

СЕКЦИЯ 1 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

СИЛОВЫЕ КАБЕЛИ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ДО 30 КВ

Ерофеев Т.С., Шиманский М.С.
Научный руководитель – К.Т.Н., доцент МАЗУРКЕВИЧ В.Н.

ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫЕ КАБЕЛИ ДЛЯ АЭС

Бровкина Е.С., Дашевич Д.М.
Научный руководитель – К.Т.Н., доцент МАЗУРКЕВИЧ В.Н.

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Левонюк А.В.
Научный руководитель – К.Т.Н., доцент КРАСЬКО А.С.

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Дробыш А.С.
Научный руководитель – К.Т.Н., доцент КРАСЬКО А.С.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Велитченко П.Г.
Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

ИНФРАКРАСНАЯ ДИАГНОСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ

Моргунов А.Ю.
Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

АВТОМАТЫ ГАШЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОВРЕМЕННЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И КОМПЕНСАТОРОВ

Лойко К.Г., Куницкий И.О.
Научный руководитель – К.Т.Н., доцент БУЛАТ В.А.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ ВЫБОРА ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ ТЭЦ

Рачковский Ю.С.
Научный руководитель – К.Т.Н., доцент БУЛАТ В.А.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ПРОЛЕТОВ ТИПОВОГО ОРУ 110 КВ

Малявко А.Н., Мостыко Р.В.
Научный руководитель – ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Анцух А.М., Судникевич С.В.
Научный руководитель – К.Т.Н., доцент СИЛЮК С.М.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ГИБКИМИ ПРОВОДАМИ

Тышко О.Н., Шибковский Д.А.

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

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Летяго А.Д.

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

КОНСТРУКЦИИ ОРУ С ЖЁСТКОЙ ОШИНОВКОЙ

Петлёв М. В.

Научный руководитель – Пономаренко Е. Г.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 6 - 35 КВ

Филанович Д.Ю., Хаецкая А.В.

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

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Крупко А.В., Матрос Е.П.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А.

КОНСТРУКЦИИ МОЛНИЕОТВОДОВ И ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ

Крот П.П.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А.

ГЛУБИННЫЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛИ

Калюта М.А., Кисляк Е.В.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А.

ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ГРОЗОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Задруцкий Д.В., Пашкович Н.П.

Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ЗОН ДЕЙСТВИЯ МОЛНИЕОТВОДОВ

Житковский И.М., Борисенок С.Г.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ

Гуриш В.В., Коваль А.А.

Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

ВОЗДУШНЫЕ ЛЭП УВН

Голоднюк Д.Е., Романовский В.К.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

КОНСТРУКЦИИ МОЛНИЕОТВОДОВ И ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ

Будников М.В.

Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЕ НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Маковский К.О., Сузин Е.А.
Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

КОНСТРУКЦИИ КОМПАКТНЫХ ЛИНИЙ

Скорина А.Е., Шельпяков К.С.
Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ

Моисеенко П.А., Коротченя В.И.
Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

Пашкович Н.П., Потащиц Я.В.
Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ШИННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Потащиц Я.В.
Научные руководители – ДЕРЮГИНА Е.А., КЛИМКОВИЧ П.И.

ВОПРОСЫ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Сапожникова А.Г., Потащиц Я.В.
Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

ИСТОЧНИКИ ПОСТОЯННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

Рожков А.Ю., Сазанович А.А.
Научный руководитель – ГУРЬЯНЧИК О.А.

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Гирс И.А., Атрощенко А.П.
Научный руководитель – ГЛИНСКИЙ Е.В.

РАСЧЕТ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6,3 КВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Борисик Д.А.
Научный руководитель – Глинский Е.В.

ФУНКЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕРМИНАЛАХ ЗАЩИТЫ

Савицкая В.А.
Научный руководитель – БУЛОЙЧИК Е.В.

СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ТОКА НЕБАЛАНСА В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТАХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Романюк Д. А., Ткаченко А.О.
Научный руководитель - ассистент Булойчик Е.В.

ВЫБОР ВЕЛИЧИНЫ РЕЗИСТОРА ДЛЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ СЕТЕЙ 6–35 КВ В ОТНОШЕНИИ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Резник М.С.

Научный руководитель – БОХАН Н.В.

**МОДИФИКАЦИЯ ПРОГРАММЫ *TKZDO1KV* ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВ
КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ**

Мельянчук А.А., Горячко М.Г.

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

**МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВ
КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ**

Мельянчук А.А., Кулаковская А.В., Горячко М.Г.

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

Савченко В.А, Корейво О.В.

Научный руководитель – ГУРЬЯНЧИК О.А.

**МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ СЕРИИ
МР**

Румянцев Ю.В.

Научный руководитель – ТИШЕЧКИН А. А.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Цылин А.С.

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

**НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. ВОДА В КАЧЕСТВЕ
ГОРЮЧЕГО ТОПЛИВА**

Чернобылец О.А., Леонов Д.Ю.

Научный руководитель – РЖЕВСКАЯ С.П.

БЕЗОПАСНЫЕ ЭЛЕКТРОЗАЩИТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Чернобылец О.А., Леонов Д.Ю.

Научный руководитель – РЖЕВСКАЯ С.П.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ПОСТОЯННОГО
ОПЕРАТИВНОГО ТОКА**

Сиротина Т.Ф., Шпока Р.С., Спасков А.А.

Научный руководитель – КИСЛЯКОВ А.Ю.

**АВТОМАТИЧЕСКИЕ КОММУТАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6 – 35 КВ**

Шпока Р.С., Пашкович Н.П. Алешкевич Р.А.

Научный руководитель – КИСЛЯКОВ А.Ю.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Мисюк Д.Л.

Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ РЕЛЕ ЗАЩИТЫ СЕРИИ *SPAC 801*

Сивец К.С., Третьяков П.П.

Научный руководитель – ТИШЕЧКИН А.А.

УДК 621.3

Силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена до 30 кВ

Ерофеев Т.С., Шиманский М.С.

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

В настоящее время в промышленно развитых странах Европы и Америки практически 100 % рынка силовых кабелей занимают кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. Термин «сшивка» подразумевает обработку полиэтилена на молекулярном уровне.

Для кабелей на напряжение до 1 кВ во всем мире получила широкое распространение сшивка при помощи силанов, а для кабелей на среднее и высокое напряжение (с большой толщиной изоляции) – пероксидная сшивка.

Преимущества кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена:

- большая пропускная способность за счет увеличения допустимой температуры жилы (допустимые токи нагрузки в зависимости от условий прокладки на 15–30 % больше, чем у кабелей с бумажной изоляцией);
- высокий ток термической устойчивости при коротком замыкании;
- высокие электрические свойства изоляции, низкие диэлектрические потери;
- меньше масса и габариты кабеля в целом, что облегчает прокладку кабеля как в кабельных сооружениях, так и в земле на сложных трассах;
- высокая влагостойкость, нет необходимости в применении металлической оболочки;
- меньше радиус изгиба;
- возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- возможность прокладки кабелей при температуре –20 °С без предварительного подогрева, благодаря использованию полимерных материалов для изоляции и оболочки [1].

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена могут прокладываться в земле (в траншеях), кабельных сооружениях (в туннелях, галереях, на эстакадах), а также в блоках (трубах) и в производственных помещениях (в кабельных каналах, по стенам). Способ прокладки и конструкция кабеля определяются на стадии проектирования линии [2].

Примеры маркировки кабелей: АПвП2г – алюминиевая жила, изоляция из сшитого полиэтилена, оболочка из полиэтилена, двойная герметизация; – кабель силовой с медными жилами, с изоляцией из сшитого полиэтилена в полиэтиленовой усиленной оболочке. Буква «г» в маркировке обозначает водоблокирующие ленты герметизации металлического экрана, «2г» – алюмополимерная лента поверх герметизированного экрана, «у» – усиленная оболочка из полиэтилена, «нг-LS» – оболочка из поливинилхлоридного пластика пониженной пожароопасности.

Конструкция силового кабеля с СПЭ-изоляцией:

- токопроводящая жила;
- экран по токопроводящей жиле – экструдированный электропроводящий сшитый полиэтилен;
- изоляция жил – сшитый полиэтилен;
- экран по изоляции – экструдированный электропроводящий сшитый полиэтилен;
- разделительный слой (из лент электропроводящей крепированной бумаги для марок АПвП, ПвП, АПвПУ, ПвПУ, АПвВ, ПвВ, АПвВнг-LS, ПвВнг-LS; из электропроводящей водоблокирующей ленты для марок АПвПг, ПвПг, АПвПуг, АПвП2г, ПвВ2г, АПвПУ2г, ПвПУ2г);
- экран – медные проволоки, скрепленные медной лентой;

– разделительный слой – две ленты крепированной бумаги или прорезиненная ткань;

– для кабелей с индексом "Г" – водоблокирующая лента, алюмополиэтиленовая лента – для кабелей с индексом "2Г";

– оболочка (полиэтилен для кабелей марок ПвП, АПвП, ПвПу, АПвПу; ПВХ пластикат для марок ПвВ, АПвВ; ПВХ пластикат пониженной пожароопасности для марок: ПвВнг-LS, АПвВнг-LS) [3].

Литература

1. <http://www.elec.ru>
2. <http://www.ecable.ru>
3. <http://www.saranskabel.ru>

УДК

Пожаробезопасные кабели для АЭС

Бровкина Е.С., Дашевич Д.М.

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

АЭС являются объектами повышенной опасности, поэтому к ним предъявляются высокие требования по взрыво-и пожаробезопасности. Кабели, применяемые на данных электростанциях, должны обладать рядом таких свойств, как:

- нераспространение горения по кабельным коммуникациям при прокладке кабелей в пучках с высокой концентрацией горючей массы;
- пониженное выделение дыма, коррозионно активных и опасных для здоровья продуктов горения.
- обеспечение функционирования кабелей при пожаре объекта заданное время (до 3 часов)

Для условного обозначения степени пожаробезопасности кабеля приняты следующие «индексы»:

- «нг». Индекс «нг» обозначает, что у кабеля есть свойство нераспространения горения. Кабель не распространяет горение при групповой прокладке («в пучках»);
- «нг-LS». Индекс «LS» – сокращение от английского «low smoke» – «пониженное дымовыделение». Кабели, не распространяющие горение при групповой прокладке («в пучках»), с низким дымо- и газовыделением при горении;
- «нг-HF». Индекс «HF» – от английского «halogen free» – «без галогенов». Кабели, не распространяющие горение, не содержащие галогенов в составе изоляции и оболочки;
- «нг-FRLS». Индекс «FR» – сокращение от английского «fire resistant» – «огнестойкий». Кабели, не распространяющие горение, огнестойкие, с низким дымо- и газовыделением при горении.

Конструкция кабеля силового типа нг-FRLS

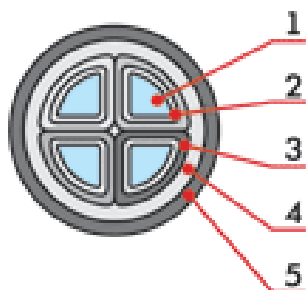


Рис. 1. Конструкция кабеля силового типа нг-FRLS: 1 – медная секторная многопроволочная уплотнённая токопроводящая жила; 2 – обмотка стеклослюденистыми лентами; 3 – экструдированная фазная изоляция из ПВХ пониженной пожароопасности; 4 – поясная изоляция из ПВХ пониженной пожароопасности; 5 – наружная оболочка из ПВХ пониженной пожароопасности

Кабель силовой типа нг-FRLS

Технические и эксплуатационные характеристики:

Рабочее напряжение до 1 кВ.

Температура окружающей среды при эксплуатации от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность воздуха (при температуре $+35^{\circ}\text{C}$) до 98 %.

Длительно допустимая рабочая температура жил для кабелей 70°C .

Допустимая температура нагрева жил при коротком замыкании для кабелей 250°C.

Продолжительность короткого замыкания не более 4 с.

Допустимая температура нагрева жил в режиме перегрузки.

Продолжительность работы кабеля в режиме перегрузки не должна превышать 8 часов в сутки и не более 1000 часов за срок службы 90 °С.

Предельная температура токопроводящих жил кабеля по условиям невозгорания кабеля при коротком замыкании не более 400 °С.

Гарантийный срок эксплуатации 5 лет.

Срок службы не менее 30 лет.

Минимальный радиус изгиба при прокладке:

– одножильных 10 наружных диаметров;

– многожильных 7,5 наружных диаметров.

Прокладка кабеля без предварительного подогрева при температуре не ниже – 15 С.

Характеристика пожарной безопасности:

Кабели не распространяют горение при испытании в пучках по МЭК 60332-3-22 категория А.

Кабели характеризуются низким количеством выделения хлористого водорода при горении изоляции и оболочки по МЭК 60754-1 (не более 15 %).

Кабели характеризуются низкой дымообразующей способностью при горении и тлении (снижении светопропускаемости в испытательной камере не более чем на 40 % по МЭК 61034-1 и МЭК 61034-2).

Кабели устойчивы к воздействию пламени не менее 90 мин. по МЭК 60331-21.

Совершенствование кабелей в направлении повышения их пожарной безопасности:

– разработка новых типов кабелей, в состав конструкции которых вводятся дополнительные элементы в виде алюминиевых или стальных оболочек или же металлических экранов, разделительных слоев, огнестойких барьеров, огнезащитных покрытий, внутренней экструдированной оболочки и др.;

– применение для изоляции, заполнителя и оболочки кабелей новых материалов пониженной горючести при одновременном снижении объема горючих материалов, из которых кабель изготавливается:

– разрабатываются новые термопластичные безгалогенные композиции на основе полиолефинов, применяются трудновоспламеняемые компаунды, используются также композиции ПВХ пластика пониженной пожароопасности;

– вместо ПВХ применяются новые HFFR-материалы, то есть материалы, не содержащие галогенов и обладающие высокой огнестойкостью;

– введение в полимерные материалы технологических добавок – стабилизаторов, наполнителей, а также антипиренов, препятствующих горению полимерных материалов.

УДК 621.316

Перенапряжения в электрических сетях

Левонюк А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Красько А.С.

Перенапряжения представляют собой любые превышения напряжения относительно амплитуды наибольшего рабочего напряжения. Перенапряжения подразделяются на грозовые (атмосферные) и внутренние и являются одной из наиболее частых причин выхода из строя элементов электрических сетей.

До середины 80-х годов основным средством защиты от перенапряжений в электрических сетях считались вентильные разрядники с искровыми промежутками и карбидокремневыми рабочими сопротивлениями, разработанные в период 50–60-х годов. Конструкция и принцип работы вентильных разрядников обуславливают их принципиальные недостатки.

Принципиальный переворот в области борьбы с перенапряжениями в сетях произошел в результате разработки высоконелинейных варисторов на основе окиси цинка. Высоконелинейный металлооксидный варистор представляет собой поликристаллическую структуру, состоящую из легированных кристаллов окиси цинка и полупроводящих барьеров между ними из окислов других металлов.

Защитные аппараты в которых используются металлооксидные варисторы, в СССР получили название нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН), а за границей – разрядников без искровых промежутков. ОПН в настоящее время широко применяются в мировой практике для борьбы с грозовыми и внутренними перенапряжениями в электрических сетях всех классов напряжений и на ближайшие годы альтернативы не имеют (рисунок 1).

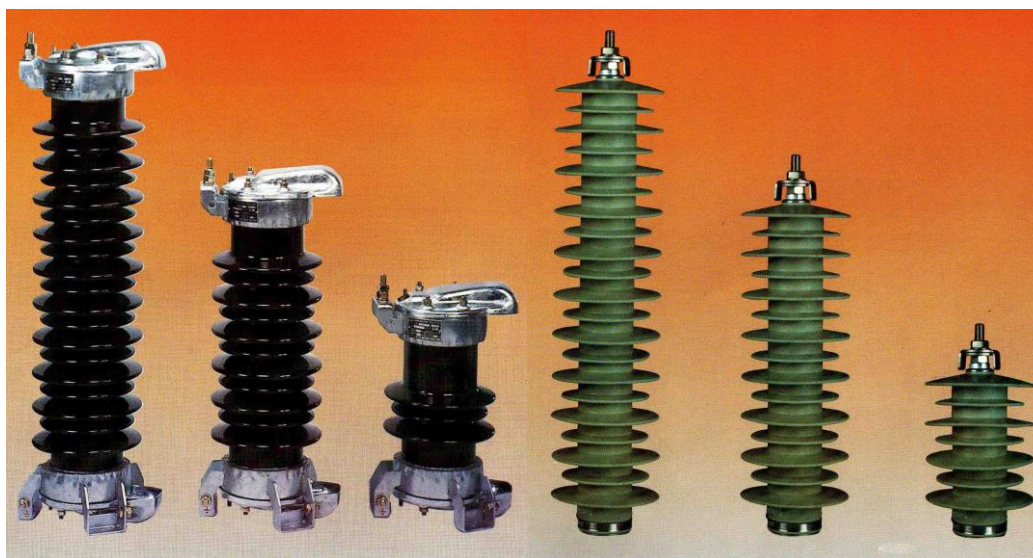


Рис. 1. ОПН типа GXD 10/45 и ОПН типа GXE 4/45

По сравнению с вентильными разрядниками ОПН обладают следующими неоспоримыми преимуществами:

- глубокий уровень ограничений всех видов импульсных перенапряжений;
- отсутствие сопровождающего тока после затухания волны перенапряжения;
- способность к перегрузке и рассеиванию больших энергий;
- непрерывное подключение к защищаемой сети;

- простота конструкции и надежность в эксплуатации;
- малые габариты и вес;
- разрушение ограничителя происходит без взрывного эффекта;
- отсутствие разрушительных эффектов на окружающую среду.

Правильный выбор типа ограничителя для каждого конкретного случая применения имеет решающее значение в обеспечении эффективной защиты электрооборудования от перенапряжений при оптимальном использовании характеристик ограничителя. Основными целями выбора являются:

- гарантированное обеспечение координационного интервала запаса для изоляции защищаемых объектов;
- обеспечение надежной и безопасной эксплуатации ограничителей в электроэнергетической сети потребителя.

ОПН/TEL – это новое поколение ограничителей перенапряжений предприятия «Таврида Электрик», которые полностью соответствуют требованиям стандартов качества МЭК, ГОСТ и ISO 9000 (рисунок 2).



Рис. 2. ОПН/TEL

Разработка основывалась на длительных исследованиях в области защиты от перенапряжений и опыте эксплуатации ОПН в отечественной и зарубежной практике.

Ограничители серии ОПН/TEL представляют собой разрядники без искровых промежутков, в которых активная часть состоит из металлооксидных нелинейных варисторов, изготавливаемых по керамической технологии из окиси цинка с малыми добавками окислов других металлов.

Высоконелинейная вольтамперная характеристика варисторов позволяет длительно находится под действием рабочего напряжения, обеспечивая при этом глубокий уровень защиты от перенапряжений.

При изготовлении ограничителей перенапряжений используются нелинейные металлооксидные варисторы с нестареющими характеристиками лучших мировых производителей. Электрические параметры каждого варистора хранятся в компьютерной электронной базе данных для автоматического комплектования колонок варисторов на заданные параметры ограничителя.

УДК 321.316

Диагностика состояния изоляции

Дробыш А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КРАСЬКО А.С.

Длительная и надежная работа электротехнических устройств и оборудования предусматривает соблюдение нормальных условий и режимов работы, а также квалифицированного ухода. Однако и при нормальных условиях эксплуатации в результате воздействия высокого напряжения, механических и тепловых нагрузок, окружающей среды, внутренних химических реакций качество изоляции постепенно снижается. В изоляции возникают места с пониженными электрическими характеристиками – дефекты.

Дефекты в изоляции можно разделить на две группы: сосредоточенные (местные) и распределенные.

– Сосредоточенные дефекты охватывают незначительную долю изоляции – это трещины, местное увлажнение, загрязнение, местное обугливание, ветвистые проводящие каналы (дендриты) в твердой изоляции, пузырьки и полости в маслопитанной изоляции.

– Распределенные дефекты охватывают значительный объем изоляции (5% и более); общее увлажнение, загрязнение изоляции посторонними примесями, деструкция изоляции с элементами химического перерождения и выделением продуктов распада

Таким образом, основной задачей эксплуатационного профилактического контроля и диагностики изоляции является определение состояния и обнаружение скрыто развивающихся дефектов, которые могут привести, в конечном итоге, к аварийному отключению.

По степени воздействия на изоляцию различают контрольные испытания двух видов:

- неразрушающие испытания
- и контроль при интенсивных воздействиях или разрушающие испытания.

Основными методами неразрушающего контроля являются:

1. Контроль по электрическим характеристикам изоляции – сопротивлению, емкости, тангенсу угла диэлектрических потерь, соотношениям и функциональным зависимостям основных электрических параметров, характеристикам ЧР.

2. Контроль по физико-химическим показателям анализа масла в силовых трансформаторах и других маслонаполненных аппаратах.

3. По количеству и составу примесных компонентов, выделяющихся при разложении изоляции: газы (CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , CO_2 , CO и др.), характерные соединения (фурфурол, твердые частицы).

4. Акустические методы; методы контроля электромагнитных излучений (с помощью пеленгаторов, локаторов, дефектоскопов).

5. Температурный контроль (с помощью термодатчиков, тепловизоров).

6. Распределение напряжения по элементам изоляции.

Разрушающие испытания

Испытания изоляции по отношению к номинальному напряжению проводятся, как правило, перед включением исправного по всем показателям неразрушающего контроля оборудования в нормальную эксплуатацию, т. е. является гарантирующими по отношению к возможным перенапряжениям.

Хроматографический анализ газов (ХАГ)

Газовая хроматография – основа оперативной диагностики маслonaполненного оборудования.

Для анализа газов, растворенных в изоляционном масле, предполагается, как правило, выполнение двух основных процедур:

- извлечение газов
- собственно хроматографический анализ выделенных газов.

Отбор пробы масла осуществляется тремя способами:

- в шприцы
- в металлические или стеклянные баллончики (пипетки)
- или в бутылки.

Для всех пробоотборных емкостей устанавливается ограничение:

- потери водорода за неделю не должны превышать 2,5 %.

Извлечение растворенных газов из пробы масла осуществляется двумя способами:

- с помощью вакуума;
- путем десорбционной экстракции.

Вакуумный метод

Вакуумный метод предусматривает использование сложной аппаратуры с большим объемом ртуты. Взвешенный объем масла вводится в отвакуумированную колбу с магнитной мешалкой. Выделившиеся газы с помощью ртутного затвора собирают в мерной бюретке.

Метод десорбционной экстракции

Второй метод, метод десорбционной экстракции, предполагает прямое извлечение газов потоком газа-носителя из небольшого объема масла (от 0.25 до 5 мл) за счет барботажа.

Хроматографический анализ

Анализ газов выполняется в газо-адсорбционном варианте хроматографии. Метод должен определять 9 легких газов: *водород, кислород, азот, метан, этан, этилен, ацетилен*. Окись и двуокись углерода.

Количественный анализ

Расчет хроматограмм выполняется на основании калибровки хроматографа по искусственным растворам газов в масле. Результаты выражают в микролитрах газа при 20 °С и 760 мм рт.ст. (1013,2 гПа) в литре масла при 20 °С.

Приготовление растворов для калибровки

Стандарт Международной Электротехнической Комиссии описывает два метода приготовления газовых смесей в масле для калибровки аналитического хроматографа

Метрологические требования

Требования к чувствительности метода определены для приемочных заводских испытаний оборудования и для оборудования в эксплуатации:

Газы	Приемо-сдаточные испытания		Оборудование в экс- плуатации	
	Минимально определяемая концентрация			
	мкл/л	мкмоль/л	мкл/л	мкмоль/л
Водород	2	0,1	5	0,2
Углеводороды	0,1	0,004	1	0,042
Оксись углерода	5,0	0,2	25	1,0
Двуокись углерода	10	0,4	25	1,0
Атмосферные газы	50	2,1	50	2,1

Литература

1. Степанчук К.Ф. Контроль и диагностика изоляции машин и аппаратов. Учебно-методическое пособие. – Минск: БГПА, 1995. – с.

УДК 621.396

Электромагнитная совместимость

Велитченко П.Г.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Под электромагнитной совместимостью любого электрического устройства подразумевается его способность нормально функционировать совместно с другими электротехническими системами, например с установками высокого напряжения в условиях возможного влияния случайных электромагнитных помех, не создавая при этом недопустимых помех другими средствами.

Уровень совместимости – установленное значение помехи, при которой с наибольшей вероятностью гарантируется нормальное взаимодействие всех элементов системы. Он служит, с одной стороны, в качестве основы при формулировке требований по помехоустойчивости и, с другой стороны, исходным пунктом для установления допустимого уровня излучения помех, вводимых в эксплуатацию устройств. Установление уровня совместимости осуществляется в соответствии с существующим или ожидаемым видом и значением помех и с возможным изменением электромагнитной обстановки объектом на стадии его проектирования с учётом технико-экономических аспектов.

Помехоустойчивость – свойство чувствительного элемента нормально работать при воздействии помехи. Количественно помехоустойчивость рассматриваемого объекта задаётся в виде допустимого воздействия в форме амплитуды импульса напряжения, напряжённости поля, граничной энергии и т. д. Если при воздействии, превышающем предел помехоустойчивости, не происходит разрушение объекта, то наблюдается обратимое нарушение функционирования. После исчезновения помехи рассматриваемое устройство может работать нормально, ему не требуется ремонт или замена деталей или группы элементов.

Электромагнитная совместимость изделия наиболее эффективно достигается с учетом эксплуатационных и экономических условий путем планомерной и непрерывной работы на стадии проектирования системы.

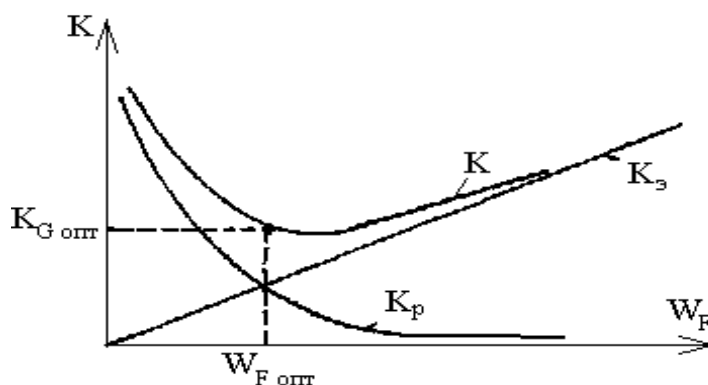


Рис. 1. Зависимость эксплуатационных $K_э$ и капитальных затрат $K_р$, связанных с ЭМС

На рисунке по оси абсцисс отложена W_F – вероятность нарушения функционирования системы вследствие недостаточной электромагнитной совместимости.

Однако практически трудно определить зависимость $K_3(W_F)$ и $K_P(W_F)$. Практически затраты, обусловленные обеспечением электромагнитной совместимости, составляют от 2 до 10 % стоимости разработки, и эти цифры могут быть приняты в качестве первого приближения оптимальной стоимости затрат.

Характерными источниками электромагнитных воздействий на электрических станциях и подстанциях являются:

- переходные процессы в цепях высокого напряжения при коммутациях силовыми выключателями и разъединителями;
- переходные процессы в цепях высокого напряжения при коротких замыканиях, срабатывание разрядников или ограничителей перенапряжений;
- электромагнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием станций и подстанций;
- переходные процессы в заземляющих устройствах подстанций, обусловленные токами КЗ промышленной частоты и токами молний;
- переходные процессы при коммутациях в индуктивных цепях низкого напряжения;
- переходные процессы в цепях различных классов напряжения при ударах молний непосредственно в объект или вблизи него;
- разряды статического электричества.

По сведениям метеорологов ежесекундно на Земле происходит приблизительно 100 разрядов молний. В Европе в среднем число грозовых дней в году составляет от 15 до 35, а число ударов молний, приходящихся на 1 км² площади, за такой же период – от 1 до 5.

Энергия канала разряда, составляющая примерно 10^5 Дж/м, оказывает акустическое, термическое, световое и электромагнитное воздействие на окружающую среду.

Несмотря на то что прямой ущерб от молний снижается, косвенный ущерб от воздействия молний на электронные средства в индустрии и сфере обслуживания резко возрастает.

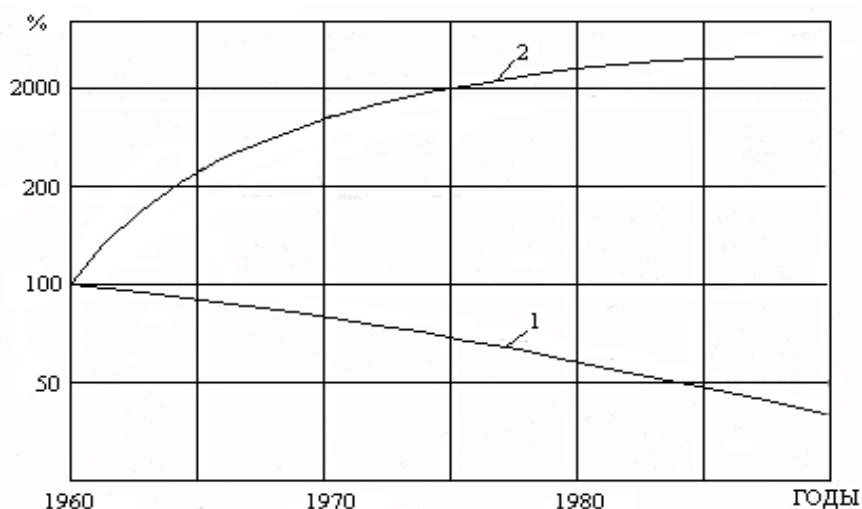


Рис. 2. Ущербы, вызванные разрядами молний: 1 – прямой; 2 – косвенный

С точки зрения электромагнитной совместимости, интерес представляет то обстоятельство, что при ударе молнии в заземляющее устройство его потенциал относительно электрически удаленных точек земли может повыситься до миллиона вольт, и в контурах, образованных сигнальными кабелями и проводами, линиями

электропередач, могут в зависимости от размеров контуров и расстояний до места удара молнии, индуцироваться напряжения от нескольких десятков вольт до сотен киловольт. При достижении подстанции перенапряжения ограничиваются либо электрической прочностью изоляции, либо установленными разрядниками.

Таблица 1. Значения напряжений, возникающих за счет трения на различных телах

Причины возникновения	Напряжение, В
Человек, идущий по полу линолеума	200–9000
Извлечение микросхемы из пластикового пакета	до 20000
Извлечение микросхемы из пенопластовой тары	до 11000
Человек, идущий по нейлоновому ковру	10000–5000
Человек, работающий за верстаком	100–3000

Основными методами предотвращения вредного воздействия электростатических разрядов являются предотвращение и ограничение накопления зарядов, отвод или нейтрализация паразитных зарядов, сведение к минимуму полевых и разрядных эффектов.

Аварийные режимы работы оборудования на электростанциях и подстанциях оказывают существенное влияние на электромагнитную обстановку.

Анализ повреждений и неправильной работы устройств РЗА, входящих в состав электротехнических объектов, показал что, 10–15 % из них обусловлены неблагоприятной электромагнитной обстановкой на энергообъектах

УДК 621.384

Инфракрасная диагностика оборудования

Моргунов А.Ю.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Тепловизионная диагностика выявляет дефекты на самой ранней стадии их развития, что позволяет планировать объемы и сроки ремонта оборудования по его фактическому состоянию. Плановый вывод из эксплуатации дефектного оборудования (на основе современных средств диагностики) значительно повышает надежность и безопасность эксплуатации инженерных коммуникаций, существенно сокращает потери энергоресурсов. Особая ценность тепловидения в том, что диагностика осуществляется без вывода оборудования из работы.

Инфракрасная диагностика – это наиболее перспективное и эффективное направление развития в диагностике электрооборудования, которое обладает рядом достоинств и преимуществ по сравнению с традиционными методами испытаний, а именно:

- достоверность, объективность и точность получаемых сведений;
- безопасность персонала при проведении обследования оборудования;
- не требуется отключение оборудования;
- не требуется подготовки рабочего места;
- большой объем выполняемых работ за единицу времени;
- возможность определения дефектов на ранней стадии развития;
- малые трудозатраты на производство измерений.

Возможные решения по результатам обследования:

- заменить оборудование, его часть или элемент;
- выполнить ремонт оборудования или его элемента (после этого необходимо провести дополнительное тепловизионное обследование для оценки качества выполненного ремонта);
- оставить в эксплуатации, но уменьшить время между периодическими обследованиями (учащенный контроль);
- провести другие дополнительные испытания.

Применение приборов ИК-диагностики – тепловизоров, позволяет дистанционно, безопасно для персонала определять состояние маслonaполненного оборудования, контактов и контактных соединений, а также кабельных воронок и разделок всех фирм изготовителей, которые составляют наибольшую часть выявляемых дефектов при тепловизионном обследовании подстанций 0,4–110 кВ.

К настоящему времени накоплен значительный опыт. Это положило начало массовому применению метода во всех энергосистемах. А опыт применения тепловидения показал его значительную эффективность, особенно при контроле контактных соединений, применения инфракрасной техники на предприятиях электроэнергетики. К примеру, в РАО «ЕЭС России» разработаны методики тепловизионной диагностики практически для всех видов электрооборудования. Метод стал нормативным и включен в шестое издание сборника «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

Так, например, при первом обследовании до 5–7 % всех контактных соединений, что реально позволяет предотвратить аварийную ситуацию на оборудовании распределительного устройства отбраковывается.

Экономический результат упреждающих мероприятий даже трудно оценить, поскольку необходимо учитывать не только прямые затраты на ликвидацию

последствий возможной аварии, но и ущерб от возможного развития нештатной лавинообразной ситуации в электросети (пример ПС «Чагино» г. Москва, 2005 г.).

Литература

1. Инфракрасная термография в диагностике высоковольтного электрооборудования // Энергетик. – 2003. – № 10. – 50 с.
2. Опыт применения тепловизионной техники для контроля электроэнергетического оборудования // Энергетик. – 2002. – № 1. – 54 с.
3. Бажанов С.А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств. – 1997. – 164 с.

УДК 621.313.8

Автоматы гашения магнитного поля современных синхронных генераторов и компенсаторов

Лойко К.Г., Куницкий И.О.

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

Гашение магнитного поля является единственным способ, позволяющим ограничить размеры повреждений электрических машин при внутренних коротких замыканиях. Проблема наиболее быстрого гашения поля получила оптимальное и принципиально новое решение, которое было основано на свойствах катода короткой электрической дуги, в 50-е гг. прошлого столетия так как именно тогда вопрос о наиболее быстром гашении поля стал особенно острым в связи с ростом мощности синхронных машин и применением форсированного возбуждения. Оказалось, что по скорости гашения поля новый способ превосходил все известные способы, позволяя просто и надежно гасить поле электрических машин – от сравнительно небольших до самых крупных, выпускаемых или проектируемых в настоящее время. Поэтому было принято решение разработать основанную на новом принципе серию автоматов гашения поля для всех турбо- и гидрогенераторов, а также для крупных синхронных машин и машин постоянного тока. Гашением поля называют процесс, заключающийся в быстром сведении магнитного потока возбуждения электрических машин к величине, близкой к нулю. Простейшим способом гашения поля является отключение обмотки возбуждения. Однако при этом, вследствие большой индуктивности цепи, на зажимах обмотки возбуждения возникают значительные перенапряжения, способные вызвать пробой изоляции. Поэтому при гашении поля прибегают к замыканию обмотки возбуждения на разрядное сопротивление или на встречно-действующую электродвижущую силу. Аппараты выполняющие эту операцию, называются автоматами гашения поля.

Существует множество способов гашения поля:

- разряд обмотки возбуждения на постоянное активное сопротивление;
- противовключение возбудителя;
- разряд обмотки возбуждения на электрическую емкость;
- разряд обмотки возбуждения на динамическую емкость;
- разряд обмотки возбуждения на карборундовое сопротивление;
- разряд обмотки возбуждения на полупроводниковый выпрямитель;
- разряд обмотки возбуждения на дутогасительную решетку;
- гашение поля при ионном возбуждении.

Последние два способа, приведенные выше, являются наиболее распространенными. Они обеспечивают условия гашения поля близкие к оптимальным. Оптимальными являются такие условия гашения поля, при которых продолжительность процесса имеет наименьшую возможную величину. При этом напряжение на обмотке возбуждения не должно превосходить величины U_m , предельно допустимой по условиям электрической прочности изоляции.

Для наиболее быстрого гашения поля необходимо, чтобы падение напряжения на разрядном сопротивлении сохранило постоянное значение при изменяющемся по величине токе. Значит, сопротивление разрядной цепи должно изменяться обратно пропорционально току. При оптимальных условиях продолжительность процесса гашения поля в 4,6 раза меньше, чем при постоянном разрядном сопротивлении.

Автомат гашения поля АГП-1 явился первым промышленным образцом аппаратов гашения поля, принцип работы которых основан на свойствах катода

короткой электрической дуги. Результаты его эксплуатации подтвердили правильность основных идей гашения поля, которые были заложены в его конструкцию. При разработке новой серии автоматов конструкция была упрощена, их габариты сильно уменьшены, эксплуатационные характеристики улучшены, но принципиальная схема автоматов осталась в своей сущности той же.

Если автоматы АГП-1 являются поляризованными, то автоматы новой серии, начиная с АГП-12, не поляризованы. Это повышает надежность защиты турбо- и гидрогенераторов.

Автоматы АГП-1 требовали так называемой «формовки» на местах установки. «Формовка» заключается в том, что перед вводом в эксплуатацию требуется произвести автоматом несколько процессов гашения поля защищаемой машины при всевозрастающих по величине токах. В аппаратах новой серии, начиная с АГП-12, это неудобство было устранено, и их можно вводить в эксплуатацию без предварительной «формовки». Автоматы новой серии для крупных машин, в отличие от первых образцов, включаются в оба полюса цепи возбуждения. Это повышает надежность защиты и в некоторых случаях позволяет отказаться от гашения поля в цепи возбуждения возбудителя. Однако это не исключает возможности и однополюсного включения автоматов.

Автомат АГП-1 имели одну катушку расцепителя. При разработке автоматов новой серии была предусмотрена возможность иметь три независимых системы расцепителя, впервые такая система была применена на автомате АГП-12. Это позволяет осуществить независимую работу нескольких систем защиты, воздействующих на автоматы гашения поля.

При гашении поля турбогенераторов продолжительность процесса в основном определяется временем затухания вихревых токов, возбуждаемых в теле ротора. Ускорить затухание вихревых токов можно реверсированием на короткий промежуток времени тока в обмотке возбуждения. Это ускоряет процесс гашения поля в 8–10 раз. Автоматы новой серии, начиная с АГП-12, позволяют осуществить такой процесс.

В настоящее время широко используются автоматы гашения поля ЛПО «Электросила». При использовании этих автоматов гашение поля протекает в 4–6 раз быстрее, чем с помощью разрядного резистора. В системах возбуждения с тиристорами возможно гашение поля путем перевода их в инверторный режим, при котором энергия, накопленная в обмотке возбуждения, отдается возбудителю или выпрямительному трансформатору. При этом процесс гашения поля оказывается аналогичным процессу гашения с помощью дугогасительной решетки. Разница состоит лишь в том, что перевод тириستоров в инверторный режим происходит почти мгновенно, без разрыва цепи возбуждения. При наличии двух групп тиристоров в инверторный режим переводится форсировочная группа тиристоров (а рабочая отключается), так как более высокое напряжение тиристоров форсировочной группы позволяет быстрее погасить магнитное поле. Поскольку напряжение форсировочной группы выбирают равным предельному напряжению возбуждения, которое составляет не более $(2-4) U_{\text{ном}}$, что меньше наибольшего допустимого напряжения, то время гашения магнитного поля в этом случае несколько больше, чем при использовании дугогасительной решетки.

Литература

1. Брон О.Б. Автоматы гашения магнитного поля. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 138 с.
2. Шенфер К.И. О методах гашения магнитного поля больших синхронных машин // сб. Электричество. – 1931. – № 20. – 69 с.

3. Брон О.Б., Образцов В.А. Гашение поля синхронных машин // сб. Электричество. – 1957. – № 7. – 118 с.
4. Брон О.Б., Образцов В.А., Брон Е.М. Серия автоматов гашения поля // сб. Электросила. – 1959. – № 18. – 89 с.
5. Брон О.Б., Образцов В.А., Брон Е.М. Серия автоматов гашения поля // сб. Ленинградская промышленность. – 1958. – № 4. – 78 с.

УДК 621.313.8

Разработка алгоритма и программы выбора токоограничивающих реакторов ТЭЦ

Рачковский Ю.С.

