коммутации превысили номинальное напряжение и составили:

- для фазы А – 1200 В;
- для фазы В – 600 В;
- для фазы С – 1100 В.

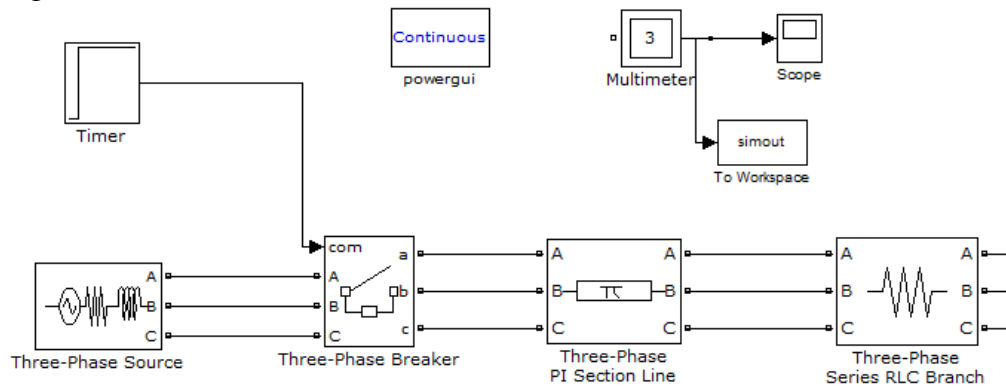


Рисунок 1 – Модель электрической цепи

Литература

- 1 Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPower-Systems и Simulink / И.В. Черных. – М. : ДМК Пресс; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.
- 2 Халилов, Ф.Х. Классификация перенапряжений. Внутренние перенапряжения / Ф. Х. Халилов. – СПб. : НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2013. – 80 с.
- 3 Стариков, С.В. Исследование в оболочке MatLab коммутационных перенапряжений на кабельном присоединении трансформатора с элементами защиты в виде ОПН и RC-цепочки / С.В. Стариков, В.А. Чевычелов, В.И. Гуль // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Сер. 4, Энергетика. Электроэнергетика. – 2009. – № 11. – С. 47–50.

УДК 621.316.5

КООРДИНАЦИЯ УРОВНЕЙ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Башаркевич Я.В., Зарихта К.С., Позняк Д.О., Русецкий К.И.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Протекание токов короткого замыкания (КЗ) сопровождается повышенным нагревом токоведущих частей и контактных соединений, а также значительными электродинамическими усилиями между проводниками. Для защиты токоведущих частей и их изоляции от разрушения в результате действия токов КЗ принимаются меры, которые позволяют координировать уровни токов КЗ и ограничивать их при развитии электроэнергетических систем.

Для координации уровней токов КЗ в эксплуатации целесообразно использовать:

- модернизацию оборудования с целью получения более высоких параметров;
- токоограничивающие реакторы;
- трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения;
- различного рода токоограничивающие устройства;
- отказ от автотрансформаторных связей (исключение автотрансформаторов из схем или замена их соответствующими трансформаторами);
- изменение схемы электроустановки путем переключения отдельных элементов с одной секции (системы шин) распределительного устройства на другую или путем дробления мощности установленных трансформаторов;
- деление сети стационарное на секционных, шиносоединительных или линейных выключателях;
- деление сети автоматическое на секционных и шиносоединительных выключателях, а также на выключателях автотрансформаторов связи распределительных устройств различных напряжений;
- заземление нейтралей части трансформаторов;
- заземление нейтралей части трансформаторов через резисторы, реакторы или устройства с нелинейными характеристиками;
- кратковременное размыкание третичной обмотки автотрансформаторов при коротких замыканиях, сопровождающихся большими (недопустимыми) токами.

На практике в зависимости от местных условий для ограничения уровней токов КЗ может быть принят один или несколько из перечисленных выше способов. Принимаемое решение должно иметь соответствующее технико-экономическое обоснование, включая анализ возможных режимов и показателей надежности работы электроустановки, условий оперативных переключений в схеме при аварийных ситуациях, а также условий последующего расширения электроустановки и реконструкции распределительных устройств.

Следует подчеркнуть, что стационарное и автоматическое деление сетей в эксплуатации является вынужденным решением в условиях отсутствия, эффективных серийно поставляемых электропромышленностью токоограничивающих устройств. Поэтому деление сети должно рассматриваться как внутренний резерв энергосистем.

Для научно обоснованного решения вопроса о координации уровней токов КЗ и параметров оборудования на различных этапах необходима информация о динамике изменения во времени интегральных параметров энергосистем и параметров электрооборудования. Эта информация должна включать в себя как минимум следующие данные: уровни токов однофазного и трехфазного КЗ, кривые распределения уровней токов КЗ по узлам сетей различного напряжения, число и параметры установленных в сетях выключателей, трансформаторов и автотрансформаторов (блочных и связи), генераторов, реакторов и токоограничивающих устройств, число точек стационарного и автоматического

деления сети, потребное количество выключателей различных параметров на перспективу при запланированной структуре и параметрах сетей энергосистемы; общую длину линий электропередачи различного напряжения; площадь электроснабжения энергосистемы, плотность нагрузки; плотность сети; плотность генерирующих мощностей; уровни и кривую распределения наибольших скоростей восстанавливающегося напряжения для основных узлов энергосистемы; технико-экономические параметры электрооборудования, включая зависимость стоимости выключателей различного типа от номинального тока отключения и нормированной скорости собственного восстанавливающегося напряжения; коэффициенты распределения выдаваемой мощности электростанций непосредственно в сети различного напряжения. Естественно, что степень полноты исходной информации, ее достоверность, объективный анализ и учет в значительной степени определяют качество принимаемых решений по координации уровней токов КЗ в энергосистемах.

УДК 621.3

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ

Бухтик Е.П.

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

Кабельная линия электропередачи – линия для передачи электроэнергии, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами и крепежными деталями. Как правильно, кабельные линии прокладывают в местах, где затруднено строительство воздушных линий.

Силовые кабели предназначены для передачи по ним на расстояние электроэнергии, используемой для питания электрических установок.

Силовые кабели состоят из следующих основных элементов: токопроводящих жил, изоляции, оболочек и защитных покровов. Помимо основных элементов в конструкцию силовых кабелей могут входить экраны, нулевые жилы, жилы защитного заземления и заполнители.

Силовые кабели имеют одну или несколько изолированных жил, заключенных в металлическую или неметаллическую оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься соответствующий защитный покров и в необходимых случаях броня.

Силовые кабели низкого напряжения выпускаются с бумажной пропитанной, резиновой и пластмассовой изоляцией в одножильном, двухжильном, трех- и четырехжильном исполнении. Одно- и трехжильные кабели предназначены для работы в сетях с напряжением 1–35 кВ, а двух- и четырехжильные – с напряжением до 1 кВ. Четвертая жила в кабеле является заземляющей или зануляющей, и поэтому ее сечение, как правило, меньше сечения основных жил.

Для передачи электроэнергии переменным током при напряжениях выше 35 до 500 кВ и выше применяют маслонаполненные и газонаполненные кабели.

Маркировка электрических кабелей и проводов производится буквами и числами.

Расшифровка букв:

– буква № 1 характеризует материал жилы. Алюминию присваивается буква «А», меди буква не присваивается;

– буква № 2 в маркировке характеризует вид провода либо материал оболочки кабеля;

– буква № 3 характеризует материал для изоляции жил. Буква «В» либо «ВР» означает что изоляция поливинилхлоридная, «Р» – резиновая, «Н» либо «НР» – найритовая (резина, которая не горит), «П» – полиэтиленовая, «К» – капроновая, «Ф» – металлическая (фальцованная), «МЭ» – эмалированная, «Л» – лакированная, «Ш» – полиамидный шелк, «О» – полиамидный шелк в качестве оплетки, «С» – стекловолокно, «Э» – экранированная изоляция, «Т» – изоляция с несущим тросом, «Г» – изоляция с гибкой жилой. Помимо этого, следует отметить, что провод с резиновой изоляцией может быть дополнительно защищен следующим видом оболочки: «Н» – найритовая, «В» – ПВХ;

– буква № 4 характеризует особенность конструкции. Если написана

буква «А», значит изделие является асфальтированным, «Б» – бронированным лентами, «Г» – без защитного покрова (если кабель) и гибкий (если провод), «К» – бронированный круглыми проволоками, «Т» – предназначен для прокладки в трубах, «О» – защищен оплеткой.

Расшифровка цифрового обозначения:

– цифра № 1 всегда указывает количество жил, если в маркировке провода либо кабеля цифра перед буквами отсутствует, значит, проводник одножильный;

– цифра № 2 характеризует площадь поперечного сечения в мм²;

– цифра № 3 отображает номинальное напряжение сети.

Токи КЗ могут достигать значений, в десятки раз превышающих номинальные токи присоединенных электроприемников и допустимые токи проводников. Для предотвращения

чрезмерного нагрева проводников и смежного оборудования каждый участок сети должен быть снабжен защитным аппаратом, отключающим поврежденный элемент сети за минимально возможное время.

При рассмотрении режима короткого замыкания необходимо кроме расчета проводников по температуре производить расчет электродинамических усилий, возникающих в проводниках.

Для выбора термически стойкого сечения жил кабеля необходимо знать максимальный установившийся ток короткого замыкания из соответствующего расчета $I_{кз}$ и возможное время прохождения этого тока через кабель, определяемое аппаратом защиты $t_{защ}$.

Выбор сечения проводов и кабелей без учета экономических факторов может привести к значительным потерям электрической энергии в линиях и существенному возрастанию эксплуатационных расходов. По этой причине сечение кабелей электрических сетей внутреннего электроснабжения значительной протяженности, а также сетей, работающих с большим числом часов использования максимума нагрузки $T_{max} > 4000$ ч – должно быть не менее отвечающего рекомендованной экономической плотности тока.

Расчетное экономическое сечение округляют до ближайшего стандартного и, если оно окажется свыше 150 мм^2 , одну кабельную линию заменяют двумя или несколькими кабелями с суммарным сечением, соответствующим экономическому. Применять кабели с мало изменяющейся нагрузкой сечением менее 50 мм^2 не рекомендуется.

Выбор сечения из условий допустимого нагрева сводится к пользованию соответствующими таблицами длительно допустимых токовых нагрузок I_d при которых токопроводящие жилы нагреваются до предельно допустимой температуры, установленной практикой так, чтобы предупредить преждевременный износ изоляции, гарантировать надежный контакт в местах соединения проводников и устранить различные аварийные ситуации, что наблюдается при $I_d \geq I_p$, где I_p – расчетный ток нагрузки.

При выборе сечения кабелей следует иметь в виду, что при одинаковой температуре нагрева допустимая плотность тока токопроводящих жил большего сечения должна быть меньше.

При окончательном выборе сечения проводов и кабелей из условия допустимого нагрева по соответствующим таблицам необходимо учитывать не только расчетный ток линии, но и способ прокладки ее, материал проводников и температуру окружающей среды.

Кабельные линии на напряжение выше 1000 В, выбранные по условиям допустимого нагрева длительным током, проверяют еще на нагрев токами короткого замыкания.

Сечение жил кабелей сетей внутреннего электроснабжения напряжением до 1000 В согласуют с коммутационными возможностями аппаратов защиты линий – плавких предохранителей и автоматических выключателей.

Литература

- 1 Белоруссов, Н.И. Электрические кабели, провода и шнуры: справочник / Н.И. Белоруссов, А.Е. Саакян. – 5-е изд. – М.: Энергия, 1987. – 536 с.
- 2 Пантелеев, Е.Г. Монтаж и ремонт кабельных линий: справочник электромонтажника / Е.Г. Пантелеев, А.Д. Смирнова. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
- 3 Привезенцев, В.А. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии / В.А. Привезенцев, Э.Т. Ларина. – М.: Энергия, 1970. – 425 с.

УДК 621.3

ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ОРУ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА БАЗЕ КОМПАКТНОГО ЭЛЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Чернявская А.Г.

Научный руководитель – ПОТАЧИЦ Я.В.

Открытое распределительное устройство (ОРУ) – распределительное устройство, оборудование которого располагается на открытом воздухе. Все элементы ОРУ размещаются на бетонных или металлических основаниях. Расстояния между элементами выбираются согласно ПУЭ. Сборные шины ОРУ могут выполняться как в виде жестких труб, так и в виде гибких проводов. Жесткие трубы крепятся на стойках с помощью опорных изоляторов, а гибкие подвешиваются на порталы с помощью подвесных изоляторов. Территория, на которой располагается ОРУ, в обязательном порядке огораживается.

Кроме двух основных (традиционных) решений конструкции ОРУ, существует так же и компактное решение, которое может быть реализовано с применением компонентов открытой установки и с элегазовой изоляцией. Примером такого решения является концепция компактного модуля (рисунок 1) для открытых распределительных устройств типа КМ-ОРУ-110 производства ЗАО «ЗЭТО». Модуль компактный принят межведомственной комиссией и соответствует ТУ3414-061-49040910-2007, согласованным ОАО «ФСК ЕЭС».



Рисунок 1 – Компактный модуль КМ ОРУ 110 кВ

Модули предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, номинальным напряжением 110 кВ, в составе подстанции и используются для электроснабжения промышленных и коммунальных потребителей, сельскохозяйственных районов и крупных строителей, а также на стороне 110 кВ крупных сетевых подстанций и, при соответствующих условиях, на электрических станциях. Концепция модуля позволяет выполнять ОРУ 110 кВ в любой конфигурации.

Базовый модуль состоит из опорных металлоконструкций, элементов жесткой ошиновки с применением полимерных изоляторов типа ОСК-10-110, трехполюсного колонкового элегазового выключателя, однофазных трансформаторов тока, разъединителя шинного, разъединителя линейного.

Сборные шины выполнены на базе жесткой ошиновки оригинальной разработки. Особенностью конструкции является подвесной шинный разъединитель, не требующий обслуживания, который позволяет создавать схемы ОРУ с одним выключателем на две рабочие системы шин. Применение этой новинки, созданной на ЗАО «ЗЭТО», является более надежным решением, чем выкатной выключатель, совмещающий функции разъединителя (как у зарубежных аналогов). Кроме того, регламентные и ремонтные работы на

выключателе и трансформаторах тока в КМ ОРУ можно проводить без погашения системы сборных шин в полном соответствии с требованиями по электробезопасности.

Базовый модуль может дополняться блоками заземления, измерения, ограничения перенапряжений, обработки ВЧ сигнала, и т. п. для реализации любых схем. По желанию заказчика этот набор может быть дополнен ячейковым порталом, линейным порталом, кабельными конструкциями в пределах ячейки, линейной изоляцией с арматурой, шкафами промежуточных соединений и выносными блоками управления. Строительство и монтаж подстанции в каждом случае осуществляется на основании проекта – привязки, выполненного проектной организацией.

Одним из преимуществ концепции модуля является возможность реализации различных типов модулей (в зависимости от его назначения в схеме) комбинацией блоков и металлоконструкций. Каждый блок имеет опорную металлоконструкцию, состоящую из опорных стоек и продольных швеллеров с растяжками. На продольные швеллеры укладываются поперечные цоколи для установки оборудования. Металлоконструкция собирается на объекте при помощи болтовых соединений. Конструкция опорных стоек позволяет устанавливать последовательно несколько блоков с общей металлоконструкцией, что позволяет при необходимости развития схемы использовать ранее смонтированные блоки на месте без доработки. Оборудование соединяется между собой жесткими или гибкими соединениями в зависимости от компоновки оборудования. Узлы крепления жестких соединений обеспечивают компенсацию температурных изменений длины шин.

Преимущества КМ ОРУ 110 кВ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Преимущества КМ ОРУ 110 кВ

Преимущества	Примеры их реализации
Сокращение площади ОРУ	– оптимизация компоновки оборудования позволяет сократить занимаемую площадь ОРУ до 45 % от общепринятой стандартной; – блочно-модульное исполнение.
Сокращение сроков проектирования	– проектные работы выполняются с использованием разработанных компоновок; – применение модулей и типовых блоков.
Сокращение времени монтажа	– проведение на заводе-изготовителе контрольной сборки и приемо-сдаточных испытаний; – конструкция компактная, легко собирается и устанавливается без сварочных работ.
Удобство обслуживания	– обеспечен свободный доступ к оборудованию.
Адаптируемость	– по выбору заказчика может быть установлено оборудование любого производителя.
Защита от воздействий окружающей среды	– все металлоконструкции имеют покрытие методом горячего цинкования, толщина покрытия обеспечивает стойкость на весь срок эксплуатации модуля (30 лет).
Механическая устойчивость	– несущая конструкция обладает повышенной механической устойчивостью; – сейсмостойкость модуля до 9 баллов по шкале MSK-64.
Сокращение затрат	– не требуется подкрашивание металлоконструкций; – применение полимерной изоляции.

Литература

- 1 Распределительные устройства 110 кВ на базе компактного модуля типа КМ ОРУ [Текст] : информ.-аналит. журн. / учредитель ЗАО «ЗЭТО». – 2009.
- 2 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций напряжением 35–750 кВ [Текст] : информ.-аналит. журн. – М. : Энергосетьпроект, 2006.

УДК 621.3

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Буценко М.А.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Функцию измерения в электроэнергетике несут на себе не только приборы, но и измерительные трансформаторы. Трансформатор тока позволяет учитывать ток в цепях высокого напряжения приборами низкого напряжения, доступными для непосредственного наблюдения обслуживающим персоналом. При этом во вторичную цепь трансформатора тока включаются амперметры, токовые обмотки ваттметров, счетчиков и т. д.

Трансформатор тока не только позволяет свести измерение любого номинального первичного тока и его долей к измерению некоторого стандартного номинального вторичного тока и его долей, но и изолирует реле, измерительные и прочие приборы от цепи высокого напряжения. Таким образом, трансформатор тока имеет следующие основные назначения:

- изолировать обслуживающий персонал и приборы от потенциала сети, в которой производятся измерения;

- позволять производить измерение или учет любых токов стандартными приборами.

Из-за развития энергосистем последнее время возрастает значимость новых методов измерения электрических величин на основе достижений оптоэлектроники, техники полупроводников и вычислительной техники. Эти методы пригодны и для реализации в измерительных трансформаторах (как тока, так и напряжения).

Физическую основу этих методов составляют: преобразование входного электрического сигнала в световой, передача светового сигнала по оптическому каналу и его преобразование снова в электрический сигнал с последующим усилением. Схемы преобразования отличаются одна от другой способом воздействия измеряемого параметра на свойства светового луча (способом модуляции) и, следовательно, разным конструктивным исполнением. Видами модуляции в трансформаторах являются внутренняя и внешняя. При внутренней модуляции воздействие измеряемого параметра на излучение происходит в самом источнике света, при внешней – вне источника света. Внешняя модуляция света может осуществляться изменением прозрачности специального элемента оптической системы модулятора света. В таких измерительных трансформаторах наиболее распространенным является модулятор света, основанный на использовании магнитооптического эффекта Фарадея.

Оптико-электронный трансформатор на основе эффекта Фарадея представляет собой электромагнитный трансформатор без потерь, с полной электрической развязкой первичной и вторичной электрических цепей, имеющий естественную изоляцию между звеньями, связанными световым лучом, высокую разрешающую способность по частоте и погрешность измерения, не зависящую от значения измеряемого тока.

Особенностью устройств и аппаратов с внутренней модуляцией является наличие первичного датчика, связывающего цепь измеряемого параметра с цепью источника излучения. В качестве первичного датчика можно использовать шунт или трансформатор тока в режиме, близком к КЗ. Внутренняя модуляция делится на: амплитудную, частотно-импульсную, кодоимпульсную. Преимущество амплитудной модуляции – простота и высокое быстродействие. Частотно-импульсная модуляция обладает универсальностью источника питания, повышенным быстродействием, повышенной надежностью. У кодоимпульсной модуляции присутствует возможность запоминания информации на длительное время, обработки ее с помощью вычислительных устройств, передачи ее на любые расстояния.

Таким образом, кроме превосходства оптико-электронных трансформаторов тока над классическими трансформаторами в выполнении основных задач, они могут решать дополнительные задачи обработки информации.

УДК 621.3

ПРОГРАММА ТК315

Вишеватый А.Д., Зарихта К.С.

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

Наиболее опасным аварийным кратковременным режимом работы электроустановок является режим короткого замыкания. Короткое замыкание (КЗ) – электрическое соединение двух точек электрической цепи с различными потенциалами, которое не предусмотрено нормальными условиями работы установки. Вследствие явления короткого замыкания резко увеличивается сила тока в электрической цепи. Из-за этого в электроустановках возникают большие механические усилия, и значительно повышается температура проводников, что может привести к повреждениям. Поэтому электрооборудование по режиму КЗ проверяется на электродинамическую и термическую стойкость, а коммутационные аппараты проверяются также на коммутационную способность.

Для расчета токов короткого замыкания предназначена программа ТК315. Она ориентирована на расчет токов КЗ при выполнении курсовых и дипломных работ. Программа позволяет рассчитать полное значение периодической составляющей сверхпереходного тока трехфазного, двухфазного, однофазного и двухфазного короткого замыкания на землю, симметричные составляющие этого тока, а также дает возможность определить распределение этих токов по ветвям схемы.

Несимметричные КЗ рассчитываются на основе метода симметричных составляющих, в соответствии с которым любую n -фазную систему несимметричных векторов можно разложить на n симметричных n -фазных систем. Трехфазную систему несимметричных векторов раскладывают на три симметричные трехфазные системы прямой, обратной и нулевой последовательности.

В нормальном режиме и режиме трехфазного КЗ, которые являются симметричными, протекают только токи прямой последовательности. В несимметричных режимах появляются составляющие токов обратной и нулевой последовательностей.

Рассмотрим алгоритм расчета.

Расчет режима короткого замыкания производится как расчет установившегося режима в схеме замещения, построенной для сверхпереходного режима. Математическая модель такого режима – модель на основе узловых уравнений, которая представляет собой систему алгебраических уравнений, порядок которой соответствует числу линейно независимых узлов схемы. Свертка схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей для заданного узла КЗ выполняется на основе преобразования многолучевой звезды в полные многоугольники. При свертывании происходит запоминание информации об удаленных узлах схем замещения, а в результате свертывания схемы замещения представляются эквивалентными ветвями, по которым производится расчет симметричных составляющих токов КЗ в указанном узле. Для эквивалентных ветвей рассчитываются результирующие ЭДС E , а также результирующие сопротивления прямой x_1 , обратной x_2 и нулевой x_0 последовательностей. Далее происходит расчет токов прямой последовательности для разных видов КЗ:

$$I_1^{(n)} = \frac{E}{j(x_1 + x^{(n)})} \quad (1)$$

где E и x_1 – соответственно результирующие ЭДС и результирующее сопротивление схемы прямой последовательности относительно заданного узла КЗ;

n – индекс несимметричного КЗ:

- $n = 1$ – однофазное КЗ;
- $n = 2$ – двухфазное КЗ;
- $n = 3$ – трехфазное КЗ;
- $n = 1,1$ – двухфазное КЗ на землю.

Для разных видов короткого замыкания дополнительное сопротивление $x^{(n)}$ равно:

- для трехфазного КЗ : $x^{(3)} = 0$;
- для двухфазного КЗ: $x^{(2)} = x_2$;
- для однофазного КЗ: $x^{(1)} = x_2 + x_0$;
- для двухфазного КЗ на землю: $x^{(1,1)} = \frac{x_2 \cdot x_0}{x_2 + x_0}$.

После рассчитываются токи несимметричных коротких замыканий.

Для двухфазного КЗ ток обратной последовательности $I_2^{(2)}$ равен току прямой последовательности с обратным знаком:

$$I_2^{(2)} = -I_1^{(2)}. \quad (2)$$

Для однофазного КЗ токи обратной и нулевой последовательности равны току прямой:

$$I_2^{(1)} = I_0^{(1)} = I_1^{(1)}. \quad (3)$$

Для двухфазного КЗ на землю токи обратной и нулевой последовательностей рассчитываются по формулам:

$$I_2^{(1,1)} = -I_1^{(1,1)} \cdot \frac{x_0}{x_2 + x_0}; \quad (4)$$

$$I_0^{(1,1)} = -I_1^{(1,1)} \cdot \frac{x_2}{x_2 + x_0}. \quad (5)$$

Полный ток в месте несимметричного КЗ пропорционален току прямой последовательности и рассчитывается по формуле:

$$I^{(n)} = m^{(n)} \cdot I_1^{(n)}, \quad (6)$$

где $m^{(n)}$ – коэффициент пропорциональности ($m^{(3)} = 1$; $m^{(2)} = \sqrt{3}$; $m^{(1)} = 3$).

На этом расчет токов КЗ заканчивается.

Для расчетов этих токов с помощью программы ТК315 необходимо составить файл входных данных, в котором отражаются параметры схемы замещения в относительных или именованных единицах. Для построения схемы замещения узлы расчетной трехфазной системы нумеруются целыми цифрами в произвольном порядке. Для каждой ветви схемы замещения прямой последовательности задаются номера двух узлов (начала и конца), ЭДС, а также сопротивление. Узлам, которые соответствуют нейтралю обмоток генераторов и нагрузок в схеме замещения прямой последовательности задается номер 0.

Схема замещения нулевой последовательности строится только для той части схемы, которая работает с глухозаземленной нейтралью. В некоторых случаях она может не совпадать по конфигурации со схемой замещения прямой последовательности, и вследствие этого в схеме замещения нулевой последовательности могут появиться номера узлов, которые отсутствуют в схеме замещения прямой последовательности.

Программа позволяет производить расчет токов или только междуфазных КЗ, или токов всех видов КЗ. Информация в файле входных данных представляется в виде четырех блоков:

- блок общих данных;
- блок данных о ветвях схемы прямой последовательности;
- блок данных об узлах КЗ;
- блок данных о ветвях схемы нулевой последовательности (когда она задается во входных данных).

В блоке общих данных приводится следующая информация о схеме замещения:

- признак единиц измерения, в которых построена схема замещения: (0 – относительные единицы; 1 – именованные единицы);
- признак наличия схемы замещения нулевой последовательности во входных данных: (0 – схема замещения нулевой последовательности отсутствует; 1 – схема замещения нулевой последовательности присутствует);

– признак вывода симметричных составляющих токов КЗ в ветвях схемы во входной файл: (0 – не выводятся; 1 – выводятся токи прямой последовательности; 2 – выводятся токи обратной последовательности; 3 – выводятся токи нулевой последовательности; 12 – выводятся токи прямой и обратной последовательностей; 13 – выводятся токи прямой и нулевой последовательностей; 23 – выводятся токи обратной и нулевой последовательностей; 123 – выводятся токи прямой, обратной и нулевой последовательностей);

– количество ветвей в схеме замещения прямой последовательности;

– количество узлов короткого замыкания;

– количество ветвей в схеме замещения нулевой последовательности (задается равной нулю, когда признак наличия схемы замещения нулевой последовательности был задан равным нулю);

– количество узлов схемы замещения нулевой последовательности, которые имеют нулевой потенциал (задается равным 0, когда признак наличия схемы замещения нулевой последовательности был задан равным нулю);

– базисная мощность, МВА (комплексный вид), задается равной (1,0.), когда признак единиц измерения был задан равным 1.

В блоке данных о ветвях схемы прямой последовательности записываются номер узла начала и конца ветви, ЭДС и сопротивление ветви.

Блок данных об узлах КЗ несет в себе информацию о номере узла КЗ, а также базисном напряжении в этом узле в кВ.

В последнем блоке описывается информация о схеме замещения нулевой последовательности. Когда признак наличия схемы замещения нулевой последовательности во входных данных был задан равным 0, то четвертый блок информации входных данных отсутствует. Когда этот признак был задан равным 1, то в последнем блоке описываются две группы информации. В первой группе для каждой ветви схемы замещения нулевой последовательности записываются три цифры: номера начала и конца ветвей и сопротивления этих ветвей. Вторая группа информации об узлах схемы замещения нулевой последовательности, которые имеют нулевой потенциал, представляет собой массив номеров узлов схемы замещения нулевой последовательности, которые имеют нулевой потенциал в схеме нулевой последовательности.

После ввода всей информации файлу входных данных присваивается имя типа AAAA.dat. Файл с таким именем заносится в программу ТК315, в которой происходит считывание информации. Далее в выходной файл выводятся результаты расчетов токов короткого замыкания, а также их составляющих, которые необходимо было рассчитать. Если узлов КЗ было задано несколько, то расчет производится циклично для каждого из них, а результаты выводятся в выходной файл, которому присваивается имя входного файла.

Когда признак наличия схемы замещения нулевой последовательности был задан равным 0, то в выходной файл выводятся результирующие сопротивления свернутой до узла КЗ схемы замещения прямой последовательности, действующее значение сверхпереходного тока КЗ и его симметричные составляющие для междуфазных КЗ в заданном узле КЗ в комплексной форме.

При наличии схемы нулевой последовательности в выходной файл выводятся результирующие сопротивления свернутых до узла КЗ схем замещения прямой и нулевой последовательностей, действующее значение сверхпереходного тока КЗ и его симметричные составляющие для всех видов КЗ в заданном узле КЗ в комплексной форме.

Если был задан расчет симметричных составляющих токов КЗ в ветвях схемы, то дополнительно в выходной файл выводятся соответствующие симметричные составляющие тока КЗ в ветвях схем замещения прямой и нулевой последовательностей. Для каждой ветви выводятся номера начала и конца узлов и доли тока в узле КЗ в комплексной форме.

Программа используется в основном в обучающих целях для расчета несложных схем в курсовом или дипломном проектировании. Применение этой программы для расчета

объемных электрических схем вызывает значительные трудности из-за сложности ввода исходных данных, а также необходимости ручного расчета параметров схем замещения.

Литература

1 Бобко, Н.Н. Программа ТК315 для расчета токов короткого замыкания на ЭВМ / Н.Н. Бобко. – Минск : БНТУ, 2016. – 14 с.

2 Руководящие указания по расчету тока короткого замыкания и выбору электрооборудования : РД 153-34.0-20.527-98 : утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политики 23.03.98. – М. : ЭНАС, 2002. – 152 с.

УДК 621.3

БЛУЖДАЮЩИЕ ТОКИ В КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ

Гулида В.Д.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Поверхность земли – проводник электрического тока. Не случайно ее используют как среду для устройства контуров заземления энергообъектов. Но электропроводящие свойства земли приводят и к появлению блуждающих токов – явлению, оказывающему вредное воздействие на коммуникации, расположенные в ней.

В этих случаях не только грунт является здесь проводником, но и металлические конструкции, находящиеся полностью или частично под землей, такие как трубопроводы, кабельные линии, опоры контактных сетей и так далее. Даже просто соприкасающиеся с землей металлические конструкции подвержены действию блуждающих токов.

Блуждающие токи – токи, возникающие в земле при ее использовании в качестве токопроводящей среды. Вызывают коррозию металлических предметов, полностью или частично находящихся под землей, а иногда и лишь соприкасающихся с поверхностью земли. Они характерны, в частности, для трамвайных и железнодорожных путей электрифицированных железных дорог, не обслуживаемых должным образом.

Блуждающие токи опасны, прежде всего, своей электрохимической активностью, которая приводит к ускоренной коррозии подземных металлических сооружений, в том числе трубопроводов и газопроводов. Они могут выводить из строя незащищенные сооружения в течение нескольких месяцев. В ряде случаев эти токи являются следствием аварийной утечки с линий электропередачи.

Переменный блуждающий ток также опасен, но представляют меньшую опасность, чем постоянный ток. Коррозия под действием переменных блуждающих токов менее сильна. Такой коррозии подвержены подземные стальные коммуникации, проходящие вблизи трамвайных путей, сварочных площадок и цехов электролиза.

Источниками блуждающих токов являются трамвай, метрополитен и электрифицированный на постоянном токе пригородный рельсовый транспорт. Как известно, провод (троллей) в этих установках соединяется обычно с плюсом источника постоянного тока, а минус – с обратным проводом, которым являются рельсовые пути. Вследствие слабой изоляции полотна дороги от земли, большого омического сопротивления рельсовых путей, нарушения контакта в стыках рельс часть тока, ответвляясь, проходит к минусу источника питания по земле. Встречая на своем пути проводник, каким являются металлические оболочки кабельных линий, трубопроводы и другие подземные сооружения, блуждающие токи могут пройти по этому проводнику, а затем выйти из него снова в землю, чтобы вернуться к отрицательному полюсу тяговой подстанции. В этой цепи электрического тока, состоящего из рельсового пути (источника), металлических оболочек кабеля и земли, имеет место явление электролиза. Рельсовый путь и металлические оболочки кабельных линий являются при этом электродами (анодом и катодом), а окружающая земля, где всегда имеется влага, содержащая некоторое количество различных солей и кислот, – электролитической средой, или электролитом.

Как известно, при прохождении постоянного тока через электролит электрод с высшим потенциалом (анод) растворяется. В месте перехода электрического тока с рельсов в кабель (вход) высший потенциал будет иметь рельс, поэтому он служит анодом, а оболочки кабеля – катодом. Участок, где блуждающие токи ответвляются от рельсовых путей и через землю переходят на металлическую оболочку кабельных линий, называют катодной зоной. В этом случае оболочкам кабельных линий опасность разрушения не угрожает.

Совсем другое дело будет в месте, где блуждающие токи переходят с металлических оболочек кабельных линий в землю (выход). Потенциал оболочек кабеля в этом случае будет выше потенциала земли (анодная зона). В анодной зоне металлические оболочки кабельных линий будут разрушаться. Количество растворяющегося в анодной зоне металла по закону

Фарадея пропорционально величине блуждающего тока, времени, в течение которого он протекает, и зависит от рода металла, из которого выполнены оболочки кабельных линий.

Воздействие блуждающих токов на разные материалы (как правило, металлы, железобетон и бетон) можно оценить по скорости электрокоррозии металла и среднегодовым потерям несущей способности металлических и железобетонных конструкций, соотнесенным с напряженностью поля блуждающих токов. При воздействии блуждающих токов на подземные металлические трубопроводы процесс электролиза сопровождается анодными и катодными реакциями, протекающими на границе металл-грунт. Основной анодной реакцией является растворение стали. Основными катодными реакциями являются ионизация кислорода или выделение водорода.

В результате воздействия блуждающих токов на металлические конструкции на них возникают неравномерно расположенные характерные дыры и язвы.

В районах с блуждающими токами в земле или с агрессивными почвами по отношению к металлическим оболочкам кабельных линий должен производиться контроль за состоянием кабельных линий.

Контроль за состоянием металлических оболочек кабельных линий осуществляется путем систематических осмотров кабельных линий в доступных местах, а также путем использования вскрытия трассы кабельных линий (аварийно или по другим причинам).

Измерения блуждающих токов производятся обычно у тяговых подстанций трамвая, электрифицированных железных дорог, у отсасывающих пунктов, в местах сближения и пересечения кабельной линии с путями трамвая и электрифицированных железных дорог, а также в местах, где были отмечены повреждения кабельных линий или трубопроводов по причине коррозии.

В объем и комплекс измерений на кабельных линиях для оценки опасности коррозии входят следующие измерения:

- разности потенциалов оболочек кабеля по отношению к земле;
- разности потенциалов между оболочками кабелей, рельсами трамвая или другими подземными сооружениями;
- поверхностной плотности тока, сходящего с оболочек кабеля в землю;
- величины и направления тока, протекающего по оболочкам кабеля.

По результатам измерений эксплуатирующая кабельные линии организация проводит следующие мероприятия:

- производит выявление зон опасных для кабельных линий в отношении электрической коррозии и составляет карту анодных зон;
- организует наблюдение за состоянием кабельных линий путем производства систематических измерений в контрольных пунктах;
- делает анализ причин повреждаемости кабельных линий при профилактических испытаниях и в работе, а также выявляет случаи повреждения кабельных линий по причине коррозии;
- производит монтаж изолирующих муфт из эпоксидного компаунда в случае надобности для разрыва цепи блуждающего тока по металлическим оболочкам кабельной линии;
- делает соединение металлических оболочек кабельных линий между собой в целях уменьшения плотности блуждающего тока.

Одним из основных мероприятий по защите кабелей от коррозии блуждающими токами на электрических железных дорогах постоянного тока является ограничение величины токов утечки из рельсовых нитей в землю. Другим мероприятием по защите кабелей от коррозии блуждающими токами является повышение переходного сопротивления между кабелем и окружающим его грунтом, а также между кабелем и рельсами электрической железной дороги или трамвая.

Наряду с перечисленными методами защиты широко применяются электрические методы защиты кабелей от коррозии блуждающими токами.

К электрическим методам защиты относятся электрический дренаж, катодная защита, анодные электроды и электрическое секционирование.

Литература

1 Привезенцев, В.А. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии / В.А. Привезенцев, Э.Т. Ларина. – М. : РАГС, 1995. – 120 с.

2 Фридкин, И.А. Эксплуатация кабельных линий 1–35 кВ / И.А. Фридкин. – М. : Энергия, 1972. – 88 с.

УДК 621.3.08

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Гуров А.В., Баран Ю.Г., Антонов И.И.

Научный руководитель – КИСЛЯКОВ А.Ю.

Нагрев электрооборудования является одним из основных показателей режима его работы и технического состояния. По нагреву можно судить о нагрузке электрооборудования, обнаружить возникновение неисправности, например, в контактах или системе охлаждения.

Температура оборудования – это первое, на что обращает внимание дежурный персонал в процессе обслуживания. К измерению температуры оборудования в энергетике предъявляются два основных требования: точность и надежность.

В большинстве своем точность измерения температуры оборудования находится в пределах ± 1 – $1,5$ °С, кроме измерения температуры водоохлаждаемых обмоток, где точность лежит в пределах $\pm 0,5$ °С. При различных испытаниях и исследованиях температура измеряется с точностью до $\pm 0,1$ °С.

Требования к надежности измерения температуры оборудования достаточно жесткие, т. к. от термоконтроля зачастую зависит надежность работы. Система термоконтроля должна быть долговечна, допускать простую калибровку в любое время, и не подвергаться влиянию внешних факторов – вибрации, сильных электрических и магнитных полей.

Разработано несколько методов термоконтроля, основными из которых являются: метод терморезистора (прямой и косвенный), метод термопары, инфракрасный метод, методы, использующие изменение физического или химического состояния вещества при изменении его температуры. Каждый из перечисленных способов имеет свои преимущества и недостатки.

Метод терморезистора использует зависимость сопротивления проводника от его температуры. В большинстве случаев сопротивление увеличивается с ростом температуры. Эта зависимость линейна у меди в пределах от -50 °С до $+200$ °С, у железа и вольфрама она в основном нелинейна.

На принципе температурной зависимости сопротивления выполнено много различных устройств и схем для измерения температуры, использующих сопротивление проводников самого аппарата, например, обмоток машин, так и специальные терморезисторы; этот принцип измерения чрезвычайно универсален. Рассмотрим некоторые примеры. Измерения по методу терморезистора (ТР) удобнее всего производить с использованием мостовой схемы.

Логометрическая схема проще, но менее точна, т. к. имеет невысокий класс точности, обеспечивающий измерение температуры с точностью не лучше ± 2 °С. Эта схема широко применяется для штатного термоконтроля за обмотками, подшипниками и подпятниками генераторов, за температурой охлаждающей воды, воздуха и масла в трансформаторах.

Применение метода терморезистора. Простота и универсальность метода терморезистора обеспечили ему широкое применение в практике эксплуатации, наладки и испытаний электрооборудования.

Для измерения температуры обмотки и железа статора электрической машины используют ТР из тонкой медной проволоки диаметром 0,1 мм, намотанной на тонкую пластинку из изоляционного материала, защищенный внешней изоляцией. ТР, измеряющий температуру обмотки (меди), закладывается в пазу статора между секциями обмотки ТРМ. ТР, измеряющий температуру железа статора, закладывается на дно паза (ТРЖ.). Необходимо отметить, что ТРМ практически измеряет температуру на поверхности изоляции обмотки, а не температуру собственно меди обмотки, которая на 1 – 2 °С выше за счет температурного перепада на изоляции. Но эта погрешность неизбежна, т. к. невозможно укрепить ТРМ непосредственно на обмотке, находящейся под высоким напряжением. Эта погрешность учитывается во всех нормах и ГОСТ.

Периодическое измерение температуры шин и в особенности шинных и аппаратных соединений можно производить измерительной штангой с ТР.

Метод термопары. Метод является достаточно точным и универсальным, основанным на известном явлении возникновения термо-ЭДС при нагревании спая двух разнородных металлов. Термо-ЭДС спая медь-константан равна приблизительно $0,04 \text{ В/}^{\circ}\text{С}$. Точное значение термо-ЭДС зависит от материала спая и его технологии. Практически все термопары перед использованием калибруются.

Метод термопары обладает одним недостатком – малой ЭДС при высоких температурах. Поэтому его редко применяют для штатного измерения температуры электрических аппаратов, чаще – для точных измерений при специальных испытаниях и исследованиях. Более широко он применяется для измерений в теплотехнической части электростанции, где температуры достигают сотен градусов и термо-ЭДС достаточно велика.

Бесконтактное измерение температуры применяется в основном в тех случаях, когда перечисленные классические способы неприменимы. Например, при измерении сопротивления обмотки ротора генератора с выпрямительной системой возбуждения на ходу возникают заметные трудности, связанные с наличием на обмотке возбуждения большой переменной составляющей напряжения.

Измерение температуры методом измерения физического состояния измерителя используется для разовых измерений или измерений в дежурном режиме для сигнализации о превышении допустимой температуры.

Легкоплавкие припои с четким переходом из твердой в жидкую фазу при определенной температуре используются для пайки сигнальных флажков-семафоров. При достижении заданной, опасной для оборудования, температуры припой расплавляется и флажок падает. При очередном обходе оборудования дежурный персонал зафиксировывает недопустимый нагрев элемента оборудования.

Из легкоплавких материалов изготавливают «свечи», по оплавлению которых также можно определить температуру оборудования в труднодоступных местах.

Для контроля за температурой в недоступных местах используются термокраски. Термокраска – термореактивное вещество, резко изменяющее свой цвет при достижении заданной температуры. Термокраска наносится на изучаемый элемент оборудования, например, на ротор машины. После проведения эксперимента машину останавливают и наблюдают цвет термокраски: если он изменился, машина нагревалась выше пороговой температуры термокраски. Обычно на объект измерения наносят несколько красок с различными пороговыми температурами. Если были нанесены термокраски с температурами срабатывания 70 , 90 и 100°С и после опыта термокраски на 70 и 90°С изменили свой цвет, а 100 -градусная не изменила, то это значит, что объект нагревался в среднем до 95°С (более 90° и менее 100°С).

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Дударев А.В.

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

Ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) – электрические аппараты, предназначенные для защиты оборудования систем электроснабжения от коммутационных и грозовых перенапряжений. Основным элементом ОПН является нелинейный резистор – варистор (varistor, от англ. Vari(able) (Resi)stor – переменное, изменяющееся сопротивление).

В настоящее время варисторы для ограничителей изготавливаются как цилиндрические диски диаметром 28–150 мм, высотой 5–60 мм. На торцевой части дисков методом металлизации наносятся алюминиевые электроды толщиной 0,05–0,30 мм. Боковые поверхности диска покрывают глифталевой эмалью, что повышает пропускную способность при импульсах тока с крутым фронтом.

Применяемые в настоящее время разрядники с резисторами, имеющими недостаточную нелинейность, часто не позволяют обеспечить необходимое ограничение перенапряжений. Более глубокое снижение перенапряжений требует уменьшения нелинейного последовательного сопротивления, что приводит к существенному увеличению сопровождающих токов. Включение нелинейных сопротивлений на рабочее напряжение без искровых промежутков оказывается невозможным вследствие большого тока через нелинейное сопротивление при фазном напряжении.

Применение искровых промежутков вызывает дополнительные трудности, связанные с необходимостью уменьшения сопровождающего тока до величины, надежно отключаемой промежутками. Значительное улучшение защитных характеристик разрядников может быть достигнуто при отказе от использования искровых промежутков. Это оказывается возможным в ОПН при использовании резисторов с резко нелинейной вольтамперной характеристикой. Выполненные на основе окиси цинка варисторы отвечают этим требованиям и применяются в ограничителях перенапряжений. ОПН комплектуются из большого числа последовательно и параллельно соединенных оксидно-цинковых варисторов. Число последовательно соединенных в колонку варисторов и число параллельных колонок в ограничителе перенапряжений определяется номинальным напряжением сети и зависит от требований к защитному уровню напряжения и пропускной способности ограничителей по току. Пропускная способность ОПН и характер их повреждения зависят от амплитуды и длительности протекающего через них тока. При импульсах тока большой длительности, характерных для коммутационных перенапряжений, наблюдается существенных нагрев ОПН, в результате так воздействий может происходить проплавление в варисторах сквозных отверстий и их разрушение при токах с амплитудой 80–120 А. При кратковременных импульсах тока, характерных для грозовых перенапряжений, варисторы не разрушаются даже при воздействии импульсов с амплитудой 1000–1500 А. Дальнейшее увеличение тока может приводить к их перекрытию по боковой поверхности, однако, ток перекрытия может быть значительно увеличен, если покрыть боковую поверхность варисторов специальным изоляционным лаком или залить колонку варисторов полимерным компаундом.

Большинство крупных фирм производителей электротехнической продукции при разработке и выпуске ОПН используют те же конструкторские решения, технологии и дизайн, что и для производства других электроустановочных изделий. Это касается габаритных размеров, материала корпуса, применяемых технических решений для установки изделия в электроустановку потребителя, внешнего вида и других параметров. Дополнительно к конструкции ограничителей перенапряжений могут быть предъявлены следующие требования:

– Корпус устройства должен быть выполнен с соблюдением требований по защите от прямого прикосновения (класс защиты не ниже IP20).

- Отсутствие риска возгорания устройства защиты или короткого замыкания в линии в случае его выхода из строя в результате перегрузки.

- Наличие простой и надежной индикации выхода из строя, возможность подключения дистанционной сигнализации.

В настоящее время вентильные разрядники практически сняты с производства и в большинстве случаев отслужили свой нормативный срок службы. Построение схем защиты изоляции оборудования как новых, так и модернизируемых подстанций, от грозовых и коммутационных перенапряжений теперь оказывается возможным только с использованием ОПН.

Следующим шагом должна стать установка защитных устройств. При выборе защитных устройств на оксидно-цинковых варисторах необходимо обращать внимание на следующие параметры:

- Номинальное напряжение ограничителя. Это номинальное напряжение сети, для работы в которой предназначен ОПН.

- Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение на ограничителе. Это наибольшее действующее значение напряжения промышленной частоты, которое может быть длительно приложено к выводам ОПН. Это напряжение должно быть не ниже наибольшего рабочего фазного напряжения сети, для работы в которой предназначен ОПН.

- Классификационное напряжение ограничителя. Это действующее значение напряжения промышленной частоты, которое прикладывается к ограничителю для получения классификационного тока.

- Номинальный импульсный разрядный ток. Номинальный импульсный разрядный ток ОПН должен пропустить без существенного изменения параметров 20 раз.

- Максимальный импульсный ток. Это значение испытательного грозового импульса тока (обычно формы 8/20 мкс), который устройство может пропустить один раз и не выйти из строя.

- Остающееся напряжение. Это максимальное значение падения напряжения на ограничителе при протекании через него импульса тока.

- Уровень защиты. Это значение остающегося напряжения при протекании через варистор ограничителя номинального импульсного тока разряда.

- Время срабатывания оксидно-цинковых варисторов обычно не превышает 25 нс.

Помимо неверного выбора мест установки и характеристик ОПН еще одной причиной повреждений ОПН являются используемые при их сборке варисторы низкого качества, к которым, прежде всего, относятся китайские и индийские варисторы.

Преимущества ОПН:

- простота конструкции и высокая надежность;
- по сравнению с разрядниками, более глубокое ограничение перенапряжения;
- стойкость к внешнему загрязнению изоляционного корпуса;
- способность ограничивать внутренние перенапряжения;
- большая взрывобезопасность у ограничителей перенапряжения с полимерным корпусом;
- меньшие габариты и масса, чем у разрядников;
- могут использоваться в сетях постоянного тока.

Литература

- 1 Дмитриев, М.В. Параметры ограничителей перенапряжения / М.В. Дмитриев. – М. : Энергоатомиздат, 2002. – 205 с.
- 2 Поляков, В.С. Защита сетей 6–35 кВ от перенапряжений / В.С. Поляков. – М. : Энергоатомиздат, 2002. – 272 с.
- 3 Дмитриев, М.В. Применение ОПН в электрических сетях / М.В. Дмитриев. – М. : Энергоатомиздат, 2003. – 311 с.

УДК 621.3

АВТОМАТЫ ГАШЕНИЯ ПОЛЯ ГЕНЕРАТОРОВ И КОМПЕНСАТОРОВ

Елисеев В.С.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

В соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ) в цепи возбуждения каждого синхронного генератора и синхронного компенсатора (за исключением малых машин) устанавливаются устройства для быстрого и безопасного развозбуждения – автоматы гашения поля (АГП).

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.

Необходимость в аварийном отключении генератора от сети возникает при повреждениях в энергосистеме, при повреждениях в зоне действия дифференциальной защиты генератора или блока генератор-трансформатор.

При пробоях изоляции дуга горит до тех пор, пока ЭДС генератора не снизится до величины, недостаточной для ее поддержания. При напряжении 500 В происходит естественное погасание дуги переменного тока внутри машины. Для снижения ущерба от повреждения при такой аварии магнитный поток (ток возбуждения) как можно быстрее должен быть снижен до величины, практически равной нулю.

Кроме того, машина при близком 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.

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 сегодняшний день применяются следующие способы гашения поля:

- гашение поля выводом энергии в сеть переменного напряжения (в тиристорных системах возбуждения);
- 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 позволяют быстро гасить поле. Однако их стоимость высока и это стимулирует поиск решений, альтернативных уже существующим.

Принцип действия АГП.

В цепи постоянного тока контура возбуждения (рисунок 1) обычно последовательно с обмоткой возбуждения 3 и возбудителем 4 включается автомат гашения поля или выключатель 5, а параллельно с ОВ тиристорный разрядник (элементы 7 и 8) с резистором самосинхронизации (6) и контактором самосинхронизации (9), шунтирующим разрядник.

На базе типовой схемы СВ (рисунок 1) рассмотрим схему устройства гашения поля (УГП) (рисунок 2) по способу, предложенному сотрудниками ЮУрГУ, и алгоритмы ее работы в различных режимах работы синхронного генератора.

В нормальном режиме работы генератора тиристоры УГП 8, 9, 10, стабилитроны 22, 23, 24, диод 11 и транзистор 7 находятся в запертом состоянии. При подаче сигнала на гашение

поля преобразователь 4 СВ переводится в режим инвертирования. Одновременно с подачей импульса на инвертирование подается импульс на отключение выключателя 5 и включение транзистора IGBT 7.

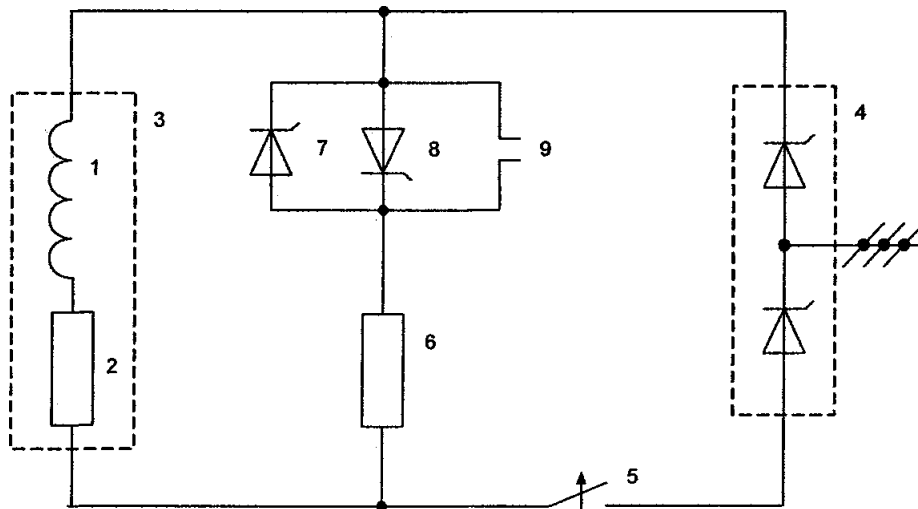


Рисунок 1 – Типовая схема контура возбуждения

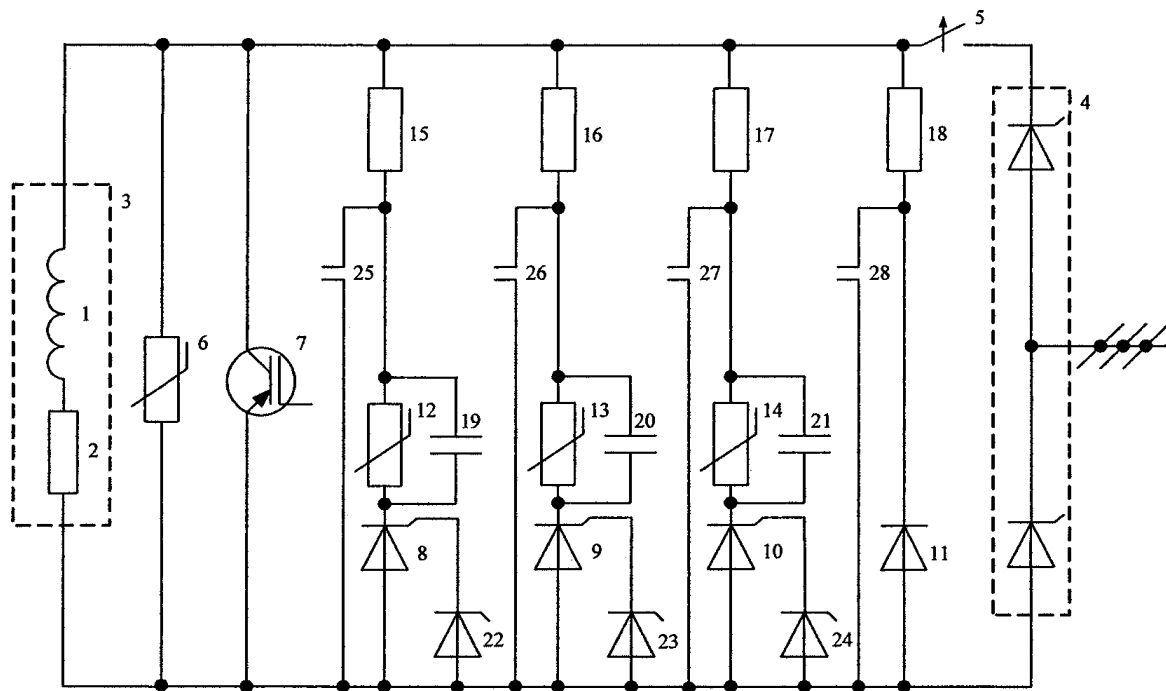


Рисунок 2 – Схема системы возбуждения с УГП, построенном на принципе ступенчатого увеличения сопротивления контура возбуждения

После отключения выключателя 5 снимается импульс управления с транзистора 7, который начинает переходить в непроводящее состояние. При этом напряжение на ОВ быстро увеличивается (из-за быстрого отключения тока индуктивности), и ток ОВ 3 переходит в цепь с диодом 11 и резистором 18 по мере отключения транзистора. Как только напряжение на стабилитроне 24 достигнет величины его срабатывания, наименьшей из всех, этот стабилитрон перейдет в проводящее состояние и в цепи управления тиристора 10 появится ток, тиристор включится и часть тока возбуждения перейдет в цепь этого тиристора (резистор 17, нелинейный элемент 14, конденсатор 21). При этом конденсатор 21 начнет заряжаться до напряжения на нелинейном элементе 14.

Поскольку значения сопротивлений в цепях тиристора 10 и диода 11 велики и транзистор 7 отключается быстро, то напряжение на ОВ будет продолжать увеличиваться. Когда это напряжение достигнет напряжения срабатывания стабилитрона 23, который,

перейдя в проводящее состояние, подключит тиристор 9 аналогично тому, как стабилитрон 24 подключил тиристор 10. Тиристор 9 включится и в его цепь (резистор 16, нелинейный элемент 13 и конденсатор 20) также перейдет часть тока возбуждения. Конденсатор 20 аналогично конденсатору 21 будет заряжен до напряжения элемента 13. Напряжение на ОВ при этом также не будет ограничено и продолжит расти, пока не достигнет напряжения срабатывания стабилитрона 22, который, включившись, подаст ток управления в цепь тиристора 8. Тиристор 8 включится и подключит свою цепь (резистор 15, нелинейный элемент 12 и конденсатор 19). Часть тока возбуждения перейдет в эту цепь и напряжение на ОВ будет ограничено, поскольку теперь подключены все ступени УГП.

По мере снижения энергии магнитного поля ОВ ток возбуждения уменьшается до величины первой уставки УГП. По ее достижении транзистор 7 повторно включается и шунтирует ветви УГП. Это приводит к снижению напряжения на ОВ и ветвях УГП практически до нуля и практически полному переходу тока возбуждения в этот транзистор (сопротивления ветвей УГП велики). При снижении тока возбуждения в ветвях УГП конденсаторы 19, 20 и 21 начинают разряжаться. Первоначально напряжение на конденсаторе велико и больше напряжения ввода в работу нелинейных элементов 12, 13 и 14. По мере разряда конденсаторов, сопротивление этих элементов существенно возрастает (на несколько порядков), и ток разряда конденсаторов начинает протекать в основном по тиристорам, которые находятся в ветвях с конденсаторами. Этот обратный ток способствует выводу из них заряда восстановления и их затиранию. После того, как тиристоры 8, 9 и 10 перешли в закрытое состояние, с транзистора 7 снимается импульс управления, он запирается, и напряжение на ОВ снова увеличивается. Однако при повторном увеличении напряжения на ОВ в работу вступают только тиристоры 9 и 10, а также диод 11, поскольку напряжение на ОВ ограничивается только тремя ступенями УГП (значительная часть энергии уже выведена из ОВ). Это приводит к увеличению напряжения на ОВ практически до уровня первого пика при гашении поля (второй пик будет несколько ниже из-за того, что напряжение срабатывания стабилитронов в цепях управления разное).

Литература

- 1 Брон, О.Б. Автоматы гашения магнитного поля / О.Б. Брон. – М. : Госэнергоиздат, 1961. – 138 с.
- 2 Гольдштейн, М.Е. Вентильные системы возбуждения синхронных генераторов и компенсаторов : Учебное пособие / М.Е. Гольдштейн. – 2-е изд. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 100 с.

УДК 621.3

КОМПЬЮТЕР КАК ИСТОЧНИК ПОМЕХ

Караник А.А.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

ЕМИ-фильтры для цепей постоянного тока – это фильтры подавления электромагнитных помех (Electro Magnetic Interference – ЕМІ), используемые во вторичных цепях постоянного тока электронной аппаратуры, такой как цифровая, аудио и видеотехника.

Для создания электронного оборудования с высокой помехозащищенностью и низким уровнем собственных шумов разработчик должен хорошо разбираться в характеристиках различных типов ЕМІ-фильтров и методах их применения. Так как характеристики ЕМІ-фильтров в значительной степени зависят от их конструкции, и на рынке представлена широкая номенклатура производимой продукции, то выбор оптимального варианта может вызвать затруднение.

Блок питания компьютера является источником помех, как для его нагрузок, так и для питающей его сети. Источником помех является инвертор блока питания, он создает помехи в диапазоне частот от десятков кГц до нескольких МГц. Влияние помех минимизируется до допустимых значений встроенными входными и выходными фильтрами. Иногда безымянные блоки питания не имеют таких фильтров или минимизируют их с помощью блокировочных конденсаторов включенных параллельно сетевому кабелю, поэтому их применение не рекомендуется. Если корпус персонального компьютера (ПК) не обеспечивает эффективного экранирования, то излучаемые компьютером электромагнитные помехи могут создать самые разные проблемы.

Гораздо опаснее гармонические составляющие потребляемого тока в сети (линии питания) возникающие из-за нелинейности нагрузки. Такая нелинейность имеет место из-за характера внутреннего сопротивления блока питания. Известно, что на входе блока питания стоят оксидные накопительные конденсаторы на которых формируется напряжение питающее импульсный инвертор. Эти конденсаторы заряжаются импульсами тока, только в момент превышения напряжения питающей сети остаточного напряжения на конденсаторе. Поэтому форма потребляемого тока не синусоидальная, а скорее это импульсы тока с частотой сети. Для того, чтобы уйти от низкочастотных помех в блоке питания компьютера можно применить один изолирующий трансформатор в цепи питания на приемной стороне системы, или для питания компьютеров. Применяя другие схемы включения его обмоток, можно кроме этого существенно усилить работу штатных и дополнительных фильтрующих устройств, применяемых для фильтрации напряжения сети.

