

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПОСЛЕДНЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Методические указания к лабораторным работам

Благовещенск

Издательство АмГУ

2017

Разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания»

Рецензент:

С.А. Тимченко, начальник отдела учета электроэнергии АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания» (АО «ДРСК», г. Благовещенск).

Э45 Электротехническое оборудование последнего поколения:
Методические указания к лабораторным работам / Сост.: А.Н. Козлов, В.А. Козлов, А.Г. Ротачева. – 2-е изд., испр. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017. – 34 с.

Методическая разработка предназначена для подготовки магистров по направлению «Электроэнергетика и электротехника» магистерской программы «Электроэнергетические системы и сети». Соответствует рабочей программе дисциплины и федеральному государственному стандарту ВО РФ.

Рассмотрены назначение, принцип действия и конструктивные особенности современных электрических аппаратов и устройств, применяемых на объектах электроэнергетических систем.

В.А. Козловым подготовлены материалы по блокировкам коммутационных аппаратов и по дуговой защите; А.Г. Ротачевой – материалы по нелинейным ограничителям перенапряжений; А.Н. Козловым подготовлены материалы остальных разделов пособия и выполнена общая редакция рукописи.

В авторской редакции.

ББК 31.27я73

©Амурский государственный университет, 2017
©Козлов А.Н., Козлов В.А., Ротачева А.Г. (составители), 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проектирование объектов электроэнергетики, технико-экономическое обоснование решений, определяющих номенклатуру принимаемого к установке оборудования, надежность работы объекта в целом и его составных частей, требует использования большого объема информации, содержащейся в нормативных документах, а также в различных литературных источниках и в документах, предоставляемых предприятиями, выпускающими электротехнические аппараты и приборы.

В создании основного силового электрооборудования в последние десятилетия произошли качественные изменения, вызванные широким использованием элегазовой и вакуумной техники, а в релейной защите – появлением цифровых (микропроцессорных) терминалов. Правильное понимание возможностей нового оборудования и его грамотное функциональное применение позволит уменьшить резервирование и сократить простои производства, связанные с перерывами питания вследствие неполадок в электрической части схемы электроустановки. Но следует помнить, что новое электрооборудование в период его освоения стоит дороже, чем при серийном производстве

В учебный план подготовки магистров по направлению «Электроэнергетика и электротехника» магистерской программы «Электроэнергетические системы и сети» в Амурском государственном университете, по согласованию с предприятиями, принимающими на работу выпускников энергетического факультета, введена дисциплина «Электротехническое оборудование последнего поколения».

Целью освоения дисциплины является получение знаний об особенностях конструкции и эксплуатации современного электрооборудования и основных направлениях его совершенствования.

Освоение данной дисциплины помогает студенту в приобретении следующих компетенций:

- способности использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности (ОПК-4);
- готовности проводить экспертизы предлагаемых проектно-конструкторских решений и новых технологических решений (ПК-5);
- способности выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности (ПК-9).

Дисциплина «Электротехническое оборудование последнего поколения» относится к базовой части профессионального цикла основной образовательной программы подготовки магистров по указанному выше направлению.

Знания, полученные при освоении дисциплины, могут быть востребованы при выполнении выпускной квалификационной работы.

Настоящие методические указания – очередная часть комплекта учебно-методических материалов, разрабатываемого кафедрой энергетики Амурского государственного университета, в которой найдут отражение разделы, предусмотренные государственными образовательными стандартами при изучении дисциплины «Электротехническое оборудование последнего поколения» и родственных ей.

ВВЕДЕНИЕ

Правильный выбор типов и рабочих параметров электрических аппаратов имеет большое значение для устойчивого функционирования электроэнергетических систем и систем электроснабжения.

Знание принципов выполнения, особенностей эксплуатации современного электрооборудования и основных направлений его совершенствования обязательно для выпускника энергетического факультета. Информацию по этим вопросам в значительном объеме можно найти в сети «Интернет» в виде отдельных статей, обзоров и справочно-информационных материалов предприятий и фирм, выпускающих те или иные электрические аппараты и приборы. В связи с этим материал, включенный в настоящие методические указания, соответствует информации, имеющейся в распоряжении составителей на момент написания учебного издания. Составители при этом отдают себе отчет, что это обобщение обязательно будет неполным, и спустя какое-то время к затронутым вопросам необходимо будет вернуться вновь.

Настоящие лабораторные работы посвящены главным образом изучению конструктивных особенностей современных силовых и измерительных трансформаторов, а также элементов, обеспечивающих защиту оборудования от перенапряжений (ОПН), коротких замыканий (дуговые защиты) и ошибок персонала (блокировки).

ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перечень тем	Часы	Осваиваемые компетенции
Блокировки коммутационных аппаратов	2	ОПК- 4, ПК- 5, ПК-9,
Конструктивные особенности сухих трансформаторов	2	ОПК- 4, ПК- 5, ПК-9,
Оптические трансформаторы тока	2	ОПК- 4, ПК- 5, ПК-9,
Оптические трансформаторы напряжения	2	ОПК- 4, ПК- 5, ПК-9,
Нелинейные ограничители перенапряжения (ОПН)	2	ОПК- 4, ПК- 5, ПК-9,
Дуговые защиты отсеков КРУ и КРУЭ	2	ОПК- 4, ПК- 5, ПК-9,

КРИТЕРИИ ДОСТИЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО БЛОКУ ПРАКТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Балл	Критерии оценки (содержательная характеристика)
«1»	Работа выполнена полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допуская грубые ошибки, испытывает затруднения в формулировке собственных суждений, неспособен ответить на дополнительные вопросы.
«2»	Работа выполнена полностью. Студент не владеет теоретическим материалом, допуская ошибки по существу рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.
«3»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, отсутствуют ошибки при описании теории, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
«4»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
«5»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.

Работа, оцененная менее, чем 3 баллами, НЕ МОЖЕТ БЫТЬ «ЗАЧТЕНА» и передается.

Лабораторная работа № 1

Блокировки коммутационных аппаратов

Цель работы - на реальном оборудовании разобрать конструктивные особенности изучаемой аппаратуры.

Порядок проведения работы: В аудитории выполняется разбор теоретической части занятия и изучается необходимость установки блокировок, принцип действия, размещение в электроустановках. В отчете должны быть освещены следующие вопросы:

- варианты конструктивного исполнения блокировок;
- направления совершенствования блокировок коммутационной аппаратуры;
- краткие ответы на контрольные вопросы.

При оформлении отчета, может потребоваться дополнительная информация, поиск которой следует провести в Интернете.

Общие сведения

Устройства релейной защиты осуществляют защиту оборудования в аварийных режимах. Одна из основных причин возникновения аварийных ситуаций на энергетических объектах, в частности на распределительных подстанциях – оперативные ошибки обслуживающего персонала. Основная задача руководства в данном случае сводится к исключению случаев возникновения данной негативной ситуации. Но, как показывает многолетняя практика, решить данную проблему полностью не удастся. Это связано, в первую очередь, с таким понятием, как «человеческий фактор». Как ни крути, а человек не робот и по своей природе может допускать ошибки, в том числе и при оперативных переключениях на оборудовании подстанций. Решением проблемы в данном случае является применение на оборудовании электроустановок электромагнитной блокировки [3].