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

Широкое распространение вычислительных машин, резко возросшая скорость операций, увеличение объёма памяти сделали актуальной проблему автоматизации проектирования электроэнергетических объектов. На базе разработки локальных программ появляется перспектива создания комплексной программы, включающей ряд взаимно связанных электрических расчётов и в частности разработка САПР электрической части электрических станций и подстанций.

Разработанная программа позволяет производить выбор токоограничивающих реакторов(линейных и секционных) ТЭС. Программа может быть использована в учебном процессе при проектировании электрической части теплоэлектроцентралей.

Реакторы служат для ограничения токов КЗ в мощных электроустановках, что позволяет применять более легкие и дешёвые выключатели и уменьшать площадь сечений кабелей, а следовательно, удешевлять РУ и распределительные сети.

Для ограничения тока КЗ в РУ 6–10 кВ ТЭЦ применяют секционные и линейные реакторы. В нормальном режиме работы станции через секционные реакторы проходят небольшие токи и потери напряжения в них малы. При нарушении нормального режима, например при отключении генератора и трансформатора, через реакторы проходят значительные токи и потери напряжения достигают в них (4–6) % от $U_{ном}$. Секционные реакторы ограничивают ток КЗ в зоне сборных шин, присоединений генераторов, трансформаторов, и сопротивление реакторов должно быть достаточным для того, чтобы ограничивать ток КЗ до значений, соответствующих параметрам намечаемых к установке выключателей. Номинальный ток секционного реактора должен соответствовать мощности, передаваемой от секции к секции при нарушении нормального режима.

Обычно принимают $I_{р.ном.} \geq 0,6 \cdot I_{ген.ном.}$; $X_r \approx 0,35 \text{ Ом}$.

Линейные реакторы включаются последовательно в цепь отходящей линии, они ограничивают ток КЗ в распределительной сети и поддерживают остаточное напряжение $U_{ост}$ на шинах установки при КЗ на одной из линий.

Для ограничения тока КЗ целесообразно иметь возможно большее индуктивное сопротивление реактора. Однако значение X_r должно быть ограничено допустимым значением потери напряжения в реакторе при нормальном режиме работы установки (1,5–2 % от номинального).

Основные параметры реакторов следующие: номинальное напряжение, номинальный ток, индуктивное сопротивление, а также ток динамической стойкости $I_{мдин}$ (амплитудное значение), ток термической стойкости I_t и допустимое время действия тока термической стойкости t_t .

При большом числе линий применяют групповые реакторы, т. е. один реактор на несколько линий. Затраты, связанные с установкой реактора, в этом случае уменьшаются, однако уменьшается и токоограничивающее действие реактора с большим номинальным током при заданном значении потери напряжения.

Сдвоенные реакторы лишены недостатков групповых реакторов. К среднему выводу подсоединены источники питания, а потребители подключаются к крайним выводам. Сдвоенные реакторы характеризуются номинальным напряжением,

номинальным током ветви и сопротивлением одной ветви $X_p = X_v = \omega L$ при отсутствии тока в другой.

Реакторы выбирают по номинальному напряжению, току и индуктивному сопротивлению.

Номинальное напряжение выбирают в соответствии с номинальным напряжением установки. При этом предполагается, что реакторы должны длительно выдерживать максимальные рабочие напряжения, которые могут иметь место в процессе эксплуатации. Допускается использование реакторов в электроустановках с номинальным напряжением, меньшим номинального напряжения реакторов.

Номинальный ток реактора(ветви сдвоенного реактора) не должен быть меньше максимального длительного тока нагрузки цепи, в которую он включен: $I_{ном} \geq I_{max}$.

Индуктивное сопротивление реактора определяют, исходя из условий ограничения тока КЗ до заданного уровня. В большинстве случаев уровень ограничения тока КЗ определяется по коммутационной способности выключателей, намечаемых к установке в данной точке сети.

Как правило, первоначально известно начальное значение периодического тока КЗ $I_{п.0}$, которое с помощью реактора необходимо уменьшить до требуемого уровня.

Порядок определения сопротивления индивидуального реактора: требуется ограничить ток КЗ I_{max} , чтобы можно было в данной цепи установить выключатель с номинальным током отключения $I_{ном.отк}$ (действующее значение периодической составляющей тока отключения).

По значению $I_{ном.отк}$ определяется начальное значение периодической составляющей тока КЗ, при котором обеспечивается коммутационная способность выключателя. Для упрощения обычно принимают:

$$I_{п.0, треб} = I_{ном.отк}$$

Результирующее сопротивление, Ом, цепи КЗ до установки реактора:

$$X_{рез} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{п.0}}$$

Требуемое сопротивление цепи КЗ для обеспечения $I_{п.0, треб}$:

$$X_{рез}^{треб} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{п.0, треб}}$$

Разность полученных значений сопротивлений даст требуемое сопротивление реактора:

$$X_p^{треб} = X_{рез}^{треб} - X_{рез}$$

Далее по каталожным и справочным материалам выбирают тип реактора с ближайшим большим индуктивным сопротивлением.

Выбранный реактор следует проверить на электродинамическую и термическую стойкость при протекании через него тока КЗ.

Электродинамическая стойкость реактора гарантируется при соблюдении следующего условия:

$$i_{дин} \geq i_y^{(3)};$$

где $i_y^{(3)}$ - ударный ток при трёхфазном КЗ за реактором;

$i_{дин}$ - ток электродинамической стойкости реактора, т. е. максимальный ток(амплитудное значение), при котором не наблюдается остаточной деформации обмоток(в каталогах - i_{max}).

Термическая стойкость реактора характеризуется заводом-изготовителем величиной $t_{тер}$ - временем термической стойкости и среднеквадратичным током термической стойкости.

$$I_{тер} = i_{дин} / 2.54;$$

Поэтому условие термической стойкости реактора имеет вид:

$$B_{\kappa}^p = I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_{\kappa};$$

где B_{κ} – расчетный импульс квадратичного тока при КЗ за реактором.

$$B_{\kappa} = I_{n.0}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a);$$

При соблюдении указанного условия нагрев обмотки реактора при КЗ не будет превышать значения.

Далее необходимо определить потерю напряжения в реакторе и уровень остаточного напряжения на шинах при КЗ непосредственно за реактором. Для этой цели пользуются выражениями

$$U_{\text{ост}\%} = X_p \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{n.0}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%;$$

В соответствии с существующей методикой выбора токоограничивающих реакторов разработан алгоритм и программа на языке ФОРТРАН.

Исходной информацией для выбора токоограничивающих реакторов является напряжение установки, максимальный ток утяжелённого режима, начальное значение периодической составляющей тока КЗ. Требуется также задать род установки реактора (внутренний, внешний) и тип реактора (одинарный, сдвоенный). Кроме этого имеется банк каталожных данных токоограничивающих реакторов помещённый в отдельный файл.

При работе программы выбора определяется блок параметров реакторов в банке данных, затем производится его выбор. После выбора реактора выводятся на печать его тип и соответствующие ему параметры.

Литература

1. Гук Ю.Б. и др. Проектирование электрической части станций и подстанций: Учеб пособие для вузов / Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петрович – Л.: Энергоатомиздат. ЛО, 1985. – 312 с.
2. Крючков И.П., Кувшанский Н.Н., Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебное пособие. – 3-е издание. – М.: Энергия, 1978. – 456 с.
3. Пикон Браво Паулино Хавьер. Автоматизация проектирования электрической части станций. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Л, 1988. – 206 с.

УДК 321.316

Анализ параметров электродинамической стойкости пролетов типового ОРУ 110 кВ

Малявко А.Н., Мостыко Р.В.

Научный руководитель – ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

В настоящей работе рассмотрены 2 типовых конструкции: пролет ячейки типового ОРУ 110 кВ длиной 27,5 м и шинный пролет типового ОРУ 110 кВ длиной 27 м. Задачей исследования является определение наиболее опасного вида короткого замыкания, и его характеристик, и влияние климатических условий. В работе определяются условия, при которых вероятно нарушение электродинамической стойкости пролетов с гибкими шинами.

Короткое замыкание характеризуется величиной тока КЗ I_k , его продолжительностью t_k , фазой включения ψ и постоянной затухания апериодической составляющей T_a . Система с гибкими проводниками, подверженная действию токов КЗ, характеризуется длиной взаимодействующих проводников L и расстоянием между ними a . Все эти параметры заложены в интегральном критерии электродинамической стойкости – импульсе электродинамических усилий S . Поэтому, можно предположить, что расчетные условия короткого замыкания будут соответствовать условиям, при которых импульс короткого замыкания в данной системе с гибкими проводниками имеет максимальное значение. Величина импульса в свою очередь зависит от вида КЗ.

Таким образом, выбор расчетного вида короткого замыкания при оценке электродинамического взаимодействия проводников является сложной задачей и требует особого рассмотрения. К такому же заключению приводят рекомендации ГОСТ по расчету электродинамического действия токов короткого замыкания [1], где указано, что при проверке гибких проводников по условию их допустимого сближения во время короткого замыкания расчетным видом короткого замыкания следует принимать трех- или двухфазное короткое замыкание, в зависимости от того, какое из них приводит к наибольшему сближению проводников.

Результаты расчета для пролета ячейки показывают, что максимальное сближение проводов происходит при двухфазном коротком замыкании между фазами A и B (рисунок 1) или B и C . Из рисунка 1 видно, что недопустимое сближение фаз A и B при двухфазном коротком замыкании может произойти уже при токе $I_k^{(2)} = 22$ кА.

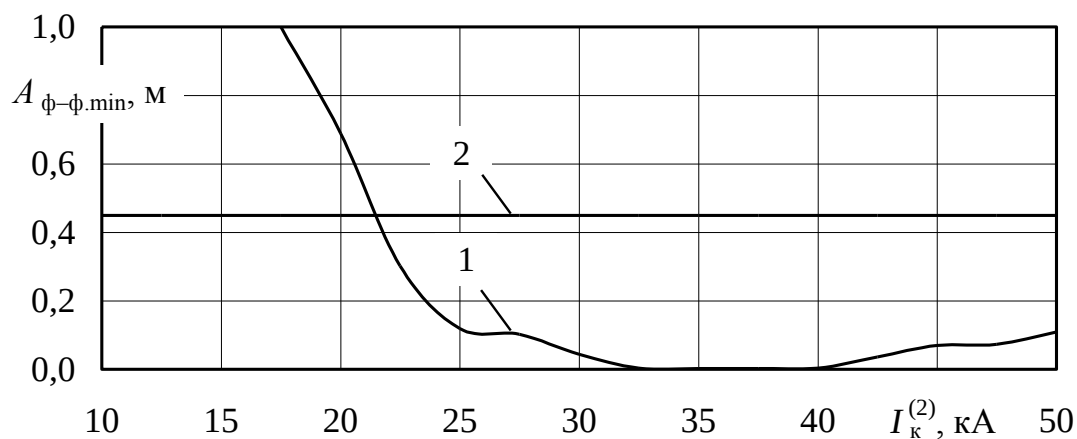


Рис. 1. Сближение шин при двухфазном КЗ в пролете ячейки 27,5 м типового ОРУ 110 кВ в зависимости от тока КЗ. 1 – $A_{\text{ф-ф. min}}$ между фазами А и В; 2 – $A_{\text{ф-ф. min доп}} = 0,45 \text{ м}$

При определении максимальных отклонений сборных шин расчетным видом КЗ может быть как двух- так и трехфазное КЗ. Наибольшие отклонения шин достигаются при трехфазном КЗ при фазах включения ψ равных 75° и 255° для фазы А и 165° и 345° для фазы С;

При определении максимальных сближений проводников расчетным видом КЗ будет двухфазное с фазами включения ψ равными 0° и 180° ;

При определении максимальных сближений проводников соседних фаз следует учитывать, что для пролетов с аппаратами, расположенными вдоль пролета, возможно сближение провода спуска с проводом соседней фазы, а в пролетах с аппаратами, расположенными под сборными шинами, возможно сближение соседних спусков между собой.

В процессе эксплуатации ОРУ на гибкую ошиновку также оказывают воздействие климатические условия. Под действием температуры, ветра и гололеда начальное положение проводов и тяжения в пролете могут существенно изменяться. Задачей данного раздела является выявление таких климатических режимов, при которых в пролете будут наблюдаться максимальные отклонения, сближения и тяжения гибких шин.

Для определения расчетных климатических режимов был проведен вычислительный эксперимент с помощью компьютерной программы FLEBUS [2]. Расчеты производились для шинного пролета ОРУ 110 кВ Витебской ТЭЦ. Для расчета были выбраны пять режимов (таблица 1), один из которых являлся исходным. Начальное положение гибких шин определяется с помощью программы механического расчета MR21, разработанной на кафедре «Электрические станции». Блок расчета климатических нагрузок заложен в компьютерных программах, и пользователю требуется лишь ввести параметры режима: температуру, скорость ветра и толщину гололедных отложений. Проанализировав исходные данные, программа автоматически рассчитывает поправочные коэффициенты в соответствии с геометрическими размерами пролета.

Таблица 1 – Расчетные климатические режимы для ОРУ 110 кВ Витебской ТЭЦ

№ режима	Параметры режима
1 (исходный)	+15°C, без гололеда, без ветра
2	+40°C, без гололеда, без ветра
3	-5°C, толщина гололеда 15 мм, без ветра
4	-5°C, без гололеда, скорость ветра 25 м/с
5	-5°C, толщина гололеда 15 мм, скорость ветра 15 м/с

Нарушение электродинамической стойкости наблюдалось при сближении спуска с шиной соседней фазы практически во всех случаях. Наибольшее сближение наблюдалось в режимах № 2 и 4 (рисунки 2 и 3). Причем в последнем случае ток электродинамической стойкости составил даже меньше 20 кА, определенных ПУЭ [3] как нижняя граница зоны опасных электродинамических взаимодействий.

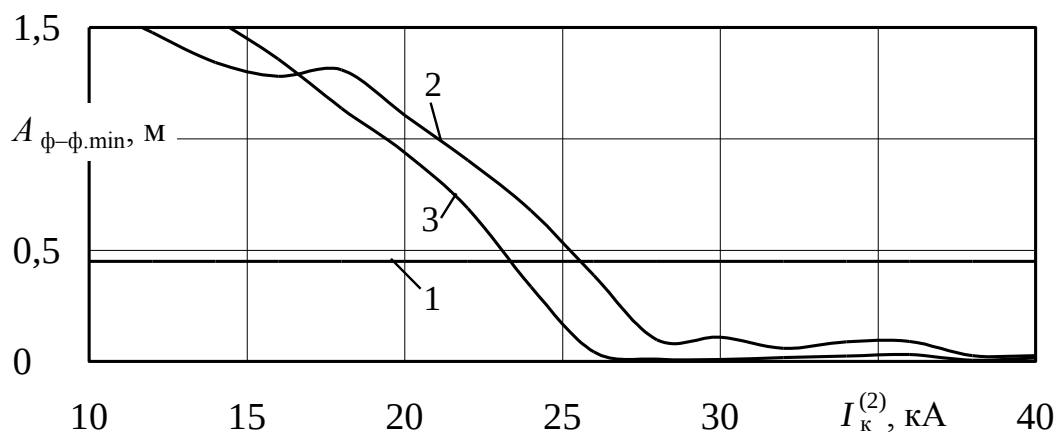


Рис. 2. Сближение шин и спусков при двухфазном КЗ в шинном пролете ОРУ 110 кВ Витебской ТЭЦ в режиме № 2

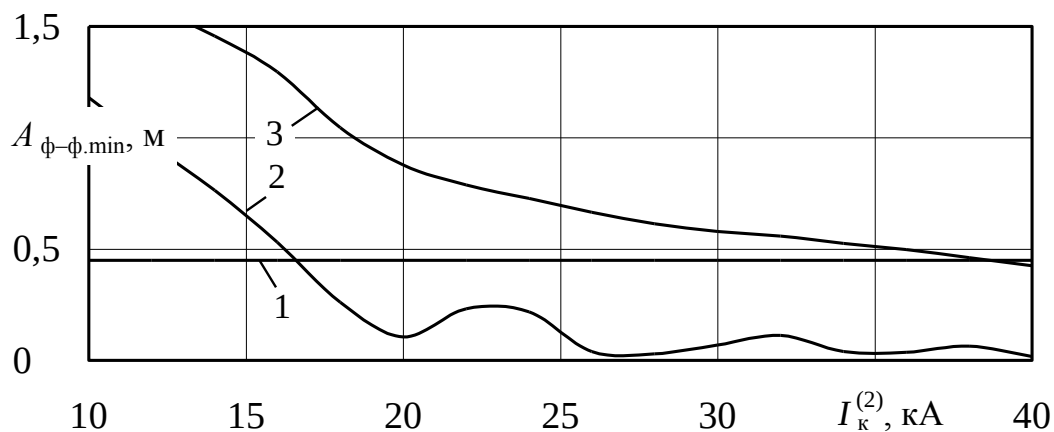


Рис. 3. Сближение шин и спусков при двухфазном КЗ в шинном пролете ОРУ 110 кВ Витебской ТЭЦ в режиме № 4: 1 – $A_{\phi-\phi.min доп} = 0,45 м$; 2 – $A_{\phi-\phi.min}$ между шинами A и B ; 3 – B и C

Ни в одном из климатических режимов в диапазоне токов КЗ от 10 до 40 кА не произошло недопустимого сближения сборных шин. Наибольшее сближение имело место в режиме № 2 (рисунок 4).

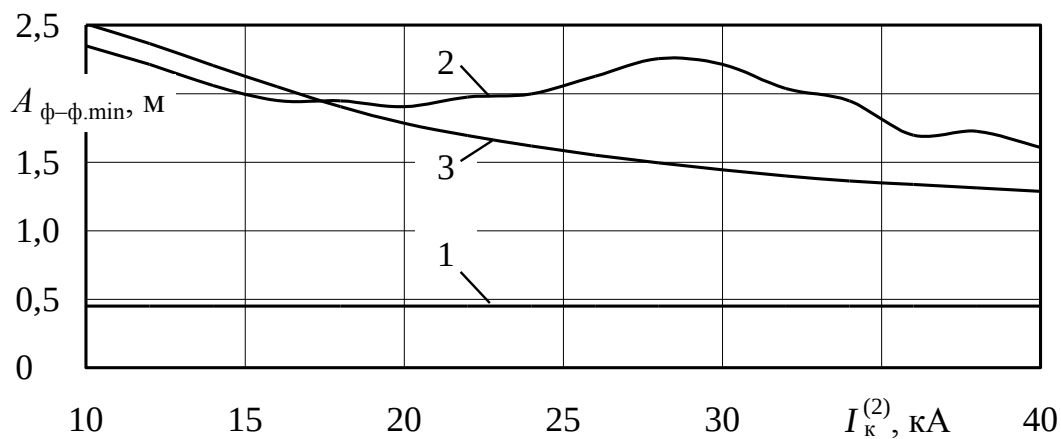


Рис. 4. Сближение шин при двухфазном КЗ в шинном пролете ОРУ 110 кВ Витебской ТЭЦ: 1 – $A_{\text{ф-ф.min доп}} = 0,45 \text{ м}$; 2 – $A_{\text{ф-ф.min}}$ между шинами *A* и *B*; 3 – *B* и *C*

Литература

1. ГОСТ 30323-95. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. – Введ. 01.03.1999. – Минск: 1999. – 57 с.
2. Пономаренко Е.Г. Расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств с применением неявной схемы // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2008. – № 5. – С. 34–45.
3. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

УДК 621.311

Повышение надежности систем электроснабжения потребителей электроэнергии

Анцух А.М., Судникевич С.В.

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

Защита сетей электроснабжения от перенапряжений

Общие положения

Нормативная база по системам защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений для сетей электроснабжения низкого напряжения до настоящего времени разработана недостаточно.

В ПУЭ (7-е изд., п. 7.1.22) содержится следующее требование:

«...При воздушном вводе должны устанавливаться ограничители импульсных перенапряжений».

Технический комитет Международной электротехнической комиссии – ТС 37 разработал стандарты по защите от волновых грозовых и коммутационных перенапряжений – МЭК 61647-1,2,3,4, МЭК 61643-1,2, МЭК 61644-1,2.

На основе стандарта МЭК 61643-1 (1998-02) «Устройства защиты от волн перенапряжения, для низковольтных систем распределения электроэнергии. Эксплуатационные требования и методы испытания» был разработан, в частности, немецкий стандарт VDE 0675 Ч. 6. «Разрядники и устройства защиты от перенапряжений для сетей переменного тока 100–1000 В».

Грозозащита является одним из разделов комплекса задач по обеспечению электромагнитной совместимости. В настоящее время общепринятой считается зонная концепция защиты от перенапряжений (МЭК 1024).

Существует различие между внешней и внутренней грозозащитой.

Внешняя грозозащита предназначена для защиты зданий и других объектов при прямых ударах молнии. Эта защита представляет собой один или несколько низкоомных и малоиндуктивных путей тока молнии на землю (молниеотвод, состоящий из токоприемника, токоотвода и заземлителя). Внешняя грозозащита является классической и выполняется в соответствии с действующими нормами.

Внутренняя грозозащита защищает электрические установки и электронные приборы внутри зданий от частичных токов молнии, от коммутационных, грозовых перенапряжений и повышения потенциала в системе заземления. Кроме того, внутренняя грозозащита обеспечивает защиту от воздействий, вызванных ударами молний, электромагнитных полей. Для внутренней грозозащиты основным условием является наличие эффективной системы заземления. Внутренняя грозозащита приобрела значение лишь в последние годы в связи с широким распространением микроэлектроники.

Границы эшелонированных защитных зон в здании образуются устройствами внешней грозозащиты, стенами зданий (металлическими фасадами, арматурой несущих стен и др.), внутренними экранированными помещениями, измерительными камерами, корпусами приборов и т. д.

На рисунке 1 представлена схема питания электроустановки со ступенчатой системой защиты от перенапряжений. На главном вводе после группы предохранителей между каждым фазным проводником и главной шиной заземления включены искровые разрядники. При импульсах перенапряжений, поступающих по проводам сети, или при повышении потенциала точки А во время прямого удара молнии разрядники срабатывают и пропускают заряд на землю.

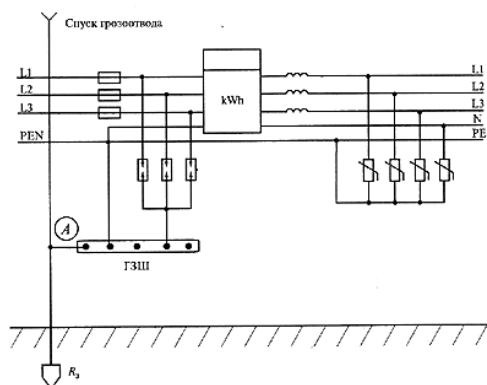


Рис. 1. Схема питания электроустановки со ступенчатой системой защиты от перенапряжений

При ударе молнии потенциал точки А относительно удаленного заземлителя, например, заземлителя трансформатора источника питания, может достигать миллиона вольт. Однако напряжение между фазами сети и главной заземляющей шины не превысит значение напряжения срабатывания искровых разрядников. Это означает, что вся внутренняя электропроводка испытывает одинаковое повышение потенциала.

Допустимо также предположить, что при соотношении сопротивлений заземлителя и проводов сети 1:10 лишь 10 % тока молнии поступает в распределительную сеть электроустановки.

Наряду с классическими разрядниками во внутренней грозозащите применяются специальные ограничители перенапряжений (ОПН), состоящие из параллельно соединенных искрового разрядника и варистора. Варистор ограничивает возникающие довольно часто перенапряжения, вызванные дальними ударами молний, искровой разрядник срабатывает при прямом ударе молнии, если из-за больших токов на варисторе остается достаточное высокое остающееся напряжение. При необходимости, в областях с высокой грозовой активностью, остающиеся перенапряжения на последующих зонах снижают дополнительно включенными варисторными или комбинированными ОПН с различными параметрами, устанавливаемыми на границах зон. При этом для развязки ступеней защиты применяют специальные, включающиеся последовательно в линию индуктивности.

Благодаря рационально эшелонированной защите можно, как и в сетях высокого напряжения достичь требуемой координации изоляции.

В российских нормативных документах указания о применении ОПН содержатся во «Временных указаниях по применению УЗО в электроустановках зданий» (И.П. от 29.04.97 № 42-6/9-ЭТ). В разд. 6 «Указания по применению УЗО для объектов индивидуального строительства» в п. 6.3 указывается: «При выборе схемы электроснабжения, распределительных щитков и собственно типов УЗО следует обратить особое внимание на необходимость установки ограничителей перенапряжений (ОПН) (разрядников) при воздушном вводе». Там же показана схема электроснабжения коттеджа, где на главном вводе показано подключение ОПН с фазного и нулевого проводников на шину РЕ.

Технические параметры устройств защиты от перенапряжений

Для защиты от импульсных перенапряжений применяются вентильные разрядники, калиброванные искровые промежутки, различного вида нелинейные сопротивления, варисторы и их комбинации. Далее для простоты изложения как обобщающий будет использоваться термин «защитный элемент».

Повышение надёжности распределительных систем направлено на создание:

- рациональных схем электрических соединений (схем распреедустроств подстанций и станций);
- оптимальное насыщение сети автоматическими устройствами и устройствами АВР;
- насыщение сети неавтоматическими коммутационными аппаратами;
- установки регулирующих и компенсирующих реактивную мощность устройств у потребителей;
- оборудования подстанций устройствами телеизмерения и телемеханизации;
- автоматизации на базе ЛЭВМ оперативных переключений в сложных сетях;
- совершенствование релейной защиты и автоматики.

В воздушных и кабельных сетях повышают надёжность:

- введение устройств поиска повреждений;
- сокращение продолжительности аварийных ремонтов;
- обеспечением ремонтных баз запчастями электроустановок;
- оптимизаций профилактических ремонтов, осмотров, замен износившихся частей.

Эти мероприятия требуют значительных материальных затрат. Кроме этого, большое значение имеет совершенствование схем распределительных сетей и распределительных устройств подстанций.

УДК

Электродинамическая стойкость токоведущих конструкций с гибкими проводами

Тышко О.Н., Шибковский Д.А.

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

В распределительных устройствах (РУ) высокого напряжения электростанций и подстанций в Республике Беларусь применяются преимущественно токоведущие конструкции с гибкими проводами, что позволяет им принимать форму, обусловленную внешними нагрузками. При протекании по ним токов короткого замыкания (КЗ) проводники соседних фаз начинают взаимодействовать: при двухфазном КЗ они вначале отталкиваются (рисунок 1), затем сближаются; при трехфазном два провода движутся согласно, однако, в итоге, также происходит расхождение, а затем – сближение проводников. В результате они могут сблизиться на недопустимое по условию электрической прочности изоляционного промежутка расстояние.

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

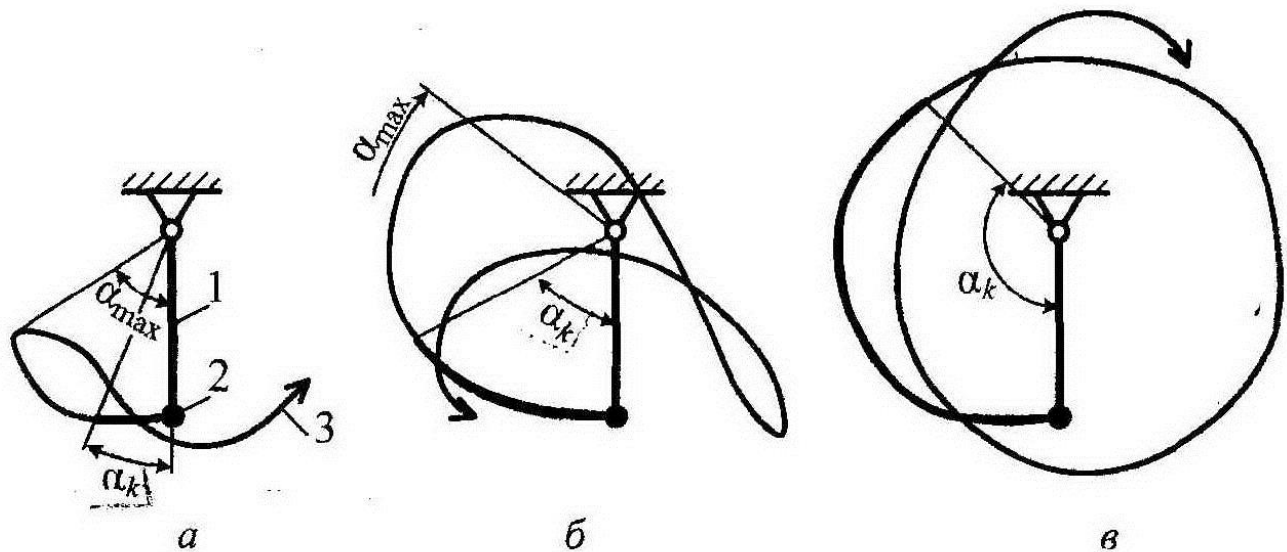
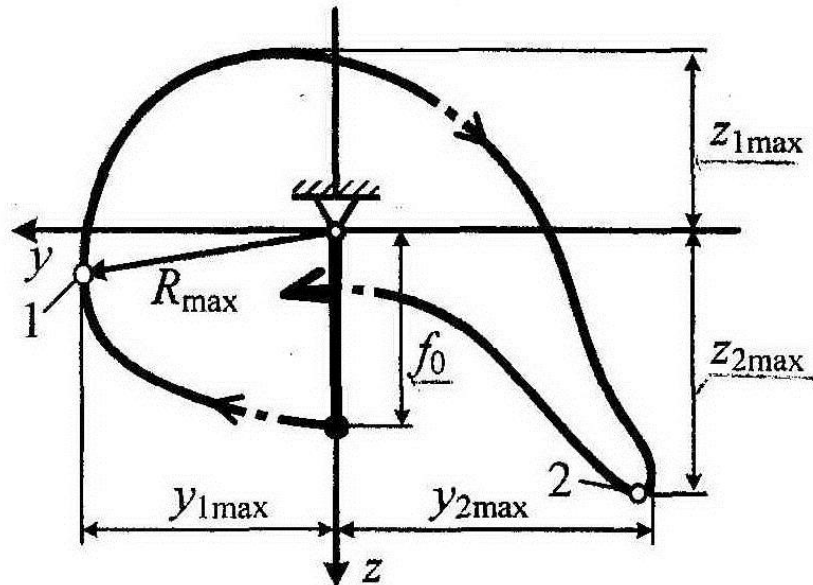


Рис. 1. Типичные траектории движения средней точки провода: 1 – статическое положение провода; 2 – средняя точка провода; 3 – траектория движения средней точки

Во время вынужденного движения провод движется к точке наибольшего горизонтального отклонения y_{1max} . После отключения КЗ он продолжает свое движение, расходуя накопленную кинетическую энергию, и достигает точки y_{2max} .



Согласно ГОСТ 30323-95 электродинамическая стойкость гибких проводов должна оцениваться по двум условиям:

$$S_{max} \leq S_{доп'}$$

$$T_{max} \leq T_{доп.}$$

где S_{max} , T_{max} , $S_{доп.}$, $T_{доп.}$ – соответственно максимальные расчетные и допустимые отклонения и тяжения гибких проводов при КЗ.

Допустимые отклонения проводов $S_{доп.}$ определяются из тех соображений, чтобы минимальные расстояния между проводниками фаз $A_{ф-ф.min}$, а также между проводниками и заземленными частями $A_{ф-з.min}$ не превысили допустимых изоляционных расстояний, определяемых при рабочих напряжениях:

$$A_{ф-ф.min} \geq A_{ф-ф.доп}$$

$$A_{ф-з.min} \geq A_{ф-з.доп}$$

где $A_{ф-ф.доп}$ и $A_{ф-з.доп}$ – минимально допустимые расстояния соответственно между проводниками фаз и проводниками и заземленными частями при рабочем напряжении.

УДК 621.311.9

Повышение стойкости контактных соединений токоведущих частей электрических станций

Летяго А.Д.

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

Одним из самых слабых мест любого электрического соединения является поверхность соприкосновения двух различных проводников – контактное соединение. По этому одним из направлений различных исследований и разработок кафедры «Электрические станции» является исследование процессов, протекающих в контактных соединениях, выявление определенных закономерностей и создание моделей с целью повышения как срока службы данных соединений, так и качества самого контакта.

Результаты расчета показали, что для контактов с плохо проводящими покрытиями имеет место резко неравномерное распределение температуры как по длине, так и по толщине контакта, т. е. имеются значительные местные перегревы. Применение же серебряных покрытий выравнивает распределение температуры в объеме соединения и снижает местные перегревы. В качестве металлических покрытий используется также олово, цинк, кадмий и никель. В последнее время в концерне “Белэнерго” нашли применения хромоникелевые сплавы. Толщина защитного покрытия в зависимости от используемого металла, а также способа нанесения металла составляет 3–40 мкм. Для нанесения защитных покрытий применяют установки газопламенного напыления (ГПН).

Сотрудниками Уральского государственного технического университета был разработан способ нанесения специальных защитных металлопокрытий, который позволяет в 10–15 раз уменьшить и стабилизировать на уровне первоначальной сборки величину переходного электрического сопротивления в разборных контактных соединениях, снизить потери электроэнергии и нагрев в этих устройствах, обеспечить возможность непосредственного соединения медных и алюминиевых контакт-деталей без каких-либо наплавов и вкладышей. Эффект достигается за счет нового типа специальных защитных металлопокрытий, которые образуются после нанесения на токопередающие поверхности контактов поверхностно активных легкоплавких сплавов, заданного состава.

Контроль сопротивления контактов остается важнейшей задачей, которая все еще до конца не решена. Основными методами контроля за состоянием контактных соединений до недавнего времени оставалось измерение его переходного сопротивления с помощью мостов и визуальное наблюдение. Появление легких малогабаритных инфракрасных (ИК) камер, выполненных на неохлаждаемых микроболометрических матрицах с микропроцессорной обработкой ИК изображений позволило обнаруживать дефекты контактных соединений на ранних стадиях развития и контролировать состояние практически всего электрооборудования, что позволяет значительно снизить аварийность.

Однако наряду с достоинствами технология ИК диагностики имеет ряд существенных недостатков.

Еще одним эффективным методом диагностики состояния контактных соединений является визуальный контроль температуры, выполняемый с использованием различных термоиндикаторов. Термоиндикаторы – это сложные вещества, которые при достижении определенной температуры резко изменяют свой цвет за счет химического взаимодействия компонентов.

На кафедре «Электрические станции» была разработана модель расчета плоских многослойных контактных соединений. Был проведен ряд исследований результаты которых применяются на практике. Данные результаты применяются БЭМН при выборе составов защитных электропроводных покрытий и мест их нанесения на контакт – детали, устанавливаемые на выпускаемую продукцию, в том числе камер сборных серии КСО-БЭМН. Также они применяются Брестэнерго при разработке конструкций контактных соединений с электропроводными покрытиями, и при модернизации разъединителей типа РЛНД-1-10/400УХЛ-1, в части разработки конструкции контактных ножей с напылением антикоррозийными, электропроводными, слабо окисляющимися хромоникелевыми соединениями.

Полученные результаты по исследованию температур на основе двухмерной модели существенно отличается от аналогичных результатов одномерной модели.

УДК 621.311

Конструкции ОРУ с жёсткой ошиновкой

Петлёв М. В.

Научный руководитель – Пономаренко Е. Г.

Жёсткая ошиновка предназначена для выполнения электрических соединений между высоковольтными аппаратами открытых (ОРУ) и закрытых (ЗРУ) распределительных устройств 35, 110 и 220 кВ. Жёсткая ошиновка может применяться вместе с гибкой, например, в виде сочетания жёстких сборных шин с гибкими внутрикамерными связями.

При строительстве подстанций распределительных блочно-модульных (ПРБМ) распределительные устройства 35–220 кВ комплектуются жёсткой ошиновкой, выполненной с учётом особенностей её применения вместе с блочно-модульными конструкциями (БМК). Жёсткая ошиновка может также поставляться для подстанций других производителей. Комплекты жёсткой ошиновки на номинальные токи от 1000 А до 2000 А изготавливаются как для типовых, так и для нетиповых схем распределительных устройств, ведётся разработка ошиновки на номинальный ток до 4000 А.

Не рекомендуется выполнять сварку участков жёсткой ошиновки на объекте в связи с опасностью отжига металла и снижения надёжности соединительных узлов. В этой связи, в составе жёсткой ошиновки используются уникальные, с точки зрения надёжности, соединительные элементы – литые шинодержатели с гибкими связями. Шинодержатели служат для восприятия механических усилий, возникающих в узлах соединений, гибкие связи используются для создания надёжных электрических контактов между токоведущими частями. Литые шинодержатели с гибкими связями используются для соединения шин между собой и для присоединения к оборудованию. Для лучшей адаптации к условиям взаимного расположения соединяемых шин конкретным особенностям конструкции высоковольтных аппаратов разработано несколько модификаций шинодержателей.

Жёсткая ошиновка имеет ряд достоинств по сравнению с гибкой ошиновкой.

Основные преимущества жёсткой ошиновки перед гибкой указаны в таблице 1.

Таблица 1. Преимущества жёсткой ошиновки перед гибкой

Уменьшение стоимости сооружения РУ	Применение жёсткой ошиновки позволяет сократить землеотвод для строительства РУ, экономить материалы, уменьшить объём строительно-монтажных работ
Сокращение площади РУ	Жёсткая ошиновка позволяет отказаться от шинных порталов и сократить межъячейковые расстояния
Сокращение сроков сооружения РУ	Экономия времени достигается за счёт сокращения числа фундаментов и применения ошиновки с высокой степенью заводской готовности
Удобство обслуживания	Высота установки жёсткой ошиновки меньше по сравнению с гибкой

Ошиновка представляет собой систему жёстких шин трубчатого сечения, изготовленных из алюминиевого сплава 1915Т.

Соединение жёстких шин между собой, а также шин с контактами оборудования осуществляется сертифицированными литыми шинодержателями и гибкими контактными связями.

Шины устанавливаются на высоковольтном оборудовании при помощи литых шинодержателей, изготовленных из алюминиевого сплава АК12 или аналогичного.

Для вентиляции и удаления конденсата в центральной части шин (в местах наибольшего прогиба) и в торцевых заглушках выполнены отверстия. Для гашения резонансных колебаний в конструкции шин предусмотрены виброгасящие устройства, закрепленные на торцевых заглушках.

Электрический контакт между шинами в местах установки шинодержателей обеспечивается гибкими связями. В состав каждой гибкой связи входят хомуты с приваренными к ним кабельными гильзами, в которые при изготовлении запрессовывается алюминиевый провод. Число гибких связей в составе одного узла соединения – не менее двух.

При монтаже ошиновки хомуты устанавливают на соединяемые участки трубчатых шин и закрепляют двумя болтами каждый.

Непосредственно перед монтажом гибких связей поверхности шин в местах установки хомутов обрабатывают средством стабилизации контактного сопротивления, в качестве которого используется электропроводящая смазка ЭПС-Э8 или аналогичная.

Для выполнения спусков от жёсткой ошиновки в местах, где это необходимо, на шинах приварены контактные пластины.

При заказе жёсткой ошиновки необходимо выбрать способ цветового обозначения (маркировки) фаз.

Контроль качества литых деталей шинодержателей осуществляется периодическими испытаниями. Предусмотрено пять видов испытаний и проверок: два вида приёмо-сдаточных (проверка комплектности и собираемости), два вида периодических (испытание разрушающими методами для выявления дефектов, испытание на переходное контактное сопротивление) и квалификационное испытание на механическую прочность.

Литература

- 1 www.zaokurs.ru/catalog/other/oru.
- 2 www.pfktp-ural.ru/hard-oshinovka.
- 3 www.electroshield.ru/catalog/oborud220/comp9/sostavizd.

УДК 621.316.17

Повышение надежности и электробезопасности электрической сети 6 - 35 кВ

Филанович Д.Ю., Хаецкая А.В.

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

Организация эксплуатации электрической сети энергосистем в настоящее время сталкивается с рядом существенных трудностей, связанных с наличием изношенного и отработавшего свой нормативный срок оборудования устаревших образцов, его высокой повреждаемостью, недостаточными уровнями автоматизации электрической сети и ее насыщенности средствами механизации работ, отсутствием научно обоснованных нормативов по продолжительности межремонтных периодов и промежутков времени между работами каждого вида технического обслуживания и т.д.