Печатная плата портативного ПК (ноутбука) содержит множество сигнальных проводников – источников помех. Как правило, корпус ноутбука изготовлен из пластмассы с нанесенным изнутри проводящим покрытием и обладает более низкими экранирующими свойствами, чем металлический корпус настольного ПК, что является причиной более высокого уровня излучения электромагнитных помех. Кроме того, внешние соединительные кабели также излучают помехи. Компоненты ноутбука смонтированы в ограниченном пространстве. Поэтому, прежде чем устанавливать помехоподавляющие компоненты, сначала необходимо обеспечить подавление излучаемых помех за счет максимально возможного улучшения экранирования. Как показали измерения, значительное улучшение экранирования обеспечивает установка металлических пластин над и под печатной платой ноутбука. В кабельных разъемах для улучшения заземления необходимо обеспечить хороший электрический контакт металлических частей с землей (GND) материнской платы. Кроме того, нужно также устанавливать помехоподавляющие компоненты. При изготовлении пластмассовых корпусов портативных персональных компьютеров на их внутреннюю поверхность наносят проводящее покрытие, однако этого недостаточно для создания хорошего экранирования. Поэтому необходимо устанавливать металлические экранирующие пластины сверху и снизу материнской платы. Эти пластины соединяются

вместе при помощи винтов, чтобы обеспечить надежный электрический контакт между землей (GND) печатной платы ноутбука и проводящим покрытием.

Если помехи компьютера воздействуют на карту расширения, электромагнитное излучение карты не может быть снижено, даже если она содержит помехоподавляющие компоненты. В этом случае слот следует экранировать, используя металлический кожух. Уровень излучаемых картой расширения электромагнитных помех зависит от качества и надежности электрического контакта между землей (GND) карты и слота. Это необходимо учитывать при проведении измерений уровня помех и определении эффективности различных методов их подавления.

Графический контроллер соединен с драйверами ЖК-дисплея множеством линий передачи сигналов, переключающихся одновременно. Эти переключения вызывают протекание по цепям питания и земли большого импульсного тока. Поэтому следует ограничивать ток в сигнальных линиях. Для этих целей хорошо подходят ферритовые чип-бусины серии BLM. На линиях тактовых сигналов, особенно работающих на высоких скоростях и при высоких уровнях помех, применяют фильтры серии NFW31S (чип-фильтры EMIFIL® для линий передачи сигналов), обладающие высокими коэффициентами затухания и крутизной спадов АЧХ.

УДК 621.31

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В КОНСТРУКЦИЯХ ТОКОПРОВОДОВ МОЩНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Емельянов А.В.

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

Токопровод – электротехническое устройство для передачи электроэнергии на малые расстояния. При выборе конструкций токопровода существенную роль наряду с основными затратами играют потери энергии в металлических частях поддерживающих и ограждающих конструкций. Значительную долю их составляют потери на перемагничивание стали.

Существуют два основных направления определения потерь: экспериментальные и косвенные. К экспериментальным относятся: измерение на отдельном токопроводе и измерение на действующем токопроводе. К косвенным: измерение потерь по температуре, напряженности магнитного поля.

Измерение мощности потерь в токопроводе при питании его от постороннего источника может быть выполнено по методу трех ваттметров. Источником питания токопровода является трехфазный трансформатор ТС с регулированием тока нагрузки. Измерительные приборы схемы питаются от трансформаторов тока ТТ, установленных в силовой цепи. Выполняется 2 опыта. Вначале необходимо измерить мощность потерь в токопроводе при секционированных экранах (при разомкнутых соединительных элементах экранов). Не изменяя измерительной схемы после соединения экранов фаз опыт повторить. Разница между полученными результатами с достаточной точностью даст потери в металлоконструкциях токопроводов.

Потери энергии в металлоконструкциях можно измерить на действующем токопроводе. Для этого необходимо отделить отпаечный трансформатор собственных нужд и дополнительно установить комплект трансформаторов напряжения ТН, одинаковых с встроенными в токопровод вблизи блочного трансформатора и подключить их к выводам обмотки статора генератора.

Измерение потерь в этом случае проводится в два этапа. Вначале к ваттметрам подается напряжение от встроенных в токопровод ТН, а ток – от встроенных трансформаторов тока ТТ. Затем приборы включаются на дополнительно установленный комплект ТН. Разница между результатами 2-х опытов определяет потери в конструкции токопровода при конкретной схеме соединения экранов. Выполнив аналогичные измерения на токопроводе с электрически разделенными экранами комплектного токопровода и электронепрерывными можно определить величину уменьшения потерь энергии в модернизированных токопроводах. При таком методе измерений погрешность опыта будет определяться в основном не идентичностью характеристик ТН. Большое значение коэффициента трансформации трансформатора напряжения и малое падение напряжения на токопроводе являются причиной того, что вторичные напряжения основных и дополнительных ТН будут отличаться из-за различия характеристик намагничивания трансформаторов. Кроме того, при выполнении эксперимента требуется неоднократное включение и отключение генератора в сеть для изменения схемы соединения экранов, отделение трансформатора собственных нужд, и установка дополнительного комплекта ТН. Поэтому осуществление этого метода измерений потерь энергии в поддерживающих конструкциях токопровода связано со значительными трудностями. Измерительную схему метода можно изменить, применяя для определения мощности потерь счетчики активной энергии. Если подключить 2 комплекта счетчиков – один к основному, а второй к дополнительному комплекту ТН, и перевести питание секций собственных нужд 6 кВ от резервного трансформатора, то разница между показаниями счетчиков за некоторый промежуток времени, будет характеризовать потери энергии в токопроводе совместно с потерями холостого хода отпаечного трансформатора собственных нужд. Изменив способ

соединения экранов фаз токопровода после остановки генератора и поддерживая аналогичный нагрузочный режим работы генератора после его включения в сеть за тоже время -получим потери энергии при другой схеме соединения экранов.

Однако отсутствие комплекта ТН типа 30М-20 или ЗНОМ-20, сложность обеспечения идентичного режима нагрузки генератора при 2-х продолжительных опытах до нескольких суток, снижение надежности работы системы собственных нужд отдельной станции и повышенный расход энергии на собственные нужды в течении длительного периода времени не позволяют рекомендовать этот метод для измерения потерь энергии.

В случае, если известно распределение температуры вдоль поддерживающих и опорных металлоконструкций токопровода, то имеется возможность приближенно рассчитать распределение мощности потерь вдоль этих элементов, а по ним и суммарные потери мощности в конструкции токопровода.

Потери в окружающих металлоконструкциях, в свою очередь, зависят от величины результирующей напряженности магнитного поля токопроводов.

Определение потерь мощности в каждом элементе поддерживающих конструкций требует отыскания тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля на поверхности металла. Величину этой напряженности можно рассчитать через напряженность магнитного поля в воздухе при отсутствии металла. Протяженные конструкции разбиваются на элементарные участки, а величина напряженности принимается постоянной по всей длине элементарного участка. Тогда суммарные потери активной мощности в элементарных участках составят полные потери мощности в элементах поддерживающих конструкций.

Литература

- 1 Васильев, А.А. Электрическая часть станций и подстанций : учеб. пособие для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
- 2 Борчанов, Г.С. Индукционный нагрев стальных конструкций в магнитном поле однофазного токопровода / Г.С. Борчанов. // Известия вузов СССР – Энергетика. – 1958. – № 4. – С. 61–66.

УДК 621.3

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СХЕМАХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

Бурло В.В., Зарихта К.С.

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

Наиболее опасным аварийным кратковременным режимом работы электроустановок является режим короткого замыкания. Короткое замыкание (КЗ) – электрическое соединение двух точек электрической цепи с различными потенциалами, которое не предусмотрено нормальными условиями работы установки. Вследствие явления короткого замыкания резко увеличивается сила тока в электрической цепи. Из-за этого в электроустановках возникают большие механические усилия, и значительно повышается температура проводников, что может привести к повреждениям. Поэтому электрооборудование по режиму КЗ проверяется на электродинамическую и термическую стойкость, а коммутационные аппараты проверяются также на коммутационную способность.

Расчет тока КЗ в сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняется, в основном, для следующих целей:

- для выбора электрооборудования по условиям КЗ (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 КЗ 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 КЗ и с учетом термического эффекта тока КЗ.

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 различных 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 коротком замыкании.

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;

– 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 асинхронных двигателей (АД), если их суммарный номинальный ток не превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета АД.

Токи КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах. При составлении эквивалентных схем замещения параметры элементов исходной расчетной схемы следует приводить к ступени напряжения сети, на которой находится точка КЗ, а активные и индуктивные сопротивления всех элементов схемы замещения выражать в миллиомах.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока $I_{п0}$ трехфазного металлического КЗ в килоамперах при питании от энергосистемы через понижающий трансформатор без учета подпитки от АД рассчитывают по формуле:

$$I_{п0} = \frac{U_{ср.НН}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (1)$$

где $U_{ср.НН}$ – среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание. В;

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ – соответственно суммарное активное и суммарное реактивное сопротивления прямой последовательности цепи КЗ, мОм.

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ от АД.

Если суммарный номинальный ток АД секции превышает 1 % начального значения периодической составляющей тока КЗ от энергосистемы, в соответствии с ГОСТ 28249-93 требуется производить учет влияния АД на ток КЗ.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока $I_{п0АД}$ трехфазного КЗ в килоамперах от АД рассчитывают по формуле:

$$I_{п0АД} = \frac{E''_{\phi АД}}{\sqrt{(r_{АД} + r_{1\Sigma})^2 + (x''_{АД} + x_{1\Sigma})^2}}. \quad (2)$$

В этом случае начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ в месте КЗ определяют, как сумму токов от энергосистемы и от АД.

Ударный ток КЗ от энергосистемы рассчитывают по формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} I_{п0} K_{уд}, \quad (3)$$

где $K_{уд}$ – ударный коэффициент

Ударный коэффициент рассчитывают по формуле:

$$K_{уд} = (1 + \sin \phi_k e^{-t_{уд}/T_a}), \quad (4)$$

где ϕ_k – угол фазового сдвига между напряжением источника и периодической составляющей тока КЗ, град; греческие ровные

$t_{уд}$ – время от начала КЗ до появления ударного тока, с;

T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, с.

Угол фазового сдвига рассчитывают по формуле:

$$\varphi_k = \arctg \frac{x_{1\Sigma}}{r_{1\Sigma}}. \quad (5)$$

Время от начала КЗ до появления ударного тока рассчитывается по формуле:

$$t_{уд} = 0,01 \frac{\pi / 2 + \varphi_k}{\pi}. \quad (6)$$

Постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ рассчитывается по формуле:

$$T_a = \frac{x_{1\Sigma}}{\omega_c r_{1\Sigma}}, \quad (7)$$

где ω_c – синхронная угловая частота напряжения сети, рад/с.

Ударный ток от АД (в кА) рассчитывают с учетом затухания амплитуды периодической составляющей тока КЗ по формуле

$$i_{удАД} = \sqrt{2} I_{п0АД} \left(e^{-\frac{0,01}{T_p}} + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right), \quad (8)$$

где T_p – расчетная постоянная затухания периодической составляющей тока статора, с;

T_a – постоянная затухания аperiodической составляющей тока статора, с.

Постоянные T_p и T_a рассчитываются по формулам

$$T_p = \frac{x''_{АД} + x_{1\Sigma}}{\omega_c r_2}; \quad (9)$$

$$T_a = \frac{x''_{АД} + x_{1кб}}{\omega_c (r_1 + r_{1кб})}, \quad (10)$$

где r_1 и r_2 – соответственно активное сопротивление статора и активное сопротивление ротора, приведенное к статору.

Если точка КЗ делит схему на радиальные, не зависящие друг от друга ветви, то ударный ток КЗ определяют, как сумму токов отдельных ветвей.

В данной работе были рассмотрены основные положения при расчете токов КЗ, параметры сети и факторы, учитываемые при расчете токов КЗ.

Так же был рассмотрен расчет начального значения периодической составляющей тока, ударного тока КЗ.

Литература

1 Бобко, Н.Н. Программа TKZdolKV для расчета токов короткого замыкания на ЭВМ / Н.Н. Бобко. – Минск : БНТУ, 2016. – 14 с.

2 Руководящие указания по расчету тока короткого замыкания и выбору электрооборудования : РД 153-34.0-20.527-98 : утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политики 23.03.98. – М. : ЭНАС, 2002. – 152 с.

УДК 621.3

ДИСКРЕТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАПЛАСА

Жиркова К.Ю.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Для исследования дискретных систем автоматического управления используется соответствующий математический аппарат, включающий решетчатые функции, разностные уравнения, дискретное преобразование Лапласа и его разновидности. Одной из важнейших особенностей преобразования Лапласа, является то, что многим соотношениям и операциям над оригиналами соответствуют более простые соотношения над их изображениями. Для исследования импульсных систем большое распространение получило Z-преобразование, которое практически совпадает с дискретным преобразованием Лапласа и отличается только обозначением аргумента изображения.

Автоматические управляющие системы широко применяются в различных отраслях промышленности, в том числе и в энергетике. Назначение автоматической управляющей системы – обеспечить технически правильное и экономически целесообразное протекание процесса производства при наличии возмущающих воздействий. Основными задачами автоматического управления являются: управление отдельными производственными операциями и отдельными управляемыми объектами, координирование производственных операций в сложном процессе производства и распределения электроэнергии, обеспечение технической и экономической оптимизации процесса производства и распределения электроэнергии.

Наряду с непрерывными системами в технике широко применяются дискретные системы автоматического управления. Система автоматического управления называется дискретной, если выходная величина какого-либо из ее элементов имеет дискретный характер. В свою очередь дискретные системы автоматического управления делятся на релейные, импульсные и цифровые. Релейные системы автоматического управления – это системы с квантованием по уровню, импульсные – с квантованием по времени, а цифровые – с применением обоих видов квантования.

В основу метода дискретных преобразований входит понятие о решетчатой функции. Решетчатой функцией называется такая функция, значения которой определены только для дискретных равностоящих друг от друга значений независимой переменной. Решетчатая функция является математической абстракцией реального дискретного сигнала, который образуется из непрерывного сигнала в результате квантования по времени.

В теории импульсных систем используется дискретное преобразование Лапласа. Применение нового математического аппарата дискретного преобразования Лапласа позволило создать теорию импульсных автоматических систем, формально подобную теории непрерывных систем, основанную на операторном методе или методе преобразования Лапласа. Особенностью дискретного преобразования Лапласа по сравнению с непрерывным преобразованием Лапласа, используемым в теории обыкновенных линейных систем, является использование в качестве функций оригиналов дискретного преобразования решетчатых функций. Существует связь между преобразованиями Фурье и Лапласа, которая часто используется для того, чтобы определить частотный спектр сигнала или динамической системы.

Использование дискретного преобразования Лапласа позволяет существенно упростить решение многих задач, связанных с исследованием и проектированием линейных импульсных систем с постоянными параметрами.

Операционное исчисление играет важную роль при решении прикладных задач, особенно в современной автоматике. Обобщением обычного преобразования Лапласа на дискретные функции является дискретное преобразование Лапласа (Z – преобразование), которое является основным математическим аппаратом при анализе линейных импульсных систем. Большое значение Z-преобразование имеет для расчетов рекурсивных цифровых

систем обработки сигналов (фильтров с бесконечной импульсной характеристикой – БИХ-фильтров). Аппарат теории Z-преобразования включает в себя анализ в области z-изображений и переход к временным функциям с помощью теоремы обращения. Наиболее важным свойством Z-преобразования является возможность нахождения оригинала функции способом, не связанным с вычислением полюсов дробно-рациональной функции изображения. По диаграмме состояния системы могут быть получены уравнения пространства состояния. Этот метод прост для реализации на ЭВМ.

УДК 621.316

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ПРОЛЕТОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 110 КВ С ОДНИМ ПРОВОДОМ В ФАЗЕ АС-185/29

Баран А.Г., Баран Ю.Г.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Согласно ГОСТ Р 50254-92 оценка электродинамической стойкости гибких проводов должна производиться по двум условиям [1]:

$$S_{\max} \leq S_{\text{доп}}, \quad (1a)$$

$$T_{\max} \leq T_{\text{доп}}, \quad (1б)$$

где $S_{\max}$, $T_{\max}$, $S_{\text{доп}}$, $T_{\text{доп}}$ – соответственно максимальные и допустимые отклонения и тяжения гибких проводов при коротком замыкании (КЗ).

Оба параметра непосредственно связаны с током КЗ. Поэтому, изменяя ток КЗ, можно добиться совпадения максимальных и допустимых значений и тем самым установить максимально допустимое значение тока КЗ. Эти значения по двум условиям могут не совпадать, поэтому из двух полученных значений выбирается наименьшее, которое и будет являться расчетным током электродинамической стойкости.

Вычислительный эксперимент проводится по компьютерной программе FleBus. Исследованы пролеты распределительного устройства 110 кВ длиной 20, 25 и 30 м с междупазным расстоянием 3 м [2]. Расчет проведен для провода АС-185/29 (таблица 1) с гирляндами изоляторов 9×ПС 6А (таблица 2). Влияние гибкости порталов в расчетах не учитывалось.

Таблица 1 – Параметры провода АС-185/29 [2]

Вес одного метра провода, даН/м	0,729
Площадь поперечного сечения, мм ²	210,0
Диаметр провода, мм	18,8
Модуль упругости материала провода, даН/мм ²	8193,0
Допустимое напряжение, Н/мм ²	13,0
Допустимое тяжение, Н	27300

Таблица 2 – Параметры гирлянды изоляторов 9×ПС 6А

Марка изолятора	Длина гирлянды изоляторов, м	Вес гирлянды изоляторов, даН	Число изоляторов в цепи, шт.	Число цепей, шт.
ПС 6А	1,5	41	9	1

Определение токов электродинамической стойкости гибких шин по условию максимально допустимого сближения фаз.

Максимальное сближение соседних фаз гибких шин наблюдается при двухфазном КЗ, когда они сближаются после отключения КЗ в результате колебаний проводов. Поэтому за расчетное принято двухфазное КЗ. За максимально допустимый ток электродинамической стойкости гибких шин принималось значение тока КЗ, соответствующее минимально допустимому расстоянию между проводниками соседних фаз при их сближении после отключения КЗ. Согласно [2] минимально допустимое расстояние для номинального напряжения 110 кВ составляет 0,45 м.

Анализ траекторий движения проводов после отключения КЗ показывает, что в зависимости от длины пролета и стрелы провеса провода могут быть две траектории движения, при которых возможно недопустимое сближение фаз. Первая характерна для средних значений токов КЗ, когда провод после того как поднялся на определенную высоту,

начинает свое падение под некоторым углом к своему первоначальному положению. Вторая обусловлена действием больших токов КЗ, когда импульса ЭДУ достаточно для того, чтобы заставить провод двигаться по круговой траектории.

Результаты расчета тока электродинамической стойкости для гибких шин ОРУ, исходя из условия максимально допустимого сближения фаз, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Токи электродинамической стойкости, определенные по условию (1а), кА

Время КЗ, с	Длина пролета, м		
	20	25	30
0,1	–	33,38	27,15
0,2	20,90	29,15	23,50
0,3	–	26,85	21,80
0,4	–	17,00	12,60
0,5	17,55	15,80	11,20

Анализ результатов расчета показывает, что для пролетов с междуфазным расстоянием более чем в два раза превышающим стрелу провеса провода, опасное сближение фаз не наступает. Поэтому в этом случае ток электродинамической стойкости будет определяться из рассмотрения максимально допустимого тяжения провода при КЗ.

Определение токов электродинамической стойкости гибких шин по условию допустимого тяжения провода при КЗ.

Допустимое тяжение провода определяется по следующему выражению

$$T_{\text{доп}} = \sigma_{\text{доп}} S,$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимое напряжение для проводов, Н/мм²;

S – сечение провода, мм².

Результаты расчета тока электродинамической стойкости для гибких шин ОРУ, исходя из условия допустимого тяжения провода, представлены в таблице 4. В ходе проведения вычислительного эксперимента выявлено, что ток электродинамической стойкости, определенный по условию недопустимого сближения проводов меньше тока рассчитанного по условию допустимого тяжения. Поэтому для последнего расчет произведен для продолжительности КЗ равном 0,1 и 0,2 с.

Таблица 4 – Токи электродинамической стойкости, определенные по условию (1б), кА

Время КЗ, с	Длина пролета, м		
	20	25	30
0,1	53,1	60,2	44,2
0,2	54,5	60,0	43,8

Анализ результатов показывает, что значения токов электродинамической стойкости для гибких шин полученные из условия допустимых тяжений в 1,5 и более раза больше значений полученных из условия максимальных сближений. Поэтому для расчетов необходимо использовать значения токов, представленные в таблице 3. В случае если геометрия пролета не допускает опасного сближения проводов, ток электродинамической стойкости определяется исходя из условия максимально допустимого тяжения.

Литература

1 ГОСТ Р 50254-92. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. – Введ. 01.01.94. – М. : Госстандарт России, 1993. – 57 с.

2 Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

УДК 621.316.5

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Башаркевич Я.В., Зарихта К.С.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Расчет токов короткого замыкания (КЗ) необходим для правильного проектирования электроустановок, выбора подходящих электрических аппаратов и определения необходимых уставок релейной защиты и автоматики. Необходимость определения токов КЗ в процессе эксплуатации может возникнуть при изменении схемы питания энергетического объекта для проверки электрооборудования на термическое и электродинамическое действие токов КЗ. Также, она может возникнуть при частичной замене электрооборудования на электростанции или подстанции, если намеченные к установке машины и аппараты по своим паспортным данным отличаются от демонтируемых. В связи с громоздкостью ручного расчета для решения практических задач расчетов токов КЗ целесообразно применять специализированные компьютерные приложения. На современном рынке представлен широкий спектр специализированных программ с различными возможностями и для различных целей.

Программный комплекс EnergyCS. Он позволяет выполнять расчеты токов КЗ для выбора и проверки оборудования по условиям термической и динамической стойкости и для проектирования релейной защиты и автоматики. Эта программа охватывает все типы расчетных электротехнических задач, решаемых при проектировании и эксплуатации распределительных сетей низкого (0,4 кВ) и частично среднего напряжения.

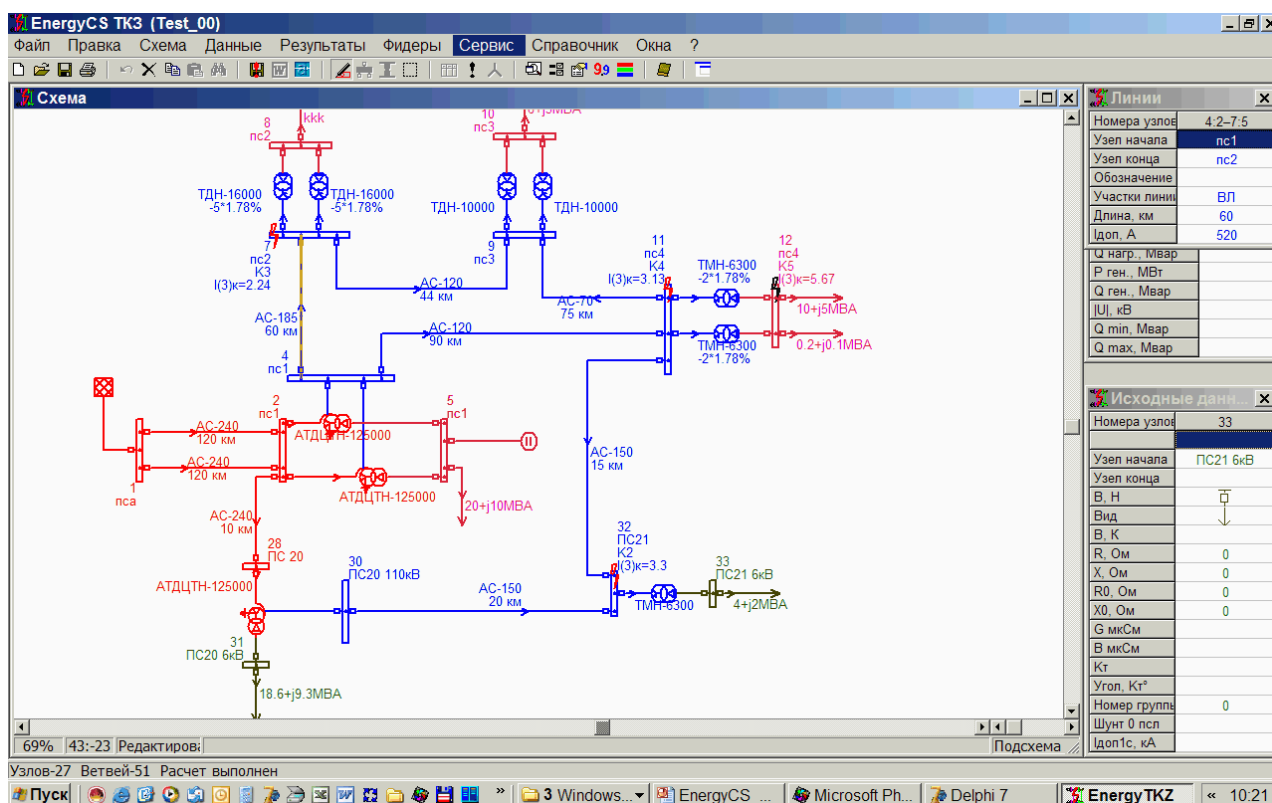


Рисунок 1 – Рабочее окно программы EnergyCS

Модуль расчета токов КЗ ЕТАР. Он позволяет повысить производительность расчетов в сложных системах, экономя время и обеспечивая точные и надежные результаты за короткое время. Расчеты соответствуют стандартам ANSI/IEEE и IEC. ЕТАР позволяет

рассчитать КЗ при различных типах повреждений (симметричные и несимметричные КЗ) в сетях с различными режимами заземления нейтрали.

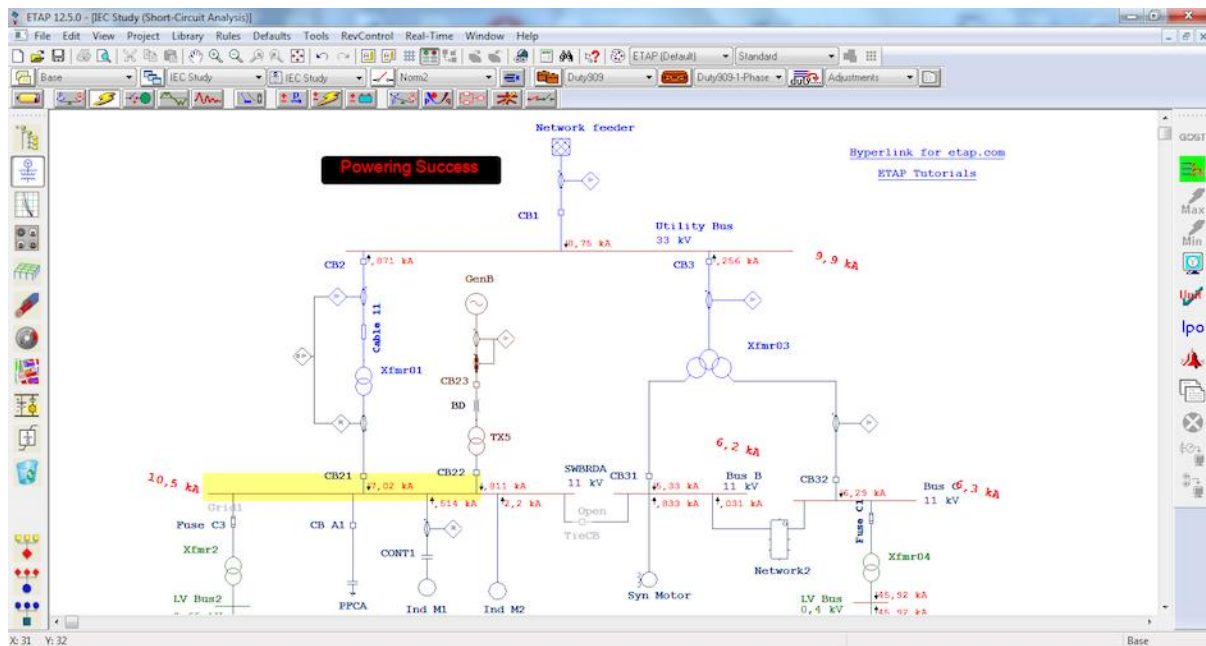


Рисунок 2 – Рабочее окно программы ETAP

Программа расчета токов КЗ АВРАЛ. Она предназначена для расчета токов КЗ в электрических сетях переменного тока до 1000 В специалистами по проектированию систем электроснабжения, а также эксплуатирующим персоналом сетей. С ее помощью можно выполнить расчеты периодической и аperiodической составляющей тока КЗ, ударного тока, термически эквивалентного тока, а также проверить чувствительность аппаратов защиты.

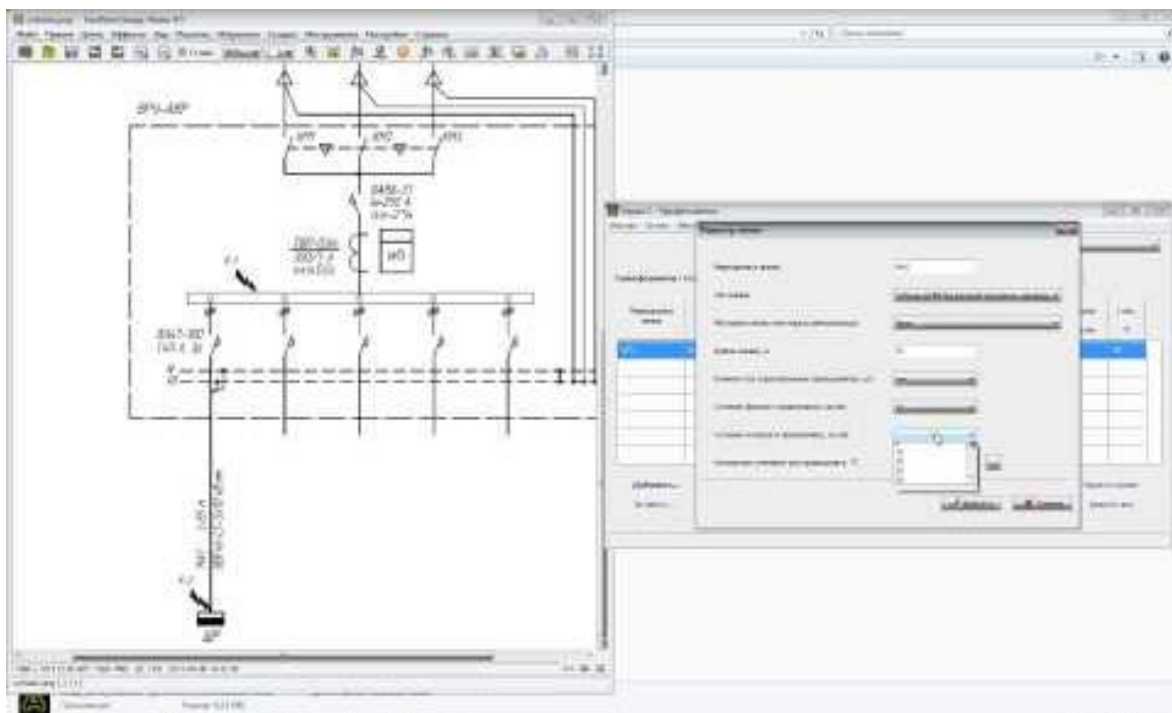


Рисунок 3 – Рабочее окно программы АВРАЛ

Автоматизированный комплекс ДАКАР. Он был разработан на базе операционной системы Windows и предназначен для расчета и анализа установившихся режимов и переходных процессов электроэнергетических систем

Комплекс программ для расчета электрических величин при повреждениях, и расчета уставок релейной защиты ТКЗ-3000. Он позволяет рассчитывать электрические величины в трехфазной симметричной сети любого напряжения при однократной продольной или поперечной несимметрии и уставки защит от замыканий на землю.

Предельные возможности комплекса:

- Объем сети до 3000 узлов и 7500 ветвей.
- Общее число индуктивно связанных ветвей 2500.
- Количество ветвей в одной группе индуктивно связанных ветвей 20.

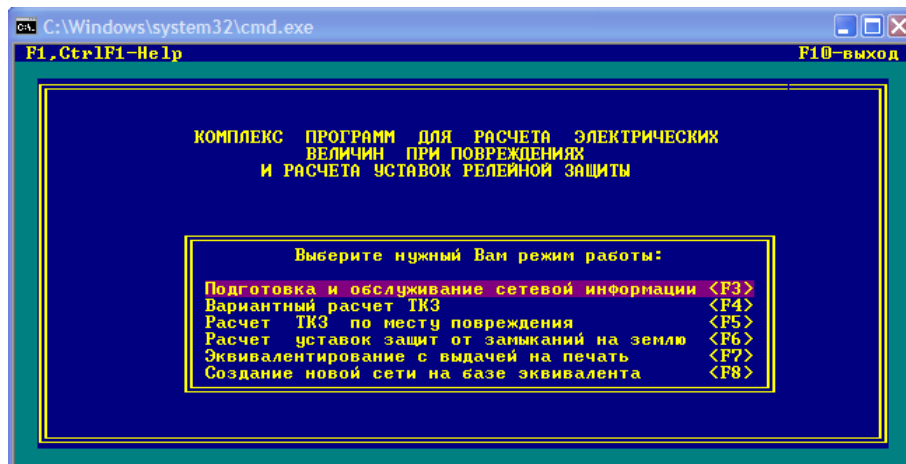


Рисунок 4 – Рабочее окно программы ТКЗ-3000

Программа по расчетам токов КЗ ELPLEK. ELPLEK – это одна из лучших бесплатных программ по расчету токов КЗ и остаточного напряжения в сети. Расчеты могут выполняться несколькими способами. Один из них – это метод наложения. Кроме расчетов токов КЗ программа выполняет расчет потокораспределения в сети по подготовленной схеме.

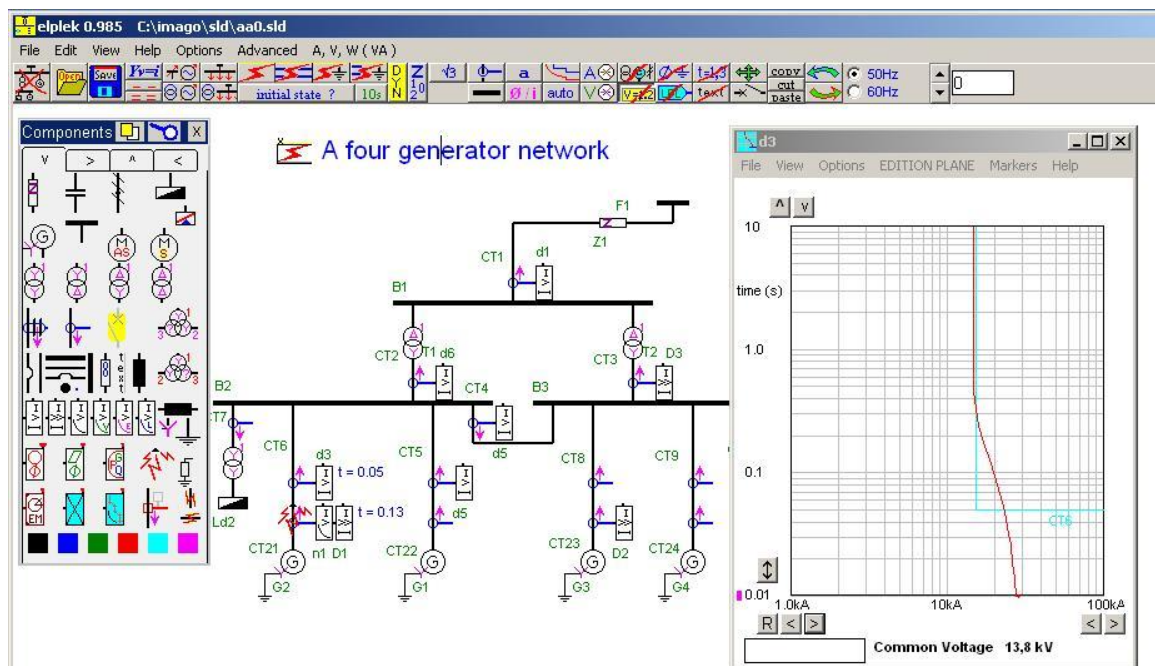


Рисунок 5 – Рабочее окно программы ELPLEK

Программа «ТоКо: Расчет токов КЗ». Она предназначена для расчета токов КЗ в электроэнергетических системах свыше 1 кВ и может быть использована при выборе и проверке электрооборудования, а также уставок РЗ по условиям КЗ.

Программа по расчету токов КЗ в сети напряжением 0,4 кВ. Программа предназначена для расчета токов КЗ в сети напряжением 0,4 кВ электрических станций и подстанций с последующим выбором уставок релейной защиты, параметров автоматических выключателей и силовых кабелей.

Программа Beroes KZ. Она предназначена для персонала предприятий электрических сетей, проектных организаций и студентов учебных заведений. Расчет производится в сетях до 1 кВ. Ее нежелательно использовать для расчета токов в больших электрических системах, насчитывающих более нескольких сотен элементов.

Программа Электрик. Она является хорошим помощником для проектирования и расчета в электрических делах всех уровней, как обычном быту, так и не только. В ней имеются весьма широкие возможности по произведению всевозможных расчетов, при проектировании и создании электрических систем и устройств. Данная программа сильно облегчает работу при подсчете тех или иных электрических параметров, которые необходимо вычислить для своих нужд, не прибегая к лишней трате времени и сил на поиски справочных материалов по нужному расчету.

Программа TKZdo1kV. Данная программа предназначена для расчета токов КЗ в схемах собственных нужд электрических станций и подстанций напряжением до 1 кВ. Она применяется в операционной среде Windows XP с SP2 и выше и с Microsoft Office 2002 и выше. Программа предназначена для проектировщиков и других специалистов, занимающихся расчетами параметров электрических сетей.

Программный комплекс RastrKz. Предназначен для расчета токов КЗ и несимметричных режимов в сетях 0,4–1100 кВ. Комплекс основывается на платформе ПК RastrWin.

Программный комплекс позволяет выполнять:

- Расчет одно и многократных металлических однофазных, двухфазных, трехфазных и двухфазных на землю КЗ.
- Учет взаимоиндукции линий.
- Учет мнимых коэффициентов трансформации.
- Расчет влияния размыкания линий на ТКЗ и шунты.
- Ускоренный расчет повреждений без рефакторизации матрицы проводимости.
- Расчет шунта для моделирования КЗ в расчете установившегося режима и динамики.

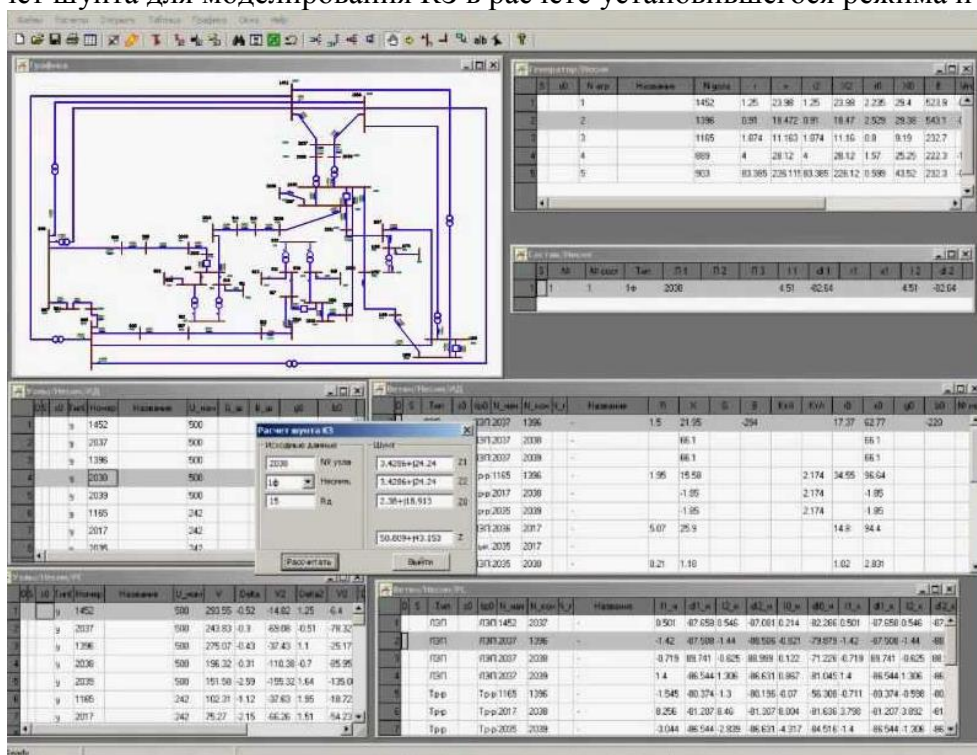


Рисунок 6 – Рабочее окно программы RastrKz

Программа ТКЗ-Д. Используемые методы расчетов программы ТКЗ позволяют определять начальные значения периодической слагающей полного тока КЗ (сверхпереходной ток) как основной расчетной величины для выбора параметров устройств релейной защиты и автоматики. Расчеты токов КЗ для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110–750 кВ. ТКЗ-Д позволяет производить расчеты в сети с, практически, неограниченным числом узлов сети. Окно программы «Расчет токов КЗ» представляет стандартное окно приложений WINDOWS, состоящее из главного меню, через которое посредством мыши активизируются все функции меню.

Программа YULIS. Полностью выполнена в «Excel», и не прихотлива к системным требованиям компьютера. Программа имеет удобный интерфейс для выбора и ввода данных.

Программа EIProtect. Она предназначена для расчета токов КЗ и проверки устройств защиты в электрических сетях напряжением до 1000 В. Возможно экспортирование результатов расчета в MS Excel.

Программа ТКЗ. Предназначена для расчета токов КЗ в сетях выше 1000 В. В основу алгоритма положена математическая модель на основе узловых напряжений. Расчет несимметричных коротких замыкания производится методом симметричных составляющих. В схемах замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей изначально рассчитываются узловые напряжения. А затем токи в ветвях схемы замещения. Параметры схемы замещения рассчитываются пользователем. Схемы замещения прямой и нулевой последовательностей должны топологически совпадать.

Программа ТКЗ15. Является улучшенной модификацией программы ТКЗ, имеющая ряд особенностей:

- параметры схемы замещения задаются в комплексной форме;
 - возможно раздельное построение схем прямой и нулевой последовательностей с различной топологией;
 - расчет может выполняться как в относительных, так и в именованных единицах.
- Программа может быть использована как для расчета токов КЗ в сетях 0,4 кВ и более.

Каждый программный продукт имеет определенные особенности, поэтому для выбора инструмента расчета уровней токов КЗ необходимо отталкиваться от поставленной перед пользователем задачей.

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВОДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Исмоилов Н.А.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Подводный силовой кабель – кабель, служащий для передачи данных и предназначенный для прокладки под водой по дну водоема. Материалы кабеля должны быть подобраны так, чтобы при механических изменениях (растяжении кабеля в ходе эксплуатации/укладки, например) не изменялись его рабочие характеристики. Первые подводные коммуникационные кабели, положенные в 1850-х, несли движение телеграфии. Последующие поколения кабелей несли телефонный трафик, затем движение передачи данных. Современные кабели используют технологию оптоволокна, чтобы нести цифровые данные, которые включают телефон, интернет и частный поток данных. Современные кабели, как правило, находятся в диаметре и весят приблизительно 10 килограммов за метр (7 фунтов/фут), хотя более тонкие и более легкие кабели используются для глубоководных секций. С 2010 подводные кабели связывают все континенты в мире кроме Антарктиды.

Переход электроснабжения крупных городов на систему глубоких вводов электрической мощности с учетом стоимости земли и отсутствия в некоторых случаях физической возможности строительства высоковольтных линий (ВЛ) также требует кабельного исполнения. Волоконно-оптические кабели. Первые волоконно-оптические кабели были проложены в водном пространстве Европы и Японии в 80-е годы. В 1988 г. был проложен первый трансатлантический кабель, содержащий 6 одномодовых оптических волокон, передающий информацию на длине волны 1300 нм. В дальнейшем число подводных оптических линий непрерывно увеличивалось, а требования к ширине полосы пропускания телекоммуникационных линий повышались. Факторами, влияющими на развитие оптических кабелей, в том числе подводных, являются необходимость расширения полосы пропускания передаваемого сигнала и повышения скорости передачи в связи с появлением Интернета. В результате некоторые цепи линий используются для передачи голосовой информации, а цепи, передающие информацию со скоростью до 10 Гбит/с, проданы операторам Интернета. Рост передач Интернета в среднем на 32 % в год, при этом в развивающихся регионах мира эта цифра значительно выше.

Развитие и расширение выпуска мобильных телефонов, смартфонов, айфонов, устройств типа I-pad и т. д., в результате чего создаются и развиваются информационные системы для обеспечения необходимого сервиса. В результате потребовались волоконно-оптические кабельные линии сначала между Европой и Северной Америкой, а затем и телекоммуникационные системы в Южной Азии и Африке. Экономически выгодным оказалось создавать информационные центры в Исландии, где стоимость электроэнергии невысока, и в Швеции и Гренландии, где климат привлекателен с точки зрения минимальных затрат на кондиционирование. Подводные волоконно-оптические кабельные трассы обеспечивают задержку передаваемого сигнала до 64,8 мс (трансатлантическая линия). По всей длине таких подводных кабельных линий обеспечивается также контроль дисперсии и затухания оптического сигнала за счет применения новых оптических волокон с особыми характеристиками. Стоит понимать, что глубоководный кабель должен иметь следующий ряд базовых характеристик:

- долговечность;
- быть водонепроницаемым;
- выдерживать огромное давление водных масс над собой;
- обладать достаточной прочностью для укладки и эксплуатации.

Подводные волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) являются магистральными каналами передачи данных между континентами – 99 % всего мирового Интернет-трафика между континентами проходит по подводным ВОЛС. Подводные ВОЛС используются для передачи данных на значительные расстояния под водой. Таким образом, телефонные и

Интернет сети между материками прокладываются по океанскому дну именно при помощи подводных ВОЛС. Для подводных ВОЛС используются толстые оптические кабели, толщина которых составляет 7–10 см

Естественно, стоимость прокладки подводных ВОЛС достаточно высокая. Так, чтобы проложить 1 км оптического кабеля придется выложить \$40 тыс. Таким образом, длинный трансатлантический кабель может стоить до \$ 120 млн за 3 тыс. км. Но если считать те объемы трафика, которые проходят через подводные ВОЛС, то получается около \$ 15–20 тыс. за 1 Мбит/с. Планета Земля уже опоясана оптоволоконными магистралями для передачи данных между континентами, для чего используются как наземные, так и подводные ВОЛС. Больше всего в мире трансатлантических подводных магистралей, соединяющих Северную Америку и Европу.

Литература

- 1 Протасов, В.Р. Введение в электро-экологию / В.Р. Протасов. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 335 с.
- 2 Кадомская, К.П. Электромагнитная совместимость с окружающей средой кабельных линий среднего и высокого напряжения с пластмассовой изоляцией / К.П. Кадомская. – М. : Энергоатомиздат, 2003. – 56–62 с.
- 3 Ларина, Э.Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии / Э.Т. Ларина. – М. : Энергоатомиздат, 1996. – 343 с.

УДК 621.3

ПУТИ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПОМЕХ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА

Калитуха А.А.

Научный руководитель – ГУРЬЯНЧИК О.А.

Существенным при рассмотрении технико-экономических проблем электромагнитной совместимости является значение механизмов связи между источником помех и чувствительным к помехам элементом, обусловленных механизмами воздействий и соответствующих основных правил, по которым можно эффективно противостоять этим воздействиям уже на стадии проектирования, создания устройств.

Рассматриваются виды появления помех, обусловленные различными механизмами связи, с целью получить данные, которые можно было бы положить в основу руководящих материалов по обеспечению электромагнитной совместимости на стадии проектирования, создания приборов. Для этого во многих случаях целесообразно и достаточно использовать простые и наглядные модели. Однако при этом не следует забывать, что при проектировании современных электронных приборов и систем, для обеспечения их электромагнитной совместимости, необходимы более точные модели, которые позволяют производить компьютерную обработку влияния и делают возможным введение экспертной системы поддержки работ в области электромагнитной совместимости.

Гальваническое влияние может осуществляться через общие полные сопротивления, как правило, через сопротивления сетевых проводов, систем опорных потенциалов или через систему защитных и заземляющих проводов.

Для снижения гальванического влияния в соединительных проводах цепей питания и сигнальных контурах рекомендуют следующие мероприятия:

- выполнение соединений между двумя или более контурами с наиболее низким полным сопротивлением, особенно низкой индуктивностью;
- гальваническая развязка, то есть устранение совместных проводящих соединений между различными контурами, или гальваническое разделение контуров таким образом, чтобы ток наиболее мощного контура не протекал по слаботочному контуру;
- разделение потенциалов;
- выбор скорости изменения тока не большей, чем требуется по условиям функционирования.

Причиной емкостного влияния могут быть паразитные, то есть неустраняемые схемным путем, емкости между проводами или проводящими предметами, принадлежащими разным токовым контурам.

Практический интерес представляют следующие случаи:

- влияющий и испытывающий влияние контуры гальванически разделены;
- оба контура имеют общий провод системы опорного потенциала;
- провода токового контура имеют большую емкость относительно земли.

Следующей возможностью снижения емкостного влияния в гальванически разделенных контурах является применение экранированных с экранами из хорошо проводящего материала, которые, как правило, соединяются с одной стороны с проводом системы опорного потенциала какого-либо контура. Благодаря этому увеличивается емкость связи.

Экранирующее воздействие тем лучше, чем больше емкость проводника относительно емкости экрана. Мероприятия по снижению емкостного влияния контуров с общим проводом системы опорного потенциала следующие:

- обеспечение малой емкости связи, уменьшения диаметра провода, увеличения расстояния между проводами, исключения параллельной их прокладки, применения изоляции проводов и печатных плат с малой диэлектрической проницаемостью;

– увеличение емкости путем размещения сигнальных проводов между проводниками системы опорного потенциала, скрутки сигнальных проводов и проводов системы опорного потенциала, использования свободных жил кабеля в качестве проводников системы опорного потенциала, расположение плоских проводов системы опорного потенциала на минимальном расстоянии при монтаже (на печатных платах, в плоских соединительных жгутах), что также благоприятно сказывается при снижении гальванических влияний;

- выполнение предельно низкоомными токовых контуров, подверженных влиянию;
- ограничение скорости изменения напряжения (в логических схемах скорость переключения должна быть не выше, чем требуемая для функционирования);
- экранирование проводов и контуров.

Индуктивное влияние обусловлено паразитным потокоцеплением между контурами промышленных устройств и образованными при ударах молнии или разрядах статического электричества.

Средства борьбы с помехами сводятся к:

- устранению соединения с землей приемной ступени, точнее, к устранению гальванической связи между системой опорного потенциала и корпусом прибора, что не всегда рекомендуется и при высоких частотах часто не эффективно;

- выполнению сигнального контура предельно низкоомным;
- экранированию сигнальной линии.

Хорошие результаты снижения напряжения помехи могут дать:

- симметричное относительно земли выполнение линий передачи сигналов, при полной симметрии;

– введение на приемном конце элементов, разделяющих потенциалы реле, оптической развязки, разделительного трансформатора. Проникновение помехи в этом случае возможно через паразитную емкость разделяющих элементов.

- применение световодов для передачи сигналов. Этот способ практически устраняет влияние емкости.

Мероприятия по снижению индуктированных напряжений следующие:

- снижение до возможных пределов взаимной индуктивности;
- уменьшение скорости изменения во времени потока при помощи короткозамкнутой петли;
- осуществление связи контуров ортогонально направлению силовым линиям магнитного поля;
- компенсация индуктированного в контуре напряжения путем скрутки проводов;
- снижение действия созданного магнитного потока путем скручивания соединительных проводов контура;
- экранирование кабелей, соединительных проводов, модулей и приборов ферромагнитными экранами.

Причиной воздействия излучения являются электромагнитные волны, излучаемые токовым контуром и распространяющиеся в окружающем пространстве со скоростью света $c = 300000$ км/с.

Защитой от электромагнитного поля как для ослабления излучения, так и для уменьшения проникновения, служат экранирующие стенки, устанавливаемые между источником и приемником. Это обусловлено, с одной стороны, поглощением энергии поля в материале экрана, а с другой, – отражением падающей волны. Затухание зависит от толщины экрана, электропроводности и магнитной проницаемости материала, частоты излучения помехи.

К проблеме помехозащищенности микропроцессорных систем следует относиться с максимальным вниманием, поскольку неправильный выбор схемы подключения, разводки кабелей, системы заземления и экранирования могут свести на нет достоинства дорогой и, казалось бы, крайне надежной электронной части системы.

УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Плющев Б.В.

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

В результате воздействия различных факторов, современные энергосистемы становятся все более сложными, что во многом связано с необходимостью учета экономических и экологических аспектов. С этой точки зрения, внедрение новых технологий является необходимым условием прогресса, начиная, например, с применения управляемых силовых электронных устройств в сетях переменного и постоянного тока. Все вышеперечисленное, как правило, способствует повышению устойчивости системы, однако без их надежного функционирования энергосистема, может стать неустойчивой. Одним из способов обеспечения наиболее оперативной разработки и тестирования с сохранением высокого качества выполняемой работы является использование так называемого моделирования энергосистемы в реальном времени.

Цифровое моделирование энергосистемы в реальном времени с физическим подключением вторичного оборудования к модели на сегодняшний день является надежным, эффективным и проверенным методом, применяемым для разработки, тестирования, оптимизации вторичного электрооборудования, а также обучения персонала различных специальностей сектора электроэнергетики.

В 1969 году Герман Доммель опубликовал свою работу *Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single-and Multiphase Networks*. Это был революционный шаг в цифровом (компьютерном) моделировании (в реальном и не в реальном времени) электромагнитных переходных процессов в энергосистемах. Появилась возможность перехода от электромеханических и статических моделей к цифровым, что позволило увеличить частоту различных событий, наблюдаемых в энергосистеме.

Основная идея алгоритма Доммеля является идеальной для компьютерного вычисления:

- Преобразовать задаваемую пользователем энергосистему в эквивалентную сеть, состоящую только из источников тока и резисторов (рисунок 1).
- Сформулировать матрицу проводимостей для эквивалентной сети (рисунок 1).
- Используя данные предыдущего временного шага (или исходные условия для первого временного шага), рассчитать новые значения для токов.
- Найти напряжения, используя новые значения тока.
- Рассчитать токи в ответвлении, используя новые значения напряжения и тока.
- Повторить шаги 3–5.

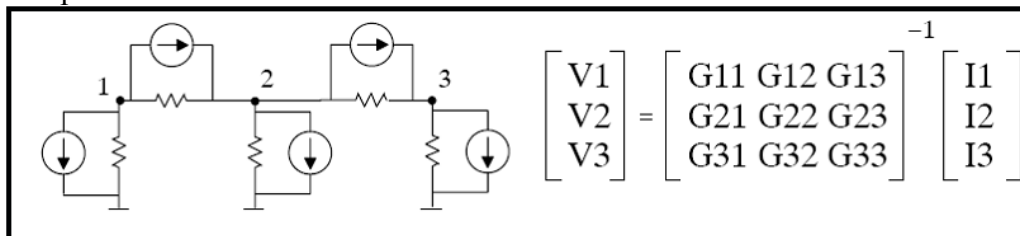


Рисунок 1 – Эквивалентная сеть, состоящая только из источников тока и резисторов с соответствующей матрицей проводимостей

Устройство цифрового моделирования энергосистемы в режиме реального времени (*Real Time Digital Simulator – RTDS*) – симулятор энергосистемы, разработанный в Исследовательском центре силовых систем постоянного тока провинции Манитоба (Виннипег, Канада) в конце 80-х годов прошлого столетия. Система обеспечивает непрерывное моделирование электромагнитных переходных процессов в режиме жесткого реального времени на базе алгоритма Доммеля.

Область применения комплексов:

- для исследований электромагнитных и электромеханических переходных процессов в электрических сетях, генераторах и нагрузках;
- для проверки и исследований вторичного оборудования в режиме реального времени с жесткой обратной связью: проверка функционирования комплексов РЗА в реальных условиях; исследование поведения энергосистем при работе РЗА; разработка новых алгоритмов РЗА; уточнение уставок;
- для исследования и разработки силовых полупроводниковых комплексов: преобразователей постоянного тока; тиристорных схем; тиристорных коммутаторов устройств последовательной компенсации;
- для исследования работы энергосистем при изменении их конфигурации;
- для разработки и проверки новых стратегий управления объектами энергетики;
- для обучения и тренингов персонала, в том числе операторов центров управления режимами электростанций, энергоустановок и сетей;
- для изучения поведения операторов в экстремальных ситуациях;
- для изучения поведения и оптимизации энергосистем при «холодном» пуске;
- для записи и воспроизведения длинных файлов.

В основе принципа действия комплекса *RTDS* лежит принцип параллельных вычислений, что позволяет комплексу моделировать энергосистему в режиме жесткого реального времени (рисунок 2). Моделирование проводится с шагом по времени dt равным 50 мкс для энергосистемы в общем и 1–3 мкс для быстродействующей электронной аппаратуры. Участки схемы и компоненты модели распределяются между процессорными модулями *PB5*. Чем больше задействовано процессорных модулей, тем более крупную модель можно исследовать. Взаимосвязи (*IRC*) между вычислительными модулями позволяют использовать всю мощность комплекса *RTDS*.

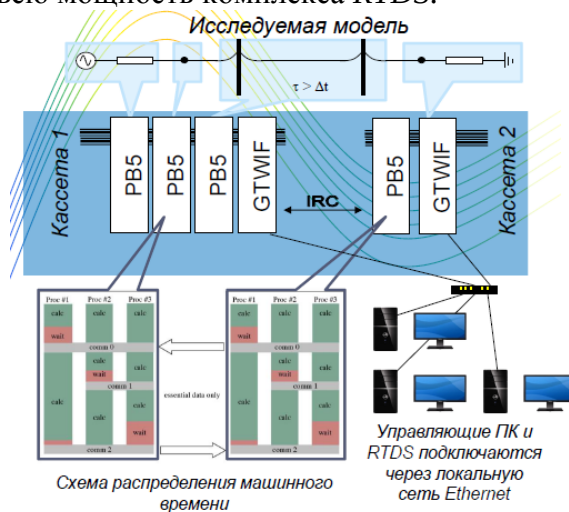


Рисунок 2 – Система параллельных вычислений

Особенности моделирования в реальном времени с помощью *RTDS*: используются параллельные вычисления на нескольких процессорах (в традиционном компьютерном моделировании обычно используется один вычислительный процессор); темп выполнения расчетов задается высокостабильным тактовым генератором; моделирование поведения системы в течение, например, 1 с выполняется ровно 1 с; в системах жесткого реального времени все расчеты, необходимые для определения состояния модели и обработка состояний портов ввода/вывода, завершаются строго в течение заданного шага расчета (в традиционном компьютерном моделировании продолжительность расчетов на каждом шаге значительно больше заданного шага).

Порядок работы с комплексом *RTDS*:

– Разработка модели. Разработка модели энергосистемы производится посредством графического редактора в среде *RSCAD* на ПК (рисунок 3), не связанном с *RTDS*. После завершения разработки модели ПК подключается к *RTDS*.

– Отладка модели. Отладка модели осуществляется посредством сравнения результатов моделирования с результатами аналитических расчетов, с результатами, полученными на ранее проверенных моделях, с экспериментальными данными. Имеется возможность легкого и быстрого переключения симулятора от одного пользователя к другому.

– Исследование оборудования. К отлаженной модели подключается исследуемое оборудование.

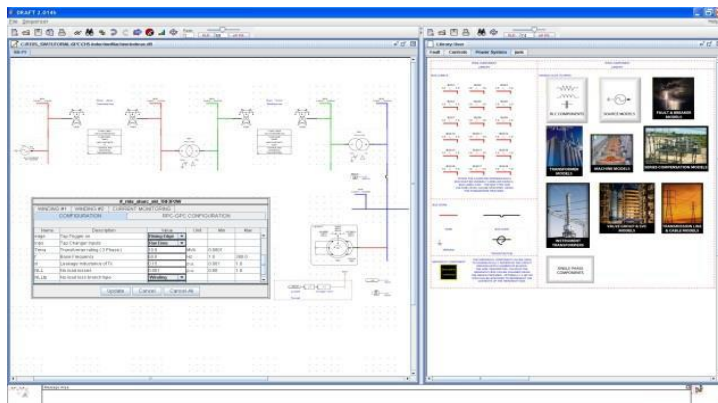


Рисунок 3 – Графический редактор RSCAD

Аппаратное обеспечение симулятора *RTDS* включает в себя: специально разработанный базовый процессорный модуль параллельных вычислений; кассетно-модульную конструкцию (от 1 до 6 процессорных модулей с процессорами, 1 модуль интерфейса рабочей станции; несколько программируемых модулей сетевых интерфейсов); модули ввода и вывода дискретных аналоговых сигналов для сопряжения с физическими устройствами; модуль синхронизации расчетов по сигналам точного времени и формирования тактовых сигналов для подключенных устройств РЗА.