Электромагнитная блокировка служит для предотвращения ошибочных действий на оборудовании оперативным персоналом. Данные устройства устанавливаются на таком оборудовании, как разъединители, стационарные заземляющие устройства, выкатные части тележек КРУ.

На каждом элементе оборудования, на котором предусмотрена электромагнитная блокировка, устанавливается специальная розетка. Для

производства операции с данным коммутационным аппаратом необходимо наличие напряжения в данной розетке и специальный электромагнитный ключ. То есть изначально рукоятка разъединителя или заземляющего ножа заблокирована. Для того чтобы произвести операцию включения или отключения необходимо взять электромагнитный ключ и вставить его в розетку данного элемента оборудования [3].

Действия в случае отказа электромагнитной блокировки

Основная причина, по которой *электромагнитная блокировка* не позволяет выполнить операцию с коммутационным аппаратом – это невыполнение условий, определенных для того или иного коммутационного аппарата распределительного устройства. Но также бывают случаи, когда электромагнитная блокировка не позволяет выполнить операции при соблюдении всех необходимых условий. При возникновении данной ситуации необходимо проверить правильность выбранного элемента оборудования по диспетчерским наименованиям, убедиться в выполнении всех необходимых условий для производства операции.

Если все условия выполнены, а напряжение в розетке ЭМБ отсутствует, необходимо убедиться в наличии напряжения в схеме блокировки и целостности цепей ЭМБ данного присоединения. Кроме того, следует проверить контакты КСА тех коммутационных аппаратов, которые участвуют в схеме электромагнитной блокировки того элемента оборудования, на котором необходимо произвести операцию.

Если причину отказа ЭМБ выяснить не удалось, то деблокировку магнитным ключом можно осуществлять только с разрешения главного инженера предприятия [3].

Программная (логическая) блокировка [4].

Программная (логическая) блокировка является дальнейшим развитием электромагнитной и электрической блокировки. Она на сегодняшний день является самым перспективным развитием оперативной блокировки на подстанциях. Поэтому применение программной (логической) блокировки целесообразнее всего при новом строительстве, а также при реконструкции действующих подстанций.

В основном данная блокировка входит в состав автоматизированных систем управления подстанций, хотя может выступать и как самостоятельная «единица» в системе управления подстанцией.

Основной элементной базой блокировки являются современные контроллеры, а также используются блокировочные элементы приводов,

которые ранее использовались для электромагнитной и электрической блокировок:

- блок замки
- реле блокировки
- блок контакты положений коммутационных аппаратов.

Программная блокировка, средствами автоматизированной системой управления с использованием блокировочных элементов в приводе должна быть применима для всех типов разъединителей, в том числе и для коммутационных аппаратов с ручным приводом основных и заземляющих тоже.

Указанный вариант требует минимальных затрат, связанных с установкой дополнительного оборудования (кабелей, переключателей и т.д.).

Требования к цепям питания блокировки схожи к электромагнитной блокировкой, а именно:

- Питание осуществляется с гарантированного источника постоянного тока (обычно 220В) с временем автономной работы не менее двух часов.
- Должно иметь место гальваническая развязка цепей блокировки от систем оперативного тока.
- Цепи блокировки должны иметь контроль питания и сигнализацию снижения изоляции полюсов относительно земли.
- Напряжение срабатывания блокирующих реле, блок замков, дискретных входов контролеров должно быть в пределах $0,6-0,7U_{ном}$ [4].

Контрольные вопросы

- 1. С какой целью на коммутационных аппаратах устанавливаются блокировки?*
- 2. Принцип работы и исполнение устройств электромагнитной блокировки.*
- 3. Действия персонала при отказе электромагнитной блокировки.*
- 4. Как функционирует программная (логическая) блокировка?*

Лабораторная работа № 2

Конструктивные особенности сухих трансформаторов

Цель работы - на реальном оборудовании разобрать конструктивные особенности изучаемой аппаратуры.

Порядок проведения работы: В аудитории выполняется разбор теоретической части занятия и изучается размещение и принцип действия устройств дуговой защиты. В отчете должны быть освещены следующие вопросы:

- варианты конструктивного исполнения защиты;
- направления совершенствования устройств дуговой защиты;
- краткие ответы на контрольные вопросы.

При оформлении отчета, может потребоваться дополнительная информация, поиск которой следует провести в Интернете.

Общие сведения

Конструктивные особенности сухих трансформаторов [5]

На рис. 1 показаны основные элементы сухого силового трансформатора производства компании Zucchini [5]. Обмотка высокого напряжения изготавливается на компьютеризированных обмоточных станках из цельного рулона алюминиевой фольги, переслаиваемой двойной изоляцией – рис. 2. Данная технология производства обеспечивает равномерное распределение изолирующей смолы изнутри и снаружи, что в свою очередь гарантирует равномерное распределение диэлектрического потенциала по всей высоте обмотки, и позволяет не допустить образования трещин во время испытаний и эксплуатации.

Обмотка низкого напряжения изготавливается на специальных обмоточных станках. Слои алюминиевой ленты разделены слоями изоляции класса нагревостойкости F или H. После намотки обмотка термически обрабатывается в термокамере, в результате чего создается монолитная конструкция, успешно выдерживающая динамические напряжения, возникающие при коротком замыкании.

Магнитопровод с косым стыком позиций и сборкой «step lap» обеспечивает низкий уровень потерь и тока холостого хода и минимальный уровень шума [6] – рис. 3.

При необходимости трансформаторы выпускаются с установленными на заводе вентиляторами – рис. 4. Специальные тангенциальные вентиляторы позволяют временно увеличить номинальную мощность трансформатора от 15 до 40%, в зависимости от номинала.