Основные направления развития и совершенствования эксплуатации электрических сетей включают в себя:

- внедрение принципиально нового малогабаритного оборудования высокого качества (малогабаритные комплектные распределительные устройства с твердой или элегазовой изоляцией, трансформаторы и одножильные кабели с пластмассовой изоляцией, нелинейные ограничители перенапряжений, вакуумные или элегазовые выключатели, термоусаживаемые концевые и соединительные кабельные муфты);
- повышение качества применяемого в сетях оборудования и кабельной продукции (изоляторов, железобетонных опор, повышение качества пропитки древесины);
- внедрение подземных трансформаторных подстанций и распределительных пунктов напряжением 6-20 кВ городской сети;
- внедрение столбовых (мачтовых) трансформаторных подстанций мощностью до 100 кВ 'А;
- внедрение средств автоматизации и телемеханизации сетей с использованием в качестве каналов связи кабельных линий напряжением 0,38-10 кВ;
- рациональное построение новых и переустройство существующих схем сети (в том числе и схем питания распределительных пунктов) с использованием нового малогабаритного оборудования;
- повышение номинального напряжения сети и сокращение количества трансформаций;
- внедрение резистивного заземления нейтрали в сети напряжением 6-35 кВ;
- внедрение устройств релейной защиты на микропроцессорной технике;
- внедрение защит, действующих на отключение однофазных замыканий;
- выбор оптимальной системы, состава и содержания работ технического обслуживания и ремонта;
- оптимизация периодичности выполнения работ технического обслуживания и ремонта;
- внедрение автоматизированной системы управления производством, где решаются задачи автоматизации планирования работ технического обслуживания и ремонта, оценки износа изоляции силовых трансформаторов, управление техническими службами и другие технические задачи;
- внедрение автоматизированной системы диспетчерского управления, где решаются задачи оптимизации мест размыкания замкнутой электрической сети, расчета электрических режимов с целью оценки их допустимости и формирования разрешений на вывод в ремонт и обратного включения того или иного оборудования и линий,

коммерческого учета и управления качеством электроэнергии и другие технические задачи.

Так же эффективным методом повышения надежности электросети является выбор рациональных мест ее размыкания, обеспечивающих минимум потерь активной мощности, при недопущении перегрузки головных участков распределительных кабельных линий напряжением 6-10 кВ и силовых трансформаторов в ЦП и при соблюдении допустимого напряжения в узлах и уровня токов замыкания на землю на каждой секции шин центра питания.

Среди режимов нейтрали сети наиболее актуальны режим с глухо заземленной нейтралью, или заземленной через низкоомное или высокоомное сопротивление, имеющие следующие преимущества:

- снижение кратности и продолжительности дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях на землю до $2,5U_{фг}$, что предотвращает появление двойных замыканий на землю, феррорезонансных колебаний в цепи измерительных трансформаторов напряжения и развития однофазных и многофазных замыканий по всей сети, отходящей от данной секции шин центра питания;

- снижения на несколько порядков вероятности поражения человека электрическим током из-за существенно меньшей продолжительности (до 10 секунд) однофазного замыкания на землю по сравнению с аналогичной продолжительностью (до 6 часов), характерной для режима изолированной и компенсированной нейтралей;

Влияние на надежность износа изоляции сводиться к минимуму при правильном ее выборе по условиям термической стойкости и перенапряжениям.

УДК 621.315.1

Измерение сопротивления заземления опор воздушных линий

Крупко А.В., Матрос Е.П.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А.

В нашей работе мы изучили и сделали описание метода и средств измерений сопротивлений заземления одностоечных металлических и железобетонных опор ВЛ, заземляющие устройства которых электрически соединены посредством грозозащитного троса.

Для измерения сопротивления заземления опоры, если грозозащитный трос не отсоединен от заземляющего устройства, используются дополнительные измерительные электроды Π_1 и ВТ (рисунок 1).

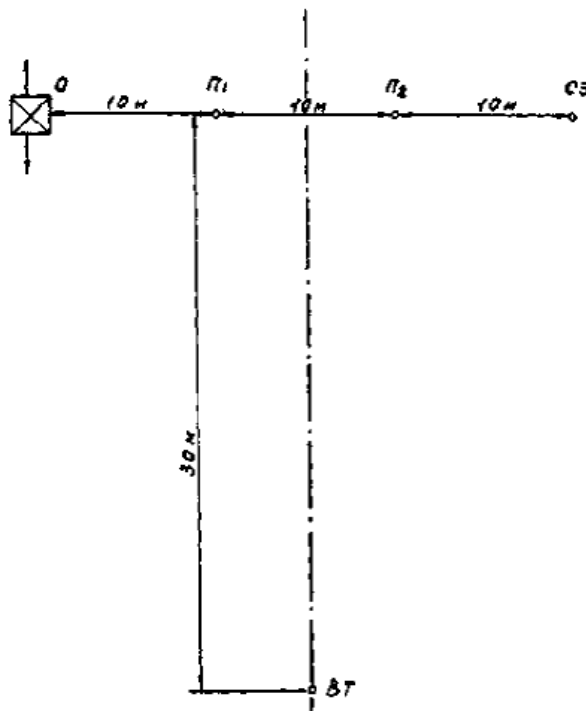


Рисунок 1 – Расположение измерительных электродов

В измерениях также применяются электроды Π_2 и СЭ, которые при измерениях с отсоединенным грозозащитным тросом, играют роль соответственно потенциального и токового электрода.

В качестве основных приборов при измерениях сопротивлений заземления опор ВЛ без отсоединения грозозащитного троса по методу, рекомендуются приборы МС-08 и М-416. Вспомогательными приспособлениями являются переключающее устройство к прибору МС-08 и приставка.

Замыкание цепи источника питания усилителя (Б) производится переключателем. Усилитель к прибору М-416 предназначен для измерения сопротивления заземления опор без отсоединения грозозащитного троса. Электрическая схема усилителя представлена на рисунке 2.

При подготовке к измерениям определяют в лабораторных условиях зависимость коэффициента усиления от сопротивления нагрузки.

В соответствии с рисунком 2.4 собирают цепь, в которой R_x (0,10 м) и R_n (магазин сопротивлений) соединены последовательно и подключены к выходу усилителя.

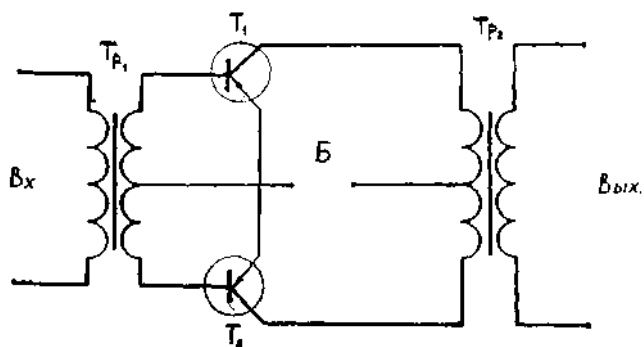


Рисунок 2 – Электрическая схема усилителя к прибору М-416: Т1, Т2 – транзисторы П217 Г; Тр1, Тр2 – трансформаторы (магнитопровод серийного изделия ТВН.0.0005.091.ТУ, провод ПЭВ-1; диаметром 0,1 мм, первичной обмотки Тр1 и вторичной обмотки Тр2 – 1000 витков, вторичной обмотки Тр1 и первичной обмотки Тр2 – 2×150 витков); Б – батарея, послед. 5 элементов 3336Л.

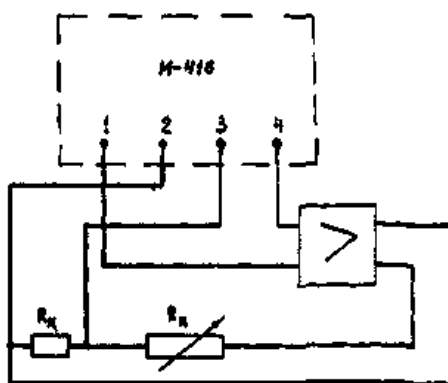


Рисунок 3 - Схема измерения коэффициента усиления

Катушки укрепляются таким образом, чтобы провода могли разматываться в трех направлениях.

Измерения следует проводить в строго установленном порядке, при обязательном соблюдении требований безопасности.

Литература

1. Антипов К.М. Измерение сопротивления заземления опор ВЛ. Методические указания. – Новосибирск, 1980.

УДК 621.316 (083.13)

Конструкции молниеотводов и грозозащитных тросов

Крот П.П.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А.

В данной работе будут рассмотрены конструкции молниеотводов и грозозащитных тросов. Молния – колоссальный электрический разряд, способный нанести повреждения строению, вызвать пожар и привести к поражению электрическим током людей. Молниезащита – это обязательная часть любого здания. Без системы молниезащиты здание и соответственно, люди и имущество находящиеся в нем, беззащитны перед ударом стихии. Молниезащита нужна для защиты от прямого удара молнии в здание, защиты от вторичных её проявлений, таких как перенапряжения (наводки, возникающие в электрических цепях при грозовом разряде), проще говоря – для того, чтобы сберечь Вашу жизнь и имущество.

Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений, относимых по устройству молниезащиты к I категории, должна выполняться отдельно стоящими стержневыми или тросовыми молниеотводами.

Молниеотвод E . S . L . E . C . – это улучшенная версия одностержневого молниеотвода, использующая последние достижения в области молниезащиты. Система, предлагающая защиту от молний с помощью PREVECTRON E . S . E . L . C . состоит из следующих частей:

- Молниеотвод PREVECTRON излучения раннего стримера (ESE молниеотвод).
 - Один или два проводника, связывающих ESE молниеотвод с землей.
 - одна или две точки заземления для проводки и рассеивания тока молнии
- (рисунок 1.1)

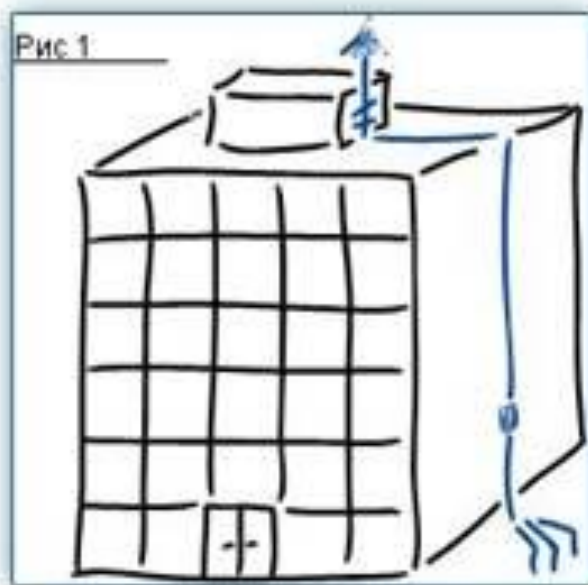


Рисунок 1.1 – Молниеотвод E . S . L . E . C .

Одностержневые молниеотводы состоят из наконечника, заземляющего проводника и заземления (рисунок 1.3).

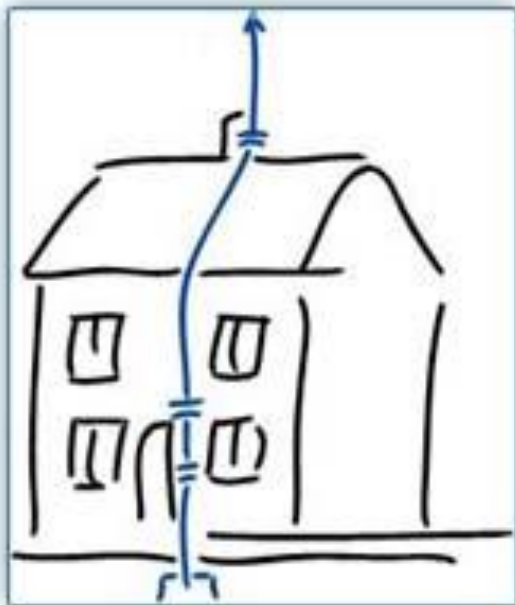


Рисунок 1.2 – Одностержневой молниеотвод.

Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений, относимых по устройству молниезащиты к I категории, должна выполняться отдельно стоящими стержневыми (рисунок 1.3) или тросовыми (рисунок 1.4) молниеотводами.

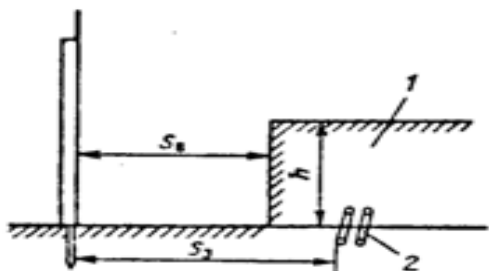


Рисунок 1.3 – Отдельно стоящий стержневой молниеотвод.

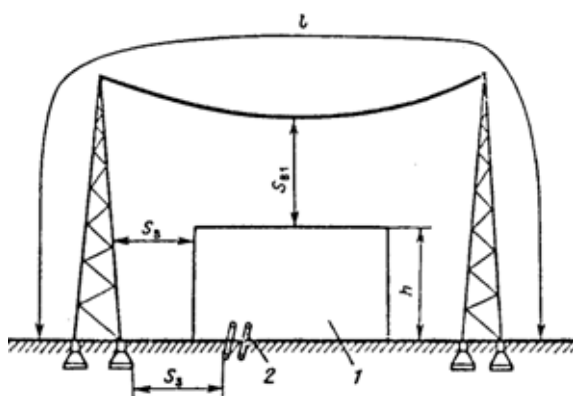


Рисунок 1.4 – Отдельно стоящий тросовый молниеотвод.

Стержневой молниеприемник: пруток и водогазопроводные трубы.

Тросовый молниеприемник: стальной оцинкованный спиральный канат марки ТАК КАК сечением $48,26 \text{ мм}^2$.

Токоотвод: круглая сталь и стальной канат диаметром 5–6 мм или полосовая сталь с площадью поперечного сечения 24 и 48 мм².

Несущая конструкция:

- а) древесина - защита сельскохозяйственных объектов (8–20 м);
- б) железобетон - любые объекты (8–20 м);
- в) металл - высокие, протяженные объекты (20–30 м).

Наибольшая оптимальная высота несущих конструкций не превышает 45–50 м.

Молниеотвод «пространственная клетка» состоит из проводящей сети, которая защищает строения, находящиеся внутри нее. Она состоит из ячеек примерно 15 на 15 метров, расположенных на крыше, с рядом небольших воздушных наконечников (от 30 до 50 см высотой), и подключенных к заземлению проводниками с шагом около 15 метров. Каждый заземляющий проводник имеет свою собственную отдельную точку заземления, которые по кругу под землей соединяются кольцом.

Конструкция «пространственных клеток» и используемые материалы должны соответствовать стандарту и инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО 153-34.21.122-2003.

Для «неответственных» объектов на приусадебных участках и садовых домиков с неметаллической кровлей целесообразно применение упрощенной молниезащиты с помощью струнных молниеприемников. Зона применимости этих молниеприемников - кровли с углом не более 100°. Молниеприемник - сталь круглая (катанка) 6 - 8 мм оцинкованная или с коррозионно стойким покрытием, укладывается вдоль конька крыши с креплением к ней на расстоянии не менее 10 см в свету на деревянных или иных изолирующих прокладках. Концы молниеприемника загибаются на длине 25 - 30 см и служат в качестве вертикальных молниеприемников и присоединяются к токоотводам.

Грозозащитный трос, тросовый молниеотвод, заземлённый провод в воздушных линиях электропередач, служащий для защиты токопроводящих проводов от прямых ударов молнии. Грозозащитный трос подвешивается над токоведущими проводами и заземляется у каждой опоры. Обычно грозозащитные тросы делают из стальных оцинкованных провололок; сечение его от 50 до 70 мм. Защищенность токопровода зависит от угла защиты α ; при $\alpha < 20^\circ$ поражение молнией становится маловероятным. В линиях на металлических опорах с напряжением 110 кВ и выше грозозащитные тросы подвешивают обычно по всей длине линии; на линиях более низкого напряжения — только на подходах к подстанциям.

В качестве молниеотводов для защиты отдельных зданий от прямых ударов молнии могут быть использованы деревья. Это возможно, если дерево выше дома вместе с антенной в 2–2,5 раза. Дерево должно отстоять от дома не менее чем на 3–10 м.

В последние годы все чаще городские жители в летний период выезжают на природу. Излюбленными местами отдыха являются залесенные берега рек. Как правило, молнии также их охотно посещают. Кроме того, не исключается использование палаточных городков для летнего отдыха детей. Как решается молниезащита в этих условиях?

Для установки молниеотвода следует использовать высокое дерево, удаленное от палатки не менее чем на 10 м. При этом сопротивление заземления молниеотвода должно быть не более 20 Ом. Деревья, расположенные от палатки на расстоянии ближе 10 м, использовать в качестве молниеотвода не следует.

Грозозащитный трос типа ТК применяются для напряженных условий эксплуатации, где знакопеременные изгибы и пульсирующие нагрузки незначительны или полностью отсутствуют расчалочные и временные лесосплавные крепления, различные поддерживающие.

Литература

1. IEC-1024-1: 1990. Защита сооружений от удара молнии. Часть 1: Общие принципы.
2. ПУЭ (7-е изд., п. 7.1.22)
3. Стандарт и инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

УДК 621.311.1

Глубинные заземлители

Калюта М.А., Кисляк Е.В.

Научный руководитель – Дерюгина Е.А.

Заземлитель представляет собой совокупность соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в соприкосновении с землей и используемых в целях безопасности (защитное заземление), обеспечения нормальной работы электроустановок (рабочее заземление) и отвода в землю токов молнии или ограничения грозовых перенапряжений (заземление молниезащиты).

Заземлитель характеризуется следующими основными параметрами:

1. Минимальное сопротивление протеканию электрического тока.
2. Минимальное значение соотношения «цена-долговечность».

Первый параметр определяется токопроводящими свойствами:

- материала заземлителя, контактирующего с грунтом;
- грунта, в который погружен заземлитель, и его удельным сопротивлением ($\text{Ом} \cdot \text{м}$).

Материал заземлителей

Заземлители из черных металлов недолговечны, не могут обеспечить защиту и нормальную работу установки в течение всего периода ее эксплуатации.

В современных международных нормах заземлители из черных металлов вообще не рассматриваются.

В мировой практике для предотвращения коррозии в грунте используют либо нержавеющие материалы, либо эффективные токопроводящие, устойчивые к коррозии покрытия черных металлов, что предпочтительнее с точки зрения уменьшения соотношения «цена-долговечность».

При этом выявились два допустимых типа токопроводящих покрытий: медное (наносится электролитическим методом) или цинковое (получают методом горячего оцинкования). Толщина медного покрытия составляет 0,250 мм, а цинкового – 0,080 мм.

Широкое распространение в мире получили и омедненные стальные заземлители. Медь в качестве электропроводящего покрытия стальных заземлителей пригодна для использования в большинстве случаев.

Заземлители с цинковым уступают омедненным по долговечности из-за меньшей коррозионной стойкости слоя цинка.

Заземлители с покрытием более долговечны и работают в течение всего срока эксплуатации установки, а также более эффективны по сравнению с обычными электродами, изготовленными из черных металлов. Их эффективность обусловлена повышенными электропроводящими свойствами применяемых покрытий.

Грунтовые условия и типы применяемых заземлителей

Сопротивление грунтов имеет решающее значение при выборе способа устройства заземления.

На сопротивление грунтов оказывают влияние следующие факторы:

- **физический состав самого грунта** – в зависимости от вида грунтов удельное сопротивление колеблется от единиц до нескольких сотен омметров ($\text{Ом} \cdot \text{м}$);
- **влажность** – повышенная влажность грунта может значительно снизить его сопротивление. Поэтому, с этой точки зрения, заземлитель должен быть установлен на достаточно большой глубине – на уровне грунтовых вод или уровне стабильной и высокой влажности;

– **температура** – изменение температуры грунтов оказывает влияние на их сопротивление.

Заземлитель из наращиваемых стержней

Заземлитель представляет собой стальной омедненный стержень длиной 1,5 м и диаметром 14–16 мм. Стальной стержень обладает высокой устойчивостью к растяжению, что обеспечивает его погружение на большую глубину с помощью специального виброударного инструмента. Медное покрытие имеет толщину 0,25 мм, что гарантирует срок службы заземлителя в земле минимум 30 лет.

На концах стержня имеется резьба длиной 30 мм, позволяющая посредством соединительных муфт наращивать заземлитель в глубину, обеспечивая минимально возможное сопротивление протеканию тока.

Муфта

Соединение стержней обеспечивается с помощью муфты, изготовленной из латуни, устойчивой к грунтовой коррозии. Муфта выполнена так, чтобы стержни встречались на ее середине, а силы, возникающие во время погружения, передавались со стержня на стержень, а не через муфту. Кроме того, муфта предохраняет от коррозии резьбовые соединения стержней.

Имея больший диаметр по сравнению с диаметром стержня, муфта принимает на себя основную истирающую нагрузку от грунта во время погружения, сохраняя от повреждения защитное покрытие стержней.

Оголовок

Выполнен из закаленной стали. Наворачивается на стержень через муфту. Позволяет использовать для погружения стержней виброударный инструмент, воспринимая основную ударную нагрузку. Его размеры подобраны таким образом, чтобы силы, действующие во время погружения, передавались с оголовка на стержень, а не через муфту.

Стальной наконечник

Наворачивается на первый погружаемый стержень и служит для облегчения погружения заземлителей в твердых грунтах.

Кольцевой заземлитель (поверхностный заземлитель)

Минимум 80% общей длины кольцевого заземлителя вне строительного сооружения должны контактировать с землей. При этом он должен быть проложен в виде замкнутого кольца на расстоянии 1,0 м и на глубине 0,5 м по периметру сооружения.

Фундаментный заземлитель

Фундаментный заземлитель представляет собой заземлитель, который устанавливается в бетонном фундаменте сооружения. Он действует в качестве заземлителя системы молниезащиты в том случае, если требуемые внешние выводы для соединения токоотводов выведены из фундамента.

Глубинный заземлитель

Глубинный заземлитель (классификация тип А) представляет собой заземлитель, который, как правило, устанавливается перпендикулярно поверхности земли с достаточным заглублением. В качестве отдельного заземлителя для каждого токоотвода рекомендуется использовать по одному глубинному заземлителю длиной 9,0 м, который прокладывается на расстоянии 1,0 м от фундамента сооружения. Глубинные заземлители в зависимости от вида почвы могут прокладываться в земле вручную или с помощью соответствующих электрических, бензиновых или пневматических молотов.

Все глубинные заземлители должны быть соединены с кольцевым заземлителем внутри или снаружи здания и снабжены вводом к шине выравнивания потенциалов.

В зонах с риском возникновения коррозии следует использовать только нержавеющую сталь. Для разъемных соединений в земле необходимо использовать антикоррозийную защиту (пластический антикоррозийный бандаж).

Глубинное физическое заземление

Система заземления является неотъемлемым элементом электросети, обеспечивающим надежную защиту электроустановок и безопасность пользователей. Одним из возможных решений по созданию системы заземления является Глубинное Физическое Заземление (ГФЗ).

Преимущества Глубинного Физического Заземления:

- комплексная защита систем здания: электроустановок, телефонных и любых информационных сетей;
- исключает воздействие блуждающих токов через контур заземления;
- один глубинный заземлитель обеспечивает возможность достижения значения сопротивления растеканию тока 0,5–4 Ом;
- долговечность использования – более 20 лет;
- стабильность характеристик на протяжении всего времени использования;
- характеристики защиты не зависят от времени года;
- простота и высокая скорость (1–2 дня) установки в строящихся и уже функционирующих зданиях;
- удобство установки в условиях плотной застройки.

Область применения:

- защитное заземление электроустановок здания для промышленных и жилых объектов;
- функциональное заземление телекоммуникационных центров (АТС, серверные, Центры Обработки Данных);
- заземление для объектов с критическими требованиями к качеству электроэнергии.

Процесс установки системы:

- система глубинного заземления создается путем бурения скважины глубиной 20 метров и погружения в нее конструктива, состоящего из латунного стержня ($L=1,5$ м) в обсадной металлической трубе и двухкомпонентного электролита.
- соединение заземлителя и главной заземляющей шины (ГЗШ) производится медным изолированным проводником.
- сварка латунного заземлителя с заземляющим проводником (медь) производится по уникальной технологии.

Литература

1. Солдаткина Л.А. Электрические сети и системы. – М.: Энергия, 1978.
2. Блок В.М. Электрические сети и системы. – М.: Высшая школа, 1986.

УДК 621.311

Защита электротехнического оборудования от грозовых перенапряжений

Задруцкий Д.В., Пашкович Н.П.

Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

Перенапряжением называется любое превышение напряжения относительно максимально допустимого для данной сети. К этому виду сетевых помех относятся как перенапряжения связанные с перекосом фаз достаточно большой длительности, так и перенапряжения, вызванные грозowymi разрядами с длительностью от десятков до сотен микросекунд.

Грозвые разряды – мощные импульсные перенапряжения, возникающие в результате прямого попадания молнии в сеть электропитания, громоотвод или импульс от разряда молнии на расстоянии до 1,5 км приводящий к выходу из строя электрооборудования или сбою в работе аппаратуры.

Таблица 2.1 – Поражающие факторы и их последствия

Проявление угрозы	Поражающие факторы	Возможные последствия
Прямой удар молнии в здание	Разряд до 200 кА, до 1000 кВ, 30 тыс. °С	Поражение людей, разрушение частей зданий, пожары
Удаленный удар молнии в коммуникации (до 5 км и более)	Занесенный грозовой потенциал по проводам электроснабжения и металлическим трубопроводам (возможное значение импульсного перенапряжения – сотни кВ)	Поражение людей, нарушение изоляции электропроводки, возгорание, выход из строя электрооборудования и приборов
Ближний разряд (до 0,5 км от здания)	Наведенный грозовой потенциал в сетях (возможное значение импульсного перенапряжения – десятки кВ)	Выход из строя электронных приборов, потери баз данных, сбои в работе автоматизированных систем
Коммутации, короткие замыкания в сетях низкого напряжения	Импульсное перенапряжение в сетях (до 10 кВ)	Выход из строя чувствительных приборов, потери баз данных, сбои в работе автоматизир. систем

Перенапряжения весьма опасны по своим последствиям. Пробив изоляцию, они могут вызывать КЗ, пожары в электроустановках, опасность для жизни людей и др. Поэтому каждая электроустановка должна иметь защиту от перенапряжений.

В качестве основных защитных средств от атмосферных повреждений применяют молниеотводы, разрядники и искровые промежутки.

Разрядники по исполнению делятся на трубчатые и вентильные, по назначению – на подстанционные, станционные, для защиты вращающихся машин и др.

Гашение сопровождающего тока обеспечивается двумя способами:

- в трубчатых разрядниках – специальным дугогасительным устройством;
- в вентильных разрядниках – активными сопротивлениями с нелинейной характеристикой.

Трубчатые разрядники применяются как основное средство для защиты изоляции линии электропередачи и как вспомогательное средство защиты изоляции оборудования подстанций. Они выполняются с номинальными напряжениями 6, 10, 35 кВ.

Основной частью разрядника является трубка из твердого газогенерирующего диэлектрика. Разрядник (рисунок 1) имеет 2 искровых промежутка: внешний 3 и внутренний 2. Внешний изолирует трубку от постоянного соприкосновения с токоведущей частью, находящейся под напряжением. При пробое искровых промежутков под воздействием высокой температуры электрической дуги трубка 1 разлагается и генерирует газ (в основном водород), облегчающий гашение электрической дуги.

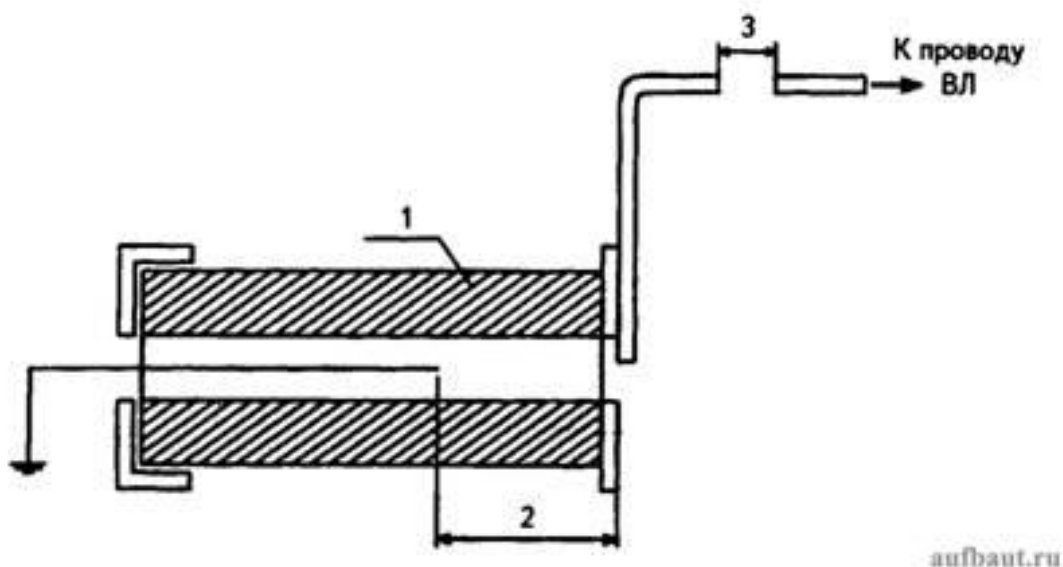


Рис. 1. Устройство трубчатого разрядника

Вентильные разрядники предназначены для защиты от атмосферных перенапряжений оборудования электростанций и подстанций, главным образом, силовых трансформаторов. Основными элементами разрядника являются многократные искровые промежутки и соединенные последовательно с ними нелинейные сопротивления в виде дисков из вилита. Вилит не влагостоек, поэтому его помещают в герметизированный фарфоровый корпус. Устройство вентильного разрядника показано на рисунке 2.

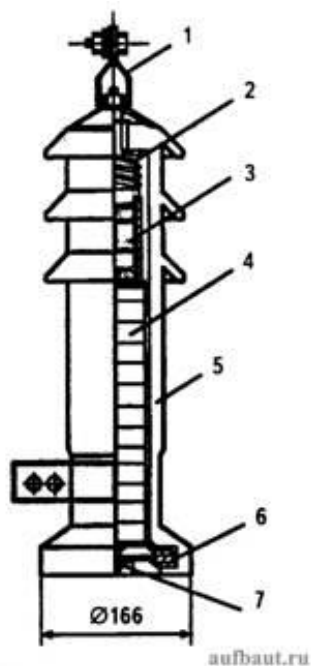


Рис. 2. Устройство вентильного разрядника серии РВП

Разрядник работает следующим образом. При перенапряжениях искровые промежутки 3 пробиваются, и по вилитовым дискам блока 4 ток проходит в землю. Сопротивление вилита резко уменьшается и перенапряжение на оборудование подстанции не поступает. При исчезновении перенапряжения сопротивление вилита возрастает, дуга в искровом промежутке гаснет, и ток через разрядник не проходит.

Специальная защита воздушных линий от атмосферных перенапряжений не устанавливается, так как молния может ударить в линию в любой ее точке. Все воздушные линии оборудуются устройствами АПВ, т. к. после КЗ, вызванного перенапряжением, и отключения линии, ее изоляционные свойства восстанавливаются. Поэтому повторное включение линии оказывается в большинстве случаев успешным.

В настоящее время широкое распространение получают ограничители перенапряжений (ОПН), представляющие собой нелинейные активные сопротивления без специальных искровых промежутков. Выпуск вентильных разрядников в нашей стране прекращен в 90-е годы из-за высокой трудоемкости производства и настройки искровых промежутков. При том существенно расширена номенклатура выпускаемых ОПН. Достоинствами ОПН, по сравнению с вентильными разрядниками, являются взрывобезопасность, более высокая надежность, снижение уровня перенапряжений, воздействующих на защищаемое оборудование, и возможность контроля старения сопротивлений по току в рабочем режиме. Существенным недостатком ОПН и вентильных разрядников является невозможность обеспечения с их помощью защиты от квазистационарных перенапряжений (резонансные и феррорезонансные перенапряжения, смещение нейтрали при перемежающейся электрической дуге).

В распределительных электрических сетях в системе защиты от перенапряжений основное внимание уделяют защите оборудования подстанций. Ниже приведены два варианта защиты подстанций напряжением 6–10 кВ от атмосферных перенапряжений при присоединении их непосредственно к воздушной линии (рисунок 3) и кабельным вводом (рисунок 4). В первом случае на линии устанавливают два комплекта трубчатых разрядников F1, F2, один из которых (F2) – на концевой опоре линии, а F1 – на расстоянии 100–200 м от F2. Во втором случае комплект разрядников F2 устанавливают на конце кабеля, причем его заземление соединяют с оболочкой кабеля. Это необходимо для уменьшения перенапряжений, поступающих на подстанцию.

Второй комплект F1 устанавливается при длине кабельного ввода менее 10 м. Расстояние между F1 и F2 равно 100 – 200 м. Вместо F2 при длине кабельной вставки более 50 м рекомендуется устанавливать ventильные разрядники.

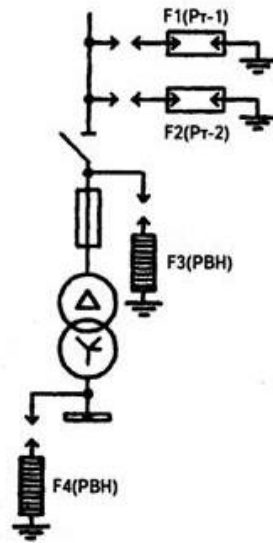


Рис. 3. Защита подстанции от перенапряжений – подстанция непосредственно присоединена к ВЛ

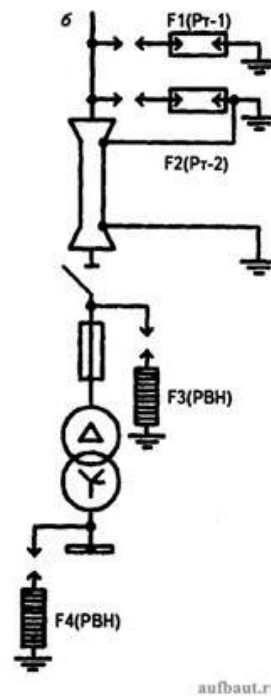


Рис. 4. Защита подстанции от перенапряжений – подстанция присоединена к ВЛ кабельным вводом

Кроме трубчатых разрядников непосредственно на подстанциях устанавливают ventильные разрядники (или ОПН) FV3 и FV4 на сторонах высшего и низшего напряжений.

В настоящее время при новом строительстве, реконструкции и техническом перевооружении объектов применение ventильных и трубчатых разрядников не рекомендуется по причине их низкой надежности и из-за недостатков в технических характеристиках.

Литература

1. IEC-1024-1: 1990. Защита сооружений от удара молнии. Часть 1: Общие принципы.
2. ПУЭ (7-е изд., п. 7.1.22)
3. ГОСТ Р 50571.18-2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 442. Защита электроустановок до 1 кВ от перенапряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1 кВ.
4. ГОСТ Р 50571.19-2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 443. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений.

УДК 621.7/9(0.75.8)

Программы расчета зон действия молниеотводов

Житковский И.М, Борисенок С.Г.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Разрушительный эффект от попадания молнии в здания или промышленные объекты известен давно. Люди научились бороться с воздействием молний с помощью применения молниеотводов. Существует множество конструкций молниеотводов, предназначенных для защиты объектов различной конфигурации.

Любой молниеотвод характеризуется зоной действия, которую необходимо рассчитать. От правильности расчета напрямую зависит качество защиты молниеотводом объекта, на котором он применяется.

Комплексная система молниезащиты состоит из двух основных функциональных частей – внешней и внутренней. Рассмотрим подробнее внешнюю молниезащиту.

Назначение внешней молниезащиты – защита от прямого удара молнии с последующей канализацией энергии разряда в землю.

Под зоной защиты понимают пространство в окрестности молниеотвода, характеризующееся тем, что вероятность прорыва молнии к любому объекту внутри зоны не превышает некоторой достаточно малой величины. Зона защиты зависит от высоты молниеотводов, их числа и взаимного расположения, высоты ориентации облака, атмосферных и геологических условий, экранирующего действия близлежащих объектов и других факторов. Строение считается полностью защищенным от прямых ударов молнии, если ни одна его точка не выступает из зоны защиты.

В настоящее время существует много программ по расчету зон действия молниеотводов: от самых простых, до очень сложных, позволяющих учитывать при расчете большое количество различных факторов, написанных на различных языках программирования.

В данной работе рассмотрена программа для расчета зон действия молниеотводов LIGHTNING 1.1B, написанная на языке Visual Basic. Это простая программа довольно функциональна и позволяет рассчитывать молниеотводы различных типов:

- одиночный стержневой молниеотвод;
- двухстержневой молниеотвод, состоящий из двух стержневых одинаковой длины;
- двухстержневой молниеотвод, состоящий из двух стержневых разной высоты $h_1 \leq 150\text{м}$ и $h_2 \leq 150\text{м}$;
- одиночный тросовой молниеотвод;
- двухтросовой молниеотвод, состоящий из двух одиночных тросовых одинаковой высоты $h \leq 150\text{м}$.

Расчет производится с учетом грозовой активности района, в котором будет установлен данный молниеотвод.

Формула для нахождения ожидаемого количества поражений молнией в год зданий и сооружений, не оборудованных молниезащитой имеет вид:

$$N = (S + 6h)(L + 6h)(10^{-6})n,$$

где S, L – ширина и длина защищаемого здания (сооружения), имеющего в плане прямоугольную форму, м;

h – наибольшая высота здания(сооружения), м;

n – среднегодовое число ударов молнии в 1 кв.км земной поверхности в месте расположения здания(сооружения).

Для расчета зоны действия исследуемого молниеотвода с помощью программы LIGHTNING 1.1B необходимо выполнить следующие действия:

- запустить файл reg_dll.exe;
- установить длину, ширину и высоту здания или сооружения, которое собираетесь защищать, как показано на рисунке 1;

Рисунок 1

- щелкнуть по последнему текстовому полю (желтое) и выберете n - среднегодовое число ударов молнии в 1 кв.км земной поверхности в месте расположения здания(сооружения) щелчком на соответствующем текстовом поле в нижней правой части карты - рисунок 2;

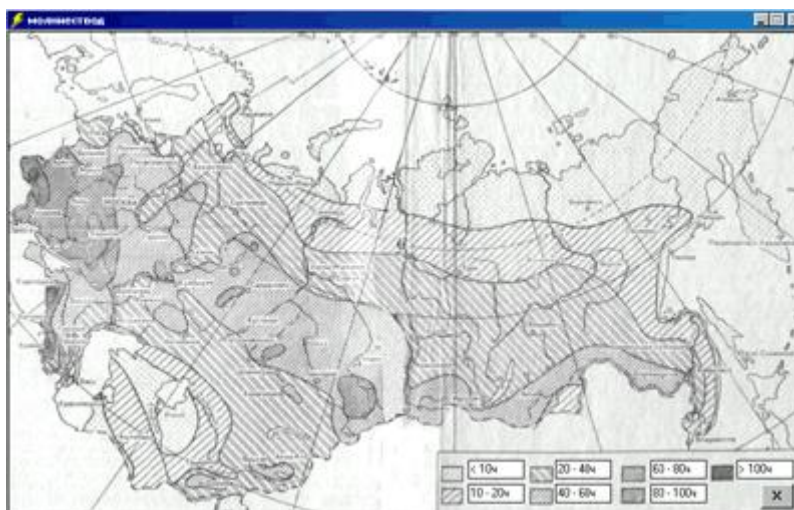


Рисунок 2

- выберете из базы данных категорию защищаемого здания/сооружения;

Рисунок 3

- согласно рисунку 3, выберете зону защиты: А или Б (щелкните на выбранное желтое поле) в соответствии с N (ожидаемое количество поражений молнией);

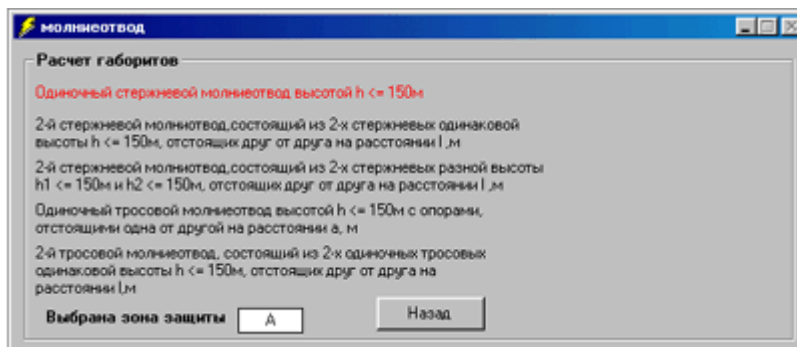


Рисунок 4

– согласно рисунку 4, выберите из 5-ти схем соответствующую вам и щелкните;

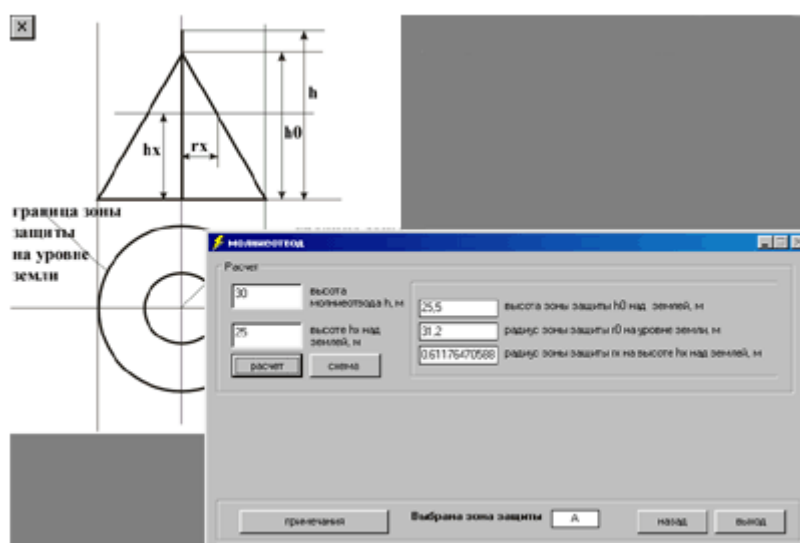


Рисунок 5

– как показано на рисунке 5, установите значения в левых текстовых полях и нажмите кнопку "Расчет".