Программное обеспечение *RTDS* имеет несколько уровней. Нижний уровень представлен моделями компонентов (например, линии, трансформаторы, генераторы и т. д.), оптимизированных к режиму работы в реальном времени. Высокий уровень программного обеспечения представлен графическим интерфейсом пользователя, так называемым *RSCAD*, который позволяет создавать, запускать, эксплуатировать схемы моделирования, а также фиксировать и документировать результаты.

Модуль *RSCAD Draft* позволяет создавать имитационные модели графически, путем копирования и соединения компонентов из библиотеки. После создания компоновки сети она компилируется для формирования имитационного кода, необходимого для работы симулятора. Сразу по завершении компиляции процесс имитационного моделирования может запускаться посредством блока *RSCAD RunTime*. Программный блок *RunTime* обменивается по сети данными с платами *GTWIF* симулятора в прямом и обратном направлениях. Двусторонняя связь позволяет загружать и запускать имитационные модели, а также передавать результаты моделирования на экран *RunTime*.

Комплексы *RTDS* – это мощный инструмент для решения инженерных и исследовательских задач в энергетике и электротехнике. При помощи данных комплексов можно проводить всесторонние испытания вторичного оборудования в условиях, максимально близких к реальным. С распространением и принятием технологии цифрового моделирования в реальном времени все больше производителей, энергопредприятий и институтов используют *RTDS* для тестирования в замкнутом цикле систем защиты и управления, а также для моделирования в реальном масштабе времени.

УДК 621.317.33

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОНИТОРИНГ ВЕРОЯТНЫХ ТОЧЕК ОТКАЗА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Баран А.Г., Баран Ю.Г., Антонов И.И.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Рост спроса на передачу и распределение электроэнергии в совокупности со стареющим оборудованием все больше и больше приводит к тому, что распределительное устройство (РУ) в большей мере подвергается проектным нагрузкам не только в пиковых, но и в номинальных режимах.

Известно, что рабочая температура РУ имеет очень высокую корреляцию с эксплуатационным ресурсом оборудования: эксплуатация при очень высоких температурах приводит к резкому возрастанию вероятности отказа.

Следовательно, мониторинг температуры вероятных точек отказа РУ дает неоценимые данные о работоспособности этого оборудования. Раннее обнаружение зарождающихся проблем приводит к своевременному их выявлению и обеспечению оптимального планирования технического обслуживания.

Очевидно, что при необходимости оценки состояния элементов РУ (коммутационная аппаратура, контактные соединения) метод измерения температуры **не должен** способствовать отказу, контролируемого им оборудования. Применение проводных систем контроля температуры оборудования не может гарантировать диэлектрическое разделение необходимое для такого оборудования. Проблемы безопасности и ответственности проводных решений контроля запрещают их использование в высоковольтных устройствах. Следовательно, необходимы беспроводные решения мониторинга температуры РУ среднего и высокого классов напряжения.

Существует несколько вариантов беспроводных решений мониторинга температуры: оптический с использованием инфракрасных термодетекторов и с использованием радиотехнологий.

Ручной оптический мониторинг температуры с использованием инфракрасных термодетекторов. Преимуществом данного решения является простота, точность и безопасность, поскольку измерение может быть выполнено без открытия шкафа распределительного устройства. Однако для такого вида контроля требуется дорогостоящее инфракрасное окно в распределительном шкафу: часто ограничивающее места измерения. Кроме того, требуется специально обученный персонал, и измерения проводятся периодически, как правило, через длительные временные интервалы. Между интервалами измерений по этому методу нет данных о состоянии критически важных зон оборудования.

Существует два типа беспроводного температурного мониторинга с использованием радиотехнологий, один из которых использует беспроводные датчики с питанием от батареек и один с использованием пассивных беспроводных датчиков. Оба этих типа датчиков решают многие из ограничений инфракрасных датчиков: беспроводные радиооптические датчики могут быть сделаны небольшими, легко устанавливаемыми на проводниках РУ и никогда не нарушающими требования к проектированию разделения воздуха и диэлектрика. Еще одним важным преимуществом данного класса является то, что измерения могут проводиться в очень коротких временных рамках (порядка секунд) в течение очень длительных периодов времени (порядка нескольких лет), что обеспечивает непрерывный мониторинг состояния оборудования.

Однако системы контроля с батарейками имеют существенный недостаток – батареи изнашиваются. Кроме того, имеющиеся в настоящее время технологии элементов питания значительно ухудшенный срок службы батарей при повышенных температурах, которые являются нормальным температурным режимом эксплуатируемых РУ. Жизнеспособность аккумуляторов снижается еще больше при работе РУ вблизи или выше номинальной

проектной нагрузки. Существенным недостатком в работе данных систем контроля является – заменить батареи, требующее отключение или одной ячейки или всей секции РУ. Это, в сочетании с относительно коротким сроком службы батарей, делает беспроводное оборудование для мониторинга температуры с батарейным питанием неподходящим для РУ среднего и высокого класса напряжений.

Пассивные беспроводные радиомониторинговые системы контроля температуры идеальны для РУ среднего и высокого напряжения. После установки (во время нормальных периодов обслуживания), пассивные беспроводные датчики температуры имеют все преимущества датчиков с питанием от аккумуляторов, со сроком службы порядка 20 лет.

Непрерывный мониторинг температуры вероятных точек отказа РУ позволяет определить быстро меняющиеся условия эксплуатации и на достаточно раннем этапе может инициировать предупредительные меры для предотвращения выхода из строя оборудования.

УДК 621.3

ДИСКРЕТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ

Жиркова К.Ю.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

С развитием цифровой техники изменились и способы хранения данных измерений (сигналов). Если раньше сигнал мог записываться на магнитофон и храниться на ленте в аналоговом виде, то сейчас сигналы оцифровываются и хранятся в файлах в памяти компьютера в виде набора чисел (отсчетов).

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) – это одно из преобразований Фурье, широко применяемых в алгоритмах цифровой обработки сигналов, а также в других областях, связанных с анализом частот в дискретном сигнале. Дискретное преобразование Фурье требует в качестве входа дискретную функцию. Такие функции часто создаются путем дискретизации через равные интервалы времени – интервалы дискретизации (выборки значений из непрерывных функций или аналоговых сигналов). Дискретные преобразования Фурье помогают решать дифференциальные уравнения в частных производных и выполнять такие операции, как свертка функций. Дискретные преобразования Фурье также активно используются в статистике, при анализе временных рядов. Существуют многомерные дискретные преобразования Фурье.

Основная область использования ДПФ – спектральный анализ физических данных. При этом интерес обычно представляют только амплитуды отдельных гармоник, а не их фазы, и спектр отображается в виде графика зависимости амплитуды (модуля спектра) от частоты. На практике обычно используется логарифмическая амплитудно-частотная характеристика $L(\omega) = 20 \lg k(\omega)$, при этом за единицу изменения $L(\omega)$ принимается десятикратное изменение мощностей выходного и входного воздействий на фильтр – децибел:

$$1 \text{ дБ} = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}(\omega)}{P_{\text{вх}}} = 10 \lg k^2(\omega) = 20 \lg k(\omega). \quad (1)$$

Например, разница на 20 дБ означает различие амплитуд в 10 раз, разница на 40 дБ – 100 раз. Различию амплитуд в 2 раза отвечает разница примерно в 6 дБ. Шкала частот часто градуируется в декадах, где 1 декада – изменение частоты в 10 раз.

При вычислении спектра возможен следующий нежелательный эффект. При разложении участка сигнала в ряд Фурье мы тем самым принимаем этот участок за один период T , который периодически повторяется за пределами участка с фундаментальной частотой $1/T$. При ДПФ вычисляется спектр именно такого периодического сигнала. При этом на границах периодов такая функция наверняка будет иметь разрывы или скачки, тем самым существенно искажая спектр. Для устранения этого эффекта применяются так называемые весовые окна размер, которых равен размеру участка. Анализируемый участок умножается на весовое окно, что плавно сводит сигнал на нет вблизи краев анализируемого участка и в значительной степени устраняют рассмотренные искажения спектра. Методика применения весовых окон подробно рассматривается в курсе цифровой обработки сигналов.

Дискретное преобразование Фурье имеет тесную связь с дискретным преобразованием Лапласа. При выполнении определенных условий преобразование Лапласа превращается в одностороннее преобразование Фурье, а для казуальных сигналов – в полную аналогию преобразования Фурье. Наиболее существенной особенностью преобразования Лапласа является возможность его применения для спектрального анализа функций, не имеющих фурье-образов из-за расходимости интегралов Фурье. Связь между преобразованиями Фурье и Лапласа часто используется для того, чтобы определить частотный спектр сигнала или динамической системы.

Пример реализации сопоставления дискретного преобразований Фурье и Лапласа был выполнен в системе компьютерной алгебры MathCAD. Результаты сопоставления приведены на рисунке 1.

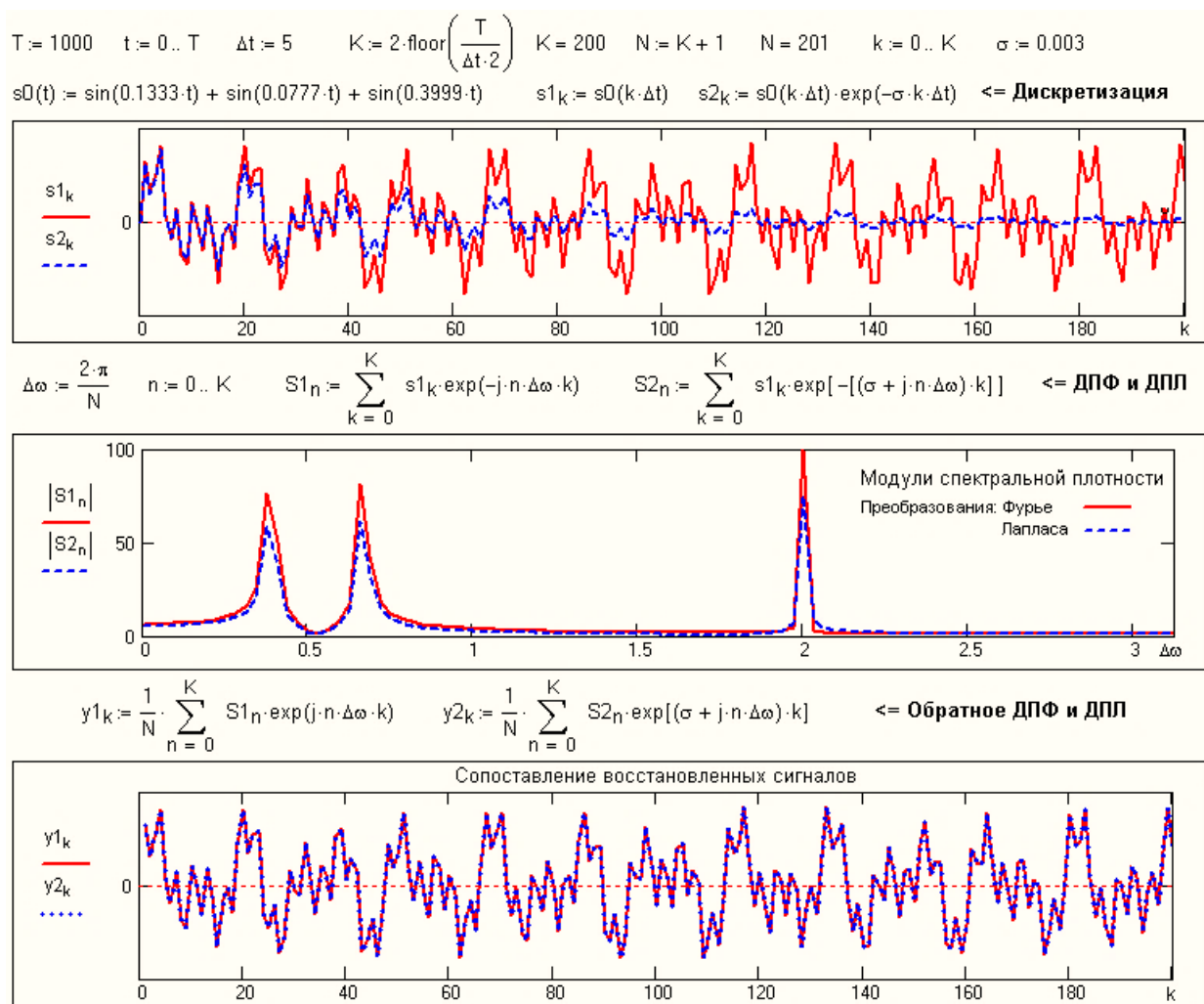


Рисунок 1 – Сопоставление преобразований Фурье и Лапласа

Литература

1 Овчаренко, Н.И. Элементы автоматических устройств энергосистем : учебник для вузов / Н.И. Овчаренко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 256 с.

УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЭЛЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Лашук М.С.

Научный руководитель – ТЕТЕРИНА Л.В.

В соответствии с нормативными документами, при проектировании электрических станций всех типов в цепи генератора как единичного (имеющего отпайку к трансформатору собственных нужд), так и укрупненного энергоблока предусматривается установка генераторного выключателя напряжением 6–24 кВ.

Генераторные выключатели составляют основу оборудования электростанции, осуществляя защиту и генератора, и силового трансформатора. Условия работы таких аппаратов отличаются от условий работы обычных выключателей переменного тока. Соответственно и требования, предъявляемые к выключателям, установленным в цепях генераторов, имеют свои особенности.

Генераторный выключатель необходим для:

- повышения надежности электроснабжения собственных нужд энергоблока, и в первую очередь АЭС и ТЭЦ;
- отключения коротких замыканий, если они возникают на генераторном напряжении;
- снижения объема повреждения и предотвращения развития аварии в случае возникновения короткого замыкания в обмотке низшего напряжения трансформатора блока;
- повышения гибкости в управлении энергоблоком.

На ТЭЦ, ГРЭС, ГЭС, а также на гидроаккумулирующих электростанциях (ГАЭС), построенных еще в Советском Союзе, в качестве генераторных выключателей в основном применялись масляные выключатели типа МГГ и ВГМ, а также воздушные типа ВВГ, на номинальные рабочие токи 2–13 кА и номинальный ток отключения короткого замыкания 45–160 кА. Необходимо отметить, что в парогазовых установках (ПГУ), состоящих из двух или трех агрегатов и включаемых по блочной схеме, в блоке, в котором не предусматривается трансформатор собственных нужд, устанавливать генераторный выключатель нецелесообразно.

Все находящиеся в эксплуатации генераторные выключатели выработали свой срок службы, морально и физически устарели и в настоящее время требуют замены.

Генераторные выключатели имеют существенные особенности, касающиеся условий и режимов работы. На них нельзя в полном объеме распространить требования национальных и международных стандартов по выключателям, применяемым в электросетях. К особенностям генераторных выключателей относятся:

- большое число ступеней значений номинальных токов и напряжений;
- высокое содержание апериодической составляющей в токе КЗ от генератора;
- большие значения параметров восстанавливающего напряжения (ПВН) на контактах выключателя, и в первую очередь при отключении КЗ от системы;
- коммутация в режиме рассогласования фаз, например, при неправильной синхронизации, выпадении генератора из синхронизма и работе защиты от потери возбуждения;
- высокий механический ресурс, особенно для гидростанций и станций, работающих в пиковом режиме, например, ГАЭС;
- высокий коммутационный ресурс по нагрузочным токам для гидростанций и ГАЭС, особенно при работе синхронной машины в режиме двигателя (насоса).

Возникает закономерный вопрос: что же применять при новом строительстве и реконструкции – элегазовый выключатель или генераторный элегазовый комплекс?

Ранее в энергетике была принята следующая практика: трансформаторы тока и напряжения, разъединитель, заземляющие ножи поставлялись в виде отдельных единиц, а

компоновочные решения зависели от целого ряда факторов. Вышеперечисленные элементы стали встраиваться в генераторный токопровод. Такое решение в течение длительного времени эксплуатации полностью себя оправдало.

Тем не менее сегодня при замене генераторных выключателей эксплуатационный персонал часто и совершенно необоснованно настаивает на приобретении дорогостоящих генераторных комплексов. Естественно, в этом случае трансформаторы тока и напряжения находятся внутри комплекса. Но при этом их число, а также мощности вторичных обмоток порой не соответствуют требуемым.

Возникает вопрос, правильно ли такое решение. С технической точки зрения – нет. Необходимо применять генераторные выключатели, а не генераторные комплексы. Следует учесть, что при реконструкции с применением комплексов потребовалось бы выполнение большого объема строительно-монтажных работ. Кроме того, в типовой комплектации комплексов мощность вторичных обмоток трансформаторов тока и напряжения не превышает 20–30 ВА. Она выбирается исходя из предположения, что на электростанции применяемые устройства релейных защит и автоматики, автоматический регулятор напряжения и др. выполняются на микропроцессорной технике.

Но реконструкция, как правило, производится поэтапно, поэтому порой замена вышеназванных устройств во времени происходит позже. В этом случае вторичная мощность трансформаторов тока и напряжения должна быть увеличена. Как следствие, возрастает и их цена. Что касается установки в составе комплекса разъединителя и защитных аппаратов от перенапряжений – это вопрос, который должен решаться отдельно в каждом конкретном случае.

Строительство подстанции 110/20/10 кВ «Кроноспан» г. Сморгонь.

Уникальность нового объекта в том, что ПС «Кроноспан» стала первой в Беларуси высоковольтной электрической подстанцией, построенной «под ключ» в полном соответствии с системой ЕРС-контракт.

Помимо функций генерального подрядчика SIMATEK выполнило значительную часть монтажа оборудования и пусконаладочных работ (телемеханика, РЗА). Объект передавался заказчику под напряжением. Подстанция находится на балансе завода, и эксплуатируется его энергослужбой. Напряжение 20 кВ необходимо для импортного технологического оборудования.

Основное оборудование подстанции: элегазовый выключатель 110 кВ, распределительные устройства 10 и 20 кВ, трансформаторы (силовой, тока и напряжения, собственных нужд, заземляющих резисторов), релейная защита и автоматика и др. производства концерна Siemens AG. Его официальным поставщиком оборудования в Беларуси является SIMATEK, благодаря чему поставки выполнены в кратчайшие сроки и по самым лучшим ценам.

На ПС «Кроноспан» внедрена система телемеханики, спроектированная специалистами SIMATEK. Система обеспечивает централизованное и локальное управление электротехническим оборудованием в реальном масштабе времени. На верхнем уровне используется SCADA (диспетчерское управление и сбор данных) на базе программного пакета WinCC, на нижнем – контроллер Simatic S7-300.

Литература

- 1 Васильев, А.А. Электрическая часть станций и подстанций : учебник для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
- 2 Кузин, П.В. Наладка элегазового оборудования : учебник для вузов / П.В. Кузин. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 112 с.

УДК 621.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ

Башаркевич Я.В.

Научный руководитель – АРТЕМЕНКО К.И.

Трансформатор тока – обычный трансформатор, сердечник и две обмотки, первичная и вторичная. Первичную обмотку, которая содержит небольшое количество витков, включают последовательно в цепь, у которой необходимо измерить ток, а к вторичной, с большим числом витков, подключают амперметр.

К конструктивным особенностям трансформатора тока 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 ффазах, 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 др.

Для питания токовых цепей РЗ применяются ТТ простейшей конструкции без каких-либо дополнительных средств уменьшения погрешностей, за исключением витковой поправки. Устройство ТТ этого типа в общем случае с небольшим немагнитным зазором в сердечнике, и схема его включения приведены на рисунке 1.

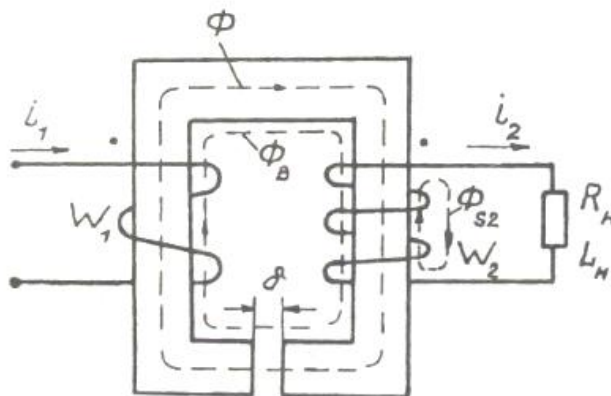


Рисунок 1 – Схема одиночного трансформатора тока

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.

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

$$p y_i = \frac{1}{W_2 S_c} (R_{2j} i_{2j} + R_0 i_0) \quad (j = A, B, C), \quad (1)$$

$$y_j = B_j - \frac{L_{2j}}{W_2 S_c} i_{2j} - \frac{L_0}{W_2 S_c} i_0, \quad (2)$$

$$i_{2j} = \frac{W_1}{W_2} i_{1j} - \frac{l_c}{W_2} H_j, \quad (3)$$

$$i_0 = i_{2A} + i_{2B} + i_{2C}, \quad (4)$$

где $R_{2j} = R_{об} + R_{нj}$; $L_{2j} = L_{об} + L_{нj}$.

Трехфазная группа ТТ с соединением вторичных обмоток в треугольник находят применение в дифференциальных защитах силовых трансформаторов.

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 генератор – трансформатор 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.

С целью сокращения объема исходной информации сопротивления дифференциальной цепи и характеристики намагничивания сердечников ТТ, их геометрические размеры в различных фазах каждой трехфазной группы приняты одинаковыми. Для исследования влияния различия этих параметров на токи в плечах защиты и дифференциальной цепи соответствующие математические модели могут быть составлены на базе приведенных выше выражений.

Литература

- 1 Романюк, Ф.А. Информационное обеспечение вычислительного эксперимента в релейной защите и автоматике энергосистем / Ф.А. Романюк, В.И. Новаш. – Минск : ВУЗ-ЮНИТИ, 1998. – 174 с.
- 2 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. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
- 3 Важен, А.И. Переходные процессы в машинах переменного тока / А.И. Важен. – Л. : Энергия, 1980. – 256 с.

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДАМИ

Ложечников И.И.

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

Типовыми решениями в открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением 35 кВ и выше в качестве токоведущих частей рекомендуются гибкие проводники тех же марок и сечений, что и для воздушных линий электропередачи ЛЭП. При указанных напряжениях в ОРУ с жесткой ошиновкой требуется большое количество опорных изоляторов. Опорные изоляторы и жесткие шины сравнительно дороги. 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». Широкое применение гибкой ошиновки в ОРУ напряжением 35 кВ и выше объясняется ее универсальностью, простотой монтажа, высокой механической прочностью. Внедрение глубоких вводов 110–220 кВ в большие города и крупные промышленные предприятия и размещение ТЭЦ и ГРЭС на стесненных площадках, при неблагоприятных условиях работы изоляции, привели к необходимости применения закрытых РУ (ЗРУ), аппараты и ошиновка которых размещаются в специальном помещении. В настоящее время ЗРУ 110–220 кВ сооружаются, как правило, с применением оборудования и ошиновки, предназначенных для ОРУ.

Компьютерный расчет параметров электродинамической стойкости гибких шин РУ производится с помощью, разработанной на кафедре «Электрические станции» БНТУ КП FLEBUS. В программе FLEBUS применяется расчетная модель провода в виде гибкой упругой нити. Представление провода расчетной моделью с распределенной массой позволяет более точно выполнить расчет электродинамического взаимодействия и вычислить характеристики любой его точки. Пространственное движение провода в виде гибкой упругой нити при КЗ описывается нелинейными дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных с переменными коэффициентами.

С помощью программы можно рассчитывать пролеты с числом отпаяк от одной до трех. Это соответствует большинству конструкций типовых пролетов РУ. В программу заложен алгоритм расчета длин спусков, поэтому если длины неизвестны, можно ввести нулевые значения. Для удобства пользования в программу встроены каталоги проводов и гирлянд изоляторов. Предусмотрена возможность добавления новых данных в каталоги. Имеется также расширенная справочная система, которая вызывается из программы. В ней приведен курс обучения пользованию приложением и описаны все его возможности. В программу заложен алгоритм анализа условий электродинамической стойкости пролета. Если электродинамическая стойкость будет нарушена, в файле результатов расчета будет сделана соответствующая запись. Выбор расчетных условий короткого замыкания и климатического режима остается в компетенции пользователя. Для оптимизации рабочего времени пользователя в программе предусмотрена возможность проведения серии расчетов с изменением тока в заданном диапазоне. Приложение производит серию расчетов без участия пользователя.

Токи электродинамической стойкости гибкой ошиновки $I_{\text{дин}}$ возрастают с увеличением сечения проводника. Это объясняется большей инерционностью тяжелых проводников. Однако это увеличение не столь значительно, поэтому выбор проводника большего сечения во вновь сооружаемых РУ приведет к росту затрат и не даст желаемого эффекта в долгосрочном периоде с учетом вероятного роста токов КЗ. В существующих РУ такое

решение вообще неприемлемо из экономических и технических соображений. Одним из мероприятий, ограничивающих размах колебаний, может стать уменьшение стрелы провеса. Однако это приводит к дополнительным нагрузкам на опорные и изоляционные конструкции.

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

Для того чтобы ограничить сближение сборных шин и спусков соседней фазы в шинных пролетах, наиболее действенным решением представляется установка дополнительных опорных изоляторов.

Литература

1 Сергей, И.И. Упрощенный расчет максимальных тяжений проводов на двух стадиях их движения при коротком замыкании / И.И. Сергей, А.П. Андрукевич, Е.Г. Пономаренко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 6. – С. 12–26.

2 Сергей, И.И. Численный анализ токов электродинамической стойкости гибких проводов электроустановок и способов их повышения / И.И. Сергей, Е.Г. Пономаренко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2010. – № 5. – С. 10–17.

УДК 621.316.5

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ MATHCAD

Баран А.Г.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Расчет токов короткого замыкания (КЗ) является одной из главных задач электроэнергетики. Он необходим для правильного проектирования электроустановок, выбора подходящих электрических аппаратов и определения необходимых уставок релейной защиты и автоматики. Необходимость определения уровня токов КЗ в процессе эксплуатации может возникнуть при изменении схемы питания энергетического объекта для проверки электрооборудования на термическое и электродинамическое действие токов КЗ. Также она может возникнуть при частичной замене электрооборудования на электростанции или подстанции, если намеченные к установке машины и аппараты по своим паспортным данным отличаются от демонтируемых.

В общем случае расчет токов КЗ является сложной задачей. Нормативными документами регламентируются методики расчета в зависимости от поставленной цели и расчетного вида короткого замыкания. Так для выбора электрических аппаратов и токоведущих частей можно ограничиться расчетом трехфазного КЗ непосредственно в точке короткого замыкания. А при расчете уставок релейной защиты и автоматики может возникнуть необходимость расчета любого вида несимметричного повреждения и расчета распределения тока короткого замыкания по всем ветвям схемы. Так же руководящими документами оговариваются допустимые упрощения, которые не должны привести к увеличению погрешности вычисления более 5–10 %.

В связи с громоздкостью ручного расчета для решения практических задач расчетов токов короткого замыкания следует применять вычислительную технику. Поэтому для выполнения данных расчетов возможно использование среды математического моделирования MathCAD.

MathCAD является интегрированной системой программирования, ориентированной на проведение математических, инженерно-технических, статистических и экономических расчетов. Что является подходящей системой для решения поставленной задачи расчета токов короткого замыкания. Система математического моделирования MathCAD имеет встроенный язык программирования для создания модульных программ. Основная идея модульного программирования заключается:

- в разбиении алгоритма решения задачи на слабо зависимые друг от друга фрагменты вычислений (на подзадачи) и реализацию каждого такого фрагмента в виде программных модулей;

- в вызове в нужных местах «основной» программы соответствующих модулей с передачей необходимых данных.

Программа, реализующая алгоритм вычислений в виде модулей и обращения к ним, получила название модульной программы. К основным преимуществам модульного программирования можно отнести следующее:

- Слабая зависимость модулей между собой позволяет при необходимости разделить разработку программы на отдельные этапы.

- Модульную программу легче отлаживать, так как модули могут быть подвергнуты «автономному» тестированию и отладке, т. е. каждый модуль может проходить тестирование и отладку отдельно на подготовленном наборе тестовых данных. Автономное тестирование дает возможность протестировать все ветви вычислительного алгоритма, реализуемого в модуле.

- Модульное построение программы позволяет сократить программу при необходимости проведения большого круга схожих вычислений в разных частях программы.

– Модульную программу легче сопровождать и модифицировать. В модуль можно ввести изменения, переписать его или заменить без внесения изменений в другие модули.

– Возможность использования библиотек «готовых» модулей, ориентированных на решение определенного класса научно-технических задач.

В MathCAD программный модуль может быть реализован в виде подпрограммы-функции. Это обстоятельство приносит свои недостатки и преимущества, так результат расчета подпрограммы-функции может быть присвоен только в одной переменной. Этот недостаток нивелируется возможностью системы MathCAD работать с векторами и матрицами и дополнительным модулем присваивания значений элементов вектора отдельным переменным. Преимуществом такого подхода является независимость вычислений в модуле от вычислений в других модулях и предыдущих вычислений данного модуля.

Основные инструменты, для создания подпрограмм-функций в среде математического моделирования MathCAD, присутствуют на наборной панели программных элементов Programming.

Разработанный программный модуль расчета токов короткого замыкания для математической системы компьютерного моделирования MathCAD позволяет достоверно рассчитывать необходимые значения благодаря сочетанию принципов и методов расчета токов КЗ, обусловленных нормативными документами в данной области, и необходимых для их реализации средствам модульного программирования.

Исследования показали, что наиболее подходящим является метод расчета схем замещения основанный на уравнениях узловых потенциалов (напряжений). Данный метод реализуется через построение матрицы узловых проводимостей, что является оптимальным решением при большом количестве линейно независимых узлов в схеме и связей между ними. В данном программном продукте матрица узловых проводимостей в явном виде не составляется, что обуславливается более трудоемким вводом данных в обратном случае. Решение полученной системы уравнений производится методом Гаусса, что позволяет при обратном ходе этого метода определить распределение токов по всем ветвям. В случае, когда нет необходимости в коэффициентах распределения токов по ветвям схемы, можно воспользоваться методом преобразования многолучевой звезды в многоугольник для нахождения значения тока КЗ. Этот метод так же может быть реализован на основании матрицы проводимостей с помощью прямого хода метода Гаусса.

Для расчета токов несимметричного КЗ, нормативные документы предписывают создание комплексной схемы замещения, и использование правила Щедрина, что так же реализовано в разработанном программном модуле.

Перед началом расчета токов КЗ в разработанном программном модуле необходимо предварительно по исходной расчетной схеме составить соответствующую схему замещения. Затем необходимо ввести параметры схемы замещения и другие исходные данные в файл исходных данных. При этом следует строго следить за правильностью и последовательностью вводимых данных, так как чаще всего ошибка в вычислениях происходит из-за неправильного ввода данных. После ввода исходных данных и запуска программного модуля будут рассчитаны необходимые значения, а именно:

– результирующее сопротивление относительно узла КЗ для токов прямой последовательности;

– результирующее сопротивление относительно узла КЗ для токов обратной последовательности;

– периодическая составляющая сверхпереходного тока КЗ (для различных видов КЗ);

– симметричные составляющие тока КЗ (для различных видов КЗ);

– коэффициенты распределения симметричного суммарного тока КЗ по ветвям схемы;

– коэффициенты распределения полного тока КЗ по ветвям схемы (для различных видов КЗ).

УДК 621.3

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ГИБКИХ ШИН РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Манцевич А.В.

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

Типовыми решениями в открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением 35 кВ и выше в качестве токоведущих частей рекомендуются гибкие проводники тех же марок и сечений, что и для воздушных линий электропередачи ЛЭП. При указанных напряжениях в ОРУ с жесткой ошиновкой требуется большое количество опорных изоляторов. Опорные изоляторы и жесткие шины сравнительно дороги. 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». Широкое применение гибкой ошиновки в ОРУ напряжением 35 кВ и выше объясняется ее универсальностью, простотой монтажа, высокой механической прочностью. Внедрение глубоких вводов 110–220 кВ в большие города и крупные промышленные предприятия и размещение ТЭЦ и ГРЭС на стесненных площадках, при неблагоприятных условиях работы изоляции, привели к необходимости применения закрытых РУ (ЗРУ), аппараты и ошиновка которых размещаются в специальном помещении. В настоящее время ЗРУ 110–220 кВ сооружаются, как правило, с применением оборудования и ошиновки, предназначенных для ОРУ.

Компьютерный расчет параметров электродинамической стойкости гибких шин РУ производится с помощью, разработанной на кафедре «Электрические станции» БНТУ КП FLEBUS. В программе FLEBUS применяется расчетная модель провода в виде гибкой упругой нити. Представление провода расчетной моделью с распределенной массой позволяет более точно выполнить расчет электродинамического взаимодействия и вычислить характеристики любой его точки. Пространственное движение провода в виде гибкой упругой нити при КЗ описывается нелинейными дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных с переменными коэффициентами.

С помощью программы можно рассчитывать пролеты с числом отпаек от одной до трех. Это соответствует большинству конструкций типовых пролетов РУ. В программу заложен алгоритм расчета длин спусков, поэтому если длины неизвестны, можно ввести нулевые значения. Для удобства пользования в программу встроены каталоги проводов и гирлянд изоляторов. Предусмотрена возможность добавления новых данных в каталоги. Имеется также расширенная справочная система, которая вызывается из программы. В ней приведен курс обучения пользованию приложением и описаны все его возможности. В программу заложен алгоритм анализа условий электродинамической стойкости пролета. Если электродинамическая стойкость будет нарушена, в файле результатов расчета будет сделана соответствующая запись. Выбор расчетных условий короткого замыкания и климатического режима остается в компетенции пользователя. Для оптимизации рабочего времени пользователя в программе предусмотрена возможность проведения серии расчетов с изменением тока в заданном диапазоне. Приложение производит серию расчетов без участия пользователя.

Токи электродинамической стойкости гибкой ошиновки $I_{\text{дин}}$ возрастают с увеличением сечения проводника. Это объясняется большей инерционностью тяжелых проводников. Однако это увеличение не столь значительно, поэтому выбор проводника большего сечения во вновь сооружаемых РУ приведет к росту затрат и не даст желаемого эффекта в долгосрочном периоде с учетом вероятного роста токов КЗ. В существующих РУ такое

решение вообще неприемлемо из экономических и технических соображений. Одним из мероприятий, ограничивающих размах колебаний, может стать уменьшение стрелы провеса. Однако это приводит к дополнительным нагрузкам на опорные и изоляционные конструкции.

Гибкие шины распределительных устройств (РУ) обладают существенной гибкостью и могут принимать форму, обусловленную действием распределенных электродинамических усилий (ЭДУ), возникающих при коротком замыкании. Поэтому динамика гибких шин в общем случае описывается с использованием расчетной модели гибкой нити с распределенной по длине массой. Движение гибкой нити под воздействием распределенных нагрузок описывается дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных. Получить решение таких уравнений можно лишь численными методами.

Гибкая ошиновка с расщепленной фазой моделируется одной нитью с эквивалентной массой, включающей в себя массы фазных проводников и дистанционных распорок, масса которых распределяется равномерно по всей длине проводов.

Подавляющее большинство пролетов гибкой ошиновки распределительных устройств высокого напряжения расположены в горизонтальной плоскости. Для расчета их электродинамической стойкости широко применяются упрощенные методы расчета, основанные на представлении провода сосредоточенной массой или физическим маятником. Они положены в основу межгосударственного и республиканского стандартов на расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств.

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

В ходе данной работе было рассмотрено электродинамическое действие токов КЗ на гибкие проводники, условия и параметры электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств, упрощенный расчет максимальных тяжений шин при коротком замыкании. Для того чтобы ограничить сближение сборных шин и спусков соседней фазы в шинных пролетах, наиболее действенным решением представляется установка дополнительных опорных изоляторов.

Литература

- 1 Сергей, И.И. Упрощенный расчет максимальных тяжений проводов на двух стадиях их движения при коротком замыкании / И.И. Сергей, А.П. Андрукевич, Е.Г. Пономаренко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 6. – С. 12–26.
- 2 Васильев, А.А. Электрическая часть станций и подстанций : учеб. пособие для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

УДК 621.3

ЭКРАНИРОВАНИЕ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Муха В.О.

Научный руководитель – ГУРЬЯНЧИК О.А.

Эксплуатируемое на электрических станциях и подстанциях оборудование подвергается воздействию многочисленных помех, источниками которых могут быть удары молнии, токи короткого замыкания (ТКЗ), коммутации в высоковольтной и низковольтной сети, радиопередающие устройства, силовое оборудование, разряды статического электричества и т. д. Экранирование применяется там, где требуется защита от воздействия электромагнитных полей, которые образуются проходящими по кабелю токами или наоборот, защитить сигнал от внешних помех. Помимо основной задачи, экранирование может повышать прочность и стойкость изоляции, защищать от агрессивной внешней среды, заземлять кабель, а при эксплуатации в муфте сводит к минимуму возможность появления электрических потенциалов на поверхности кабеля. В данной работе рассмотрим экранирование контрольных кабелей связи (рисунок 1).



Рисунок 1 – Контрольный экранированный кабель

Экран кабеля располагается между сердечником и внешней оболочкой. В случае, если кабель многожильный, экран может обвивать все жилы одновременно или, в случае, если необходимо избежать влияния сигналов одной жилы на другую, каждую жилу отдельно.

Существует множество различных вариантов экранирования, каждый тип имеет свои преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать для выбора наиболее подходящего и экономичного варианта. В работе осуществляется сравнение различных типов экранов, отражены их преимущества и недостатки.

Оплетка сохраняет хорошую гибкость кабеля и имеет большой срок службы. Она отлично препятствует влиянию низкочастотных помех и имеет меньшее сопротивление, чем фольга, для постоянного тока. Данный тип экрана подходит для аудио кабелей и кабелей, передающих информацию в радиочастотном диапазоне. Чем больше процент перекрытия, тем эффективнее экранировка. Пример экрана из оплетки изображен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Оплетка

Пленочные экраны состоят из алюминиевой фольги, покрытой слоем полипропилена или полиэфира. Они полностью покрывают проводник, дешевле, легче и тоньше. Благодаря малой толщине фольгу удобно использовать для экранирования отдельных компонентов кабеля. При помощи клея ее легко соединить с внешней оболочкой или слоем диэлектрика. Пленочный экран лучше борется с помехами на высоких частотах, но при частых изгибах имеет короткий срок службы. Для того, чтобы в конструкции экрана из фольги отсутствовал

шов, через который может проходить электромагнитное поле, вызывающее помехи, один из краев фольги складывается, обеспечивая замыкающий слой. Один из возможных видов пленочных экранов показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Пленочный экран

Комбинированный экран, состоящий из нескольких защитных слоев, позволяет эффективно бороться с помехами во всем частотном диапазоне. Сочетание фольги и оплетки позволяет обеспечить стопроцентное покрытие кабеля экраном и высокую гибкость, прочность и низкое сопротивление постоянному току. Пример кабеля изображен на рисунке 4.

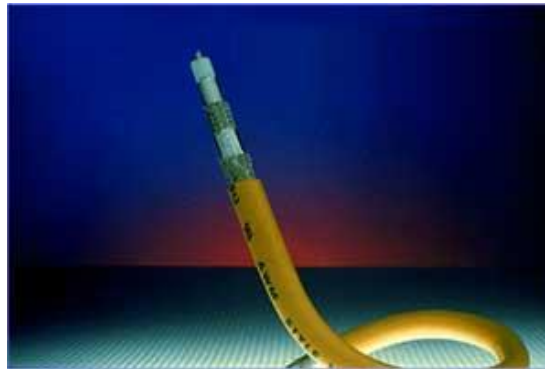


Рисунок 4 – Комбинация фольги и оплетки

Кабель должен обеспечивать защиту не только от электрических воздействий, но и от механических повреждений при монтаже и эксплуатации. Дополнительную механическую защиту обеспечивает бронирование. Бронирование осуществляется двумя методами, либо добавлением слоя гофры из алюминия или стали, что принято в США, либо оплетки из стальных проволок, что характерно для Европы. Пример кабеля приведен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Бронирование

УДК 621.316.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 кВ

Баран А.Г., Зарихта К.С.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Электрическая сеть – это совокупность электроустановок, предназначенных для передачи, преобразования и распределения электроэнергии. Электрические сети подразделяются по выполняемым функциям в энергосистеме и классу напряжения. Наиболее разветвленными и сложными являются распределительные сети, т. е. сети напряжением 0,4–10 кВ, служащие для распределения электрической энергии. Большую часть таких сетей представляют собой сети напряжением до 1 кВ, формирующие системы внутреннего электроснабжения цехов промышленных предприятий и гражданских зданий. К сетям напряжением до 1 кВ предъявляются следующие требования: экономичность; надежность (в том числе гибкость, универсальность и обеспечение потребителей электроэнергией требуемого качества); безопасность и удобство технического обслуживания и ремонта. Безопасность электрических сетей может быть обеспечена только при их правильном проектировании и эксплуатации, которые в свою очередь невозможны без правильного расчета токов короткого замыкания.

Расчет тока короткого замыкания (КЗ) в сети переменного тока напряжением до 1 кВ выполняется, в основном, для следующих целей:

- для выбора электрооборудования по условиям КЗ (отключающая способность электрических аппаратов, термическая и электродинамическая стойкость проводников);
- для выбора уставок защитной аппаратуры сети, проверки ее чувствительности и селективности;
- для выбора и проверки заземляющих устройств.

Для выбора электрооборудования по условиям КЗ подлежат определению следующие величины:

- начальное значение периодической составляющей тока КЗ;
- апериодическая составляющая тока КЗ;
- ударный ток КЗ;
- 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.

Для выбора и проверки заземляющих устройств расчету подлежит значение тока в режиме однофазного короткого замыкания.

В соответствии с нормативными документами (ГОСТ 28249-93, ПУЭ и др.) при расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

- индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи;
- активные сопротивления короткозамкнутой цепи;
- активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;
- наличие подпитки места КЗ от синхронных и асинхронных электродвигателей (АД).

При расчетах тока КЗ так же рекомендуется учитывать:

- сопротивление электрической дуги в месте КЗ;
- изменение активного сопротивления проводников электрической цепи вследствие их нагрева при КЗ;

В целях упрощения расчетов 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.

- не учитывать влияния АД, если их суммарный номинальный ток не превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета АД.

Токи КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах. При составлении эквивалентных схем замещения параметры элементов исходной расчетной схемы следует приводить к ступени напряжения сети, на которой находится точка КЗ, а активные и индуктивные сопротивления всех элементов схемы замещения выражать в миллиомах.

Исходя из изложенных выше допущений и требований, можно выделить наиболее явные особенности расчета токов короткого замыкания в сетях напряжением до 1 кВ:

- При расчете токов КЗ необходимо учитывать индуктивные и активные сопротивления всех элементов схемы, в том числе и составляющие сопротивлений проводников, трансформаторов тока, токовых катушек автоматов, дуги, контактов и контактных соединений.

- Обязательный учет подпитки места КЗ токами от асинхронных и синхронных машин, даже если они не подключены непосредственно в точку КЗ.

- Учет изменения сопротивления элементов схемы при их нагревании токами КЗ.

- Расчет ведется в именованных единицах.

Необходимость учета активных составляющих сопротивления проводников, трансформаторов тока, токовых катушек автоматов, дуги, контактов и контактных соединений и др. объясняется их величиной для данной сети. Так для сетей более высокого напряжения активное сопротивление не значительно по отношению к суммарному, и его отсутствие в расчетах не вызывает погрешности более 10 %, в отличие от рассматриваемой сети.

Если суммарный номинальный ток АД секции превышает 1 % начального значения периодической составляющей тока КЗ от энергосистемы, в соответствии с ГОСТ 28249-93 требуется производить учет влияния АД на ток КЗ. Начальное действующее значение периодической составляющей тока $I_{п0АД}$ трехфазного КЗ в килоамперах от АД рассчитывают по формуле:

$$I_{п0АД} = \frac{E''_{ф.АД}}{\sqrt{(r_{АД} + r_{1\Sigma})^2 + (x''_{АД} + x_{1\Sigma})^2}}.$$

При определении минимального значения тока КЗ в соответствии с ГОСТ 30323-95 необходимо производить учет увеличения активного сопротивления кабеля к моменту отключения цепи вследствие нагревания его током КЗ. Значение активного сопротивления r_0 кабеля в миллиомах с учетом нагрева его током КЗ рассчитывается по формуле:

$$r_0 = c_0 r_{0,20},$$

где c_0 – коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления кабеля;

$r_{0,20}$ – активное сопротивление кабеля при температуре t_0 , равной 20 °С, мОм.

При приближенных расчетах значение коэффициента c_0 допускается принимать равным 1,5. При уточненных инженерных расчетах коэффициент c_0 следует определять в соответствии с расчетными кривыми в зависимости от материала и сечения жил кабеля, тока КЗ и продолжительности КЗ. Так для кабелей с медными жилами кривые представлены на рисунке 1а – для продолжительности КЗ 0,2 с (сплошные линии) и 0,6 с (пунктирные линии)

с; а на рисунке 1б – для продолжительности 1,0 с (сплошные линии) и 1,5 с (пунктирные линии).

Данные расчетные графики получены при следующих расчетных условиях:

- КЗ происходит в радиальной схеме, содержащей ветвь с источником неизменной по амплитуде ЭДС;
- температура кабеля изменяется от ν_0 , равной 20 °С, до $\nu_{\text{доп}}$, равной 200 °С;
- продолжительность КЗ составляет 0,2, 0,6, 1,0, 1,5 с.

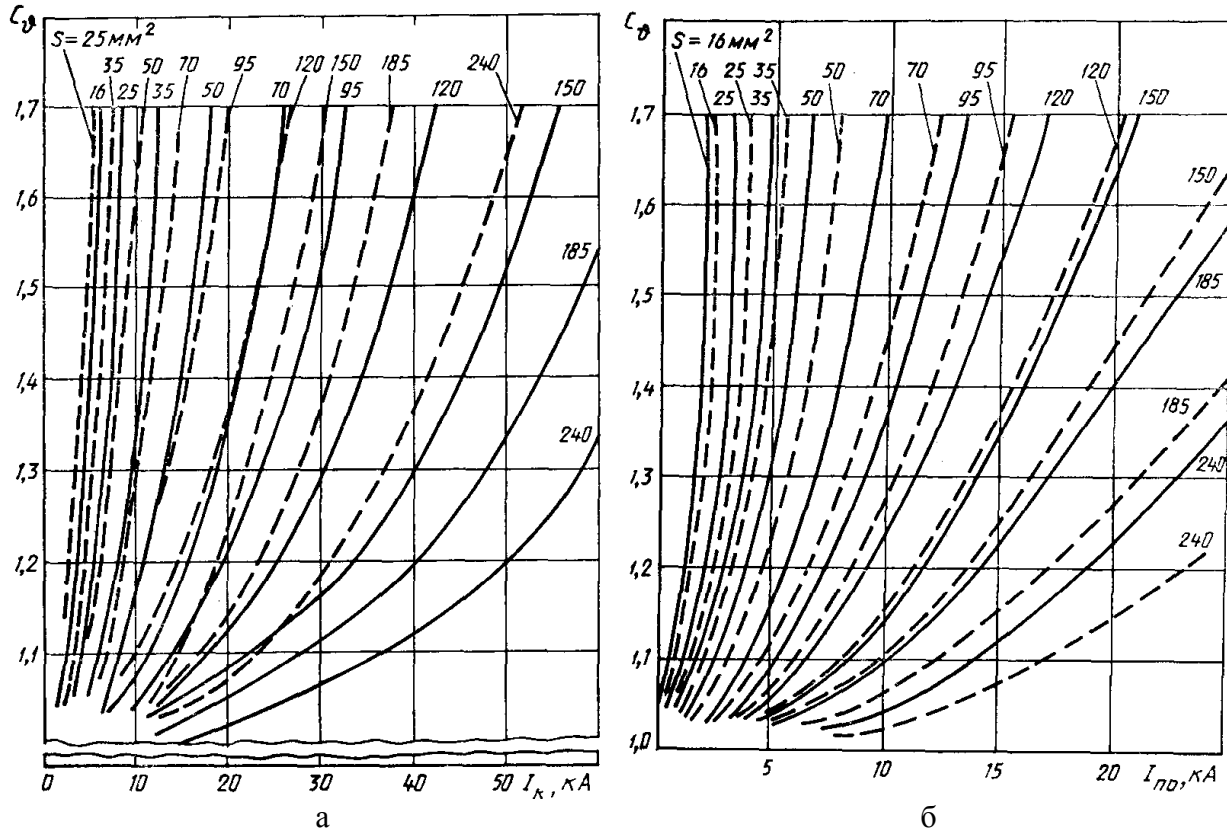


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента увеличения активного сопротивления кабелей различного сечения для различной продолжительности КЗ от тока КЗ

Литература

- 1 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. ГОСТ 28249-93. – Введ. 01.01.95. – Минск : Стандарт информ, 2006. – 47 с.
- 2 Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.
- 3 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. РД 153-34.0-20.527-98 / Под ред. Б.Н. Неклепаева. – М. : Изд. «НЦ ЭНАС», 2002.
- 4 Методические указания по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электрических станций и подстанций с учетом влияния электрической дуги. СТП 09110.20.145-07. – Введ. 02.04.2007. – Минск : ГПО «Белэнерго», 2007. – 60 с.
- 5 Жуков, В.В. Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ / В.В. Жуков. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 192 с.

УДК 621.3

ЦИФРОВЫЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ RTDS

Мшар Д.И.

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

Будучи первыми в своем роде, цифровые программно-аппаратные комплексы RTDS (Real Time Digital Simulator) являются мировым эталоном для выполнения моделирования системы электроснабжения в реальном времени. RTDS Simulator был первоначально разработан в исследовательском проекте, созданном в исследовательском центре Манитоба в Канаде в 1980-е годы. Здесь впервые в мире в 1989 году и произошло моделирование цифровых систем в режиме реального времени.

Сама компания RTDS Technologies Ltd. была основана в 1993 году и по сей день является крупнейшим производителем программно-аппаратных комплексов для моделирования энергосистем в реальном времени, так же они являются «законодателем мод» в этой области.

RTDS – это специализированный комплекс, предназначенный для изучения стационарных режимов и электромагнитных переходных процессов в электроэнергетической системе в реальном масштабе времени.

RTDS позволяет решать следующие задачи:

- полный цикл проверки релейной защиты, единой защиты и схем управления;
- разработка различных устройств и связанных с ней средств управления;
- изучение работы систем переменного тока, включая режим генерации и передачи электрической энергии;
- исследование взаимодействия оборудования для энергетики;
- обучение и тренировка инженерно-технического персонала объектов электроэнергетики.

Через устройства ввода-вывода к RTDS подключается различное внешнее оборудование, такое как измерительные устройства, релейная защита и контроллеры, например, устройства управления регулируемых электроприводов или управляемых компенсаторов реактивной мощности. При этом условия функционирования подключенного оборудования соответствуют реальным условиям. Это позволяет тестировать функционирование устройств без их включения в реальную энергосистему (рисунок 1).

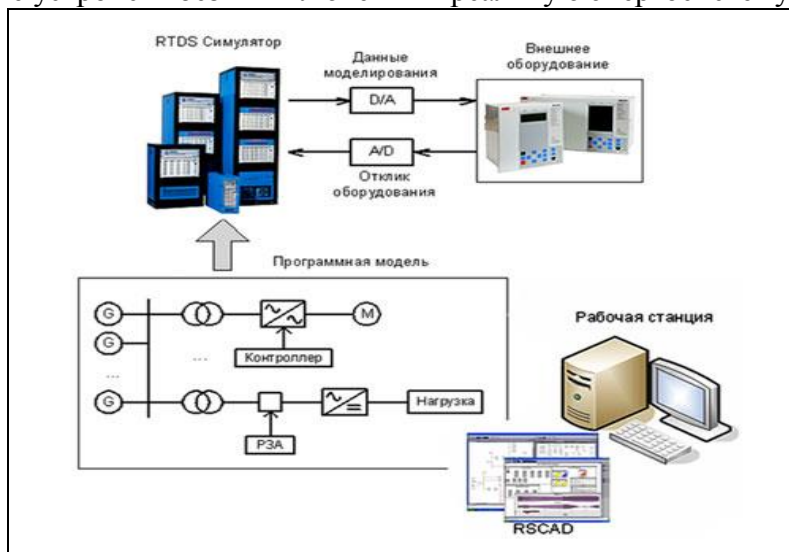


Рисунок 1 – RTDS и взаимодействие его составных частей и внешнего оборудования

Важнейшим преимуществом RTDS является возможность представить в модели электрической системы, в частности, средства релейной защиты, автоматики и управления

как в виде запрограммированных внутренних блоков RTDS, так и в виде реальных терминалов (контроллеров), которые соединяются с симулятором через аналоговые и цифровые порты ввода-вывода.

В качестве примера использования RTDS на рисунке 2 приведены результаты моделирования режима электроэнергетической системы и исследование действия терминала релейной защиты REL 670 для случая асинхронного режима.

В процессе опытов регистрировались:

- все измеряемые фазные токи и напряжения;
- все сигналы цифровых входов и выходов терминала.

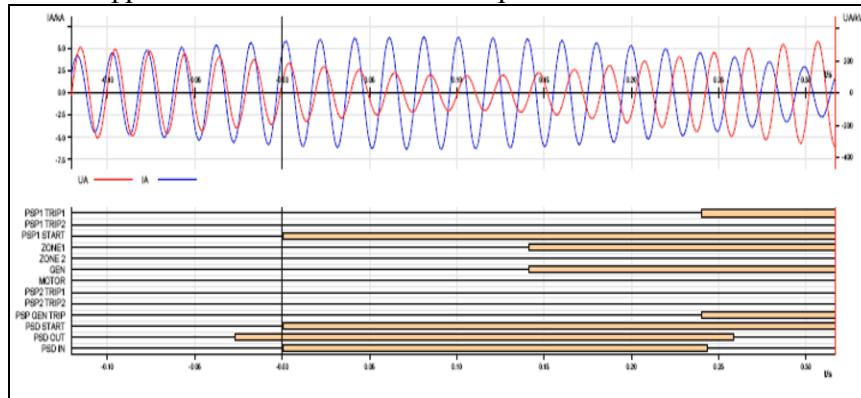


Рисунок 2 – Моделирование режима асинхронного хода энергосистемы и проверка действия защит с помощью RTDS

Цифровые программно-аппаратные комплексы RTDS применяются в следующих областях:

- для исследований электромагнитных и электромеханических переходных процессов в электрических сетях, генераторах и нагрузках;
- для проверки и исследований вторичного оборудования в режиме реального времени с жесткой обратной связью;
- для исследования и разработки силовых полупроводниковых комплексов.

Структурная схема испытательной установки приведена на рисунке 3. В состав испытательной установки входит модель реального времени, созданная в программно-аппаратном комплексе RTDS.

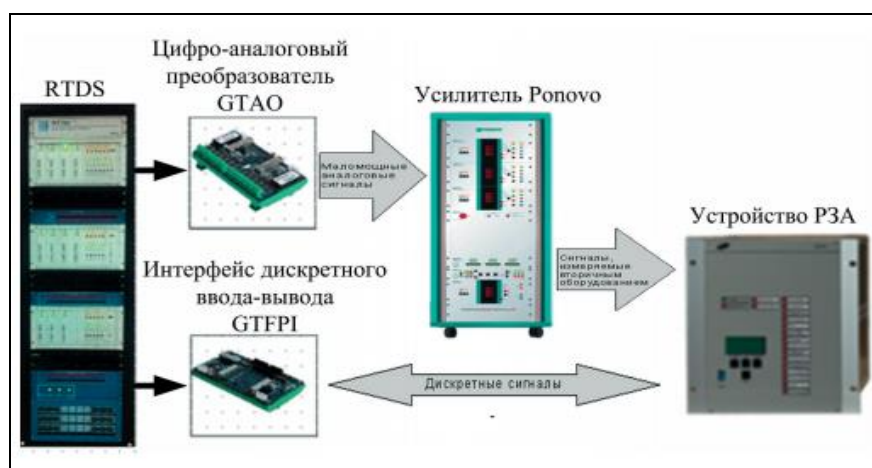


Рисунок 3 – Структурная схема испытательной установки

Перед проведением испытаний на RTDS создается модель понизительной подстанции с прилегающей сетью. Моделируемая схема представлена на рисунке 4 и содержит энергосистему 110 кВ; линию электропередачи 110 кВ; секцию шин 110 кВ, от которой

также отходит линия электропередачи; двухобмоточный трансформатор 110/10 (6) кВ; секцию шин 10 (6) кВ с отходящими линиями, питающими нагрузку.

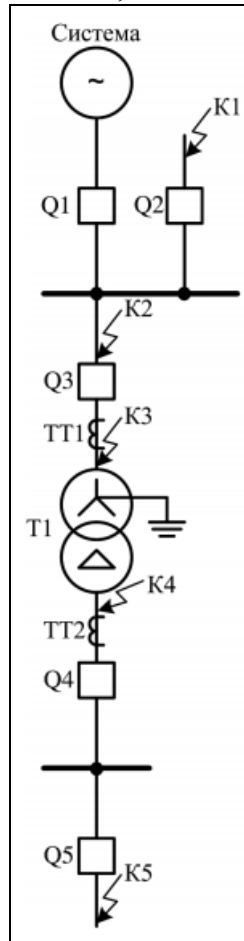


Рисунок 4 – Схема модели сети 110 кВ

Схема модели испытания защиты трансформатора представлена на рисунке 5.

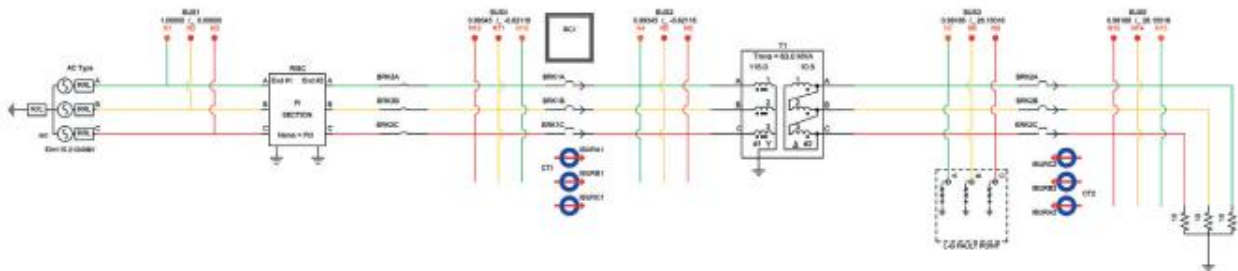


Рисунок 5 – Схема модели испытания защиты трансформатора

Одним из видов испытания дифференциальной защиты трансформатора является режим включения трансформатора под напряжение при отсутствии нагрузки на трансформаторе.

Трансформатор T_1 включается под напряжение со стороны 110 кВ выключателем Q_3 при отключенном выключателе Q_4 , в результате чего возникает бросок намагничивающего тока (БНТ) трансформатора. Осциллограмма БНТ представлена на рисунке 6.

Режим БНТ является неаварийным для трансформатора, однако он может приводить к ложной работе дифференциальной защиты

Поэтому испытание дифференциальной защиты трансформатора на RTDS в режиме БНТ позволит выявлять ложные работы защиты, а также разработать рекомендации по выбору параметров срабатывания.

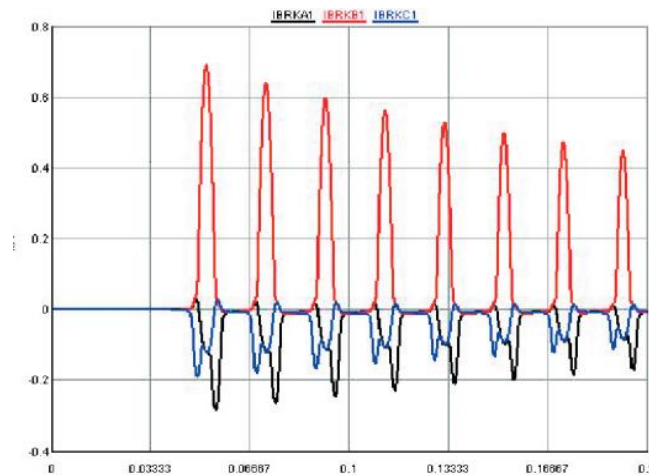


Рисунок 6 – Осциллограмма броска тока намагничивания трансформатора

На основе данной модели можно также провести испытания дифференциальной защиты трансформатора при различных вторичных нагрузках на трансформаторе тока. Осциллограмма в нормальном режиме представлена на рисунке 7, а. При превышении допустимой вторичной нагрузки трансформатор тока входит в насыщение, в результате чего происходит искажение его вторичного тока (рисунок 7, б).

Результатом насыщения трансформатора тока является повышение погрешностей, которые в переходных режимах КЗ оказываются значительно выше, чем в установившемся режиме, что затрудняет обеспечение селективности и снижает быстродействие дифференциальных защит.