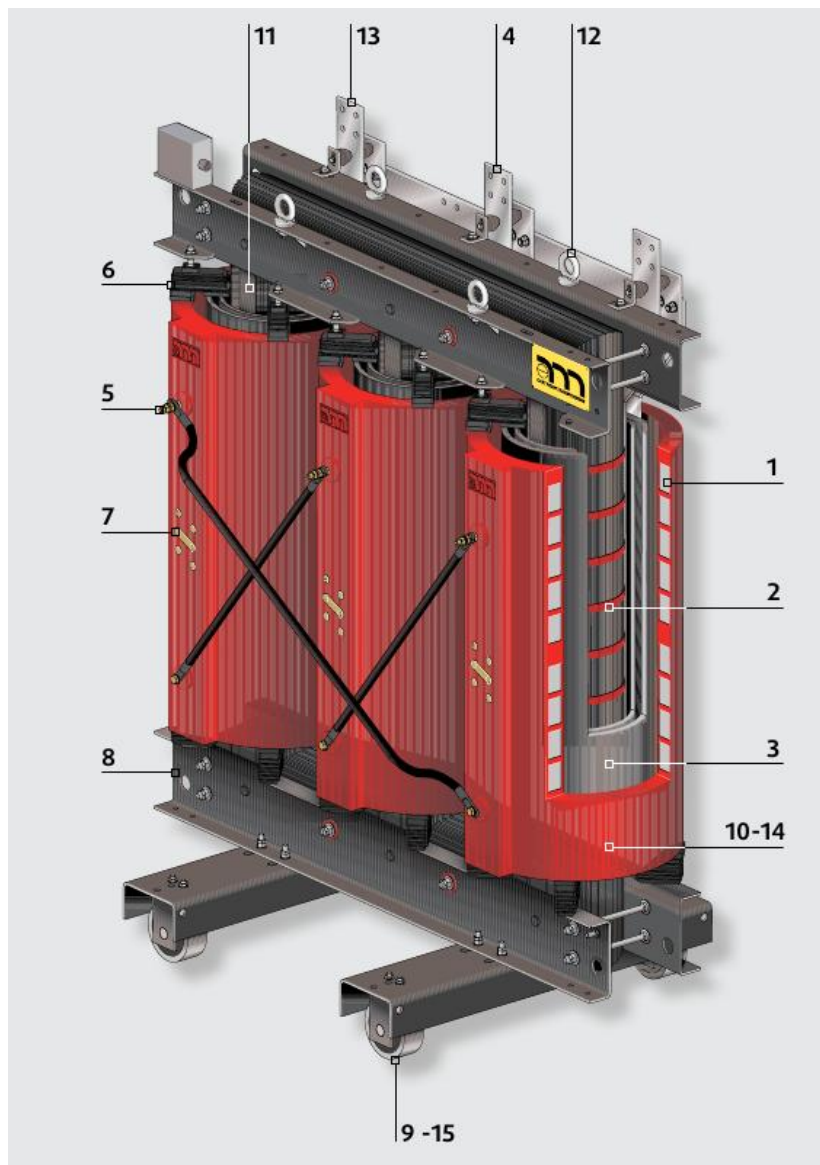


Рис. 1. Основные элементы конструкции сухого силового трансформатора.

1 - обмотка высокого напряжения; 2 - магнитный сердечник; 3 - обмотка низкого напряжения, изготовленная из алюминиевой фольги; 4,13 - контактные площадки низкого напряжения; 5 - контактные площадки высокого напряжения; 6 - резиновые вставки, поглощающие тепловое расширение компонентов и вибрацию между сердечником и обмотками, что способствует снижению шума при работе трансформатора; 7 - выводы под перемычки на стороне высокого напряжения; 8 - усиленная несущая рама; 9,15 - ролики для перемещения трансформатора; 10,14 - литая эпоксидная изоляция; 11 – термодатчики; 12 - четыре рым-болта.



Рис. 2. Изготовление обмотки высокого напряжения



Рис. 3. Элементы магнитопровода трансформатора

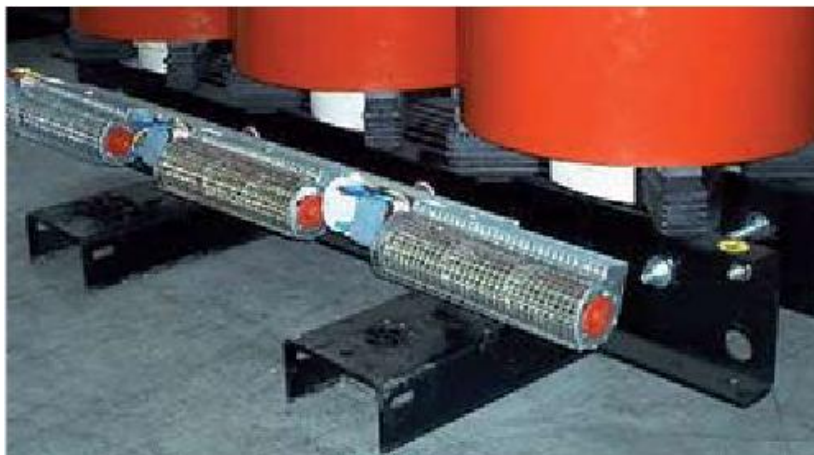


Рис. 4. Тангенциальные вентиляторы.

Порядок сборки трансформатора иллюстрируется на рис. 5.

Преимущества и недостатки сухих силовых трансформаторов [7]

По сравнению с традиционными масляными трансформаторами сухие силовые трансформаторы обладают рядом очевидных преимуществ. Перечислим основные из них:

- экологическая чистота (отсутствие жидкого диэлектрика – трансформаторного масла – исключает угрозу загрязнения окружающей среды вследствие его утечки либо возгорания);

- высокий уровень пожарной безопасности. Ограниченная воспламеняемость изоляции обмоток позволяет свести к минимуму эмиссию токсичных веществ и непрозрачного дыма и существенно сократить возможный ущерб при внутреннем повреждении трансформатора с возгоранием. Это, в свою очередь, позволяет разместить сухие трансформаторы максимально близко к потребителям, обеспечив тем самым передачу электроэнергии на повышенном напряжении и снижение потерь электроэнергии в сетях низкого напряжения;

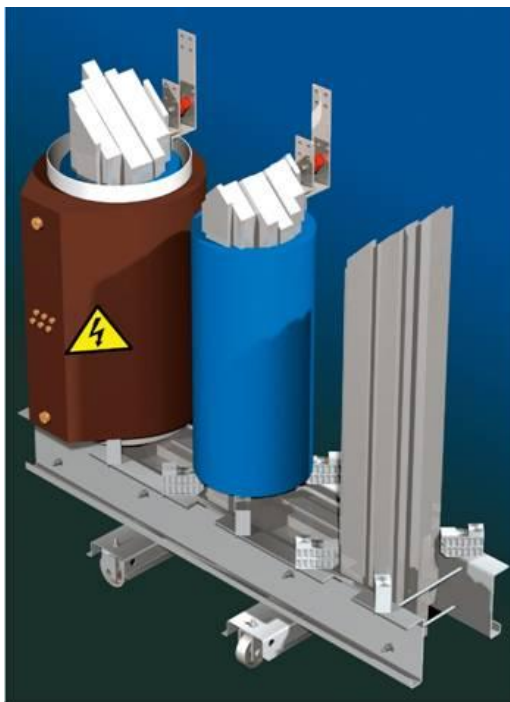


Рис. 5. Сборка трансформатора.