Литература

- 1 www.help.abiturcenter.ru/since/dis/bgd/index.php
- 2 Коткин Г. Л., Черкасский В. С. Компьютерное моделирование физических процессов: Учебное пособие. – Новосибирский университет. Новосибирск, 2001.– 173 с.: ил.
- 3 ПУЭ (7-е изд., п. 7.1.22).

УДК 621.311 (075.8)

Практические методы расчета электродинамических усилий

Гуриш В.В., Коваль А.А.

Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

В данной работе рассмотрены практические методы, предлагаемые для расчёта электродинамических усилий в токоведущих проводах. Рассматриваемые методы, названные практическими, в том смысле, что при их использовании нет необходимости проводить сложные расчёты, поскольку многие формулы отличаются своей простотой, а сложные аналитические методы сведены к семействам кривых. Следует отметить, что в основном силы определяются для плоскопараллельных магнитных полей и эти силы везде отнесены к единице длины токоведущей системы.

К токоведущим системам относятся: уединённый проводник с заданным током, уединённая система проводников с токами, замкнутые контуры с током, узел ответвления тока, система прямолинейных проводников, расположенных около бесконечно протяжённого проводящего листа, прямолинейные проводники с током, расположенные в идеально проводящем экране прямоугольного сечения, два прямолинейных проводника с током, расположенных в общем проводящем экране круглого сечения, три прямолинейных проводника с током, расположенных на одной горизонтали в общем идеально проводящем экране круглого сечения.

Рассмотрим аналитический метод расчета электродинамических усилий на примере одного проводника с током, расположенного на высоте $b/2$ над осью OX (рисунок 1).

Постановка задачи: рассчитать электродинамические усилия в проводниках с током, расположенных в идеально проводящем экране прямоугольного сечения.

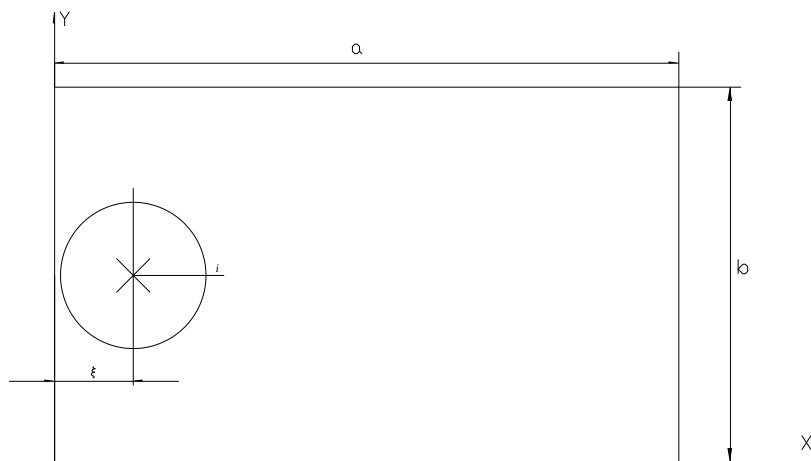


Рисунок 1

Результирующая электродинамическая сила равна:

$$f = \frac{\mu_0 i^2}{2b} \left(\operatorname{csch} \pi \frac{2\xi}{b} - \operatorname{csch} \pi \frac{2a-2\xi}{b} + \operatorname{csch} \pi \frac{2a+2\xi}{b} - \operatorname{csch} \pi \frac{4a-2\xi}{b} \right).$$

Анализ электродинамической силы

Зависимость электродинамической силы от высоты экрана

$\text{ORIGIN} := 1$
 $i := 1..10$
 $i1 := 10$
 $\varepsilon := 0.001$
 $a := 0.001$
 $\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$

$b := \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ 0.4 \\ 0.5 \\ 0.6 \\ 0.7 \\ 0.8 \\ 0.9 \\ 1 \end{pmatrix}$

$$f_i := \mu_0 \frac{i1^2}{2 \cdot b_i} \cdot \left(\operatorname{csch} \left(\pi \frac{2 \cdot \varepsilon}{b_i} \right) - \operatorname{csch} \left(\pi \frac{2 \cdot a - 2 \cdot \varepsilon}{b_i} \right) + \operatorname{csch} \left(\pi \frac{2 \cdot a + 2 \cdot \varepsilon}{b_i} \right) - \operatorname{csch} \left(\pi \frac{4 \cdot a - 2 \cdot \varepsilon}{b_i} \right) \right)$$

Рисунок 2 – Решение поставленной задачи аналитическим методом

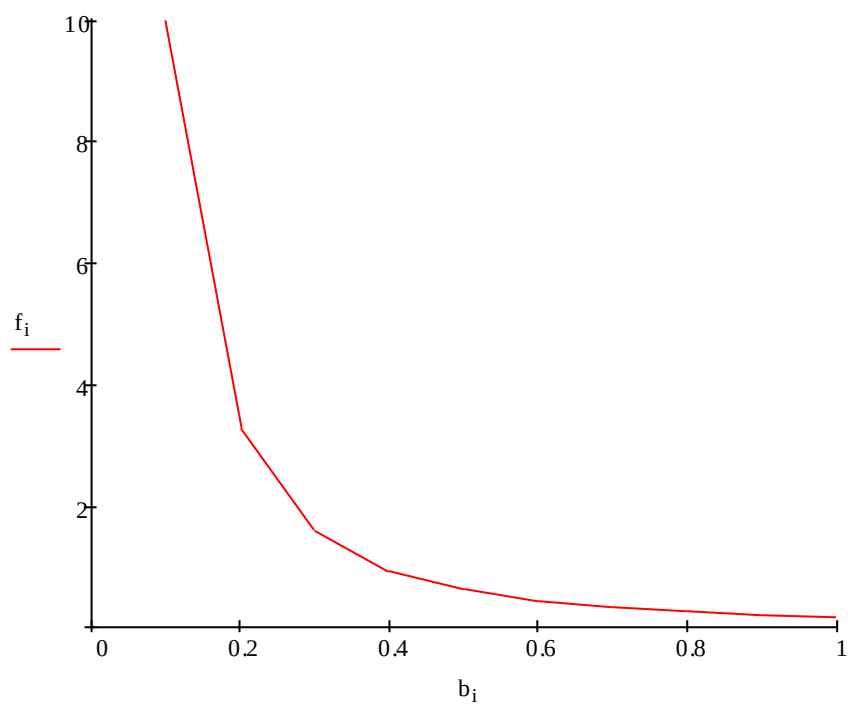


Рисунок 3 – Графическое представление полученного результата

Зависимость электродинамической силы от силы тока

$\text{ORIGIN} := 1$
 $i := 1..10$
 $\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$
 $b := 0.1$
 $\varepsilon := 0.01$
 $a := 0.01$

$i_1 := \begin{pmatrix} 0 \\ 200 \\ 300 \\ 400 \\ 500 \\ 600 \\ 700 \\ 800 \\ 900 \\ 1000 \end{pmatrix}$

$$f_i := \mu_0 \frac{(i_1)^2}{2b} \cdot \left(\operatorname{csch} \left(\pi \frac{2\varepsilon}{b} \right) - \operatorname{csch} \left(\pi \frac{2a-2\varepsilon}{b} \right) + \operatorname{csch} \left(\pi \frac{2a+2\varepsilon}{b} \right) - \operatorname{csch} \left(\pi \frac{4a-2\varepsilon}{b} \right) \right)$$

Рисунок 4 – Решение поставленной задачи аналитическим методом

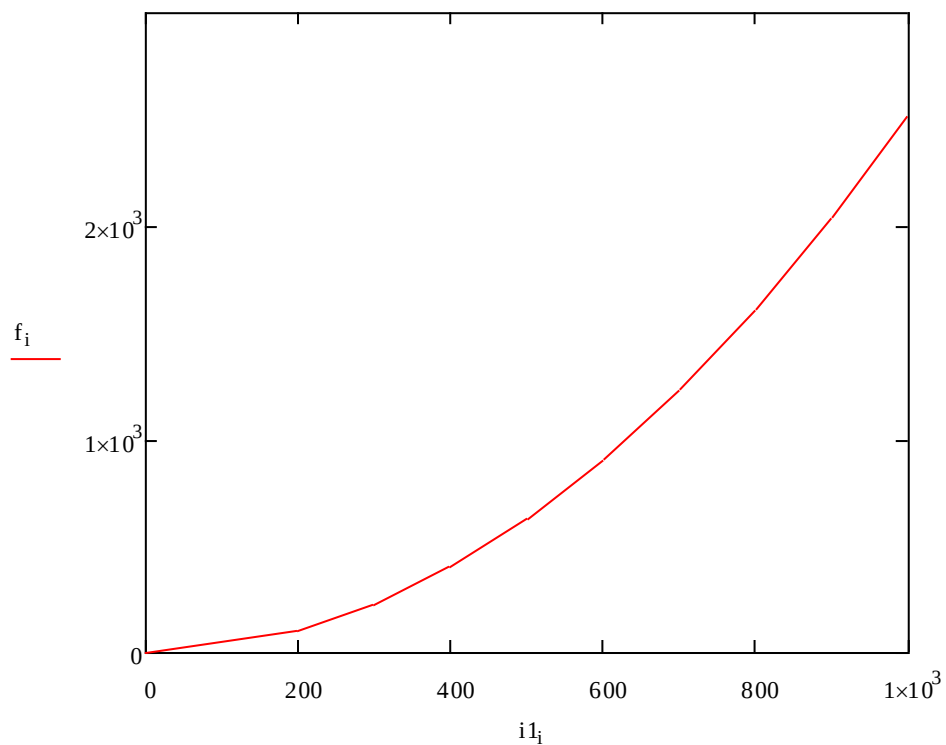


Рисунок 5 – Графическое представление полученного результата

Зависимость электродинамической силы от ширины экрана

```

ORIGIN:=1
i:=1..10
μ0:=4·π·10-7
ε:=0.01
b:=0.8
i1:=10
a:=
    (0.1)
    (0.2)
    (0.3)
    (0.4)
    (0.5)
    (0.6)
    (0.7)
    (0.8)
    (0.9)
    (1)

```

$$f_i := \mu_0 \frac{(i1)^2}{2b} \cdot \left(\operatorname{csch} \left(\pi \frac{2\varepsilon}{b} \right) - \operatorname{csch} \left(\pi \frac{2a_i - 2\varepsilon}{b} \right) + \operatorname{csch} \left(\pi \frac{2a_i + 2\varepsilon}{b} \right) - \operatorname{csch} \left(\pi \frac{4a_i - 2\varepsilon}{b} \right) \right)$$

Рисунок 6 – Решение поставленной задачи аналитическим методом

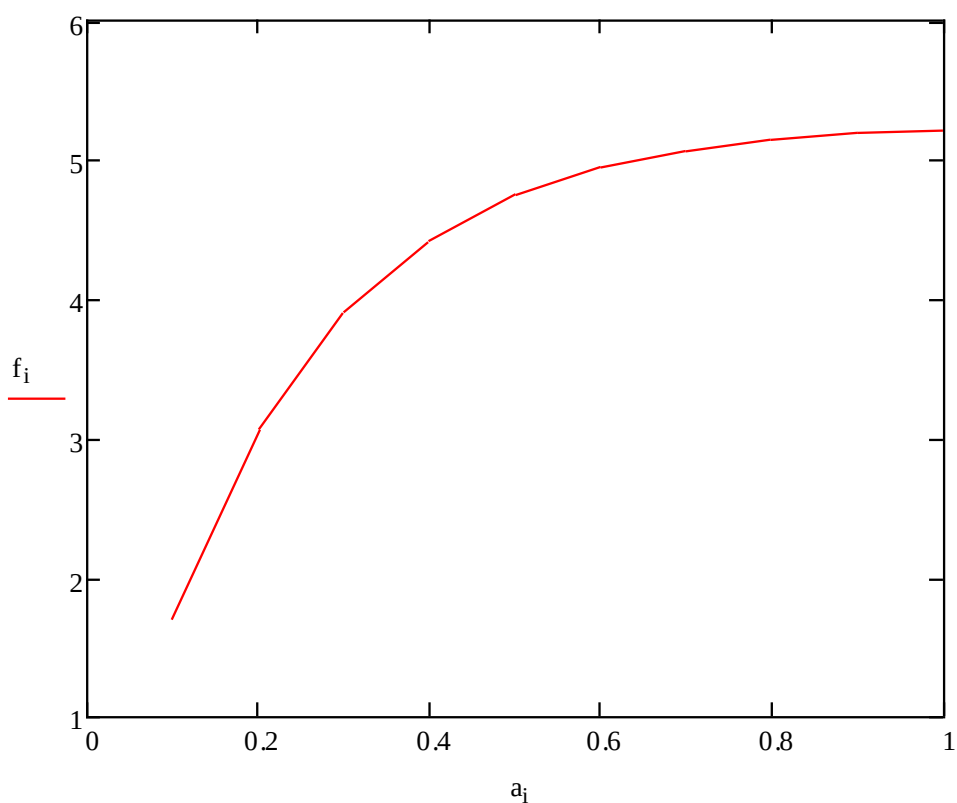


Рисунок 7 – Графическое представление полученного результата

Зависимость электродинамической силы от тока в проводнике и ширины экрана

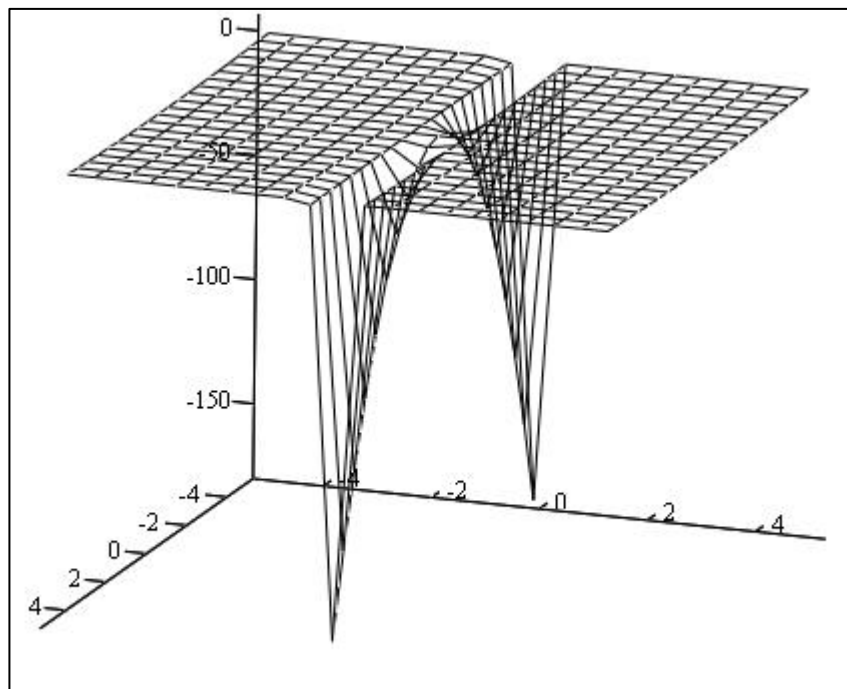
$$b_{\text{эк}} := 0.1$$

$$\varepsilon_{\text{эк}} := 0.1$$

$$\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

$$f(i1, a) := \mu_0 \frac{(i1)^2}{2b} \cdot \left(\operatorname{csch} \left(\pi \frac{2\varepsilon}{b} \right) - \operatorname{csch} \left(\pi \frac{2a-2\varepsilon}{b} \right) + \operatorname{csch} \left(\pi \frac{2a+2\varepsilon}{b} \right) - \operatorname{csch} \left(\pi \frac{4a-2\varepsilon}{b} \right) \right)$$

Рисунок 6 – Решение поставленной задачи аналитическим методом



f

Рисунок 7 – Решение поставленной задачи аналитическим методом

Литература

1. Кузнецов И.Ф., Цицикян Г.Н. Электродинамические усилия в токоведущих частях электрических аппаратов и токопроводах. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 176 с.

УДК 621.311.1

Воздушные ЛЭП УВН

Голоднюк Д.Е., Романовский В.К.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Опоры ЛЭП – это конструкции, которые служат для поддержания над земной поверхностью проводов под напряжением и грозозащитных тросов. Они существуют различных форм и размеров. Опоры бывают железобетонными, деревянными либо металлическими. Основные элементы опоры линий электропередачи: стойки, фундаменты, траверсы (перекладины на которых держатся провода), тросостойки (острые верхушки на некоторых опорах) и оттяжки. Различают анкерные и промежуточные опоры линий электропередачи.

Класс: А-образные

Классические, самые распространенные и универсальные из всех опор ЛЭП высокого напряжения (от 35 кВ до 1500кВ)

Класс: Портальные опоры

Семейство: Ортопортальные.

Опоры из металла, дерева или бетона, напоминающие букву «П» либо букву «Н», имеющие два основания и общие траверсы. Пользуются особо широким распространением на ВЛ 330-500 кв. Как правило, одноцепные.

Семейство: Метапортальные опоры.

Анкеры, иногда напоминающие букву «т». От обычных порталных отличаются тем, что имеют более двух оснований.

Семейство: Протопортальные .

Зачастую это древние, одноцепные опоры, у которых портал ещё окончательно не сформировался. Имеется сrostок между стенками портала.

Класс: АП-образные

Интересные одноцепные опоры, собранные из сварных металлических труб либо дерева, в профиль напоминающие букву «А», в анфас букву «П».

Класс: Пирамидальные (трехстоечные)

Трёхстоечные мачты, как правило, стоят на поворотах и переходах ЛЭП 500кВ и 750кВ. По сути, это А-образные вышки с очень широкой базой, обычно без траверс.

Класс: Л-образные (качающиеся)

Представляют собой плоские Л-образные конструкции, шарнирно сочленённые с двумя фундаментами. Наверху мачты – траверса для крепления 4-х несущих тросов, удерживающих опору в вертикальном положении. Ниже расположены ещё три (реже две) траверсы, для подвеса проводов. Л-образные вышки применялись, в частности, как переходные для двух цепей ВЛ 110кВ или 220 кВ.

Класс: У-образные («рюмки»)

Одноцепные мачты напоминающие букву «У» или вилку. Существуют разных типоразмеров и применяются достаточно давно, в том числе как переходные (например ПС-101). Всегда выполнены из металла.

Класс: Дельтовидные Одноцепные опоры

Опоры, всегда имеющие широкую базу, а верхушкой они напоминает У-образные мачты. Широко распространены на Западе (особенно в США).

Класс: Столбовые опоры

Опоры, в основе которых, деревянные либо железобетонные столбы. Бывают одностоечные и порталные. Одностоечные опоры из железобетона – самые широко распространенные промежуточные вышки ЛЭП из всех, на напряжении 35-220 кв

Класс: V-образные

Промежуточные опоры с оттяжками, применяемы на трассах ВЛ 330-750 кВ, в частности, опоры типа «Набла» на 750 кВ напоминают перевернутый треугольник – наблу. Исключительно одноцепные.

Класс: Эпсилон-образные

Применяются на ЛЭП сверхвысокого и ультравысокого напряжения. Основание мачты представляет собой заземлённую консоль, мачта устанавливается с оттяжками. По назначению аналогичны «Набла».

Класс: Опоры типа «СОМВ» (КОМБ)

Могут иметь различное количество траверсов. Главная черта опоры – асимметричность. В некоторых случаях, в анфас, вышка может напоминать букву «F». Наблюдается некоторое генетическое сходство с А-образными опорами: т.к. на них может присутствовать очень незначительное расширение опоры от базы к верхушке. Нестандартные опоры. К ним относятся различные не классифицируемые вышке, нестандартные проекты и прочая экзотика, например Х-образные вышки из труб.

Первая ЛЭП с номинальным напряжением 110 кВ была построена в 1922 г., 220 кВ – в 1933 г., 500 кВ – в 1961 г. Суммарная протяженность электрических сетей с напряжением 35–500 кВ в 1980 г. достигла в СССР почти 740 тыс. км.

В 1981 г. суммарная мощность электростанций страны достигла 270 ГВт, а годовая выработка электроэнергии – 1325 млрд. кВт ч. В последние два десятилетия ежегодно вводилось в действие до 10-12 ГВт новых мощностей. Если электрические сети с напряжением 400–550 кВ получили распространение в большинстве стран с развитой энергетикой, то линии сверхвысокого напряжения (СВН) 750 кВ освоены только в некоторых странах: Канаде (1965 г.), СССР (1967 г.) и США (1969 г.) и др. К началу 1980 г. их суммарная протяженность в названных странах достигла примерно 10 тыс. км. Пропускная способность таких ЛЭП составляет 2–2,5 ГВт.

При всех своих достоинствах ЛЭП 750 кВ не смогли рационально решить все назревшие задачи развития электроэнергетики СССР. В связи с этим в десятой пятилетке были проведены весьма крупные по масштабам научные исследования и выполнены проектно-конструкторские проработки ЛЭП УВН 1150 кВ переменного тока и 1500 кВ постоянного тока.

Главным стимулом научных исследований в этой области техники служат постоянно растущие потребности электроэнергетики в ЛЭП все более высокого напряжения; сегодня требованием практики стало промышленное освоение линий УВН, у которых испытательные напряжения достигают 2500–4500 кВ.

Работы по освоению ЛЭП УВН (1000–1200 кВ) переменного тока были начаты в различных странах примерно в 70-х годах. Для этих целей были построены испытательные высоковольтные стенды и опытные линии УВН в США, Канаде, Италии, Бразилии и Японии. В тот же период подобный экспериментальный полигон был сооружен в Советском Союзе.

Ввиду взаимной проницаемости электромагнитных полей в любой области пространства в один и тот же момент времени существуют поля различных источников. Согласно ГОСТ Р 50397-92, совокупность электромагнитных полей и процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах, называется электромагнитной обстановкой (ЭМО).

На формирование ЭМО оказывают влияние следующие факторы:

- разновидность источников ЭМП;
- амплитудно-временные характеристики ЭМП;
- состояние среды в рассматриваемой области;
- расстояние от источников ЭМП до рассматриваемой области.

Особенностями ЭМО на объектах электроэнергетики является наличие высокой напряжённости электрического поля промышленной частоты (до 25 кВ и выше) и напряжённости магнитного поля промышленной частоты (до 1000 А/м и выше).

Наиболее распространенными источниками ЭМП промышленной частоты являются воздушные ЛЭП.

Электрические и магнитные поля, создаваемые воздушными ЛЭП СВН и УВН, могут оказывать неблагоприятное воздействие на обслуживающий персонал и на людей, проживающих в зоне влияния ЛЭП, а также на автоматические системы технологического управления объектами электроэнергетики.

ЭМО вокруг воздушных ЛЭП сверхвысокого и ультравысокого напряжения создают также электрические поля, возникающие при коронном разряде.

Поскольку электрические и магнитные поля промышленной частоты могут оказывать на человека негативное воздействие, то весьма важной задачей является определение границ напряженности, при которых такое воздействие отсутствует. Эти значения устанавливаются нормативными документами.

В нашей стране гигиенические нормы на допустимые уровни напряженности электрического поля установлены санитарными нормами и правилами защиты населения от воздействия электрического поля ЛЭП СВН СанПиН 2.2.4.1191-03. Согласно этим нормам допускаются следующие уровни напряжённости электрического поля:

- внутри жилых зданий, где возможно постоянное пребывание людей, напряжённость не должна превышать 0.5 кВ/м;
- на балконах, лоджиях, мансардах и верандах жилых и общественных зданий, включая и садовые домики, а также на территории жилой застройки и гаражных кооперативов, на остановках общественного транспорта, где возможно длительное систематическое пребывание людей, напряжённость поля не должна превышать 1.0 кВ/м;
- в населённой местности, находящейся вне жилой застройки (пригородные зоны, курорты, земли сельских населённых пунктов), а также территории огородов и садов напряжённость поля не должна превышать 5 кВ/м;
- на участках пересечения воздушных ЛЭП с автодорогами напряжённость поля должна быть не более 10 кВ/м;
- в ненаселённой местности (земли, часто посещаемые людьми и доступные для проезда транспорта), где возможно несистематическое пребывание людей, напряжённость поля не должна превышать 15 кВ/м;
- в труднодоступной местности, где возможно лишь кратковременное пребывание человека, а появление транспортных средств исключено, напряжённость поля не должна превышать 20 кВ/м;

Для активной защиты населения от электрического поля устанавливают санитарно-защитные зоны воздушных ЛЭП. Это территория вдоль трассы ЛЭП, внутри которой напряжённость поля превышает 1 кВ/м.

Предусмотрены минимальные расстояния, на которые могут приближаться ЛЭП напряжением 750 и 1150 кВ к населённым пунктам: 250 и 300 м соответственно.

Другим фактором, оказывающим существенное влияние на условия работы в санитарно-защитной зоне, является ток, стекающий с проводящего, но изолированного объекта при прикосновении к нему. Величина этого тока должна быть безопасна для местного населения, причём необходимо учитывать возможность соприкосновения с этими объектами не только мужчин, но также женщин и детей.

Вышесказанное регламентирует условия труда и нахождения местного населения в охранный зоне ЛЭП 750 кВ и выше.

Литература

1. Солдаткина Л.А. Электрические сети и системы. – М.: Энергия, 1978.
2. Блок В.М. Электрические сети и системы. – М.: Высшая школа, 1986.
3. Совалов С.А. Режимы Единой энергосистемы. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

УДК 621.316 (083.13)

Конструкции молниеотводов и грозозащитных тросов

Будников М.В.

Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

В данной работе будут рассмотрены конструкции молниеотводов и грозозащитных тросов. Молния – колоссальный электрический разряд, способный нанести повреждения строению, вызвать пожар и привести к поражению электрическим током людей. Молниезащита – это обязательная часть любого здания. Без системы молниезащиты здание и соответственно, люди и имущество находящиеся в нем, беззащитны перед ударом стихии. Молниезащита нужна для защиты от прямого удара молнии в здание, защиты от вторичных её проявлений, таких как перенапряжения (наводки, возникающие в электрических цепях при грозовом разряде), проще говоря – для того, чтобы сберечь Вашу жизнь и имущество.

Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений, относимых по устройству молниезащиты к I категории, должна выполняться отдельно стоящими стержневыми (рисунок 1.6а) или тросовыми (рисунок 1.6б) молниеотводами.

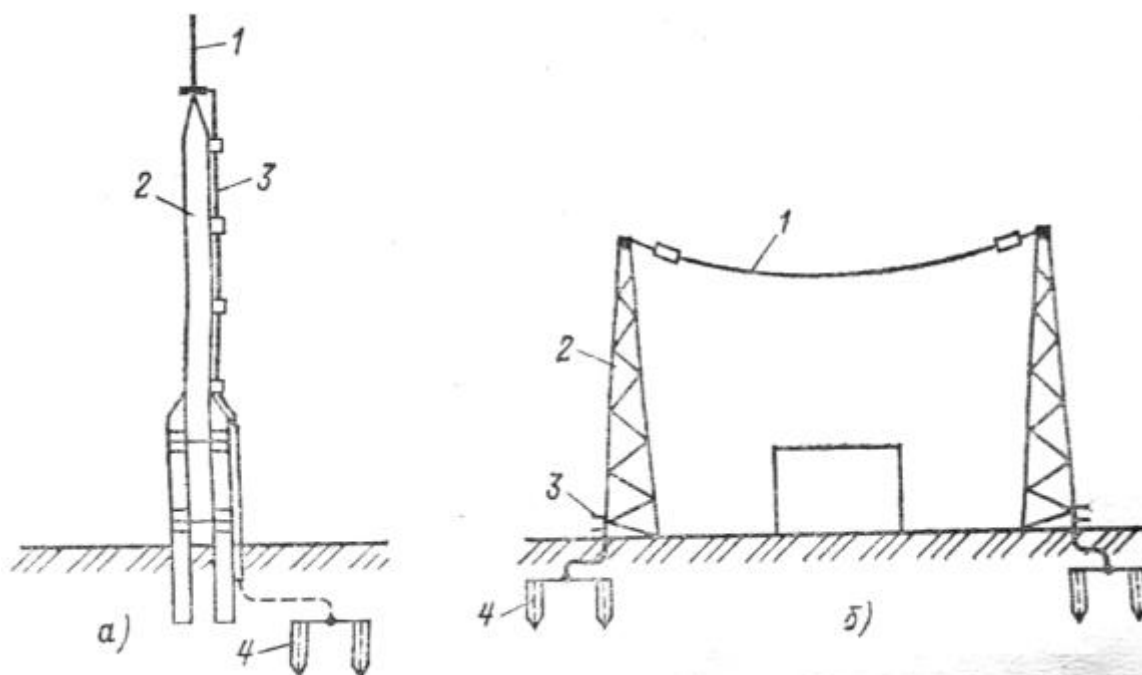


Рисунок 1.6 – Конструкция стержневого (а) и тросового (б) молниеотводов: 1 – молниеприемник, непосредственно принимающий прямой удар молнии; 2 – несущая конструкция, предназначенная для установки молниеотвода; 3 – токоотвод, обеспечивающий отвод молнии в землю; 4 – заземлитель, отводящий ток молнии в землю.

Стержневой молниеприемник: прутки и водогазопроводные трубы.

Тросовый молниеприемник: стальной оцинкованный спиральный канат марки ТАК КАК сечением 48,26 кв.мм.

Токоотвод: круглая сталь и стальной канат диаметром 5-6 мм или полосовая сталь с площадью поперечного сечения 24 и 48 кв.мм.

Молниеотводы «пространственная клетка» состоит из проводящей сети, которая защищает строения, находящиеся внутри нее. Она состоит из ячеек 15 на 15 метров, расположенных на крыше, с рядом воздушных наконечников (от 30 до 50 см высотой), и подключенных к заземлению проводниками с шагом 15 метров. Каждый заземляющий проводник имеет свою собственную отдельную точку заземления, которые по кругу под землей соединяются кольцом

Пример решения молниезащиты дома с помощью такого молниеприемника показан на рисунке 1.12.

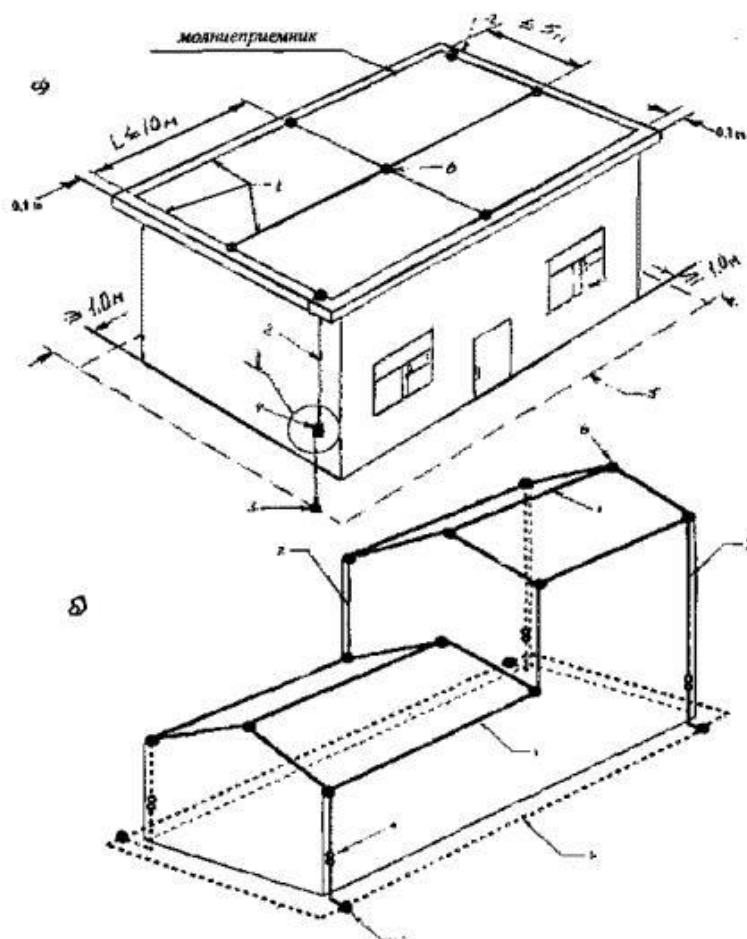


Рисунок 1.12 – Примеры устройства сетчатых молниеотводов на односкатной (а) и на двухскатной двухуровневой (б) крыше: 1 – проводник молниеприемника сетчатого молниеотвода; 2 – токоотвод; 3 – сварной контакт токоотвода с заземлителем; 4 – соединительный зажим для замера сопротивления заземлителя; 5 – протяженный заземлитель; 6 – соединительный зажим молниеприемника

Для «неответственных» объектов на приусадебных участках и садовых домиков с неметаллической кровлей целесообразно применение упрощенной молниезащиты с помощью струнных молниеприемников. Зона применимости этих молниеприемников – кровли с углом не более 100° . Пример устройства молниезащиты дома с помощью струнного молниеотвода представлен на рисунке 1.13.

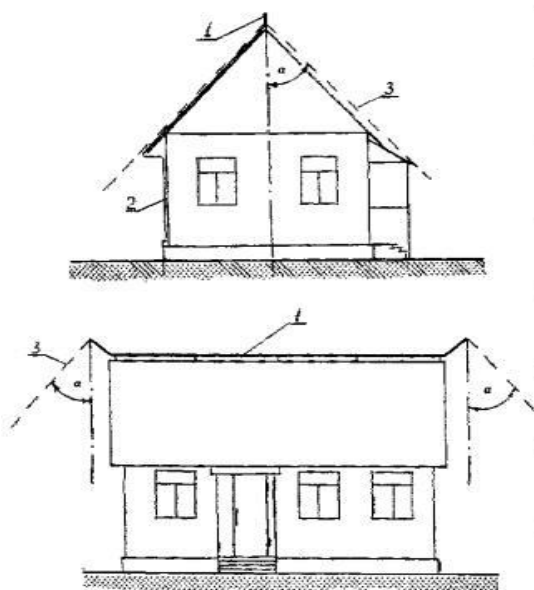


Рисунок 1.13 – Пример устройства молниезащиты дома с помощью струнного молниеотвода: 1 – струнный молниеприемник; 2 – токоотвод; 3 – защитная зона; 4 – защитный угол

В качестве молниеотводов для защиты отдельных зданий от прямых ударов молнии могут быть использованы деревья.

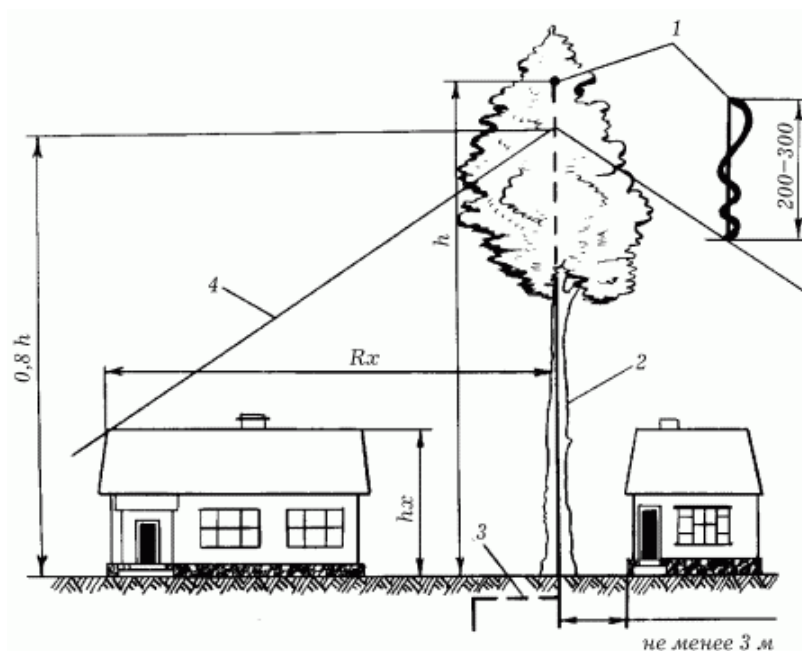


Рис. 1.16. – Молниезащита небольших домов с использованием дерева в качестве несущей конструкции: 1 – молниеприемник; 2 – токоотвод; 3 – заземлитель; 4 – граница зоны защиты молниеотвода; R_x – радиус защиты на высоте h_x

Грозозащитный трос подвешивается над токоведущими проводами и заземляется у каждой опоры.

Обычно делают токопровод из стальных оцинкованных проволочек; сечение его от 50 до 70 мм. Защищенность токопровода зависит от угла защиты: при угле меньше 20° поражение молнией становится маловероятным.

В линиях на металлических опорах с напряжением 110 кВ и выше подвешивают обычно грозотрос по всей длине линии. Пример грозозащитного троса ГОСТ 3064-80 представлен на рисунке 1.19.

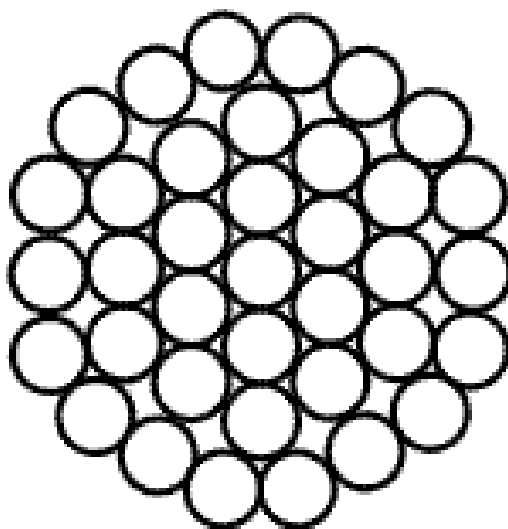


Рисунок 1.19. – Грозотрос ГОСТ 3064-80

Литература

1. ИЕС-1024-1: 1990. Защита сооружений от удара молнии. Часть 1: Общие принципы.
2. ПУЭ (7-е изд., п. 7.1.22)
3. СО 153-34.21.122-2003. Стандарт и инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

УДК 621.311.1

Гололедообразование на проводах воздушных линий

Маковский К.О., Сузин Е.А.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Воздушной линией электропередачи называется устройство для передачи электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам и стойкам на инженерных сооружениях. Воздушные линии (ВЛ) электропередачи проходят в различных климатических районах и в ряде случаев прочность элементов ВЛ оказывается ниже действующих на них реальных нагрузок от ветра и гололеда. При этом нередко сочетание ветра и гололеда приводит к возрастанию нагрузок, действующих на элементы ВЛ в динамическом режиме пляски проводов.

Определение расчетных климатических условий, интенсивности грозовой деятельности и пляски проводов для расчета и выбора конструкций ВЛ должно производиться на основании карт климатического районирования с уточнением по региональным картам и материалам многих наблюдений гидрометеорологических станций и метеопостов управлений гидрометеослужбы и энергосистем за скоростью ветра, интенсивностью и плотностью гололедноизморозевых отложений и температурой воздуха, грозовой деятельностью и пляской проводов в зоне трассы сооружаемой ВЛ.