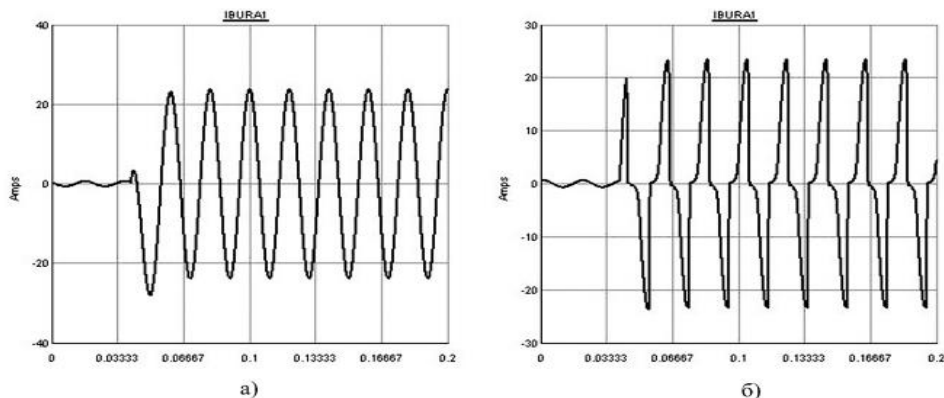


Рисунок 7 – Осциллограмма тока КЗ во вторичной обмотке трансформатора тока

Из вышеизложенного видно, что применение моделирования в реальном времени на программно-аппаратном комплексе RTDS позволяет производить испытания устройств релейной защиты и автоматики, что позволит повысить техническое совершенство РЗА и в конечном итоге – качество электроснабжения потребителей.

Комплексы RTDS позволяют решать широкий спектр технических проблем без необходимости проведения сложных, дорогостоящих и опасных натурных испытаний, без проведения пилотной эксплуатации оборудования на энергообъектах. Комплексы RTDS существенно упрощают процедуры аттестации различных видов вторичной аппаратуры, повышают объективность аттестации.

Так же комплексы RTDS широко используют в обучающих целях как для проведения занятий со студентами вузов, так и для повышения квалификации персонала энергопредприятий.

УДК 621.3

ГАЗАПОРШНЕВЫЕ АГРЕГАТЫ

Николаенко Д.В.

Научный руководитель – КИСЛЯКОВ А.Ю.

Газопоршневые агрегаты – универсальные генерирующие устройства, предназначенные для удовлетворения энергетических потребностей. Они могут быть как источниками автономного гарантированного энергоснабжения, если отсутствует доступ для подключения к централизованным сетям, так и эффективно работать в параллель с этими сетями для снижения энергозатрат.

Высокие эксплуатационные качества газопоршневых агрегатов (КПД, расход топлива, уровень шума, безопасность) позволяют их использовать для снабжения потребителей различного профиля. Это энергозатратные производства, объекты, удаленные от централизованных сетей, предприятия и учреждения с высокими требованиями к надежности энергообеспечения, всевозможные потребители со средними и низкими нагрузками – малые и средние предприятия, социальные объекты и учреждения.

Принцип модульности, применяемый при строительстве газопоршневых электростанций, позволяет их комплектовать в соответствии с потребностями и особенностями использования. Такие электростанции бывают одномодульного и многомодульного исполнения, гибко покрывающими широкий диапазон нагрузок.

Преимущества газопоршневых агрегатов:

- низкая себестоимость вырабатываемой энергии за счет низкой стоимости, экономичного расхода энергоносителя (природного газа), и низких затрат на техническое обслуживание и эксплуатационные материалы;

- низкие сроки окупаемости оборудования от 3 до 5 лет за счет низкой себестоимости вырабатываемой энергии, которая на 30–40 % ниже цены электроэнергии у сетевых поставщиков;

- экономия до 40 % энергоносителя за счет одновременной выработки электрической и тепловой энергии по сравнению с традиционными отдельными способами производства на ТЭЦ;

- длительный срок службы газопоршневых агрегатов, составляющий до 300 тысяч моточасов, за счет высокой ремонтпригодности;

- высокая степень работоспособности за счет постоянной круглогодичной эксплуатации в режиме до 8000 часов в год;

- широкий диапазон мощностей газопоршневых агрегатов от 140 до 4300 кВт электрической энергии;

- высокая надежность и качество узлов и комплектующих оборудования;

- незначительные потери при передаче энергии за счет непосредственной близости генерирующего оборудования к конечному потребителю, и минимизация затрат на сооружение инженерных сетей;

- пониженный объем выбросов вредных веществ в окружающую среду по сравнению с традиционными видами выработки энергии на угле;

- максимальная автоматизация управления и широкий выбор средств диспетчеризации.

ГПА могут работать на газах различных типов:

- природный газ Пропан;

- факельный газ;

- газ сточных вод;

- биогаз;

- газ мусорных свалок;

- коксовый газ;

- попутный газ.

Основным назначением работы ГПА является **выработка электроэнергии**, а также когенерация и тригенерация.

Когенерация – непосредственное использование тепловой энергии конечными потребителями (горячее водоснабжение (ГВС), отопление, технологические нужды).

Тригенерация – частичное преобразование тепловой энергии в энергию холода (холод вырабатывается абсорбционной холодильной машиной, потребляющей не электрическую, а тепловую энергию, что дает возможность достаточно эффективно использовать тепло летом для кондиционирования помещений или для технологических нужд).

Прежде всего, когенерационные электростанции по экологическим параметрам удовлетворяют всем современным требованиям. При этом главные преимущества этих установок – повышенная эффективность сжигания первичного топлива и минимальные выбросы токсичных веществ в атмосферу. Они в 2, 3 раза ниже по сравнению с агрегатами на базе традиционных технологий. В качестве недостатков таких систем выступают ограничение мощности одного энергоблока, повышенная удельная стоимость и потребность в расходах на реконструкцию традиционных котельных и ТЭС.

Литература

- 1 Гительман, Л.Д. Энергетический бизнес / Л.Д. Гительман. – М. : Дело, 2006. – 600 с.
- 2 Самойлов, М.В. Основы энергосбережения: учеб. пособие / М.В. Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н. Ковалев. – 2-е изд. – Минск : БГЭУ, 2002. – 198 с.

УДК 621.3

RTDS – ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИРУЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Рабушко П.С.

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

Повышение качества и надежности энергетического оборудования неразрывно связано с применением на всех этапах его жизненного цикла современных цифровых технологий, а также методов математического моделирования энергетических систем.

В результате воздействия различных факторов, современные энергосистемы становятся все более сложными, что во многом связано с необходимостью учета экономических и экологических аспектов. С этой точки зрения, внедрение новых технологий является необходимым условием прогресса, начиная, например, с применения управляемых силовых электронных устройств в сетях переменного и постоянного тока, а также использование других элементов гибких систем передачи переменного тока. Все вышеперечисленное, как правило, способствует повышению устойчивости системы, однако без их надежного функционирования энергосистема может стать неустойчивой.

Изменения в первичных энергосистемах требуют нового, более комплексного подхода к соответствующим вторичным системам. Это касается релейной защиты, автоматики и управления энергосистемами в обычных и аварийных режимах работы. При этом нельзя забывать о том, что должна обеспечиваться возможность быстродействующего управления современными силовыми электронными устройствами, гораздо более оперативного по сравнению с традиционным силовым оборудованием. В связи с этим, требования, предъявляемые к таким устройствам в отношении надежности несрабатывания и надежности срабатывания, должны быть более высокими, время их срабатывания (быстродействия) должно быть меньше, а обнаружение аварийных режимов должно осуществляться гораздо быстрее, чем когда-либо ранее.

Одним из способов обеспечения наиболее оперативной разработки и тестирования с сохранением высокого качества выполняемой работы является использование так называемого моделирования энергосистемы в реальном времени.

RTDS – это специализированный комплекс, предназначенный для изучения стационарных режимов и электромагнитных переходных процессов в энергосистеме в реальном масштабе времени. Исследования энергосистем высокого напряжения переменного и постоянного тока выполняются путем цифрового моделирования процессов с использованием алгоритмов.

RTDS позволяет решать следующие задачи:

- полный цикл проверки релейной защиты, единой защиты и схем управления;
- полный цикл проверки систем управления для электрических систем постоянного тока, статических регулируемых компенсаторов, тиристорно-управляемых последовательных конденсаторов и синхронных машин;
- разработка устройств гибких систем передачи электроэнергии переменным током и связанных с ней средств управления;
- изучение работы систем переменного тока, включая режим генерации и передачи электрической энергии;
- исследование взаимодействия оборудования для энергетики;
- изучение взаимодействия между объединенными системами постоянного и переменного тока;
- обучение и тренировка инженерно-технического персонала объектов электроэнергетики.

Через устройства ввода-вывода к RTDS подключается различное внешнее оборудование, такое как измерительные устройства, релейная защита и контроллеры,

например, устройства управления регулируемых электроприводов или управляемых компенсаторов реактивной мощности. При этом условия функционирования подключенного оборудования соответствуют реальным условиям. Это позволяет тестировать функционирование устройств без их включения в реальную энергосистему.

Модели электрических систем формируются из моделей отдельных элементов. Важнейшим преимуществом RTDS является возможность представить в модели электрической системы, в частности, средства релейной защиты, автоматики и управления как в виде запрограммированных внутренних блоков RTDS, так и в виде реальных терминалов (контроллеров), которые соединяются с симулятором через аналоговые и цифровые порты ввода-вывода.

Устройства релейной защиты были первыми пользователями цифрового моделирования замкнутого цикла в реальном времени. Сегодня практически невозможно представить реализацию современных интеллектуальных устройств защиты и управления сетей со сложной конфигурацией без проверки этих устройств, оптимизации их уставок и конфигураций без помощи цифрового моделирования.

Цифровое моделирование замкнутого цикла в реальном времени является самым надежным методом наиболее оперативной разработки и тестирования для реализации новых технологий в современных энергосистемах.

Разработка защиты и автоматики энергосистем за последнее десятилетие сделала значительный шаг вперед, хотя еще большие изменения ожидают нас впереди.

Существует ряд компаний по всему миру, которые сформулировали свои требования к сертификации и методике испытаний для различных типов устройств защиты. Большая часть испытаний, которые должно (независимо от производителя) пройти сертифицируемое устройство, осуществляется на стандартизованных моделях системы при помощи RTDS. Кроме того, для ряда специальных проектов, в особенности применительно к системам сверх- и ультравысокого напряжения, выполняются проектно-ориентированные испытания.

С увеличением сложности энергосистемы методы обучения и изучения на различных этапах обучения идут в ногу с развитием и предлагают студентам новые инструменты и методы, которые позволят им лучше подготовиться к решению сложных задач при их самостоятельной работе. Многие университеты уже отметили потребность в моделировании студентом систем и событий в реальном времени и подготовили для своих студентов полный курс лекций с различными характерными примерами.

Различные энергопредприятия по всему миру признали необходимость всестороннего обучения своего персонала при введении новых технологий в энергосистеме, поскольку не могут полностью зависеть от каждого конкретного поставщика. Кроме того, возникает потребность в изучении и анализе различных событий в ходе работы системы, а также необходимость в изменении со временем некоторых параметров. Именно поэтому в практику входит заказ цифрового симулятора реального времени одновременно с приобретением готового проекта.

На данный момент системы моделирования в реальном времени имеют довольно широкое распространение в мире. Поставлено около 250 комплексов, состоящих из более чем 1100 вычислительных кассет в 36 стран мира, в том числе 8 из них в Россию. На территории Беларуси подобных комплексов не имеется, однако проводятся семинары о целесообразности их приобретения.

Литература

1 Моделирование энергосистем в реальном времени с использованием комплекса RTDS [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.digitalsubstation.com/blog/2013/12/02/modelling/>. – Дата доступа: 01.12.2016.

2 Перспективы использования современных цифровых симуляторов энергетических систем [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.энергетик.бел/index.php?newsid=976>. – Дата доступа: 03.12.2016.

3 Технический обзор комплекса RTDS [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим

доступа: <http://www.ennlab.ru/rus/product/15>. – Дата доступа: 27.11.2016.

4 Рябов, В.А. Цифровое моделирование электромеханических процессов в режиме реального времени / В.А. Рябов // Новости электротехники. – 2012. – № 4. – С. 18–23.

5 Real Time Power System Simulation [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.rtds.com/real-time-power-system-simulation/>. – Дата доступа: 21.11.2016.

УДК 621.3

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Козак С.И., Баран Ю.Г.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

За последнее время существенно изменился подход к методам диагностики электрооборудования. Наряду с традиционными методами диагностики, применяются современные высокоэффективные способы контроля, обеспечивающие выявление дефектов электрооборудования на ранней стадии их развития. К таким способам относится температурный контроль.

При обслуживании подстанций оперативный персонал ведет контроль состояния контактных соединений, как правило, по степени их нагрева в периоды прохождения максимальных токов нагрузки. Двумя другими методами (измерения падения напряжения и переходного сопротивления) пользуется ремонтный персонал. Правильность отбраковки дефектных контактов этими методами выше, чем при измерении температуры нагрева контакта.

Измерение температуры нагрева контакта производится переносным электротермометром или при помощи термосвеч, которые позволяют лишь ориентировочно определить степень нагрева. Нагрев контактных соединений контролируют при осмотрах при помощи термопленочных указателей многократного действия в закрытых распределительных устройствах (РУ) и термоуказателей однократного действия с легкоплавким припоем – на открытых РУ. В последние годы для выявления перегрева контактов используются тепловизоры и инфракрасные радиометры.

Измерение температуры токоведущих поверхностей, контактов, изоляции, частей электрооборудования контактным способом – очень опасный процесс, поэтому для данных измерений в основном использовали пирометры (бесконтактные термометры), а в настоящее время тепловизоры.

В заключение следует отметить основные преимущества тепловизионного контроля перед традиционными методами оценки состояния оборудования.

Тепловизионный контроль производится в рабочем состоянии оборудования, то есть под нагрузкой и напряжением. Результаты обследования в таком состоянии являются более достоверными, чем результаты обследований после снятия нагрузки или напряжения. Так, например, для гирлянды изоляторов нагрузкой является не только напряжение, но и тяжесть провода. Замеченное тепловизором повреждение изолятора гирлянды может оказаться незамеченным при осмотре гирлянды после снятия с опоры. Тепловизионный контроль проводится без отключения оборудования и в любое время. Поэтому тепловизионное обследование оборудования не мешает предприятию выполнять свою основную задачу по передаче и распределению электроэнергии.

Поскольку повреждения выявляются на работающем оборудовании, то имеется запас времени для подготовки вывода дефектного оборудования в ремонт, не отключая электроустановку и сокращая время ремонта до минимума.

Наряду с другими видами современной диагностики тепловизионный контроль позволяет:

- предупредить возникновение аварийных ситуаций в электрооборудовании и тем самым повысить надежность электроснабжения потребителей;
- значительно снизить затраты на ремонты, поскольку повреждения выявляются на ранних стадиях;
- оценить действительное состояние электрооборудования с определением запаса его работоспособности, что особенно актуально для оборудования, отработавшего большие сроки (15 лет и более).

УДК 621.3

ВИЗУАЛЬНЫЕ ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Румянцев В.О.

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

Визуальное программирование – способ создания программы для ЭВМ путем манипулирования графическими объектами вместо написания ее текста. Визуальное программирование часто представляют, как следующий этап развития текстовых языков программирования. В последнее время визуальному программированию стали уделять больше внимания – в связи с развитием мобильных сенсорных устройств.

Визуальное программирование в основном используется для создания программ с графическим интерфейсом для операционных систем с графическим интерфейсом пользователя. Среда визуального программирования позволяет написать Веб-приложение для браузеров. Среда визуального программирования позволяет создать консольное приложение (программа без графического интерфейса и без вывода сообщений в консоль) для программирования микроконтроллеров, программируемых микросхем.

Визуализация – это процесс графического отображения (построения) сложных процессов на экране компьютера в виде графических примитивов (графических фигур). Визуализировать можно абсолютно любые процессы: управления, построения, рисования и т. д.

Визуальное программирование – способ создания приложений без написания программных кодов. Часто под визуальным программированием понимают технологию программирования, предоставляющую программисту наглядные средства конструирования интерфейса. При этом программист показывает, что должно получиться в результате, а текст программы генерируется автоматически с помощью визуального прототипа. При таком способе программирование осуществляется помещением на специальные формы объектов и настройкой их свойств и поведения.

Объектно-ориентированное программирование удачно использует концепцию визуального программирования.

Для визуализации интерфейсов программного обеспечения существует целый ряд специально разработанных элементов интерфейса – визуальных компонент, позволяющих отображать различную информацию и осуществлять управление программой в целом. Простейший пример – визуальная кнопка на экране компьютера. Данная кнопка имитирует поведение обычной кнопки на пульте управления любого прибора. Ее можно нажимать как настоящую.

В настоящее время распространено большое количество систем визуального программирования. Это системы программирования для языков C++ (фирм Borland, Microsoft, Symantec), Basic (фирмы Microsoft), Pascal/Delphi (фирмы Borland). Кроме языков программирования, визуальный подход используется и в других системах (VisualFoxPro, Paradox для Windows, программы пакета Microsoft Office).

Ladder Diagram – язык релейной (лестничной) логики предназначен для программирования промышленных контроллеров (ПЛК). Синтаксис языка удобен для замены логических схем, выполненных на релейной технике. Ориентирован на инженеров по автоматизации, работающих на промышленных предприятиях. Обеспечивает наглядный интерфейс логики работы контроллера, облегчающий не только задачи собственно программирования и ввода в эксплуатацию, но и быстрый поиск неполадок в подключаемом к контроллеру оборудовании.

Программа на языке релейной логики имеет наглядный и интуитивно понятный инженерам-электрикам графический интерфейс, представляющий логические операции, как электрическую цепь с замкнутыми и разомкнутыми контактами. Протекание или отсутствие тока в этой цепи соответствует результату логической операции (истина – если ток течет; ложь – если ток не течет).

Основными элементами языка являются контакты, которые можно образно уподобить паре контактов реле или кнопки. Пара контактов отождествляется с логической переменной, а состояние этой пары – со значением переменной.

VisSim – визуальный язык программирования, предназначенный для моделирования динамических систем, а также проектирования, базирующегося на моделях, для встроенных микропроцессоров. VisSim сочетает в себе характерный для Windows интуитивный интерфейс для создания блочных диаграмм и мощное моделирующее ядро. Язык разработан американской компанией Visual Solutions, которая находится в Уэстфорде.

Язык и программная среда VisSim широко используется в разработке систем управления и цифровой обработки сигналов для моделирования и дизайна. Она включает в себя блоки для арифметики, булевых и трансцендентных функций, а также цифровые фильтры, передаточные функции, численного интегрирования и интерактивного вывода.

Основными областями моделирования являются эрокоsmическая, биологическая, медицинская, Digital Power, электродвигатели, электрические, гидравлические, механические, тепловые процессы, эконометрика.

Академическая программа VisSim предоставляет образовательным институтам бесплатную лицензию на VisSim версии 3.0. Более поздние версии VisSim и расширения также доступны для студентов и научных учреждений по значительно сниженным ценам.

Свободно распространяемый VisSim Viewer предоставляет возможность обмениваться моделями с коллегами и клиентами, не имеющими лицензии VisSim. Viewer способен выполнить любую модель VisSim и при этом позволяет изменять параметры блоков и модели, чтобы проиллюстрировать различные сценарии. Если модель содержит бегунки и кнопки, то они также будут активны.

Построение модели – это способ визуального представления некоторой ситуации. При построении модели, вместо вывода и решения системы уравнений для решения проблемы, используются графические блоки. Сила этого метода особенно хорошо проявляется на задачах, обычно содержащих математические уравнения, решение которых представляется сложным или проблематичным. Однако, если может быть построена модель, которая иллюстрирует данную ситуацию, то становится понятно, где искать решение, и иногда оно становится просто очевидным.

Программный комплекс JMCAD успешно применяется для проектирования систем автоматического управления, следящих приводов и роботов-манипуляторов, тепловых энергетических установок, а также для решения нестационарных краевых задач (теплопроводность, гидродинамика и др.).

Широко используется в учебном процессе, позволяя моделировать различные явления в физике, электротехнике, в динамике машин и механизмов и т. д. Может функционировать в кластерах, в том числе и в режиме удаленного доступа к технологическим и информационным ресурсам.

Версии JMCAD доступны с исходными текстами ядра, библиотек и является открытой системой с полной документацией и набором демонстрационных примеров. Также в состав комплекса входят модули для обеспечения максимальной производительности и контроля в реальном времени (JMCADRTS, JMCADRTC).

Литература

1 Ахметзянов, И.М. Визуальное программирование / И.М. Ахметзянов, И.К. Ракова, В.Н. Гусев // Программирование... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2008. – № 6. – С. 121–126.

2 Баранов, В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы / В.Н. Баранов. – 2-е изд., испр – М.: Издательский дом «Додэка», 2006. – 288 с.

УДК 621.3

ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ СХЕМ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Скурчаев А.Ф., Башаркевич Я.В.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Для электроснабжения потребителей собственных нужд (СН) электростанций производится отбор мощности на генераторном напряжении. Питание РУ (распределительных устройств) собственных нужд осуществляется от трансформаторов (токоограничивающих реакторов), которые работают раздельно.

Для питания потребителей СН используются два уровня напряжения: 6 кВ – для питания мощных электродвигателей (более 200 кВт), 0,4 кВ – для остальных потребителей меньшей мощности.

На ТЭС примерно две третьих всей мощности СН идет на обслуживание основного теплосилового оборудования и только оставшаяся одна третья часть – на обслуживание потребителей общестанционного назначения.

Схема СН блочных ТЭС (рисунок 1), как и их главная электрическая схема, строится по блочному принципу – точка присоединения рабочих трансформаторов СН находится между генератором и блочным трансформатором. Распределительное устройство 6 кВ СН выполняется по схеме с одной секционированной системой сборных шин.

Наиболее мощными рабочими механизмами СН на ТЭС являются: питательные, циркуляционные и сетевые насосы; воздухоподогреватели; механизмы тягодутьевой группы. Механизмы СН каждого блока питаются от двух и более секций. Это сделано для того, чтобы при аварии (ремонте) одной из секций блок оставался в работе.

Механизмы СН каждого блока питаются от двух и более секций. Это сделано для того, чтобы при аварии (ремонте) одной из секций блок оставался в работе. Как уже было сказано выше, к секциям РУ 6 кВ подключаются электродвигатели мощностью 200 кВт и выше и трансформаторы второй ступени трансформации (с 6 на 0,4 кВ).

Резервное питание секций РУ СН 6 кВ осуществляется по резервным магистралям, которые присоединяются к резервным трансформаторам СН.

Число резервных трансформаторов СН определяется числом установленных на электростанции энергоблоков (энергоблоки выполняются с генераторным выключателем).

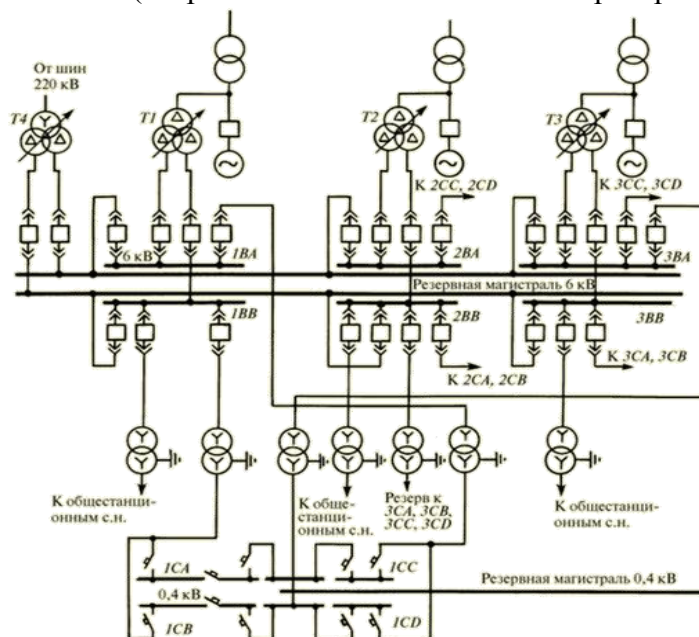


Рисунок 1 – Схема собственных нужд станции с тремя энергоблоками

Все потребители СН АЭС по степени надежности электроснабжения и допустимому времени перерыва питания (отсутствия напряжения) разделяются на три основные группы.

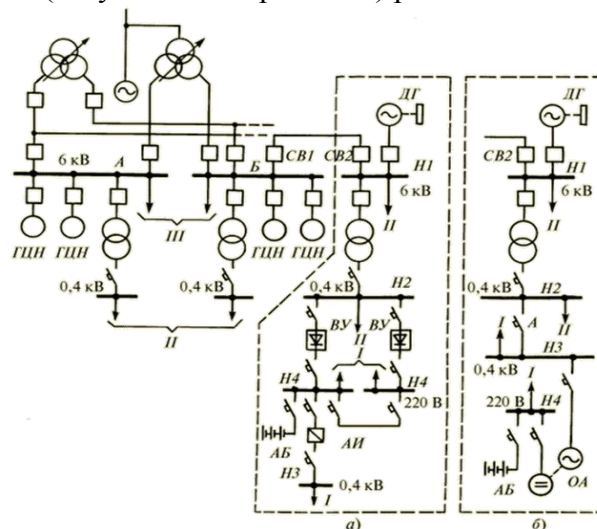


Рисунок 3 – Принципиальная схема электроснабжения
собственных нужд АЭС

Электроснабжение наиболее ответственных потребителей СН ПС (цепей управления, защиты, телемеханики, связи, пожаротушения) осуществляется от сети переменного тока через стабилизаторы напряжения и выпрямители или от независимого источника – аккумуляторной батареи. В последнем случае предусматриваются преобразователи для ее заряда.

Подзарядное выпрямительное устройство включается между шинами АБ и шинами 0,4 кВ системы СН. В этом случае в нормальных условиях питание потребителей оперативного тока происходит от сети через выпрямительное устройство, а АБ воспринимает «толчковую» нагрузку (например, при включении выключателей). При исчезновении напряжения переменного тока и отключении подзарядного устройства АБ принимает на себя всю нагрузку.

На рисунке 4 представлена схема питания СН ПС. На ПС с оперативным переменным током (ПС на напряжения 35–220 кВ без выключателей на высшем напряжении) трансформаторы СН с помощью отпайки присоединяются к выводам главных трансформаторов, что обеспечивает питание цепей управления при потере напряжения на шинах 6–10 кВ. Шины 0,4 кВ секционируются, оперативные цепи переменного тока питаются через стабилизаторы напряжения СТ.

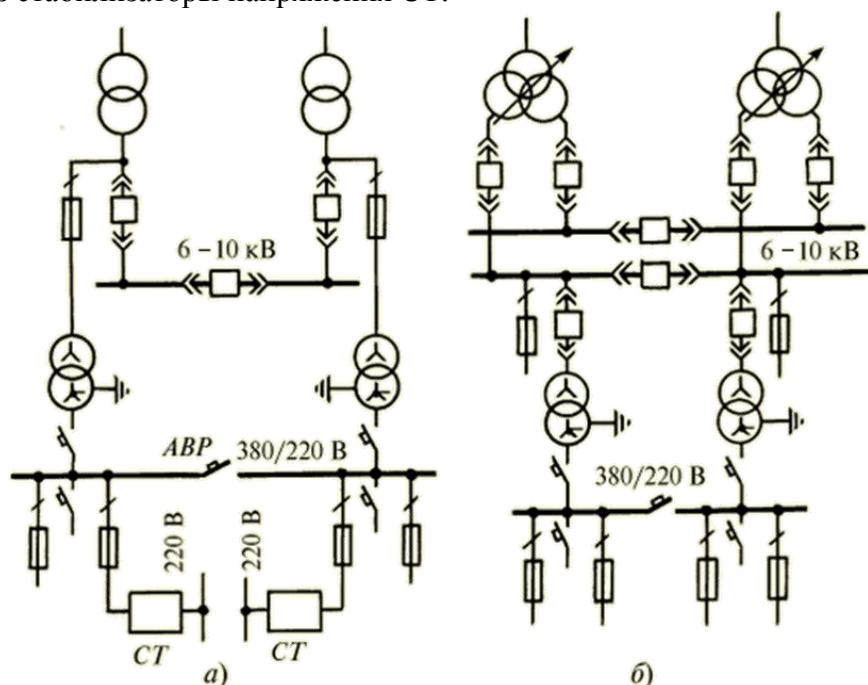


Рисунок – 4 Схемы питания собственных нужд подстанций
 а – с оперативным постоянным током; б – с оперативным переменным током

На ПС с оперативным постоянным током трансформаторы СН присоединяются к шинам 6–10 кВ РУ НН, от которого осуществляется электроснабжение местной нагрузки. Постоянный оперативный ток применяется на всех ПС с высшим напряжением 330–750, 110–220 кВ с числом масляных выключателей три и более, 35–220 кВ с воздушными выключателями.

Литература

- 1 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций: учеб. пособие для вузов / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
- 2 Балаков, Ю.Н. Коммутационные узлы энергосистем / Ю.Н. Балаков. – М.: Энергия, 1997. – 183 с.

УДК 621.3

СПОСОБЫ КОМПЕНСАЦИИ ОДНОФАЗНОГО ТОКА НА ЗЕМЛЮ

Струнец К.П.

Научный руководитель – к.т.н., профессор СИЛЮК С.М.

В настоящее время используются три способа заземления нейтрали в рассматриваемых сетях: изолированная, компенсированная и резистивно-заземленная, начинает применяться и четвертый с резистором и дугогасящим реактором в нейтрали. Установлено, что существует 4 вида заземления нейтрали:

- изолированная;
- глухозаземленная;
- заземленная через дугогасящий реактор;
- заземленная через резистор.

Рассмотрим подробнее способы заземления нейтрали и дадим им общую характеристику.

Изолированная нейтраль. При этом способе нейтральная точка источника (генератора или трансформатора) не присоединена к контуру заземления. В распределительных сетях 6–10 кВ обмотки питающих трансформаторов, как правило, соединяются в треугольник, поэтому нейтральная точка физически отсутствует.

Достоинством такой сети являются: отсутствие необходимости в немедленном отключении первого однофазного замыкания на землю, малый ток в месте повреждения (при малой емкости сети на землю).

Недостатками такой сети являются: возможность возникновения дуговых перенапряжений при перемежающемся характере дуги с малым током в месте однофазного замыкания на землю; возможность возникновения множественных повреждений (выход из строя нескольких электродвигателей, кабелей) из-за пробоев изоляции на других присоединениях, связанных с дуговыми перенапряжениями; возможность длительного воздействия на изоляцию дуговых перенапряжений, что ведет к накоплению в ней дефектов и снижению срока службы; необходимость выполнения изоляции электрооборудования относительно земли на линейное напряжение; сложность обнаружения места повреждения; опасность электропоражения персонала и посторонних лиц при длительном существовании замыкания на землю в сети; сложность обеспечения правильной работы релейных защит от однофазных замыканий, так как реальный ток замыкания на землю зависит от режима работы сети (числа включенных присоединений).

Недостатки режима работы с изолированной нейтралью весьма существенны, а такое достоинство, как отсутствие необходимости отключения первого замыкания, достаточно спорно. Так, всегда есть вероятность возникновения второго замыкания на другом присоединении из-за перенапряжений и отключения сразу двух кабелей, электродвигателей или воздушных линий.

Нейтраль, заземленная через дугогасящий реактор. Этот способ заземления нейтрали, как правило, находит применение в разветвленных кабельных сетях промышленных предприятий и городов. При этом способе нейтральную точку сети получают, используя специальный трансформатор.

Достоинствами этого метода заземления нейтрали являются: отсутствие необходимости в немедленном отключении первого однофазного замыкания на землю; малый ток в месте повреждения; возможность самоликвидации однофазного замыкания, возникшего на воздушной линии или ошиновке; исключение феррорезонансных процессов, связанных с насыщением трансформаторов напряжения и неполнофазными включениями силовых трансформаторов.

Недостатками этого режима заземления нейтрали являются: возникновение дуговых перенапряжений при значительной расстройке компенсации; возможность возникновения множественных повреждений при длительном существовании дугового замыкания в сети;

возможность перехода однофазного замыкания в двухфазное при значительной расстройке компенсации; возможность значительных смещений нейтрали при недокомпенсации и возникновении неполнофазных режимов; возможность значительных смещений нейтрали при резонансной настройке в воздушных сетях; сложность обнаружения места повреждения; опасность электропоражения персонала и посторонних лиц при длительном существовании замыкания на землю в сети; сложность обеспечения правильной работы релейных защит от однофазных замыканий, так как ток поврежденного присоединения очень незначителен.

Нейтраль, заземленная через резистор (высокоомный или низкоомный). Этот режим заземления используется очень редко, только в некоторых сетях собственных нужд блочных электростанций и сетях газоперекачивающих компрессорных станций. В то же время, если оценивать мировую практику, то резистивное заземление нейтрали – это наиболее широко применяемый способ.

Достоинствами резистивного заземления нейтрали являются отсутствие дуговых перенапряжений высокой кратности и множественных повреждений в сети, отсутствие необходимости в отключении первого однофазного замыкания на землю (только для высокоомного заземления нейтрали), исключение феррорезонансных процессов и повреждений трансформаторов напряжения, уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц при однофазном замыкании (только для низкоомного заземления и быстрого селективного отключения повреждения), практически полное исключение возможности перехода однофазного замыкания в многофазное (только для низкоомного заземления и быстрого селективного отключения повреждения), простое выполнение чувствительной и селективной релейной защиты от однофазных замыканий на землю, основанной на токовом принципе.

Недостатками резистивного режима заземления нейтрали являются: увеличение тока в месте повреждения; необходимость в отключении однофазных замыканий (только для низкоомного заземления); ограничение на развитие сети (только для высокоомного заземления).

Отсутствие дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях и возможность организации селективной релейной защиты являются неоспоримыми преимуществами режима резистивного заземления нейтрали. Именно эти преимущества способствовали широкому распространению такого режима заземления нейтрали в разных странах.

Литература

1 Маньков, В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения [Текст]: Справочное пособие / В.Д. Маньков. – СПб.: ЭлектроСервис, 2010. – 664 с.

2 Методические указания по заземлению сетей 6–35 кВ Белорусской энергосистемы через резистор: СТП 09110.20.187-09. ; введ. 01.03.10. – Минск: НИПИ РУ1 «Белэнергосетьпроект», 2009. – 182 с.

УДК 621.3

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Файлер Р.В.

Научный руководитель – к.т.н., профессор СИЛЮК С.М.

При использовании атомной энергии, как и при использовании любого другого вида энергии, должен быть поставлен надежный заслон самой возможности отрицательного воздействия на человека новой техники и технологии. Применительно к атомной энергии – это комплекс мероприятий, предотвращающий вредное воздействие ионизирующих излучений на человека и объекты окружающей среды. Таким заслоном в атомной технике является система радиационной безопасности.

Радиоактивные выбросы АЭС и других объектов атомной промышленности значительно ниже регламентируемых. Система транспортирования и захоронения радиоактивных отходов достаточно надежно обеспечивает их локализацию и препятствует распространению радионуклидов по объектам окружающей среды.

Радиационная безопасность является одним из разделов техники безопасности. Из перечисленных задач следует, что для их решения необходимы компетенция и усилия специалистов различных отраслей знаний – радиобиологов, физиков, математиков, инженеров и гигиенистов.

Безусловно, что АЭС, как и любая электростанция другого типа, оказывают определенное влияние на окружающую среду. Однако в действии атомных станций нет ничего специфического, характерного только для них.

Рассмотрим, какой вклад в повышение уровня облучения дает использование каменного угля, при сгорании которого выделяется гораздо больше частиц, чем при сгорании любого другого вида топлива, вследствие высокого содержания в нем золы. Годовое потребление угля в мире составляет несколько миллиардов тонн, из которых 70 % сжигается в топках электростанций, 20 % в коксовальных печах и 10 % используется для целей отопления. Современная тепловая электростанция (ТЭС), работающая на угле, потребляет 3 млн. т угля на производство 1 ГВт электроэнергии в год и выбрасывает 0,1 млн. т золы в воздух.

В золе угля содержание естественных радионуклидов возрастает примерно на порядок величины вследствие исключения органического компонента при его сжигании. Среднеарифметическая концентрация естественных радионуклидов в летучей фракции золы приведена в таблице 1. Рассеиваясь в атмосфере вместе с золой, естественные радионуклиды становятся источником дополнительного облучения населения, проживающего в районе расположения ТЭС, в первую очередь за счет ингаляционного поступления при прохождении шлейфа выброса. Наряду с этим выпадающие на поверхность земли естественные радионуклиды поступают в организм человека с пищевыми продуктами, вдыхаемым воздухом и питьевой водой.

Таблица 1 – Концентрация естественных радионуклидов в летучей фракции золы, образующейся при сжигании угля

Нуклид	Концентрация		Нуклид	Концентрация	
	Бк/кг	Ку/кг		Бк/кг	Ку/кг
^{40}K	265	$7,2 \cdot 10^{-9}$	^{210}Po	1700	$4,6 \cdot 10^{-8}$
^{238}U	200	$5,4 \cdot 10^{-9}$	^{232}Th	70	$1,9 \cdot 10^{-9}$
^{226}Ra	226	$5,9 \cdot 10^{-9}$	^{228}Th	110	$3,0 \cdot 10^{-9}$
^{210}Pb	930	$2,5 \cdot 10^{-8}$	^{228}Th	130	$3,5 \cdot 10^{-9}$

При практическом использовании атомной энергии человек, как правило, подвергается воздействию малых доз ионизирующего излучения, за исключением крайне редких,

единичных случаев воздействия больших доз излучения. При облучении людей в малых дозах нельзя обнаружить каких-либо видимых изменений в состоянии здоровья данного индивидуума сразу же после облучения. Эффекты облучения в этом случае проявляются через много лет в виде отдаленных последствий, которые носят стохастический характер. Для стохастических эффектов нельзя установить четкую причинную связь между лучевым воздействием и реакцией организма для данного индивидуума. Она может быть выявлена только на основе статистического анализа последствий воздействия ионизирующего излучения на большой контингент людей.

В настоящее время концепция беспорогового действия радиации является официальной доктриной, на базе которой ведется нормирование, оцениваются возможные неблагоприятные последствия при развитии тех или иных направлений атомной техники и на этой основе принимаются рекомендации по радиационной защите.

Помимо технических мер, направленных на повышение уровня безопасности АЭС, нужна постоянная информация о работе ядерных реактивов, остановках блоков, их причинах. В регионах, где намечается строительство АЭС, необходимо проводить широкое общественное обсуждение, т. к. атомная энергетика не может развиваться без поддержки со стороны населения. Обсуждение проблем ядерной энергетике и участие населения в этом процессе требуют определенных знаний о социальных, экологических, экономических аспектах энергетике.

В 2015 году Указом Президента Республики Беларусь от 16.02.2015 №62 «Об обеспечении безопасности при сооружении Белорусской атомной электростанции» введен особый порядок организации и осуществления контроля (надзора) за обеспечением безопасности при ее сооружении и вводе в эксплуатацию, который позволил всем надзорным органам осуществлять постоянный контроль (надзор) в своей сфере с применением санкций и иных мер воздействия. Порядок его организации и осуществления определен отдельным Положением, которое утверждено постановлением Правительства

Установлены 2 вида проверок – комплексные и в режиме постоянного контроля. Комплексные проверки осуществляются контролирующими органами по решению рабочей группы для координации надзора за строительством Белорусской АЭС в соответствии со своей компетенцией на основании программы проверки. Их особенность в том, что в них одновременно участвуют сразу несколько надзорных органов, что позволяет получить одномоментную полную картину обеспечения безопасности Белорусской АЭС с учетом многих аспектов, связанных между собой и влияющих друг на друга. Проверки в режиме постоянного контроля (надзора) осуществляются надзорными органами с целью оперативной оценки состояния безопасности в целях предупреждения и пресечения нарушений и устранения их последствий с периодичностью, устанавливаемой надзорными органами. Эти проверки проводятся в рамках компетенции надзорных органов, которые самостоятельно устанавливают требования к их проведению.

Литература

1 Гродненский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: http://gigiena.inbel.biz/state/AC:DS_SELECTED_ID..DS_START_INDEX.295/1781339987. – Дата доступа: 12.12.2016.

2 Госатомнадзор [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: http://www.gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/The_review_of_a_status_of_NRS_in_Belarus_2015_ru.pdf. – Дата доступа: 12.12.2016.

УДК 621.3

НАЗНАЧЕНИЕ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Чемерко П.П.

Научный руководитель – ПОТАЧИЦ Я.В.

Основные потребители электрической энергии, кроме активной мощности, потребляют от генераторов системы реактивную мощность. К числу потребителей, требующих большие намагничивающие реактивные токи для создания и поддержания магнитного потока, относятся асинхронные двигатели, трансформаторы, индукционные печи и другие. В связи с этим распределительные сети обычно работают с отстающим током.

Реактивная мощность, вырабатываемая генератором, получается с наименьшими затратами. Однако передача реактивной мощности от генераторов связана с дополнительными потерями в трансформаторах и линиях передач. Поэтому для получения реактивной мощности становится экономически выгодным применение синхронных компенсаторов, располагаемых на узловых подстанциях системы или непосредственно у потребителей.

Синхронные двигатели благодаря возбуждению постоянным током они могут работать с $\cos \varphi = 1$ и не потребляют при этом реактивной мощности из сети, а при работе, с перевозбуждением отдают реактивную мощность в сеть. В результате улучшается коэффициент мощности сети и уменьшаются падение напряжения и потери в ней, а также повышается коэффициент мощности генераторов, работающих на электростанциях.

Синхронные компенсаторы предназначены для компенсации коэффициента мощности сети и поддержания нормального уровня напряжения сети в районах сосредоточения потребительских нагрузок.

Синхронным компенсатор – синхронная машина, работающая в двигательном режиме без нагрузки на валу при изменяющемся токе возбуждения.

В перевозбужденном режиме ток опережает напряжение сети, то есть является по отношению к этому напряжению емкостным, а в недовозбужденных – отстающим, индуктивным. В таком режиме синхронная машина превращается в компенсатор – в генератор реактивного тока.

Нормальным являемся перевозбужденный режим работы синхронного компенсатора, когда он отдает в сеть реактивную мощность.

Синхронные компенсаторы лишены приводных двигателей и с точки зрения режима своей работы в сущности являются синхронными двигателями, работающими на холостом ходу.

В связи с этим компенсаторы, как и служащие для этих же целей батареи конденсаторов, устанавливаемые на потребительских подстанциях, называют также генераторами реактивной мощности. Однако в периоды спада потребительских нагрузок (например, ночью) нередко возникает необходимость работы синхронных компенсаторов также в недовозбужденном режиме, когда они потребляют из сети индуктивный ток и реактивную мощность, так как в этих случаях напряжение сети стремится возрасти и для поддержания его на нормальном уровне необходимо загрузить сеть индуктивными токами, вызывающими в ней дополнительные падения напряжения.

Для этого каждый синхронный компенсатор снабжается автоматическим регулятором возбуждения или напряжения, который регулирует величину его тока возбуждения так, что напряжение на зажимах компенсатора остается постоянным.

Помимо компенсации реактивных токов индуктивных промышленных нагрузок, синхронные компенсаторы необходимы на ЛЭП. В длинных ЛЭП при малых нагрузках преобладает емкость линии, и они работают с опережающим током. Для того чтобы компенсировать этот ток, синхронный компенсатор должен работать с отстающим током, то есть недовозбужденным.

При значительной нагрузке ЛЭП, когда преобладает индуктивность потребителей электроэнергии, ЛЭП работает с отстающим током. В этом случае синхронный компенсатор должен работать с опережающим током, т. е. перевозбужденным.

Изменение нагрузки на ЛЭП вызывает изменение потоков реактивных мощностей по величине и фазе, приводит к значительным колебаниям напряжения в линии. В связи с этим возникает необходимость его регулирования.

Синхронные компенсаторы обычно устанавливают на районных подстанциях.

Для регулирования напряжения в конце или середине транзитных ЛЭП могут быть созданы промежуточные подстанции с синхронными компенсаторами, которые должны регулировать либо поддерживать напряжение неизменным.

Работа таких синхронных компенсаторов автоматизируется, в связи с чем создается возможность плавного автоматического регулирования величины вырабатываемой реактивной мощности и напряжения.

Для осуществления асинхронного пуска все синхронные компенсаторы снабжаются пусковыми обмотками в полюсных наконечниках или их полюсы делаются массивными. При этом используется способ прямого, а в необходимых случаях – способ реакторного пуска.

В некоторых случаях мощные компенсаторы пускаются в ход также с помощью пусковых фазных асинхронных двигателей, укрепляемых с ними на одном валу. Для синхронизации с сетью при этом обычно используется метод самосинхронизации.

Так как синхронные компенсаторы не развивают активной мощности, то вопрос о статической устойчивости работы для них теряет остроту. Поэтому они изготавливаются с меньшим воздушным зазором, чем генераторы и двигатели. Уменьшение зазора позволяет облегчить обмотку возбуждения и удешевить машину.

Номинальная полная мощность синхронного компенсатора соответствует его работе с перевозбуждением, то есть номинальной мощностью синхронного компенсатора считается его реактивная мощность при опережающем токе, которую он может длительно нести в рабочем режиме.

Наибольшие значения тока и мощности в недовозбужденном режиме получаются при работе в реактивном режиме.

В большинстве случаев в недовозбужденном режиме требуются меньшие мощности, чем в перевозбужденном, но в некоторых случаях необходима большая мощность. Этого можно достигнуть увеличением зазора, однако это приводит к удорожанию машины, и поэтому в последнее время ставится вопрос об использовании режима с отрицательным током возбуждения. Поскольку синхронный компенсатор по активной мощности загружен только потерями, то, согласно он может работать устойчиво также с небольшим отрицательным возбуждением.

Литература

- 1 Васильев, А.А. Электрическая часть станций и подстанций: учеб. пособие для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
- 2 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций. / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. – 3-е изд., 1987. – 648 с.

УДК 621.3

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДНИКАМИ

Мартинайтис А.Э.

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

Типовыми решениями в открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением 35 кВ и выше в качестве токоведущих частей рекомендуются гибкие проводники тех же марок и сечений, что и для воздушных линий электропередачи ЛЭП. При указанных напряжениях в ОРУ с жесткой ошиновкой требуется большое количество опорных изоляторов. Опорные изоляторы и жесткие шины сравнительно дороги. 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. Они подвержены также ветровому резонансу, для борьбы с которым применяются специальные гасители вибрации.

Оценка электродинамической стойкости расщепленных проводов воздушных линий заключается в проверке их схлестывания и механической прочности. Для проверки схлестывания нужно выявить наибольший размах колебаний при коротких замыканиях (КЗ). Небольшие (на порядок меньше междуфазных) расстояния между проводами расщепленной фазы обуславливают большие электродинамические усилия, действующие внутри расщепленной фазы при КЗ. Испытания в опытных пролетах показали, что при определенном сочетании конструктивных параметров расщепленной фазы и величины токов КЗ возникает схлестывание проводов. После схлестывания провода фазы двигаются под действием междуфазных электродинамических усилий (ЭДУ). В момент максимального стягивания проводов в пучке под действием внутрифазных ЭДУ происходит резкое увеличение тяжения фаз.

Под электродинамической стойкостью гибких проводов электроустановок понимают их способность противостоять электродинамическому действию токов КЗ до и после автоматического отключения цепи КЗ без повреждений. ПУЭ указывает на ток КЗ в 20 кА, по достижении которого необходимо производить расчет гибких шин на электродинамическую стойкость. С возрастанием токов КЗ их электродинамическое действие становится ключевым фактором, определяющим габариты и механические характеристики токоведущих конструкций с гибкими проводами при проектировании.

В проектной и эксплуатационной практике для системы подвешенных проводов распределительных устройств (РУ) применяется термин «гибкая ошиновка». Широкое применение гибкой ошиновки в ОРУ напряжением 35 кВ и выше объясняется ее универсальностью, простотой монтажа, высокой механической прочностью. Внедрение глубоких вводов 110–220 кВ в большие города и крупные промышленные предприятия и размещение ТЭЦ и ГРЭС на стесненных площадках, при неблагоприятных условиях работы изоляции, привели к необходимости применения закрытых РУ (ЗРУ), аппараты и ошиновка которых размещаются в специальном помещении. В настоящее время ЗРУ 110–220 кВ сооружаются, как правило, с применением оборудования и ошиновки, предназначенных для ОРУ.

Анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований позволяет составить подробную картину поведения гибких проводов при КЗ. В траекториях движения проводов выделяют два участка. На первом провода движутся с ускорением под действием электродинамических усилий (ЭДУ). Началом второго участка является положение провода в момент отключения КЗ. После отключения движение провода определяется сочетанием действия инерционных и упругих сил и тяжения провода. Из-за влияния температурных удлинений проводов, податливости опор, а также изменения формы проводов и гирлянд изоляторов траектории движения гибких проводников приобретают более сложную форму.

При компьютерных расчетах большое количество времени тратится на сбор массива исходных данных, а также на анализ результатов расчета. В проектной практике целесообразно применение упрощенных методов расчета параметров электродинамической стойкости гибких шин, реализованных в виде простых формул и таблиц. Практика применения упрощенных методик одобрена в международном и межгосударственном стандартах.

В общем случае провода движутся по разным траекториям с различной угловой скоростью из-за влияния ветра, наличия отпаяк в пролете и несимметричности пролета. Наиболее сближенными при КЗ могут оказаться провода сборных шин одной фазы с проводами спусков соседней фазы.

Следует заметить, что для расчета параметров электродинамической стойкости в случае пролетов со спусками предпочтительным является использование компьютерных программ. Упрощенные методы расчета позволяют определить только предельные отклонения гибких шин в таких пролетах.

Наиболее слабыми по механической прочности элементами являются опорные конструкции и аппараты РУ. Поэтому для них динамические усилия при КЗ наиболее опасны. При определении их механической прочности расчетные максимальные моменты и перерезывающие силы в любом сечении сравниваются с допустимыми значениями.

Гибкие шины распределительных устройств (РУ) обладают существенной гибкостью и могут принимать форму, обусловленную действием распределенных электродинамических усилий (ЭДУ), возникающих при коротком замыкании. Поэтому динамика гибких шин в общем случае описывается с использованием расчетной модели гибкой нити с распределенной по длине массой. Движение гибкой нити под воздействием распределенных нагрузок описывается дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных. Получить решение таких уравнений можно лишь численными методами.

Гибкая ошиновка с расщепленной фазой моделируется одной нитью с эквивалентной массой, включающей в себя массы фазных проводников и дистанционных распорок, масса которых распределяется равномерно по всей длине проводов.

Подавляющее большинство пролетов гибкой ошиновки распределительных устройств высокого напряжения расположены в горизонтальной плоскости. Для расчета их электродинамической стойкости широко применяются упрощенные методы расчета, основанные на представлении провода сосредоточенной массой или физическим маятником. Они положены в основу межгосударственного и республиканского стандартов на расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств.

В ходе данной работе было рассмотрено электродинамическое действие токов КЗ на гибкие проводники, условия и параметры электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств, упрощенный расчет максимальных тяжений шин при коротком замыкании.

Литература

1 Сергей, И.И. Упрощенный расчет максимальных тяжений проводов на двух стадиях их движения при коротком замыкании / И.И. Сергей, А.П. Андрукевич, Е.Г. Пономаренко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 6. – С. 12–26.

2 Васильев, А.А. Электрическая часть станций и подстанций: учеб. пособие для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

УДК 621.3

БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ

Севрук Д.А.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Котельная установка представляет собой комплекс устройств, размещенных в специальных помещениях и служащих для преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию пара или горячей воды.

Блочно-модульные котельные – это установки полной заводской готовности, предназначенные для отопления и горячего водоснабжения объектов производственного, жилищного и социального назначения. Блочно-модульные котельные являются конструкцией, представляющей из себя набор модулей, которые при поставке заказчику и дальнейшей сборке образуют готовую к эксплуатации производственную мощность.

Основные элементы котельной установки – котел, топочное устройство (топка), питательные и тягодутьевые устройства. Топочное устройство служит для сжигания топлива и превращения его химической энергии в тепло нагретых газов. Питательные устройства (насосы, инжекторы) предназначены для подачи воды в котел. Тягодутьевое устройство состоит из дутьевых вентиляторов, системы газовоздуховодов, дымососов и дымовой трубы, с помощью которых обеспечиваются подача необходимого количества воздуха в топку и движение продуктов сгорания по газоходам котла, а также удаление их в атмосферу. Продукты сгорания, перемещаясь по газоходам и соприкасаясь с поверхностью нагрева, передают тепло воде.

За внешней простотой водогрейного модуля скрывается оптимальная схема теплообмена, что позволяет получить КПД 94 %, не падающее в течение всего срока эксплуатации. Универсальность конструкции водогрейных котлов способствует тому, что водогрейные котлы одинаково успешно применяются как для технологических нужд (сушки пиломатериалов или топлива), так и для отопления зданий.

Преимущества блочных котельных заключается в отсутствии тепловых магистралей, теряющих до 7 % тепла и обслуживании которых достигает 60 % в оплате за теплоснабжение. Компактность установки блочно-модульных котельных сводит к минимуму монтажные и пусконаладочные работы. Оптимизация всех режимов работы и подбор оборудования позволяют снизить стоимость котельной, что в сочетании с возможностями современной автоматики позволяет значительно повысить КПД.

Котельная на биотопливе предназначена для получения тепловой энергии путем сжигания биотоплива и передачи ее потребителю посредством нагретого теплоносителя с целью отопления жилых и производственных зданий, а также технологических помещений с температурой 95–115 °С. Доставка биотоплива к котельной осуществляется автотранспортом с использованием самосвальных прицепов, обеспечивающих как боковую, так и заднюю выгрузку топлива в механизированный приемник. Приемник имеет защитную откидывающуюся крышку. Открытие крышки перед загрузкой топлива осуществляется механическим приводом. Загруженное в приемник топливо перемещается при помощи подвижных стокеров на наклонный скребковый транспортер, который поднимает топливо к оперативному бункеру-дозатору и далее шнековым транспортером в котлы. В качестве биотоплива используются возобновляемые энергетические ресурсы, такие как торф (кусовой и фрезерный), отходы лесопиления (кора, щепа, опилки). На птицеводческих хозяйствах в качестве топлива можно применять подстилочный материал.

Каждая модульная котельная имеет высокий КПД и автоматически обеспечивает оптимальный режим работы всего отопительного оборудования. Блочные модульные котельные давно и успешно эксплуатируются, обеспечивая тепловой энергией производственные предприятия и объекты жилищно-коммунального хозяйства.

УДК 621.3

ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ОРУ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА БАЗЕ КОМПАКТНОГО МОДУЛЯ КМ-ОРУ-110

Чернявская А.Г.

Научный руководитель – ПОТАЧИЦ Я.В.

Открытое распределительное устройство (ОРУ) – распределительное устройство, оборудование которого располагается на открытом воздухе. Все элементы ОРУ размещаются на бетонных или металлических основаниях. Расстояния между элементами выбираются согласно ПУЭ. Сборные шины ОРУ могут выполняться как в виде жестких труб, так и в виде гибких проводов. Жесткие трубы крепятся на стойках с помощью опорных изоляторов, а гибкие подвешиваются на порталы с помощью подвесных изоляторов. Территория, на которой располагается ОРУ, в обязательном порядке огораживается.

Кроме двух основных (традиционных) решений конструкции ОРУ, существует так же и компактное решение, которое может быть реализовано с применением компонентов открытой установки и с элегазовой изоляцией. Примером такого решения является концепция компактного модуля для открытых распределительных устройств типа КМ-ОРУ-110 производства ЗАО «ЗЭТО». Модуль компактный принят межведомственной комиссией и соответствует ТУ3414-061-49040910-2007, согласованным ОАО «ФСК ЕЭС».

Модули предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, номинальным напряжением 110 кВ, в составе подстанции и используются для электроснабжения промышленных и коммунальных потребителей, сельскохозяйственных районов и крупных строителей, а также на стороне 110 кВ крупных сетевых подстанций и, при соответствующих условиях, на электрических станциях. Концепция модуля позволяет выполнять ОРУ 110 кВ в любой конфигурации.

Базовый модуль (рисунок 1) состоит из опорных металлоконструкций, элементов жесткой ошиновки с применением полимерных изоляторов типа ОСК-10-110, трехполюсного колонкового элегазового выключателя, однофазных трансформаторов тока, разъединителя шинного, разъединителя линейного.

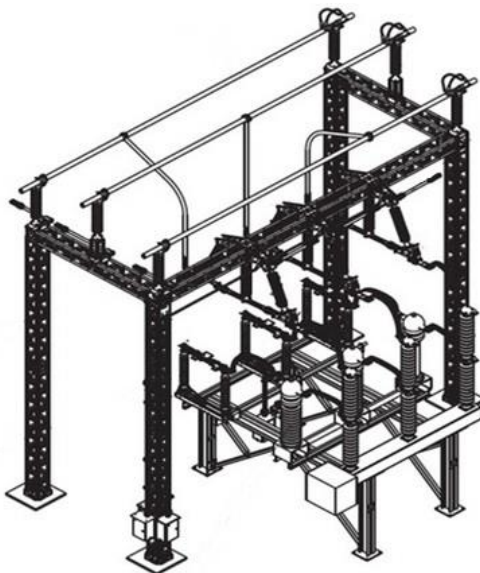


Рисунок 1 – Конструкция базового модуля

Сборные шины выполнены на базе жесткой ошиновки оригинальной разработки. Особенностью конструкции является подвесной шинный разъединитель, не требующий обслуживания, который позволяет создавать схемы ОРУ с одним выключателем на две рабочие системы шин.

Применение этой новинки, созданной на ЗАО «ЗЭТО», является более надежным решением, чем выкатной выключатель, совмещающий функции разъединителя (как у зарубежных аналогов). Кроме того, регламентные и ремонтные работы на выключателе и трансформаторах тока в КМ ОРУ можно проводить без погашения системы сборных шин в полном соответствии с требованиями по электробезопасности.

Базовый модуль может дополняться блоками заземления, измерения, ограничения перенапряжений, обработки ВЧ сигнала, и т. п. для реализации любых схем. По желанию заказчика этот набор может быть дополнен ячейковым порталом, линейным порталом, кабельными конструкциями в пределах ячейки, линейной изоляцией с арматурой, шкафами промежуточных соединений и выносными блоками управления.

Строительство и монтаж подстанции в каждом случае осуществляется на основании проекта – привязки, выполненного проектной организацией.

Таблица 1 – Технические характеристики КМ ОРУ 110 кВ

Наименование параметров	Норма
Номинальное напряжение, кВ	110
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126
Номинальный ток, А	2000
Номинальная частота, Гц	50
Номинальный кратковременный выдерживаемый ток (ток термической стойкости), кА	40
Наибольший пик номинального кратковременного выдерживаемого тока (ток электродинамической стойкости), кА	100
Номинальный ток отключения выключателя, кА	40
Время протекания номинального кратковременного выдерживаемого тока, с: – для главных ножей – для заземлителей	3 1
Испытательное напряжение грозового импульса, кВ: – относительно земли – между разомкнутыми контактами	450 570
Испытательное одноминутное напряжение промышленной частоты, кВ: – относительно земли – между разомкнутыми контактами	230 230
Сейсмостойкость по шкале MSK-64, баллы	9
Толщина гололеда, мм	20
Скорость ветра при максимальной толщине гололеда, м/с	15
Скорость ветра без гололеда, м/с	40
Степень загрязнения изоляции по ГОСТ 9920	II*
Климатическое исполнение по ГОСТ 15150	УХЛ1

Одним из преимуществ концепции модуля является возможность реализации различных типов модулей (в зависимости от его назначения в схеме) комбинацией блоков и

металлоконструкций. Каждый блок имеет опорную металлоконструкцию, состоящую из опорных стоек и продольных швеллеров с растяжками.

На продольные швеллеры укладываются поперечные цоколи для установки оборудования. Металлоконструкция собирается на объекте при помощи болтовых соединений. Конструкция опорных стоек позволяет устанавливать последовательно несколько блоков с общей металлоконструкцией, что позволяет при необходимости развития схемы использовать ранее смонтированные блоки на месте без доработки.

Оборудование соединяется между собой жесткими или гибкими соединениями в зависимости от компоновки оборудования. Узлы крепления жестких соединений обеспечивают компенсацию температурных изменений длины шин.

Технические характеристики КМ ОРУ 110 кВ представлены в таблице 1.

Литература

1 Распределительные устройства 110 кВ на базе компактного модуля типа КМ ОРУ [Текст]: информ.-аналит. журн. / учредитель ЗАО «ЗЭТО». – 2009.

2 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций напряжением 35-750 кВ [Текст]: информ.-аналит. журн. – М. : Энергосетьпроект, 2006.

УДК 621.316

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА 110 КВ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ПОДСТАНЦИИ

Баран А.Г.