- более простой монтаж – не требуется дополнительных мер противопожарной безопасности в местах установки, отсутствует необходимость оборудования приемков для слива масла;

- сниженные расходы на техническое обслуживание и ремонты. Сухие трансформаторы можно отнести к категории оборудования, практически не требующего технического обслуживания. Отсутствует необходимость

периодической диагностики состояния, сушки и дегазации трансформаторного масла. Значительно упрощается ремонт сухих трансформаторов, сопряженный с заменой обмоток и основной изоляции;

– значительно более простая конструкция кожуха, при этом масса кожуха меньше массы бака масляного трансформатора, съемные стенки кожуха обеспечивают осмотр и проведение технического обслуживания в регламентируемые сроки. Возможность выполнить на стенках кожуха съемные панели упрощает проведение осмотров активной части (обмоток, магнитопровода, регулировочных отпаек и прочих деталей) не только при плановых осмотрах, но и в случаях необходимости при ревизиях за все время эксплуатации;

– габаритные размеры сухого трансформатора обеспечивают возможность его установки в существующем отсеке масляного трансформатора (например, при реконструкции подстанции).

К относительным недостаткам сухих силовых трансформаторов по сравнению с масляными трансформаторами следует отнести следующие:

– более высокая стоимость по сравнению с масляными трансформаторами, что связано с увеличением вложения активных материалов (обмоточного провода, электротехнической стали) вследствие увеличения изоляционных расстояний в воздухе по сравнению с соответствующими расстояниями в масле и ухудшением условий охлаждения обмоток:

– несколько большие по отношению к масляным трансформаторам потери холостого хода, что связано с увеличением размеров магнитной системы вследствие сравнительно больших изоляционных расстояний [7].

Контрольные вопросы

1. Из какого материала выполняются обмотки сухих силовых трансформаторов?

2. Как осуществляется отвод тепла от элементов сухого силового трансформатора?

3. Что дает выполнение магнитопровода с «косым стыком»?

4. Назовите преимущества и недостатки сухих силовых трансформаторов.

Лабораторная работа № 3

Оптические трансформаторы тока

Цель работы - на реальном оборудовании разобрать конструктивные особенности изучаемой аппаратуры.

Порядок проведения работы: В аудитории выполняется разбор теоретической части занятия и изучается конструкция оптического трансформатора тока (ОТТ). В отчете должны быть освещены следующие вопросы:

- варианты конструктивного исполнения ОТТ;
- направления совершенствования аппаратов;
- краткие ответы на контрольные вопросы.

При оформлении отчета, может потребоваться дополнительная информация, поиск которой следует провести в Интернете.

Общие сведения

Оптико-электронные трансформаторы тока.

Уже не первый десяток лет во многих странах мира разрабатываются трансформаторы напряжения и тока оптоэлектронного типа. В оптоэлектронных ТТ используется эффект Фарадея, рис. 6, заключающийся во вращении плоскости поляризации линейно поляризованного света в оптически активном веществе под действием внешнего магнитного поля. Измеряя угол поворота плоскости поляризации света можно определить индукцию магнитного поля или силу тока, если преобразователь поместить в магнитном поле измеряемого тока [8].

Угол поворота плоскости поляризации света определяется следующим соотношением:

$$\beta = \nu B d ,$$

где: β – угол поворота (в радианах); B – плотность магнитного потока (в Теслах); d – длина части ячейки Фарадея, взаимодействующей с магнитным потоком (в метрах); ν – константа Вердета для данного материала ячейки Фарадея [8].

В качестве рабочего вещества в магнитооптических преобразователях используют стекла, содержащее оксид свинца (так называемые флинты, кроны), а также плавленый кварц. Особенно большую чувствительность к магнитному полю имеют пленки из феррита граната. Поляризованный луч с заземленного

источника поступает по оптическому волокну или по световоду другого типа на ячейку Фарадея, расположенную непосредственно на высоком потенциале.

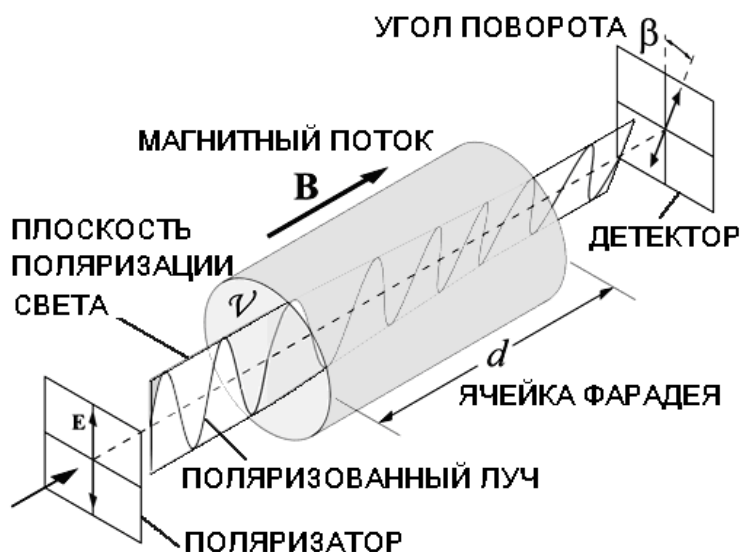


Рис. 6. Магнитооптический преобразователь на основе эффекта Фарадея [8].

В этой оптической ячейке световой поток меняет свой вектор поляризации в зависимости от величины воздействующего на нее магнитного потока (пропорционального току в высоковольтной цепи). Далее, промодулированный таким образом световой луч возвращается на потенциал земли, где преобразуется в электрический сигнал. Разработкой устройств такого рода занимаются уже лет 30 – 40. И только сравнительно недавно на рынке появились оптические трансформаторы тока – рис. 7 [8].

Чувствительный элемент ТТ установлен на полимерной изоляционной колонке, снабженной поддерживающим изолятором, обеспечивающим спуск гибкого световода на землю. Преобразователь 1 входного сигнала в два линейно поляризованных сигнала, которые поступают по оптоволокну, сохраняя поляризацию, на измерительную головку, выполнен на базе светоизлучающего диода. Круговой поляризатор 2 наверху изоляционной колонки (опорного изолятора) преобразует два линейно поляризованных световых сигнала в сигналы с круговой поляризацией левого и правую вращения. Световые сигналы 3 многократно обходят проводник. Магнитное поле, создаваемое током, протекающим в высоковольтном проводнике, замедляет один сигнал и ускоряет другой (эффект Фарадея). Когда сигналы с круговой поляризацией проходят весь путь вокруг проводника, они отражаются зеркалом 4 и направляются в обратный путь. При этом направление их поляризации теперь обратно первоначальному. На этом обратном пути эффект удваивается. После этого оба сигнала возвращаются обратно на круговой поляризатор, который снова преобразует их в линейно поляризованные световые пучки. Свет поступает

обратно на оптоэлектронный блок внизу колонки по оптическому волокну 6. Разница в скорости распространения этих двух оптических сигналов обуславливает сдвиг по фазе между ними. Поскольку оба сигнала распространяются по идентичным путям, вибрация и изменение температуры воздействуют на них одинаково и поэтому не влияют на точность измерения тока [8].