Расчет ВЛ по нормальному режиму работы необходимо производить для следующих сочетаний климатических условий:

- высшая температура, ветер и гололед отсутствуют;
- низшая температура, ветер и гололед отсутствуют;
- среднегодовая температура, ветер и гололед отсутствуют;
- провода и тросы покрыты гололедом, температура минус 5°C, ветра нет;
- максимальный нормативный скоростной напор ветра, температура минус 5°C, гололед отсутствует;
- провода и тросы покрыты гололедом, температура минус 5°C, скоростной напор ветра 0,25. В районах с толщиной стенки гололеда 15 мм и более скоростной напор ветра при гололеде должен быть не менее 14 даН/м;
- Фактические сочетания скоростных напоров ветра и размеров отложений гололеда на проводах и тросах при температуре минус 5° С в режимах;
- Максимальное отложение гололеда на проводах и тросах и скоростной напор ветра при этом отложении;
- Максимальный скоростной напор ветра и отложения гололеда на проводах и тросах при этом скоростном напоре.

Причиной повышенной уязвимости ВЛ в "проблемных районах", как правило, является несовершенство действовавших норм, не позволивших правильно определить необходимую прочность элементов ВЛ, для которых главными исходными показателями являются климатические условия. В некоторых случаях этому способствовали ошибки проектирования и монтажа ВЛ.

Сигнализатор гололеда настроен на непрерывные измерения нагрузок, действующих на гирлянды изоляторов, а в том случае, когда гололедная нагрузка достигает расчетного максимального порога, дается команда на плавку гололеда.

Установленный в одной точке ВЛ сигнализатор гололеда не дает представления о том, что происходит на соседних участках ВЛ, на которых может происходить гололедообразование другого вида, интенсивности и при другой скорости ветра.

Опасная пляска проводов часто возникает при умеренных гололедных отложениях, но может носить чрезвычайно опасный характер и приводить к разрушению гирлянд изоляторов, линейной арматуры и опор ВЛ.

Анализ аварий показывает, что даже при успешном проведении плавки тяжелого гололеда, ВЛ может выйти из строя из-за динамического удара при сбросе гололеда, который приводит к обрыву гирлянд изоляторов.

Основные подходы к реконструкции участков ВЛ, проходящих в условиях экстремальных гололедно-ветровых нагрузок, так же, как и к проектированию и строительству новых ВЛ в проблемных районах должны быть следующими:

- применение сталеалюминиевых проводов с отношением площадей сечений алюминия к стали равным 1,46 (ранее обозначавшиеся типа АСУС);
- замена промежуточных и анкерно-угловых опор на опоры следующего, более высокого класса напряжения;
- уменьшение вдвое длины пролетов на участках ВЛ подверженным большим гололедно-ветровым нагрузкам путем подстановки дополнительных опор;
- установка внутрифазовых распорок – демпферов;
- установка междупазовых изолирующих распорок;
- применение гирлянд изоляторов (натяжных и поддерживающих) повышенной прочности и надежности;
- применение специальных конструкций линейной арматуры повышенной износостойкости.

При проектировании новых ВЛ необходимо правильно оценить климатические условия трассы ВЛ. При расчете конструкции ВЛ климатические нагрузки от ветра и гололеда рекомендуется принимать с вероятностью их неперевышения 0,998 (повторяемость 1 раз в 500 лет).

Литература

1. Солдаткина Л.А. Электрические сети и системы. – М.: Энергия, 1978.
2. Блок В.М. Электрические сети и системы. – М.: Высшая школа, 1986.
3. Совалов С.А. Режимы Единой энергосистемы. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

УДК 621.311 (075.8)

Конструкции компактных линий

Скорина А.Е., Шельпяков К.С.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

В данной работе рассмотрены конструкции компактных линий 220–1150 кВ. Компактными воздушными линиями электропередачи называют ВЛ, в которых провода фаз сближены до минимально допустимых расстояний с учетом технических ограничений. К таким ограничениям относятся: сближение проводов в пролете при возможных перемещениях, связанных с «пляской», сбрасыванием гололеда и несинхронными раскачиваниями; расстояния от проводов до заземленных частей опор; междофазные расстояния с учетом возможных перенапряжений и условий ограничения коронного разряда. Более расширенное понятие компактных ВЛ предполагает, кроме сближения проводов фаз, специальное расположение относительно друг друга проводов расщепленных фаз, а также увеличение их числа в фазе по сравнению с традиционными ВЛ.

Традиционные конструкции воздушных линий электропередачи высших классов напряжения характеризуются следующими показателями:

- расстояние от проводов всех трех фаз до земли одинаково;
- провода подвешены на поддерживающих гирляндах – одиночных либо сдвоенных, не обеспечивающих фиксированного положения проводов в горизонтальной плоскости в зоне опор;
- число проводов в фазе минимально необходимое по условию ограничения коронного разряда;
- расстояние между соседними проводами в фазе минимальное по условию исключения вибрации проводов под воздействием бокового ветра (0,4 м);
- конструкции опор двухстоечные с прямыми траверсами portalного или V-образного типа (рисунок 1).

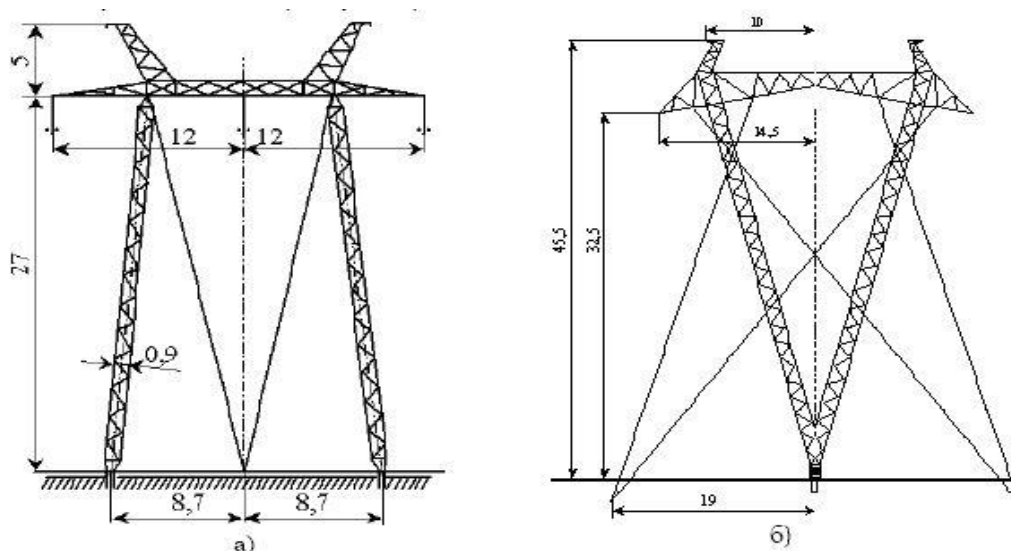


Рис. 1. Двухстоечные опоры воздушных линий традиционного исполнения: а – порталного типа 500 кВ; б – V – образная 750 кВ

Треугольное расположение фаз линии создает ряд дополнительных преимуществ, кроме уменьшения поперечных габаритов линии.

– Оно позволяет обеспечить симметрию электрических параметров линии и практически отказаться от транспозиции проводов. При этом значительно повышается натуральная мощность линии при той же конструкции проводов за счет более эффективного использования их поверхности.

– Оно позволяет значительно уменьшить размеры фаз при обеспечении максимальной пропускной способности.

– Оно позволяет уменьшить угол молниезащиты вплоть до нуля без особых усложнений конструкции опор и тем самым существенно повысить уровень грозоупорности линии.

– При этом симметрия электрических параметров трех фаз линий обеспечивается при вполне определенном увеличении высоты средней фазы по отношению к высоте крайних фаз.

С учетом изложенного для одноцепных линий сверхвысокого напряжения оптимальной является конструкция компактных опор, аналогичная конструкции опор традиционного исполнения типа «Кошка», при V-образной подвеске проводов всех трех фаз (рисунк 2).

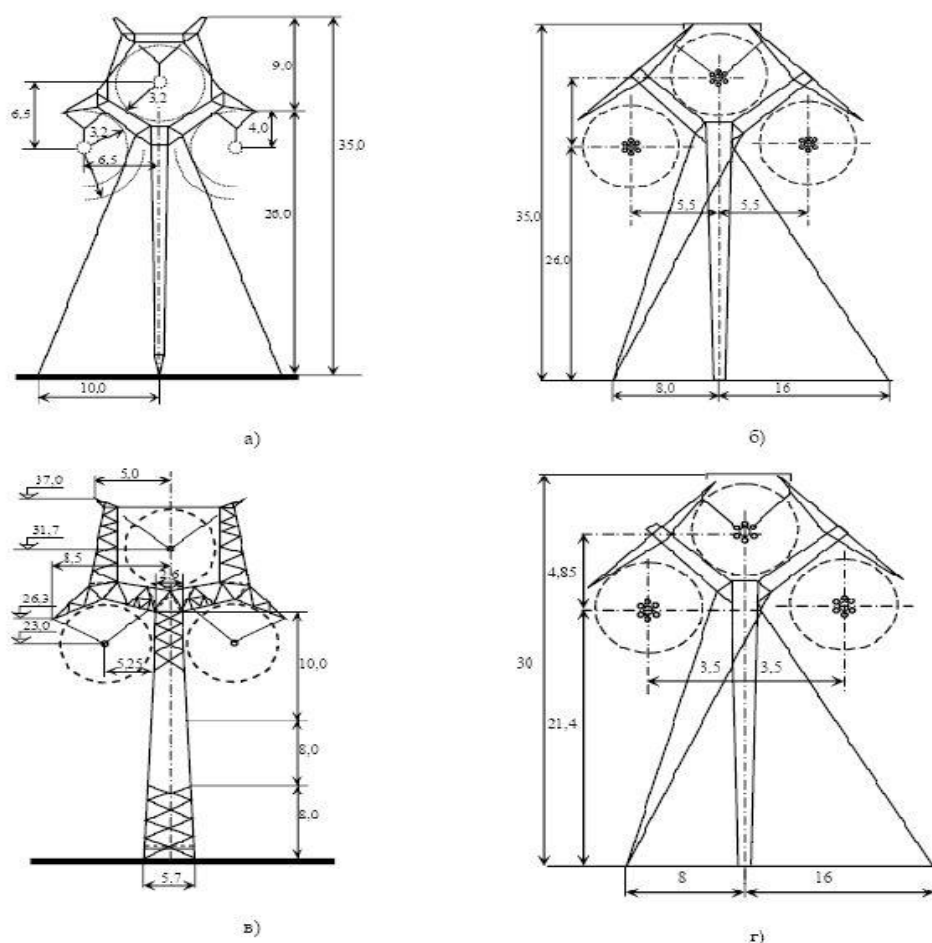


Рис. 2. Промежуточные одностоечные опоры на оттяжках (а, б) и свободная (в) для одноцепных линий 500 кВ: а – с вертикальными поддерживающими гирляндами; б, в – с V-образной подвеской трех фаз; г – опора 220 кВ.

При этом обеспечивается симметрия параметров линии, а габариты линии оказываются значительно меньше, чем при прямой траверсе, когда расстояние между

крайними фазами первой линии 1150 кВ оказалось равным 46 м. Значительно уменьшается и масса опор из-за сокращения их габаритов.

Компактную ВЛ можно создать за счет сближения проводов фаз в пролете с помощью стяжек из электроизоляционных материалов (например, стержневых полимерных изоляторов), устанавливаемых в пролетах. При этом расстояния между фазами на опорах не изменяются.

Другой путь создания компактных ВЛ – использование опор «охватывающего» типа, позволяющих располагать провода фаз по одну сторону от стойки опоры. При этом ВЛ могут выполняться с горизонтальным расположением фаз, с приподнятой либо опущенной средней фазой. Для сравнения укажем, что на ВЛ традиционных конструкций расстояния между фазами обычно принимаются: при напряжении 330 кВ – 8,4 м; 500 кВ – 12 м; 750 кВ – 13,5... 19,5 м. На опорах «охватывающего» типа при напряжении 330 кВ – 5,5...6,0 м; 500 кВ – 7,5...7,8 м; 750 кВ – 9,0... 10,0 м.

Следующая группа компактных ВЛ связана с применением расщепленных фаз нетрадиционной конфигурации. Они характеризуются тем, что расстояния между фазами уменьшены до предельно допустимых значений, а между проводами внутри фазы – увеличены, причем провода одной и той же фазы расположены определенным образом. Некоторые конструкции предполагают расщепление части фаз на две полуфазы.

К компактным линиям относятся также двух- или многоцепные ВЛ с фазовым сдвигом между двумя системами трехфазных напряжений, приложенных к разным цепям. В них фазы попарно сближаются до минимально допустимых расстояний, по одной от каждой цепи. Варианты взаимного расположения проводов фаз разных цепей показаны на рисунке 3, а примеры размещения проводов фаз на опорах – на рисунке 4.

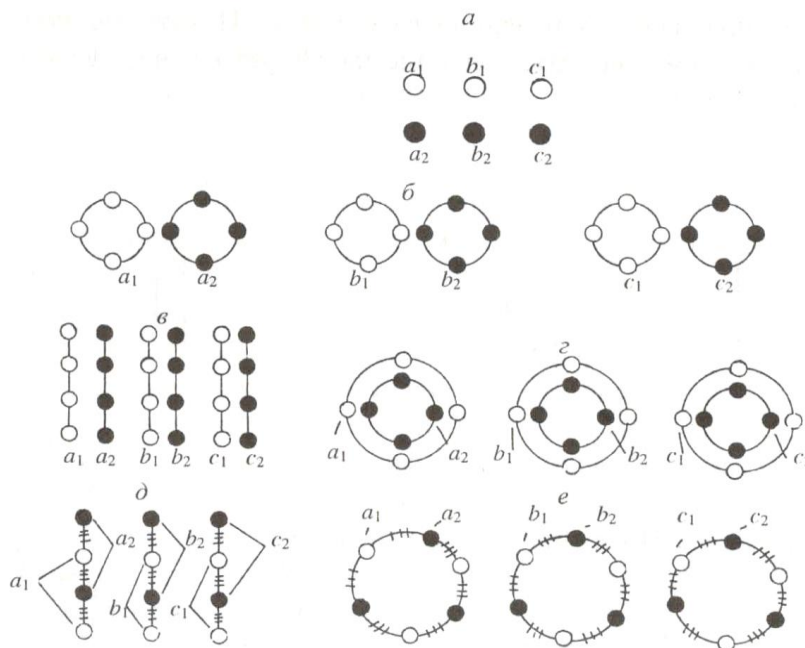


Рис. 3. Схемы расположения проводов фаз линий с фазовым сдвигом: а – с нерасщепленными фазами; б – с расщепленными фазами традиционным способом; в – с расщепленными плоскими фазами; г – с коаксиальными фазами; д – с однорядным расположением проводов в фазе; е – с контурным расположением проводов в фазе

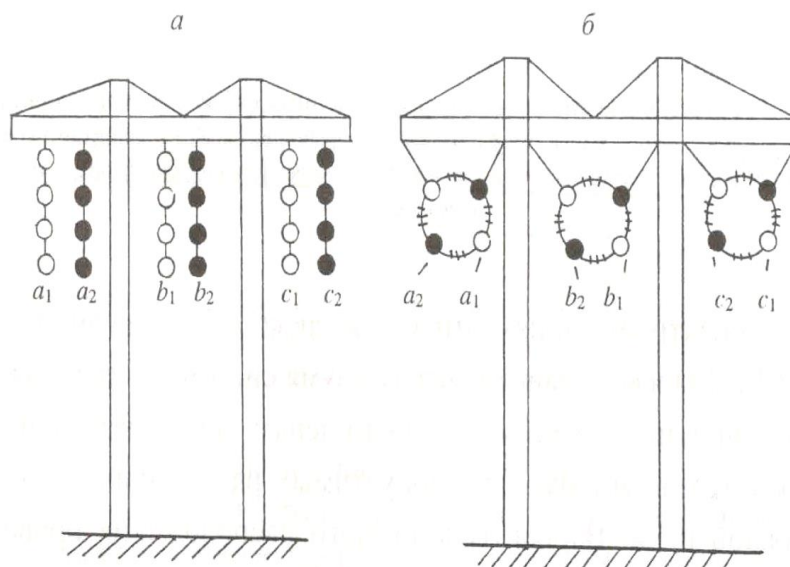


Рис. 4. Схематическое расположение проводов на опорах компактных ВЛ: а – по рисунку 3в; б – по рисунку 3е

Компактная ВЛ характеризуется уменьшенной, по сравнению с традиционными конструкциями, индуктивностью, повышенной емкостью и, как следствие, сниженным волновым сопротивлением и повышенной натуральной мощностью.

Литература

1. Электропередачи 1150 кВ: Сб. статей. В 2 ч./ Под ред. Г.А. Илларионова и В.С. Ляшенко. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 325 с.
2. Александров Г.Н. Воздушные линии повышенной пропускной способности // Электричество. – 1981. – № 7. – С. 1–6.
3. Александров Г.Н. Оптимизация конструкции воздушных линий электропередачи повышенной пропускной способности // Электричество. – 1991. – № 1. – С. 1–9.
4. Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения / Г.Н. Александров, А.В. Горелов, В.В. Ершевич и др.; Под ред. Г.Н. Александрова. – Л.: Энергоатомиздат, 1993. – 560 с.
5. Александров Г.Н. Передача электрической энергии переменным током. 2-е изд. – М.: Знак, 1998. – 271 с.

УДК 621.31(075.8)

Системы контроля гололедообразования

Моисеенко П.А., Коротченя В.И.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Образование гололеда на проводах и тросах линий электропередачи (ВЛ) может явиться причиной тяжелых аварий, связанных с короткими замыканиями, обрывами проводов и тросов и даже поломкой траверс и опор. Восстановление линий, поврежденных гололедом, требует больших затрат средств и времени. Эффективным способом обеспечения надежной работы ВЛ в гололедных районах является плавка гололеда электрическим током, которая позволяет в короткое время (0,5-1 ч) удалить гололед с десятков километров линий.

Воздушные линии сооружаются в открытой местности и поэтому подвергаются различным атмосферным воздействиям. Гололедно-изморозевые образования - под таким общим названием подразумевается образования из гололеда и изморози твердых атмосферных осадков, к числу которых относятся иней, кристаллическая изморозь, зернистая изморозь, гололед и смешанное образование гололеда и изморози, а так же мокрый снег.

Классификация гололедно-изморозевых явлений представлена в таблице 1.

Таблица 1– Классификация гололедно-изморозевых явлений

Явление погоды	Категория явления		
	Слабое	Умеренное	Опасное
Гололед	Толщина отложения 5 мм и менее	Толщина отложения 6-19 мм	Толщина отложения 20 мм и более
Изморозь	Толщина отложения до 50 мм	Толщина отложения более 50 мм	-
Налипание мокрого снега	Толщина отложения до 10 мм	Толщина отложения 11-34 мм	Толщина отложения 35 мм и более

Автоматизированная информационная система контроля гололедной нагрузки (АЙСКГН) предназначена для раннего обнаружения гололедо-образования на воздушных линиях электропередач посредством контроля изменения нагрузки на проводах ВЛ и контроля метеопараметров (температуры, влажности, направления и скорости ветра) в месте установки пункта контроля. Дополнительно АЙСКГН позволяет контролировать температуру проводов, а также обеспечивать получение фото и видеоизображения с установленных на опоре видеокамер.

Состав пункта контроля системы АЙСКГН:

– микропроцессорный линейный преобразователь МЛП-004 – обеспечивает опрос параметров, контролируемых подключенными к нему датчиками, по запросу или в автономном режиме с установленной периодичностью и передачу их в пункт приема по каналу передачи информации;

– датчик-преобразователь – обеспечивает контроль силы воздействия на датчик нагрузки (растяжения), преобразует полученное значение в физическую величину веса и выдает ответ на МЛП-004;

– датчик-преобразователь температуры и влажности – обеспечивает контроль параметров температуры и влажности, преобразует полученные значения в физические величины температуры и влажности и выдает на МЛП-004;

- датчик-преобразователь направления и скорости ветра;
- датчик контроля температуры провода.

Структура технических средств системы раннего обнаружения гололедно-изморозевых образований включает в себя технические средства информационно-контролирующей системы и системы передачи данных диспетчерскому пункту (рисунок 1).

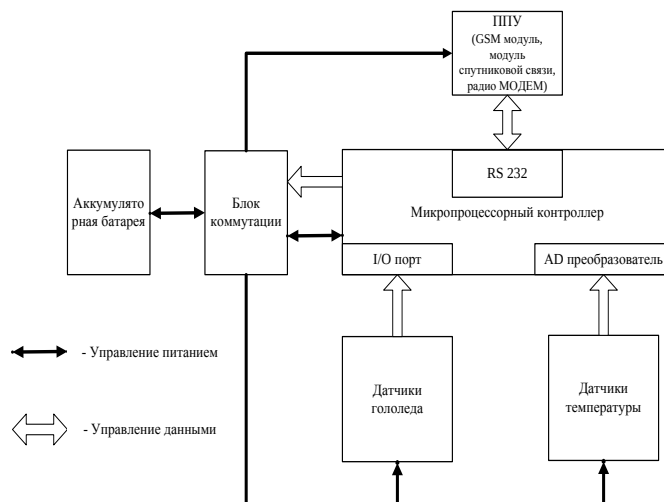


Рисунок 1 – Блок-схема системы

Основные виды систем обнаружения гололедно-изморозевых образований и их характеристики представлены на рисунке 2.

Наименование сигнализатора, системы сигнализации	Разрабо тчик	Тип инфор мации	Область примени я	Датчик гололеда	Система передачи сигнала	Источник питания КП	Количество датчиков гололеда в комплекте СГ
Система непрерывного телеконтроля гололедной и ветровой нагрузок проводов ВЛ 110-330 кВ (СТГН)	ЭСП, ВНИИЭ	I, II, III	ВЛ 110-330 кВ	БДГ-2, БДГ-6	ВЧ-канал связи	Устройство отбора мощности	4
Сигнализатор "ИНГА"	ВНИИЭ	II, III	ВЛ 110 кВ и выше	Динамометрического типа БДГ-2, БДГ-6	ВЧ-канал связи	Не требуется	7
Система телесигнализации о гололедообразовании на промышленной частоте	ЮО ЭСП	III	ВЛ 35-330 кВ с тросами	БДГ-2, БДГ-6	Грозозащитный трос (для передачи сигнала частотой 50 Гц)	Не требуется	
Сигнализатор СПГ-1, СПГ-2	МИИС П	I, II	ВЛ 6-35 кВ	Гигристор	Устройство телесигнализации УТС-2	Устройство отбора мощности	1
Сигнализатор УТС-10	МИИС П	III	ВЛ 6-10 кВ	ДГР-1	Земля (передача токов нулевой последовательности)	Устройство отбора мощности	16

Рисунок 2 – Виды систем контроля гололедообразования

Сигнализаторы гололеда могут передавать информацию об интенсивности нарастания гололеда, температуре воздуха, скорости и направления ветра, влажности воздуха, а также могут быть использованы для контроля окончания плавки гололеда.

Сигнализаторы гололеда могут выдавать информацию трех типов. Первый тип (I) – о возможности появления гололеда (по характерному сочетанию температуры воздуха, скорости ветра и влажности). Второй тип (II) – о наличии гололеда без указания его размеров и веса. И последний третий тип (III) – о весе гололеда на проводах и интенсивности его нарастания. Информация III типа может поступать в дискретном виде с выдачей одного или нескольких сигналов или с непрерывной выдачей данных.

Контролируемые пункты размещаются в местах наибольших гололедных нагрузок на трассе ВЛ, которые наблюдаются, как правило, на возвышенных участках, а также на отдаленных участках ВЛ, где затруднен визуальный осмотр линии.

В данной работе был исследован процесс гололедообразования на воздушных линиях электропередач как объект контроля, выделены признаки, позволяющие идентифицировать наличие гололеда.

Произведен анализ существующих систем обнаружения гололедно-изморозевых образований на проводах и тросах линий электропередач. Определены структура и принципы работы технических средств системы обнаружения гололедообразования. Составлена подробная принципиальная схема работы данной системы. Сформулированы требования, предъявляемые к системе раннего обнаружения гололедно-изморозевых образований на контактной сети, в соответствии с поставленными целями.

УДК

Средства защиты от перенапряжений в сетях до 1 кВ

Пашкович Н.П., Потачиц Я.В.

Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

Внезапные повышения напряжения до значений, опасных для изоляции электроустановки, называются перенапряжениями. По своему происхождению перенапряжения бывают двух видов: внешние (атмосферные) и внутренние (коммутационные).

Атмосферные перенапряжения возникают при прямых ударах молнии в электроустановку или наводятся (индуцируются) в линиях при ударах молний вблизи от них. Внутренние перенапряжения возникают при резких изменениях режима работы электроустановки, например, при отключении ненагруженных линий, отключении тока холостого хода трансформаторов, замыкании фазы в сети с изолированной нейтралью на землю, резонансных, феррорезонансных явлениях и др.

Система внутренней молниезащиты для электропитающей сети до 1000 В, состоящая из разного типа устройств защиты от импульсных перенапряжений, должна быть способна осуществить отвод грозовых токов или их большей части без повреждения самих защитных устройств. Для определения величины тока, проходящего через УЗИП первой ступени защиты в случае прямого удара молнии в здание, защищённое системой внешней молниезащиты, рекомендуется исходить из конфигурации системы заземления и уравнивания потенциалов здания, а также подведенных к нему коммуникаций (трубопроводов, электропитающих кабелей, кабелей связи и передачи информации и др.). На рисунке 1 приводится классический пример распределения грозового тока в объекте, подвергнутом прямому удару молнии (МЭК 61024-1-1; МЭК 61643-12).

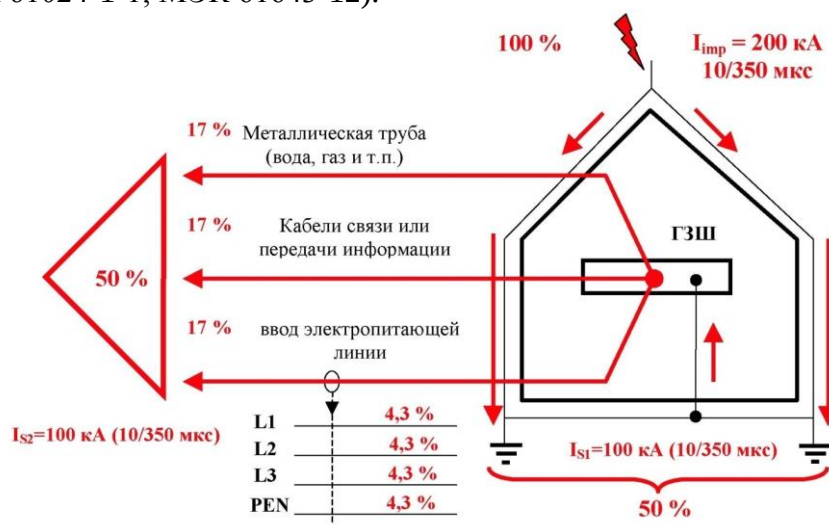


Рис. 1

Очень часто при эксплуатации телекоммуникационных и информационных систем, электронных приборов, систем автоматики и телемеханики приходится сталкиваться с отрицательным влиянием перенапряжений. Основными причинами низкой устойчивости современного оборудования к импульсным перенапряжениям являются:

- возросшая степень интеграции элементов на кристаллах интегральных схем, что приводит к уменьшению напряжения пробоя изоляционных промежутков и уменьшению энергии, достаточной для повреждения элемента БИС;

- уменьшение напряжения питания полупроводниковых приборов и уровня сигналов внутри электронных схем;
- применение импульсных выпрямителей с безтрансформаторным входом.

Возникновение импульсных перенапряжений в электропитающих сетях может привести не только к выходу из строя выпрямителей, электрических кабелей, распределительных щитов, но и к повреждению питаемого оборудования и сбоям в его работе. Согласно статистическим данным случаи повреждения сложной электронной техники из-за выбросов напряжения в распределительных сетях 220/380 В удваиваются каждые три-четыре года. Всё это вызывает повышение требований к защищенности электропитающих установок (ЭПУ) объектов и сооружений связи.

Одной из серьезных проблем в процессе организации защиты оборудования и объекта связи в целом от грозовых и коммутационных перенапряжений является то, что нормативная база в этой области до настоящего времени разработана недостаточно. Существующие нормативные документы либо содержат в себе устаревшие, не соответствующие современным условиям требования, либо рассматривают их частично, в то время как решение данного вопроса требует комплексного подхода. Некоторые документы в данный момент находятся в стадии разработки и есть надежда, что они вскоре выйдут в свет. В их основу положены основные стандарты и рекомендации Международной Электротехнической Комиссии (МЭК).

Наиболее продуманным и отвечающим современным требованиям документом в области защиты от импульсных грозовых перенапряжений в настоящее время является разработанная МЭК **зоновая концепция защиты**.

Основные ее положения приведены в стандартах IEC-1024-1 (1990-03) "Защита сооружений от удара молний. Часть 1. Общие принципы" и IEC-1312-1 (1995-02) "Защита от электромагнитного импульса молнии. Часть 1. Общие принципы". Суть данной концепции заключается в том, что объект, подлежащий молниезащите (защите от перенапряжений), разбивается на три условных зоны. Предусматривается последовательное снижение уровня перенапряжений от зоны 0 к зоне 1 и далее к зоне 2, в которой устанавливается оборудование. Границей зоны 0 и зоны 1 служит внешний контур заземления и стены здания. Для систем электропитания границей этих зон является вводный щит здания. Границей зон 1 и 2, как правило, является токораспределительный щит.

Зона 0_А: Зона внешней среды объекта, все точки которой могут подвергаться воздействию прямого удара молнии (иметь непосредственный контакт с каналом молнии) и возникающего при этом электромагнитного поля.

Зона 0_В: Зона внешней среды объекта, точки которой не подвергаются воздействию прямого удара молнии (ПУМ), так как находятся в пространстве, защищенном системой внешней молниезащиты. Однако в данной зоне имеется воздействие неослабленного электромагнитного поля.

Зона 1: Внутренняя зона объекта, точки которой не подвергаются воздействию прямого удара молнии. В этой зоне токи во всех токопроводящих частях имеют значительно меньшее значение по сравнению с зонами 0_А и 0_В. Электромагнитное поле также снижено по сравнению с зонами 0_А и 0_В за счет экранирующих свойств строительных конструкций.

Последующие зоны (Зона 2, и т.д.). Если требуется дальнейшее снижение разрядных токов или электромагнитного поля в местах размещения чувствительного оборудования, то необходимо проектировать так называемые последующие зоны. Критерий для этих зон определяется соответственно общими требованиями по ограничению внешних воздействий, влияющих на защищаемую систему. Имеет место общее правило, по которому с увеличением номера защитной зоны уменьшаются влияние электромагнитного поля и грозового тока. На границах раздела отдельных зон

необходимо обеспечить защитное последовательное соединение всех металлических частей, с обеспечением их периодического контроля.

Примечание: Способы образования связей на границах разделов между зонами, принципы размещения оборудования, обеспечения его экранирования, методы расчетов приведены в стандарте IEC 62305-4 «Защита от удара молнии. Часть 4. Электрические и электронные системы внутри сооружений». На распределение энергии электромагнитных полей внутри объекта оказывают влияние различные элементы строительных конструкций такие как: отверстия или щели (например, окна, двери) обшивки из листовой стали (водосточные трубы, карнизы), а также места ввода-вывода кабелей электропитания, связи и других коммуникаций.

На рисунке 8 приводится пример разделения защищаемого объекта на несколько зон. Кабели электропитания, связи и другие металлические коммуникации должны входить в защитную Зону 1 в одной точке и своими экранированными оболочками или металлическими частями подключаться к главной заземляющей шине на границе раздела Зон 0_A- 0_B и Зоны 1.

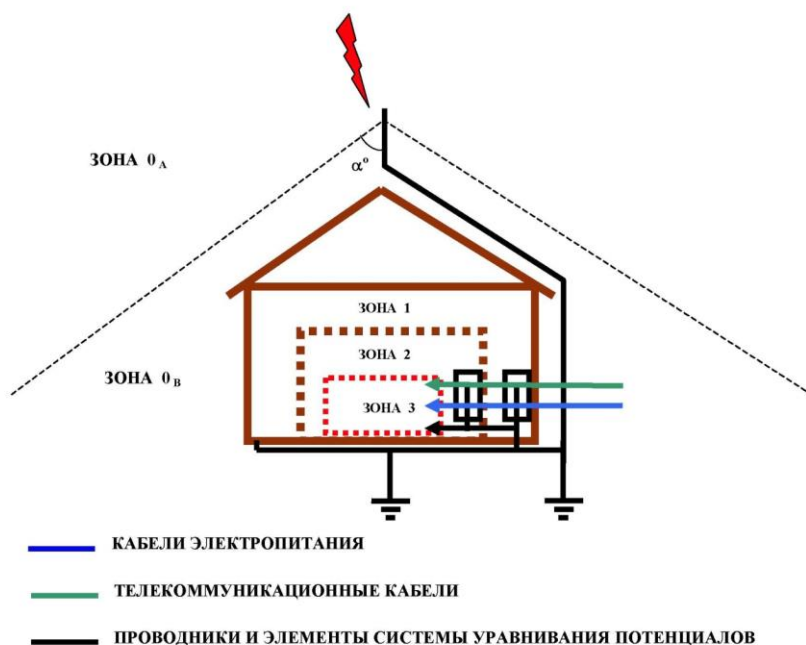


Рис. 2

Описанное выше разделение объекта на условные зоны позволяет на практике эффективно решать вопросы защиты электропитающих сетей до 1000 В, а также линий связи, передачи данных, компьютерных сетей и других коммуникаций, входящих в объект, с помощью применения различного типа устройств защиты от импульсных перенапряжений (или так называемой внутренней системой молниезащиты).

Для гарантированной защиты объекта от перенапряжений, возникающих при стекании токов молнии на заземляющее устройство или при «приходе» волны перенапряжения по питающей сети (в случае далекого удара молнии), «Зоновой концепцией защиты» предусмотрена трехступенчатая схема включения защитных устройств. Большое значение имеют экранирующие свойства зданий и сооружений, длины и направления кабельных трасс, взаимное расположение оборудования и, в первую очередь, правильно выполненные системы заземления и выравнивания потенциалов. Таким образом, в ходе проектирования, монтажа и эксплуатации объекта связи при решении проблем защиты от импульсных перенапряжений нельзя

рассматривать различные типы оборудования, различные системы и коммуникации отдельно друг от друга.

Зарубежный опыт показывает, что без применения специальных защитных устройств (ограничителей перенапряжения) невозможна надёжная эксплуатация устройств электропитания. Стоимость проведения минимально необходимых мер по защите в десятки и сотни раз меньше, чем возможный ущерб от выхода оборудования из строя и нарушения нормальной работы объекта.

Литература

1. Кумар Уикрамасингх // В мире науки. – 1989. – № 12. – С. 62–71.
2. Диденко И.А., Либенсон М.Н. // Опт. Вестн. – 1992. – № 5/6. – С. 1–2.
3. Либенсон М.Н. Поверхностные электромагнитные волны в оптике // Соросовский Образовательный Журнал. – 1996. – № 11. – С. 103–110.
4. Жданов Г.С., Либенсон М.Н., Марциновский Г.А. Оптика внутри дифракционного предела // УФН. – 1998. – Т. 168, №7. – С. 801–804.

УДК 621.316.35

Компьютерная программа расчета электродинамической стойкости шинных конструкций комплектных распределительных устройств

Потачиц Я.В.

Научные руководители – ДЕРЮГИНА Е.А., КЛИМКОВИЧ П.И.

Составной частью проектных и конструкторских работ для комплектного распределительного устройства (КРУ) 10 кВ является обеспечение электродинамической стойкости их шинных конструкций при токах короткого замыкания (КЗ). Токоведущие части современных КРУ имеют нестандартную конструкцию – шины расположены в вершинах произвольного треугольника, для которого в ГОСТ 30323-95 [1] отсутствуют расчетные фазы включения тока и соответственно коэффициенты расположения. При расчете указанной шинной конструкции на электродинамическую стойкость необходимо знать не только максимальные значения проекций электродинамических усилий (ЭДУ) или их равнодействующих, но и максимальные напряжения в материале шин, вызванные воздействием ЭДУ. Условия максимума для напряжения в материале шин прямоугольной формы не совпадают с условиями максимума ни для проекции ЭДУ ни для равнодействующих, так как напряжение в материале шин зависит еще и от соотношения моментов сопротивления поперечного сечения шины относительно ее главных осей инерции. При косом изгибе шин прямоугольного сечения всегда имеются точки, в которых силы разных знаков вызывают напряжения одного знака.

В пакетной шине КРУ на взаимодействие проводников фаз накладывается взаимодействие шин внутри пакета

$$|\sigma_{\Sigma}| = |\sigma_{\Phi}| + |\sigma_{\text{эл}}|, \quad (1)$$

где σ_{Σ} – суммарное напряжение в материале шин;

σ_{Φ} – напряжение, вызванное взаимодействием фаз;

$\sigma_{\text{эл}}$ – напряжение, вызванное взаимодействием элементов пакета.

При практических расчетах выражение (1) не исследуется на максимум, то есть не учитывается фазовый сдвиг σ_{Φ} и $\sigma_{\text{эл}}$, что приводит к завышенным результатам.

В шинной конструкции, фазы которых расположены по вершинам треугольника, ЭДУ изменяют во времени свое направление в пространстве, оставаясь перпендикулярными осям шин. Для их расчета могут быть использованы как явные, так и численные методы расчета.

Для сборных шин распределительного устройства, расположенных параллельно друг другу в вершинах произвольного треугольника, пригоден метод расчета ЭДУ в системе параллельных бесконечно длинных и тонких проводников.

В отличие от случая параллельных проводников, лежащих в одной плоскости, при их пространственном расположении ЭДУ изменяются во времени как по величине, так и направлению и составляющие ЭДУ складываются геометрически. Изоляторы при этом подвергаются различным видам деформации – растяжению, сжатию и изгибу. Поскольку прочность изоляторов для различных видов деформации неодинаковая, то при расчете недостаточно определить максимум ЭДУ, а необходимо знать и его направление. При их определении используются формулы вычисления ЭДУ для двух параллельных проводников, которые затем суммируются геометрически в соответствии со схемой расположения проводников фаз (рисунок 1). Основная глобальная система координат, характеризующая взаимное положение изоляторов и шин, располагается в точке крепления изоляторов, а положение шин задается другой системой координат,

повернутой относительно основной на соответствующие углы, при которых одна из осей параллельна шинам, а другая – перпендикулярна к ним.

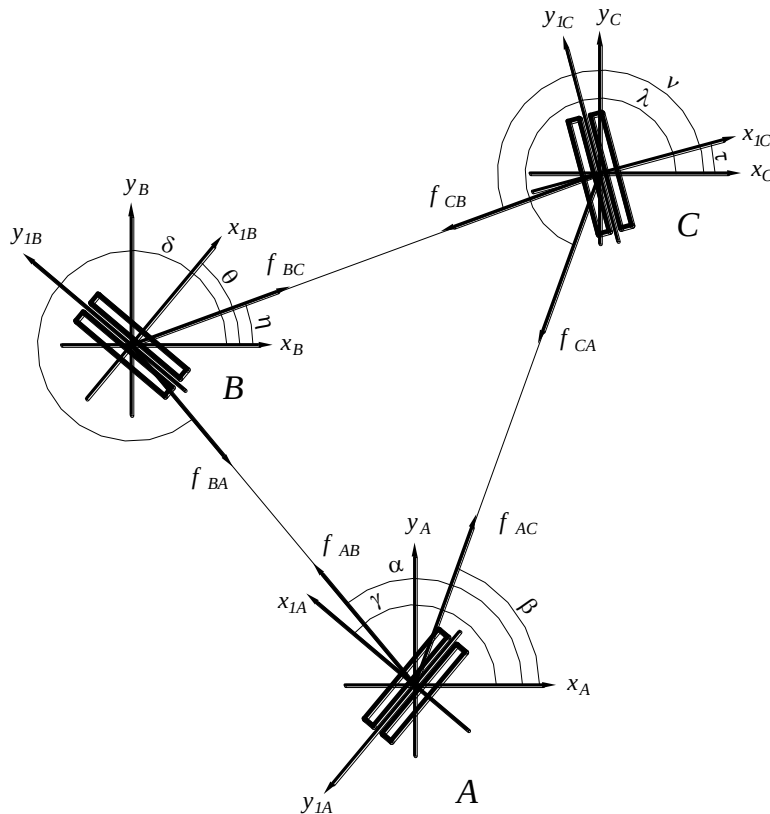


Рис. 1

С учетом выражений для токов КЗ выражение для определения касательных и нормальных к шинам электродинамических усилий для фазы А (рисунок 1) имеет вид:

$$f_{AX_1} = 2 \cdot 10^{-7} I_m^2 \left[\sin(\omega t + \psi) - e^{-\beta} \sin \psi \right] \times \\ \times \left\{ \frac{\cos(\alpha - \gamma)}{d_{AB}} \left[\sin\left(\omega t + \psi - \frac{2}{3}\pi\right) - e^{-\beta} \sin\left(\psi - \frac{2}{3}\pi\right) \right] + \right. \\ \left. + \frac{\cos(\beta - \gamma)}{d_{AC}} \left[\sin\left(\omega t + \psi + \frac{2}{3}\pi\right) - e^{-\beta} \sin\left(\psi + \frac{2}{3}\pi\right) \right] \right\},$$

где I_m – амплитуда периодической составляющей тока КЗ;

ω – угловая частота вращения вектора переменного напряжения;

ψ – фаза включения тока КЗ;

$\beta = \frac{1}{T_a}$ – показатель затухания апериодической составляющей тока КЗ;

d_{AB} и d_{AC} – междуфазные расстояния.