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

Объектом исследования является гибкая ошиновка открытого распределительного устройства (ОРУ) 110 кВ модернизируемой подстанции 110/10 кВ. Исследования электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительного устройства обусловлены ростом уровня тока короткого замыкания в районе расположения подстанции.

Открытое распределительное устройство 110 кВ выполнено по схеме двойной системы шин, с одним выключателем на присоединение. Элегазовые выключатели располагаются в один ряд. Выход воздушных линий предусмотрен в северном направлении, а силовых трансформаторов – в южном. Проводники расположены в трех ярусах. Первый ярус располагается на высоте около 4 м, второй – шинный порталы – на высоте 7,85 м, а третий – линейные порталы – 11,35 м от уровня земли. Опорные конструкции – железобетонные. Расстояние между точками подвеса проводников на шинных порталах составляет 3 м, а на линейных – 2,5 м. Шаг ячеек – 9 м. При выполнении расчетов высоты аппаратов необходимо будет брать из соответствующего чертежа исследуемой ячейки. Согласно спецификации, ошиновка ОРУ выполнена проводом АС-185/29, для подвеса провода использованы гирлянды изоляторов 10×ПС70Е. Стрела провеса для всех пролетов составляет 5 %.

ОРУ 110 кВ подстанции состоит из 7 ячеек, из которых:

- 1 – ячейка отходящей линии с шинными аппаратами первой системы шин;
- 2 – ячейка отходящей линии;
- 3 – ячейка присоединения силового трансформатора;
- 4 – ячейка резервная;
- 5 – ячейка отходящей линии;
- 6 – ячейка присоединения силового трансформатора;
- 7 – ячейка шиносоединительного выключателя с шинными аппаратами второй системы шин.

В соответствии с конструктивными чертежами распределительное устройство подстанции состоит из шести шинных пролетов (рисунок 1) длиной 18 м, 19 м и 27 м, а также восьми анкерных пролетов ячеек 3, 6 и 7 распределительного устройства длиной – 25 м, 21 м, 16,7 м и 16 м (рисунок 2–4). Длины анкерных пролетов (с севера на юг) составляют для ячейки 3 – 25 м, 21 м и 16,7 м (пролет косой – имеет горизонтальное смещение относительно оси в западном направлении), для ячейки 6 – 25 м, 21 м (пролет косой – имеет горизонтальное смещение относительно оси в западном направлении) и 16,7 м, для ячейки 7 – 25 м и 16 м.

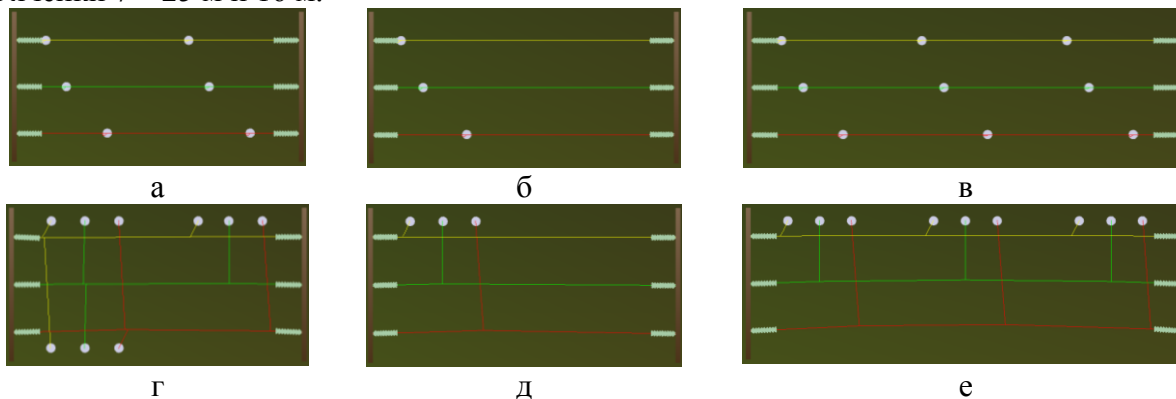


Рисунок 1 – План расположения шинных пролетов
 а и г – пролеты длиной 18 м; б и д – 19 м; в и е – 27 м

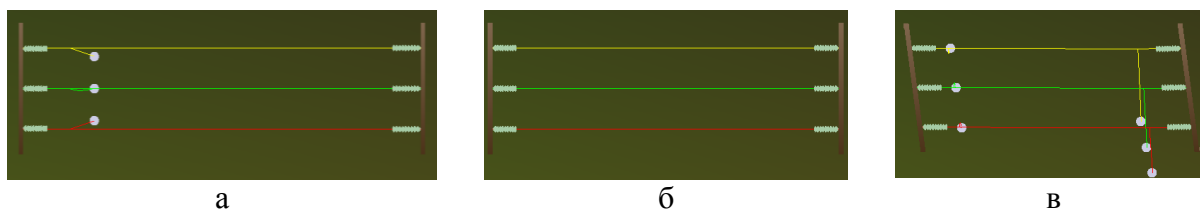


Рисунок 2 – План расположения пролетов ячейки 3
а – пролет длиной 25 м; б – 21 м; в – 16,7 м (со смещением)

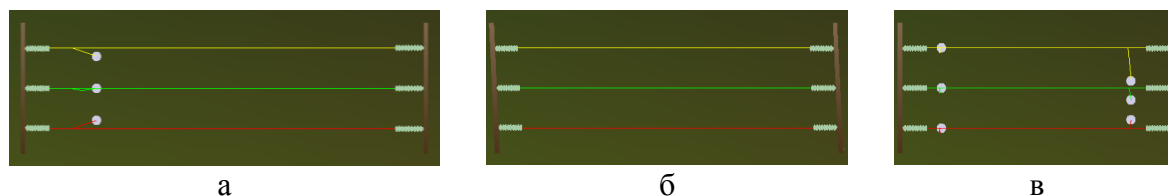


Рисунок 3 – План расположения пролетов ячейки 6
а – пролет длиной 25 м; б – 21 м (со смещением); в – 16,7 м

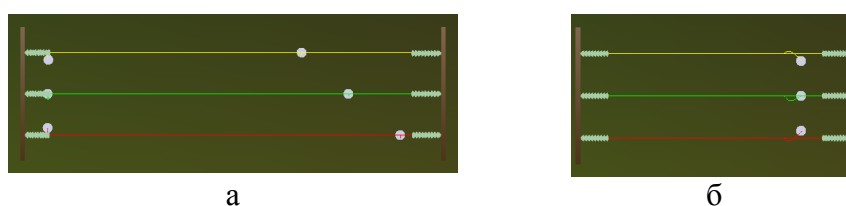


Рисунок 4 – План расположения пролетов ячейки 7
а – пролет длиной 25 м; б – 16 м

Состав конструктивного исполнения анкерных пролетов следующий:

- Пролет длиной 25 м (без смещения по оси пролета):
- ячейка 3 и 6 с одной отпайкой (рисунок 2а и 3а);
- ячейка 7 с двумя отпайками (рисунок 4а).
- Пролет длиной 21 м:
- ячейка 3 без отпайки (без смещения по оси пролета) (рисунок 2б);
- ячейка 6 без отпайки (со смещением вдоль оси пролета) (рисунок 3б).
- Пролет длиной 16,7 м:
- ячейка 3 с двумя отпайками (со смещением по оси пролета) (рисунок 2в);
- ячейка 6 с двумя отпайками (без смещения по оси пролета) (рисунок 3в).
- Пролет длиной 16 м (без смещения по оси пролета):
- ячейка 7 с одной отпайкой (рисунок 4б).

Механический расчет выполнен по компьютерной программе MR215 в регламентированных для территории республики ПУЭ [1] четырех климатических режимах (таблица 1). Расчеты выполнены для каждой фазы шинных и анкерных пролетов распределительного устройства. Если же геометрия некоторых или всех фаз одного пролета идентичны, то расчет не дублировался (примером идентичности геометрии служит представленный на рисунке 2 пролет длиной 21 м ячейки 3). Результаты механического расчета используются для построения монтажных кривых и определения начального положения ошиновки для электродинамического расчета.

Таблица 1 – Параметры климатических режимов

Номер климатического режима	1	2	3	4
Температура провода, °С	–5	–5	–5	40
Скорость ветра, м/с	15	30	0	0
Толщина стенки гололеда, мм	15	0	15	0

При оценке электродинамической стойкости конструкции в проектной практике нельзя полагаться на результаты одного расчета [3–4]. Следует провести серию расчетов с подбором наиболее тяжелых условий короткого замыкания для данной конструкции, изменяя величину тока, продолжительность, вид и место короткого замыкания, климатические условия и другие параметры. Причем, наибольшие возможные ток и продолжительность КЗ далеко не всегда будут являться самыми тяжелыми условиями с точки зрения электродинамической стойкости гибких шин со спусками [4].

Расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительного устройства подстанции выполнялся по компьютерной программе FleBus [4]. Вычислительный эксперимент проводился для каждого из пролетов распределительного устройства в режиме «нормальной» эксплуатации при температуре воздуха в 25 °С при отсутствии ветра и гололедного отложения. Также выполнены расчеты в четырех регламентированных ПУЭ климатических режимах (таблица 1). Для пролетов, имеющих отпайки к электрическим аппаратам были выполнены расчеты этих же пролетов без отпайек.

Вычислительный эксперимент выполнен путем проведения серийных расчетов шинных и анкерных пролетов для токов короткого замыкания от 0 кА до 50 кА с шагом 0,5 кА. Расчеты проводились для двухфазных коротких замыканий между шинами А и В, В и С и А и С.

Критериями потери электродинамической стойкости считаем:

- схлестывание проводов фаз;
- схлестывание спусков отпайки с проводниками шин;
- схлестывание спусков отпайки.

Результаты вычислительного эксперимента для режима «нормальной» эксплуатации приведены в таблицах 2–3.

Таблица 2 – Ток электродинамической стойкости пролетов ОРУ по критерию – схлестывание проводов фаз

Пролет	КЗ между фазами		
	А и В	В и С	А и С
Шинные пролеты			
18 м (рисунок 1а)	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
18 м (рисунок 1г)	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
19 м (рисунок 1б)	42 кА	> 50 кА	> 50 кА
19 м (рисунок 1д)	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
27 м (рисунок 1в)	41 кА	39 кА	> 50 кА
27 м (рисунок 1е)	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
Анкерные пролеты			
25 м (рисунок 2а)	22 кА	23 кА	> 50 кА
21 м (рисунок 2б)	21 кА	21 кА	> 50 кА
16,7 м (рисунок 2в)	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
25 м (рисунок 3а)	22 кА	23 кА	> 50 кА
21 м (рисунок 3б)	21 кА	21 кА	> 50 кА
16,7 м (рисунок 3в)	> 50 кА	47 кА	> 50 кА
25 м (рисунок 4а)	27 кА	24 кА	> 50 кА
16 м (рисунок 4б)	40 кА	> 50 кА	> 50 кА

Анализ данных вычислительного эксперимента показывает, что в режиме «нормальной» эксплуатации:

– по критерию схлестывания проводов фаз (таблица 2) наименьший ток электродинамической стойкости в 21 кА имеют анкерные пролеты длиной 21 м (рисунок 2б и 3б);

– по критерию схлестывания спусков отпайки с проводниками шин (таблица 3) – наименьший ток электродинамической стойкости в 16 кА (рисунок В.6) имеет шинный пролет длиной 27 м (рисунок 1е);

– по критерию схлестывания спусков отпайки (таблица 4) – наименьший ток электродинамической стойкости в 23 кА имеет анкерный пролет длиной 16,7 м (рисунок 2в).

Таблица 3 – Ток электродинамической стойкости пролетов ОРУ

Пролет	Отпайка	Схлестывание спусков отпайки с проводниками шин			Схлестывание спусков отпайки		
		КЗ между фазами			КЗ между фазами		
		А и В	В и С	А и С	А и В	В и С	А и С
Шинные пролеты							
18 м (рисунок 1а)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
18 м (рисунок 1г)	1	> 50 кА	23 кА	30 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	33 кА	> 50 кА	39 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	3	49 кА	28 кА	44 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
19 м (рисунок 1б)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
19 м (рисунок 1д)	1	31 кА	21 кА	29 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
27 м (рисунок 1в)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	> 50 кА	40 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	3	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
27 м (рисунок 1е)	1	29 кА	23 кА	27 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	16 кА	18 кА	25 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	3	31 кА	22 кА	41 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
Анкерные пролеты							
25 м (рисунок 2а)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
21 м (рисунок 2б)	—	—	—	—	—	—	—
16,7 м (рисунок 2в)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	23 кА	27 кА	27 кА
25 м (рисунок 3а)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
21 м (рисунок 3б)	—	—	—	—	—	—	—
16,7 м (рисунок 3в)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	26 кА	> 50 кА	50 кА
25 м (рисунок 4а)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	38 кА	29 кА	> 50 кА
	2	45 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
16 м (рисунок 4б)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	37 кА	29 кА	> 50 кА

Исходя из этого следует, что в режиме «нормальной» эксплуатации ток электродинамической стойкости рассматриваемого распределительного устройства по критерию схлестывания составляет 16 кА.

Анализ результатов вычислительного эксперимента для регламентированных ПУЭ климатических режимов показывает, что:

– по критерию схлестывания проводов фаз наименьший ток электродинамической стойкости в 21 кА имеют анкерные пролеты длиной 25 м (рисунок 2а и 3а) и анкерные пролеты длиной 21 м (рисунок 2б и 3б);

– по критерию схлестывания спусков отпайки с проводниками шин – наименьший ток электродинамической стойкости в 16 кА имеет шинный пролет длиной 27 м (рисунок 1е);

– по критерию схлестывания спусков отпайки – наименьший ток электродинамической стойкости в 21 кА имеет анкерный пролет длиной 16,7 м (рисунок 2в).

Исходя из этого следует, что в регламентируемых ПУЭ климатических режимах ток электродинамической стойкости рассматриваемого распределительного устройства по критерию схлестывания составляет 16 кА.

На основании проведенного анализа результатов вычислительного эксперимента можно сделать заключение, что ток электродинамической стойкости исследуемого распределительного устройства по критерию схлестывания составляет 16 кА.

Литература

1 Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.

2 Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.

3 Токоведущие части электростанций и подстанций: методическое пособие для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» / И.И. Сергей [и др.]. – Минск : БНТУ, 2011. – 82 с.

4 Сергей, И.И. Проверка на схлестывание гибкой ошиновки распределительных устройств электростанций: методические указания для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроснабжение» и 1-43 01 03 «Электрические системы и сети» / И.И. Сергей, Е.Г. Пономаренко. – Минск : БНТУ, 2008. – 44 с.

УДК 621.3

ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕРКОНОВ

Якушев Д.С.

Научный руководитель – к.т.н., БУЛОЙЧИК Е.В.

Геркон – электромеханическое коммутационное устройство, изменяющее состояние подключенной электрической цепи при воздействии магнитного поля от постоянного магнита или соленоида. Геркон представляет собой упругие ферромагнитные контакты, запаянные в герметичную стеклянную колбу и совмещающие функции токопровода, магнитопровода и пружины. Герконы используются как датчики положения, концевые выключатели и т. д. Контакты в герконе изолированы от внешней среды, поэтому использовать его можно и в условиях повышенной запыленности, и в агрессивных средах.

Задача построения релейной защиты без трансформаторов тока (ТА) является весьма актуальной из-за их больших погрешностей в переходных режимах, металлоемкости и необходимости резервировать защиты, и ТА другими устройствами, выполняющими те же функции. Одним из направлений решения этой задачи является построение релейной защиты без ТА на герконах. На них уже разработаны дистанционная, дифференциальная и максимальные токовые защиты. Защита с зависимой выдержкой времени еще не реализована, однако некоторые авторы рассматривают возможность ее реализации, которые представлены в работе. Схема реле на герконах с обратнoзависимой времятоковой характеристикой представлена на рисунке 1.

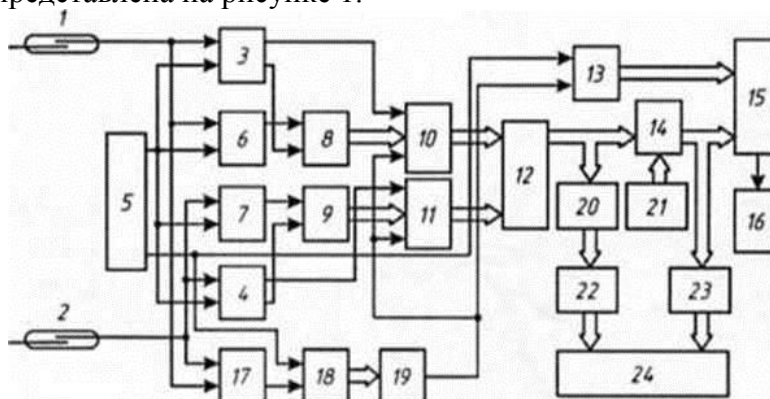


Рисунок 1 – Схема реле на герконах с обратнoзависимой времятоковой характеристикой

Реле фиксирует время Δt между моментами замыкания и размыкания контактов геркона, предварительно установленного так, чтобы он замыкался при токе $I_{ср}$ в фазе электроустановки и размыкался при токе $I_{отп}$. Определение амплитуды тока по времени между срабатыванием и отпаданием контактов геркона показано на рисунке 2.

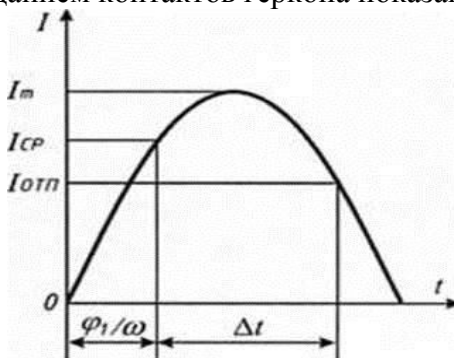


Рисунок 2 – Определение амплитуды тока

По $I_{ср}$, $I_{отп}$ и Δt определяется амплитуда I_m тока в этой фазе по формуле (1):

$$I_m = I_{CP} \sqrt{\frac{1 + (I_{отп} / I_{CP})^2 - 2 \cdot ((I_{отп} / I_{CP}) \cdot \cos(\omega \Delta t))}{\sin(\omega \Delta t)}}, \quad (1)$$

где ω – угловая частота тока.

Однако построение зависимости $I_m = f(\Delta t)$ на основе формулы (1) имеет большие погрешности, так как не учитывает собственное время срабатывания геркона, которое достигает 2–6 мс

Рассмотренное реле на герконах с зависимой выдержкой времени позволяет упростить схему отказавшись от ТА. Так же в работе показано что измерение времени между моментами замыкания и размыкания контактов герконов, расположенных под фазами электроустановки позволяет определить ток в фазе.

В работе рассмотрена возможность создания герконового реле на переменном токе. Рассчитывать на использование для питания катушки управления реле трехфазного выпрямленного тока с частотой пульсаций не менее 300 Гц не приходится. Поэтому для практического использования герконового реле на переменном токе остается лишь одна альтернатива – выпрямитель со сглаживающим фильтром на основе электролитического конденсатора достаточно большой емкости. Существенным недостатком такого включения реле является значительное увеличение времени срабатывания и отпущения из-за наличия конденсатора.

Герконы имеют некоторые специфические особенности, которые следует учитывать при их использовании. По сравнению с обычными реле, герконы имеют очень малую перегрузочную способность, обусловленную малой массой и теплоемкостью контактов, а также малую величину контактного нажатия и относительно продолжительный дребезг контактов при замыкании. По этим причинам даже кратковременное превышение максимально допустимых параметров коммутации приводит к сильной электрической эрозии контактных элементов и их «залипанию».

На основе разветвленных магнитных систем, аналогичных магнитным системам сложных электромеханических реле защиты и чувствительного элемента на основе геркона возможно создание не только простейших реле защиты, таких, как реле максимального тока, но и значительно более сложных устройств защиты, например, таких как реле мощности, реле сопротивления и т. п. Совершенно очевидно, что такие реле не смогут заменить многофункциональные микропроцессорные релейные терминалы, однако они оказываются вполне конкурентоспособными с однофункциональными микропроцессорными устройствами защиты. Как известно, микропроцессорные и электромеханические реле по-разному реагируют на аварийные режимы.

Литература

- 1 Гуревич, В.И. Универсальные защитные реле максимального тока нового поколения / В.И. Гуревич // Электротехника. – 1994. – № 1. – С. 61–65.
- 2 Гуревич, В.И. Микропроцессорные реле защиты. Новые перспективы или новые проблемы? / В.И. Гуревич // Новости электротехники. – 2005. – № 6 (36). – С. 57–60.
- 3 Гуревич, В.И. Микропроцессорные реле защиты: альтернативный взгляд. / В.И. Гуревич // Мир техники и технологий. – 2006. – №2. – С. 8–11.
- 4 Дьяков, А.Ф. Электроэнергетика мира в начале XXI столетия (по материалам 39-й сессии СИГРЭ, Париж) / А.Ф. Дьяков, В.Х. Ишкин, Д.Г. Мамиконянц, В.А. Семенов // Энергетика за рубежом. – 2004. – № 4. – С. 7–16.
- 5 Клецель, М.Я. Реле сопротивления на герконах / М.Я. Клецель, М.А. Жуламанов // Электротехника. – 2004. – С. 38–44.
- 6 Клецель, М.Я. Особенности построения на герконах дифференциально-фазных защит трансформаторов / М.Я. Клецель, П.Н. Майшев // Электротехника. – 2007. – № 12. – С. 2–7.
- 7 Клецель, М.Я. О построении на герконах защит высоковольтных установок без трансформаторов тока / М.Я. Клецель, В.В. Мусин // Электротехника. – 1987. – № 4. – С. 11–13.

УДК621.315.21

КОНСТРУКЦИЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Карачев П.С.

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

Силовой кабель – кабель для передачи электроэнергии токами промышленных частот. Силовые кабели предназначены для передачи по ним на расстояние электроэнергии, используемой для питания электрических установок. Они имеют одну или несколько изолированных жил, заключенных в металлическую или неметаллическую оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься соответствующий защитный покров и в необходимых случаях броня.

Силовые кабели состоят из следующих основных элементов:

- токопроводящих жил, предназначенных для прохождения электрического тока;
- изоляции, служащей для обеспечения необходимой электрической прочности;
- оболочек, защищающих внутренние элементы кабеля от увлажнения;
- защитных покровов, предназначенных для защиты оболочки силового кабеля от внешних воздействий.

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.

В зависимости от условий прокладки алюминиевые и медные жилы изготовляют различной гибкости и делят на шесть классов. В связи с этим жилы могут быть однопроволочными или многопроволочными. Для неподвижной прокладки применяют жилы I, II и III классов, для подвижной – более гибкие жилы IV, V и VI классов. Для силовых кабелей стационарной прокладки изготовляют жилы круглой или фасонной формы.

Применение секторных и сегментных жил вместо круглых приводит к уменьшению диаметра кабеля на 20–25 % и соответственно к сокращению расхода материалов на изоляцию, оболочку и защитные покровы. Экономия материалов также достигается уплотнением жил, которое выполняется на специальных вальцах. Жилы одножильных кабелей всех сечений и многожильных кабелей до 16 мм² изготовляют круглой формы, а жилы кабелей с поясной изоляцией сечением 25 мм² и более – секторной или сегментной формы.

Применение однопроволочных алюминиевых жил сечением до 240 мм² уменьшает стоимость кабелей (исключается скручивание отдельных проволок), но одновременно увеличивает общую жесткость кабелей, что создает определенные трудности при их прокладке, особенно в зимнее время. В обозначение кабелей с однопроволочными жилами после цифры, указывающей сечение, добавляют буквы ож.

Подушка кабеля представляет собой концентрические слои волокнистых материалов и битумного состава или битума поверх оболочки. Она предназначена для предохранения оболочек кабеля от повреждения лентами или проволоками брони и защиты ее от коррозии и не имеет обозначения. Усиленную подушку с дополнительной обмоткой двумя пластмассовыми лентами, обеспечивающую защиту от коррозии и блуждающих токов, маркируют буквой л. Для повышения стойкости против коррозии подушку изготовляют с двумя слоями пластмассовых лент и маркируют цифрой и буквой – 2л.

Для повышения коррозионно- и влагостойкости подушки поверх лент из ПВХ пластиката (или другого равноценного материала) накладывают слой выпрессованного полиэтилена или ПВХ пластиката. В маркировке этот тип подушки обозначают буквами п (полиэтилен) и в (ПВХ пластикат). Защитные покровы без подушки маркируют буквой б.

Минимальная толщина подушки зависит от конструкции, диаметра кабеля и составляет 1,5–3,4 мм.

Броня служит для защиты кабелей от механических повреждений. Для кабелей, не подвергающихся в процессе эксплуатации растягивающим усилиям, применяют ленточную броню. Она состоит из двух стальных лент толщиной от 0,3 до 0,8 мм (в зависимости от диаметра кабеля по оболочке) и накладывается так, чтобы верхняя лента перекрывала зазоры витками нижней ленты. Для кабелей, подвергающихся растягивающим усилиям, применяют броню из стальных оцинкованных плоских или круглых проволок. Толщина брони из стальных оцинкованных плоских проволок составляет 1,5–1,7 мм, а диаметр круглых – 4–6 мм.

Изоляция служит для обеспечения необходимой электрической прочности токопроводящих жил силового кабеля по отношению друг к другу и к заземленной оболочке (земле). Для изолирования жил кабелей между собой и от наружных металлических оболочек применяют: бумажную, поливинилхлоридную, резиновую и изоляцию из сшитого полиэтилена.

Основные преимущества кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-кабелей) перед кабелями с бумажной пропитанной изоляцией (БПИ-кабелями):

- термическая стойкость кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена при токах короткого замыкания (КЗ) выше;
- большой срок службы кабелей из сшитого полиэтилена;
- более легкие условия монтажа;
- кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена можно прокладывать при отрицательных температурах;
- отсутствие в конструкции кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена жидких компонентов;
- высокоэкологичны;
- высокие диэлектрические свойства изоляции.

В настоящее время на мировом рынке кабельно-проводниковой продукции наблюдается стабильное увеличение производства-потребления кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Литература

- 1 Алиев, И.И. Кабельные изделия. Справочник / И.И. Алиев. – 2015. – № 12, 13 (250, 251). – С. 9–16.
- 2 Яманова, Л.В. Электроизоляционные материалы кабельного производства / Л.В. Яманова. – М. : Информстандартэлектро, 2010. – 118 с.

УДК 621.3

ПРИНЦИП РАБОТЫ И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Петрашко В.Ю.

Научный руководитель – КИСЛЯКОВ А.Ю.

В компрессор газотурбинного силового агрегата подается чистый воздух. Под высоким давлением воздух из компрессора направляется в камеру сгорания, куда подается и основное топливо – газ. Смесь воспламеняется. При сгорании газовой смеси образуется энергия в виде потока раскаленных газов. Этот поток с высокой скоростью устремляется на рабочее колесо турбины и вращает его. Вращательная кинетическая энергия через вал турбины приводит в действие компрессор и электрический генератор. С клемм электрогенератора произведенное электричество, обычно через трансформатор, направляется в электросеть, к потребителям энергии.

Газовые турбины описываются термодинамическим циклом Брайтона. Цикл Брайтона – термодинамический цикл, описывающий рабочие процессы газотурбинного, турбореактивного и прямоточного воздушно-реактивных двигателей внутреннего сгорания, а также газотурбинных двигателей внешнего сгорания с замкнутым контуром газообразного рабочего тела.

Цикл назван в честь американского инженера Джорджа Брайтона, который изобрел поршневой двигатель внутреннего сгорания, работавший по этому циклу.

Иногда этот цикл называют также циклом Джоуля – в честь английского физика Джеймса Джоуля, установившего механический эквивалент тепла.

Как и во всех циклических тепловых двигателях, чем выше температура сгорания, тем выше КПД. Сдерживающим фактором является способность стали, никеля, керамики или других материалов, из которых состоит двигатель, выдерживать температуру и давление. Значительная часть инженерных разработок направлена на то, чтобы отводить тепло от частей турбины. Большинство турбин также пытаются рекуперировать тепло выхлопных газов, которые, в противном случае, теряется впустую.

Рекуператоры – это теплообменники, которые передают тепло выхлопных газов сжатому воздуху перед сгоранием. При комбинированном цикле тепло передается системам паровых турбин. И при комбинированном производстве тепла и электроэнергии отработанное тепло используется для производства горячей воды.

Механически газовые турбины могут быть значительно проще, чем поршневые двигатели внутреннего сгорания. Простые турбины могут иметь одну движущуюся часть.

Данное оборудование способно функционировать на разных видах топлива. В ГТУ используются следующие виды горючего:

- природный газ;
- керосин;
- биогаз;
- дизельное топливо;
- нефтяной газ попутного типа;
- коксовый, древесный, шахтный газ и другие виды.

Многие такие турбины способны работать и на низкокалорийном виде топлива, в котором содержится небольшое количество метана (порядка 3 %).

Отличительные особенности газотурбинных установок:

– Незначительный вред, причиняемый окружающей среде. Это малый расход масла. Способность работать на отходах самого производства.

– Небольшие габариты и вес. Это позволяет располагать данное оборудование на небольших площадках, что экономит деньги.

– Незначительный уровень шума, а также вибрации. Данный показатель находится в пределах 80–85 дБА.

– Способность газотурбинного оборудования работать на различном топливе позволяет применять его практически в любом производстве. При этом предприятие сможет само выбирать экономически выгодный вид топлива, опираясь на специфику своей деятельности;

– Продолжительная работа с минимальной нагрузкой. Это касается и режима холостого хода.

– На протяжении одной минуты данное оборудование способно выдерживать превышение номинальной величины тока на 150 процентов. А в течение 2 часов – 110 %.

– При трехфазном симметричном «КЗ» система генератора способна выдержать на протяжении 10 секунд порядка 300 процентов номинального непрерывного тока.

– Отсутствие водяного охлаждения.

– Высокая надежность работы.

– Продолжительный ресурс работы (около 200 000 часов).

– Использование оборудования в любых климатических условиях.

– Умеренная цена строительства и небольшие затраты во время самой работы, ремонта и технического обслуживания.

В зависимости от того, что именно необходимо заказчику, ГТУ могут дополнительно оснащаться водонагревательными и паровыми котлами. Это позволяет получать пар с различным давлением, который будет применяться для решения различных производственных задач. Также, это позволяет получить горячую воду, которая будет иметь стандартную температуру.

При использовании ГТУ в виде оборудования силового типа для мощных ТЭС, а также мини-ТЭЦ, вы получите оправданное экономическое решение. Обусловлено это тем, что сегодня практически все электростанции работают на газе. Они имеют очень низкую для потребителя удельную стоимость, что касается строительства и небольших затрат во время последующего использования.

Лишняя, причем даже бесплатная, тепловая энергия позволяет без каких либо затрат на электроэнергию настроить вентиляцию (кондиционирование) производственных помещений. И это можно делать в любое время года. Охлажденный таким способом теплоноситель, можно использовать для разных промышленных нужд. Такой вид технологии носит название «тригенерация».

Литература

1 Могильницкий, И.П. Газотурбинные установки / И.П. Могильницкий, В.П. Ларионов. – М. : Энергоиздат, 1999.

2 Пешков, И.Б. Газотурбинные установки / И.Б. Пешков, Г.И. Мещанов, М.К. Каменский. – М. : Энергоиздат, 2007.

УДК 621.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ БРОСКА ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СРЕДЕ SIMULINK MATLAB

Бойков А.Д.

Научный руководитель – АРТЕМЕНКО К.И.

Пакет расширения SimPowerSystems является распространенным инструментом для моделирования электротехнических устройств в системе MatLab-Simulink. Представлена модель силового трехфазного двухобмоточного трансформатора из библиотеки SimPowerSystem. В библиотеке данного пакета имеется несколько моделей трансформаторов – линейных и нелинейных, одно- и трехфазных, двух- и трехобмоточных. Особый интерес представляет модель трехфазного двухобмоточного трансформатора, которая является важнейшим элементом как для моделирования энергосистемы любого уровня сложности, так и для проверки работоспособности современных устройств релейной защиты и автоматики. Данная модель основана на использовании каталожных данных силового трансформатора. Основное внимание уделено характеристикам намагничивания стали магнитопровода для модели силового трансформатора. Для всех трансформаторов из библиотеки Simulink-SimPowerSystems параметры схемы замещения задаются в относительных единицах (о. е. в зарубежных источниках р. и.). В более поздних версиях программы появляется возможность задавать параметры в именованных единицах, однако преимущества относительных единиц общеизвестны и при отсутствии известной мощности трансформатора не будет большой ошибкой взять средние значения из известного диапазона. Например, для трансформаторов мощностью от 300 кВ·А до 300 МВ·А индуктивное сопротивление обмоток находится в диапазоне от 0,03 до 0,12 о. е., а активное сопротивление обмоток – от 0,002 до 0,005 о. е.

В ходе моделирования были воссозданы процессы, протекающие в магнитопроводе ненагруженного трансформатора, включаемого под напряжение. Как и ожидалось, при включении трансформатора на холостой ход возникает значительный бросок тока. В момент включения он в несколько раз превышает номинальный ток трансформатора и сопровождается высоким уровнем апериодической составляющей и второй гармонической. Осциллограммы броска тока намагничивания, полученные в ходе моделирования с использованием рассматриваемого трансформатора, подтвердили адекватность модели. Искомые осциллограммы приведены на рисунках 1–3.

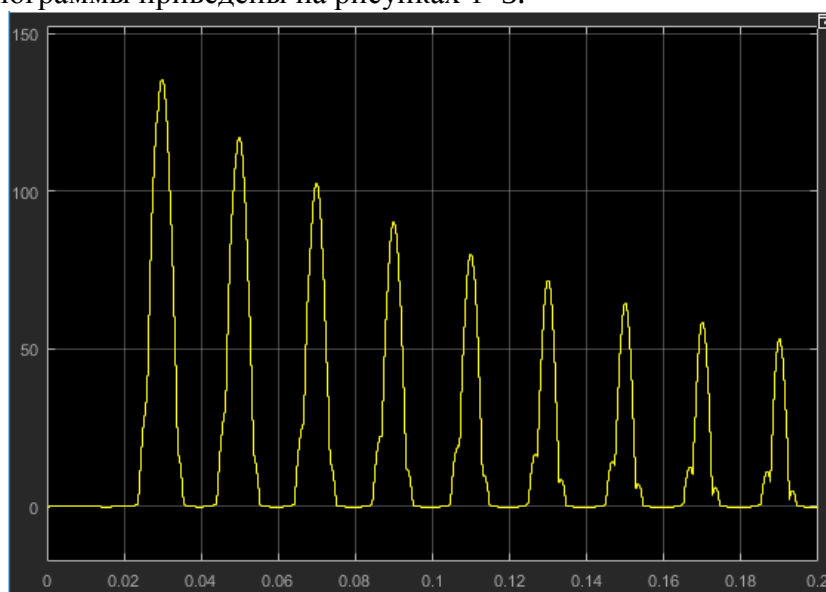


Рисунок 1 – Осциллограмма фазы А

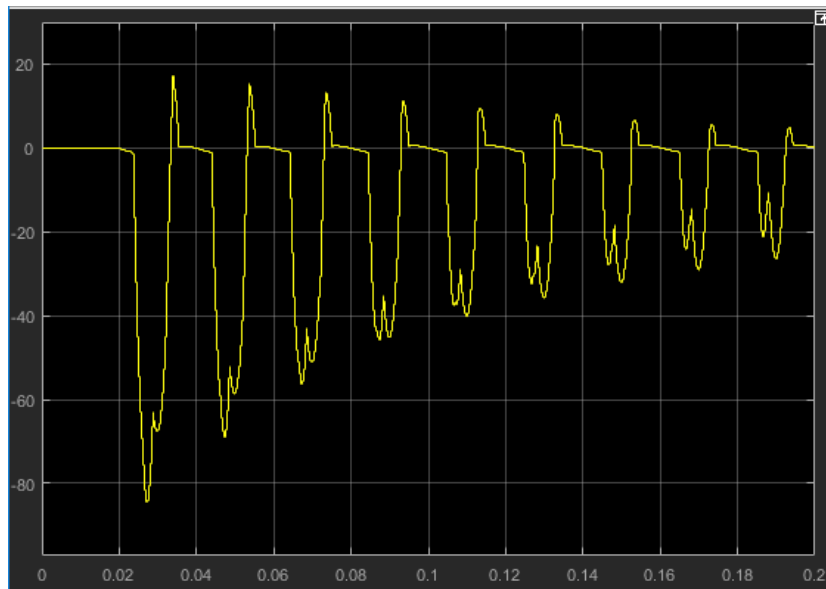


Рисунок 2 – Осциллограмма тока фазы В

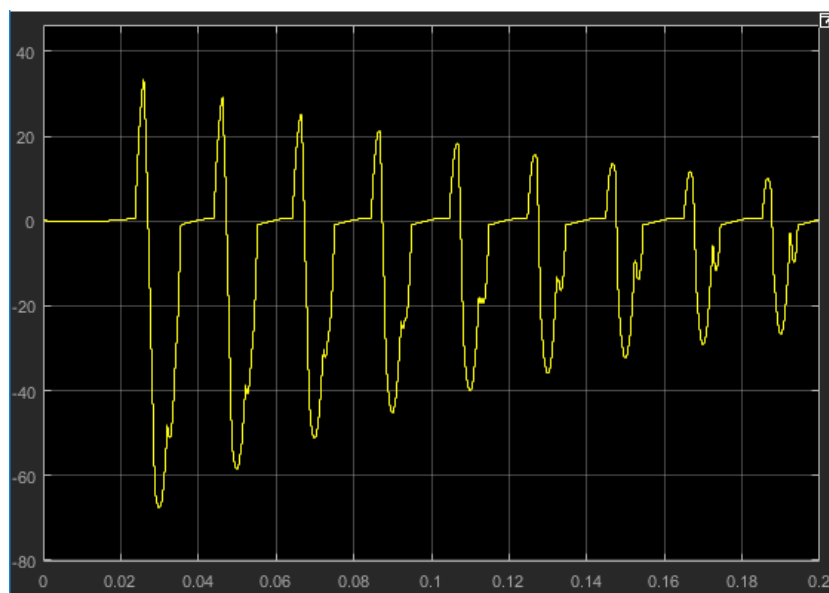


Рисунок 3 – Осциллограмма тока фазы С

Подытоживая результаты работы можно сказать следующее:

- Экспериментально доказаны высокие значения бросков тока в магнитопроводе силового трансформатора.
- Получены осциллограммы броска тока намагничивания для каждой фазы.

Литература

- 1 Дьяконов, В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5/. Основы применения : Полное руководство пользователя / В.П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2002. – 768 с.
- 2 Новаш, И.В. Расчет параметров модели трехфазного трансформатора из библиотеки Matlab-Simulink с учетом насыщения магнитопровода. / И.В. Новаш, Ю.В. Румянцев // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2015 – № 1 – С. 5–11.
- 3 Новгородцев, А.Б. Расчет электрических цепей в MATLAB: учебный курс / А.Б. Новгородцев. – СПб. : Питер, 2004. – 250 с.
- 4 Новожилов, М.А. MATLAB в электроэнергетике : учеб. пособие / М.А. Новожилов. – Иркутск : Изд-во ИргТУ, 2008. – 208 с.

УДК 621.3

ЗАЩИТА ОТ ДУГОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ

Лобачев В.В.

Научный руководитель – ГУРЬЯНЧИК О.А.

Устройство дуговой защиты может работать по трем различным схемам, как независимое устройство дуговой защиты, как часть устройства защиты или как интегрированный модуль между главным модулем системы и устройством защиты.

Когда используется традиционная временная селективность и блокировки, основанные на принципе логической селективности, обычные системы защиты не могут обеспечить быстрое обнаружение и реакцию на возникшее повреждение. Дополнительно, высокое полное сопротивление замыкания на землю может вызвать длительное время срабатывания устройства защиты от замыканий на землю, что увеличивает негативные последствия воздействия электрической дуги. Эти факторы приводят к значительному риску для людей и повреждению оборудования. Тип дуговой защиты может быть различным в зависимости от функций, выбранных заказчиком.

У защиты фототиристорного типа на световую вспышку от электрической дуги реагируют на защиту от дуговых замыканий (ЗДЗ) фототиристорного типа. В качестве датчика, реагирующего на световую вспышку от электрической дуги используется фототиристор.

Защита оптоволоконного типа, как и фототиристорного типа, данный тип защиты реагирует на световую вспышку от электрической дуги. В качестве датчика, реагирующего на световую вспышку от электрической дуги используется оптический датчик.

Защита с мембранным выключателем представляет из себя систему из шлангов, вентиля обратного давления и мембранного выключателя. В каждый защищаемый отсек ячейки подводится шланг, объединение шлангов производится через вентили обратного давления, объединенный участок подключается к мембранному выключателю, реагирующему на волны давления, создаваемые электрической дугой.

Клапанный датчик дугового замыкания реагирует на увеличение давления газов, возникающих при горении дуги, сопровождающей короткое замыкание. Как известно, при возникновении дугового перекрытия с токами короткого замыкания более 20 кА возможно прожигание металла стенок ячеек и повреждение соседних ячеек.

Клапанный датчик, снижая давление внутри ячейки, предотвращает разрушение конструктивных элементов ячейки. Место расположения датчика выбирают так, чтобы исключить выброс продуктов горения дуги в коридор обслуживания (рисунок 1).

Клапанный датчик дугового замыкания реагирует на увеличение давления газов, возникающих при горении дуги, сопровождающей короткое замыкание. Как известно, при возникновении дугового перекрытия с токами короткого замыкания более 20 кА возможно прожигание металла стенок ячеек и повреждение соседних ячеек.

Как и ЗДЗ фототиристорного типа, данный тип ЗДЗ реагирует на световую вспышку от электрической дуги. В качестве датчика, реагирующего на световую вспышку от электрической дуги используется оптический датчик (ВОД). ВОД размещаются по одному в каждом отсеке ячейки КРУ:

- в отсеке ввода;
- в отсеке выкатного элемента;
- в кабельном отсеке.

При дуговом КЗ каждый ВОД фиксирует световую вспышку от электрической дуги и формирует сигнал «Срабатывание», которые передается по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС) на терминал ЗДЗ. В свою очередь терминал ЗДЗ на основании сигналов «Срабатывания» от ВОД формирует команды на отключение соответствующих выключателей с целью ликвидации дугового КЗ.

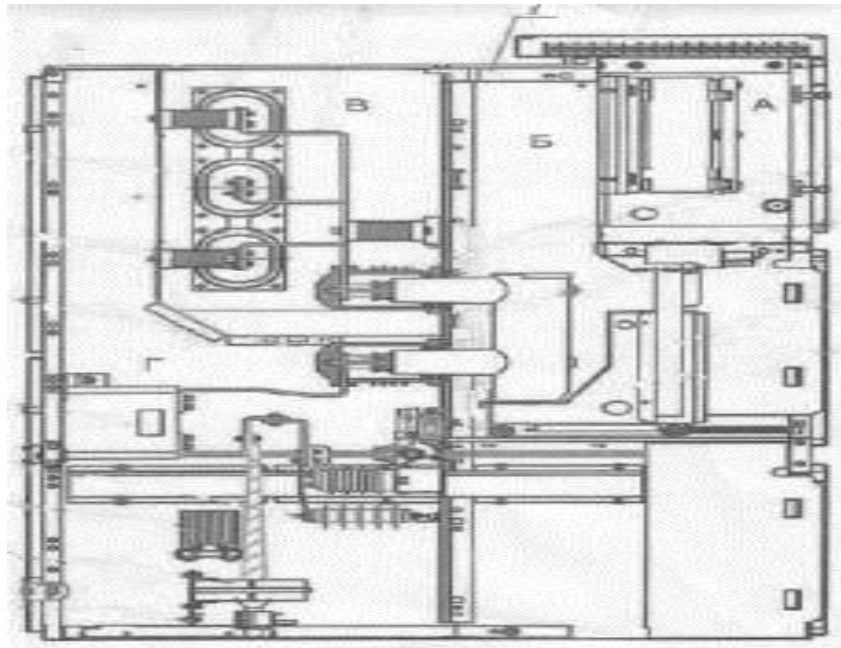


Рисунок 1 – Расположение клапанного датчика в ячейке КРУ

Для предотвращения неправильной работы ЗДЗ предусматривается токовый контроль – сигнал на отключение выдается терминалом ЗДЗ только при наличии двух факторов:

- сигнала «Срабатывание» от ВОД;
- сигнала «Пуск МТЗ» от терминала защиты (терминала защиты ввода КРУ или терминала защиты стороны ВН трансформатора).

При наличии только сигнала «Срабатывание» от ВОД без сигнала «Пуск МТЗ» отключение выключателей от ЗДЗ не происходит и терминал ЗДЗ выдает сигнал «Неисправность ВОД».

Рассмотрим принцип работы клапанной защиты. В замкнутом пространстве горит дуга, повышается давление, за счет чего открывается специальный клапан, снабженный контактами, замыкание которых дает команду на отключение ячейки. При этом у клапанных защит есть один серьезный конструктивный недостаток. Их работа зависит от величины протекающего тока, ведь чтобы создать давление, необходима определенная мощность. При малых токах клапанная защита может не сработать.

Оптоволоконные и фототиристорные дуговые защиты, реагирующие на свет, более современны, более чувствительны. Они фиксируют возникновение открытой дуги и очень быстро, а оптоволоконная практически мгновенно, дают команду на отключение выключателя, уменьшая тем самым вероятность большого повреждения ячейки. Не случайно практически все ведущие мировые производители в настоящее время перешли на выпуск оптоволоконных дуговых защит.

Литература

- 1 Нагай, В.И. Релейная защита ответственных подстанций электрических сетей / В.И. Нагай. – М. : Энергоатомиздат, 2002. – 312 с.
- 2 Маруда, И.Ф. Релейная защита электрических объектов и энергетических систем / И.Ф. Маруда. – М. : Энергопрогресс, 2015. – 275 с.

УДК 621.3

ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6–35 кВ

Турук К.А.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Однофазное замыкание на землю является наиболее частым видом повреждения в трехфазных электрических сетях всех классов напряжения.

В электрических сетях 6–35 кВ, работающих, как правило, с изолированной или компенсированной нейтралью, значения токов однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) невелики, они не превышают 20–30 А. Поэтому сети этих классов напряжения традиционно называют сетями с малым током замыкания на землю.

Однако ОЗЗ представляют большую опасность для оборудования электрических сетей и для находящихся вблизи места ОЗЗ людей и животных. В связи с этим Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей требуют в одних случаях быстро автоматически отключать ОЗЗ, а в других требуют немедленно приступать к определению присоединения с ОЗЗ и затем отключать его.

Создать селективную и высокочувствительную защиту от ОЗЗ, пригодную для любых видов сетей с малым током замыкания на землю, до настоящего времени не удалось никому. Действительно, трудно создать универсальную защиту от ОЗЗ для таких разных типов электроустановок, как воздушные и кабельные линии, генераторы и электродвигатели, для таких разных режимов заземления нейтральных точек сети, как «изолированная нейтраль», «резонансно-заземленная нейтраль» или «резистивно-заземленная нейтраль» (нейтраль, заземленная через ограничивающее активное сопротивление – резистор).

Особые трудности при выполнении селективных защит от ОЗЗ возникают в сетях 6–10 кВ с резонансно-заземленной нейтралью, где ток повреждения промышленной частоты полностью компенсируется током дугогасящего реактора (ДГР) и поэтому не может быть использован в качестве источника информации для защиты. Дополнительные трудности возникают при необходимости селективного определения присоединения с ОЗЗ в электрических сетях сложной конфигурации, при отсутствии на присоединении кабельной вставки, необходимой для установки трансформатора тока нулевой последовательности, при часто меняющейся первичной схеме защищаемой сети и в других случаях.

Защиты от ОЗЗ должны удовлетворять основным требованиям, которые предъявляются ко всем устройствам релейной защиты:

- селективность;
- быстродействие (особенно при необходимости отключения ОЗЗ);
- чувствительность;
- надежность.

Наряду с этим предъявляются требования, характерные для современных микропроцессорных защит (самодиагностика, запоминание событий, дистанционное получение информации и др.).

Простейшей защитой от замыканий на землю является общая неселективная сигнализация о появлении замыкания на землю без указания поврежденного участка.

Такое устройство состоит из трех реле минимального напряжения включенных на напряжение фаз относительно земли, или схемы с одним реле повышения напряжения, включенным на напряжение нулевой последовательности.

При появлении «земли» схемы дают сигнал, а затем дежурный поочередным отключением присоединений определяет поврежденный элемент. Указанный способ определения повреждения связан с кратковременным нарушением питания потребителей, требует много времени и особенно неудобен на подстанциях без постоянного дежурного персонала. В связи с этим неселективную сигнализацию необходимо дополнять селективной

защитой от замыканий на землю. В качестве селективных защит от замыканий на землю, указывающих поврежденный участок, применяются токовые и направленные защиты, реагирующие на токи и мощность нулевой последовательности.

Для обеспечения селективной работы защиты используется различие в величине и направлении токов, появляющихся при замыкании на землю на поврежденном и неповрежденном присоединениях. Реагируя на это различие, защита должна действовать только на поврежденном присоединении и не работать на не-поврежденных присоединениях.

Однако токи, возникающие при замыканиях на землю на поврежденных и неповрежденных элементах, особенно в компенсированной сети, обладают недостаточно четкими и устойчивыми различиями, в связи с чем создание селективной защиты от замыканий на землю является сложной задачей, пока еще не имеющей полноценного и подтвержденного эксплуатацией решения.

В некомпенсированных сетях наиболее простым решением является применение токовых защит, реагирующих на емкостный ток сети. Но это оказывается возможным только при большом числе присоединений, когда суммарный емкостный ток сети во много раз превосходит емкостный ток каждого присоединения, так, как только при этом условии можно обеспечить требуемую селективность защиты.

В компенсированных сетях емкостный ток основной частоты (50 Гц) компенсируется током дугогасящей катушки.

В связи с этим для действия защиты в компенсированной сети приходится создавать ток искусственным путем или использовать остаточные (естественные) некомпенсированные токи (например, активные и неосновных гармоник) или применять защиты, реагирующие на токи и напряжения, возникающие в переходном режиме в первый момент повреждения.

Таким образом все известные и применяемые на практике защиты можно подразделить на четыре группы:

- защиты, реагирующие на естественный емкостный ток сети. Такой способ защиты возможен только при отсутствии компенсации или при наличии недокомпенсации емкостного тока сети;
- защиты, реагирующие на токи нулевой последовательности, создаваемые искусственным путем;
- защиты, реагирующие на установившиеся остаточные токи, возникающие в поврежденной линии при резонансной компенсации емкостных токов;
- защиты, реагирующие на токи переходного режима, возникающие в первый момент замыкания на землю.

Литература

- 1 Евдокунин, Г.А. Выбор способа заземления нейтрали в сетях 6–10 кВ / Г.А. Евдокунин и др. // Новости электротехники. – 2003. – № 5. – С. 5–13.
- 2 Сирота, И.М. Режимы нейтрали электрических сетей / И.М. Сирота, С.Н. Кисленко, А.М. Михайлов. – Киев : Наукова Думка, 1985. – 264 с.
- 3 Шабад, М.А. Обзор режимов заземления нейтрали и защиты от замыканий на землю в сетях 6–35 кВ России / М.А. Шабад // Энергетик. – 1999. – № 3. – С. 12–17.
- 4 Евдокунин Г.А. О принципах построения релейной защиты от однофазных замыканий на землю в сетях 6–35 кВ / Г.А. Евдокунин // Перенапряжения и надежность эксплуатации электрооборудования : материалы международной научно-технической конференции. (г. Будапешт, 14–18 ноября 2005 г.) / ПЭИПК. – СПб, 2006. С. 33–35.

УДК 621.3

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ОШИНОВКОЙ

Масюк С.С.

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

Типовыми решениями в открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением 35 кВ и выше в качестве токоведущих частей рекомендуются гибкие проводники тех же марок и сечений, что и для воздушных линий электропередачи ЛЭП. При указанных напряжениях в ОРУ с жесткой ошиновкой требуется большое количество опорных изоляторов. Опорные изоляторы и жесткие шины сравнительно дороги. 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. Они подвержены также ветровому резонансу, для борьбы с которым применяются специальные гасители вибрации.

Оценка электродинамической стойкости расщепленных проводов воздушных линий заключается в проверке их схлестывания и механической прочности. Для проверки схлестывания нужно выявить наибольший размах колебаний при коротких замыканиях (КЗ). Небольшие (на порядок меньше междуфазных) расстояния между проводами расщепленной фазы обуславливают большие электродинамические усилия, действующие внутри расщепленной фазы при КЗ. Испытания в опытных пролетах показали, что при определенном сочетании конструктивных параметров расщепленной фазы и величины токов КЗ возникает схлестывание проводов. После схлестывания провода фазы двигаются под действием междуфазных электродинамических усилий (ЭДУ). В момент максимального стягивания проводов в пучке под действием внутрифазных ЭДУ происходит резкое увеличение тяжения фаз.

Под электродинамической стойкостью гибких проводов электроустановок понимают их способность противостоять электродинамическому действию токов КЗ до и после автоматического отключения цепи КЗ без повреждений. ПУЭ указывает на ток КЗ в 20 кА, по достижении которого необходимо производить расчет гибких шин на электродинамическую стойкость. С возрастанием токов КЗ их электродинамическое действие становится ключевым фактором, определяющим габариты и механические характеристики токоведущих конструкций с гибкими проводами при проектировании.

В проектной и эксплуатационной практике для системы подвешенных проводов распределительных устройств (РУ) применяется термин «гибкая ошиновка». Широкое применение гибкой ошиновки в ОРУ напряжением 35 кВ и выше объясняется ее универсальностью, простотой монтажа, высокой механической прочностью. Внедрение глубоких вводов 110–220 кВ в большие города и крупные промышленные предприятия и размещение ТЭЦ и ГРЭС на стесненных площадках, при неблагоприятных условиях работы изоляции, привели к необходимости применения закрытых РУ (ЗРУ), аппараты и ошиновка которых размещаются в специальном помещении. В настоящее время ЗРУ 110–220 кВ сооружаются, как правило, с применением оборудования и ошиновки, предназначенных для ОРУ.

Анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований позволяет составить подробную картину поведения гибких проводов при КЗ. В траекториях движения проводов выделяют два участка. На первом провода движутся с ускорением под действием электродинамических усилий (ЭДУ). Началом второго участка является положение провода в момент отключения КЗ. После отключения движение провода определяется сочетанием действия инерционных и упругих сил и тяжения провода. Из-за влияния температурных удлинений проводов, податливости опор, а также изменения формы проводов и гирлянд изоляторов траектории движения гибких проводников приобретают более сложную форму.

При компьютерных расчетах большое количество времени тратится на сбор массива исходных данных, а также на анализ результатов расчета. В проектной практике целесообразно применение упрощенных методов расчета параметров электродинамической стойкости гибких шин, реализованных в виде простых формул и таблиц. Практика применения упрощенных методик одобрена в международном и межгосударственном стандартах.

В общем случае провода движутся по разным траекториям с различной угловой скоростью из-за влияния ветра, наличия отпаяк в пролете и несимметричности пролета. Наиболее сближенными при КЗ могут оказаться провода сборных шин одной фазы с проводами спусков соседней фазы.

Следует заметить, что для расчета параметров электродинамической стойкости в случае пролетов со спусками предпочтительным является использование компьютерных программ. Упрощенные методы расчета позволяют определить только предельные отклонения гибких шин в таких пролетах.

Наиболее слабыми по механической прочности элементами являются опорные конструкции и аппараты РУ. Поэтому для них динамические усилия при КЗ наиболее опасны. При определении их механической прочности расчетные максимальные моменты и перерезывающие силы в любом сечении сравниваются с допустимыми значениями.

Гибкие шины распределительных устройств (РУ) обладают существенной гибкостью и могут принимать форму, обусловленную действием распределенных электродинамических усилий (ЭДУ), возникающих при коротком замыкании. Поэтому динамика гибких шин в общем случае описывается с использованием расчетной модели гибкой нити с распределенной по длине массой. Движение гибкой нити под воздействием распределенных нагрузок описывается дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных. Получить решение таких уравнений можно лишь численными методами.

Гибкая ошиновка с расщепленной фазой моделируется одной нитью с эквивалентной массой, включающей в себя массы фазных проводников и дистанционных распорок, масса которых распределяется равномерно по всей длине проводов.

Подавляющее большинство пролетов гибкой ошиновки распределительных устройств высокого напряжения расположены в горизонтальной плоскости. Для расчета их электродинамической стойкости широко применяются упрощенные методы расчета, основанные на представлении провода сосредоточенной массой или физическим маятником. Они положены в основу межгосударственного и республиканского стандартов на расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств.

В ходе данной работе было рассмотрено электродинамическое действие токов КЗ на гибкие проводники, условия и параметры электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств, упрощенный расчет максимальных тяжений шин при коротком замыкании.

Литература

1 Сергей, И.И. Упрощенный расчет максимальных тяжений проводов на двух стадиях их движения при коротком замыкании / И.И. Сергей, А.П. Андрукевич, Е.Г. Пономаренко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 6. – С. 12–26.

2 Васильев, А.А. Электрическая часть станций и подстанций : учеб. пособие для вузов / А.А. Васильев, И. П. Крючков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

УДК 621.3

ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Хомяков Э.А.

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

Преобразование Фурье – это разложение функций на синусоиды (далее косинусные функции мы тоже называем синусоидами, т. к. они отличаются от самых «настоящих» синусоид только фазой).

Анализ Фурье закладывает основы многих методов, применяющихся в области цифровой обработки сигналов (ЦОС). По сути дела, преобразование Фурье (фактически существует несколько вариантов таких преобразований) 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.

Несимметричные КЗ рассчитываются на основе метода симметричных составляющих, в соответствии с которым любую n -фазную систему несимметричных векторов можно разложить на n симметричных n -фазных систем. Трехфазную систему несимметричных векторов раскладывают на три симметричные трехфазные системы прямой, обратной и нулевой последовательности.

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.

Семейство преобразований Фурье представляет собой преобразование Фурье, ряды Фурье, дискретные ряды Фурье и дискретное преобразование Фурье. С течением времени принятые определения получили развитие (не обязательно вполне логичное) в зависимости от того, является ли сигнал непрерывно-апериодическим, непрерывно-периодическим, дискретно-апериодическим или дискретно-периодическим.

Единственный член этого семейства, 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. Фундаментальное уравнение для получения N -точечного ДПФ выглядит следующим образом:

$$X(k) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j2\pi nk/N} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \left[\cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) - j \cdot \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \right] \quad (1)$$

По отношению к этому уравнению следует сделать некоторые терминологические разъяснения. $X(k)$ представляет собой частотный выход ДПФ в k -ой точке спектра. N представляет собой число отсчетов при вычислении ДПФ.

Выходной спектр ДПФ $X(k)$ является результатом вычисления свертки между выборкой, состоящей из входных отсчетов во временной области, и набором из N пар гармонических базисных функций (косинус и синус).

Существует два основных типа ДПФ: вещественное ДПФ и комплексное ДПФ. Так как входные отсчеты во временной области являются вещественными и не имеют мнимой части, мнимая часть входных отсчетов всегда принимается равной нулю. Выход ДПФ $X(k)$ содержит вещественную и мнимую компоненты, которые могут быть преобразованы в амплитуду и фазу. Вещественное ДПФ выглядит несколько проще и, в основном, является упрощением комплексного ДПФ. Уравнения описывают комплексное ДПФ, где и входные, и выходные величины являются комплексными числами.

Большинство алгоритмов вычисления быстрого преобразования Фурье (БПФ) составлено с использованием формата комплексного ДПФ, поэтому важно понимать, как работает комплексное ДПФ и как оно соотносится с вещественным ДПФ. В частности, если известны выходные частоты вещественного ДПФ и требуется использовать обратное комплексное ДПФ для вычисления отсчетов во временной области, надо знать, как разместить выходные точки вещественного ДПФ в формате комплексного ДПФ перед выполнением обратного комплексного ДПФ.

Преобразования Фурье 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.

Литература

1 Умняшкин, С.В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов / С.В. Умняшкин. – М. : ДМК Пресс, 2012. – 249 с.

Матюшкин, Б.Д. Цифровые фильтры / Б.Д. Матюшкин. – СПб. : НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2012. – 98 с.

УДК 621.3

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Китаев А.С.

Научный руководитель – ТЕТЕРИНА Л.В.

Вращающимися трансформаторами называют электрические микромашины переменного тока, преобразующие угол поворота ротора в напряжение, пропорциональное этому углу или некоторым его функциям.

Вращающиеся трансформаторы применяются в аналого-цифровых преобразователях, системах передачи угла высокой точности, в качестве датчиков обратной связи в следящих системах, бортовой аппаратуре.

Вращающиеся трансформаторы применяются в автоматических и счетно-решающих устройствах.

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.