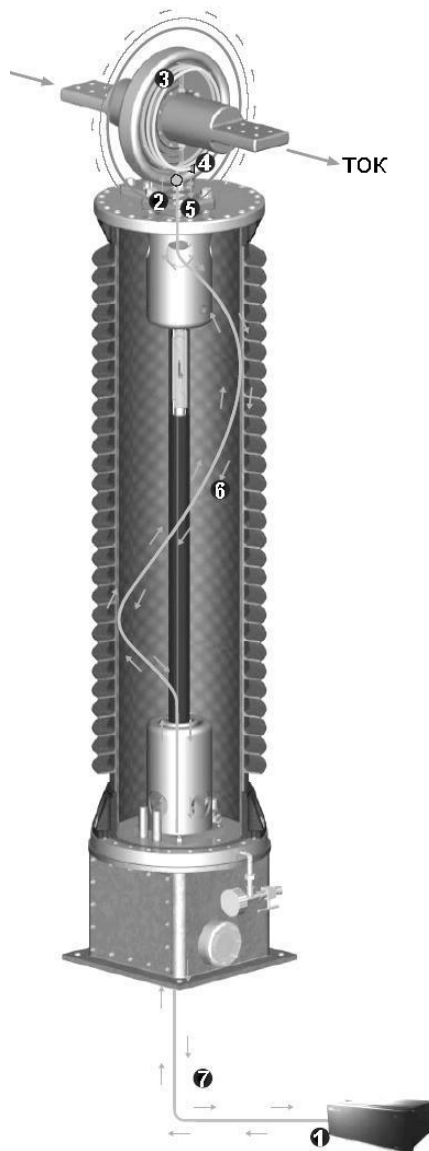


Рис. 7. Магнитооптический трансформатор тока [8].

На таком же принципе работает и первый российский образец оптоэлектронного ТТ, разработанный ООО Научно-производственная компания «Оптолинк» совместно с ОАО Раменский электротехнический завод "Энергия", рис. 8 [8].

Традиционные трансформаторы тока верой и правдой служат в электроэнергетике уже более сотни лет. Это один из самых простых, самых надежных, самых стабильных и самых «беспроблемных» элементов в электроэнергетике. Поэтому, когда заходит речь о принципиально новых

устройствах и призывах заменить ими традиционные, нужны очень веские аргументы в пользу новых устройств.

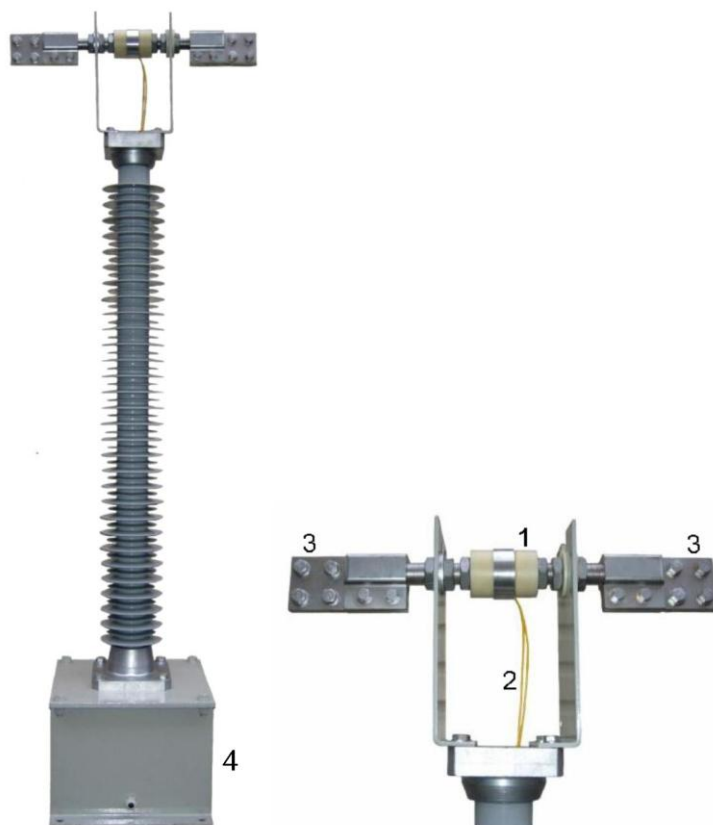


Рис. 8. Первый российский оптоэлектронный измерительный трансформатор тока типа ОИЦТТ-110кВ-2кА-0.2s [8]: 1 – ячейка Фарадея; 2 – оптическое волокно; 3 – токовые выводы; 4 – электронный преобразователь.

Оптоэлектронные ТТ имеют определенные преимущества, например, в области сверхвысоких напряжений (рис. 9), когда стоимость изоляции традиционного ТТ получается очень высокой. Или в области специальных применений с очень значительными кратностями токов, когда обычные ТТ могут насыщаться. Что же касается якобы особо высокой помехоустойчивости оптоэлектронных ТТ, то это вызывает серьезное сомнение. Оптоэлектронные ТТ содержат весьма сложные микропроцессорные преобразователи электрических сигналов в оптические и обратно, и по этой причине будут обладать значительно более низкой (по сравнению с традиционными ТТ) помехоустойчивостью к электромагнитным помехам [8].

Контрольные вопросы

- 1. Какие материалы используются в качестве рабочего вещества в магнитооптических преобразователях?*
- 2. В чем заключается эффект Фарадея, используемый в магнитооптических преобразователях?*



Рис. 9. Оптический трансформатор тока.

3. Поясните принцип работы оптического трансформатора тока.

4. Сформулируйте и сопоставьте достоинства и недостатки оптических трансформаторов тока и электромагнитных трансформаторов тока.

Лабораторная работа № 4

Оптические трансформаторы напряжения

Цель работы - на реальном оборудовании разобрать конструктивные особенности изучаемой аппаратуры.

Порядок проведения работы: В аудитории выполняется разбор теоретической части занятия и изучается конструкция оптического трансформатора напряжения (ОТН). В отчете должны быть освещены следующие вопросы:

- варианты конструктивного исполнения ОТН;
- направления совершенствования аппаратов;
- краткие ответы на контрольные вопросы.

При оформлении отчета, может потребоваться дополнительная информация, поиск которой следует провести в Интернете.

Общие сведения

Оптоэлектронные трансформаторы напряжения

В трансформаторах напряжения с ячейками Керра или Погкельса световой поток модулируется электрическим полем в активном материале, расположенном между электродами, к которым приложено измеряемое напряжение – рис. 10.