Для выбора расчетных условий КЗ выражения для ЭДУ исследуются на максимум. Определение максимальных ЭДУ, а также соответствующих им текущего времени и угла включения КЗ, для расчета электродинамической стойкости жесткой ошиновки с расположением шин в вершинах произвольного треугольника выполняется методом циклической прогонки по расчетному времени процесса КЗ и фазе включения

КЗ. На каждом шаге вычисления производим выбор максимальных значений, а также фиксирование соответствующих им времени и угла включения КЗ.

На основании представленного явного метода расчета электродинамических усилий шинных конструкций, расположенных в вершинах произвольного треугольника, составлена компьютерная программа (КП). Блок-схема КП представлена на рисунке 2. Программа позволяет рассчитать электродинамические усилия при трехфазном КЗ между жесткими токоведущими частями.

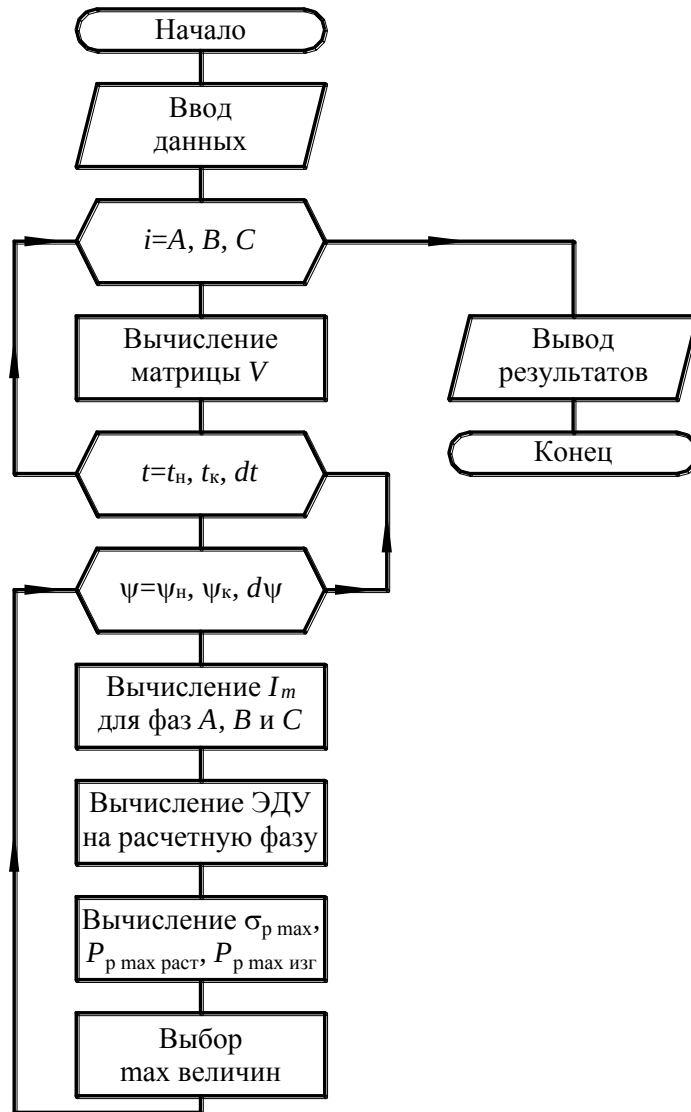


Рис. 2.

Задание геометрии ошиновки может быть осуществлено как вводом координат центров шин и точек ориентации их пространственного расположения, так и клавишами-движками клавиатуры. Рассматривая случай металлического трехфазного короткого замыкания, производится вычисление электродинамических усилий на все фазы ошиновки с построением векторов усилий. В КП учет ферромагнитных масс не производится. При циклическом просчете от начального до конечного углов включения выстраивается огибающий годограф векторов электродинамических усилий. Для наглядности и отображения динамики процесса построение векторов сопровождается демонстрацией изменения уровней фазных токов короткого замыкания (рисунок 3).

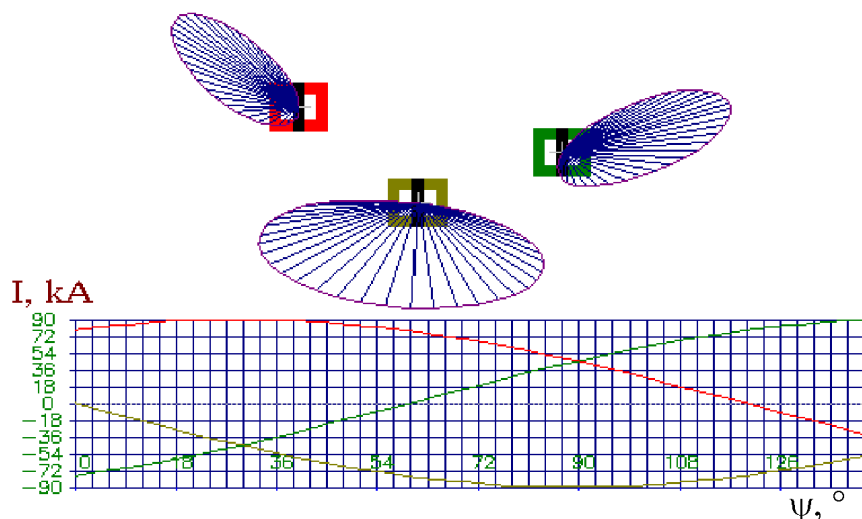


Рис. 3. Построение векторов электродинамических усилий

Разработанный явный метод и КП расчета электродинамических усилий могут быть использованы в практике конструкторских работ по разработке шинных конструкций с произвольным расположением шин и изоляторов.

Литература

1. ГОСТ 30323–95. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. Введен в действие с 01.03.1999. – 57 с.
2. Стрелюк М.И. Электродинамические усилия в токоведущих конструкциях электрических станций и подстанций / Диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук. (05.14.02 Электрические станции (электрическая часть), сети и системы и управление ими). – Минск, 1984. – 409 с.
3. Кудрявцев Е.П., Долин А.П. Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств. – М.: Энергия, 1981. – 96 с.

УДК

Вопросы ядерной безопасности

Сапожникова А.Г., Потачиц Я.В.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

В апреле 1986 г. произошла авария четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС, в результате которой радиоактивные осадки распространились на значительной части территории европейского континента. Произошедшая катастрофа вызвала серьезную озабоченность общественности относительно потенциальных рисков при эксплуатации технически слабых и устаревших атомных станций в Центральной Европе и в тогда еще республиках Советского Союза. Трагедия заставила многие государства в Европе и по всему миру искать пути сотрудничества и объединения усилий, чтобы предотвратить повторение того, что случилось в Чернобыле.

В этом контексте в 1992 г. на саммите стран «большой семерки» в Мюнхене международным сообществом была принята стратегия ядерной безопасности. Реакторы советского типа были классифицированы по двум категориям: те, которые могут быть модернизированы, и те, чья модернизация невозможна, и которые, следовательно, должны быть закрыты. Кроме стратегии, принятой «большой семеркой», классификация реакторов советского типа в зависимости от серьезности проблем, которые они могут вызвать, по четырем категориям была проведена Международным агентством по атомной энергии.

В работе находится значительное количество используемых в гражданских целях реакторов. По текущим данным: эксплуатируется 66 реакторов советского типа, из которых 21 находится в Центральной Европе, 45 в ННГ. Из этого количества 35 реакторов (13 в Центральной Европе и 22 в ННГ) подлежат серьезной модернизации;

Расходы на модернизацию или вывод реактора из работы составляют огромные суммы;

Международное сообщество обладает скромными ресурсами по сравнению с масштабом проблемы. Например, на период 1991–1998 гг. у Еврокомиссии в рамках программ Фаре и Тасис была возможность выделить на мероприятия по ядерной безопасности всего 838 млн. евро (из которых 181 млн. в рамках Фаре, а 657 млн. в рамках Тасис);

Атомная энергия является важным источником энергообеспечения для ряда стран Центральной Европы и некоторых ННГ. Например, в Литве доля атомной энергии в производстве электроэнергии составляет 85 %, в Украине – 44 %, в Болгарии – 40 %. Некоторые страны экспортируют часть произведенного таким образом электричества. Требуется значительные ресурсы для того, чтобы заместить данный источник энергии, где это необходимо;

Первоначально существовал дефицит информации о состоянии реакторов и соответствующей правовой базе в странах Центральной Европы и ННГ. Поэтому на начальных этапах международного сотрудничества проводилось много исследований;

Существовали значительные различия во мнениях, высказываемых экспертами стран «большой семерки», Центральной Европы и ННГ, например, относительно качества технологий, используемых в реакторах советского типа, а также относительно безопасности. За последние восемь лет с появлением новой информации различия несколько уменьшились, хотя по некоторым вопросам серьезные разногласия все еще существуют;

Атомные станции, которые были модернизированы или остановлены, расположены на территории независимых суверенных государств и принадлежат им. У правительств этих стран есть своя политика относительно управления экономикой,

энергетической отраслью и, в особенности, в вопросе модернизации и закрытия реакторов, расположенных на их территориях.

Система ядерной безопасности белорусской АЭС будет формироваться на всех этапах ее строительства и эксплуатации. Об этом заявил сегодня журналистам, отвечая на вопрос, министр по чрезвычайным ситуациям Беларуси Энвер Бариев.

Он напомнил, что в Беларуси создан департамент по ядерной и радиационной безопасности. Его основными задачами являются координация деятельности различных структур в сфере ядерной безопасности, а также госнадзор. В то же время формирование системы безопасности будет проходить на всех этапах: при выборе площадки, проектировании, строительстве, вводе и эксплуатации.

Энвер Бариев добавил, что к вопросам безопасности относится и выбор реактора. Для белорусской АЭС это будет реактор третьего поколения, который учитывает самые передовые разработки, в том числе и по безопасности.

Как отметил белорусский правитель, постоянно растущие цены на энергоресурсы и истощение мировых природных запасов "настойчиво заставляют нас искать новые оптимальные варианты развития нашей энергетики". "На последних переговорах с президентом России мы впервые обсуждали проблему дефицита углеводородного сырья в самой России. Мы можем оказаться перед фактом, когда Россия при желании не сможет поставить нам энергоресурсы", – сказал он.

В этой связи, по его словам, "сегодня мы должны принять решение по стратегически важному направлению – развитию белорусской атомной энергетики". "Здесь нам надо четко определиться: будем ли мы строить в Беларуси атомную электростанцию. Если будем, то где, в каком регионе страны, в какие сроки, по каким проектам и за счет каких источников финансирования", – сказал А. Лукашенко. Он напомнил о своем поручении правительству и ряду ведомств рассмотреть возможности строительства АЭС с целью диверсификации поставок энергоносителей.

А. Лукашенко заявил, что на сегодняшний день доля импортных энергоресурсов в общем объеме их потребления в Беларуси составляет около 85 %, что является "реальной причиной нашей зависимости от внешних поставок". Для преодоления этой зависимости, отметил А.Лукашенко, белорусские ученые на общем собрании Национальной академии наук "единогласно приняли постановление о необходимости строительства атомной электростанции в стране и приступить к подготовительным работам, начиная с этого года".

Литература

1. Климов А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы. – М.: Атомиздат, 1985.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, 1974.
3. Новиков В. М. Жидкосолевые ядерные реакторы. – М.: Атомиздат, 1978.
4. Ионайтис Р.Р. Нетрадиционные средства управления ядерными реакторами. – М.: МГТУ, 1992.

УДК 621.314

Источники постоянного оперативного тока

Рожков А.Ю., Сазанович А.А.

Научный руководитель – ГУРЬЯНЧИК О.А.

На электростанции применяются многочисленные вспомогательные электрические устройства и механизмы, служащие для управления, регулирования режима работы, сигнализации, релейной защиты и автоматики.

Все эти оперативные устройства и механизмы питаются энергией от специальных источников, которые называются источниками оперативного тока.

Соответствующие электрические цепи, питающие названные устройства и механизмы, называют оперативными цепями, а схемы питания – схемами оперативного тока. Оперативные цепи и их источники должны быть надёжны, так как нарушение их работы может приводить к отказам и серьёзным авариям в электроустановках.

Различают независимые и зависимые источники оперативного тока. Работа первых не зависит, а работа вторых зависит от режима работы и состояния первичных цепей электроустановки.

Независимыми источниками оперативного тока являются аккумуляторные батареи, дизель-генераторы и турбореактивные агрегаты. Зависимые источники – трансформаторы собственных нужд, измерительные трансформаторы тока и напряжения.

Оперативные цепи работают на постоянном, переменном или выпрямленном токе. На рассматриваемой ЭС применяется постоянный оперативный ток, получаемый от аккумуляторных батарей. Постоянный ток применяется вследствие того, что электромагнитные системы на постоянном токе более просты и надёжны.

Использование аккумуляторных батарей определяется стремлением иметь независимый источник при любых авариях и отказах в первичных цепях. Заряд аккумулятора производится от источника постоянного тока, ЭДС которого больше чем ЭДС аккумулятора.

На электростанции аккумуляторные батареи (АКБ) работают в режиме постоянного подзаряда. В схеме АКБ предусмотрено зарядно-подзарядное устройство. Зарядно-подзарядные устройства УЗП выпускаются на токи 63, 100, 200 и 320 А (УЗП-63, УЗП-100, УЗП-200, УЗП-320) и имеют исполнения УХЛ4 и О4.

Устройства УЗП

Устройства УЗП предназначены для заряда стационарных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей различными методами, как в автоматическом режиме, так и в ручном при участии оператора подзаряда аккумуляторных батарей с возможностью параллельной работы на постоянную нагрузку, подключённую к шиту постоянного тока (ЩПТ).

Устройства УЗП могут обеспечить (в случае отключения от ЩПТ аккумуляторной батареи) электропитание любых потребителей постоянного тока электростанции или подстанции, в том числе и чувствительных к форме входного напряжения.

Устройство УЗП обеспечивает следующие функции:

- контроль цепи аккумуляторной батареи;
- изменение напряжения подзаряда в зависимости от температуры в помещении аккумуляторной батареи;
- заряд методами IU , U , IUI ;
- включение вентиляции помещения аккумуляторной батареи в режиме заряда и автоматический вывод из работы при отсутствии вентиляции;

- защита от различных видов неисправностей, в том числе и коротких замыканий в нагрузке, как металлических, так и через переходное сопротивление;
- подзаряд дополнительных элементов аккумуляторной батареи (по отдельному заказу);
- АВР;
- контроль наличия сетевого напряжения и правильности чередования фаз;
- индикация выходного напряжения, тока, температуры в помещении аккумуляторной батареи, напряжения дополнительных элементов, уставок в режиме заряда и подзаряда, расшифровка причины неисправности;
- изменение всех уставок при работе в любом режиме.

Щиты постоянного тока

Аккумуляторные батареи на электрических станциях подключаются к щитам постоянного тока ЩПТ, которые в свою очередь предназначены для приема и распределения электроэнергии постоянного тока электроприемникам (потребителям) различных отраслей промышленности 1 категории и особой группы 1 категории по «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ).

ЩПТ используются:

- в системах электроснабжения собственных нужд нормальной эксплуатации (СНЭ) атомных электростанций (АЭС) и системах аварийного электроснабжения (САЭ) АЭС сетей постоянного тока;
- на электростанциях, в электроустановках энергосистем промышленных, нефте и газодобывающих предприятий для ввода и распределения электроэнергии постоянного тока потребителям собственных нужд;
- на нефтеперерабатывающих заводах;
- на нефтебуровых платформах;
- в судостроении;
- в электроустановках энергосистем промышленных предприятий, транспорта и сельского хозяйства.

Тиристорные устройства стабилизации напряжения

В системах питания постоянного тока крупных энергообъектов используются тиристорные устройства стабилизации напряжения постоянного тока УТСП, имеющих в своем составе аккумуляторные батареи, в качестве стабилизатора напряжения постоянного тока повышающего типа.

УДК

Расчет токов короткого замыкания в цепях постоянного оперативного тока электрических станций и подстанций

Гирс И.А., Атрошенко А.П.

Научный руководитель – ГЛИНСКИЙ Е.В.

Программный комплекс предназначен для расчета токов короткого замыкания (ТКЗ) и проверки защитных аппаратов (ЗА) цепей постоянного тока электрических станций и подстанций.

При расчете ТКЗ и проверке ЗА цепей постоянного тока программой формируется расчетная схема, на основании которой определяются значения величин расчетных параметров. При выполнении расчетов ТКЗ в цепях постоянного тока автоматически вычисляются:

- значения ТКЗ;
- величина термического импульса;
- температура кабелей.

При выполнении проверки ЗА определяются:

– диапазон величин токов, в котором требуется выполнение проверочных расчетов;

- чувствительность к ТКЗ резервирующего ЗА;
- отключающая способность проверяемого ЗА;
- чувствительность к ТКЗ проверяемого ЗА;
- селективность действия расчетного и резервирующего ЗА.

Особенностью программы является наличие базы данных, содержащей схему постоянного тока состоящую из сведений о щитах постоянного тока (ЩПТ), присоединений к ЩПТ, сборках постоянного тока и присоединения к сборкам постоянного тока.

Информация об элементах схемы постоянного тока ограничена данными, необходимыми для расчета ТКЗ и проверки ЗА. Эти данные постоянно находятся в запоминающем устройстве персональной ЭВМ (ПЭВМ) и легко могут быть изменены, удалены или внесены новые данные. Это позволяет исключить большие затраты времени и труда по сбору, предварительной обработке и заданию исходных данных в случае периодически повторяющихся расчетов. Результаты расчета представляются в виде численных значений расчетных величин и тестовых сообщений. Программа представляет собой комплекс, включающий в себя программу-диспетчер и отдельные программные блоки, позволяющие выполнять операции с базой данных, ТКЗ, проверочные расчеты ЗА и отображать результаты расчета.

Структура программы

Выбор режима работы программы выполняется с помощью горизонтального меню, появляющегося на экране видеомонитора после загрузки программы в оперативную память машины. Горизонтальное меню содержит следующие возможные режимы работы программы:

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

Реализуется выбранный режим работы программы. При этом программа-диспетчер передает управление соответствующему программному блоку, который

обеспечивает работу программы в выбранном режиме. Для работы с программой целесообразно создать на жестком диске отдельный каталог, в который необходимо поместить исполняемые файлы программы «POS_TOK.EXE» и «VFILE2.EXE». Эти файлы составляют минимальный набор, позволяющий осуществлять работу программного комплекса. Кроме указанных файлов в каталог должны быть помещены файлы с расширением «.DAT», в которых содержится информация о базе данных, и файлы с расширением «.TXT», содержащие текст настоящей инструкции. Программный комплекс построен таким образом, что позволяет создавать новую базу данных или редактировать существующую базу данных.

Для работы программного комплекса в оперативную память ПЭВМ должен быть загружен головной файл «POS_TOK.EXE». Исполняемый файл программы «VFILE2.EXE» загружается в оперативную память ПЭВМ по мере необходимости головным исполняемым файлом. При выполнении расчетов программа создает вспомогательные файлы с расширениями, отличными от «.EXE» и «.DAT».

Расчет токов короткого замыкания

В программе реализован расчет максимального и минимального ТКЗ с учетом изменения сопротивлений кабелей в течении времени существования короткого замыкания(КЗ). Максимальный ТКЗ определяется для случая металлического КЗ в выбранной расчетной точке. Минимальный ТКЗ определяется с учетом сопротивления электрической дуги в расчетном месте повреждения. Целью расчетов ТКЗ является определение величин ТКЗ и температуры кабеля, непосредственно подключенного к точке повреждения.

В процессе расчета формируются файлы SELEK_ и SELEKT, в которых содержится сокращенная и полная информация о результатах расчетов минимальных и максимальных ТКЗ.

Проверка защитных аппаратов

Проверка защитных аппаратов выполняется в режиме «Расчет селективности». При проверке ЗА (автоматических выключателей, предохранителей) определяется отключающая способность и чувствительность автоматических выключателей к КЗ и проверяется селективность действия ЗА рассматриваемого элемента и резервирующего ЗА. Для проверки ЗА вычисляется максимальный ток при КЗ за ЗА рассматриваемого элемента и минимальный ток при КЗ на защищаемом элементе.

Селективность действия ЗА рассматриваемого элемента и резервирующего ЗА проверяется путем сравнения времен их срабатывания при одной и той же величине тока, протекающего в них. Для резервирующего ЗА определяется наименьшее время срабатывания, а для рассматриваемого ЗА - наибольшее время срабатывания, с учетом разброса времен срабатывания. Разница времен срабатывания резервирующего и рассматриваемого ЗА должна быть больше или равна заданной для расчета требуемой ступени селективности. Диапазон токов, в котором определяется селективность действия ЗА выбирается следующим образом. Максимальная величина тока диапазона токов принимается равной величине максимального ТКЗ, а минимальная величина тока - равной наименьшему току срабатывания резервирующего ЗА. Шаг изменения токов при проверке селективности вычисляется исходя из определенного диапазона токов и заданного к расчету количества интервалов, на которые разбивается диапазон токов.

Литература

1. Инструкция к программе «Расчета цепей постоянного тока собственных нужд электростанций и подстанций». – Минск: БНТУ, 2002.

УДК

Расчет самозапуска электродвигателей напряжением 6,3 кВ собственных нужд электрических станций

Борисик Д.А.

Научный руководитель – Глинский Е.В.

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

После отключения питания (или недопустимого снижения напряжения) электродвигатели под действием момента сопротивления приводимых ими в движение механизмов начинают тормозиться, а затем после восстановления питания вновь разворачиваются.

Механизмы СН на электростанциях, с точки зрения допустимости их временного отключения без нарушения основного технологического режима или без повреждения основного оборудования, делятся на ответственные и неответственные.

Ответственными механизмами являются не только механизмы, непосредственно участвующие в основном технологическом процессе, но и вспомогательные механизмы, нарушение работы которых ведет к нарушению работы или выходу из строя основного оборудования.

В самозапуске электродвигателей выделяют два этапа.

Первый этап – это процесс от момента отключения до момента восстановления питания электродвигателей, течение этого этапа происходит выбег агрегатов, т. е. их торможение под действием момента сопротивления механизма.

Взаимосвязанный выбег агрегатов в течение некоторого времени объясняется тем, что часть электродвигателей с большим запасом кинетической энергии переходит в генераторный режим и подпитывает другую часть электродвигателей, поддерживая их вращение.

Второй этап – это собственно самозапуск агрегатов, он начинается от момента восстановления питания, включает разгон механизмов и заканчивается с восстановлением нормального режима работы.

При групповом самозапуске разворот агрегатов происходит ступенчато: вначале разворачиваются агрегаты с меньшей инерцией, ток самозапуска спадает и увеличивается напряжение на шинах секции. В результате этого увеличивается вращающий момент остальных электродвигателей и ускоряется процесс их разворота.

Программный комплекс предназначен для расчета самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ собственных нужд (СН) ТЭЦ.

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

Выбор режима работы программы выполняется с помощью горизонтального меню, появляющегося на экране видеомонитора после загрузки программы в оперативную память машины.

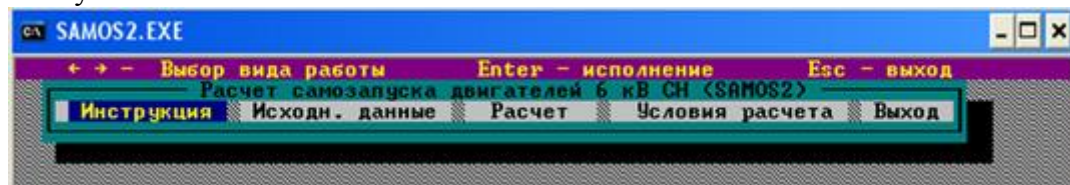


Рис. 1. Горизонтальное меню

База данных содержит информацию об элементах схемы СН, каталог двигателей 6 кВ и каталог механизмов СН. Вся исходная информация об элементах схемы СН в зависимости от их объема и вида выделена в следующие группы:

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

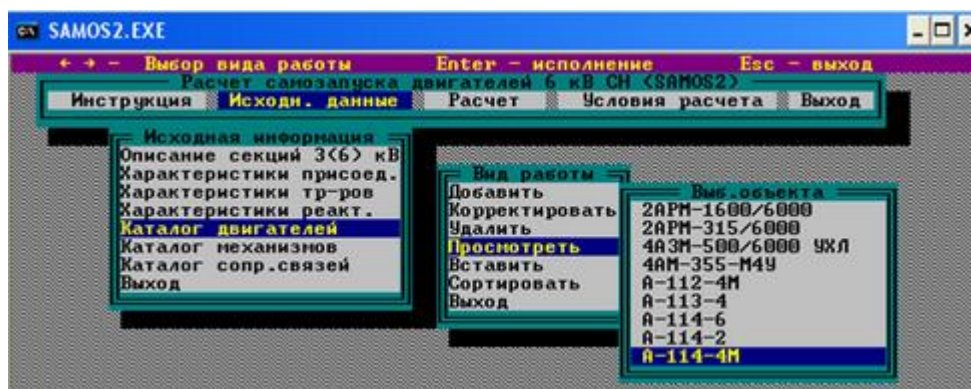


Рис. 2. База данных

Выполнение расчетов осуществляется при реализации режима «Расчет» горизонтального меню. Задание расчета самозапуска электродвигателей какой-либо секции выполняется путем выбора номера этой секции в вертикальном меню.

Расчет ведется в два этапа. На первом этапе формируется расчетная схема, в которой содержатся все сведения о присоединениях секции, о самой секции и др., необходимые для расчета самозапуска электродвигателей выбранной секции.

На втором этапе задается информация, определяющая условия расчета самозапуска электродвигателей секции. Данные, определяющие условия расчета, имеют вид:

- длительность режима короткого замыкания на секции (с);
- длительность перерыва питания секции (с);
- длительность расчетного режима (с);
- рабочее напряжение секции (кВ), начальный угол рабочего напряжения секции (град.);
- и др..

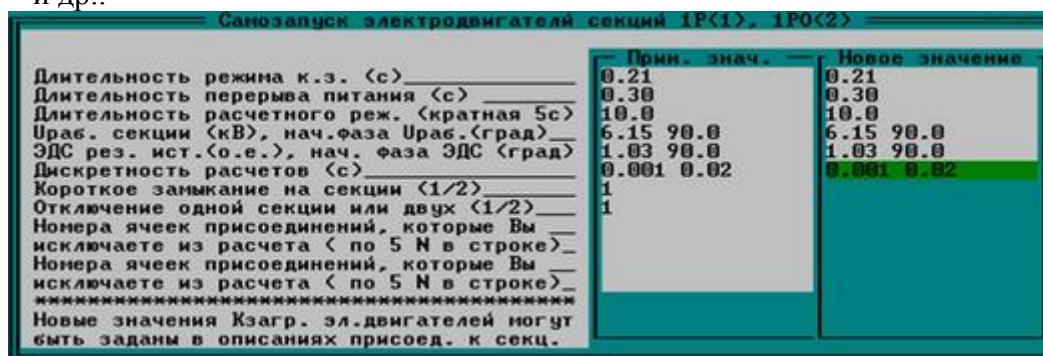


Рис. 3. Условия расчета

В процессе расчета результаты расчета выдаются на экран монитора в графическом отображении. При этом на экран видеомонитора выводится масштабная сетка для отображения контролируемых параметров процесса самозапуска электродвигателей в функции времени.

В процессе расчета относительные значения контролируемых параметров в темпе счета выводятся на экран видеомонитора в виде графиков. К контролируемым параметрам относятся токи и напряжения секций.

В качестве базисных величин приняты: для напряжений – значение номинального напряжения электродвигателей, для токов – десятикратное значение тока первой секции в предшествующем нормальном режиме.

Кроме токов и напряжений секций на экран монитора выводятся графики изменения относительных частот вращения (скоростей вращения) контролируемых электродвигателей. В качестве базисной частоты вращения для каждого контролируемого электродвигателя принято значение его номинальной частоты вращения.

Режим «Условия расчета» горизонтального меню позволяет выполнять просмотр на экране видеомонитора или печатать на принтере информации, определяющей условия выполненного расчета.

УДК 621.316

Функция определения места повреждения в современных терминалах защиты

Савицкая В.А.

Научный руководитель – БУЛОЙЧИК Е.В.

Задача определения места повреждения (ОМП) решается применительно к воздушным линиям (ВЛ) напряжением от 6 до 220 кВ при всех видах повреждений, в том числе и при коротких замыканиях (КЗ), сопровождающихся обрывом фазы. Ограничения на конструкцию ВЛ и схему ее включения в сеть отсутствуют. В частности, ВЛ может быть выполнена двухконцевой или многоконцевой с любым числом трансформаторных отпаяк и иметь одностороннее или двухстороннее питание.

Задача ОМП не является задачей реального времени и может решаться на основе зафиксированных в режиме КЗ осциллограмм – режим «отложенного счета». Требования по времени решения задачи ОМП также практически отсутствуют. Это позволяет совместить ее решение с выполнением функций релейной защиты (РЗ) в составе одного терминала. Практическая возможность совмещения функций РЗ и ОМП определяется наличием свободного вычислительного ресурса, оставшегося после реализации алгоритмов РЗ, прежде всего в части располагаемого объема запоминающих устройств, а также составом входных аналоговых сигналов терминала.

Алгоритмы определения места повреждения

Существенное влияние на точность решения задачи ОМП оказывает наличие доступа к осциллограммам, полученным на противоположных концах ВЛ, а также наличие или отсутствие их синхронизации.

С учетом указанных факторов разработана серия алгоритмов ОМП, отличающихся требованиями к вычислительным ресурсам терминала и возможностью использования той или иной информации о токах и напряжениях с противоположных концов ВЛ. Алгоритмы разделены на две качественно различные группы:

1. Упрощенные алгоритмы ОМП, проводящие вычисление расстояния до места повреждения по расчетным формулам.
2. Алгоритмы ОМП повышенной точности, использующие обобщенные модели ВЛ и прилегающей сети.

В алгоритмах обеих групп в качестве исходных данных могут использоваться осциллограммы токов и напряжений одного конца ВЛ, по возможности дополненные не синхронизированными или синхронизированными осциллограммами противоположного конца. Информация об электрических величинах с противоположного конца ВЛ может передаваться любым известным способом по каналу связи.

Организация вычислений по алгоритмам ОМП обеих групп выполнена однотипно. Пуск алгоритма выполняется при срабатывании пусковых органов в составе терминала – неселективный пуск, или при наличии внешнего сигнала пуска, формируемого, например, внешними устройствами РЗ при их срабатывании на отключение ВЛ или персоналом – селективный пуск. Поскольку пусковые органы имеют высокую чувствительность, в случае неселективного пуска возможен расчет расстояния до места КЗ при повреждении на смежных элементах. В упрощенных алгоритмах первой группы при неселективном пуске возможно появление значительных погрешностей, обусловленных влиянием промежуточных подстанций. В алгоритмах второй группы искажения результата будут получены, если в схему сети не

были введены достоверные данные о схеме и параметрах элементов промежуточных подстанций.

Методы определения места повреждения

Методы определения места повреждения (ОМП) можно разделить на две группы: формульные и модельные. Формульные методы применяются в микропроцессорных терминалах большинства фирм, имеющих функцию определения места повреждения (ОМП). Их суть заключается в использовании той или иной зависимости – формулы – между координатой места повреждения и измеряемыми величинами: фазными напряжениями и токами или составляющими нулевой последовательности.

Очевидным плюсом формульных методов ОМП является простота их реализации, поскольку они не требуют больших вычислительных затрат. Однако эти методы имеют серьезную методическую погрешность. Формула не может одинаково точно описать все линии электропередачи (ЛЭП). Как выход, расчеты усложняют, разделяют ЛЭП на участки, отличающиеся друг от друга рядом параметров, пытаются вводить параметры параллельных линий и т. д. Недостатком реализованных формульных методов также является зависимость их погрешности от наличия в измеряемых сигналах апериодической составляющей, что приводит к неоднозначности расчета при замыканиях (КЗ) в одной и той же точке ЛЭП. Эта проблема особенно остро стоит в протяженных ЛЭП высокого и сверхвысокого напряжения, где влияние апериодической значительно.

Модельные методы определения места повреждения требуют формирования модели рассматриваемого объекта. Погрешность этих методов во многом зависит от адекватности модели реальной линии электропередачи. Обычно задача адаптации модели к реальной ЛЭП решается путем проведения опытов КЗ или в процессе накопления результатов поиска реальных КЗ. Точность ОМП модельных методов выше, но реализация сложнее, так как требует значительного вычислительного ресурса. К такому типу определителей относится широко распространенный программный комплекс «DISAN Locator», выполняющий расчет ОМП по аварийным осциллограммам на персональной ЭВМ. Стремительное развитие технологий и рост производительности процессоров сделали возможным реализацию модельных методов ОМП непосредственно в микропроцессорных терминалах РЗА.

ООО «НПП Бреслер» выпустило новую серию микропроцессорных терминалов «Бреслер-0107». На их базе выпускаются аварийные осциллографы, устройства быстрого автоматического ввода резерва, спектр защит сетей 6–10 кВ, а также устройство определения места повреждения «Бреслер-0107.09» (рисунок 1), предназначенное для одностороннего определения места повреждения линий электропередачи напряжением 6–750 кВ с односторонним и двухсторонним питанием.



Рис. 1. Внешний вид терминала «Бреслер-0107.09»

Устройство фиксирует расстояние до места повреждения, вид замыкания, дату и время возникновения аварии. Пуск устройства возможен по встроенным пусковым органам, которые контролируют текущие токи и напряжения, а также их симметричные составляющие. Наблюдаемыми величинами являются симметричные составляющие прямой, обратной, нулевой последовательностей, а также их аварийные составляющие.

Алгоритм определения места повреждения позволяет учесть неоднородность линии, ответвления (отпайки), режим заземления грозозащитного троса на каждом участке и влияние параллельных линий. Он также учитывает конфигурацию сети: количество систем напряжения и отходящих от них линий (рисунок 2).

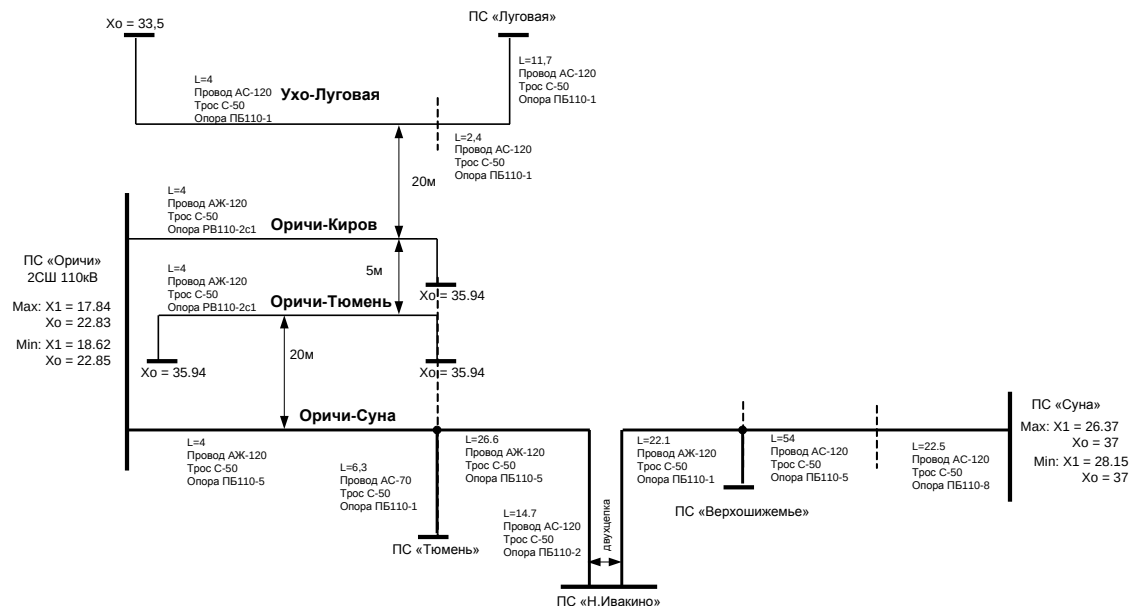


Рис. 2. Пример моделируемой системы

Для удобства ввода уставок терминал сопровождается специальным программным обеспечением (рисунок 3).

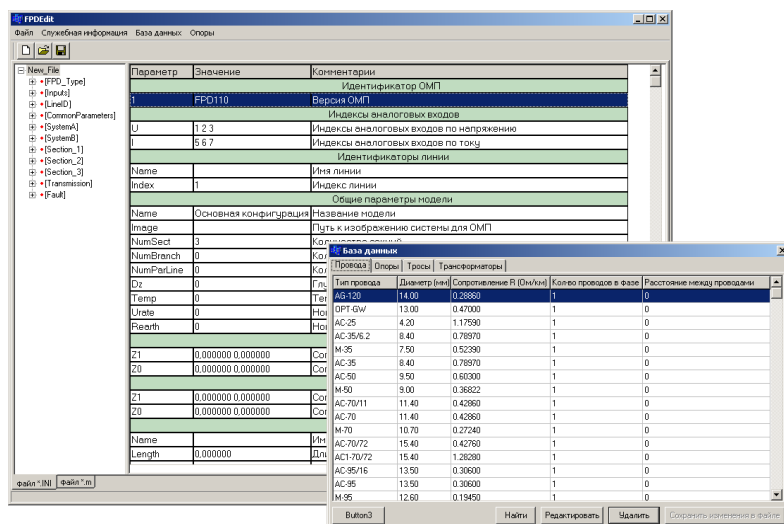


Рис. 3. Внешний вид программы расчета уставок

Результат расчета сохраняется в текстовом файле, выводится на экран терминала и представляется в виде структуры данных, содержащей название и длину линии, на которой была зафиксирована авария, дату и время ее возникновения, вид повреждения, особую фазу и координату места повреждения.

УДК 621.316

Способы уменьшения тока небаланса в дифференциальных токовых защитах трансформаторов

Романюк Д. А., Ткаченко А.О.

Научный руководитель - ассистент Булойчик Е.В.

При внешних КЗ и нагрузке обеспечить полный баланс вторичных токов, поступающих в реле, не удастся. Вследствие неравенства вторичных токов в реле в вышеуказанных режимах появляется ток небаланса, который может вызвать неправильную работу защиты.

Неравенство вторичных токов обусловлено следующими факторами: погрешностью трансформаторов тока (ТА); изменением коэффициента трансформации силового трансформатора при регулировании напряжения; неполной компенсацией неравенства вторичных токов в плечах защиты; наличием намагничивающих токов силового трансформатора, вносящих искажение в его коэффициент трансформации.

Насыщение трансформаторов тока при внешних КЗ, особенно с большой апериодической составляющей, приводит к появлению значительных токов небаланса в дифференциальной защите трансформатора из-за различия характеристик намагничивания разнотипных ТА на сторонах высшего, среднего и низшего напряжения; остаточных индукций ТА, зависящих от предшествующего режима стороны трансформатора; сопротивлений плеч защиты; групп соединения ТА.

При неодинаковых схемах соединения обмоток силового трансформатора, например звезда - треугольник, токи со стороны обмотки, соединенной в звезду, и токи со стороны обмотки, соединенной в треугольник, оказываются сдвинутыми относительно друг друга на некоторый угол, который зависит от схемы соединения обмоток. Угловой сдвиг токов создает большие токи небаланса в реле дифференциальной защиты. Для компенсации углового сдвига вторичные обмотки ТА, установленных со стороны обмотки трансформатора, соединенной в схему звезды, соединяются в треугольник, а вторичные обмотки ТА со стороны обмотки трансформатора, соединенной в схему треугольника, соединяются в звезду. Для трансформаторов тока, вторичные обмотки которых соединены в треугольник, нагрузка увеличивается в корень из трех раз. Иначе говоря, даже при одинаковом сопротивлении в плечах защиты, трансформаторы тока, соединенные в треугольник, более загружены, чем ТА, соединенные в звезду.