Обмотка возбуждения включается в сеть переменного тока, компенсационная обмотка замыкается накоротко или на резистор. Обмотки на роторе называют вторичными: синусная и косинусная.

Электрический контакт с обмотками ротора осуществляется либо с помощью контактных колец и щеток (аналогично контактным сельсинам), либо посредством спиральных пружин.

В последнем случае угол поворота ротора вращающегося трансформатора ограничивается максимальным углом закручивания спиральных пружин.

Принцип работы вращающихся трансформаторов основан на взаимной индуктивности между обмотками статора и ротора, которая изменяется в определенной функциональной зависимости от угла поворота ротора. При подключении обмотки возбуждения к сети переменного тока в машине возникает продольный магнитный поток, пульсирующий во времени с частотой сети.

Обмотка статора с потоком не связана, а, следовательно, он не индуцирует в ней ЭДС. Эту обмотку используют для компенсации поперечных потоков, создаваемых обмотками ротора при нагрузке вращающегося трансформатора. Таким образом, в обмотках ротора при холостом ходе индуцируются ЭДС, пропорциональные синусу или косинусу угла поворота ротора относительно соответствующего потока.

Применяя различные схемы включения обмоток статора и ротора, можно получить и другие функциональные зависимости, а также уменьшить погрешности, вызываемые током нагрузки.

Если вращающийся трансформатор используется в качестве измерительного элемента, то поворот ротора осуществляется посредством редукторного механизма высокой точности, который либо встраивается в корпус вращающегося трансформатора, либо монтируется отдельно от вращающегося трансформатора и механически соединяется с его валом.

Если вращающийся трансформатор предназначен для работы в режиме поворота ротора в пределах определенного угла, то в качестве обмоток возбуждения и компенсационной используются обмотки статора, а в качестве вторичных – обмотки ротора.

Если вращающийся трансформатор работает в режиме непрерывного вращения ротора, то обычно применяют «обратное» использование обмоток: обмотки ротора используют в

качестве обмоток возбуждения и компенсационной, а обмотки статора – в качестве вторичных.

Если компенсационная обмотка замыкается накоротко, то при «обратном» использовании обмоток на роторе применяют лишь два контактных кольца, что упрощает конструкцию, повышает надежность и точность вращающегося трансформатора.

Литература

- 1 Васильев, А.А. Электрическая часть станций и подстанций: учеб. пособие для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
- 2 Брускин, Д.Э. Электрические машины / Д.Э. Брускин,. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 205 с.

УДК 621.3

ЦИФРОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Сороко В.В.

Научный руководитель – САПОЖНИКОВА А.Г.

Типичная схема цифрового ТТ содержит чувствительный элемент в виде нескольких витков ОВ (оптоволоконна), помещенных в жесткую защитную оболочку из немагнитного материала – токовую головку для ОТТ, и электронно-оптический блок (ЭОБ), соединяемый с чувствительным элементом через оптический кросс (рисунок 1).

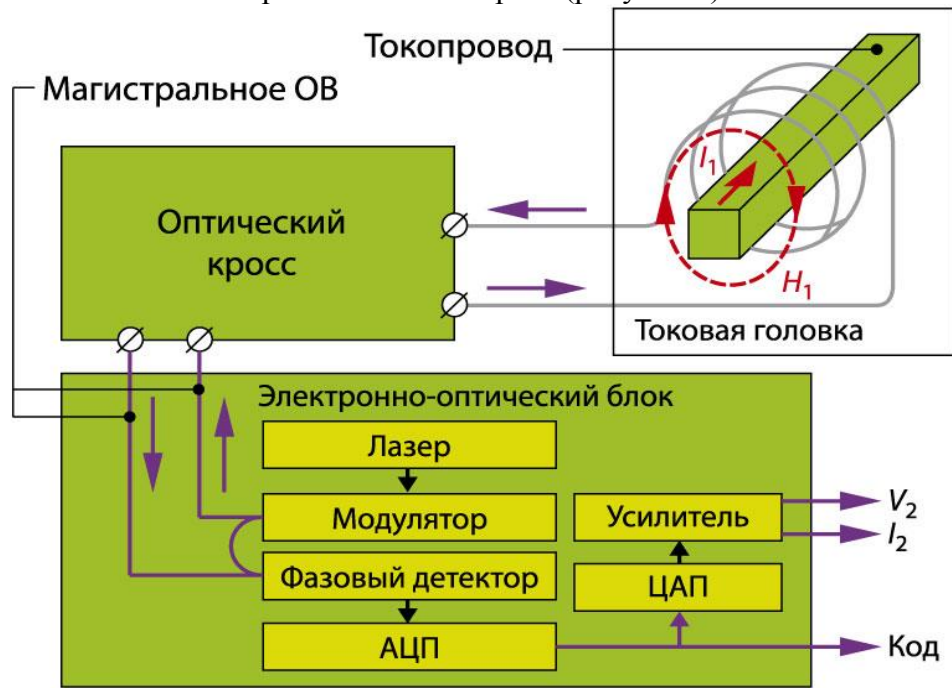


Рисунок 1 – Упрощенная структурная схема оптического ТТ

ЭОБ генерирует с помощью встроенного лазера и модулятора на своем оптическом выходе монохроматический циркулярно-поляризованный световой сигнал, направляемый по поддерживающему поляризацию ОВ на вход чувствительного элемента. В чувствительном элементе плоскость поляризации сигнала подвергается под воздействием магнитного поля H_1 тока I_1 соответствующему повороту на угол Фарадея, и с выхода чувствительного элемента световой сигнал поступает на оптический вход ЭОБ, где на фазовом детекторе из него формируется электрический измерительный сигнал.

Далее этот сигнал через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) поступает в виде цифрового кода определенной разрядности на дискретный интерфейсный выход ЭОБ и через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) на усилитель, где формируются нормированные аналоговые выходные сигналы в виде напряжения или тока для выдачи на аналоговый интерфейс ЭОБ. Таким образом, измерительная информация может быть получена на выходе ЭОБ для дальнейшего использования.

Данные от цифровых измерительных трансформаторов, как оптических, так и электронных, преобразуются в пакеты с использованием сумматоров (СУ, Merging Units), предусмотренных стандартом МЭК 61850-9. Сформированные сумматорами пакеты передаются по сети Ethernet (шине процессора) в устройства уровня присоединения (контроллеры АСУ ТП, РЗА, ПА и др.) Частота дискретизации передаваемых данных – не хуже 80 точек на период для устройств РЗА и ПА и 256 точек на период для АСУ ТП, АИИС КУЭ и др., поэтому необходим высокоскоростной микроконтроллер (МК), способный вовремя обработать и отправить обработанные данные по каналам связи. В микроконтроллере имеется 12-битный модуль АЦП конвейерного типа. Аналоговые схемы

преобразователя включают аналоговые мультиплексоры с внешним интерфейсом, цепи выборки-хранения, преобразовательное ядро, стабилизаторы напряжения и другие вспомогательные аналоговые цепи. Цифровые схемы включают в себя программируемое устройство циклового управления преобразованием (секвенсор), регистры результатов преобразования, интерфейсы к аналоговым схемам и другим модулям на кристалле.

Секвенсор АЦП может быть настроен на автоматический режим серий преобразований. Это означает, что каждый раз, когда АЦП получает сигнал «начать преобразование», он может совершать множественные преобразования автоматически. Для каждого из них можно выбрать любой из 16 входных каналов, доступных через аналоговый мультиплексор. После завершения преобразования цифровое значение сигнала с выбранного канала будет сохранено в соответствующем регистре результатов.

Для получения результатов от применения эффекта Фарадея необходимо использовать фазовый детектор, который будет сравнивать отправляемый сигнал с полученным. На вход подключаются исходный сигнал и сигнал с фотодиода, а на выходе мы получим напряжение, соответствующее отклонению фазы полученного сигнала от отправленного. Это напряжение будет поступать на АЦП.

Высоковольтные цифровые трансформаторы тока (ЦТТ) и напряжения (ЦТН) разработаны в целях:

- повышения точности измерения первичного тока и напряжения в электроустановках с напряжением 110–750 кВ;
- создания взрывобезопасных высоковольтных измерительных систем с улучшенной, более надежной высоковольтной изоляцией;
- выдачи цифровой информации внедряемым на станциях и подстанциях энергосистем цифровым системам измерения, защиты и управления;
- полноценной замены существующих ТТ и ТН, с выводом информации также и в аналоговой форме (1 А, 5 А, 100 В, 100 / 3 В).

Основными преимуществами ЦТ:

- взрывобезопасность (даже при внутреннем повреждении высоковольтной изоляции взрыва и пожара не произойдет, в отличие от существующих ТТ 110–750 кВ);
- сухая внутренняя высоковольтная изоляция и вандалоустойчивая внешняя изоляция из силиконовой резины;
- высокий класс точности (лучше, чем 0,2s для систем измерений и АСКУЭ, за счет использования магнитопровода из аморфного магнитного материала);
- передача информации и высоковольтная изоляция между микропроцессорами верхнего и нижнего фланцев по оптоволокну;
- передача без искажений всей информации в режимах короткого замыкания, включая апериодическую составляющую тока КЗ для систем РЗА с магнитотранзисторного кольца (не происходит насыщения магнитопровода, в отличие от стандартных ТТ);
- кроме стандартных аналоговых выходов 1 А (5 А) с микропроцессоров ЦТТ информация о первичных токах доставляется на щит управления в цифровой форме по оптоволокну;
- встроенная диагностика и тестовый контроль на компьютере метролога (релейщика);
- позиционирование, точное время по системе GPS со встроенным интернетом (как дополнительная опция);
- вес до 85 кг, что в 5–7 раз легче существующих ТТ.

Литература

- 1 Нагай, В.И. Высоковольтные оптические преобразователи для систем измерения и анализа качества электрической энергии / В.И. Нагай. – М. : Энергоатомиздат, 2002. – 312 с.
- 2 Афанасьев, В.В. Трансформаторы тока и напряжения / В.В. Афанасьев. – М. : Энергопрогресс, 2015. – 275 с.

УДК 621.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКОВ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Лазаревич И.А.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Заземляющее устройство (ЗУ) является обязательным элементом любой электроустановки и предназначено, прежде всего, для обеспечения безопасности людей, поэтому правила установки электрооборудования (ПУЭ) нормируют его параметры именно с этой позиции. С другой стороны, ЗУ во многом определяет состояние электромагнитной обстановки на объекте, и для нормальной эксплуатации технических средств его параметры должны удовлетворять также требованиям электромагнитной совместимости.

Существующие нормативные документы, определяют и нормируют параметры ЗУ в предположении, что по нему протекают токи промышленной частоты. Однако по элементам ЗУ могут протекать токи разной величины, формы и частоты. Это могут быть токи короткого замыкания (ТКЗ), токи от ударов молнии, величина которых достигает сотен килоампер, с максимумом в радиочастотном диапазоне, и значительно меньшие токи, обусловленные коммутациями в сети высокого напряжения, несимметрией, работой фильтров, стеканием разрядов статического электричества и др. Параметры ЗУ при протекании токов разной величины, формы и частоты будут различаться, следовательно, будут разными и возникающие эффекты.

Одной из основных характеристик заземляющего устройства является его сопротивление, значение которого должно соответствовать требованиям электрической безопасности и обеспечивать нормальную эксплуатацию электрооборудования. Конструкция заземляющего устройства должна быть безопасной в отношении нагрева, обладать термической и динамической устойчивостью при протекании токов короткого замыкания на землю. Заземляющее устройство должно обладать достаточной механической прочностью и иметь защиту от воздействия на него неблагоприятных внешних факторов.

В общем случае токи, протекающие по ЗУ, можно условно разделить на низкочастотные, высокочастотные и импульсные. Низкочастотные – это токи промышленной частоты и ее гармонические составляющие. Их источником в основном являются токи короткого замыкания (ТКЗ) и токи небаланса. Высокочастотные – токи молнии, высокочастотные составляющие ТКЗ, токи, возникающие в ЗУ при коммутациях в сети высокого напряжения. Их частота может достигать нескольких мегагерц. Источником мощных импульсных токов является молния. Процессы, происходящие в ЗУ при протекании тока, можно изучать на его модели посредством моделирования. Модели должны отражать главные с точки зрения решаемой задачи свойства объекта. При этом необходимо учитывать, что параметры ЗУ во многом зависят от параметров протекающего по нему тока. В некоторых случаях чем-то можно пренебречь, однако иногда пренебрежения недопустимы.

При ударе молнии в молниеприемник по элементам ЗУ объекта будут протекать импульсные токи. Между различными точками ЗУ объекта возникнут импульсные разности потенциалов. Импульсные токи большой величины, протекая по ЗУ, могут значительно изменять его параметры, вызывая ионизацию грунта с последующим местным пробоем. Под действием некоторой критической напряженности удельное сопротивление грунта ρ_0 будет уменьшаться. Процесс в ЗУ происходит в следующем порядке: ток молнии, стекая с заземлителя в грунт, обуславливает подъем потенциала на нем, который вызывает процессы ионизации. При достижении током критического значения происходит пробой грунта, его сопротивление и потенциал при этом снижаются практически до нуля. Последующее снижение величины тока вызывает деионизацию, и сопротивление грунта при этом восстанавливается до первоначального значения.

Мощные импульсные токи приводят к ионизационным процессам и пробойю грунта. Для описания возникающих при таком токе явлений необходимо составление новых моделей, учитывающих особенности физических процессов. Ионизация и пробой грунта приводят к увеличению эффективного радиуса электрода, в результате чего ток стекает в землю с большей поверхности, и максимальная величина потенциала ограничивается. Наряду с этим, при стекании мощных импульсных токов с заземлителя в грунт может возникать искровая зона, которая представляет опасность для проложенных вблизи токоотводов контрольных кабелей.

Протекание токов высокой частоты в ЗУ также имеет ряд особенностей. Например, с возрастанием частоты протекающего тока уменьшается глубина проникновения волны δ , то есть возникает явление поверхностного эффекта. Уменьшение глубины проникновения волны ведет к тому, что ухудшается рассеяние тока в грунте, основная часть которого растекается на расстоянии 3δ от поверхности электрода. Существенное уменьшение величины растекания тока способствует повышению импеданса, а, следовательно, и уровня потенциала.

Следующей особенностью токов высокой частоты является существенный фазовый сдвиг волн тока и напряжения в начале и конце линии. При больших его значениях необходимо учитывать волновые процессы и рассматривать ЗУ как линию с распределенными параметрами.

Еще одной особенностью является возрастание на высоких частотах роли индуктивных и емкостных связей в ЗУ.

Таким образом, модель ЗУ на высокой частоте должна учитывать ряд особенностей: емкостные и индуктивные связи, поверхностный эффект, фазовый сдвиг волн тока и напряжения. Их можно учесть, представив ЗУ в виде линии с распределенными параметрами. Знание особенностей процессов в ЗУ хотя бы на качественном уровне может помочь на практике принятию более правильных и осознанных решений.

Литература

- 1 Фурсанов, М.И. Моделирование и анализ токов в заземляющих устройствах электроустановок / М.И. Фурсанов // Энергия и Менеджмент. – 2010. – № 1. – С. 16–21.
- 2 Карякин, Р.Н. Нормы устройства сетей заземления / Р.Н. Карякин – М. : Энергосервис, 2006.
- 3 Бургсдорф, В.В. Заземляющие устройства электроустановок / В.В. Бургсдорф – М. : Энергоатомиздат, 1987.
- 4 Математическое моделирование ВАХ сопротивления заземлителей при протекании по ним токов молнии: сб. докладов / науч. ред. А.М. Костроминов. – СПб. : ВИТУ, 2008. – 223 с.

УДК 621.3

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТОКА

Власюк И.А.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

На протяжении долгого времени в электроэнергетике традиционно в качестве основных первичных преобразователей для нужд релейной защиты и автоматики использовались электромагнитные трансформаторы тока (ТТ). В настоящее время эта тенденция продолжается, однако сейчас активно разрабатываются измерительные преобразователи на абсолютно новых принципах, которые в ближайшем будущем будут способны потеснить трансформаторы тока с их позиций.

На современном этапе развития электроэнергетики при повсеместном использовании электрооборудования и электроприборов наиболее актуальным является достоверное измерение силы тока для обеспечения высокой надежности и безопасности промышленных систем и сетей. Для осуществления мониторинга и диагностики цепей, запуска схем защиты, обнаружения отказов электрооборудования и аварийных состояний различных типов нагрузки применяются различные типы преобразователей тока. Достоинства и недостатки различных типов преобразователей тока определяют области их применения.

Современные преобразователи тока подразделяются на следующие типы:

- трансформаторы тока;
- резистивные преобразователи (токовые шунты);
- преобразователи тока на гальваномангнитных эффектах (выполненных на основе датчиков Холла, магниторезисторов, магнитодиодов, магнитотранзисторов);
- волоконно-оптические преобразователи тока на эффекте Фарадея;
- пояс Роговского.

Традиционные трансформаторы тока (ТТ) применяются в энергетике на всех напряжениях от 6 кВ до 1150 кВ и обеспечивают на станциях и подстанциях информацией о первичном токе и первичном напряжении все системы управления и учета электроэнергии, такие как системы измерения, АСКУЭ, РЗА, ПА и диспетчеризации.

Среди требований, предъявляемых к высоковольтным трансформаторам тока и напряжения, выделим главные:

- точность измерения первичного тока и напряжения (обычно для различных потребителей вторичных токов и напряжений точность разная);
- электробезопасность персонала и вторичных цепей всех систем на щите управления станцией или подстанцией, т.е. обеспечение высоковольтной изоляции между первичными и вторичными цепями ТТ.

Эти требования предопределяют конструкции электромагнитных ТТ.

Высоковольтные трансформаторы тока имеют следующие достоинства и недостатки.

Достоинства:

- высокий класс точности – 0,2–0,5S. В лабораторных ТТ, где нет высоковольтной изоляции, достигим класс точности 0,1S и выше;
- простота и надежность ТТ в сетях 6–10–35 кВ;
- температурная стабильность характеристик ТТ.

Недостатки:

- насыщение магнитопровода электромагнитного ТТ апериодической составляющей тока короткого замыкания (КЗ) и отсутствие передачи информации о первичном токе в первые периоды аварийного переходного процесса, когда эта информация наиболее необходима системам РЗА и ПА для успешной локализации и ликвидации аварии (погрешности трансформации тока электромагнитными ТТ достигают в этом режиме 90 %).
- высокая аварийность из-за проблем с изоляцией.
- взрыво- и пожароопасность трансформаторов с масляной изоляцией (взрывоопасность в элегазовых ТТ сохраняется).

Несимметричное искажение формы кривой вторичного тока ТТ под действием апериодической составляющей в первичном токе КЗ имеет важных следствия:

- информация о первичном токе фактически перестает поступать по вторичным цепям на системы РЗА и ПА через 10 миллисекунд после начала аварии, причем сильно искажена не только апериодическая составляющая тока КЗ, но и периодическая тоже, примерно на 90 % во втором периоде (через 5–10 периодов (100–200 миллисекунд) трансформация первичного тока восстановится);

- в этих условиях системы релейной защиты должны выделить самое начало переходного процесса и по производной первой четверти периода предсказать форму кривой тока КЗ, в противном случае устройства релейной защиты (и микропроцессорные и старые) либо не работают, либо работают ложно, либо просто затягивают процесс до появления информации, хотя по регламенту системы РЗА должны за один-два периода определять место аварии и выдавать команды на соответствующие высоковольтные выключатели для локализации и ликвидации аварии в начальной стадии;

- затягивание ликвидации аварии чревато выпадением из синхронизма крупных электрических двигателей и генераторов на заводах и электростанциях, что превращает простую аварию в системную.

Поскольку насыщение магнитопровода ТТ апериодической составляющей тока КЗ вытекает из физического принципа действия трансформатора (постоянный ток не трансформируется), этот недостаток исправлен быть не может.

Оптические трансформаторы тока содержат оптоволоконный преобразователь в виде катушки с оптическим волокном надетой на токопровод. При протекании тока вокруг проводника возникает магнитное поле, которое оказывает влияние на поляризацию двух поляризованных световых сигналов с противоположным направлением вращения, проходящих по волокну. Изменение поляризации вернувшихся световых сигналов позволяет вычислить угол Фарадея, который прямо пропорционален току в первичной цепи. Одним из ключевых и, соответственно, неотъемлемых элементов системы измерения является блок электроники, который производит формирование световых сигналов и дальнейшую их обработку для вычисления тока. По сути, ТТ становится активным элементом системы вторичной коммутации, поскольку не может функционировать без упомянутого блока, требующего надежного электропитания.

Достоинства:

- широкий диапазон снимаемых данных;
- отсутствием явлений гистерезиса, магнитного насыщения и остаточного намагничивания;
- возможность интеграции в измерительные и информационные системы с использованием различных интерфейсов – аналоговых, дискретных и цифровых;
- полная эколого-, пожаро-, взрыво- и электробезопасность;
- высокая помехоустойчивость;
- долговечность;
- малые габаритные параметры.

Литература

- 1 Линт, Г.Э. Серийные реле защиты, выполненные на интегральных микросхемах / Г.Э. Линт // Библиотека электромонтера. – 1977. – С. 38–46.
- 2 Цытович, Л.И. Датчики напряжения (тока) с повышенной временной и температурной стабильностью характеристик / Л.И. Цытович // Энергетика. – 2009. – № 34. – С. 45–50.
- 3 Лебедев, В.Д. Измерительные преобразователи тока для цифровых устройств релейной защиты и автоматики / В.Д. Лебедев // Энергетика. – 2009. – № 18. – С. 3–8.

УДК 621.3

НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ БОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ

Федорович В.Л.

Научный руководитель – САПОЖНИКОВА А.Г.

Накопитель энергии позволяет осуществлять бесперебойное электроснабжение в случае критического падения, понижения или полного отсутствия напряжения в сети.

Накопители энергии (АКБ) – наиболее важный компонент системы бесперебойного энергоснабжения и наращивания мощности: технические характеристики, качество и эффективность АКБ определяют ее потенциал в наращивании мощности.

На подстанциях для питания оперативных цепей постоянного тока используются, как правило, кислотные аккумуляторные батареи (стационарные и переносные) и в отдельных случаях щелочные. Стационарные аккумуляторные батареи состоят из отдельных аккумуляторов, обычно соединенных последовательно.

Аккумуляторные батареи являются независимыми источниками энергии в системах собственных нужд станций и подстанций. Основное их назначение заключается в питании систем управления, автоматики, сигнализации, связи, а также электроснабжении особо ответственных рабочих машин и сети освещения при нарушении нормальной работы установки в течение времени, необходимого для восстановления нормальной работы.

Наиболее предпочтительными типами аккумуляторных батарей (АБ), для использования на объектах энергетики являются свинцово-кислотные АБ закрытого типа с жидким электролитом. Свинцово-кислотный аккумулятор – это вторичный химический источник тока, в основе работы которого лежит работа двух электродов различной природы (свинца и диоксида свинца), ионная проводимость между которыми обеспечивается жидким или твердым электролитом.

Свинцово-кислотные аккумуляторы являются одним из наиболее распространенных типов, среди прочих электрохимических систем. А стоимость энергии (Ватт/час), наиболее выгодной по затратам. Но наряду с относительной низкой стоимостью запасаемой энергии, системы данного типа, имеют существенный недостаток – существует необходимость участия человека в его обслуживании.

На смену свинцово-кислотным аккумуляторам с жидким электролитом, пришли герметичные аккумуляторы с твердым электролитом, которые, в сущности, устранили необходимость участия человека в обслуживании. Строго говоря, полная герметизация не может быть достигнута, т. к. невозможно обеспечить полную рекомбинацию кислорода и водорода. Поэтому данный тип корректнее называть – герметизированные аккумуляторы.

Герметизированные необслуживаемые аккумуляторные батареи.

Аккумуляторы этой группы часто обозначают сокращенно VRLA (Valve Regulated Lead Acid, в переводе с англ. Клапанно-Регулируемые Свинцово-Кислотные) или же SLA (Sealed Lead Acid Герметизированные Свинцово-Кислотные).

Аккумуляторы AGM (Absorbent Glass Mat) – это технология изготовления свинцово-кислотных аккумуляторов. Отличие батарей AGM от классических в том, что в них электролит абсорбирован в пористое стекловолокно. Такое решение позволяет исключить вытекание электролита, увеличить рекомбинацию паров обратно в жидкость и следственно герметизировать аккумулятор, но при этом не теряются преимущества классической батареи – ведь электролит все тот же – жидкий.

Емкость, которую должна выдавать АБ рассчитывается исходя из количества электроэнергии в Вт·ч, потребляемого от АБ в режиме разряда. Значение количества электроэнергии рассчитывается исходя из данных нагрузки и режимов ее работы (т. е. когда и сколько будет работать нагрузка данной мощности в течение определенного периода времени). Это количество электроэнергии нужно поделить на напряжение аккумуляторной батареи для получения значения необходимой емкости.

Номинальная емкость АБ (т. е. та, которая указывается в спецификации или названии АБ), будет зависеть от ряда факторов, таких как допустимая глубина разряда, температура окружающей среды, тип АБ и т. д. Значение, полученное в первом пункте, нужно будет умножить на коэффициенты, учитывающие эти условия работы.

Допустимая глубина разряда не должна превышать 30–40 % для герметичных необслуживаемых батарей, и 20 % для стартерных батарей. Это средние цифры, так как при быстром разряде большими токами допускается более низкое конечное напряжение батарей.

Емкость аккумуляторной батареи выбирается из стандартного ряда емкостей аккумуляторов с округлением в большую сторону от расчетной. Количество аккумуляторов, соединяемых последовательно, определяется делением номинального напряжения системы на номинальное напряжение одного аккумулятора, так же необходимо указать глубину разряда АКБ и количество времени, в течении которого питание будет поступать только с АКБ.

На электростанциях, как правило, устанавливается несколько аккумуляторных батарей. Количество зависит от мощности турбоагрегатов и типа тепловой схемы. На ТЭЦ с поперечными связями в тепловой части мощностью до 200 МВт устанавливается одна аккумуляторная батарея, а при мощности более 200 МВт – две одинаковой емкости.

На ТЭЦ с блочными тепловыми схемами выдачи мощности, для каждого из двух блоков, обслуживаемых с одного блочного щита, предусматривается установка, как правило, одной аккумуляторной батареи.

Для блоков мощностью 300 МВт и выше в тех случаях, когда применение одной батареи на два блока невозможно по условиям выбора коммутационной аппаратуры постоянного тока, допускается установка отдельной батареи для каждого блока.

Проверяют работоспособность батареи толчковым током. Для этого необходимо использовать установленные программы. Показатели тока должны быть одинаковыми и не более допустимых норм согласно маркировке. Фактическую емкость можно определить контрольными разрядами.

Эксплуатация АКБ для подстанций проводится в режиме постоянной зарядки.

Согласно технической документации АКБ для подстанций проверочный разряд делают как минимум один раз в 5 лет. Если выявляется снижение фактической емкости, то в таком случае можно проверку каждые полгода.

Необходимо определить и далее поддерживать средние нормативы напряжения, а также постоянно наблюдать за АКБ.

Стабилизация напряжения не должна отклоняться от норм, установленных изготовителем.

Разброс температуры электролита должен быть не больше трех градусов по Цельсию, по сравнению со средним показателем температуры этого составляющего батареи.

Литература

1 Околович, М.Н. Проектирование электрических станций : учебник для вузов. / М.Н. Околович – М. : Энергоиздат, 1982. – 400 с.

2 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций : учебник для техникумов. / Л.Д. Козлова, В.С. Козулин. – 2-е изд. перераб. – М. : Энергия, 1980. – 600 с.

УДК 621.3

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКИХ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Максимова М.С.

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

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. Для нахождения параметров электродинамической стойкости необходимо решить задачу динамики гибких проводов под воздействием электродинамических усилий от токов КЗ. Существующие подходы к решению указанной сложной задачи отличаются в первую очередь выбором расчетной модели гибкого провода.

К методам, приближенно учитывающим распределенные параметры провода, можно отнести метод веревочного многоугольника. По этому методу провода, гирлянды изоляторов и поддерживающие конструкции заменяются конечным числом сосредоточенных масс, связанных между собой невесомыми пружинами. Для каждого узла провода в виде такого многоугольника составляются уравнения движения массы под действием ЭДУ и внутренних упругих сил. Недостатком метода является то, что он не имеет строгого обоснования по количеству выбираемых узлов многоугольника, что может привести к искажению результатов расчета.

Наиболее часто применяемым на практике упрощенным методом является метод физического маятника. Использование указанного метода регламентировано в нормативных документах СИГРЭ, изданных в 1996 году. Методика СИГРЭ не учитывает жесткости провода на изгиб. Провод подвергается воздействию растягивающей нагрузки, обусловленной только собственным весом провода, и располагается в вертикальной плоскости, где находятся его точки закрепления.

Современные методы используют расчетные модели провода с непрерывным распределением масс. Такая модель гибкого проводника требует решения системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих движение проводов. При решении уравнений используют методы конечных элементов, либо конечных разностей. Вычисления ведутся с небольшим шагом по времени, что позволяет получить изменяющиеся во времени тяжения и перемещения всех элементов конструкции (проводов, опор, ответвлений, аппаратов).

На воздушных ЛЭП в качестве проводников используют многопроволочные сталеалюминиевые провода со стальным сердечником. Из-за их гибкой конструкции в результате электродинамического действия токов короткого замыкания происходят взаимные сближения и даже схлестывания фазных проводов друг с другом или с заземленными конструкциями ЛЭП. Для обеспечения электродинамической стойкости необходимо на стадии проектирования ЛЭП выполнить оценку ожидаемых максимальных отклонений и тяжений проводов при КЗ.

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

Интегральный (энергетический) принцип механики пригоден для приближенной оценки параметров электродинамической стойкости гибких проводников, расположенных в горизонтальной плоскости, и охватывает частные случаи указанной задачи. Однако он позволяет получить дополнительные условия электродинамической стойкости и уменьшить объем трудоемких компьютерных расчетов.

Разработан численный векторно-параметрический метод расчета электродинамической стойкости проводов воздушных ЛЭП, использующий неявную схему, обладающей абсолютной устойчивостью решений, и позволяющий проводить расчеты электродинамической стойкости с учетом динамики опорных конструкций ЛЭП и других конструктивных элементов.

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.

На его основе составлена компьютерная программа LINEDYS+, работающая в операционной системе Windows. Программа учитывает натяжные и подвесные гирлянды изоляторов, динамику точек крепления проводов, а также различные параметры КЗ и климатические условия, предшествующие КЗ.

Литература

- 1 Сергей, И.И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях / И.И. Сергей, М.И. Стрелюк. – Минск : ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 252 с.
- 2 Кудрявцев, Е.П. Инженерный расчет прочности и смещения гибких шин при коротких замыканиях / Е.П. Кудрявцев // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1984. – № 11. – С. 20–25.

УДК 621.3

АВТОМАТИКА ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА

Баркин А.К.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Асинхронный режим (АР) в энергосистеме является одним из самых тяжелых аварийных режимов. Он связан с нарушением устойчивости параллельной работы электростанций и отдельных генераторов, что создает опасность повреждения элементов энергосистемы, нарушения электроснабжения потребителей и сопряжено с большим экономическим ущербом.

Поэтому весьма важным является своевременное, селективное и надежное выявление АР в энергосистеме с целью его быстрой ликвидации и восстановления нормального режима, для чего в энергосистемах СССР применялись специальные устройства для автоматической ликвидации асинхронного режима (АЛАР).

По мере развития электрических сетей и перехода к предельным по условию устойчивости режимам работы электропередач возросла опасность АР и его последствий для энергосистем, что, в свою очередь, потребовало разработки более совершенных устройств АЛАР. В настоящее время проектными организациями Минэнерго предусматриваются для вновь вводимых линий электропередачи устройства АЛАР, поставляемые заводами в виде типовых панелей или отдельных устройств, выполняемых по типовым схемам.

Как известно, устойчивость параллельной работы в нормальном режиме работы энергосистем, при авариях типа КЗ, сложных отключениях линий электропередачи и других отключениях поддерживается в энергосистемах за счет естественных синхронизирующих сил. Кроме того, для этой цели используются устройства противоаварийной автоматики (ПА), действующие в начальный момент аварии путем отключения части генераторов, аварийного управления мощностью паровых турбин, отключения части нагрузки и деления энергосистем на несинхронно работающие части. Эти устройства, получившие название автоматики предотвращения нарушения устойчивости, позволяют избежать многих тяжелых аварий и в то же время повысить эффективность использования электропередач за счет увеличения их загрузки в исходном (до аварийном) режиме.

Однако предотвращение нарушений устойчивости с помощью устройств ПА в ряде случаев оказывается либо невозможным, либо нецелесообразным. В этих случаях применяют устройства АЛАР, действующие в конечном итоге на разрыв связей, устойчивость которых нарушена.

Устройства АЛАР могут использоваться как в качестве резерва к устройствам автоматики предотвращения нарушения устойчивости, так и самостоятельно, без них. В обоих случаях – это автоматика, воздействующая на разрыв связей, потерявших устойчивость.

Основная функция этих устройств – выявление факта перехода режима в асинхронный. В ряде случаев требуется также выявление ускоряющейся и тормозящейся частей энергосистемы, что необходимо для восстановления синхронизма (ресинхронизации) или выбора точек деления с учетом расположения узлов нагрузки. Последнее особенно важно для тех «слабых» связей, которые служат не столько для обмена мощностями между энергосистемами, сколько для обеспечения электроснабжения потребителей, подключенных к промежуточным подстанциям. При этом деление целесообразно производить селективно, то есть в таких точках энергосистемы, чтобы нагрузка промежуточных подстанций осталась подключенной к части энергосистемы, имеющей избыток мощности.

В качестве основных технических требований к устройствам АЛАР могут быть названы:

– селективность выявления АР (отличие его от синхронных качаний, отличие асинхронного хода в контролируемом сечении от внешнего асинхронного хода, определение знака скольжения);

– чувствительность к АР (характеризуется отношением значения контролируемого параметра к его значению, соответствующему моменту наступления АР, или способностью устройства фиксировать изменение какого – либо признака, которое характеризует момент наступления АР);

- быстрота действия (время выявления АР);
- простота выполнения и надежность функционирования;
- универсальность применения в сетях сложной конфигурации.

При дефиците активной мощности в части энергосистемы или в одной из энергосистем по причине отключения части генераторных мощностей (отключение ЛЭП, по которой передаются значительные мощности извне; аварийные остановки генератора или группы генераторов, вносящих весомый вклад в выработку электроэнергии в рассматриваемой системе), нагружаются оставшиеся в работе генераторы, частота вращения их понижается и при несвоевременно принятых мерах они переходят в асинхронный режим («вываливание из синхронизма»), при этом скольжение приобретает значительные величины (магнитное поле начинает вращаться относительно ротора машины).

Начало асинхронного режима может быть спровоцировано глубоким понижением напряжения в системе.

Поскольку развитие асинхронного режима может происходить лавинообразно, то АЛАР должна иметь достаточное быстроедействие. Кроме того, система АЛАР должна различать опасный асинхронный режим и неопасные синхронные качания.

УДК 621.3

ВРЕМЯ ИМПУЛЬСНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ

Грицкевич Д.В.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Современные системы автоматического контроля основаны на широком использовании сбора и обработки информации. Представление информации в дискретном виде целесообразно в случаях объектов контроля, имеющих повышенный уровень шумов и помех. В этих случаях обычные методы повышения помехоустойчивости измерительного комплекса, например, путем применения фильтра, приводят к значительному увеличению времени измерения или к понижению точности измерения.

Методы преобразования аналоговой величины в частоту или длительность временного интервала, основу которых составляет интегрирование измеряемого сигнала, позволяют в значительной мере преодолеть этот недостаток.

При наличии преобразования значительно расширяются возможности электронных частотомеров в результате использования их в качестве цифрового вольтметра, измеряющего среднее значения напряжения или тока. Использование преобразователя, расположенного непосредственно около контролируемой точки, и передача частотного сигнала по линии связи в систему обработки и регистрации повышает помехоустойчивость не только измерителя, но и линии связи.

Современные системы автоматического контроля и управления проектируются, как правило, с использованием унифицированного параметра. В этом смысле частотный сигнал является весьма перспективным унифицированным параметром, ибо позволяет повысить эффективность системы за счет приобретения способности к обработке сигналов как в виде напряжения или тока, так и в частотном виде, всегда имеющемся среди контролируемых параметров.

Преобразователи аналоговой величины в частотно-импульсный сигнал могут выполняться на основе простейших релаксационных генераторов типа мультивибраторов, фантастронов, блокинг-генераторов, имеющих большую нелинейность модуляционной характеристики и нестабильность частоты выходных импульсов. Последняя, зависит от непостоянства напряжения питания, от нестабильности параметров устройств, изменения температуры окружающей среды, уровня помех на входе.

В устройствах время-импульсного кодирования изменение воздействующей на преобразователь аналоговой величины приводит к широтно-импульсной модуляции импульсов, следующих через равные интервалы времени, определяемые тактовыми импульсами.

Устройства время-импульсного кодирования могут иметь как разомкнутую, так и замкнутую структуру.

Если время-импульсные методы преобразования, использующие независимое от входного сигнала формирование эталонного уравнивающего напряжения (пилообразного или ступенчатого), то методы преобразования аналоговой величины в частотный или время-импульсный выходной сигнал, в основе которых лежит интегрирование аналогового сигнала, еще в достаточной степени не описаны.

Вместе с тем в силу таких их особенностей как большая точность и линейность преобразования, помехоустойчивость, большая, чем при всех других методах преобразования, сравнительно небольшой объем и простота они находят все большее применение в измерительных приборах ведущих зарубежных фирм.

Одним из методов повышения метрологических характеристик преобразователей является структурный метод, использующий введение в устройство информационной и аппаратурной избыточности, так называемый метод построения автокорректирующих структур.

Увеличение состава оборудования и введение дополнительных, операций позволяет не только повысить метрологические характеристики, но и снизить требования к входящим в состав преобразователя элементам и к точности их регулировки и настройки.

Основным из структурных методов улучшения метрологических характеристик преобразователя является использование замкнутой структуры, т. е. введение цепи обратной связи, общей или местной.

Использование замкнутой следящей системы со стабильным звеном обратной связи позволяет практически исключить влияние на точность формирования выходного сигнала погрешностей элементов прямой цепи системы.

Для устройств, имеющих замкнутую структуру, является характерным сохранение на всем цикле кодирования преобразуемого сигнала, который последовательно по времени уравнивается эталонным непрерывным или импульсным напряжением.

Согласно этому преобразователи аналоговой величины в число импульсов с промежуточным преобразователем во временной интервал и замкнутой структурой по методу преобразования могут быть разделены на устройства с импульсной обратной связью и устройства, использующие в прямом тракте грубый преобразователь аналоговой величины во временной интервал.

УДК 621.3

ИЗУЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СРЕДЕ SIMULINK MATLAB

Изоитко О.Л.

Научный руководитель – АРТЕМЕНКО К.И.

Переходные процессы возникают при любых изменениях режима электрической цепи: при подключении и отключении цепи, при изменении нагрузки, при возникновении аварийных режимов (короткое замыкание, обрыв провода). Изменения в электрической цепи можно представить в виде тех или иных переключений, называемых в общем случае коммутацией. Физически переходные процессы представляют собой процессы перехода от энергетического состояния, соответствующего до коммутационному режиму, к энергетическому состоянию, соответствующему после коммутационному режиму. Исследования переходных процессов реализуются методами математического моделирования. Одной из программ является MatLab со своим приложением Simulink. Simulink выполняет симуляции работы моделируемых систем и устройств.

Целью работы является изучение возникновения переходных процессов, их видов, особенностей и способов ограничения.

Задача исследования – определение уровней токов в переходном процессе.

При анализе переходных процессов в электрических цепях считается, что:

- рубильники включаются и размыкаются мгновенно;
- время переходного процесса, теоретически бесконечно длительное;
- установившийся режим после коммутации рассчитывают при условии $t \rightarrow \infty$.

Анализ переходных процессов производят путем решения дифференциальных уравнений, составленных для исследуемой электрической цепи на основе законов Кирхгофа или метода контурных токов, рисунок 1.

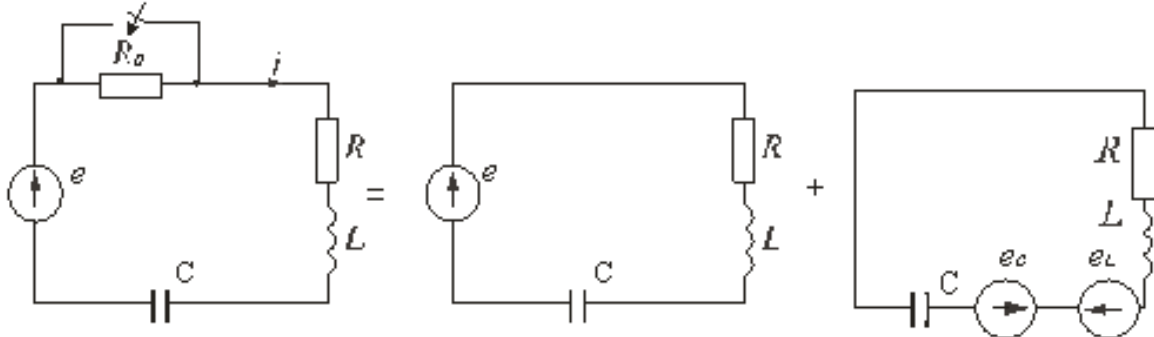


Рисунок 1 – Исследуемая электрическая цепь

Переходные процессы обычно быстро протекающие: длительность их составляет десятки, сотые, а иногда и миллиардные доли секунды. Сравнительно редко длительность переходных процессов достигает секунд и десятков секунд. Тем не менее, изучение переходных процессов весьма важно, так как позволяет установить, как деформируется по форме и амплитуде сигнал, выявить превышения напряжения на отдельных участках цепи, которые могут оказаться опасными для изоляции установки, увеличения амплитуд токов, которые могут в десятки раз превышать амплитуду тока установившегося периодического процесса, а также определять продолжительность переходного процесса. С другой стороны, работа многих электротехнических устройств, особенно устройств промышленной электроники, основана на переходных процессах.

При проведении исследования простейшей электрической схемы уровни токов в момент короткого замыкания превысили номинальные токи и составили:

- для фазы А – 800 А;
- для фазы В – 1000 А;

– для фазы *C* – 800 А.

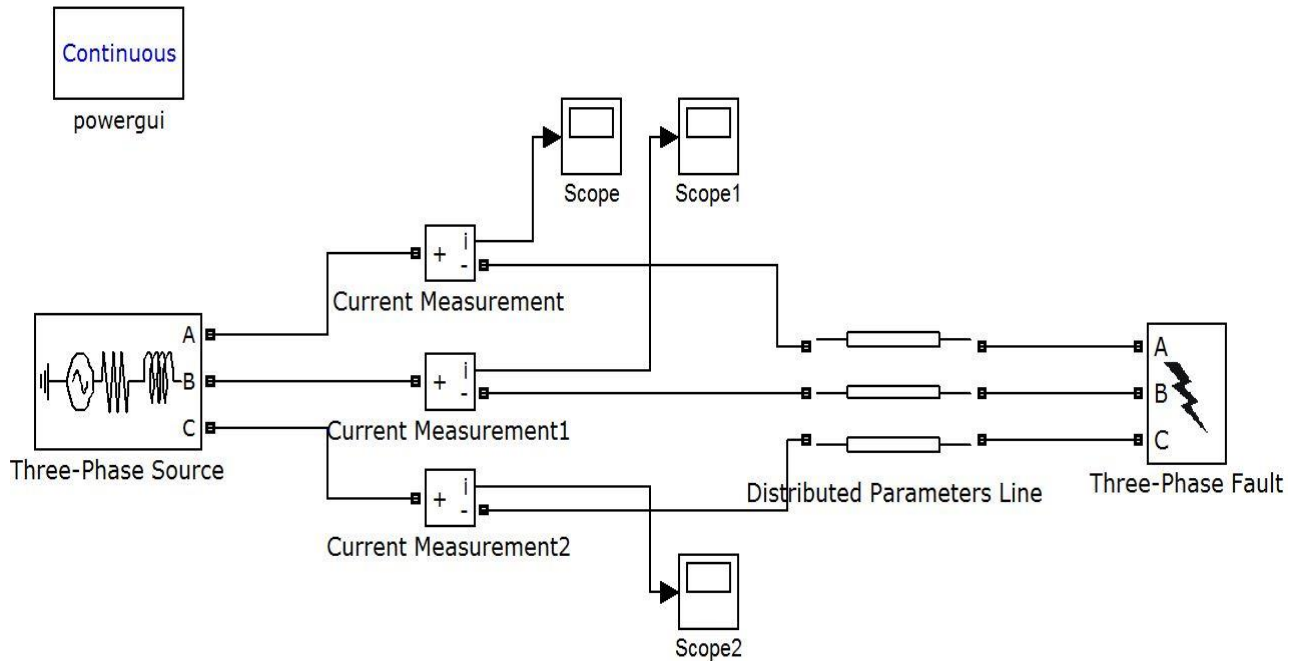


Рисунок 2 – Модель электрической цепи

Литература

- 1 Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М. : ДМК Пресс; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.
- 2 Халилов, Ф.Х. Переходные процессы в энергетических системах / Ф.Х. Халилов. – СПб. : НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2013. – 80 с.
- 3 Стариков, С.В. Исследование в оболочке MatLab переходных процессов / С.В. Стариков, В.А. Чевычелов, В.И. Гуль // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Сер. 4, Энергетика. Электроэнергетика. – 2009. – № 11. – С. 47–50.

УДК 621.3

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Рожко А.С.

Научный руководитель – САПОЖНИКОВА А.Г.

Электрическая энергия как товар используется во всех сферах жизнедеятельности человека, обладает совокупностью специфических свойств и непосредственно участвует при создании других видов продукции, влияя на их качество.

Качество электроэнергии – степень соответствия параметров электрической энергии, к их установленным значениям. В свою очередь, параметр электрической энергии – величина, количественно характеризующая какое-либо свойство электрической энергии. Под параметрами электрической энергии понимают напряжение, частоту, форму кривой электрического тока.

ГОСТ 13109-99 устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения – ТОП).

Этот ГОСТ устанавливает 11 основных показателей качества электроэнергии (ПКЭ):

- отклонение частоты δf ;
- установившееся отклонение напряжения δU_y ;
- размах изменения напряжения δU_1 ;
- дозу фликера (мерцания или колебания) P_f ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_u ;
- коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения K_u ;
- коэффициент несимметрии напряжений обратной последовательности K_{2U} ;
- коэффициент несимметрии напряжений нулевой последовательности K_{0U} ;
- глубину и длительность провала напряжения δU_n , Δt_n ;
- импульсное напряжение $U_{имп}$;
- коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}$.

При определении значений некоторых показателей качества электрической энергии используют следующие вспомогательные параметры электрической энергии:

- частоту повторения изменений напряжения K_{2U} ;
- интервал между изменениями напряжения;
- глубину провала напряжения δU_n ;
- частота появления провалов напряжения F_n ;
- длительность импульса по уровню 0,5 его амплитуды $\Delta t_{имп0,5}$;

Установлены два вида норм ПКЭ: нормально допустимые и предельно допустимые. Рассмотрим некоторые показатели качества электрической энергии.

Отклонение частоты в электрической системе, характеризует разность между действительным и номинальным значениями частоты переменного тока в системе электроснабжения и определяется по формуле (1):

$$\delta f = f - f_{ном} \quad (1)$$

Частота переменного тока в электрической системе определяется скоростью вращения генераторов электростанций. Номинальное значение частоты в 50 Гц в электрической системе может быть обеспечено при условии наличия резерва активной мощности. В каждый момент времени в электрической системе должно быть обеспечено равенство между мощностью генераторов электростанций и мощностью, потребляемой нагрузкой с учетом потерь мощности на передачу в электрической сети. Ввод резервной мощности возможен в системе за счет дополнительного расхода энергоносителя турбин электростанций.

Если резерв мощности оказывается недостаточным, не реализуется или отсутствует вообще, возникновение дефицита активной мощности приводит к снижению частоты, в

результате которого снижается производительность механизмов собственных нужд тепловых электростанций и, как следствие, механическая мощность турбин и электрическая мощность генераторов.

Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) предназначена для предотвращения недопустимого снижения частоты при возникновении дефицита активной мощности в энергосистеме или отдельных ее районах. Действует на отключение части менее ответственных потребителей.

Провал напряжения – внезапное значительное снижение напряжения в точке электрической сети ниже $0,9U_{ном}$, которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд.

Провал напряжения характеризуется глубиной (по отношению к значению напряжения в нормальном режиме) и длительностью.

Основной причиной провалов напряжения в системе электроснабжения являются короткие замыкания в отходящих от цепи питания данного узла нагрузки ответвлениях электрической сети высокого (35–220 кВ), среднего (6–10 кВ) напряжений и в сетях с напряжением до 1 кВ.

Восстановление напряжения после провала наступает благодаря действию системы автоматического повторного включения (АПВ), а при неуспешном АПВ, при длительных провалах, благодаря устройствам автоматического ввода резервного питания (АВР).

Несинусоидальность напряжения появляется потому, что в кривой напряжения, помимо гармоник основной частоты, есть гармоники других высших частот, кратных основной частоте.

Причиной возникновения несинусоидальности напряжения является наличие потребителей электроэнергии с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Основной вклад в несинусоидальность напряжения вносят тиристорные преобразователи электрической энергии, получившие широкое распространение в промышленности.

Для снижения несинусоидального напряжения применяют оборудования, характеризующегося пониженным уровнем генерации высших гармоник, например, многофазных вентильных преобразователей. Использование фильтровых устройств: параллельных узкополосных резонансных фильтров и фильтрокомпенсирующих устройств.

Временное перенапряжение – повышение напряжения в точке электрической сети выше $1,1U_{ном}$ продолжительностью более 10 мс, возникающее в системах электроснабжения при коммутациях или коротких замыканиях.

Для устранения временных перенапряжений используется ограничитель перенапряжения нелинейный (ОПН) – электрический аппарат, предназначенный для защиты оборудования систем электроснабжения от коммутационных и грозовых перенапряжений. ОПН также можно назвать разрядником без искровых промежутков. ОПН на сегодняшний день являются одним из эффективных средств защиты оборудования электрических сетей.

Колебания напряжения характеризуются размахом изменения напряжения, частотой повторения изменений напряжения, дозой фликера, интервалом между изменениями напряжения.

Источниками колебаний напряжения являются потребители электроэнергии с резкопеременным графиком потребления мощности, особенно реактивной. К ним относятся: дуговые сталеплавильные печи, электросварка, поршневые компрессоры и ряд других. При резком возрастании нагрузки происходит резкое увеличение потерь напряжения в ветвях сети, питающих эту нагрузку. В результате резко уменьшается напряжение на приемном узле ветви. При резком уменьшении нагрузки происходит уменьшение потерь напряжения и, следовательно, увеличение напряжения на приемном узле ветви.

Для снижения колебаний напряжения применяются электрооборудования со сниженными пусковым током и улучшенным $\cos\phi$ при пуске. Также снижают сопротивления питающего участка сети.

К основным задачам измерения и анализа показателей качества электроэнергии (ПКЭ) относятся: обнаружение помех и их оценка, регистрация измеренных числовых характеристик в целях обработки и отображения результатов, оценка измеренных значений показателей качества электроэнергии на соответствие установленным требованиям, определение источника помех, проведение коммерческих расчетов между поставщиком и потребителем электроэнергии. Для организации измерений необходимо определить вид контроля, точку осуществления измерений и виды контролируемых ПКЭ.

Литература

- 1 Карташевич, И.И. Нормирование показателей качества электрической энергии / И.И. Карташевич, А.И. Воложин. – Л. : Энергия, 2006. – 134 с.
- 2 Агунов, А.В. Управление качеством электроэнергии при несинусоидальных режимах / А.В. Агунов. – Л. : Энергия, 2009. – 320 с.

УДК 621.3

НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Мазуров А.Ю.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Накопители энергии – это комплексные, интегрированные решения по накоплению электрической энергии, ее преобразованию и дальнейшему использованию. Рассмотрим различные виды накопителей, их достоинства и недостатки.

Самые массовые «электрические» накопители энергии – это обычные радиотехнические конденсаторы. Они обладают огромной скоростью накопления и отдачи энергии – как правило, от нескольких тысяч до многих миллиардов полных циклов в секунду, и способны так работать в широком диапазоне температур многие годы, а то и десятилетия. Конденсаторы можно разделить на два больших класса – неполярные (т. е. не содержащие жидкого электролита) и полярные (обычно электролитические). Использование жидкого электролита обеспечивает существенно большую удельную ёмкость, но почти всегда требует соблюдения полярности при подключении. Кроме того, электролитические конденсаторы часто более чувствительные к внешним условиям, прежде всего к температуре, и имеют меньший срок службы.

Ионисторы, которые иногда называют «суперконденсаторами», можно рассматривать как своего рода промежуточное звено между электролитическими конденсаторами и электрохимическими аккумуляторами. От первых они унаследовали практически неограниченное количество циклов заряда-разряда, а от вторых – относительно невысокие токи зарядки и разрядки (цикл полной зарядки-разрядки может длиться секунду, а то и намного дольше). Ёмкость их также находится в диапазоне между наиболее ёмкими конденсаторами и небольшими аккумуляторами – обычно запас энергии составляет от единиц до нескольких сотен джоулей.

Ёмкостные накопители энергии (ЕНЭ) относятся к разряду наиболее мощных энергоисточников. Они надежны в работе, обладают высокой эффективностью передачи накопленной энергии в нагрузку. Для зарядки ЕНЭ могут быть использованы маломощные зарядные устройства. Вследствие малой удельной энергоемкости создание ЕНЭ с запасаемой энергией более 10 МДж затруднительно. Увеличение удельной энергоемкости возможно за счет применения более совершенных компонентов при изготовлении конденсаторов, совершенствования технологии их сборки, уменьшения ресурса (числа пусков), работы конденсаторов в аperiodическом режиме разряда.

Молекулярные накопители энергии (МНЭ) представляют собой конденсаторы с двойным электрическим слоем. Они отличаются от обычных импульсных конденсаторов тем, что для пространственного разделения разноименных зарядов, создающих рабочее электрическое поле, используются не макроскопический диэлектрический слой между проводящими обкладками, а микроскопический поляризованный слой на границе поверхности раздела двух сред.

Индуктивные накопители энергии (ИНЭ) характеризуются высокими выходными параметрами электрической, а также высокими удельными и экономическими показателями. Для накачки энергии в ИНЭ используются источники тока с большой электрической мощностью, чтобы уменьшить время зарядки до единиц секунд. В противном случае джоулевы потери энергии при запитке ИНЭ могут оказаться сравнимыми с запасаемой в накопителе энергией. Для запитки ИНЭ могут быть использованы электромашинные накопители (ударные униполярные и синхронные генераторы), МГД-генераторы кратковременного действия (МГДКД, ЖМГДГ), химические источники тока.

Сверхпроводящие индуктивные накопители энергии (СПИНЭ) имеют широкие перспективы использования, обусловленные возможностью длительного хранения энергии в форме магнитной энергии, что позволяет создавать системы с высоким уровнем времени готовности. Важной в практическом отношении особенностью СПИНЭ является

возможность его запитки от источника с малой электрической мощностью. В конструкции СПИНЭ можно условно выделить три основных конструктивных узла: собственно, магнитная система, криогенная система и система связи с внешней сетью, так называемый преобразователь-инвертор. Метод накопления электроэнергии с помощью СПИНЭ отличается экологической чистотой. Не используются вредные материалы, никаких химических реакций не происходит. Отходы производства отсутствуют. Новые технические возможности в создании СПИНЭ могут быть связаны с разработкой высокотемпературных сверхпроводников. Высокотемпературные сверхпроводящие материалы характеризуются сравнительно высокими значениями критических полей (100 Тл) и все еще высокими температурами сверхпроводящих состояний. Основное развитие импульсных источников данного класса предполагается в направлении роста запасаемой электрической энергии без заметного увеличения выходной мощности. Для импульсных накопителей энергии характерен широкий диапазон изменения выходных токов и напряжений электрических импульсов.

Накопитель энергии позволяет осуществлять бесперебойное электроснабжение в случае критического падения, понижения или полного отсутствия напряжения в сети. В последнее время наблюдается большее расширение сферы применения накопителей электрической энергии (НЭЭ): автомобильный транспорт, электрический транспорт городов, включая метро, система резервирования в электрических системах, системы электроснабжения нетрадиционной энергетики, пригородный транспорт и др. Это свидетельствует о большой области применения накопителей электрической энергии.

УДК 621.317.33

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Баран А.Г., Баран Ю.Г.

Научный руководитель – БОГУСЛАВСКИЙ С.И.

Непрерывный мониторинг температуры вероятных точек отказа токоведущих частей электрооборудования позволяет определить быстро меняющиеся условия эксплуатации и является опережающим индикатором потенциальной неисправности / отказа оборудования.

Технология поверхностных акустических волн (ПАВ технологий) относится к наиболее передовым [1, 2]. Она помогает создавать умные сети электроснабжения (Smart grid) посредством использования информационных и коммуникационных сетей и технологий для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяющей автоматически повышать эффективность, надежность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии. Применение ПАВ технологий позволяет гибко выделять в составе Smart grid подсистему автоматизированного мониторинга силового электротехнического оборудования. Интеллектуальные решения посредством ПАВ технологий значительно повышают эффективность и надежность работы сети и помогают избежать отключений и поломок оборудования.

Преимуществами ПАВ технологии для контроля температуры являются:

- мониторинг токоведущих элементов;
- пассивные датчики без элементов питания;
- автоматизация и отсутствие человеческого фактора;
- интеграция в промышленные сети и интернет;
- беспроводной контроль токоведущих узлов;
- непрерывный контроль узлов под напряжением;
- длительный срок службы, без обслуживания.

Современный мировой рынок систем автоматического мониторинга температуры токоведущих частей электрооборудования представлен несколькими хорошо известными представителями:

- IntelliSAW – www.intellisaw.com [3, 4].
- SenGenuity – www.sengenuity.com [5].
- Carinthian Tech Research (CTR) – www.ctr.at [6].
- Environetix Technologies Corporation – www.environetix.com [7].
- RF SAW, Inc. – www.rfsaw.com [8] (ПАВ Лаборатория – www.rfsaw.ru [9]).

Каждая из компаний предлагает собственные разработки пассивных беспроводных радиомониторинговых систем контроля температуры с использованием устройств, функционирующих на основе ПАВ технологий. ПАВ технология обеспечивает идеальное решение, так как оно непроницающее, не требует питания для датчиков, имеет высокую степень интеграции, режим реального времени и обеспечивает постоянный 24 часовой и 7 суточный мониторинг оборудования.

Платформа диагностики ответственного производственного оборудования IntelliSAW (рисунок 1) контролирует три основных режима отказа производственного оборудования. Система состоит из блока мониторинга и трех типов датчиков:

- беспроводной SAW датчик температуры: адресуемый датчик термического пробоя.
- частичных разрядов: адресуемый датчик пробоя изоляции.
- влажности / температуры окружающей среды: адресуемый датчик пробоя воздушного диэлектрика.

SenGenuity предлагает пассивную беспроводную систему, основанную на ПАВ технологии измерения температуры (рисунок 2), которая идеально подходит для широкого

спектра применений: высоковольтная коммутационная аппаратура, вращающиеся детали машин и беспроводные зонды.