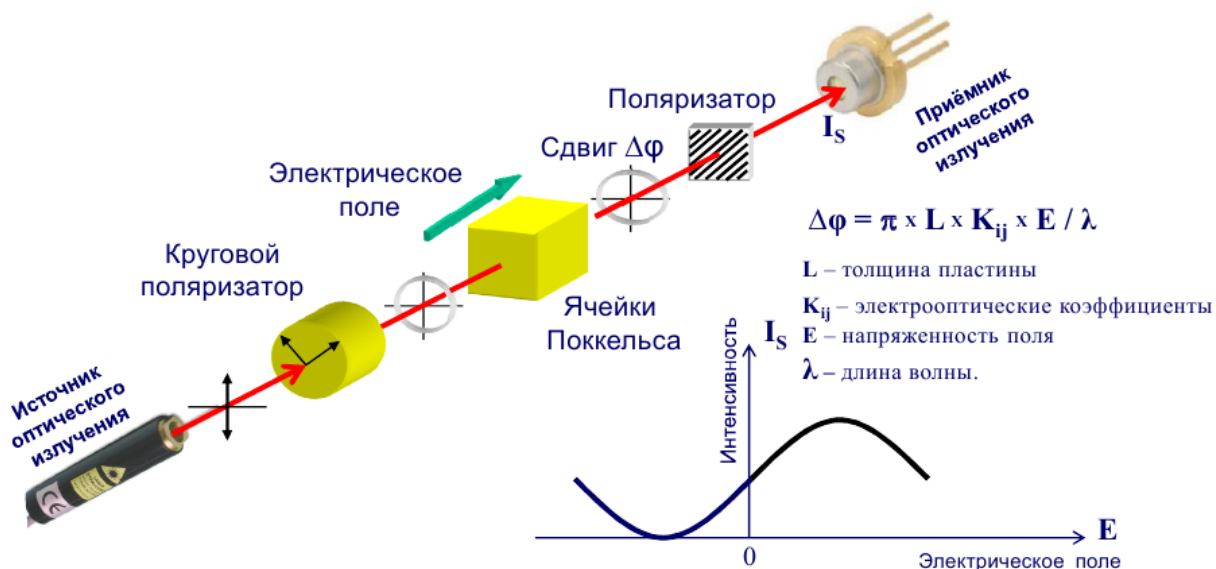


Рис. 10. Линейный электрооптический эффект Погкельса (1893 г) – возникновение двойного лучепреломления в оптических средах при наложении постоянного или переменного электрического поля [9].

Эффект Керра возникает во многих изотропных веществах (бензол, эпоксидные компаунды и др.), но наиболее часто используется нитробензол,

проявляющий наибольший эффект. Линейный электрооптический эффект Поккельса наблюдается в пьезоэлектрических кристаллах, помещенных в электрическое поле. Сильнее всего этот эффект проявляется в кристаллах дигидрофосфата аммония ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) и гидрофосфата калия (KH_2PO_4) в продольном электрическом поле, создаваемом с помощью кольцевых электродов [8].

Канадская компания NxtPhase T&D Corporation выпустила на рынок высоковольтный оптический измерительный трансформатор напряжения и тока NXCVT, сочетающий в себе преимущества двух трансформаторов в одном устройстве – рис. 11 [10].

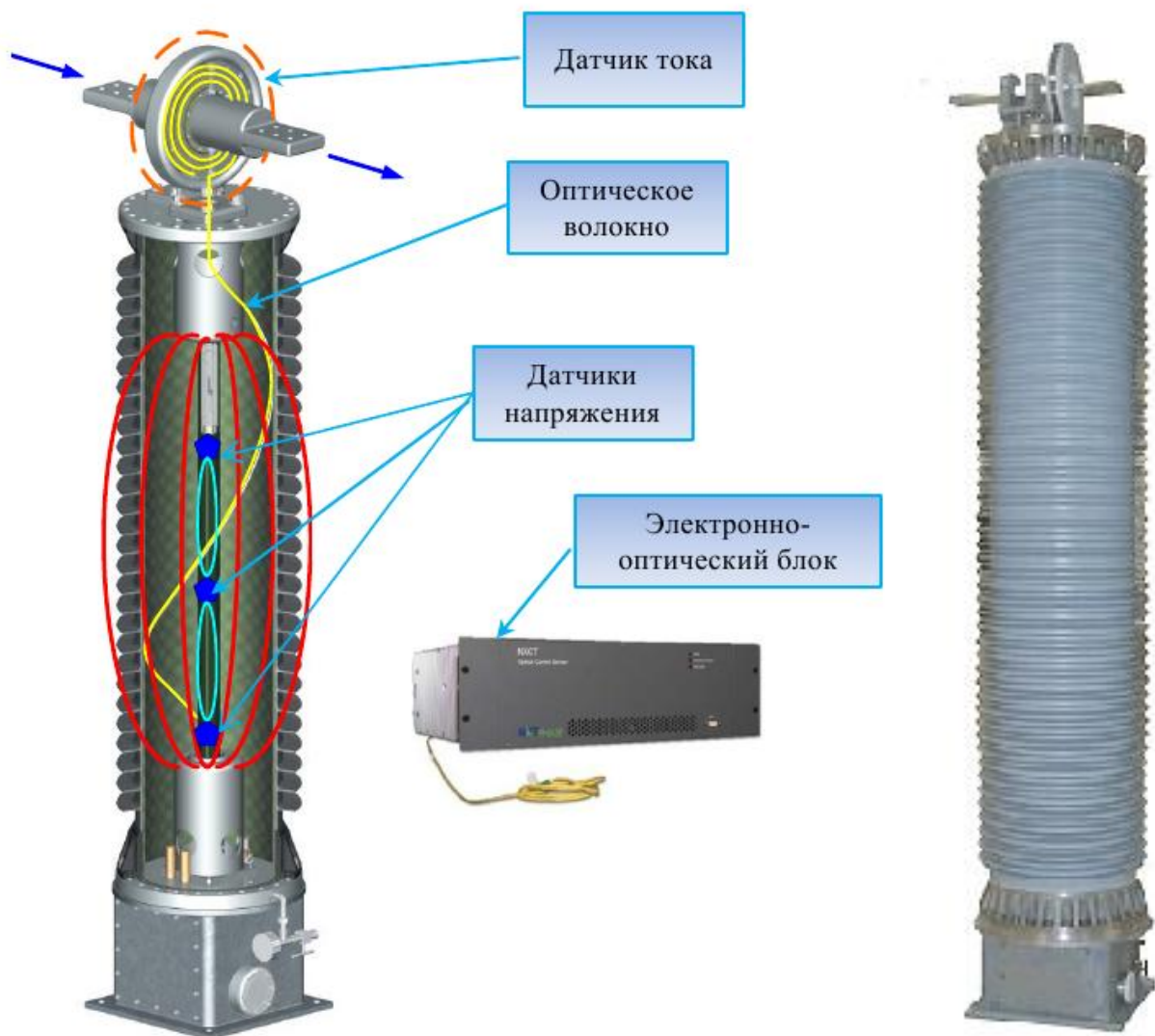


Рис. 11. Конструкция изоляционной колонны комбинированного измерительного трансформатора [10].

Уменьшенный размер и вес позволяют размещать его в ограниченном пространстве небольших подстанций.

Универсальные трансформаторы NХCVТ могут быть использованы в информационно-измерительных системах технического и коммерческого учета электрической энергии; в системах контроля качества электрической энергии с возможностью оценки до 100 гармонических составляющих напряжения и тока в высоковольтных линиях электропередач.