Переменная составляющая тока небаланса, обусловленного насыщением трансформатора тока, как правило, по форме сильно отличается от синусоиды. Первая гармоника сдвинута по фазе относительно первичного тока насыщенного трансформатора тока из-за преобладания активного сопротивления во вторичной цепи. Появление тока небаланса после возникновения внешнего КЗ происходит с задержкой на время насыщения ТА.

Переключение ответвлений обмоток трансформатора в процессе эксплуатации и неточность уравнивания токов плеч вызывают синусоидальную составляющую тока небаланса, совпадающую по фазе с первичным током трансформатора тока и пропорциональную этому току.

Для того, чтобы устранить или свести к минимуму ток небаланса, возникающий по причине неравенства вторичных токов, применяются в основном три способа:

– выравнивание вторичных токов, подводимых к дифференциальному реле, с помощью промежуточных трансформаторов тока, включенных в плечи дифференциальной защиты;

- выравнивание в самом дифференциальном реле магнитодвижущих сил (МДС), создаваемых неодинаковыми по значению токами плеч дифференциальной защиты;
- использование неодинаковых схем соединения обмоток трансформатора.

Наряду с совершенствованием способов распознавания токов небаланса при внешних КЗ и отстройки от них разрабатываются способы устранения тех или иных причин возникновения токов небаланса. Прежде всего, чтобы уменьшить составляющую тока небаланса, обусловленную погрешностью трансформаторов тока, следует подбирать ТА и их вторичную нагрузку таким образом, чтобы они не насыщались при максимальном значении тока сквозного КЗ. Для этого трансформаторы тока выбираются по кривым предельной кратности или характеристикам намагничивания так, чтобы погрешность ТА не превышала 10 %.

Устранить влияние остаточных индукций можно, применяя ТА с малым зазором или с подмагничиванием постоянным током. Применение рациональных способов отстройки при внешних КЗ и фиксации броска намагничивания тока (БНТ) снимает требование выбора тока срабатывания дифференциальной защиты по условию отстройки от этих режимов. При этом расчетным для выбора тока срабатывания становится режим максимальной нагрузки.

Для уменьшения влияния РПН на ток срабатывания защиты можно использовать следующие способы:

- использование чувствительной приставки, включенной на токи симметричных составляющих нулевой или обратной последовательности, которые малы в нагрузочном режиме, следовательно, мал небаланс в приставках, выполненных по дифференциальному и дифференциально–фазному принципам;
- использование напряжений на регулируемой и нерегулируемой сторонах трансформатора, приращений дифференциального тока и тока нагрузки для отстройки или адаптации дифференциальной защиты к положению устройства РПН;
- использование в дифференциальной защите не токов, а мощностей, поскольку их соотношение на сторонах трансформатора слабо зависит от коэффициента трансформации силового трансформатора.

Применение микропроцессорных технологий обработки информации при повышении качества входных промежуточных трансформаторов тока современных терминалов РЗА позволяет получить ряд преимуществ устройств релейной защиты и, в частности, дифференциальных защит. Раннее выявление повреждения благодаря высокой чувствительности (0,1–0,3 номинального тока электроустановки) и быстродействию (10–15 мс для защит шин и 22–28 мс для защит другого оборудования) позволяет уменьшить степень повреждения и время восстановления защищаемого объекта.

Микропроцессорная база позволяет существенно повысить (по сравнению с электромеханическими и микроэлектронными устройствами) технические характеристики дифференциальной защиты различного первичного оборудования (постоянная самодиагностика, высокая селективность, чувствительность и быстродействие) за счет применения более совершенных алгоритмов.

В цифровых устройствах, как правило, производится компенсация фазового сдвига токов в обмотках силового трансформатора математическим путем. При этом электрическое соединение измерительных трансформаторов тока сторон ВН и НН – всегда в звезду, а группа соединений трансформатора и полярность ТА вводится в реле в виде уставки. Это позволяет уменьшить нагрузку на измерительные ТА, а также обеспечивает корректную работу устройства.

Выравнивание токов плеч ДЗТ можно выполнить двухступенчатым: грубое предварительное выравнивание путем установки коэффициентов трансформации на

входных измерительных трансформаторах тока и точное окончательное выравнивание, выполняемое программным способом. Тогда установка внешних выравнивающих трансформаторов не требуется.

Для работы дифференциальной защиты необходимы номинальные вторичные токи обмоток ВН и НН силового трансформатора, соответствующие его номинальной мощности. Значения номинальных токов обмоток трансформатора рассчитываются для случая, когда в РПН установлено среднее ответвление, а еще лучше – на «оптимальное» ответвление.

Реально же в ходе эксплуатации трансформатора положение РПН меняется, что вызывает изменение номинального тока высшей стороны трансформатора. А это, в свою очередь, увеличивает погрешность работы дифференциальной защиты. Поэтому в некоторых устройствах защиты (например, Сириус-Т) производится коррекция погрешности путем контроля соотношения токов сторон в нагрузочном режиме (сравниваются только токи фазы А). Коррекция работает только при нагрузках не менее 30 % от номинальной и действует медленно. Поэтому она не функционирует ни при малых нагрузках, ни при коротких замыканиях.

Литература

1. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
2. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 560 с.
3. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 199 с.
4. Овчаренко Н.И. Микропроцессорные комплексы релейной защиты и автоматики распределительных электрических сетей. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 1999. – 64 с.
5. Руководство по эксплуатации микропроцессорного устройства защиты «Сириус-Т».
6. Руководство по эксплуатации комплекса защит подстанционного оборудования производства НТЦ «Мехатроника».

УДК ____

Выбор величины резистора для заземления нейтрали сетей 6–35 кВ в отношении снижения уровня перенапряжений

Резник М.С.

Научный руководитель – БОХАН Н.В.

Вводится волновое сопротивление линии Z_6 , которое может определяться расчетом или задаваться как максимальная величина волнового сопротивления линии, которое принимается равным:

- для кабельных линий $Z_6 = 100$ Ом;
- для воздушных линий $Z_6 = 500$ Ом

Сопротивление нагрузки Z_n равно

$$Z_n = \frac{R_p X_c}{R_p + X_c},$$

где R_p – сопротивление резистора;

$$X_c = \frac{U_\phi}{I_c} \text{ – емкостное сопротивление сети;}$$

U_ϕ – фазное сопротивление сети;

I_c – емкостной ток сети.

Вводится коэффициент отражения β_n , который характеризует степень отражения падающей волны перенапряжений:

$$\beta_n = \frac{Z_n - Z_6}{Z_n + Z_6},$$

где Z_n – сопротивление нагрузки, Ом;

Z_6 – волновое сопротивление фазного провода линии, Ом.

При $\beta_n < 1$ уровень перенапряжений хотя и снижается, но имеет повышенную величину по сравнению с величинами при других значениях коэффициента отражения $\beta_{отр}$.

При $\beta_n = 0$ характеризуется оптимальным уровнем перенапряжений;

При $\beta_n > -1$ характеризуется значительным снижением уровня перенапряжений.

Концепцию выбора резистора по условию перенапряжений разрабатывают при $\beta_n = 0$, что соответствует оптимальному уровню перенапряжений.

Устанавливается величина нагрузки, равная

$$Z_n = Z_6.$$

С учетом этого можно установить величину R_p при заданном Z_6 из соотношения

$$\frac{R_p}{Z_6} = \sqrt{1 + K_{pc}^2},$$

где K_{pc} – коэффициент нагрузки

$$K_{pc} = \frac{R_p}{X_c}.$$

Отношение $\frac{R_p}{Z_6}$ в зависимости от K_{pc} устанавливается в пределах

$$\frac{R_p}{Z_6} = 1 \div \frac{R_p}{X_c}.$$

Коэффициент нагрузки K_{pc} изменяется в пределах $K_{pc}=0 \div \infty$, поэтому принципиальное значение приобретает установление базовых значений K_{pc} , при котором перенапряжения не превышают допустимый уровень.

При $I_p = I_c$ устанавливается первое базовое условие для коэффициента нагрузки $K_{pc}=0 \div 1$.

В пределах условия $K_{pc}=0 \div 1$ достигается эффективный допустимый уровень перенапряжений за счет применения низкоомных резисторов.

В последующем на основе теоретических исследований и опыта эксплуатации было установлено второе базовое условие для коэффициента нагрузки.

$K_{pc}=1 \div 2$.

В пределах $K_{pc}=1 \div 2$ устанавливается допустимый уровень перенапряжений за счет применения высокоомных резисторов.

При условии $K_{pc}>2$ устанавливается не допустимый уровень перенапряжений за счет перехода сети в режим изолированной нейтрали.

Классифицируют K_{pc} по степени уровня перенапряжений, устанавливая три зоны системы заземления нейтрали сетей:

- зона 1. Зона низкоомного заземления нейтрали ($K_{pc}=0 \div 1$);
- зона 2. Зона высокоомного заземления нейтрали ($K_{pc}=1 \div 2$);
- зона 3. Зона изолированной нейтрали ($K_{pc}>2$).

Указанные зоны представлены на рисунке 1.

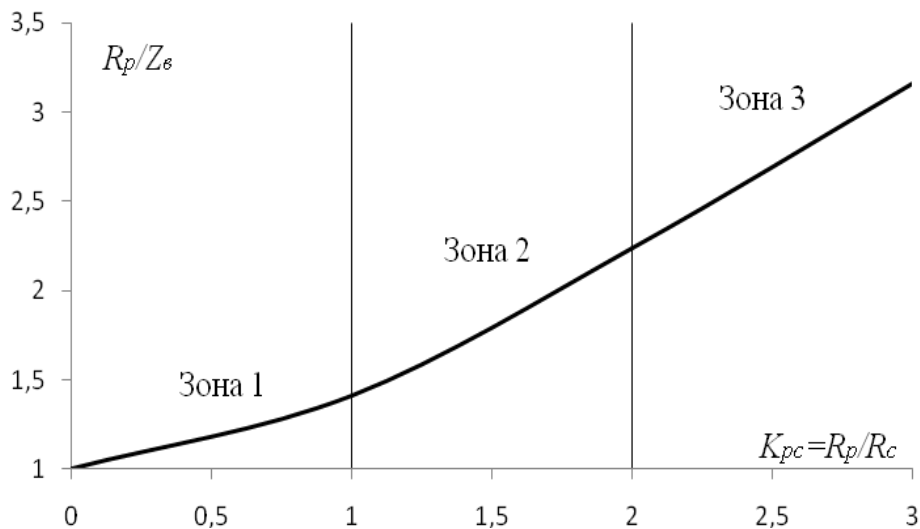


Рис. 1. Зависимость $\frac{R_p}{Z_s} = f(K_{pc})$

В практическом отношении нормирование сопротивления резисторов R_p целесообразно представлять в виде:

– для низкоомного резистора

$$R_p = \frac{Z_s X_c}{\sqrt{Z_s^2 + X_c^2}}; R_p = \frac{Z_s U_\phi}{\sqrt{(Z_s I_c)^2 + U_\phi^2}};$$

– для высокоомного резистора, обеспечивающего повышенный допустимый уровень перенапряжений

$$R_p = Z_s \left(1 + \frac{X_c}{\sqrt{Z_s^2 + X_c^2}} \right); R_p = Z_s \left(1 + \frac{U_\phi}{\sqrt{(Z_s I_c)^2 + U_\phi^2}} \right);$$

– для высокоомного резистора, обеспечивающего повышенный недопустимый уровень перенапряжений, но достаточный для организации работы автоматики на сигнал

$$R_p > Z_\phi \left(2 + \frac{X_c}{\sqrt{Z_\phi^2 + X_c^2}} \right); R_p > Z_\phi \left(2 + \frac{U_\phi}{\sqrt{(Z_\phi I_c)^2 + U_\phi^2}} \right).$$

где R_p – сопротивление резистора;

$X_c = U_\phi / I_c$ – емкостное сопротивление сети;

U_ϕ – фазное сопротивление сети;

I_c – емкостной ток сети.

При комбинированном заземлении нейтрали высокоомный резистор присоединяется к нейтрали параллельно ДГР и позволяет снижать перенапряжения при неточной настройке ДГР, а также способствует работе на сигнал релейной защиты.

Эта система заземления нейтрали применяется, когда необходимо улучшить эффективность компенсации на основе возможности определения места ОЗЗ.

При определении величины сопротивления высокоомного резистора в расчетных соотношениях приведенных выше везде вместо емкостного тока I_c принимается модуль тока расстройки ДГР $\Delta I_{ск}$

$$\Delta I_{ск} = |I_c - I_\kappa|,$$

где I_κ – индуктивный ток ДГР.

УДК

Модификация программы TKZdo1kV для расчета токов короткого замыкания в сетях до 1 кВ

Мельянчук А.А., Горячко М.Г.

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

Назначение программы

Программа TKZdo1kV предназначена для расчета токов короткого замыкания (КЗ) в схемах собственных нужд электрических станций и подстанций напряжением до 1 кВ. Программа применяется в операционной среде Windows XP с SP2 и выше и с Microsoft Office 2002 и выше. Программа обеспечивает расчет токов КЗ в соответствии с требованиями:

– ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.

– ГОСТ 30323-95 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания.

Алгоритм расчета токов короткого замыкания

Исходя из требований к расчету токов КЗ, изложенных в стандартах, можно выделить особенности, которыми должны обладать алгоритмы расчета тока КЗ:

– учет активных сопротивлений элементов схемы замещения;
– учет дуги в месте повреждения для расчета минимальных значений токов короткого замыкания;

– учет подпитки места КЗ от асинхронных электродвигателей (АД);

– учет термического эффекта тока КЗ.

Требования стандартов учтены в алгоритме разработанной компьютерной программы TKZdo1kV.

Все параметры схемы замещения и все параметры режима КЗ представляются в комплексной форме.

Исходная информация для расчетного алгоритма

Формирование расчетной схемы энергосистемы в графической форме и задание параметров ее элементов выполняется оператором на экране дисплея. Одновременно программой производится формирование схемы замещения, расчет ее параметров и формирование файла исходных данных для расчета. Автоматическое формирование схемы замещения позволяет избежать ошибок, возникающих при ручном составлении схемы замещения.

Алгоритм расчета тока КЗ в месте повреждения и токов КЗ в ветвях схемы

В разработанной программе TKZdo1kV для расчета тока КЗ в месте повреждения и для расчета токов КЗ в ветвях схемы использован универсальный алгоритм расчета режима на основе преобразования многолучевых звезд в полные многоугольники. Этот алгоритм используется в компьютерных программах для расчета нормальных и аварийных режимов энергосистем.

Алгоритм основан на решении системы узловых уравнений методом Гаусса. Формулы преобразования имеет простой вид для случая, когда ветви представлены своими проводимостями и токами источников тока.

Программа также проводит расчет токов несимметричных КЗ, расчет токов дуговых КЗ путем умножения тока металлического КЗ на коэффициент снижения тока дугового КЗ, расчет периодической составляющей тока КЗ от АД, расчет термического действия тока КЗ.

Модификация программы TKZdo1kV.

Для модификации программы TKZdo1kV и использования ее для расчета токов короткого замыкания в любых сетях до 1 кВ необходимо в алгоритм программы внести следующие дополнения:

- учет воздушных линий до 1 кВ;
- учет влияния дуги путем введения переходного сопротивления дуги в схему замещения;

- учет синхронных электродвигателей при расчете токов КЗ;

- учет комплексной нагрузки при расчетах токов короткого замыкания.

Также необходимо ввести соответствующие изменения в интерфейс программы.

Учет синхронных электродвигателей при расчете токов КЗ

При расчете начального значения периодической составляющей тока КЗ синхронные электродвигатели следует учитывать сверхпереходным сопротивлением по продольной оси ротора (X_d''), а при определении постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ – индуктивным сопротивлением для токов обратной последовательности X_2 и активным сопротивлением обмотки статора $R_{сд}$. При приближенных расчетах допустимо принимать

$$X_{d''\text{ном}} = 0,15; X_2 = X_d''; R_{сд} = 0,15X_d''.$$

Ударный ток трехфазного КЗ от синхронного электродвигателя следует рассчитывать так же, как и от автономного источника.

Точный расчет действующего значения периодической составляющей тока КЗ от электродвигателей в произвольный момент времени выполняют путем решения соответствующей системы дифференциальных уравнений переходных процессов и выделения периодической составляющей тока. При приближенных расчетах этой составляющей тока КЗ в радиальной схеме используют типовые кривые.

Учет комплексной нагрузки при расчетах токов короткого замыкания

В состав комплексной нагрузки могут входить асинхронные и синхронные электродвигатели, преобразователи, электротермические установки, конденсаторные батареи, лампы накаливания и газоразрядные источники света. Значения модулей полных сопротивлений $Z_{1нг}$, $Z_{2нг}$ и $Z_{0нг}$, а также эквивалентной сверхпереходной ЭДС комплексной нагрузки $E_{нг}''$ в относительных единицах при отсутствии других, более полных данных, могут быть определены по кривым зависимости параметров комплексной нагрузки от ее состава. Метод учета комплексной нагрузки зависит от характера исходной схемы замещения комплексной нагрузки (рисунок 1) и положения расчетной точки КЗ.

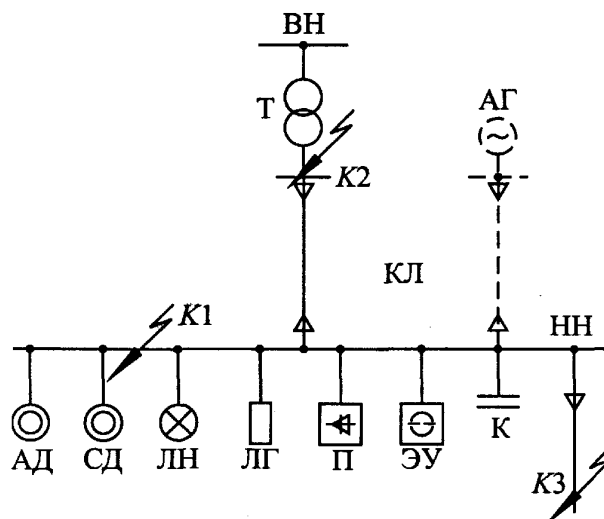


Рис. 1. Типовая расчетная схема узла комплексной нагрузки

Учет воздушных линий до 1 кВ

Активные сопротивления прямой последовательности воздушных линий электропередачи, выполненных медными или алюминиевыми проводами, взятые из методических указаний по расчету токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ.

Индуктивные сопротивления прямой последовательности воздушных линий, выполненных медными и алюминиевыми проводами, взятые также из методических указаний. Индуктивные сопротивления даются в зависимости от среднегеометрического расстояния между проводами фаз, которое определяется конструкцией воздушной линии.

Активные и индуктивные сопротивления обратной последовательности воздушных линий принимаются равными активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности воздушных линий напряжением 0,4 кВ зависят от конструкции линии, наличия и количества повторных заземлений на ней, конструкции устройств повторных заземлений и климатической зоны, в которой находится воздушная линия.

Учет влияния дуги путем введения переходного сопротивления дуги в схему замещения

Учет электрической дуги в месте КЗ рекомендуется производить введением в расчетную схему активного сопротивления дуги R_d , которое определяется на базе вероятностных характеристик влияния устойчивой (непогасающей) дуги на ток КЗ.

УДК

Модернизация методических указаний для расчета токов короткого замыкания в сетях до 1 кВ

Мельянчук А.А., Кулаковская А.В., Горячко М.Г.

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

В Методических указаниях приведены требования и порядок расчета токов короткого замыкания в схемах переменного тока напряжением до 1 кВ собственных нужд электрических станций, подстанций и тепловых сетей с учетом влияния электрической дуги, асинхронных электродвигателей и нагрева кабелей токами КЗ.

Методические указания предназначены для персонала электрических станций, предприятий электрических сетей и проектных организаций, которые занимаются расчетом токов КЗ и уставок защитных аппаратов сети. Параллельно излагаются методика ручных инженерных расчетов и алгоритмы расчета при использовании ЭВМ.

В настоящих методических указаниях использованы ссылки на следующие стандарты:

– ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.

– ГОСТ 30323-95 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания.

Цели расчета тока КЗ и определяемые параметры

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.

Виды КЗ

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.

Параметры сети и факторы, учитываемые при расчете тока КЗ

В соответствии с ГОСТ 28249-93 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 асинхронных электродвигателей.

При расчетах тока КЗ в соответствии с ГОСТ 28249-93 рекомендуется учитывать:

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

При расчетах токов КЗ допускается:

- максимально упрощать и эквивалентировать всю внешнюю сеть по отношению к месту КЗ и индивидуально учитывать только автономные источники электроэнергии и электродвигатели, непосредственно примыкающие к месту КЗ;

- не учитывать ток намагничивания трансформаторов;
- не учитывать насыщение магнитных систем электрических машин;
- принимать коэффициенты трансформации трансформаторов равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней напряжения сетей, которые связывают трансформаторы. При этом следует использовать следующую шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ;

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

Расчет параметров элементов схемы замещения

В существующих указаниях описан расчет параметров элементов схемы состоящий из следующих пунктов:

- сопротивление внешней системы;
- сопротивления трансформаторов питания схемы СН;
- активное и индуктивное сопротивление реакторов;
- активное и индуктивное сопротивления шинпроводов;
- активное и индуктивное сопротивления кабелей;
- учет нагревания кабелей токами КЗ при инженерных расчетах;
- учет нагревания кабелей токами КЗ при расчетах на ЭВМ;
- активные и индуктивные сопротивления трансформаторов тока;
- активные и индуктивные сопротивления катушек и силовых контактов автоматических выключателей;
- активные сопротивления контактов, контактных соединений и плавких вставок;
- параметры АД;
- сопротивления воздушных линий.

Расчет тока КЗ

В указаниях приведена методика расчета начального значения периодической составляющей тока металлического КЗ от энергосистемы и от АД. Расчет ударного тока КЗ от энергосистемы, АД и в месте КЗ. Также описана методика расчета периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени. Приведена

методика расчета токов несимметричных КЗ, токов двухфазного КЗ, токов однофазного КЗ, токов дуговых КЗ.

Модернизация Методических указаний

Для модернизации Методических указаний в них необходимо добавить учет синхронных электродвигателей при расчете токов КЗ, учет комплексной нагрузки при расчетах токов короткого замыкания.

Учет синхронных электродвигателей при расчете токов КЗ

При расчете начального значения периодической составляющей тока КЗ синхронные электродвигатели следует учитывать сверхпереходным сопротивлением по продольной оси ротора (X_d''), а при определении постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ – индуктивным сопротивлением для токов обратной последовательности X_2 и активным сопротивлением обмотки статора $R_{сд}$.

При приближенных расчетах допустимо принимать

$$X_{d''\text{ном}} = 0,15; X_2 = X_d''; R_{сд} = 0,15X_d''.$$

Ударный ток трехфазного КЗ от синхронного электродвигателя следует рассчитывать так же, как и от автономного источника.

Точный расчет действующего значения периодической составляющей тока КЗ от электродвигателей в произвольный момент времени выполняют путем решения соответствующей системы дифференциальных уравнений переходных процессов и выделения периодической составляющей тока. При приближенных расчетах этой составляющей тока КЗ в радиальной схеме используют типовые кривые.

Учет комплексной нагрузки при расчетах токов короткого замыкания

В состав комплексной нагрузки могут входить асинхронные и синхронные электродвигатели, преобразователи, электротермические установки, конденсаторные батареи, лампы накаливания и газоразрядные источники света. Значения модулей полных сопротивлений $Z_{1нг}$, $Z_{2нг}$ и $Z_{0нг}$, а также эквивалентной сверхпереходной ЭДС комплексной нагрузки $E_{нг}''$ в относительных единицах при отсутствии других, более полных данных, могут быть определены по кривым зависимости параметров комплексной нагрузки от ее состава. Метод учета комплексной нагрузки зависит от характера исходной схемы замещения комплексной нагрузки (рисунок 1) и положения расчетной точки КЗ.

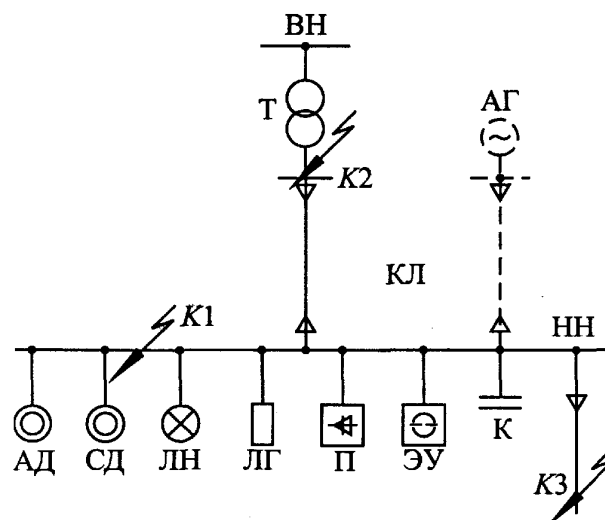


Рис. 1. Типовая расчетная схема узла комплексной нагрузки

УДК 621.316.9

Защита трансформаторов

Савченко В.А., Корейво О.В.

Научный руководитель – ГУРЬЯНЧИК О.А.

К повреждениям трансформаторов относят:

- междуфазные КЗ на выводах и в обмотках (последние возникают гораздо реже, чем первые);
- однофазные КЗ (на землю и между витками обмотки, т. е. витковые замыкания);
- «пожар стали» сердечника.

К ненормальным режимам относятся:

- перегрузки;
- токи внешних КЗ;
- недопустимое понижение уровня масла.

Повреждения и ненормальные режимы работы предъявляют определенные требования к устройствам автоматического управления трансформаторами, рассматриваемые ниже.

На трансформаторах устанавливаются следующие защиты:

- защита от коротких замыканий, действующая на отключение поврежденного трансформатора и выполняемая без выдержки времени (для ограничения размеров повреждения, а также для предотвращения нарушения бесперебойной работы питающей энергосистемы);

– защита, от токов внешних КЗ, основное назначение которой заключается в предотвращении длительного прохождения токов КЗ в случае отказа выключателей или защит смежных элементов путем отключения трансформатора;

- защита от перегрузок.

На трансформаторах предусматриваются следующие устройства автоматики:

- автоматическое повторное включение, предназначенное для повторного включения трансформатора после его отключения максимальной токовой защитой;
- автоматическое включение резервного трансформатора;
- автоматическое отключение и включение одного из параллельно работающих трансформаторов;
- автоматическое регулирование напряжения.

Токовые защиты:

Трансформаторы малой мощности до 750 кВА при напряжении 10 кВ и до 3200 кВА при напряжении 35 кВ тупиковых подстанций, а также цеховые трансформаторы обычно коммутируются выключателями нагрузки ВНП. Для защиты таких трансформаторов от внутренних КЗ допускается применение предохранителей. Селективность защиты обеспечивается согласованием время-токовой характеристики предохранителя с характеристиками защит отходящих присоединений со стороны низшего напряжения трансформатора.

Недостатками защит трансформаторов, выполненных с помощью плавких вставок, являются:

- нестабильность их защитных характеристик;
- трудность согласования с защитами смежных участков.

Токовая защита более мощных трансформаторов выполняется с использованием вторичных максимальных реле тока (прямого или косвенного действия). Первой ступенью защиты является токовая отсечка, ток срабатывания которой выбирается большим максимального тока при КЗ за трансформатором. Вторая ступень представляет собой максимальную токовую защиту, выдержка времени которой

согласована с выдержками времени защит отходящих присоединений.

Для повышения чувствительности максимальная токовая защита дополняется пуском от реле напряжения обратной последовательности (при несимметричных КЗ) и от реле минимального напряжения (при симметричных КЗ).

Если трансформатор с высшим напряжением 110 кВ имеет глухозаземлённую нейтраль, то при однофазном КЗ в сети 110 кВ через нейтраль трансформатора будут проходить токи нулевой последовательности, для отключения которых на трансформаторе устанавливается специальная токовая защита нулевой последовательности.

Газовая защита:

Обмотки большинства трансформаторов помещены в бак, залитый маслом, которое используется как для изоляции обмоток, так и для их охлаждения. При возникновении внутри бака электрической дуги КЗ, а также при перегреве обмоток масло разлагается, что сопровождается выделением газа. Это явление и используется для создания газовой защиты.

Защита выполняется с помощью газового реле, установленного в трубе, соединяющей бак трансформатора с расширителем. Газовое реле состоит из кожуха и двух расположенных внутри него поплавков, снабженных ртутными контактами, замыкающимися при изменении их положения. Оба поплавка шарнирно укреплены на вертикальной стойке. Один из них расположен в верхней части, а второй – в центральной. При слабом газообразовании (газ скапливается в верхней частей кожуха реле), а также при понижении уровня масла верхний поплавок опускается, что приводит к замыканию его контактов. При бурном газообразовании потоки масла устремляются в расширитель, что приводит к замыканию контактов обоих поплавков. Контакты верхнего поплавка носят название сигнальных, а нижнего – основных контактов газового реле.

Достоинствами газовой защиты являются простота выполнения, срабатывание при всех видах повреждения внутри бака трансформатора, высокая чувствительность.

Однако газовая защита, не срабатывает при повреждениях вне бака трансформатора. Поэтому она не может быть единственной основной защитой трансформатора.

Продольная дифференциальная защита:

На трансформаторах мощностью более 7,5 МВА в качестве основной защиты устанавливается продольная дифференциальная токовая защита. Принцип действия защиты аналогичен защите линий электропередачи. Однако особенности трансформатора как объекта защиты приводят к тому, что $I_{нб}$ в дифференциальной защите трансформатора значительно больше, чем в дифференциальных защитах других элементов системы электроснабжения. Основными факторами, которые необходимо учитывать при выполнении дифференциальной защиты трансформатора, являются следующие.

– Бросок тока намагничивания при включении трансформатора под напряжение или при восстановлении напряжения после отключения внешнего КЗ.

– Ток намагничивания трансформатора в нормальном режиме работы невелик и составляет 2–3 % номинального тока $I_{т,ном}$. После отключения внешнего КЗ, как и при включении трансформатора под напряжение, возникающий бросок тока намагничивания может превышать номинальный ток $I_{т, ном}$ в 6–8 раз.

– Схемы соединения обмоток трансформатора.

– Несоответствие коэффициентов трансформации ТТ расчетным значениям.

– Регулирование коэффициента трансформации трансформатора. При регулировании коэффициента трансформации трансформатора соотношение между первичными, а следовательно, и между вторичными токами $I_{ТТ}$ и $2ТТ$ изменяется, что

также приводит к появлению тока небаланса в дифференциальной цепи защиты.

При отсутствии выключателя на стороне ВН трансформатора:

Для отключения повреждений в понизительных трансформаторах таких подстанций применяются следующие способы:

– установка на выводах высшего напряжения трансформаторов плавких предохранителей;

– установка короткозамыкателей, автоматически включаемых при срабатывании защит трансформатора и вызывающих КЗ, на выводах высшего напряжения, которое ликвидируется затем защитами питающего конца линии;

– передача отключающего сигнала по высокочастотному каналу (на базе проводов линии) или по жилам специального кабеля от защит трансформатора на отключение выключателя питающего конца линий.

Автоматическое включение резервного источника питания при отключении трансформатора:

На подстанциях широкое распространение получили устройства автоматического включения секционного выключателя СВ при исчезновении питания на одной из секций шин низшего напряжения.

Схемы защита трансформатора на переменном оперативном токе.

Автоматическое регулирование коэффициента трансформации:

С целью поддержания требуемого уровня напряжения широко распространено регулирование напряжения U_n у потребителей путем изменения коэффициента трансформации трансформаторов понижающих подстанций, питающих распределительную сеть. Для изменения коэффициента трансформации под нагрузкой трансформаторы оборудуются устройствами РПН (переключение отпаек под нагрузкой). Автоматическое изменение n_t осуществляется специальным регулятором АРКТ, воздействующим на РПН.

В общем случае электрическая сеть, получающая питание от шин подстанции, может быть разветвленной и питать значительное количество нагрузок. При этом наиболее выгодно поддерживать неизменным напряжение в некоторой контролируемой точке, представив разветвленную сеть в виде эквивалентной линии с одной нагрузкой на конце. Поскольку значение напряжения U_n при данном напряжении на шинах $U_{ш}$ зависит от падения напряжения в эквивалентной линии ($U_n = U_{ш} - Z_{э,л} I_n$), то напряжение $U_{ш}$ должно быть тем больше, чем больше нагрузка потребителя. Такое регулирование напряжения получило название встречного регулирования.

Переключение отпаек необходимо производить с выдержкой времени, обеспечивающей отстройку от кратковременных колебаний напряжения (например, при пуске электродвигателей). Поэтому при выходе напряжения у потребителя из зоны нечувствительности регулятора АРКТ через время $t_{ср} = 1-2$ мин воздействует на РПН.

УДК

Микропроцессорные устройства защиты и автоматики серии МР

Румянцев Ю.В.

Научный руководитель – ТИШЕЧКИН А. А.

Реле серии МР являются современными цифровыми устройствами защиты, управления и противоаварийной автоматики, и представляют собой комбинированные многофункциональные устройства, объединяющие различные функции защиты, измерения, контроля, местного и дистанционного управления.

Выпускаются следующие разновидности реле серии МР:

– МР 500 предназначается для защиты кабельных воздушных линий электропередач напряжением 6-35 кВ;

– МР 100 для защиты различных участков сети постоянного тока от перегрузки и коротких замыканий;

– МР 330 предназначено для защиты кабельных и воздушных линий электропередач напряжением 6-35 кВ и трансформаторов (например, в качестве резервной защиты силовых трансформаторов);

– МР 700 предназначено для защиты кабельных и воздушных линий электропередачи напряжением 6-35 кВ с двусторонним питанием;

– МР-600 предназначено для защиты от понижения и повышения напряжения, понижения и повышения частоты, а также для сбора и передачи информации по каналам связи на диспетчерские управляющие комплексы.

Устройство реле и основные модули реле серии МР500

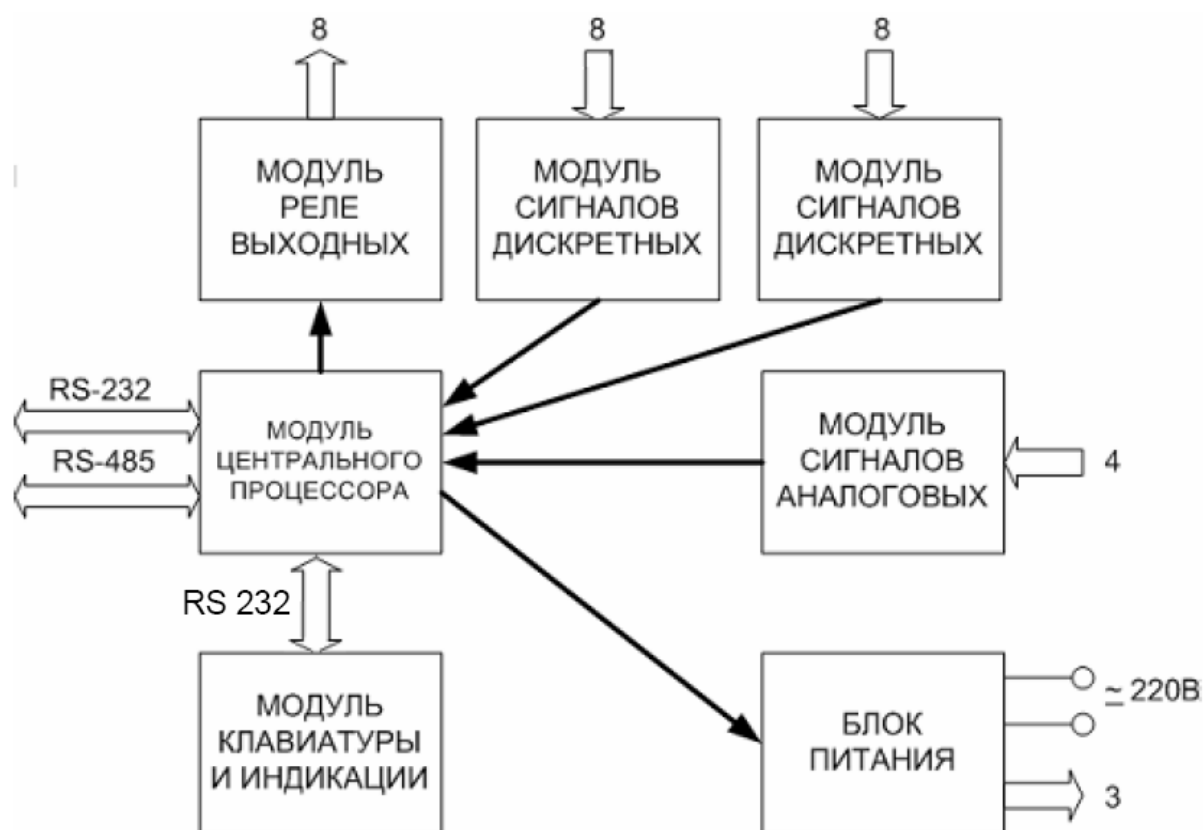


Рис. 1. Модули реле МР500

MP500 имеет модульную структуру и состоит из следующих модулей:

- модуль центрального процессора (МЦП);
- модуль (ввода) сигналов аналоговых (МСА);
- двух модулей (ввода) сигналов дискретных (МСД);
- модуль реле выходных (МРВ);
- модуль клавиатуры и индикации (МКИ);
- блок питания (БП).

Токи на входе модуля сигналов аналоговых преобразуются датчиками токов, и фильтруются аналоговыми фильтрами низких частот, отсекающими высшие гармоники во входном сигнале, а затем, передаются на МЦП.

Модуль центрального процессора выполняет функции аналого-цифрового преобразования, вычисления и связи. При помощи 12-разрядного АЦП аналоговые сигналы, поступающие от МСА, преобразуются в цифровой код и обрабатываются процессором. Получаемые в итоге данные определяют условия срабатывания защит.

Модуль сигналов дискретных позволяет устройству получать сигналы от внешних устройств.

Модуль реле выходных предназначен для выдачи следующих сигналов: неисправности самого устройства защиты, об аварии в схему центральной сигнализации, а также различные запрограммированные сигналы защиты и автоматики.

Модуль клавиатуры и индикации (пульт) образует интерфейс между пользователем и MP500. На МКИ расположены: клавиатура, жидкокристаллический дисплей и светодиодные индикаторы. Индикаторы отображают состояние защищаемой линии, коммутационного аппарата и исправность самого устройства.

Блок питания позволяет питать устройство, как от постоянного, так и переменного оперативного тока в широком диапазоне изменения питающего напряжения. На модуле БП расположены сигнальные реле «неисправность» и «авария».

Устройство MP500 выполняет следующие функции:

- восемь входных логических сигналов по логике «И» или «ИЛИ»;
- восемь выходных логических сигналов по логике «ИЛИ»;
- индикацию действующих (текущих) значений тока защищаемого присоединения;
- местное и дистанционное управление выключателем, переключение режима;
- задание внутренней конфигурации (ввод защит и автоматики, выбор защитных характеристик, количество ступеней защиты, программирование логики и т. д.) программным способом;
- регистрацию аварийных параметров защищаемого присоединения (действующих значений тока и типа повреждения) и срабатывание измерительных органов;
- регистрацию изменения сигналов на дискретных входах (состояния выключателя присоединения, цепей дистанционного управления и внешних защит) и команд управления поступающих по каналу связи;
- учет количества отключений выключателя;
- обмен информацией с верхним уровнем (АСУ ТП);
- непрерывную самодиагностику аппаратной и программной части.

Устройство имеет две группы уставок, называемые «основная» и «резервная», которые могут быть выбраны при программировании через клавиатуру, персональный компьютер или сеть связи. Установленная группа уставок, может быть индиферентна на МКИ. Независимо от сделанного выбора, устройство может принудительно использовать резервные уставки. Это может быть выполнено через сеть или дискретный вход, специально сконфигурированный для этой цели. Когда сигнал сбрасывается, то предварительно выбранная группа уставок устанавливается снова.

УДК 621.311:618.5

Методы исследования качества систем автоматического регулирования

Цылин А.С.

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

При исследовании систем автоматического регулирования (САР) приходится решать задачу обеспечения требуемых показателей качества переходного процесса: быстродействия, колебательности, перерегулирования, характеризующих точность и плавность протекания процесса. Переходный процесс в системе является ее реакцией на внешнее воздействие, которое в общем случае может быть сложной функцией времени. Однако особенно важна переходная характеристика САР, представляющая собой реакцию системы на единичное скачкообразное воздействие (единичную ступенчатую функцию). Показатели качества, определяемые непосредственно по кривой переходного процесса, называют прямыми оценками качества.