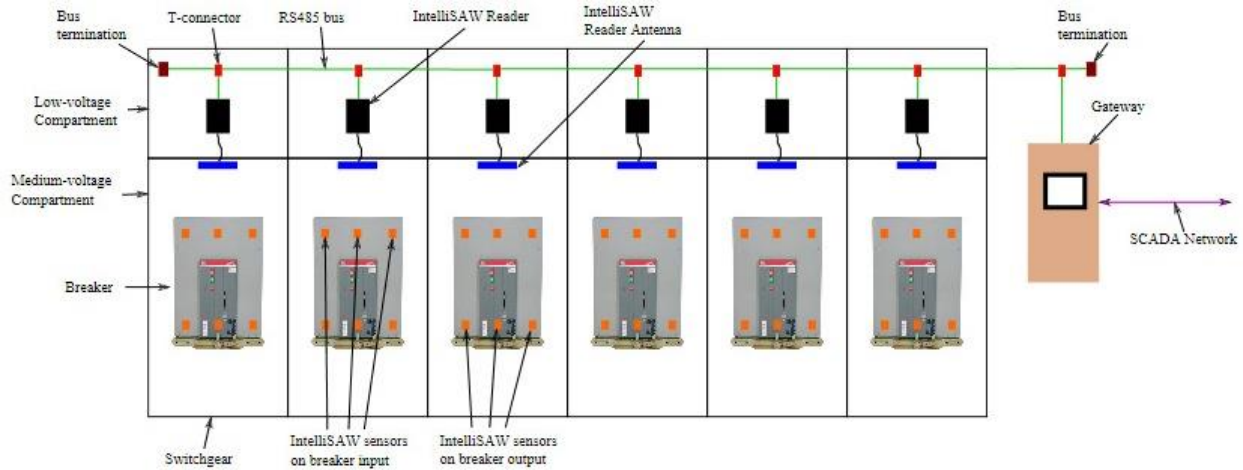


Рисунок 1 – Типовой вариант установки беспроводной системы мониторинга температуры IntelliSAW в распределительном устройстве подстанции

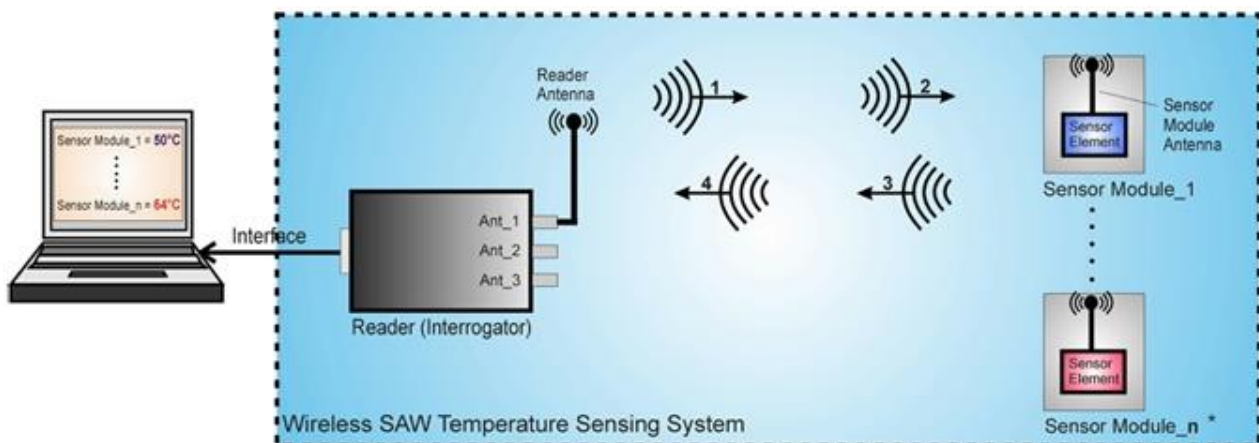


Рисунок 2 – Структурная схема беспроводной системы определения температуры SenGenuity

Беспроводные датчики CTR основаны на технологии поверхностных акустических волн. Датчик получает питание от беспроводного сигнала и передает собранные данные считывающему устройству. Используя особенно надежную ПАВ технологию, которая измеряет изменение скорости поверхностных волн, можно найти решения для экстремальных промышленных условий окружающей среды. Датчики CTR позволяют производить измерения температур в диапазоне от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+400\text{ }^{\circ}\text{C}$

Беспроводная система датчиков температуры Environetix (рисунок 3) имеет следующие особенности: стабильная и надежная работа до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$; несколько датчиков со встроенными радиочастотными антеннами; беспроводная радиочастотная система опроса радиочастот; возможность установки на вращающихся или неподвижных деталях.

Система мониторинга температуры высоковольтных узлов распределительных устройств и высоковольтных линий электропередачи компании «ПАВ Лаборатория» применяется распределительными сетевыми компаниями и эксплуатирующими организациями для предотвращения нарушений условий эксплуатации, которые могут привести к катастрофическим последствиям (рисунок 4). Разработаны технические средства для организации системы контроля температуры высоковольтных узлов в КРУ беспроводные датчики TSAW-PB для установки на токоведущие шины, TSAW-PL для установки на провода ЛЭП и TSAW-PT для масляных трансформаторов.

Для каждой из представленных систем данные с датчиков собираются в аппаратное устройство «накопитель данных» (контроллер), который рассчитан на прием широкого диапазона данных по беспроводной связи и имеет возможность передачи данных через общую сеть для записи и интерпретации данных. Данные измерений, полученные от контроллера, посредством протокола Modbus RTU отображаются на экране компьютера (система визуализации SCADA) данные архивируются в базе данных SCADA и отображаются на экране.

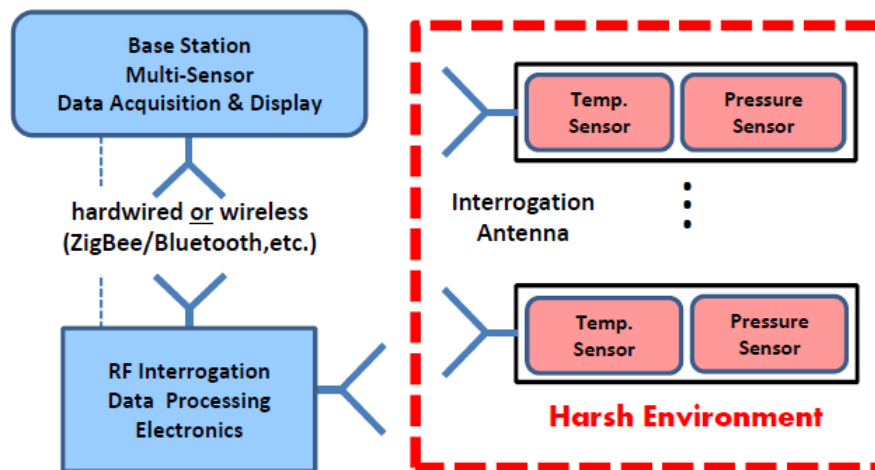


Рисунок 3 – Беспроводная система датчиков температуры для агрессивных сред Environetix Technologies Corporation



Рисунок 4 – Система мониторинга температуры высоковольтных узлов электрооборудования компании «ПАВ Лаборатория»

Применение ПАВ технологий сводит к минимуму риск возникновения аварии благодаря статистическому мониторингу тепловых режимов работы элементов распределительных устройств. Благодаря применению ПАВ технологий система контролирует температуру, выбранных пользователем критических точек

распределительного устройства, и генерирует сигнал тревоги посредством превышения температуры заданной пользователем (сравнение заданной и фактической температуры).

Система мониторинга параметров, связанных с потенциальными режимами отказа электрического оборудования, позволяет решить две ключевые задачи: во-первых, оповестить конечных пользователей о существующем отказе и во-вторых, рекомендовать параметры технического обслуживания и/или проверок, основанных на анализе тенденций изменения параметров, способствующих отказу, а не на запланированных отключениях.

Литература

- 1 Binder, A. Wireless SAW Temperature Sensor System for High-Speed High-Voltage Motors / A. Binder, R. Fachberger // IEEE Sensors Journal. – 2011. – Volume 11. – Issue 4. – Pp. 966–970.
- 2 Schuster, S. Performance evaluation of algorithms for SAW-based temperature measurement / S. Schuster; S. Scheiblhofer; L. Reindl; A. Stelzer // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. – 2006. – Volume 53. – Issue 6. – Pp. 1177–1185.
- 3 Advanced Monitoring Solutions for Critical Electric Power Transmission & Distribution Assets // IntelliSAW Features Overview [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access : <http://www.intellisaw.com/>. – Date of access : 10.02.2017.
- 4 Electrical Switchgear Monitoring System // IntelliSAW Features Overview [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access : <http://www.intellisaw.com/Technology/intellisaw-electrical-switchgear-monitoring-system.html>. – Date of access : 10.02.2017.
- 5 Wireless SAW Temperature Sensor System // SenGenuity Sensor Engines [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access : <http://www.sengenuity.com/tempsensor.html>. – Date of access : 10.02.2017.
- 6 Wireless sensors for extreme conditions // Carinthian Tech Research [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access : <http://www.ctr.at/en/r-d-technologies/wireless-sensors.html>. – Date of access : 10.02.2017.
- 7 Wireless SAW// Environetix Technologies Corporation [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access : <http://www.environetix.com/technologies-solutions/wireless-saw/>. – Date of access : 10.02.2017.
- 8 RFID and Temperature Sensing Utilizing SAW Technology // RF SAW, Inc. [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access : <http://www.rfsaw.com/Pages/default.aspx>. – Date of access : 10.02.2017.
- 9 Системы мониторинга температуры // ПАВ Лаборатория [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа : http://rfsaw.ru/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=37&Itemid=730&lang=ru. – Дата доступа : 10.02.2017.

УДК 621.3

ЭЛЕКТРОЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА И КОНТРОЛЬ ИХ СОСТОЯНИЯ

Андралойть О.Ю.

Научный руководитель – ГАВРИЕЛОК Ю.В.

Электронасыщенность современного производства формирует электрическую опасность, источником которой могут быть электрические сети, электрифицированное оборудование и инструмент, вычислительная и организационная техника, работающая на электричестве. Это определяет актуальность проблемы электробезопасности – ликвидацию электротравматизма.

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Средства защиты – средство, применение которого предотвращает или уменьшает воздействие на одного или более работающих опасных и (или) вредных производственных факторов. Электрозащитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги и электромагнитного поля.

Основные электрозащитные средства – это средства защиты, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановок, и которые позволяют прикасаться к токоведущим частям, находящимся под высоким напряжением.

К электрозащитным средствам относятся:

- изолирующие штанги (оперативные для наложения заземления, измерительные), изолирующие клещи (для операций с предохранителями) и электроизмерительные, указатели напряжения, указатели напряжения для фазировки и так далее;

- изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ и слесарно-монтажный изолирующий инструмент для работы в электроустановках напряжением до 1000 В;

- диэлектрические перчатки, боты, галоши, изолирующие накладки и подставки;

- индивидуальные экранирующие комплекты;

- переносные заземления;

- оградительные устройства и диэлектрические колпаки;

- плакаты и знаки безопасности.

Так как главным свойством большинства защитных средств является их изолирующая способность, то для проверки ее делается испытание приложением к изолирующей части испытательного напряжения промышленной частоты. Величина этого напряжения больше обычного рабочего напряжения и устанавливается в согласовании с «Правилами использования и тесты защитных средств, используемых в электроустановках». Периодичность испытаний защитных средств в эксплуатации также установлена этими Правилами. Нормы и сроки испытаний защитных средств приведены там же.

Защитные средства, выдерживающие какую-либо механическую нагрузку при работе (штанги, изолирующие подставки, предохранительные пояса и страхующие канаты), испытываются также на механическую крепкость нагрузкой, установленной Правилами использования и тесты защитных средств, используемых в электроустановках.

Контроль состояния защитных средств конкретно перед каждым внедрением является неотклонимым. С этой целью наружным осмотром проверяется целостность деталей рабочей части, отсутствие наружных повреждений, способных нарушить защитное действие (трещинок, царапин лакового покрова), отсутствие загрязнения, наличие штампа об испытании, годность защитного средства к использованию в данной электроустановке (по напряжению) и срок годности к использованию (по штампу). Использование защитным средством, срок годности которого истек, категорически воспрещается. Оно должно быть изъято из эксплуатации.

Внедрение изолирующих защитных средств в электроустановках с напряжением выше того, для которого защитное средство было испытано, категорически не допускается.

Средства защиты необходимо хранить и перевозить в условиях, обеспечивающих их исправность и пригодность к употреблению, поэтому они должны быть защищены от увлажнения, загрязнения и механических повреждений.

Средства защиты необходимо хранить в закрытых помещениях.

Находящиеся в эксплуатации средства защиты из резины следует хранить в специальных шкафах, на стеллажах, в ящиках и т. п. отдельно от инструмента. Они должны быть защищены от воздействия масел, бензина и других, разрушающих резину веществ, а также от прямого воздействия солнечных лучей и теплоизлучения нагревательных приборов. Средства защиты из резины, находящиеся в складском запасе, необходимо хранить в сухом помещении.

Электрозащитными средствами следует пользоваться по их прямому назначению в электроустановках напряжением не выше того, на которое они рассчитаны.

Любая электроустановка несет в себе большую опасность. Опасность заключается в поражении непосредственно электрическим током и электрической дугой. Следовательно, при обслуживании электроустановки необходимо пользоваться электрозащитными средствами.

УДК 621.3

МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Магер Н.С.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Основное назначение релейной защиты – обнаружение и автоматическое отключение неисправных электрических устройств. Релейная защита и автоматика – это комплекс устройств, связанных между собой и выполняющий функции контроля работы электросистемы. При обнаружении какой-либо неисправности, в сети включается автоматическая защита цепей, которая отсекает неисправный участок от общей электросети. Для того чтобы обеспечить правильную и надежную работу устройств релейной защиты, необходимо периодически производить их проверку. Периодичность проверок устанавливается с учетом ответственности объекта, состояния аппаратуры, квалификации обслуживающего персонала и других факторов, характерных для каждого конкретного случая.

К методам проверки релейной защиты, исследование которых проводится в работе, относятся: проверка механической части релейной аппаратуры, проверка правильности монтажа и маркировки цепей, проверка изоляции, проверка трансформаторов тока, проверка трансформаторов напряжения, проверка аппаратуры и цепей управления.

Проверка механической части релейной аппаратуры заключается в определении надежности работы реле и устойчивости их электрических характеристик, которые в значительной степени зависят от исправности и правильности регулировки механической части. Поэтому все реле как при новом включении, так и во время полных плановых проверок подвергаются тщательному осмотру, проверке состояния и регулировке механической части. Наиболее полная проверка реле производится при новом включении, а также при обнаружении явных неисправностей.

Проверку правильности монтажа производят сравнением фактического монтажа проводов на панели и кабельных связей между панелями с принципиальной и монтажной схемами. Проверка производится при новом включении, а также после изменения схемы устройства, когда производился полный или частичный перемонтаж. Правильность скрытого монтажа проводов на панели, а также коротких контрольных кабелей можно проверить с помощью вольтметра, контрольной лампы или мегомметра.

Проверка состояния изоляции включает в себя измерение сопротивления изоляции и испытание ее электрической прочности. Перед проверкой все аппараты, зажимные сборки и другие детали очищают от пыли и грязи. В случае необходимости производят сушку отсыревших деталей и проводки. Измерение сопротивления изоляции жил контрольных кабелей, проводов, обмоток и контактов реле производится по отношению к «земле» и между несвязанными цепями с помощью мегомметра 1000–2500 В. Проверка изоляции с помощью мегомметра производится как при новом включении, так и при каждой плановой проверке устройства.

При новом включении производится осмотр трансформаторов тока и их цепей, проверяются сопротивление постоянного тока и электрическая прочность изоляции вторичных обмоток, определяются однополярные зажимы, проверяются характеристики намагничивания, коэффициенты трансформации. При плановых проверках производятся осмотр трансформаторов тока, проверка сопротивления обмоток, сопротивления изоляции и снятие характеристик намагничивания. Полярность выводов обмоток трансформаторов тока проверяется с помощью магнитоэлектрического прибора с обозначенной полярностью обмотки и нулем в середине шкалы.

Также при новом включении производится осмотр трансформатора напряжения и его вторичных цепей, проверяются электрическая прочность изоляции, полярность обмоток и маркировка вторичных цепей, измеряются напряжение короткого замыкания и сопротивление обмоток на постоянном токе, проверяются исправность вторичных цепей

напряжения и надежность действия плавких предохранителей и автоматов, а также цепей контроля и сигнализации при повреждениях. При плановых проверках, которые проводятся 1 раз в 3–4 года и совмещаются с капитальным ремонтом трансформатора напряжения, производится осмотр, проверяются электрическая прочность изоляции, исправность защиты и контроля цепей напряжения. После ремонтов с отсоединением обмоток от выводов производится проверка однополярных зажимов.

Проверка аппаратуры и цепей управления заключается в проверке механической исправности всех элементов схемы управления и приводов выключателей, разъединителей или автоматов. Особое внимание при проверке необходимо обратить на состояние блокировочных контактов, включенных в цепях отключающих и включающих катушек, а также на правильность и устойчивость их регулировки. Для того чтобы выключатель надежно включался, блокировочный контакт, установленный в цепи катушки отключения, должен всегда замыкаться в самом конце хода привода на включение. Для того чтобы обеспечить надежное отключение выключателя при включении его на короткое замыкание, блокировочный контакт, установленный в цепи катушки отключения, должен замыкаться немного раньше замыкания силовых контактов выключателя. Регулировка блокировочных контактов разных типов осуществляется поворотом их на валу выключателя или изменением длины тяги, действующей на поводок контакта. При регулировке контактов необходимо тщательно проверить исправность отдельных элементов и надежность передачи от вала выключателя к валу контактов. Регулировка блокировочных контактов производится при медленном включении выключателя вручную и опробуется при нормальном включении и отключении выключателя.

УДК 621.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНО-ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

Апетёнок В.О.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

В последнее десятилетие в Республике Беларусь, наблюдается серьезная заинтересованность государства в развитии альтернативных источников электрической энергии, в том числе и солнечной энергетики. Но в использовании этого вида энергии есть свои проблемы, главная из которых заключается в том, что основная выработка полезной мощности не совпадает с суточными пиками нагрузки. Данную проблему способны решить накопители энергии (аккумуляторы), работающие в связке с инвертором, но такие установки не подходят для хранения большого количества энергии, они дорогостоящи, требуют определенных условий использования, а также занимают много места. В данной работе будет рассмотрен метод решения этой проблемы.

Методом запасаения электрической энергии, может выступить метод известный со школы, а именно электролиз воды. При протекании тока не большой силы через воду на отрицательном электроде (катоде) выделяется водород, а на положительном электроде (аноде) – кислород. Когда же потребуется использовать водород для генерации электрической энергии можно использовать газотурбинную установку, в которой водород будет сожжен, с получением воды на выходе.

Но с хранением водорода существуют свои трудности. Первая из них заключается во взрывоопасности смеси водорода и кислорода (гремучий газ). Вторая – водород является очень легким газом и из-за этого он имеет большую способность к улетучиванию. Так же водород способен растворяться в металлах и диффундировать сквозь них, что ведет к дополнительным потерям, а также разрушению стенок баллонов из сплавов металлов.

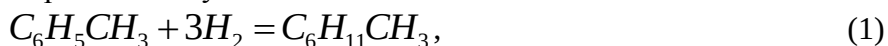
В данной работе рассмотрена целесообразность установок данного типа, а также возможность использования их в различных отраслях хозяйственной деятельности человека.

Хранение водорода так же является не простой задачей, так как водород имеет большой объем и его хранение в чистом виде сопряжено с большими потерями. Использование установки по сжижению кислорода решает проблему с объемом, но усугубляет проблему потерь, а также постоянное использование холодильных установок для поддержания низкой температуры требует больших затрат электрической энергии.

В случае для приусадебного участка идеально подходит метод хранения водорода основанный на принципе гидрирования толуола.

Основной идеей данной установки является заготовка водорода в летний период и сжигание его в парогазовой установке (ПГУ) во время суточных пиков нагрузки в зимний период, так как при сжигании водорода мы получаем не только электрическую энергию, но и тепловую, которая может пойти на отопление дома.

Использование принципа гидрирования толуола позволяет хранить водород при атмосферном давлении в небольшом объеме и при температуре окружающей среды. Потери водорода при таком хранении стремятся к нулю.



где $C_6H_5CH_3$ – толуол (метилбензол);

H_2 – водород;

$C_6H_{11}CH_3$ –метилциклогексан.

Принципиальная схема установки изображена на рисунке 1.

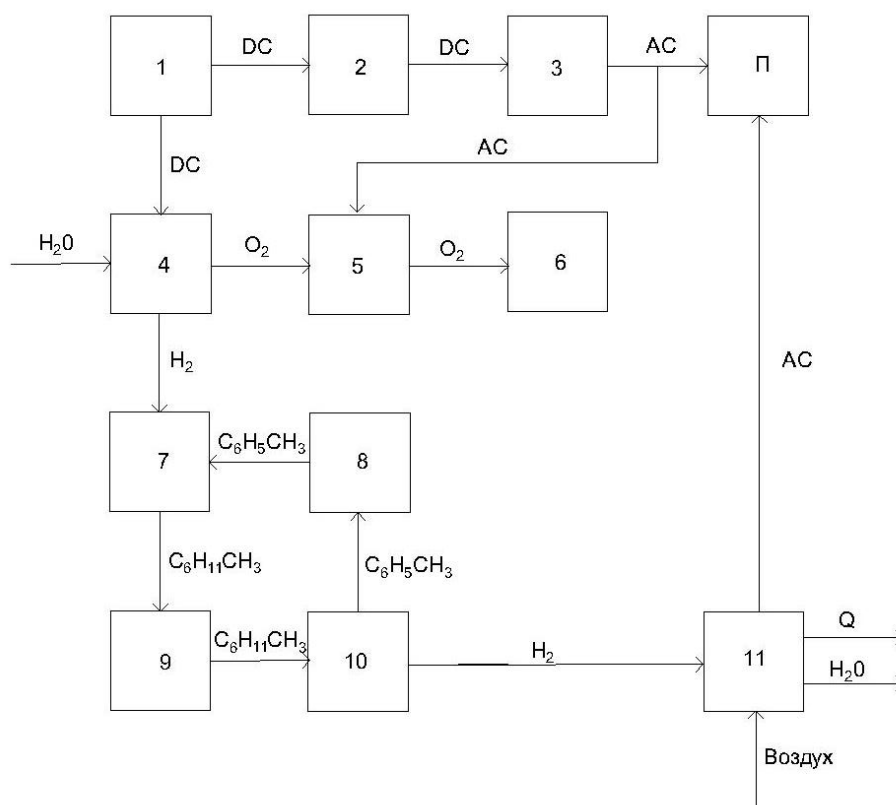


Рисунок 1 – Принципиальная схема солнечно-водородной установки

1 – солнечные батареи; 2 – аккумуляторные батареи;
3 – инвертор; 4 – установка электролиза; 5 – компрессор;
6 – резервуар с кислородом; 7 – установка гидрирования
толуола; 8 – резервуар с метилбензолом; 9 – резервуар
с метилциклогексаном; 10 – установка дегидрирования
метилциклогексана; 11 – парогазовая установка

При гидрировании толуола мы связываем толуол с водородом и получаем метилциклогексан, который, в нормальных условиях, представляет собой жидкость. Когда же нам нужно выделить водород, проводим дегидрирование метилциклогексана с образованием толуола и водорода.

В результате расчетов получено, что в течении календарного года на установке с солнечными батареями суммарной мощностью 15,86 кВт может быть получено 11438 кВт·ч электроэнергии. А в зимний период времени с помощью ПГУ может быть получено 2230 кВт·ч электроэнергии, таким образом, электрический КПД установки составляет 19,5 %, а срок окупаемости 145 лет.

Следовательно, на данном этапе развития техники, использование такой установки является нерентабельным.

Литература

- 1 PV Potentialestimationutility [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#> – Дата доступа : 22.03.17.
- 2 Solartime [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://solartime.by/oborudovanie/solnechnye_batarei/solnechnye_batarei_solarmodule_KDM_KD-P260.html – Дата доступа : 22.03.17.
- 3 Альтернативная энергия [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://altenergiya.ru/sun/mnogoobrazie-vidov-solnechnyx-panelej.html> – Дата доступа : 22.03.17.
- 4 Белобородов, В.Л. Органическая химия / В.Л. Белобородов, С.Э. Зурабян, А.П. Лузин, Н.А. Тюкавкина. – М. : Дрофа, 2003. – 640 с.
- 5 Низкоамперный электролиз воды [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.o8ode.ru/article/energo/electroliz_water.htm – Дата доступа : 22.03.17.

6 Новая генерация [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.manbw.ru/analytics/elliott.html> – Дата доступа : 22.03.17.

7 Официальный сайт филиала «Энергосбыт» [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.energosbyt.by/tariffs_ul_ee.php – Дата доступа : 22.03.17.

8 Энергоэффективность & Энергосбережение [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://energosberejenie.org/stati/istoriya-sozdaniya-solnechnykh-batarej> – Дата доступа : 22.03.17.

УДК 621.3.022

ТОКИ НЕБАЛАНСА В ТОКОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ

Романович Л.А.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Дифференциальная защита – один из видов релейной защиты, отличающийся абсолютной селективностью и выполняющийся быстродействующей (без искусственной выдержки времени).

Дифференциальная защита применяется в качестве основной защиты трансформаторов при повреждениях их обмоток, на вводах и ошиновке.

Коэффициенты трансформации измерительных цепей должны обеспечивать равенство токов на входе и на выходе. На практике это условие недостижимо, потому трансформаторы токов выпускаются со стандартными напряжениями. Для этого в измерительные цепи вводят согласующие трансформаторы и автотрансформаторы.

Дифференциальная токовая отсечка – наиболее простая из дифференциальных защит трансформатора.

Наличие тока небаланса объясняется рядом факторов:

- трансформаторы тока имеют недостаточно идентичные друг другу характеристики.
- некоторое влияние на возникновение тока небаланса может оказывать намагничивающий ток, возникающий в обмотках защищаемого трансформатора.
- неодинаковое соединение обмоток первичной и вторичной стороны защищаемого трансформатора так же влияет на возникновение тока небаланса.

Следует отметить, что современные микропроцессорные устройства защиты способны учитывать эту разницу самостоятельно, и при их использовании, как правило, вторичные обмотки измерительных трансформаторов тока соединяют звездой на обоих концах защищаемого участка, указав это в настройках устройства защиты.

Одной из основных причин появления тока небаланса в обмотках реле дифференциальных защит как в нормальном режиме, так и при внешнем коротком замыкании являются погрешности трансформаторов тока.

Токи небаланса в переходном режиме, обусловленные апериодической составляющей в первичном токе. В переходном режиме, например, в начальный момент КЗ на величину и характер тока небаланса большое влияние оказывает апериодическая составляющая первичного тока. Апериодический ток, изменяющийся только по величине, а по знаку остающийся постоянным, называется свободной составляющей полного тока. Переменный по знаку синусоидальный ток называется установившейся составляющей полного тока.

Максимальное мгновенное значение полного тока называется ударным током. Ударный ток больше установившегося значения тока короткого замыкания примерно в 1,5–1,8 раза.

Ток намагничивания силового трансформатора проходит только по обмотке, включаемой под напряжение. Для дифференциальной защиты трансформатора такой режим соответствует КЗ в защищаемой зоне, так как вторичные токи поступают в реле только от одного плеча токовых цепей.

Поскольку токи небаланса в установившемся режиме относительно малы, от них можно отстроиться уставкой срабатывания реле. Поэтому ток срабатывания дифференциальной защиты отстраивают от максимального значения тока небаланса в установившемся режиме (после затухания апериодической составляющей переходного процесса). Для предотвращения ложной работы дифференциальной защиты от бросков намагничивающего тока силовых трансформаторов при включении их под напряжение, а также от бросков тока небаланса при внешних КЗ токовые реле включаются в дифференциальные цепи через специальные промежуточные насыщающиеся трансформаторы тока (НТТ).

УДК 621.3.023

НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Тыщик И.А.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Развитие современной аппаратуры характеризуется значительным увеличением ее сложности. Усложнение обуславливает повышение гарантии своевременности и правильности решения задач.

Проблема надежности возникла в 50-х годах, когда начался процесс быстрого усложнения систем, и стали вводиться в действие новые объекты. В это время появились первые публикации, определяющие понятия и определения, относящиеся к надежности, и была создана методика оценки и расчета надежности автоматических устройств вероятностно-статистическими методами.

Исследование поведения автоматических устройств во время эксплуатации и оценка его качества определяет его надежность. Термин «эксплуатация» происходит от французского слова «*exploitation*», что означает получение пользы или выгоды из чего-либо.

Электроустановки в процессе эксплуатации оказываются под воздействием разнообразных факторов: повышенной влажности, агрессивных сред, пыли, неблагоприятных атмосферных явлений, а также механических и электрических нагрузок. При этом изменяются основные свойства материалов электроустановок, что приводит к возникновению коротких замыканий, вызывающих отключение электроустановок или электросетей, т. е. перерывам в подаче электроэнергии.

Перерывы электроснабжения приводят к простою производства, снижению объема выпускаемой продукции, порче основного технологического оборудования. Следует также учитывать, что существуют технологические процессы, не допускающие даже кратковременных перерывов электроснабжения. В связи с этим возникает потребность принимать обоснованные решения по выбору способов повышения надежности бесперебойного электроснабжения за счет резервирования различных элементов системы электроснабжения, совершенствования организации технического обслуживания, оперативной диагностики неисправных элементов.

Несмотря на многообразие электроустановок систем электроснабжения, методы расчета их надежности основываются на единой теоретической основе. Используемый математический аппарат теории надежности построен на таких разделах современной математики, как теория вероятностей, математическая статистика, теория массового обслуживания, математическая логика и др.

Под надежностью в технике понимают вероятность того, что устройство или система в полном объеме выполняет свои функции в течение заданного промежутка времени при заданных условиях работы.

Для количественного выражения надежности объекта и для планирования эксплуатации используются специальные характеристики – показатели надежности. Они позволяют оценивать надежность объекта или его элементов в различных условиях и на разных этапах эксплуатации.

Расчет показателей надежности элементов, не только автоматических, но и любых других электрических устройств, является залогом долговечной работы устройств.

Надежность элементов автоматических устройств можно повышать разными способами:

- использованием новых элементов, обладающих повышенной надежностью;
- принципиально новыми конструктивными решениями;
- резервированием;
- выбором оптимальных рабочих режимов и эффективной защиты от неблагоприятных внутренних и внешних воздействий;

– эффективным контролем, позволяющим не только констатировать техническое состояние и установить причины возникновения отказа, но и предсказывать будущее состояние с тем, чтобы предупреждать возникновение отказов.

Как бы старательно ни делались расчеты надежности автоматических устройств, в обстоятельствах опыта, всегда замечается, что с течением времени необходимо усовершенствовать оборудование для обеспечения достаточно длительного срока эксплуатации приборов. Расчет надежности — это трудоемкий процесс, но жизненно необходимый, поскольку именно исходя из полученных результатов, можно с достаточной точностью судить о сроке службы приборов.

УДК 621.316.91

ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ ИЛИ КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Куц И.А.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Однофазное замыкание на землю – это вид повреждения, когда одна из фаз трехфазной системы замыкается на землю или на элемент электрически связанный с землей. Данный вид повреждения на линиях электропередач является одним из наиболее частых.

Процессы, протекающие в сети при возникновении такого замыкания, значительным образом зависят от режима работы нейтрали данной сети.

В сетях с изолированной нейтралью ток однофазного замыкания на землю замыкается через емкости неповрежденных фаз. Его значение невелико и определяется суммарной емкостью неповрежденных фаз. Соотношения линейных напряжений при возникновении однофазного замыкания на землю не изменяются, что позволяет эксплуатировать сеть, не отключая повреждения данного вида незамедлительно.

Однофазное замыкание на землю (ОЗЗ) представляет значительную опасность для оборудования, вследствие того, что уравнивание потенциала поврежденной фазы и земли приводит к увеличению напряжения между неповрежденными фазами и землей до значения порядка номинального линейного напряжения сети.

Проблема массового применения защит от ОЗЗ состоит в том, что большинство используемых на данный момент устройств показывают низкую эффективность из-за частых отказов в срабатывании, ложных и излишних срабатываний.

Основные факторы, влияющие на работу защиты от замыканий на землю:

- вид замыкания (металлическая связь, замыкание через переходное сопротивление, замыкание через дугу);
- устойчивость замыкания (устойчивые и неустойчивые: прерывистое замыкание и замыкание через перемежающуюся дугу);
- наличие небалансов в сети;
- переходные процессы схожие с процессами при ОЗЗ (включение линии, наводка от других ЛЭП при ОЗЗ на них и т.д.).

В основном защиты от ОЗЗ можно разделить на два типа – индивидуальные и централизованные защиты.

К индивидуальным защитами от ОЗЗ относятся:

- токовая защита нулевой последовательности;
- токовая направленная защита нулевой последовательности;
- защита по активной мощности нулевой последовательности;
- защита нулевой последовательности на токах высших гармоник;
- защита, реагирующая на наложенный ток.

Наиболее простой и распространенной из защит от ОЗЗ является токовая индивидуальная защита нулевой последовательности, реагирующая на ток нулевой последовательности рабочей частоты.

Индивидуальные защиты наиболее просты, но при этом имеют высокий процент ложных срабатываний.

К централизованным защитами относятся:

- централизованная защита с поочередным опросом каналов;
- централизованная защита с параллельным опросом каналов;
- централизованная защита с параллельным синхронизированным опросом каналов.

Защиты на централизованном принципе лишены недостатков индивидуальных защит, таких как ложные срабатывания, связанные с переходными процессами на неповрежденных линиях.

В сетях с заземленной нейтралью однофазное замыкание на землю является коротким замыканием. Ток повреждения в данном случае замыкается через заземленные нейтрали первичного оборудования и имеет значительную величину. Такое повреждение требует немедленного обесточивания поврежденного участка.

Причины однофазных замыканий на землю могут быть весьма различны, но все они возникают из-за нарушения изоляции оборудования электроустановок, особенно на кабельных или воздушных линиях электропередачи. Нарушение изоляции может быть по причине ее старения, а также вследствие механических воздействий на электроустановку, чаще это повреждение кабеля при проведении земляных работ или падение ветки дерева на провод воздушной линии и т. д.

УДК 621.3

ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СЕРИИ РЕТОМ

Лисовец А.В.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Надежность работы устройств релейной защиты и автоматики во многом определяются качеством проверки их характеристик в условиях эксплуатации. Такие проверки должны проводиться регулярно, однако, учитывая наличие большого числа релейных устройств и устройств автоматики в энергосистемах, это требует значительных временных затрат и высокой квалификации персонала. Чтобы облегчить этот процесс проверки, было разработано специальное испытательное оборудование.

Испытательное оборудование – это техническое устройство для воспроизведения условий испытаний. Испытательное оборудование можно разделить на следующие виды:

- испытательные стенды;
- испытательные машины;
- испытательные установки;
- испытательные аппараты;
- испытательные приборы.

Любое испытательное оборудование обладает особыми техническими характеристиками. Технические характеристики испытательного оборудования – совокупность данных, характеризующих его технические и функциональные особенности и возможности. Эти характеристики содержатся в паспорте, эксплуатационной документации. Если испытательное оборудование имеет нормированные метрологические характеристики, оно подлежит аттестации. Основной целью аттестации испытательного оборудования является определение нормированных точностных характеристики оборудования, их соответствия требованиям нормативно-технической документации и установление пригодности оборудования к эксплуатации. Результаты аттестации оформляются свидетельством об аттестации.

Основные примеры испытательных систем реле-томограф:

- РЕТОМ-11М;
- РЕТОМ-21;
- РЕТОМ-41М;
- РЕТОМ-51;
- РЕТОМ-61.

На данный момент РЕТОМ-61 – это прибор нового поколения, при проектировании которого были учтены рекомендации и пожелания потребителей. Основные технические отличия разработанного прибора в элементной базе от прибора РЕТОМ-51 заключаются в формировании:

- двух трехфазных токов и увеличении единичной мощности каждого источника тока в отдельности до 30 А в режиме одного трехфазного источника с диапазоном воспроизводимых частот до 800 Гц;
- однофазного гальванически изолированного напряжения переменного тока с диапазоном воспроизводимых частот до 1000 Гц;
- гальванически изолированного источника оперативного питания постоянного тока с максимальной выходной мощностью 100 Вт и диапазоном выходного тока до 0.7 А.

При необходимости выполнения некоторых сложных видов испытаний устройств возможно одновременное использование до 9 приборов РЕТОМ-61.

В устройствах РЕТОМ имеется программа для воспроизведения аварийного процесса, которая записана в формате COMTRADE и предназначена для:

- масштабирования исходных данных и установки временных параметров при воспроизведении;
- воспроизведения любого процесса, записанного в формате COMTRADE;

- фиксации реакции проверяемого устройства на приложенное воздействие;
- сравнения времен срабатывания контактов испытываемого устройства с записанными данными в формате COMTRADE;
- записи результатов работы в архив и вывод на печать.

Испытательное оборудование серии РЕТОМ позволяет совершить качественную проверку устройств релейной защиты и автоматики, не требуя использования специальных знаний и навыков.

УДК 621.3

АКТИВНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Бородич М.С.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Измерительный трансформатор – электрический трансформатор, предназначенный для измерения и контроля (например, в системах релейной защиты сетей) напряжения, тока или фазы электрического сигнала, обычно переменного тока промышленной частоты (50 или 60 Гц) в контролируемой цепи. Применяется в тех случаях, когда непосредственное подключение измерительного прибора неудобно или невозможно, например, при измерении очень больших токов или напряжений. Также применяется для обеспечения гальванической изоляции первичной цепи от измерительной или контролирующей цепи.

Измерительный трансформатор тока – трансформатор, предназначенный для преобразования тока до значения, удобного для измерения. В электроустановках трансформаторы тока (ТТ) предназначены для питания токовых катушек измерительных приборов и реле. При этом измерительные приборы надежно изолированы от высокого напряжения, так как в трансформаторах нет электрической связи между обмотками высокого и низкого напряжения. Вторичную обмотку ТТ заземляют, чтобы предотвратить появление высокого напряжения на измерительных приборах в случае аварийного пробоя изоляции между обмотками высокого и низкого напряжения измерительного трансформатора.

В электроустановках трансформаторы тока выполняют три функции:

- преобразование переменного тока к стандартным значениям;
- изолирование вторичных токовых цепей от высокого напряжения первичной цепи;
- защиту вторичных устройств и персонала от высокого напряжения.

Трансформатор напряжения – одна из разновидностей трансформатора, служащая не для преобразования напряжения основного потока передаваемой мощности, а для гальванической развязки цепей высокого (6 кВ и выше) от низкого (обычно 100 В) напряжения вторичных обмоток.

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 передачи через него потоков мощностей, основной режим работы трансформатора напряжения – режим холостого хода.

Трансформаторы напряжения применяются в электроустановках на напряжение выше 1000 В.

Информацию о состоянии управляемого объекта устройства РЗА получают от пассивных измерительных трансформаторов тока и напряжения. Если защита выполнена электромеханическими измерительными реле, то они непосредственно подключаются к этим трансформаторам. Для микропроцессорных защит требуется предварительное преобразование сигналов, поступающих с трансформаторов тока и напряжения. В частности, это вызвано требованием снижения погрешности преобразования, которые значительны у первичных измерительных трансформаторов тока и напряжения вследствие наличия МДС намагничивания магнитопровода, создающей неравенство МДС первичной и вторичной обмоток

Одно из применений вторичных активных измерительных трансформаторов тока и напряжения, построенных на интегральных операционных усилителях, является использование их в качестве промежуточных преобразователей. За счет общей сильной отрицательной обратной магнитной связи происходит почти полная компенсация МДС намагничивания. В результате этого их погрешности не превышают 1 % от погрешностей пассивных измерительных трансформаторов. Схемы активных измерительных трансформаторов тока и напряжения показаны на рисунке 1.

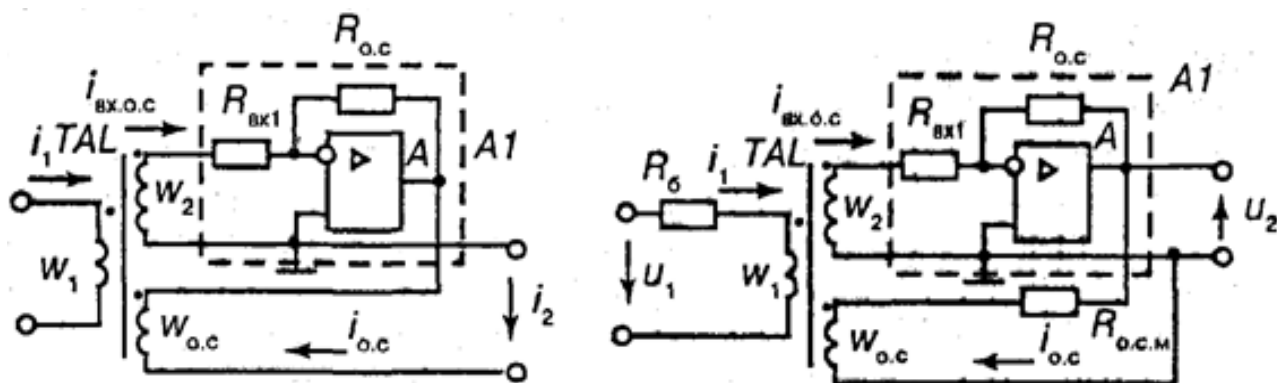


Рисунок 1 – Схемы активных измерительных трансформаторов тока и напряжения

Они содержат операционные усилители А1 (интегральный операционный инвертирующий усилитель А с параллельной отрицательной обратной связью) и входные трехобмоточные трансформаторы тока TLA . Одна из вторичных обмоток TLA является обмоткой обратной связи, по которой протекает ток. Для трансформатора тока он равен выходному току.

В основу активного трансформатора напряжения положена схема активного трансформатора тока. Для преобразования напряжения в ток, первичной обмотки TLA включен резистор R_6 . Ток обратной связи определяется напряжением u_2 и резистором $R_{о.с.м.}$.

Активный измерительный трансформатор напряжения типа LV25-Р подключается через внешний балластный резистор, формирующий из номинального напряжения 10–500 В номинальный первичный ток 10 мА рассмотренного активного трансформатора тока и выдает номинальный вторичный ток 25 мА и соответствующее внешнему балластному нагрузочному резистору сопротивлением от 30 до 190 Ом номинальное напряжение.

В реальных активных измерительных трансформаторах магнитная отрицательная обратная связь реализуется генератором ЭДС Холла-Холотгоном.

Измерительный орган тока возбуждения функционирует аналогично. В нем используются активные измерительные трансформаторы токов в цепи переменного тока тиристорного преобразователя, нагруженные резисторами для преобразования токов в напряжения.

При автоматической диагностике измерительных органов проверяется наличие напряжений, чередование фаз, несимметрия трёхфазной системы напряжений.

УДК 621.391

ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Казак А.В.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Конденсаторная установка – это электроустановка, которая состоит из конденсаторов и дополнительного электрооборудования, и применяется для компенсации реактивной мощности электрооборудования. Вследствие работы трансформаторов, электродвигателей, пусковых устройств, происходит производство, как активной энергии, так и реактивной.

При эксплуатации конденсаторных установок приходится считаться с возможностью возникновения повреждений и ненормальных режимов работы. Наиболее распространенными и опасными видами повреждений в них являются разного рода короткие замыкания, следствием которых могут быть:

- понижение напряжения в сети промышленного предприятия;
- разрушение поврежденного элемента электрооборудования электрической дугой;
- разрушение оборудования в неповрежденной части сети в результате динамического и теплового действия токов короткого замыкания;
- нарушение устойчивости работы электрической системы.

Наиболее опасным режимом работы конденсаторной установки является длительное повышение напряжения на ее зажимах, а также перегрузка конденсаторов высшими гармониками тока

Все виды релейных защит, которыми оборудуются конденсаторные установки, можно подразделить на:

- общие защиты батарей;
- групповые защиты конденсаторов (секций);
- индивидуальные защиты конденсаторов.

К общим для всей конденсаторной установки защита относятся: защита от многофазных замыканий, защита от однофазного замыкания на землю, защита от перегрузки и защита от повышения напряжения. Защита от многофазных коротких замыканий конденсаторной установки в целом осуществляется при любых схемах соединения конденсаторов и должна действовать на отключение конденсаторной установки без выдержки времени (мгновенного действия). В конденсаторных установках на напряжения до 1000 В эта защита выполняется в основном предохранителями или автоматическими выключателями.

Монтаж электрооборудования конденсаторных установок, как правило, производится в два этапа. На первом этапе одновременно со строительными работами производятся подготовительные работы. На втором этапе выполняются основные монтажные работы.

Основным техническим документом при выполнении монтажных работ является проект электротехнической установки.

УДК 621.391

ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ СО СНЯТИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ

Михневич Ю.Ч.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Технические и организационные меры защиты направлены на обеспечение недоступности к токопроводящим частям и невозможности случайного прикосновения к ним, устранение опасности поражения при замыкании тока на корпус электрооборудования или на землю; предотвращение ошибочных действий персонала в электроустановках.

На месте производства работ со снятием напряжения в электроустановках напряжением выше 1000 В должны быть отключены токоведущие части, на которых будет производиться работа.

Если токоведущие части не могут быть отключены, то они должны быть ограждены.

Непосредственно после проведения необходимых отключений на приводах разъединителей, отделителей и выключателей нагрузки напряжением выше 1000 В, на ключах и кнопках дистанционного управления ими, на коммутационной аппаратуре напряжением до 1000 В (автоматы, рубильники, выключатели), отключенных при подготовке рабочего места, должны быть вывешены плакаты «Не включать. Работают люди», а отключенных для допуска к работе на высоковольтных линиях (ВЛ) и кабельных линиях (КЛ) – плакаты «Не включать. Работа на линии».

Перед началом всех видов работ в электроустановках со снятием напряжения необходимо проверить отсутствие напряжения на участке работы. Проверка отсутствия напряжения на отключенной для производства работ части электроустановки должна быть проведена допускающим после вывешивания запрещающих плакатов.

Заземление токоведущих частей производится в целях защиты, работающих от поражения электрическим током в случае ошибочной подачи напряжения на место работы.

Накладывать заземления на токоведущие части необходимо непосредственно после проверки отсутствия напряжения. Переносные заземления сначала нужно присоединить к земле, а затем после проверки отсутствия напряжения наложить на токоведущие части.

В электроустановках напряжением выше 1000 В заземления накладываются на токоведущие части всех фаз, полюсов отключенного для производства работ участка данной электроустановки со всех сторон, откуда может быть подано напряжение, за исключением отключенных для производства работ сборных шин, на которые достаточно наложить одно заземление.

ВЛ напряжением выше 1000 В заземляются во всех РУ и у секционирующих коммутационных аппаратов, где отключена линия.

УДК 621.391

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СВЯЗЬ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Добролинская А.С.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Высокочастотная связь (ВЧ-связь) – это вид связи в электрических сетях, который предусматривает использование высоковольтных линий электропередач в качестве каналов связи. Работа систем ВЧ-связи строится на передаче модулированной электромагнитной волны по проводам и тросам линий электропередачи.

Диапазон частоты ВЧ-каналов связи – от десятков до сотен кГц. Высокочастотная связь организуется между двумя смежными подстанциями, которые соединены линией электропередач напряжением 35 кВ и выше.

Функции ВЧ-связи:

- использование ВЧ-канала в устройствах релейной защиты и автоматики оборудования подстанции;
- определение места повреждения линий электропередач;
- защита линий 110 и 220 кВ – дифференциально-фазная защита и направленно-высокочастотная защита;
- телефонная связь;
- связь с оперативно-выездными бригадами, которые осуществляют ремонт участков поврежденных линий электропередач, ликвидируют повреждения в электроустановках.

Высокочастотные каналы релейной защиты применяются для осуществления передачи ВЧ сигналов с одного конца линии на другой в целях обеспечения взаимодействия между комплектами защиты, установленными на разных концах ЛЭП. Передача ВЧ сигналов по ЛЭП производится одновременно с передачей по этой линии токов промышленной частоты. Поэтому обмен по ЛЭП ВЧ сигналами выполняется через специальные устройства обработки и присоединения, разделяющие токи высокой и промышленной частот.

Присоединение высокочастотных приемопередатчиков к проводам ЛЭП может быть осуществлено по схемам фаза – земля, фаза – две фазы, трос – земля и т. п.

Оборудование ВЧ-связи делится на активное и пассивное. Активное применяется для обработки и передачи сигналов телефонной и диспетчерской связи, с поддержкой сигнализации АДАСЭ, телемеханики (МЭК-101, МЭК-104) и Ethernet в аналоговых или цифровых системах связи. Пассивное оборудование – устройства, с помощью которых, высокочастотный сигнал транспортируется от передатчика к линиям электропередачи и затем от них – к приемнику.

Конденсаторы связи служат для подключения ВЧ аппаратуры к воздушной линии, при этом токи утечки промышленной частоты отводятся через конденсатор связи на землю, минуя аппаратуру высокой частоты. Конденсаторы связи рассчитаны на фазное напряжение (в сети с заземленной нейтралью) и на линейное напряжение (в сети с изолированной нейтралью).

Фильтр присоединения служит связующим звеном между конденсатором связи и ВЧ аппаратурой, разделяя линию высокого напряжения и установку слабого тока, каковой является аппаратура уплотнения. Фильтр присоединения обеспечивает тем самым безопасность персонала и защиту аппаратуры от высокого напряжения.

ВЧ каналы используются в качестве дублирующих цифровые волоконные каналы связи, что гарантирует безотказную работу каналов связи в условиях с наиболее жесткими требованиями к надежности.

УДК 621.3

АППРОКСИМАЦИЯ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Брикун Г.А.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

При проектировании фильтровых устройств радиоэлектронной аппаратуры возникает задача воспроизведения требуемых характеристик физически реализуемой передаточной функцией. Определение коэффициентов составляет основу решения задачи построения математической модели заданных характеристик. Построение можно осуществить с использованием известных полиномов. Однако не всегда ясно, какой из них наиболее целесообразен, если заданы достаточно жесткие требования к неравномерности затухания фильтра в полосе пропускания, коэффициенту прямоугольности и гарантированному затуханию в полосе задерживания. Кроме того, могут быть заданы жесткие требования и к линейности фазочастотной характеристики.

В работе анализируются классические решения задачи аппроксимации частотных характеристик фильтровых устройств радиоэлектронной аппаратуры и определяются требования к моделям амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик на основе допустимых искажений сигналов.

В фильтрах расчёт обычно начинают с задания параметров фильтра, самым главным из них является амплитудно-частотная характеристика. Сначала осуществляется приведение требований заданного фильтра к требованиям прототипа фильтра нижних частот. В полосе не пропускаемого сигнала задается минимальный коэффициент подавления мешающего сигнала. Реальная амплитудно-частотная характеристика фильтра может иметь любую форму. Главное, чтобы она не пересекала границы заданных требований.

Достаточно длительное время расчет фильтра вели методом подбора амплитудно-частотной характеристики с помощью стандартных звеньев. Подобный метод назывался методом аппликации. Он был достаточно сложен и не давал оптимального соотношения качества разработанного фильтра и количества звеньев. Поэтому были разработаны математические методы аппроксимации амплитудно-частотной характеристики с заданными характеристиками.

Наиболее распространенными видами аппроксимации являются: аппроксимация по Баттерворту и аппроксимация по Чебышеву. Отличительной особенностью амплитудно-частотной характеристики фильтра Баттерворта является отсутствие минимумов и максимумов в полосе пропускания и задерживания.

Спад амплитудно-частотных характеристик на границе полосы пропускания этих фильтров равен 3 дБ. Если от фильтра требуется меньшее значение неравномерности в полосе пропускания, то верхняя частота фильтра выбирается выше заданной верхней частоты полосы пропускания. Функция аппроксимации амплитудно-частотных характеристик для фильтра нижних частот – прототипа фильтра Баттерворта ($k^2(\omega)$) представляет собой обратную зависимость от нормированной частоты так же завися от порядка фильтра. При этом реальную амплитудно-частотную характеристику разрабатываемого фильтра можно получить, умножив нормированную частоту на частоту среза фильтра.

Отличительной особенностью фильтров Чебышева является более крутой спад амплитудно-частотной характеристики и существенные пульсации амплитудно-частотной характеристики на частотах полос пропускания и подавления, чем у фильтров других типов. Неравномерность функции аппроксимации амплитудно-частотной характеристики фильтра Чебышева вызывается большей добротностью полюсов. При этом амплитудно-частотную характеристику реального фильтра Чебышева точно также, как и в фильтре Баттерворта

можно получить, умножив нормированную частоту на частоту среза разрабатываемого фильтра.

Однако есть еще один класс фильтров, амплитудно-частотная характеристика которых носит колебательный характер как в полосе пропускания, так и в полосе подавления. Это эллиптические фильтры, или как их еще называют фильтры Кауэра (в отечественной литературе часто их еще называют фильтрами Золотарева-Кауэра).

Обобщим все вышесказанное. Фильтр Баттерворта обладает самой широкой переходной полосой среди всех фильтров, но у него максимально-гладкая амплитудно-частотная характеристика. Внесение в амплитудно-частотная характеристика фильтра Баттерворта колебаний приводит к фильтрам Чебышева, переходная полоса которых уже, чем у фильтра Баттерворта. Так равноволновые колебания в полосе пропускания приводят к фильтрам Чебышева первого рода, а равноволновые колебания в полосе заграждения к фильтрам Чебышева второго рода. Внесение равноволновых колебаний как в полосу пропускания, так и в полосу заграждения амплитудно-частотная характеристика приводит к эллиптическому фильтру с минимальной переходной полосой. При этом, как мы заметили, для разной аппроксимации задаются различные исходные данные для расчета. К примеру, в фильтрах Баттерворта задается только порядок фильтра, а неравномерность в полосе пропускания и уровень подавления в полосе заграждения не задаются. В фильтрах Чебышева первого рода задаются порядок фильтра и неравномерность в полосе пропускания, а уровень подавления в полосе заграждения не задается. В фильтрах Чебышева второго рода задаются порядок фильтра и уровень подавления в полосе заграждения, а неравномерность в полосе пропускания не задается. А в эллиптическом фильтре задаются все три параметра. Кроме того, можно рассчитать любой фильтр путем задания «коридора амплитудно-частотной характеристики» и расчета порядка фильтра через уравнение.

УДК 621.3.022

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Столяр Р.В.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Электромагнитное поле – это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами.

Электрическое поле создается электрическими зарядами и заряженными частицами в пространстве. Магнитное поле – создается при движении электрических зарядов по проводнику. Физической причиной существования электромагнитного поля является то, что изменяющееся во времени электрическое поле возбуждает магнитное поле, а изменяющееся магнитное поле – вихревое электрическое поле. Непрерывно изменяясь, обе компоненты поддерживают существование электромагнитного поля. Поле неподвижной или равномерно движущейся частицы неразрывно связано с носителем (заряженной частицей). Однако при ускоренном движении носителей электромагнитное поле «срывается» с них и существует в окружающей среде независимо, в виде электромагнитной волны, не исчезая с устранением носителя (например, радиоволны не исчезают при исчезновении тока в излучающей их антенне).

Электрическое поле характеризуется напряженностью электрического поля (обозначение «Е», размерность СИ – В/м, вектор). Магнитное поле характеризуется напряженностью магнитного поля (обозначение «Н», размерность СИ – А/м, вектор). Измерению обычно подвергается модуль (длина) вектора.

В качестве основных источников электромагнитного поля можно выделить:

- линии электропередач;
- электропроводка (внутри зданий и сооружений);
- бытовые электроприборы;
- персональные компьютеры;
- телепередающие и радиопередающие станции;
- спутниковая и сотовая связь (приборы, ретрансляторы);
- электротранспорт;
- радарные установки.

Человеческий организм всегда реагирует на внешнее электромагнитное поле. В силу различного волнового состава и других факторов электромагнитное поле действует на здоровье человека по-разному. Вследствие этого в данном разделе воздействие различных источников на здоровье будем рассматривать по отдельности. Однако резко диссонирующее с естественным электромагнитным фоном поле искусственных источников почти во всех случаях оказывает на здоровье находящихся в зоне его воздействия людей негативное влияние.

Особо чувствительными к воздействию электромагнитных полей в человеческом организме являются нервная, иммунная, эндокринно-регулятивная и половая системы. Ниже воздействие поля на эти системы будет рассмотрено по отдельности.

К организационным мероприятиям по защите от действия электромагнитных полей относятся:

- выбор режимов работы излучающего оборудования, обеспечивающих уровень излучения, не превышающий предельно допустимый;
- ограничение места и времени нахождения людей в зоне действия поля;
- обозначение и ограждение зон с повышенным уровнем излучения;
- защита временем;
- защита расстоянием.

УДК 621.3

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Пильсть В.Г.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

В энергосистемах и на предприятиях необходим постоянный контроль режимов работы электрооборудования. Такой контроль производится для учёта электроэнергии, для ведения режимов работы электростанций и сетей и для защиты электрооборудования при авариях. С этой целью устанавливаются измерительные трансформаторы тока и напряжения.

Трансформаторов называется статический электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты. Трансформаторы позволяют значительно повысить напряжение, вырабатываемое источниками переменного тока, установленными на электрических станциях, и осуществить передачу электроэнергии на дальние расстояния при высоких напряжениях. Благодаря этому сильно уменьшаются потери энергии в проводах и обеспечивается возможность значительного уменьшения площади сечения проводов линии электропередачи.

В местах потребления электроэнергии высокое напряжение, подаваемое от высоковольтных линий электропередачи, снова понижается трансформаторами до сравнительно небольших значений, при которых работают электрические потребители, установленные на фабриках, заводах, в депо и жилых домах. Трансформаторы переменного тока применяют для уменьшения напряжения, подаваемого из контактной сети к тяговым двигателям и вспомогательным цепям.

Кроме трансформаторов, применяемых в системе передачи и распределения электроэнергии, промышленностью выпускаются трансформаторы: тяговые, для выпрямительных установок, лабораторные с регулированием напряжения, для питания радиоаппаратуры и др. Все эти трансформаторы называют силовыми.

Трансформаторы используют также для включения электроизмерительных приборов в цепи высокого напряжения (их называют измерительными), для электросварки и других целей.

Трансформаторы принято считать самыми надёжными элементами в энергетических системах. Действительно, по сравнению с другими видами энергетического оборудования (котлами, турбинами, генераторами) трансформатор отличается высокой надёжностью в эксплуатации. Однако эта надёжность достигается только при соблюдении всех правил обращения с трансформатором. В случаях каких-либо отклонений или нарушений правил эксплуатации, а также технологической дисциплины производства трансформаторов или нарушений действующих правил монтажа и транспортировки трансформаторов возникает сначала ненормальная их работа, а затем, если меры по выявлению и устранению причин не принимаются, трансформаторы выходят из строя и восстановить их можно только посредством ремонта. Это технологическая причина необходимости ремонта трансформаторов

Технология ремонта трансформаторов напряжения и тока, правила разборки магнитопровода, снятие и ремонт катушек, выполнение намоточных работ при изготовлении катушек, ремонт пластин магнитопровода и т. п. очень сходны с подобными работами силового трансформатора. На все время ремонта или монтажа первичные и вторичные обмотки трансформаторов напряжения в целях безопасности должны быть закорочены, так как случайные соприкосновения с временными проводками, предназначенными для освещения, сварки и измерений, могут вызвать обратную трансформацию и напряжение, опасное для людей. После окончания ремонта трансформаторов тока их подвергают испытаниям, определяя сопротивление изоляции первичной обмотки по отношению к корпусу трансформатора тока и сопротивление изоляции вторичных обмоток. При

прохождении тока по первичной обмотке трансформатора в его разомкнутой вторичной обмотке будет индуцироваться опасное напряжение, сопровождающееся недопустимым нагревом магнитопровода, что может привести к пробое изоляции или к несчастному случаю. При замене трансформатора тока новым выводы первичной обмотки присоединяют к шинам распределительного устройства и провода вторичных цепей – к зажимам вторичной обмотки, металлический корпус или основание трансформатора тока заземляют. При этом опорные трансформаторы тока устанавливают, как правило, на горизонтальной плоскости, а проходные – в горизонтальном или вертикальном положении на жестких сварных конструкциях из угловой стали.

В данной работе были рассмотрены общие вопросы, касающиеся трансформаторов тока и напряжения. Были изучены назначения, принцип действия и устройство различных конструкций трансформаторов тока и напряжения. В работе приведена основная классификация типов трансформаторов тока и напряжения. Даны сведения об основных параметрах и характеристиках отдельных конструкций трансформаторов тока и напряжения внутренней и наружной установки, а также приведены некоторые сведения об остальных типах трансформаторов тока и напряжения.

УДК 621.3

ДАТЧИКИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Дубров И.А.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

На современном этапе развития электроэнергетики при повсеместном использовании электрооборудования и электроприборов наиболее актуальным является достоверное измерение силы тока для обеспечения высокой надежности и безопасности промышленных систем и сетей. Для осуществления мониторинга и диагностики цепей, запуска схем защиты, обнаружения отказов электрооборудования и аварийных состояний различных типов нагрузки применяются различные типы датчиков тока. Современные датчики тока подразделяются на следующие типы: резистивные датчики (токовые шунты); датчики тока на эффекте Холла; трансформаторы тока; волоконно-оптические датчики тока на эффекте Фарадея; пояс Роговского; токовые клещи. Достоинства и недостатки различных типов датчика тока определяют области их применения.

Трансформатор тока – трансформатор, предназначенный для измерения больших токов. Первичная обмотка трансформатора тока включается в цепь с измеряемым переменным током, а во вторичную включаются измерительные приборы. Ток, протекающий по вторичной обмотке трансформатора тока, пропорционален току, протекающему в его первичной обмотке. Трансформатор напряжения – трансформатор, предназначенный для преобразования высокого напряжения в низкое в цепях. Применение трансформатора напряжения позволяет изолировать логические цепи защиты и цепи измерения от цепи высокого напряжения. Заземляемый трансформатор напряжения – однофазный трансформатор напряжения, один конец первичной обмотки которого должен быть наглухо заземлен, или трехфазный трансформатор напряжения.