Контрольные вопросы

- 1. В чем заключается эффект Керра-Поккельса?*
- 2. Какие материалы используются в ячейках Керра-Поккельса?*
- 3. Как устроены комбинированные измерительные трансформаторы?*

Лабораторная работа № 5

Нелинейные ограничители перенапряжения (ОПН)

Цель работы - на реальном оборудовании разобрать конструктивные особенности изучаемой аппаратуры.

Порядок проведения работы: В аудитории выполняется разбор теоретической части занятия и изучается конструкция ОПН. В отчете должны быть освещены следующие вопросы:

- варианты конструктивного исполнения ОПН;
- направления совершенствования аппаратов;
- краткие ответы на контрольные вопросы.

При оформлении отчета, может потребоваться дополнительная информация, поиск которой следует провести в Интернете.

Общие сведения

Конструктивное устройство ОПН

Параметры материала нелинейного рабочего резистора (НРР) в значительной степени определяют срок службы ОПН. Основное значение имеют градиент напряжения, температурный коэффициент тока, температура окружающей среды, условия теплоотдачи, приложенное напряжение. В процессе старения возрастает активная составляющая тока и, соответственно, активная мощность. НРР набирается из того или иного числа единичных дисковых резисторов, соединенных последовательно или последовательно-параллельно. Надежный электрический контакт между ними обеспечивается металлизацией их торцевых поверхностей и контактным нажатием.

При последовательном соединении единичных высоко нелинейных резисторов напряжение между ними распределяется очень неравномерно, что обуславливается не только емкостным распределением напряжения, но и различной электрической проводимостью отдельных резисторов, градиентом напряжения при заданном токе, тангенсом угла дельта диэлектрических потерь резисторов. Увеличение числа последовательно соединенных резисторов уменьшает неравномерность распределения напряжения. Выравнивание его по высоте аппарата достигается посредством трубчатого экранного кольца, закрепляемого на верхней крышке элемента, что существенно облегчает работу НРР [11].

Один из вариантов компоновки НРР: диски из оксидно-цинковой керамики помещаются в специальную термоусаживаемую трубку (трубка

полиэтиленовая радиационно–модифицированная), которая при нагревании вместе с дисками до температуры 170-180°C плотно облегает колонку из дисков, создавая продольное и поперечное давление. Продольное давление обеспечивает электрический контакт между отдельными дисками, а поперечное создает из разрозненных дисков одно конструктивное целое – колонку. Пропускная способность НРР определяется площадью поперечного сечения единичного резистора (ЕР) и градиентом напряжения. Увеличение ее достигается увеличением диаметра дисков. Толщина диска ЕР определяется специальными расчетами, где решающее значение имеет обеспечение наибольшего теплоотвода с целью предотвращения прогорания материала диска по цепи протекания сопровождающего тока. Этот размер НРР определяется при разработке ОПН [11].

Устройство ОПН фирмы «ABB» [11]. Состоит из внешнего изолятора, выполненного из негаллогенированной силиконовой резины с концевыми фланцами и выводами, выполненными из нержавеющей стали, алюминия или меди. Внутренняя часть ОПН состоит из металлооксидных варисторов, стальных прокладок, алюминиевых компонентов, стекловолоконных стяжек и арамидных волокон – рис. 12.

Включает в себя один или несколько модулей, каждый из которых содержит одну колонку варисторов. Силиконовая крышка наносится на активную часть методом непосредственного вакуумного литья в специальной холдинговой машине. Фланцы соединены друг с другом двумя или более усиливающими элементами из стекловолокна, что придает ОПН высокие механические характеристики. Благодаря тому, что силиконовая изоляция наносится непосредственно на варисторы, внутри нет воздуха и, как следствие, отсутствуют внутренние частичные разряды. Кроме того, улучшаются условия охлаждения варисторов, что улучшает энергопоглощающую способность ОПН.

Использование полимерной изоляции повышает взрывобезопасность ОПН и позволяет избавиться от специальных устройств по сбросу давления. На внутренней стенке полимерного корпуса имеются специальные насечки, и в случае внутреннего перекрытия аппарата происходит разрыв корпуса в этих местах [11].

Устройство ОПН фирмы «Таврида электрик» [11]. Технология сборки нелинейных резисторов ОПН в трекингостойкий полимерный корпус фирмы «Таврида электрик» уникальна и аналогов в мировой практике не имеет. При сборке ограничителей ОПН-КР/TEL, ОПН-РТ/TEL колонка резисторов заключается между металлическими электродами и запрессовывается в оболочку из специального атмосферостойкого полимера, который обеспечивает требуемые механические и изоляционные свойства ограничителей.

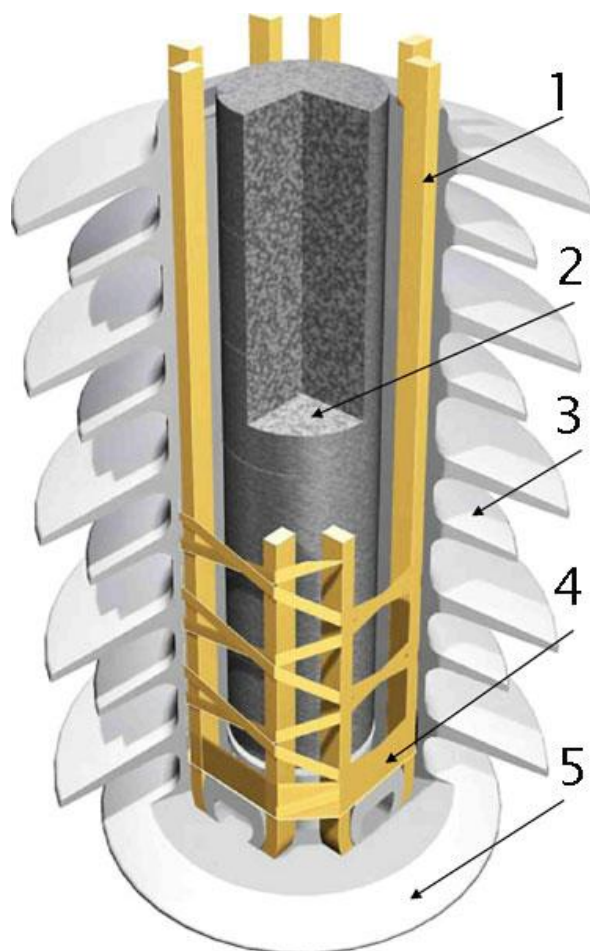


Рис. 12. Конструкция ОПН серии PEXLIM [11]: 1 – усиливающие элементы; 2 – варисторы; 3 – крышка; 4 – защитная лента; 5 – фланец.

Эта конструкция хорошо зарекомендовала себя при различных условиях эксплуатации, включая районы с высоким уровнем атмосферных загрязнений. Ограничители ОПН-КР/TEL выпускаются для внутренней и наружной установки. Ограничители типа ОПН-РТ/TEL выпускаются только для внутренней установки, за исключением исполнения ОПН-РТ-3. Ограничители имеют одинаковую конструкцию и отличаются только длиной пути утечки изоляционного корпуса.