Основные способы получения графиков переходных процессов при использовании системы *Mathcad*:

1) Непосредственное решение исходного дифференциального уравнения (ДУ):

При использовании системы *Mathcad* непосредственно само решение дифференциального уравнения с помощью встроенной функции *odesolve* не вызывает трудностей, однако нахождение коэффициентов ($a_0 \dots a_n$) для уравнений высоких порядков является достаточно трудоемкой задачей.

2) Применение символьных вычислений:

В *Mathcad* для символьных вычислений при помощи команд предназначено главное меню *Symbolics*, объединяющее математические операции, которые *Mathcad* выполняет аналитически.

Стоит отметить, что символьное решение является довольно громоздким и не пригодно для решения многих сложных функций.

3) Использование частотных характеристик

При воздействии на систему единичной ступенчатой функции $g(t)=1(t)$ выходная величина, являющаяся переходной характеристикой системы $h(t)$, определяется через вещественную частотную (ВЧХ) или мнимую частотную характеристику (МЧХ) замкнутой системы

$$x(t) = h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{P(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega, \quad (1)$$

$$x(t) = h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{Q(\omega)}{\omega} \cos \omega t d\omega + p(0), \quad (2)$$

где $P(\omega)$ и $Q(\omega)$ – ВЧХ и МЧХ замкнутой САУ соответственно.

С точки зрения удобства и простоты реализации, этот метод наиболее предпочтителен.

Графики переходных процессов, полученные рассмотренными выше способами, приведены на рисунке 1.

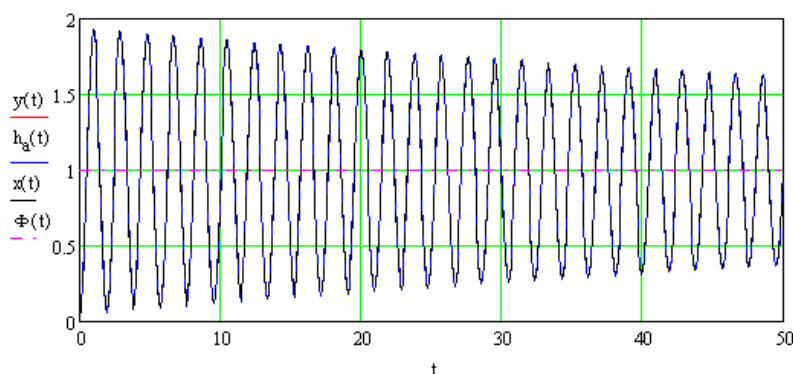


Рис. 1. Сравнение графиков переходных процессов

Из рисунка видно, что графики переходных процессов совпадают. Однако это наблюдается, только если исследуемая САР работает с коэффициентом усиления, значение которого меньше предельного ($K < K_{\text{пред}}$). Если же $K > K_{\text{пред}}$, то график переходного процесса, полученный по ВЧХ или МЧХ не соответствует действительности (имеет сходящийся характер, а не расходящийся). Это проиллюстрировано на рисунке 2.

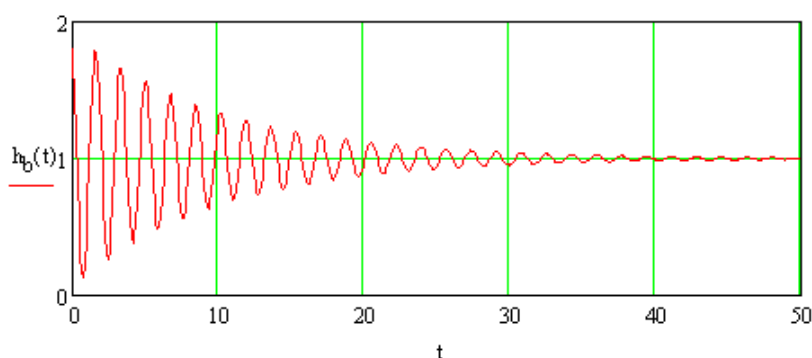


Рис. 2. Переходный процесс, полученный по МЧХ при $K > K_{\text{пред}}$

В связи с этим необходимо найти способ различать состояние системы (устойчива она или нет) при использовании метода частотных характеристик.

После ряда экспериментов обнаружено, что по разности переходных процессов, построенных по ВЧХ и МЧХ можно судить об устойчивости системы. А именно: система устойчива, если указанная выше разность не превышает значений, которые можно отнести к погрешностям расчета.

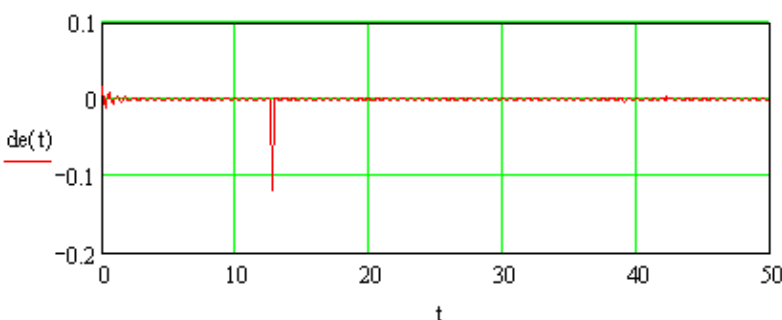


Рис. 3. График разности ВЧХ и МЧХ при $K < K_{\text{пред}}$

Скачок разности ВЧХ и МЧХ на рис.3 в области $t=13$ можно отнести к особенностям процесса расчета и не принимать во внимание. На рисунке 4 приведена разность ВЧХ и МЧХ при $K > K_{пред}$, из которого видно, что разность представляет собой значительную величину, существенно отличающуюся от предыдущего случая.

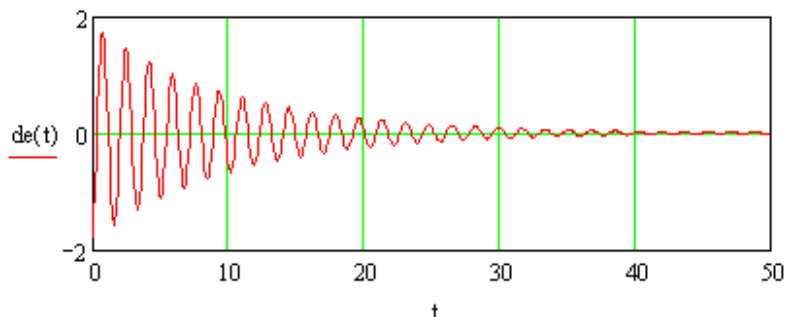


Рис. 4. График разности ВЧХ и МЧХ при $K > K_{пред}$

Таким образом, для получения графика переходного процесса необходимы две частотные характеристики (ВЧХ и МЧХ), так как при их совместном использовании можно различать состояние системы (устойчивое или неустойчивое). Если система устойчива, то переходный процесс, полученный по ВЧХ или МЧХ, соответствует действительности. Если же система неустойчива, то использование частотных характеристик не позволяет решить задачу нахождения графика переходного процесса.

Литература

1. Теория автоматического управления / под ред. акад. А.А. Воронова. – М.: Высшая школа, 1977.
2. Гурский Д.А. Вычисления в MathCAD. – Минск, 2003. – 814 с.

УДК 621.316

Нетрадиционные источники энергии. Вода в качестве горючего топлива

Чернобылец О.А., Леонов Д.Ю.

Научный руководитель – Ржевская С.П.

Фундаментальный Закон Сохранения Энергии справедлив только для замкнутой энергетической системы, но таких идеализированных систем практически нет в природе. Потому на данном этапе развития энергетики остро становится проблема понимания самой сути термина «энергия» и ее получение.

Многочисленные научные опыты подтверждают возможность получения энергии из внутренней энергии веществ и полей. Однако сложность реализации методов эффективного использования внутренней энергии состоит в нерешенных наукой проблемах энергетического обмена этого вещества с внешней средой. Поэтому основным методом извлечения внутренней энергии вещества – является экспериментальный метод

К результатам такого метода можно отнести уже широко используемое на практике множество видов нетрадиционных источников энергии:

– биоэнергетика

Основным источником биомассы являются: лесоразработки и отходы переработки древесины, сахарный тростник, зерновые и другие продовольственные культуры, отходы животноводства, твердые бытовые отходы и т.п.

Переработка биомассы, связанная с извлечением энергии осуществляется термохимическими, биохимическими и агрохимическими способами. Термохимические способы – это прямое сжигание и пиролиз, биохимические – спиртовая ферментация и анаэробная переработка, агрохимические – экстракция топлив прямо от живых растений (например, получение каучука);

– геотермальная энергетика

Основным геотермальным источником является разность температур между раскаленным ядром Земли и земной корой.

В районах с повышенными градиентами температуры эти потоки составляют 10–20 Вт/м² и там могут быть созданы геотермальные энергетические (электрические) станции (ГеоТЭС);

– энергия океанов

Основным источником энергии является: энергия волн, энергия приливов и отливов.

Проекты использования энергии волн разрабатываются в Японии, Великобритании, в Скандинавских странах. Разрабатываются объекты с единичными модулями 1000 кВт с длиной вдоль фронта волны около 50 м. Такие установки могут быть конкурентоспособны с дизель-генераторами при электроснабжении удаленных посёлков на островах.

Сложности создания волновых энергоустановок обусловлены нерегулярностью волн по амплитуде, частоте, направлению, возможностью 100-кратных перегрузок при штормах и ураганах, расположением на глубокой воде, вдали от берега, сложностью согласования низкой частоты волн (0,1Гц) и высокой частоты электрического генератора (50 Гц);

– водородная энергетика

Источник энергии – водород.

Водород можно передавать по трубопроводам или использовать непосредственно для получения электроэнергии в топливных элементах.

Водород получают разложением аммиака NH_3 на азот N_2 и водород H_2 при более низких температурах, чем воду. Сочетание теплового двигателя для сжигания водорода и солнечного тепла для преобразования аммиака позволяет получать электроэнергию;

– ветроэнергетика

Источник энергии – восходящие и нисходящие воздушные потоки.

Принцип действия всех ветрогенераторов один: под напором ветра вращается ветроколесо с лопастями, передавая крутящий момент через систему передач валу ветрогенератора, вырабатывающего электроэнергию, водяному насосу или электрогенератору.

– другие альтернативные методы

Извлечение скрытой внутренней энергии горючих веществ, в процессе воздействия пламенем электрического поля, позволяет сжечь практически любые вещества, выделяя энергию межмолекулярных связей углеводородистого топлива. Электроогневой метод позволяет сжечь в пламени практически любые вещества, и даже обычную воду, поскольку в таком пламени под действием электрического поля и инжектированного разряда происходят энерговыделяющие цепные реакции, в некоторых случаях наблюдается даже трансмутация отдельных элементов.

Джон Казиус – человек, обнаруживший явление горения воды, утверждает, что с помощью генератора радиочастот сумел поджечь морскую воду. Эта разработка позволяет сжигать соленую воду под действием электромагнитного излучения. Радиочастоты способны нарушить химические связи между элементами воды, в результате чего происходит высвобождение атомов водорода, а вода воспламеняется. Температура взрыва около 1650 градусов Цельсия.

Литература

1. «Нетрадиционные источники энергии» часть 2, М.М. Олешкевич
2. «Метод извлечения скрытой потенциальной энергии электрического поля и преобразования ее в иные полезные виды энергии» Дудышев В.Д.
3. «Новая энергетика» журнал № 4 – 2003.
4. post-gazette.com. – интернет-сайт

УДК 621.316

Безопасные электрозащитные технологии в энергетике

Чернобылец О.А., Леонов Д.Ю.

Научный руководитель – Ржевская С.П.

Для предотвращения электротравматизма работающих применяются различные методы и средства. Но для достижения главной цели, усилия разработчиков средств защиты и работников энергетики и железных дорог были сконцентрированы на решении следующих основных проблем:

1. Определены профессии работников подразделений предприятий, подвергающихся чаще других травмированию электрическим током и электрической дугой. Такими работниками оказались преимущественно электромонтеры оперативно-выездных и эксплуатационно-ремонтных бригад.

2. Совместно разработчики средств защиты и специалисты Минэнерго СССР, позднее Минэнерго Беларуси, концерна «Белэнерго» и РАО «ЕЭС России» разработали новую идеологию, в соответствии с которой для снижения электротравматизма работников этих бригад им создаются условия и возможность выполнения максимального количества работ без подъема на опоры ВЛ и без касания токоведущих частей.

Эксплуатация и ремонт распределительных электрических сетей с воздушными линиями (ВЛ) электропередачи предполагает постоянное выполнение следующих операций:

- определение наличия и отсутствия напряжения;
- установка и снятие переносного заземления;
- фазировка;
- снятие и установка высоковольтных предохранителей, управление разъединителями;
- измерение тока в фазах ВЛ;
- покраска нетоковедущих и токоведущих частей электроустановок, в том числе, без снятия напряжения;
- очистка от загрязнений изоляторов и других частей электроустановок;
- обрезка веток вблизи действующих ВЛ.

В соответствии с ГОСТ 12.1.009-76 электрозащитными средствами являются переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги и электромагнитного поля.

К таким электрозащитным средствам относятся:

- малогабаритные сигнализаторы опасного напряжения;
- контактно-бесконтактные указатели напряжения;
- устройство проверки указателей напряжения;
- штанги универсальные электроизолирующие ШЭУ;
- заземления переносные для распределительных устройств;
- указатели проверки совпадения фаз;
- измерители тока воздушных линий электропередачи;
- лестницы и стремянки переносные.

Система технических средств, основанная на применении универсальных электроизолирующих штанг ШЭУ, позволяет производить широкий спектр работ по эксплуатации ВЛ с земли без подъёмом на опору, обеспечивая, тем самым, качественное повышение безопасности труда и значительное уменьшение затрат времени работников.

Штанги электроизолирующие универсальные ШЭУ применяют в действующих электроустановках до 1000 В и выше 1000 В предприятий энергетики, железных дорог, связи, строительства и других отраслей экономики. Штанги состоят из одного или нескольких (2–6) звеньев, каждое из которых имеет длину до 1,6 м и представляют собой стеклопластиковые полые конические трубы наружным диаметром 30–32 мм.

Указатель высокого напряжения ПИОН-2001 является основным средством защиты и позволяет определить напряжение на каждой фазе. Основной особенностью указателя является отсутствие пьезоэлементов и химических источников питания. Прибор позволяет быстро, просто и безопасно определить наличие напряжения не только с земли, без подъема на опору и без диэлектрических перчаток, но даже не выходя из машины ОВБ, в том числе в коридоре из нескольких воздушных линий (ВЛ) 10 кВ – на каждой ВЛ в отдельности, а также определить шаговое напряжение и напряжение на ВЛ с изолированными проводами.

Литература

1. «Техника без опасности» ноябрь-декабрь 2003 №1.
2. Справочник 2004-2005 ЗАО «Техношанс».
3. Доклад И.С. Козыревича на семинаре на выставке «Охрана труда в энергетике – 2002» в г. Москва 27–31 мая 2002 г.
4. ГОСТ 12.1019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. Введен 01.07.1980. – 12 с.

УДК 621.311.2

Исследование рынка оборудования систем постоянного оперативного тока

Сиротина Т.Ф., Шпока Р.С., Спасков А.А.
Научный руководитель – КИСЛЯКОВ А.Ю.

На электростанции применяются многочисленные вспомогательные электрические устройства и механизмы, служащие для управления, регулирования режима работы, сигнализации, релейной защиты и автоматики. Все эти оперативные устройства и механизмы питаются энергией от специальных источников, которые называются источниками оперативного тока. Соответствующие электрические цепи, питающие названные устройства и механизмы, называют оперативными цепями, а схемы питания – схемами оперативного тока. Оперативные цепи и их источники должны быть надёжны, так как нарушение их работы может приводить к отказам и серьёзным авариям в электроустановках. Различают независимые и зависимые источники оперативного тока. Работа первых не зависит, а работа вторых зависит от режима работы и состояния первичных цепей электроустановки. Независимыми источниками оперативного тока являются аккумуляторные батареи, дизель-генераторы и турбореактивные агрегаты. Зависимые источники – трансформаторы собственных нужд, измерительные трансформаторы тока и напряжения. Оперативные цепи работают на постоянном, переменном или выпрямленном токе.

Постоянный ток применяется вследствие того, что электромагнитные системы на постоянном токе более просты и надёжны. Использование аккумуляторных батарей определяется стремлением иметь независимый источник при любых авариях и отказах в первичных цепях. Заряд аккумулятора производится от источника постоянного тока, ЭДС которого больше чем ЭДС аккумулятора. На электростанции аккумуляторные батареи (АКБ) работают в режиме постоянного подзаряда. В схеме АКБ предусмотрено зарядно-подзарядное устройство.

Устройства УЗП предназначены для заряда стационарных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей различными методами, как в автоматическом режиме, так и в ручном при участии оператора подзаряда аккумуляторных батарей с возможностью параллельной работы на постоянную нагрузку, подключённую к щиту постоянного тока (ЩПТ). Устройства УЗП могут обеспечить (в случае отключения от ЩПТ аккумуляторной батареи) электропитание любых потребителей постоянного тока электростанции или подстанции, в том числе и чувствительных к форме входного напряжения.

ЩПТ используются в системах электроснабжения собственных нужд нормальной эксплуатации (СНЭ) атомных электростанций (АЭС) и системах аварийного электроснабжения (САЭ) АЭС сетей постоянного тока, на электростанциях, в электроустановках энергосистем промышленных, нефте и газодобывающих предприятий для ввода и распределения электроэнергии постоянного тока потребителям собственных нужд, на нефтеперерабатывающих заводах, на нефтебуровых платформах, в судостроении, в электроустановках энергосистем промышленных предприятий, транспорта и сельского хозяйства.

В системах питания постоянного тока крупных энергообъектов используются тиристорные устройства стабилизации напряжения постоянного тока УТСП, имеющих в своем составе аккумуляторные батареи, в качестве стабилизатора напряжения постоянного тока повышающего типа. Устройство тиристорное стабилизации напряжения постоянного тока собственных нужд электрических станций состоит из

параллельно соединенных тиристорных преобразователей постоянного тока с накопительными конденсаторами и дросселями с тиристорно-диодной коммутацией и входного и выходного фильтров с регулированием и стабилизацией выходного напряжения.

Контроль за оперативными цепями осуществляется с помощью преобразователя измерительного напряжения, преобразователя измерительного постоянного тока, устройства контроля изоляции, устройства контроля напряжения, устройства контроля состояния аккумуляторной батареи.

Компания TEV – совместное, российско-французское предприятие. Шкаф оперативного постоянного тока «ШОТ-ТЭВ» – оригинальная разработка компании. Он создавался инженерами TEV с применением инновационных технологий, из комплектующих ведущих мировых производителей электрооборудования. «ШОТ-ТЭВ» предназначен для обеспечения электроэнергией и защиты от перебоев электроснабжения оборудования, работающего на постоянном токе.

Компания «Электронмаш» выпускает шкафы оперативного постоянного тока «ExOn» на номинальные токи 5–1980 А для применения в сетях однофазного или трехфазного переменного тока с глухозаземленной нейтралью. Эти шкафы могут служить не только источником оперативного тока, но и обычным источником бесперебойного питания (ИБП) постоянного тока на различных промышленных предприятиях. ШОТ «ExOn» состоит из четырех основных модулей, которые определяют качество и надежность его работы: зарядное устройство (ЗУ), аккумуляторная батарея, модуль распределения электроэнергии по потребителям, система управления ШОТ «ExOn».

ЗАО «МПОТК «Технокомплект» разрабатывает и производит полупроводниковые преобразователи электрической энергии: Зарядные устройства для тяговых подстанций ЖД (ЗУ-ТП), аппараты бесперебойного питания и оперативного постоянного тока (АУОТ-М-20(40)-220-УХЛ4), зарядные (подзарядные) устройства (ПНЗП-80-260-УХЛ4, УБП-01), преобразователи напряжения для индукционного нагрева (ПНТО-ПТ-80-260/460-УХЛ4), Групповые стабилизаторы для осветительных сетей (ППТТ-63(100)-220-УХЛ4), системы оперативного тока, источники бесперебойного питания.

Компания «ЭНЕРГОСИСТЕМАВТОМАТИКА» является разработчиком, производителем и поставщиком электротехнического оборудования. Шкафы управления оперативным током ШУОТ-2404 применяются в распределительных устройствах и подстанциях, а также в системах аварийного питания и освещения. Шкафы управления оперативным током ШУОТ-2403 предназначены для питания цепей постоянного тока напряжением 110В и 230В в распределительных устройствах, системах аварийного питания и освещения, для питания устройств электросвязи. Шкафы управления оперативным током ШУОТ-2405 – ШУОТ с микропроцессорной системой управления Шкафы управления оперативным током ШУОТ-2406 – ШУОТ с микропроцессорной системой управления и высокочастотным преобразованием энергии.

Основными направлениями деятельности "СНП-Ингресс" являются проектирование и производство щитового оборудования, узлов учета и экономии теплоэнергоресурсов, монтаж и проектирование систем вентиляции и кондиционирования. Номенклатура щитового оборудования: вводно-распределительные устройства ВРУ-1, вводно-распределительные устройства ВРУ-3, шкафы распределительный серии ШР-11 (ШРС1), щитки осветительные ОЩВ, щиты этажные, панели ЩО-70, щиты металло-пластиковые ЩРВ, ЩРН, ЩРУ, шкафы автоматического ввода резерва ШАВР, шкафы оперативного тока ШОТ (ШУОТ), щиты автоматики для промышленных установок.

Преобразование в постоянное напряжение проводится выпрямителями производства Argus Technologies модели Cordex CXRC. Стандартно в шкаф устанавливается 8 автоматических выключателей (фидеры отходящих линий).

Автоматические выключатели постоянного тока, контакторы и светосигнальная арматура – высоконадежное оборудование торговых марок Merlin Gerin и Telemecanique.

ООО ИТЦ Пром Комплект Инжиниринг производит шунты измерительные стационарные взаимозаменяемые. Предназначены для расширения диапазонов измерений показывающих и регистрирующих приборов постоянного тока, применяемых на различных объектах сферы обороны, безопасности и промышленности.

Промышленно торговая группа FIAMM один из крупнейших производителей аккумуляторных батарей в мире. Основанная в 1942 году группа FIAMM является мировым лидером по производству аккумуляторных батарей, в состав которой входят более 20 компаний, расположенных в Италии, Германии, Франции, Австрии, США, Бразилии и ряде других стран. Аккумуляторы Fiamm GS герметичные, необслуживаемые клапаннорегулируемые свинцово-кислотные аккумуляторные батареи. Созданы для достижения высокой экономичности, стабильности работы, высоких выходных характеристик. Высокое качество производимого оборудования позволяют аккумуляторам FIAMM GS занимать лидирующее положение на рынке портативных аккумуляторов.

Отличаясь низким внутренним сопротивлением и эффективными разрядными характеристиками, батареи SUNLIGHT серии SP (SUNLIGHT POWER) могут применяться во многих сферах, как в циклическом режиме, так и в режиме ожидания. В течение всего срока службы батареи нет необходимости проверять уровень электролита или доливать воду. Газы полностью поддаются рекомбинации (до 99 %).

Батареи серии VARTA bloc – закрытые свинцово-кислотные батареи, разработанные для универсального применения там, где необходимо соблюдать высокие требования безопасности. Особенности конструкции этих батарей позволяют использовать их как в режимах кратковременных разрядов большими токами, так и режимах длительных нагрузок с отбором большой емкости. Области применения – установки резервного питания для электростанций, трансформаторных подстанций, установок бесперебойного питания и в промышленном оборудовании, установки резервного питания систем освещения и накопители энергии в солнечных батареях.

Серия выпрямителей Thyrotronic, разработанная мировой компанией BENNING, предназначена для построения систем гарантированного электропитания постоянного тока с параллельным резервированием стационарными аккумуляторными батареями и предлагает, наряду с высокой надежностью, всестороннюю концепцию мониторинга и контроля.

Рассмотрим также оборудование систем постоянного оперативного тока РУП «Белэлектромонтажналадка». Щит постоянного тока предназначен для приема и распределения электрической энергии собственных нужд оперативного постоянного тока. Питание цепей постоянного тока осуществляется через выпрямительные (подзарядные устройства) и от аккумуляторной батареи. Щит постоянного тока ЩПТ-БЭМН может применяться на электрических станциях, трансформаторных подстанциях, распределительных пунктах для питания оперативных цепей схем релейной защиты, управления, автоматики, аварийного освещения. ЩПТ-БЭМН изготавливаются согласно ТУ РБ 00658780.018-2001.

ШОПТ служит для надёжного снабжения потребителей электрической энергией постоянного тока. Питание потребителей постоянным током осуществляется от зарядных устройств (ЗУ), а при исчезновении напряжения на обеих секциях

собственных нужд переменного тока и при резких толчках нагрузки – от аккумуляторной батареи (АБ). ШОПТ может применяться на электрических станциях, трансформаторных подстанциях, распределительных пунктах для питания оперативных цепей схем релейной защиты, автоматики, сигнализации и аварийного освещения. ШОПТ состоит из одного шкафа. В состав ШОПТ могут входить два зарядных устройства, аккумуляторная батарея, автоматические выключатели, предохранители, измерительные щитовые приборы, устройства контроля и поиска места повреждения изоляции в сети постоянного тока, устройства мигающего света, блок аварийного освещения.

Литература

1. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
2. Руководство по эксплуатации. Шкафы оперативного постоянного тока серии ШОПТ-БЭМН.

УДК 621.311.2

Автоматические коммутационные устройства распределительных сетей 6 – 35 кВ

Шпока Р.С., Пашкович Н.П. Алешкевич Р.А.

Научный руководитель – КИСЛЯКОВ А.Ю.

Автоматические коммутационные устройства играют важнейшую роль в энергетических системах. Основными устройствами являются автоматические выключатели, контакторы и выключатели нагрузки.

Автоматический выключатель – контактное коммутационное устройство, способное к включению, проведению и отключению электрических токов при нормальных условиях электрической цепи, а также способное к включению, проведению в течение установленного времени и автоматическому отключению электрических токов при установленных аномальных условиях электрической цепи, например, при коротком замыкании.

Основные требования, предъявляемые к выключателям 6–35 кВ следующие:

- надежность в работе и безопасность для обслуживающего персонала;
- как можно меньшее время отключения;
- возможно малые габариты и масса;
- простота монтажа;
- бесшумность работы;
- сравнительно невысокая стоимость;
- малые расходы на обслуживание и эксплуатацию;
- ремонтпригодность.

Срок службы выключателя должен быть не менее 20 лет.

Кроме того, высоковольтные выключатели должны быть рассчитаны на климатические исполнения "У" и следующую категорию размещения: для КРУ наружной установки – категорию 2, для КРУ внутренней установки – категорию 3.

Контакторы – это аппараты дистанционного действия, предназначенные для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы.

К контакторам предъявляются следующие требования:

- высокая включающая и отключающая способность;
- высокая коммутационная износостойкость при большой частоте включений;
- высокая механическая износостойкость;
- технологичность конструкции, малая масса и габариты;
- высокая надежность в эксплуатации.

Выключатели нагрузки – трехполюсные коммутационные аппараты высокого напряжения, предназначенные для автоматического включения и отключения рабочих токов от нагрузок электрических цепей. Они не могут отключить токи коротких замыканий, но имеют большую включающую способность, соответствующую току электродинамической стойкости при сквозном КЗ. Выключатели нагрузки широко применяются взамен дорогостоящих силовых выключателей на подстанциях распределительных сетей напряжением до 750 кВ. Кроме того они могут устанавливаться в сочетании с выключателями на системных подстанциях и в цепях мощных генераторов. Во всех случаях применение выключателя нагрузки позволяет значительно снизить затраты на сооружение электроустановки при обеспечении достаточной гибкости схемы и надежности электроснабжения потребителей.

В данной работе особое внимание уделяется выключателям нагрузки производства РУП «Белэлектромонтажналадка» – БЭМН10.630.20У1 и ВН-БЭМН.6.630.20У3.

Выключатель нагрузки ВН-БЭМН10.630.20У1 предназначен для коммутации под нагрузкой цепей трехфазного тока частотой 50; 60 Гц номинальным напряжением 10 кВ и номинальным током 630 А с заземленной или изолированной нейтралью.

Выключатель предназначен для работы в распределительных сетях, монтируется на железобетонную опору воздушных линий электропередач.

Управление выключателем нагрузки осуществляется вручную или при помощи электропривода, в составе которого имеется микропроцессорный модуль управления, и может осуществляться как местно, так и дистанционно при помощи GSM-модема.

Выключатель нагрузки связан с электроприводом при помощи подвижной тяги. Электропривод находится в шкафу, который устанавливается на опоре выключателя. В шкафу электропривода так же размещаются микропроцессорный модуль управления, средство связи для дистанционного управления и аккумуляторная батарея для питания аппаратуры шкафа электропривода.

При необходимости выключатель нагрузки может быть укомплектован ограничителями перенапряжения.

Выключатель нагрузки ВН-БЭМН.6.630.20У3

Выключатель нагрузки может иметь исполнение с электрическим (электродвигателем) либо ручным приводом. Выключатели нагрузки с электрическим приводом могут обеспечиваться микропроцессорным модулем управления и средством связи, GSM-модемом. Выключатель нагрузки предназначен для работы в шкафах комплектных распределительных устройств (КРУ), камерах стационарных одностороннего обслуживания (КСО) и комплектных трансформаторных подстанциях внутренней установки на класс напряжения до 6 кВ трехфазного переменного тока частоты 50 Гц для системы с заземленной и изолированной нейтралью.

Выключатель нагрузки состоит из оцинкованной рамы с валом, на которой установлены шесть опорных изоляторов. На трех изоляторах, расположенных в нижней части рамы, крепятся контактные ножи, а на остальных изоляторах, расположенной в верхней части рамы – главные и дугогасительные контакты. Передача движения от рычагов вала к контактным ножам осуществляется посредством изоляционных тяг. На концах вала установлены по две отключающих пружины, позволяющие с определенной скоростью отключение выключателя после освобождения механизма свободного расцепления привода. Размыкание дугогасительных контактов происходит во вкладышах дугогасительных камер. Дугогасительным камерам и вкладышам придана дугообразная форма. Это дает возможность входить в них подвижным дугогасительным контактам. При включении сначала замыкаются дугогасительные контакты, а затем ножи замыкают главные контакты, при отключении сначала размыкаются главные, а затем – дугогасительные контакты. В отключенном положении подвижный дугогасительный контакт образует видимый воздушный промежуток с дугогасительной камерой, как в обычном разъединителе. При отключении между дугогасительными контактами образуется дуга. Под действием высокой температуры дуги вкладыш выделяет большое количество газов, поток которых гасит дугу. Выключатель нагрузки может быть выполнен с заземлителем. Выключатель нагрузки может быть выполнен с ручным или моторным приводом.

Литература

1. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

2. Руководство по эксплуатации. Выключатели нагрузки ВН-БЭМН.10.630.20У1 и ВН-БЭМН.6.630.20У3.
3. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций. – М.: Энергия, 1986. – 640 с.
4. Славин М.И. Электрооборудование электрических станций и трансформаторных подстанций. – М.: Госэнергоиздат, 1983. – 552 с.

УДК

Методы расчета заземляющих устройств

Мисюк Д.Л.

Научный руководитель – ДЕРЮГИНА Е.А.

Развитие промышленности сопровождается непрерывным совершенствованием применяемого электрооборудования, поиском новых технических решений при создании промышленных электроустановок. Заземляющее устройство является неотъемлемой частью каждой промышленной электроустановки. Условия работы заземляющего устройства определяются, в первую очередь, удельным электрическим сопротивлением земли и электрическими параметрами заземляющих проводников.

Правилами устройства электроустановок для заземлений и защитных мер безопасности приняты следующие определения.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлителем считается металлический проводник или группа проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей.

Заземляющими проводниками называются металлические проводники, соединяющие заземляемые части электроустановки с заземлителем.

Заземление какой-либо части электроустановки – это преднамеренное электрическое соединение ее с заземляющим устройством.

Сопротивлением заземляющего устройства называется сумма сопротивлений, складывающаяся из сопротивления заземлителя относительно земли и сопротивления заземляющих проводников.

Напряжением относительно земли при замыкании на землю считается напряжение между заземленной частью электроустановки и точками земли, находящимися вне зоны токов в земле, но не ближе 20 м.

Замыкание на землю – это случайное электрическое соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с конструктивными частями, не изолированными от земли, или с землей непосредственно.

Током замыкания на землю является ток, проходящий через землю в месте замыкания.

Электроустановками с малыми токами замыкания на землю являются электроустановки напряжением выше 1000 В, в которых однофазный ток замыкания на землю равен или менее 500 А. Высоковольтные городские электроустановки (электрические сети и подстанции) относятся к установкам с малым током замыкания на землю.

Глухозаземленной нейтралью называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (трансформаторы тока и др.).

Изолированной нейтралью считается нейтраль, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная через аппараты, компенсирующие емкостный ток в сети, трансформаторы напряжения и другие аппараты, имеющие большое сопротивление.

Различают три вида заземлений: рабочее заземление, защитное заземление для безопасности людей и заземление грозозащиты оборудования установки.

Назначением рабочего заземления является обеспечение нормальной работы установки или ее элементов в выбранном для них режиме. К рабочему заземлению относится заземление нейтралей силовых трансформаторов, генераторов, дугогасящих аппаратов (катушек Петерсена), измерительных трансформаторов напряжения,

реакторов поперечной компенсации в дальних линиях передач, заземление фазы при использовании земли в качестве рабочего провода и пр.

Защитное заземление выполняется для безопасности, в первую очередь, людей обслуживающих электрическую установку, путем заземления металлических частей установки, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением при перекрытии или пробое изоляции.

Заземление грозозащиты служит для отвода тока молнии в землю от защитных разрядников и молниеотводов (стержневых или тросовых).

Рабочее и защитное заземления должны выполнять свое назначение в течение всего года, тогда как заземление грозозащиты лишь в грозовой сезон.

Для осуществления любого вида заземления требуется заземляющее устройство, состоящее из заземлителя, располагаемого в земле, и заземляющего проводника, соединяющего заземляемый элемент установки с заземлителем.

Заземлитель может состоять из одного или многих вертикальных и горизонтальных электродов и характеризуется величиной сопротивления, которое окружающая земля оказывает току, стекающему с него от поверхности электрода до уровня нулевого потенциала. Сопротивление заземлителя определяется отношением потенциала на заземлителе к стекающему с него току.

По точности методы расчета заземлителей можно поделить на 2 группы: точные и инженерные. Точные методы требуют большой трудоемкости и времени, применение ЭВМ. Но имеют малую погрешность. Выполняются многочисленные приближения для нахождения оптимальных параметров. Инженерные методы обеспечивают требуемую точность расчета, но менее трудоемки. Достаточно применение микрокалькулятора. Более дешевые в итоге.

В зависимости от модели грунта, которую используют в расчете, методы также можно поделить. Эти методы будут отличаться тем, что в одних грунт рассматриваем как однослойную модель, во втором – двухслойную, а в третьем – многослойную.

Наиболее распространенным точным методом является метод оптической аналогии. В общей форме идея оптической аналогии заключается в замене точечного источника тока и проводящего многослойного полупространства соответственно точечным источником света и абсолютно прозрачным полупространством с системой бесконечно тонких частично прозрачных зеркал, расположенных на границах раздела слоев исходного многослойного полупространства. Далее рассматривают совместно траекторию(геометрию) двух лучей(в общем случае) или одного луча(в частном случае, когда источник тока расположен на границе полупространства) и относительное изменение интенсивности лучей, по которым и строят указанную выше бесконечную последовательность точечных источников тока(фиктивных). Так как эти точечные источники тока при этом считают расположенными в однородном проводящем пространстве, то потенциал находят элементарно, применяя принцип наложения.

Среди инженерных методов стоит выделить метод обобщенных параметров и метод коэффициентов использования.

Литература

1. Атабеков В.Б. Заземляющие устройства электрических сетей и подстанций. – М.: ИС, 1967. – С. 6–21.
2. Воронина А.А., Мотуско Ф.Я. Учебное пособие по расчету заземления оборудования электрических станций, подстанций и промышленных предприятий. – М.: МЭИ, 1965. – С. 6–13.
3. Рябкова Е.Я. Расчет заземляющих устройств. – М.: МЭИ, 1973. – С. 3–17.
4. Бурсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – С. –.

УДК 621.316.925

Микропроцессорное реле защиты серии SPAC 801

Сивец К.С., Третьяков П.П.

Научный руководитель – ТИШЕЧКИН А.А.

Комплектные устройства серии SPAC 801 выполнены на микропроцессорной элементной базе и предназначены для выполнения необходимых функций по защите, автоматике, управлению и сигнализации комплектного распределительного устройства линии напряжением 6–10 кВ.

Возможно применение устройства для защиты, управления и автоматики линии напряжением 35 кВ.

Устройство предназначено для установки в комплектных распределительных устройствах электрических станций и подстанций, а также на панелях управления.

Терминалы выполняют функцию местного или дистанционного управления, защиты, сигнализации, а также необходимые блокировки.

Основные и дополнительные функции

Устройство SPAC 801 обеспечивает:

- обмен информацией с верхним уровнем АСУ ТП;
- местное или дистанционное управление выключателем;
- необходимые защитные функции;
- регистрацию аварийных параметров;
- гибкую программируемую логику;
- блокирование от многократных включений выключателя;
- двукратное автоматическое повторное включение выключателя (АПВ);
- формирование сигнала УРОВ при отказе выключателя;
- ускорение действия второй ступени МТЗ;
- предупредительную и аварийную сигнализацию действия защит и автоматики;
- контроль исправности цепей управления выключателя;
- постоянный самоконтроль аппаратной и программной части устройства;
- приём входных сигналов от внешних устройств количеством не более 16;
- управление выходными реле с количеством не более 16;
- формирование сигнала запрета АПВ от защит и внешних сигналов;
- подсчёт количества попыток АПВ.

Программно-логическая модель устройства SPAC 801

Реле пуска – УРОВ.

Выходное реле УРОВ срабатывает при отказе выключателя, через определённую выдержку времени туров, регулируемую в диапазоне 0,1...1 с, при действии токовых защит блока SPCJ 4D28 наотключение через выход TS2, при срабатывании ускорения, а также выходного сигнала от защиты шин.

Цепь ускорения защит.

Цепь ускорения защит при включении организована с использованием выходного сигнала блока защиты SS1, на которую выводится действие без выдержки времени второй ступени МТЗ I. При любых включениях выключателя цепь ускорения вводится на время возврата реле РПО и при одновременном пуске ступени МТЗ срабатывает через выдержку времени туск, которая регулируется в блоке управления в диапазоне 0,1–1,5 с.

Блокировка от многократных включений выключателя.

Вырабатывает сигнал запрета включения при одновременном наличии сигналов включения и отключения, при этом выходное реле «включить» возвращается в

исходное состояние. Блокировка обеспечивает однократность включения выключателя на короткое замыкание.

Автоматическое включение резерва (АВР).

Схема АВР выполнена с использованием следующих сигналов:

- готовность АВР;
- пуск АВР;
- запрет АВР.

Секционный выключатель готов к выполнению функции АВР через время приблизительно $t_{гот}=10$ с. после подачи сигнала положительной полярности на вход «готовность АВР».

Схема АВР готова к действию через 10 с после включения последнего из вводных выключателей. АВР автоматически снимается через 5 с.

Цепи дуговой защиты в устройстве.

Цепи дуговой защиты в устройстве предназначены, в основном, для сигнализации поврежденной ячейки КРУ при поступлении сигнала от датчиков, однако предусматривается и действие на отключение.

Цепи отключения.

Действие на выходное реле отключения предусмотрено от:

- защит измерительного блока;
- внешнего отключения;
- ускорения;
- ключа «отключить»;
- защиты шин;
- сигнала «готовность АВР» (автоматическое отключение после включения вводных выключателей);
- дуговой защиты.

Цепи включения.

Включение выключателя производится устройством при помощи реле, контакты которого, выведенные на клеммы X16:15 и X16:16, обеспечивают включающий импульс в течение времени 1 с.

Контроль цепей управления.

Контроль исправности цепей включения и отключения производится встроенными элементами «реле положения включено» (РПВ) и «реле положения отключено» (РПО). Если электрическая связь через блок-контакт и катушки управления существует, то реле срабатывает, в противном случае – реле остается в несработавшем состоянии. При нахождении их в одном состоянии загорается светодиод «неисправность цепей управления» через время порядка 10 с.

Цепи сигнализации.

На лицевой панели блока управления восемь светодиодных индикаторов показывают действие следующих каналов защиты:

- отключение от защит;
- ускорение защит;
- защита шин;
- дуговая защита;
- АВР;
- УРОВ;
- внешнее отключение;
- неисправность цепей управления.