Пояс Роговского – измерительный трансформатор тока, выполненный в виде длинного замкнутого соленоида с произвольной и практически замкнутой формой и равномерной намоткой, один из выводов которой приведен к другому через ось соленоида. Конструкция катушки Роговского представляет собой токовый трансформатор с воздушным сердечником. Хорошо подходит для измерения пульсаций тока в присутствии постоянной составляющей и вообще для измерения токовых импульсов. Катушка Роговского, как трансформатор тока, находит применение в измерительной технике, в том числе в качестве измерительного элемента в счетчиках электрической энергии. Катушка Роговского незаменима при необходимости измерения высоких значений токов, а также полезна если требуется создать гальваническую развязку между измеряемой цепью и измеряющим устройством. Выходное напряжение, будучи проинтегрированным по времени, с точностью до константы соответствует току в измеряемой цепи.

Известные волоконно-оптические датчики тока работают на принципе эффекта Фарадея. Ток, протекающий в проводе, индуцирует магнитное поле, которое через эффект Фарадея поворачивает плоскость поляризации излучения, распространяющегося в оптическом волокне, намотанном вокруг токнесущего провода. Если чувствительное волокно с постоянной по длине чувствительностью к магнитному полю намотано вокруг провода с током в виде контура с целым числом витков, тогда поворот плоскости поляризации излучения на выходе из контура зависит от тока в проводе и не зависит от всех внешне генерируемых магнитных полей, например, от токов в соседних проводах.

Принцип действия токоизмерительных клещей основан на том, что ток, протекающий в проводе создает магнитное поле вокруг себя. Если это поле переменное, то согласно закону электромагнитной индукции в другом проводнике, охватывающем провод с током, возникает ЭДС, которая при определенных условиях пропорциональна измеряемому току. Таким образом, измерив напряжение на вышеуказанном проводнике, возможно определить величину измеряемого тока. Как видно, принцип действия токоизмерительных клещей основан на тех же законах, что и принцип действия электрического трансформатора.

Датчики тока с разомкнутым контуром работают по схеме прямого усиления. Они позволяют измерять постоянный и переменный ток с любой формой сигнала. Такие приборы конструируются для работы с электрическими токами от единиц до сотен тысяч Ампер. Точность измерения составляет единицы процентов. Датчики прямого усиления обладают относительно невысокой стоимостью и небольшими массогабаритными параметрами.

Датчики тока на эффекте Холла с замкнутым контуром обладают отличной точностью, прекрасной линейностью, очень широким частотным диапазоном, очень хорошим быстродействием, хорошей помехоустойчивостью. Компенсационные датчики без повреждений выдерживают токовые перегрузки.

Датчики напряжения на основе эффекта Холла созданы на основе датчиков тока с замкнутым контуром. В первичной цепи датчика имеется задающий резистор первичной цепи и многовитковая катушка, создающая большое значение ампер-витков для увеличения первичной индукции. У таких приборов набор измеряемых напряжений охватывает широчайший диапазон, который зависит от свойств первичной обмотки и сопротивления резистора первичной цепи.

Наиболее распространенным средством измерения силы тока в системах электроснабжения является трансформатор тока. Он способен работать в широком диапазоне температур и номинальных токов, обладает достаточной для практики точностью и может применяться в широком диапазоне номинальных напряжений. Трансформатор тока обеспечивает гальваническую развязку вторичных цепей. Основным недостатком данного датчика заключается в том, что размыкание вторичной измерительной обмотки не допускается, т. к. это приводит к аварийной ситуации, обусловленной высоким перенапряжением и нагревом.

Для целей измерения тока в низковольтных цепях постоянного и переменного тока широко используется резистивный датчик тока. Данный датчик является самым простым в исполнении и обладает высокой точностью измерения, однако главный недостаток состоит в наличии гальванической связи с измерительными цепями, что ограничивает область их применения.

В последнее время для измерения постоянного и переменного тока находят наиболее частое применение датчики тока на эффекте Холла. Основными недостатками данного датчика является зависимость показаний от температуры, невысокий, по сравнению с трансформатором тока, диапазон номинальных напряжений. Для измерения сверхбольших токов при высоких напряжениях в последнее время все чаще применяются оптоволоконные датчики тока.

УДК 621.3.022

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Позняк Д.А.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Основные требования, предъявляемые к релейной защите:

- селективность;
- быстродействие;
- чувствительность;
- надежность.

Ниже будут приведены примеры обслуживания микропроцессорных устройств защиты и автоматики.

Испытание с модулем Ramping. Состояние линейного изменения определяется как ступенчатое изменение одной физической величины. В этом испытательном модуле могут быть произведены несколько настроек.

– С помощью Режима ввода установок пользователь может определить, следует ли изменять выходные напряжения и токи напрямую или использовать расчетные величины, такие как симметричные составляющие, значения при КЗ или полные сопротивления в местах КЗ.

– Сигнал(ы) и Количество могут быть заданы для определения величин, подлежащих линейному изменению. Можно линейно изменять два различных сигнала и величины одновременно.

– Для испытания должны быть заданы начало и конец линейного изменения. Также должно быть задано значение Приращения, которое является размером шага, а также время между двумя шагами dt . Наклон d/dt вычисляется автоматически.

– Аналоговые выходы Детального просмотра показывают величины, генерируемые испытательным комплектом СМС. Примечание: аналоговые величины должны быть установлены согласно реалистичному значению повреждения.

– Триггер, останавливающий линейное изменение, может быть задан во вкладке Триггер раздела Детальный просмотр. Примечание: длительность шага dt должна быть задана в соответствии с триггером. Ее значение должно быть больше времени переключения триггера.

Испытательный модуль Ramping можно найти на Стартовой странице ПО OMICRON Test Universe. Он также может быть вставлен в файл OCC (Control Center документ).

Испытание с модулем Pulse Ramping. Линейное изменение импульса определяется как ступенчатое изменение физической величины, которая возвращается к определенному параметру отпускания реле после каждого шага. Несколько настроек могут быть произведены в этом испытательном модуле.

– Сигнал(ы) и Количество могут быть заданы для определения величин, подлежащих линейному изменению. Сигналы и величины, доступные для выбора, определяются Режимом ввода установок.

– Начало и конец линейного изменения импульса должны быть заданы для испытания. То же касается и Δ , которая является размером шага.

– Задайте Время повреждения для определения продолжительности испытательных импульсов.

– Состояние повреждения определяет величины, генерируемые во время испытательных импульсов. С помощью Режима ввода установок пользователь может определить изменять ли выходные напряжения и токи напрямую, или использовать расчетные величины, такие как симметричные составляющие, значения при КЗ или полные

сопротивления в месте КЗ. Величины, показанные на сером фоне, имеют линейные изменения и поэтому не могут изменяться здесь.

Примечание. Аналоговые величины должны быть установлены согласно реалистичному значению повреждения. Например, фазовый сдвиг на 180° токов междуфазных КЗ.

– С помощью Состояния сброса можно определить величины, генерируемые между двумя испытательными импульсами. Эти величины должны обеспечивать отпускание реле.

– Предаварийное время — это время перед первым испытательным импульсом, тогда как Время сброса — это время между двумя испытательными импульсами. В течение этого времени будет активно Состояние сброса. Время сброса должно превышать время отпускания реле.

– Используйте Измерение для выполнения количественной оценки испытания. Здесь пользователь может определить состояние триггера, номинальное значение и допуски. Пользователь также может использовать относительные допуски для количественной оценки.

Примечание. Если активна функция защиты от несимметричной нагрузки (обратная последовательность), то для испытания необходимо использовать трехфазное КЗ.

Для вызова испытательного модуля Pulse Ramping можно использовать значок, размещенный на Начальной странице ПО OMICRON Test Universe. Он также может быть вставлен в файл ОС (Control Center документ).

Испытание дистанционной защиты. Испытание дистанционной защиты рекомендуется выполнять в следующем порядке:

Испытание на срабатывание. Соответствующая функция срабатывания (например, пуск защиты максимального тока) проверена. Это испытание не объясняется в настоящем документе;

Испытание времени отключения. Время отключения функции дистанционной защиты проверены;

Испытание досягаемости зоны. Досягаемости зоны дистанционной защиты проверены.

Испытание времени отключения, а также испытание досягаемости зоны выполнены с помощью испытательного модуля Advanced Distance.

Существуют также и другие способы испытания, такие как испытание направленной токовой защиты, с модулем State Sequencer, направленной максимальной токовой защиты, ненаправленной токовой защиты и так далее.

УДК 621.3

ДУГОВАЯ ЗАЩИТА

Заяц Д.В.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Электрическое дуговое короткое замыкание – это короткое замыкание, где эффект взрывного нарастания давления и нагрева может быть причиной громадного ущерба оборудованию и риска для безопасности обслуживающего персонала. При этом время горения дуги позиционируется как основной критерий для оценки вероятности повреждения оборудования и травмирования персонала.

Открытые дуговые замыкания длительностью до 100 мс, в 90 % случаев не представляют опасности для оборудования и персонала. При горении дуги более 100 мс, но менее 600 мс, в 100 % случае происходит повреждение оборудования и травмирование персонала. Дуговые короткие замыкания, длящиеся более 600 мс, характеризуются обширными повреждениями оборудования и тяжелыми травмами персонала.

Температура газа в канале дугового разряда может достигать 1000 °С. Металлы, попавшие в зону горения дуги, испаряются, а изоляция сгорает, в некоторых случаях – с выделением токсичных газов. Воспламенение кремнийорганической изоляции опорных и проходных изоляторов происходит ориентировочно через 120 мс после возникновения дугового замыкания. Через 180 мс возможно воспламенение меди, из которой выполнены токоведущие части главной цепи. Через 250 мс воспламеняются стальные конструктивные элементы распределительного устройства, находящиеся в зоне действия дуги.

Наилучший путь ограничить ущерб от дугового замыкания – это ограничить время горения дуги. Время горения дуги может быть ограничено путем отключения выключателя, через который происходит питание дуги.

Различают следующие типы защит от коротких дуговых замыканий: дуговая защита шин, клапанного типа, с мембранным выключателем, фототиристорного типа, волоконно-оптического типа, реагирующая на повышение температуры, дифференциальная токовая защита шин.

Дуговая защита шин (ДуЗШ) или защита от дуговых замыканий (ЗДЗ) применяется для защиты сборных шин и элементов распределительных устройств 6–10 кВ, размещенных в закрытых отсеках комплексного распределительного устройства или комплексного распределительного устройства наружной установки (КРУ или КРУН). Работа защиты основана, в основном, на физическом принципе. Может реагировать на два фактора: вспышка света в отсеках распредустройства и на механическое воздействие дуги.

Дуговая защита клапанного типа работает с помощью клапанного датчика. Клапанный датчик дугового замыкания – устройство, обеспечивающее снижения давления в ячейке распределительного устройства. Клапанный датчик дугового замыкания, реагирует на увеличение давления газов, возникающих при горении дуги, сопровождающей короткое замыкание.

ЗДЗ с мембранным выключателем представляет из себя систему из шлангов, вентилях обратного давления и мембранного выключателя. В каждый защищаемый отсек ячейки подводится шланг, объединение шлангов производится через вентили обратного давления, объединённый участок подключается к мембранному выключателю, реагирующему на волны давления, создаваемые электрической дугой.

ЗДЗ фототиристорного типа реагируют на световую вспышку от электрической дуги. В качестве датчика, реагирующего на световую вспышку от электрической дуги используется фототиристор.

ЗДЗ волоконно-оптического типа реагирует на световую вспышку от электрической дуги. В качестве датчика, реагирующего на световую вспышку от электрической дуги используется волоконно-оптический датчик (ВОД).

ЗДЗ реагирующее на повышение температуры. При возникновении дугового КЗ резко повышается температура в области датчиков температуры, соединенных в последовательную цепь и установленных вдоль фаз защитных токопроводов. Датчики температуры состоят из двух металлических пластин, изолированных друг от друга с помощью другой пластины из сегнетокерамики. Известно, что при нагревании пластины из сегнетокерамики выше точки Кюри исчезает ее поляризация и происходит фазовый переход в пароэлектрическое состояние. При этом ее диэлектрическая проницаемость в соответствии с законом Кюри-Вейса убывает обратно пропорционально разности температуры. Датчики нагреваются выше точки Кюри, в результате чего диэлектрическая проницаемость уменьшается на несколько порядков, а сопротивление датчиков значительно возрастает, обратно пропорционально уменьшению их емкости.

Дифференциальная токовая защита шин предназначена для быстрого отключения, при КЗ на сборных шинах или на любом другом оборудовании, входящем в зону действия защиты. Зона ее действия ограничивается трансформаторами тока, к которым подключены реле защиты. В основу выполнения защиты положен принцип сравнения значений и фаз токов электрических цепей при КЗ и в других режимах работы. Для выполнения защиты дифференциальное реле подключают к трансформаторам тока присоединений. При таком включении ток в реле всегда будет равен геометрической сумме вторичных токов присоединений. Основанные на общем принципе, дифференциальные защиты шин могут отличаться друг от друга по схеме, что связано с приспособлением их к той или иной главной схеме подстанции.

УДК 621.391

РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Тимофейчик И.А.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Реле времени – реле, предназначенное для создания независимой выдержки времени и обеспечения определённой последовательности работы элементов схемы. Реле времени применяется в случаях, когда необходимо автоматически выполнить какое-то действие не сразу после появления управляющего сигнала, а через установленный промежуток времени.

Существуют следующие виды реле времени:

– реле времени с электромагнитным замедлением. Применяются только при постоянном токе. Помимо основной обмотки реле этой серии имеют дополнительную короткозамкнутую обмотку, состоящую из медной гильзы. При нарастании основного магнитного потока он создает ток в дополнительной обмотке, который препятствует нарастанию основного магнитного потока. В итоге результирующий магнитный поток увеличивается медленнее, время «трогания» якоря уменьшается, чем обеспечивается выдержка времени при включении. При отключении тока в катушке за счёт индуктивности короткозамкнутого витка магнитный поток в реле какое-то время сохраняется, удерживая якорь. Этот вид реле времени обеспечивает выдержку времени при срабатывании от 0,07 с до 0,11 с, при отключении от 0,5 с до 1,4 с;

– реле времени с пневматическим замедлением. Имеет специальное замедляющее устройство – пневматический демпфер, катаракт. Регулировка выдержки осуществляется изменением сечения отверстия для забора воздуха, как правило, с помощью регулировочного винта. Этот тип реле времени обеспечивает выдержку времени от 0,4 до 180 с, с точностью срабатывания 10 % от установки;

– реле времени с анкерным или часовым механизмом. Работает за счёт пружины, которая заводится под действием электромагнита, и контакты реле срабатывают только после того, как анкерный механизм отсчитает время, выставленное на шкале. Разновидность подобных реле используется в мощных (на токи в сотни и тысячи ампер) автоматических выключателях на напряжение 0,4–10 кВ. Составные части такого реле – механизм замедления и токовая обмотка, взводящая его пружину. Скорость хода механизма зависит от затяжки пружины, то есть от тока в обмотке, по окончании хода механизм вызывает отключение автомата, тем самым выполняя функции тепловой защиты от перегрузок, не нуждаясь при этом в коррекции по температуре окружающего воздуха. Этот тип реле времени обеспечивает выдержку времени от 0,1 до 20 с с точностью срабатывания 10 % от установки;

– моторные реле времени. Предназначены для отсчета времени от 10 с до нескольких часов. Оно состоит из синхронного двигателя, редуктора, электромагнита для сцепления и расцепления двигателя с редуктором, контактов;

– электронные реле времени. В электронных реле для получения временной задержки используются различные аналоговые и цифровые схемотехнические решения. Как правило, это интегральные цепи или цифровые логические устройства (таймеры). Встречаются также реле времени на основе элементов микропроцессорной техники.

УДК 621.3

ЗАЩИТНОЕ ЗАНУЛЕНИЕ И ЗАЗЕМЛЕНИЕ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Книга К.С.

Научный руководитель – к.т.н. БУЛОЙЧИК Е.В.

Заземление электроустановки – это обеспечение электробезопасности путём целенаправленной электрической связи корпуса устройства с «землёй». Заземление электроустановок бывает двух типов: защитное заземление и зануление, которые имеют одно и тоже назначение – защитить человека от поражения электрическим током, если он прикоснулся к корпусу электроустановки или других ее частей, которые оказались под напряжением.

Суть защитного заземления в обеспечении безопасной эксплуатации электрооборудования путём соединения его защищаемой части с соответствующим устройством. Главная характеристика заземляющего устройства – его сопротивление, качество защиты улучшается с его понижением. Защитное заземление действует на основе серьёзного уменьшения разности потенциалов между деталью, на которую пробило напряжение (корпус и т. д.), и землёй, вплоть до безопасного для человека уровня. Если заземление отсутствует, контакт с опасным местом электроустановки является непосредственным контактом с фазой.

Зануление – это соединение металлических частей, не находящихся под напряжением, либо с заземленной нейтралью понижающего источника трехфазного тока, либо с заземленным выводом генератора однофазного тока. Зануление – основная мера защиты при косвенном прикосновении в электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью. Поскольку нейтраль заземлена, зануление можно рассматривать как специфическую разновидность заземления.

Принцип работы зануления: при пробое фазной цепи электроприбора на зануленный корпус фактически происходит короткое замыкание «фаза – ноль». Сила тока в цепи при этом увеличивается до очень больших величин, что вызывает быстрое срабатывание аппаратов защиты (автоматические выключатели, плавкие предохранители), которые быстро отключают линию, в которую включен неисправный прибор.

Защитное заземление и защитное зануление в электроустановках:

– В электроустановках напряжением от 110 до 750 кВ должно быть выполнено защитное заземление. Заземляющие устройства следует выполнять по нормам на напряжение прикосновения или по нормам на их сопротивление. Оно должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом. При удельном сопротивлении «земли» ρ , большем 500 Ом·м, допускается повышать сопротивление заземляющего устройства в зависимости от его величины. Напряжение на заземляющем устройстве при стекании с него тока замыкания на «землю» не должно превышать 10 кВ. Напряжение выше 10 кВ допускается на заземляющих устройствах, с которых исключен вынос потенциалов за пределы зданий и внешних ограждений электроустановки.

– В электроустановках напряжением выше 1000 В в сети с изолированной нейтралью должно быть выполнено защитное заземление. Расчетная сила тока замыкания на землю должна быть определена для той из возможных в эксплуатации схемы сети, при которой сила токов замыкания на землю имеет наибольшее значение.

– В электроустановках напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью должно быть выполнено зануление. При занулении фазные и нулевые защитные проводники должны быть выбраны таким образом, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой проводник, возникал ток короткого замыкания, обеспечивающий отключение автомата или плавление плавкой вставки ближайшего предохранителя. В цепи нулевых защитных проводников не должно быть разъединяющих приспособлений и предохранителей.

– Для передвижных электроустановок и ручных электрических машин класса I в сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью зануление следует выполнять в сочетании

с защитным отключением. Зануление или зануление в сочетании с повторным заземлением – для передвижных приемников электрической энергии. При питании передвижных приемников электрической энергии и ручных электрических машин класса I от стационарной сети или передвижного источника питания электроэнергией, имеющих изолированную нейтраль и контроль сопротивления изоляции, защитное заземление должно применяться в сочетании с металлической связью корпусов электрооборудования или защитным отключением.

УДК 621.311.22(075.8)

СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ОДНОКРАТНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ НЕСИММЕТРИИ СЕТИ

Махнач Д.Н.

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

При расчетах однократной продольной несимметрии электрической сети требуется составлять схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей, в каждую из которых входят те элементы, по которым при заданной несимметрии протекают токи соответствующих последовательностей. Составление схем замещения прямой и обратной последовательностей не вызывает особых затруднений. Вследствие того, что система токов нулевой последовательности резко отличается от систем токов прямой и обратной последовательностей, в эту схему вводятся только те элементы расчетной схемы, по которым могут протекать току нулевой последовательности, а именно: системы с заземленными нейтралями, силовые автотрансформаторы, трансформаторы с заземленными нейтралями, воздушные и кабельные линии, соединяющие их и др.

При реализации программы в качестве платформы для разработки использовалась среда Microsoft Visual Studio 2013. Программа выполнена на объектно-ориентированном языке программирования C#. Она стабильно работает ОС Windows XP и более ранних версиях Windows, имеет удобный интерфейс и позволяет строить схемы замещения нулевой последовательности для любой произвольной схемы энергосистемы.

С помощью программы на мониторе создается рабочее поле, на котором собирается схема исследуемой системы. Элементы системы (генераторы, трансформаторы и т. п.) выбираются из базы элементов мышью и простым «перетягиванием» помещаются на рабочее поле.

Чтобы выбрать схему соединения обмоток (например, трансформатора), необходимо кликнуть правой кнопкой мыши на элемент и выбрать нужную схему.

Каждый элемент схемы имеет по два соединительных узла, при помощи которых этот элемент может соединяться с другими и образовывать нужную расчетную схему системы. Для изображения линий электропередачи сначала необходимо кликнуть левой кнопкой мыши на место, где предположительно будет начало линии. Затем кликнуть на место предполагаемого конца линии. В результате на экране появится изображение линии зеленого цвета. Если полученное соединение нас не устраивает, то его легко можно удалить клавишей Del. Для фиксирования линии необходимо нажать на клавишу Esc. В случае необходимости любой элемент схемы можно поворачивать нажатием клавиши R. Поворот будет происходить по часовой стрелке с шагом в 90°.

После составления расчетной схемы программа позволяет установить в нужном месте точку продольной несимметрии. В случае правильного выполнения инструкции, при нажатии на клавишу R программа отобразит красным цветом пути протекания токов нулевой последовательности по элементам сети, по которым легко составляется схема замещения нулевой последовательности.

Данная программа существенно облегчит и ускорит процесс расчета токов однократной продольной несимметрии, частично автоматизируя один из этапов расчета, и тем самым уменьшит вероятность ошибок.

Литература

- 1 Вагнер, К.Ф. Метод симметричных составляющих / К.Ф. Вагнер, Р.Д. Эванс. – М. : ОНТИ ККТП СССР, 1936.
- 2 Фленов, М.Е. Библия C# / М.Е. Фленов. – СПб. : БПВХ-Петербург, 2010.
- 3 Басакер, Р., Конечные графы и сети / Р. Басакер, Т. Саати. – М. : Наука, 1974.

УДК629.735

КАБЕЛИ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ И ОБЩИМ ЭКРАНАМИ

Гефтер М.В., Алехнович А.С.

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

На сегодняшний день кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) занимают все больший сегмент рынка кабельно-проводниковой продукции. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена в разных странах имеют разное обозначение:

- СПЭ – российское обозначение;
- XLPE – английское обозначение;
- VPE – немецкое обозначение;
- PEX – шведское.

Кабели с изоляцией из СПЭ имеют ряд существенных преимуществ перед кабелями с бумажно-пропитанной изоляцией (БПИ):

- пропускная способность кабелей с изоляцией из СПЭ в 1,2–1,3 раза выше при более высокой допустимой длительной температуре (зависит от условий прокладки);
- повреждаемость кабелей с изоляцией из СПЭ при протекании токов короткого замыкания (КЗ) в 10–15 раз ниже, чем у кабелей с БПИ, предельная температура кабелей с изоляцией из СПЭ выше, чем у кабелей с БПИ;
- срок службы кабелей с изоляцией из СПЭ превышает 50 лет;
- температура прокладки кабелей с изоляцией из СПЭ без предварительного нагрева до -20°C ;
- условия прокладки кабелей с изоляцией из СПЭ просты, так как данный тип кабелей легче, имеет меньший диаметр, радиус изгиба, в них отсутствует тяжелая свинцовая оболочка в отличие от кабелей с БПИ;
- в кабелях с изоляцией из СПЭ отсутствуют жидкие компоненты изоляции, что уменьшает время и стоимость монтажа;
- при повреждении кабели с изоляцией из СПЭ не создают утечек масла, которые наносят вред окружающей среде;
- кабели с изоляцией из СПЭ имеют более высокие диэлектрические свойства изоляции, чем кабели с БПИ за счет меньшей гигроскопичности конструктивных элементов;
- при прокладке кабелей с изоляцией из СПЭ допустимы изменения уровня кабельной трассы.

Кабель, экранированный медный разделяют, в основном по назначению:

- силовой. Рассчитан на напряжение 6–10 кВ. Назначение экрана в таком случае – защита внешней среды от электромагнитного поля. Силовой экранированный кабель различают по материалу изготовления жилы: медь (ПвП) или алюминий (АПвП). Экран в них изготавливается из пероксидносшиваемой пленки и дополнительная оболочка сверху из медной проволоки и ленты. Толщина экрана высчитывается исходя из планируемой нагрузки;
- комбинированные кабель – два кабеля (силовой и кабель управления) в одной оболочке. Такие кабели тоже часто экранируют. Применяются для подключения к электропитанию передвижных установок: самоходных устройств, экскаваторов, кранов. Материалом для экрана в них служит алюмолавсановая лента с медной оплёткой в марках КГПЭУ или электропроводящая резина в марках КГЭУ;
- контрольные кабели применяются для обмена информацией с приборами, к которым невозможен или ограничен доступ. Экран в таких кабелях нужен для защиты информации от внешних электромагнитных полей. Исполняется он в таких кабелях из медной проволоки или тонкой фольги;

– сигнально-блокировочные кабели применяются в тех системах, которые предъявляют строгие требования к защите информации. Это, разного рода и назначения сигнализации (противопожарная, охранная), точные измерительные приборы.

Экран изготавливается из алюмополиэтиленовой ленты. Ещё большие требования защиты передаваемой информации предъявляют кабели связи. К ним же относятся и кабели компьютерной коммуникации. Наибольшее распространение из них имеют кабели FTP или, так называемая витая пара. Экран в них может быть выполнен медной фольгой, плёткой или комбинированно.

Вышеописанные кабели все шире представлены на рынке кабельно-проводниковой продукции, и производители заявляют длительный срок службы и высокие характеристики. Таким образом производимый анализ дает данные для обоснования необходимости применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в электроустановках, а также показывает особенности кабелей с индивидуальным и общим экраном.

УДК 621.314.26

ЧАСТОТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Буров Н.А.

Научный руководитель – КЛИМЕНТИОНОВ А.К.

Преобразователь частоты – это устройство, преобразующее входное напряжение 220 В или 380 В частотой 50 Гц, в выходное импульсное напряжение посредством ШИМ (широтноимпульсной модуляции), которое формирует в обмотках двигателя синусоидальный ток частотой от 0 Гц до 400 Гц или даже до 1600 Гц.

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.

Современный высокочастотный преобразователь частоты позволяет не только организовывать наиболее энергоэффективные алгоритмы управления технологическими процессами, но и увеличивать срок службы двигателей и прочих включенных в технологический процесс элементов.

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.

Наиболее широкое применение в современных частотно регулируемых модулях находят преобразователи с явно выраженным звеном постоянного тока. 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 снижению 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.

Литература

1 Москаленко, В.В. Электрический привод : учеб, пособие для студ. учреждений сред, проф. образования / В.В. Москаленко. – М. : Высшая школа, 2000. – 368 с.

2 Частотные преобразователи // Частотник [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.chastoriik.info>. – Дата доступа : 10.12.2015.

УДК 621.316

ВЫБОР РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ШИННОЙ КОНСТРУКЦИИ КОМПЛЕКТНЫХ ШКАФОВ К-БЭМН

Баран А.Г., Алехнович А.С., Климкович И.П.

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

Исследования сборных шины комплектного распределительного устройства К-БЭМН на 10 кВ с номинальным током 3150 А обусловлены необходимостью проверки шкафов на электродинамическую стойкость при токе короткого замыкания (КЗ) равном 64 кА. Этим требованиям удовлетворяют составные медные шины из двух прямоугольных полос размерами $2 \times (100 \times 10) \text{ мм}^2$, номинальный ток которых равен 3610 А при стандартных условиях окружающей среды [1]. Масса 1 метра однополосной шины $(100 \times 10) \text{ мм}^2$ равна 8,9 кг/м, а допустимое механическое напряжение изгиба шин марок МГМ, МГТ и ШМТ составляет 171,5–212 МПа [1, 2].

Проводники ответвлений к электрическим аппаратам в линейных шкафах К-БЭМН выполнены медными стержнями с размерами $(34 \times 24) \text{ мм}^2$, расчетным сечением 814 мм^2 и допустимым током 1575 А [1, 3]. Для камеры вводной ячейки использованы двухполосные шины $2 \times (100 \times 10) \text{ мм}^2$, как и для сборных шин. Сборные шины расположены в вершинах треугольника и пропускаются в соседнюю ячейку через проходные изоляторы и резиновые вкладыши, допускающие поперечные перемещения шин. Шины жестко закреплены на медных стержнях-надставках в двух соседних камерах и, как правило, образуют многопролетную шинную конструкцию с неразрезными шинами. Расчетной схемой для них является балка с жестким опиранием (защемлением) на обоих опорах пролета (таблица 1) [2]. Для комплектных шкафов с разрезными шинами, длина которых равна длине одного пролета, изменяются коэффициенты расчетной схемы λ и r_1 (таблица 1) [2].

Таблица 1 – Коэффициенты расчетной схемы сборных шин

№ схемы	Расчетная схема	Тип балки и опоры	Коэффициенты		
			λ	β	r_1
1		Однопролетная А и В – изоляторы-опоры	8	1	3,14
2		Однопролетная А – заземление шины; В – изолятор-опора	8	1,25	3,93
3		А и В – заземление шины на жестких опорах	12	1	4,73
4		Балка с двумя пролетами	8	1,25	3,93
5		Балка с тремя и более пролетами	10^* 12^{**}	1,131	4,73

Примечания: * – для крайних пролетов; ** – для средних пролетов

Из конструктивных чертежей К-БЭМН следует (рисунок 1), что сборные шины имеют жесткое крепление к надставкам ответвлений к электрическим аппаратам, а в местах прохода сборных шин через перегородку имеется люфт, величиной 11–13 мм. Сравним его с

максимальным прогибом шин при КЗ. Представим шину стержнем с опертыми концами и приближенно определим ее максимальный динамический прогиб в середине пролета. При этом считаем, что в этой точке к шине приложена мгновенная максимальное усилие как статическая нагрузка, средняя величина которой приближенно равна 2000 Н. В соответствии с [4, 5] максимальный прогиб сборной шины

$$y_{\max} = 1,06 \frac{F_{\max} l^3}{48,7 E J},$$

где $F_{\max}$ – максимальное мгновенное ЭДУ, Н;

E – модуль упругости материала шин, Па;

J – момент инерции поперечного сечения шины, м⁴.

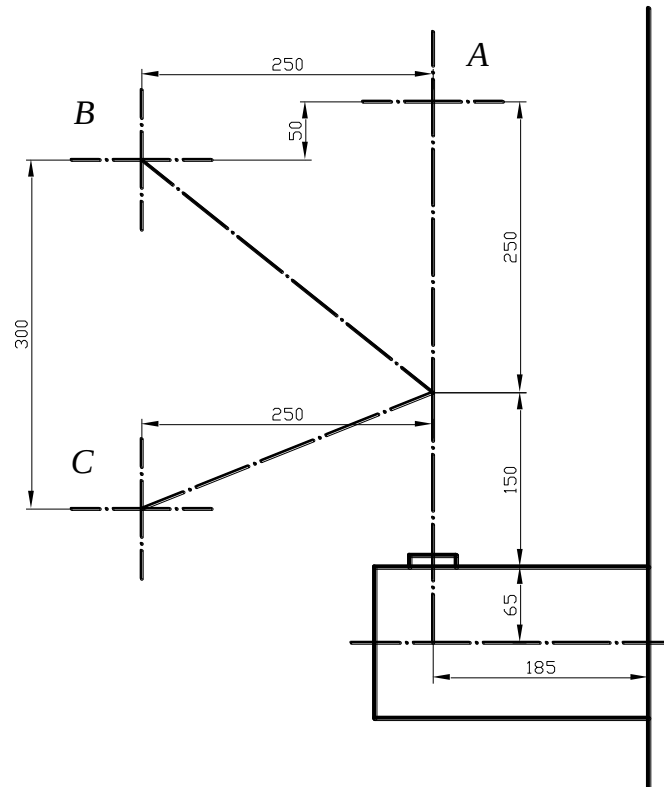


Рисунок 1 – Расположение токоведущих частей в шинном отсеке КРУ

Максимальный прогиб сборной шины фазы В составит

$$y_{\max} = 1,06 \frac{2000 \cdot 0,8^3}{48,7 \cdot 10^{11} \cdot 16,7 \cdot 10^{-9}} = 1,33 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Для фаз А и С, расположенных несимметрично относительно перегородки, прогибы будут меньше. Таким образом, максимальные прогибы шин при КЗ практически не превышают люфта в проходном изоляторе. Это позволяет принять расчетную схему одного пролета сборных шин между двумя соседними ответвлениями к шинным аппаратам в виде шины-балки, укрепленной на упругих медных надставках, длины которых, как видно из рисунка 1, соответственно равны: $l_{н(А)} = 0,525$ м, $l_{н(В)} = 0,45$ м, $l_{н(С)} = 0,425$ м. Согласно ГОСТ [2] расчетной схемой шинной конструкции с упруго-податливыми опорами считается схема, в которой масса шины распределена по длине пролета, а опоры представлены сосредоточенной эквивалентной массой $M_{оп}$ и пружинами с жесткостью $C_{оп}$. Надставки фаз имеют пространственное расположение, состоят из прямолинейных отрезков шин и крепятся к опорно-проходным изоляторам фирмы PW «Kielce» типа IPWR2-17,5/2,5 с $P_{\min \text{ разр}} = 2,5$ кН. Длинные надставки и невысокая допустимая изгибающая нагрузка изолятора повышают риск нарушения электродинамической стойкости шинной конструкции.

При оценке электродинамической стойкости проводятся исследования для нескольких расчетных схем взаимодействия токов КЗ:

- по сборным шинам пролета протекают сквозные токи КЗ, токи в надставках равны нулю;

- точка КЗ находится в ячейке и ток в надставках равен току КЗ.

Для указанных схем выполняется анализ максимальных напряжений изгиба сборных шин и результирующих максимальных нагрузок, действующих со стороны сборных шин и надставок на опорно-проходные изоляторы фаз.

Литература

1 Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

2 ГОСТ 30323-95. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. – Введ. 01.03.1999. – Минск : Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2004. – 37 с.

3 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Издательство НЦ ЭНАС, 2003. – 506 с.

4 Кудрявцев, Е.П. Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств / Е.П. Кудрявцев, А.П. Долин. – М. : Энергия, 1981. – 96 с.

5 Долин, А.П. Открытые распределительные устройства с жесткой ошиновкой / А.П. Долин, Г.Ф. Шонгин. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.

УДК 621.3.022

ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТОВ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ТК315

Базыльчик В.С., Башаркевич Я.В., Зарихта К.С.

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

В энергетических системах различают нормальный и ненормальный режимы работы. Ненормальные режимы работы вызваны преимущественно короткими замыканиями (КЗ). В электрической системе совпадают моменты выработки и потребления электрической энергии. При нормальном режиме существует баланс между потребляемой и производимой энергиями. Нормальный режим электрической системы характеризуется неизменностью параметров системы или медленным их изменением. Параметры энергосистем такие как: мощность, напряжение, ток, лежат в диапазоне заранее заданных значений. Отклонение от нормального режима связано с ухудшением качества энергии и с большими экономическими потерями. С резким изменением заданных параметров связаны аварийные режимы работы, их причиной, как правило, являются короткие замыкания (КЗ).

Короткое замыкание – это всякое непредусмотренное нормальными условиями работы замыкание между фазами, а в системах с заземленными нейтралями (четырёхпроводных) так же замыкание одной или несколько фаз на землю (или на нулевой провод). В системе с незаземленной нейтралью или с нейтралями заземленными через компенсирующее устройство, замыкание одной из фаз на землю называется простым замыканием. При этом виде повреждения прохождение тока обусловлено главным образом емкостью фаз относительно земли.

При возникновении короткого замыкания в электрической системе сопротивление цепи уменьшается (степень уменьшения сопротивления зависит от положения точки КЗ в системе), что приводит к увеличению токов в отдельных ветвях системы по сравнению с токами нормального режима. В свою очередь это вызывает снижение напряжений в системе, которое особенно велико вблизи места КЗ.

Надежный способ ликвидации аварии, это отключение поврежденного участка от электрической системы. Отключение происходит с помощью высоковольтных выключателей, которые срабатывают с помощью устройств релейной защиты и автоматики.

Виды коротких замыканий:

- трехфазное КЗ – является симметричным, так как сопротивления в трех фазах короткозамкнутой цепи будут одинаковыми. Трехфазное КЗ, как правило, является самым тяжелым видом короткого замыкания.

- двухфазное короткое замыкание – является несимметричным КЗ. Возникает между двумя фазами сети

- однофазное короткое замыкание - может происходить в сети с глухо-заземленной нейтралью (сети до 1 кВ) и с эффективно-заземленной нейтралью (сети 110 кВ и выше), когда один из проводов замкнут на землю.

- двухфазное КЗ на землю – это замыкание, когда два провода соединены между собой и замкнуты на землю.

Виды повреждения, которые сопровождаются многократной несимметрией (замыкание различных фаз в различных точках одновременно) называются сложными видами повреждений.

Основной причиной возникновения КЗ является нарушение изоляции линий, электрических аппаратов и др. электрооборудования.

Расчеты несимметричных КЗ, как и расчеты других несимметричных режимов выполняются при помощи метода симметричных составляющих, в соответствии с которым любую n -фазную систему несимметричных векторов можно разложить на n -симметричных n -фазных систем. Соответственно трехфазную систему несимметричных векторов можно разложить на три симметричные трехфазные системы, которые называются: система прямой последовательности (СПП), система обратной последовательности (СОП), система нулевой

последовательности (СНП). Считается, что токи и напряжения разных последовательностей не взаимодействуют между собой, а каждый элемент цепи имеет разные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности. Системы параметров прямой и обратной последовательности являются уравновешенными, система нулевой последовательности – симметричная, но неуравновешенная. Нормальный режим работы энергосистемы и режим трехфазного КЗ являются симметричными; в этих режимах под действием симметричной трехфазной электродвижущей силы (ЭДС) по схеме протекают только токи прямой последовательности. В несимметричном режиме в месте несимметрии возникают токи и напряжения обратной и нулевой последовательностей, но физически единственным источником этих параметров является только ЭДС прямой последовательности, которая создается в генераторах благодаря току возбуждения и вращению ротора.

При расчете параметров несимметричных КЗ (двухфазных, однофазных, двухфазных на землю) пользуются правилом эквивалентности прямой последовательности: ток прямой последовательности при любом несимметричном КЗ можно определить, как ток при трехфазном КЗ в узле, отдаленном от настоящего узла КЗ на некоторое дополнительное сопротивление $x(n)$, которое зависит от результирующих сопротивлений обратной и нулевой последовательности схемы относительно узла КЗ.

Таким образом, расчет параметров несимметричного КЗ в заданном узле трехфазной электросистемы выполняется в следующем порядке:

Строятся схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательности, выполняется свертка этих схем к заданному узлу КЗ и рассчитываются результирующие ЭДС E , результирующие сопротивления x_1 , x_2 , x_0 относительно узла КЗ и по формуле токи прямой последовательности для разных видов несимметричных КЗ, а по вышеуказанной формуле рассчитывается полный ток в месте несимметричного КЗ. По формулам для симметричных составляющих ток КЗ рассчитываются симметрические составляющие токов в узле КЗ.

Расчет режимов коротких замыканий значительно проще рассчитывать на ЭВМ, так как она позволяет рассчитать токи с заданным параметром приближения. Одной из таких программ является программа ТК315.

Программа ТКЗ для расчета токов несимметрических КЗ ориентирована на учебный процесс и предназначена для расчета токов КЗ при выполнении курсовых и дипломных работ. Программа дает возможность рассчитать полное значение периодической составляющей сверхпереходного тока трехфазного, двухфазного, однофазного и двухфазного на землю КЗ, симметричные составляющие этого тока и распределение их по ветвям схемы. Нагрузки и активные сопротивления не учитываются. Сопротивления ветвей СПП, СОП, СНП должны быть представлены в относительных единицах. Узлы СПП с нулевым потенциалом (нейтрали генераторов) обязательно должны иметь номер ноль. Остальные узлы СПП нумеруются целыми числами в возрастающем порядке. Один и тот же узел в СПП, СОП и СНП должен иметь одинаковый номер. Сопротивления элементов СОП приняты равными сопротивлениям СПП, потому СОП во входных данных не описывается.

Программа включает в себя главную программу ТКЗ и подпрограмму ZHORTKA. Текст программы ТКЗ обеспечен комментариями, которые дают возможность понять реализацию алгоритмов, порядок создания файла исходных данных и расшифровки файла результатов.

Литература

- 1 Веников, В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах / В.А. Веников. – 2-е изд. – М. : Высшая школа, 1985. – 536 с.
- 2 Математические задачи энергетики : учеб.-метод. пособие : в 8 ч. / БНТУ ; авт.-сост. Н.Н. Бобко. – Минск ; БНТУ, 2000. – Ч. 4 : Программа для расчета токов короткого замыкания ТКЗ. – 34 с.

УДК 621.3.048.1

МЕТОДЫ НЕ РАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ ИЗОЛЯЦИИ

Тарасов В.С.

Научный руководитель – 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 пробое. 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.

На заводах контроль изоляции производится при изготовлении и выпуске изделий с целью проверки качества промежуточных технологических операций и соответствия изоляционных характеристик изделия требованиям ГОСТ или заводским нормам. Часто на заводах измеряются изоляционные характеристики изделий, которые не нормированы, но важны в качестве исходных данных для последующего контроля за состоянием изоляционных конструкций.

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 $\tan \delta$ является одним из наиболее распространенных. Как показывает опыт, по значению $\tan \delta$ можно установить наличие в изоляции различных по характеру дефектов.

Технически правильная эксплуатация, предотвращающая вредные воздействия на изоляцию, служит обязательным условием надежной работы высоковольтного оборудования. Срок службы изоляции в существенной степени зависит от постановки эксплуатационного надзора и контроля за изоляцией. Профилактика изоляции является только одним из элементов этого контроля. В задачу профилактики входит также установление типичных для тех или иных изоляционных конструкций дефектов, разработка эффективных способов устранения этих дефектов и рекомендации по разработке рациональных изоляционных конструкций на заводах.

При профилактических испытаниях качество изоляции оценивают только по абсолютной величине $\tan \delta$, которую измеряют при напряжении не выше 10 кВ независимо от номинального напряжения оборудования. Измерения при более высоких напряжениях в условиях эксплуатации не проводятся, так как для этого требуется громоздкое оборудование.

Величину $\tan \delta$ изоляции измеряют с помощью моста Шеринга. Для уменьшения ошибок измерения вследствие наводок от внешних полей мост экранируется.

Опыт, в котором наблюдается «возвратное» напряжение, состоит в следующем. Неоднородная изоляция, которую для простоты можно считать двухслойной, в течение некоторого времени выдерживается при постоянном напряжении, чтобы в ней накопился заряд абсорбции. Затем она отсоединяется от источника напряжения, и ее электроды замыкаются накоротко на очень малый промежуток времени Δt , после чего вновь размыкаются.

Для контроля качества изоляции по $\text{tg}\delta$ в энергосистемах используются компактные переносные мосты типов МД-16 и Р-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 типа НОМ-10.

По форме и величине «возвратного» напряжения можно судить о состоянии изоляции. Например, неравномерное увлажнение многослойной изоляции обнаруживается по увеличению «возвратного» напряжения. Однако не всегда ухудшение качества изоляции сопровождается ростом напряжения $U_{\text{возвр}}$. В частности, при сквозном и равномерном увлажнении неоднородность изоляции может уменьшиться, гота «возвратное» напряжение снизится. Поэтому контроль по «возвратному» напряжению недостаточен и должен сочетаться с другими методами.

По емкостным характеристикам наиболее эффективно выявляется увлажнение маслонаполненной изоляции. Поэтому переносные компактные приборы получили название ИКВ – приборов контроля влажности. Они используются для определения степени увлажнения изоляции силовых трансформаторов.

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.

УДК 621.316

УЧЕТ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ НАДСТАВОК СБОРНЫХ ШИН ПРИ ОЦЕНКЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ КРУ 6–10 КВ

Алехнович А.С., Баран А.Г.

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

Особенностью современных шкафов КРУ является расположение сборных шин по вершинам треугольника, углы которого не равны 90° и 60° . Сборные шины комплектных камер крепятся к опорно-проходным изоляторам с помощью надставок и пропускаются через стальные перегородки через специальные резиновые вкладыши, допускающие прогибы шин до 11–13 мм во всех направлениях. Опорные сечения шин, в которых приложены изгибающие электродинамические нагрузки, действующие на изоляторы, смещены относительно их вершин на длину надставок, которая достигает 0,5 м. В связи с этим повышается риск нарушения механической прочности изоляторов при больших токах короткого замыкания.

Шины вместе с надставками и опорно-проходными изоляторами образуют единую колебательную систему при коротком замыкании. Упругие длинные надставки могут существенно повлиять на частоту колебаний шин [1, 2]. Для оценки этого влияния составлено математическое описание задачи, которое включает в себя уравнения колебаний сборных шин и надставок, представленных упругими стержнями. Согласно [3] изоляторы на напряжение 10 кВ являются жесткими и их колебаниями можно пренебречь.

При формулировке задачи используется принцип связей механики. В соответствии с ним действие сборных шин на надставки заменяется реакциями связей. По отношению к надставкам они являются внешними силами, под действием которых надставки, представленные в расчетах консолью с одним защемленным и другим свободным концами совершают упругие колебательные движения при коротком замыкании. Учет колебаний надставок (стержней) согласно рекомендациям ГОСТ [4] выполняется приближенно в соответствии со схемой рисунка 1.

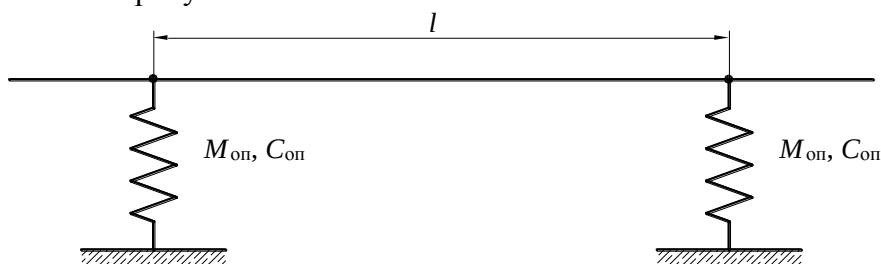


Рисунок 1 – Расчетная схема шинной конструкции
с упруго-податливыми основаниями

Определение приведенной массы стержня-надставки $M_{оп}$ производится из условия равенства жесткости $C_{оп}$ и основной собственной частоты колебаний консоли с распределенной массой и расчетной модели изолятора с сосредоточенной массой $M_{оп}$. Приведенная масса надставки по оси x определяется по формуле, приведенной в ГОСТ [4]

$$M_{оп} = \frac{C_{оп}}{(2\pi f_{оп})^2},$$

где $f_{оп}$ – основная частота собственных колебаний стержня надставки, Гц.

Величину $f_{оп}$ можно определить по формуле [5]

$$f_{оп} = \frac{r_1^2}{2\pi I_{оп}^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}},$$

где $r_1 = 1,875$ – корень характеристического уравнения колебаний консоли;

E – модуль упругости материала надставки, Па;

J – момент инерции поперечного сечения, м^4 ;

m – масса единицы длины стержня надставки, кг/м .

Жесткость надставки равна

$$C_{\text{оп}} = \frac{3,01 \cdot EJ}{l_{\text{оп}}^3}.$$

После определения приведенной массы $M_{\text{оп}}$ и жесткости $C_{\text{оп}}$ надставок находятся

отношения $\alpha_1 = \frac{C_{\text{оп}} l_{\text{оп}}^3}{EJ}$ и $\alpha_2 = \frac{M_{\text{оп}}}{ml_{\text{оп}}}$ и по зависимости $r_1 = f(\alpha_1)$ при различных α_2

выбирается параметр r_1 [4, 6]. По корню r_1 находится основная частота собственных колебаний шины и динамический коэффициент η . Влиянием упругих колебаний надставок по оси y пренебрегаем, так как они в этом направлении имеют высокую жесткость, обусловленную продольной жесткостью стержня на растяжение или сжатие.

Литература

1 Стрелюк, М.И. Расчет электродинамической стойкости жесткой ошиновки произвольной конфигурации / М.И. Стрелюк, И.А. Прима // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1990. – № 5 – С. 9–13.

2 Стрелюк, М.И. Динамическая стойкость токоведущих конструкций с жесткой ошиновкой пространственной конфигурации / М.И. Стрелюк, И.А. Прима // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1991. – № 5. – С. 3–9.

3 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Издательство НЦ ЭНАС, 2003. – 506 с.

4 ГОСТ 30323-95. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. – Введ. 01.03.1999. – Минск : Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2004. – 37 с.

5 Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко. – М. : Наука, 1967. – 444 с.

6 Долин, А.П. Открытые распределительные устройства с жесткой ошиновкой / А.П. Долин, Г.Ф. Шонгин. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.

УДК 62-503.55

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Карпович В.П.

Научный руководитель – 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.

Контроллеры, программируемые с помощью особого языка Ladder Logic Diagram (лестничной логики), стали следующим поколением и заменили собой устройства с жестко заданной логикой. Внутренняя физическая коммутация (то есть, контакты и реле) была заменена в них виртуальной и представляла собой программу, исполняемую микроконтроллером устройства. Современной разновидностью контроллеров, программируемых после проектирования и сборки, являются так называемые свободно программируемые контроллеры. Для изменения рабочих параметров, диагностики и обслуживания этих устройств используются специальные устройства – программаторы, или ПК, оснащенные соответствующими интерфейсами для подключения и программным обеспечением. Кроме того, для управления свободно программируемыми контроллерами применяются различные системы человеко-машинного интерфейса, в частности – операторские панели. Важнейшими элементами комплексов автоматизированного управления являются также датчики и исполнительные устройства, подсоединяемые к ПЛК централизованно или по методу распределенной периферии.

Для программирования ПЛК контроллеров был разработан ряд стандартизированных языков, описанных в международном стандарте МЭК 61131.

Истинная мощь и универсальность ПЛК раскрывается, когда мы хотим изменить поведение системы управления. Поскольку ПЛК является программируемым устройством, мы можем изменить, команды, которые мы задали, без перенастройки компонентов, подключенных к нему.

Используя ПЛК, мы можем без добавления дополнительного оборудования запрограммировать столько контактов для каждого «X» входа, сколько нам хотелось бы (каждый вход и выход должен занимать не больше, чем 1 бит в цифровой памяти ПЛК) и вызывать их столько раз, сколько необходимо. Кроме того, так как каждый выход ПЛК занимает не более одного бита в его памяти, мы можем вносить контакты в программу, приводя «Y» выход в не активизированное состояние.

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 напоминает 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.

Литература

1 Мишель, Ж. Программируемые контроллеры: архитектура и применение / Ж. Мишел. – М. : Машиностроение, 1986. – 364 с.

2 Парр, Э. Программируемые контроллеры: руководство для инженера / Э. Парр. – М. ; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 516 с.

3 Петров, И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / И.В. Петров, В.П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.

УДК 621.3.062

ОПЕРАТИВНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В ГЛАВНОЙ СХЕМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Алехнович А.С.

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

В инструкции по переключениям в электроустановках основной сети ОЭС Республики Беларусь применяются следующие термины:

1. Оперативные переключения – действия коммутационными аппаратами, имеющие целью изменение схемы электроустановки или состояния оборудования.

2. Оперативное управление – управление состоянием оборудования, при котором переключения в электроустановках могут выполняться только по распоряжению оперативного персонала определенного уровня и в заданной им последовательности. Оборудование находится в управлении диспетчера определенного уровня или руководителей, специалистов, если для перевода его из одного состояния в другое, вывод в ремонт или ввод в работу требуется координация действий подчиненного оперативного (дежурного) или оперативно-производственного персонала.

3. Оперативное ведение – управление состоянием оборудования, при котором переключения в электроустановках выполняются по разрешению оперативного персонала определенного уровня.

4. Распоряжение о переключениях – устное задание на выполнение переключений в электроустановках, которое содержит цель операций и последовательность их выполнения, и подлежит фиксации в оперативно-диспетчерской документации всеми участвующими в оперативных переключениях лицами.

5. Разрешение на переключения – согласие персонала, в ведении которого находится оборудование, на выполнение переключений персоналом, который осуществляет оперативное управление этим оборудованием.

6. Бланк переключений – составленное на специальном бланке распоряжение на производстве оперативных переключений на достижение одной конкретной цели. Основной оперативный документ, которым пользуется оперативный персонал непосредственно на месте выполнения переключений, и где поочередно указаны все операции с силовым оборудованием, в цепях РЗА, устройствах ПА и основные проверочные действия.

7. Типовой бланк переключений – бланк, составленный заранее на сложные переключения на конкретном оборудовании и для конкретной схемы соединений, которые часто повторяются и содержат много операций и проверочных действий.

8. Программа переключений – оперативный документ с планом упорядоченной последовательности работ, направленных на решение конкретной задачи по переключениям в электроустановках разных уровней управления и разных энергообъектов или во время испытаний и ввода нового оборудования.

9. Лицо, контролирующее переключения – одно из лиц, непосредственно выполняющих переключения, которое осуществляет пооперационный контроль и следит за ходом переключений в целом согласно бланку переключений.

10. Сложные переключения – переключения, которые требуют определенной последовательности и координации действий оперативного персонала при операциях с коммутационными аппаратами, заземляющими разъединителями и устройствами релейной защиты, противоаварийной и режимной автоматики.

11. Простые переключения – переключения, включающие не более 4-х операций с коммутационными аппаратами в главной схеме электрических соединений или цепях релейной защиты, противоаварийной и режимной автоматики и не влияют на надежность работы оборудования и несвязанные с подготовкой рабочего места на электрооборудовании данного энергообъекта.

12. Системообразующая электрическая сеть – электрическая сеть высших классов напряжения, обеспечивающая надежность энергосистем как единого объекта.

13. Распределительная сеть – электрическая сеть, распределяющая электрическую энергию между пунктами потребления.

14. Фазировка – определение соответствия фаз на одноименных зажимах коммутационного аппарата, включением которого может быть осуществлена параллельная работа сетей.

15. Оперативная схема – электрическая схема с нанесенными оперативными названиями оборудования и коммутационных аппаратов с фактическим отображением их состояния.

16. Нормальная схема – электрическая схема с обозначением типов оборудования и утвержденным нормальным состоянием коммутационных аппаратов.

17. Мнемоническая схема – совокупность элементов и средств отображения информации, которые наглядно представляют электрическую схему электростанции (подстанции, электрической сети) и состояние коммутационных аппаратов.

18. Ремонтная схема – документ описательного характера, который определяет условия отклонения от нормальной схемы электроустановки или сети, мероприятия по режиму, РЗА и ПА, которые необходимо при этом выполнить. Также он содержит указания для оперативного персонала при возникновении характерных аварий и способов их ликвидации.

19. Оборудование считается находящимся в работе, если его коммутационные аппараты включены и образована замкнутая электрическая цепь между источником питания и приемником электроэнергии.

20. Оборудование считается выведенным в ремонт, если оно отключено коммутационными аппаратами или разошиновано и подготовлено к выполнению ремонтных работ в соответствии с требованиями ПТЭ.

21. Оборудование считается выведенным в резерв, если оно отключено коммутационными аппаратами, и возможно немедленное включение его в работу с помощью этих аппаратов.

22. Оборудование считается находящимся в автоматическом резерве, если оно отключено только выключателями или отделителями с автоматическим приводом на включение, и его можно ввести в работу автоматическими устройствами.

23. Оборудование считается находящимся в резерве под напряжением, если оно подключено коммутационными аппаратами к источнику напряжения, но не находится в работе (силовой трансформатор на холостом ходу, линия электропередачи, включенная со стороны питающей ее подстанции, система шин под напряжением с отключенным под АВР ШСМВ и т. д.).

Пример бланка оперативных переключений:

Задание: вывести из работы ДЗ ВЛ443 «Слуцк» I комплекса.

1. П.37 «ДЗ ВЛ443 I комплекс»:

1.1. Перевести в положение «Вывод» переключатель SA1 – «Ввод ДЗ I комплекса».

1.2. Вывести накладки:

а) SX5 – «Пуск УРОВ В1-ВЛ443».

б) SX6 – «Пуск УРОВ В12-ВЛ443»;

в) SX7 – «Останов АВЗК-80 ВЛ443»;

г) SX8 – «Пуск передатчика АКПА ВЛ443».

1.3. Вынуть крышки блоков:

а) SG1 – «Цепи отключения В1-ВЛ443»;

б) SG2 – «Цепи отключения В12-ВЛ443»;

в) SG5 – «Цепи тока А, В»;

г) SG6 – «Цепи тока С, О».

Литература

1 Инструкция по переключениям в основной сети ОЭС Республики Беларусь. – Минск : РУП

БелТЭИ, 2008. – 66 с.

2 Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.

УДК 621.3.014.622.235.3

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

Гриб В.С.

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

Металлические оболочки кабельных линий, проложенных в земле, подвергаются опасности разрушения в результате электролитической коррозии, вызванной блуждающими токами, а также почвенной – электрохимической коррозии. Источниками блуждающих токов являются трамвай, метрополитен и электрифицированный на постоянном токе пригородный рельсовый транспорт (так как в качестве обратного провода используются рельсовые пути).

Встречая на своем пути проводник, каким являются металлические оболочки кабельных линий, трубопроводы и другие подземные сооружения, блуждающие токи могут пройти по этому проводнику, а затем выйти из него снова в землю, чтобы вернуться к отрицательному полюсу тяговой подстанции.

Участок, где блуждающие токи ответвляются от рельсовых путей и через землю переходят на металлическую оболочку кабельных линий, называют катодной зоной. В этом случае оболочкам кабельных линий опасность разрушения не угрожает. В месте, где блуждающие токи переходят с металлических оболочек кабельных линий в землю, потенциал оболочек кабеля в этом случае будет выше потенциала земли (анодная зона). Металлические оболочки кабельных линий будут разрушаться. Количество растворяющегося в анодной зоне металла по закону Фарадея пропорционально величине блуждающего тока, времени, в течение которого он протекает, и зависит от рода металла, из которого выполнены оболочки кабельных линий. Наиболее интенсивному разрушению, таким образом, подвергается свинцовая оболочка кабельных линий.

В объем и комплекс измерений на кабельных линиях для оценки опасности коррозии входят следующие измерения:

- разности потенциалов оболочек кабеля по отношению к земле;
- разности потенциалов между оболочками кабелей, рельсами трамвая или другими подземными сооружениями (выявляются наличие блуждающих токов и их направление для обнаружения анодных зон, где оболочки кабелей имеют положительный потенциал по отношению к земле);
- поверхностной плотности тока, сходящего с оболочек в землю;
- величины и направления тока, протекающего по оболочкам кабеля (указывающим на наличие в металлических оболочках кабеля процесса электролитической коррозии).

При применении электрических способов защиты кабелей от действия блуждающих токов будет уменьшаться и эффект от почвенной коррозии, потому что сообщаемый оболочкам кабелей отрицательный потенциал подавляет вредное действие веществ, образующихся на поверхности сплава при химической коррозии. Коррозию предотвращают также прокладкой кабелей в изолирующей канализации и применением противокоррозионных покрытий и пластмассовых оболочек.

Для защиты металлических оболочек кабельных линий и других подземных сооружений от электролитической коррозии блуждающими токами необходимо, максимальное снижение продольного омического сопротивления рельсового пути, достигаемое сваркой стыков рельс, и повышение переходного сопротивления для тока от рельс к земле путем изоляции рельс от земли.

Для снижения падения напряжения в рельсах применяют отсасывающие линии, представляющие собой одножильный изолированный кабель, соединяющий различные точки рельсового пути непосредственно с отрицательной шиной тяговой подстанции. При таком устройстве тяговые токовые нагрузки возвращаются на подстанцию не по рельсовой сети, а специальным изолированным одножильным кабелем большого сечения, чем достигается значительная разгрузка рельсовой сети и, естественно, снижение величины блуждающих токов.

Для защиты кабелей от блуждающих токов и снижения положительных потенциалов на оболочках кабелей применяют также следующие способы:

- электрического дренажа, заключающийся в отводе блуждающих токов из оболочек кабеля к источнику (рельсы или непосредственно отрицательные шины трамвайной подстанции);

- катодной поляризации, при которой защита осуществляется тем, что металлическим оболочкам кабельных линий сообщается отрицательный потенциал от постороннего источника тока;

- протекторной защиты, заключающийся в использовании металла (цинк, магний и др.), обладающего в данной коррозионной среде более отрицательным электрохимическим потенциалом, чем потенциал металлических оболочек кабеля, и способного при разложении генерировать электрический ток.

Литература

- 1 Пантелеев, Е.Г. Монтаж и ремонт кабельных линий / Е.Г. Пантелеев. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 296 с.
- 2 Фридкин, И.А. Эксплуатация кабельных линий 1–35 кВ / И.А. Фридкин. – М. : Энергия, 1972. – 367 с.