Ограничители типа ОПН/TEL-220 представляют собой аппараты вертикальной установки опорного типа – рис. 13.

Прочный стеклоэпоксидный цилиндр с последовательно соединенными резисторами внутри обеспечивает требуемые механические свойства. Металлические фланцы и силиконовая изоляция, образующая одновременно как внешнюю изоляционную поверхность, так и внутреннюю изоляцию колонки резисторов, определяет заданные изоляционные свойства ограничителя. Взрывобезопасность ограничителя обеспечивается наличием предохранительного устройства для сброса давления, выполненного в виде специальных противовзрывных отверстий.

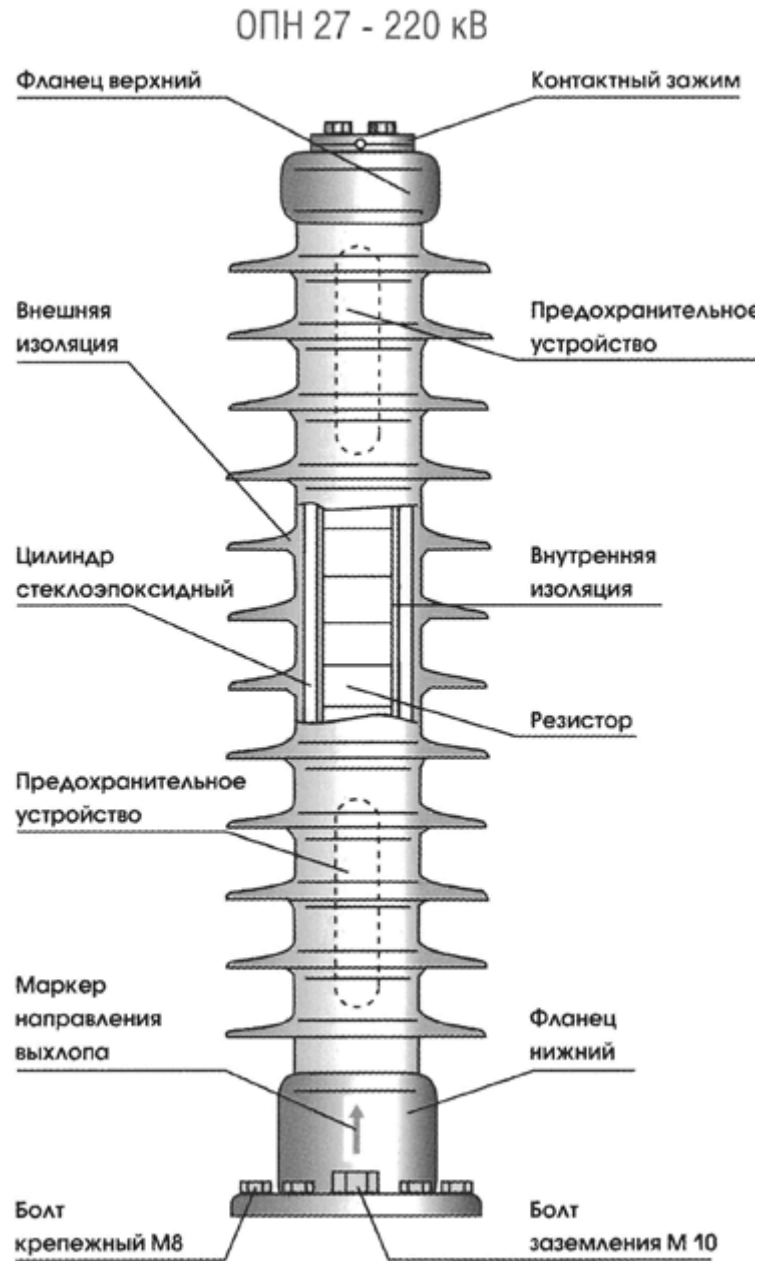


Рис. 13. Конструкция ОПН/TEL [59]

Контрольные вопросы

1. В чем заключается принципиальное различие нелинейных ограничителей перенапряжений и разрядников?
2. Из какого материала выполняются нелинейные резисторы, используемые в ОПН?
3. Какие характерные участки можно выделить на ВАХ варистора?
4. В каких случаях нелинейное сопротивление ОПН приходится выполнять из нескольких параллельно включенных колонок варисторов?

5. За какой промежуток времени варистор при срабатывании ОПН переходит из «закрытого» в «открытое» состояние?

6. Что понимается по удельной энергоемкостью ограничителя перенапряжений?

Лабораторная работа № 6

Дуговые защиты отсеков КРУ и КРУЭ

Цель работы - на реальном оборудовании разобрать конструктивные особенности изучаемой аппаратуры.

Порядок проведения работы: В аудитории выполняется разбор теоретической части занятия и изучается размещение и принцип действия устройств дуговой защиты. В отчете должны быть освещены следующие вопросы:

- варианты конструктивного исполнения защиты;
- направления совершенствования устройств дуговой защиты;
- краткие ответы на контрольные вопросы.

При оформлении отчета, может потребоваться дополнительная информация, поиск которой следует провести в Интернете.

Общие сведения

Источником дуги могут быть пробой изоляции, неправильная работа устройств, неисправные соединения сборных шин или кабельные соединения, перенапряжение, коррозия, загрязнение, влажность, ферорезонанс (инструментальные трансформаторы), а также старение в результате электрической нагрузки. Большинство данных причин возникновения внутреннего дугового КЗ можно избежать при достаточном техническом обслуживании. Однако, несмотря на проведенные меры предосторожности, ошибки людей могут приводить к внутренним дуговым КЗ [12].

Время является критическим, когда речь идет об определении и минимизировании воздействий электрической дуги. Внутреннее дуговое КЗ, которое длится 500 мсек. может привести к крупному повреждению установки. Если время горения дуги меньше 100 мсек., то повреждение часто меньше, а если дуга погаснет в течение 35 мсек., то ее воздействие почти незначительно. Обычно используемые защитные реле недостаточно быстрые для обеспечения безопасного времени для устранения неисправности. Время действия реле максимального тока, управляющего вводным выключателем, может, например, иметь задержку на сотни миллисекунд из-за селективности. Данной задержке можно помешать путем установки системы дуговой защиты. Общее время отключения повреждения может быть снижено до 2,5 мсек., плюс время отключения выключателя. Кроме того, при повреждениях кабельного отсека

благодаря применению дуговой защиты могут быть исключены повторные включения [12].

Дуговая защитная система REA 101 с ее составными ячейками REA 103, REA 105 и REA 107 спроектирована, чтобы использовать для защиты распределительных устройств среднего и низкого напряжения с воздушной изоляцией – рис. 14. Центральное устройство типа REA 101 действует самостоятельно или вместе с остальными устройствами REA 101 [12].

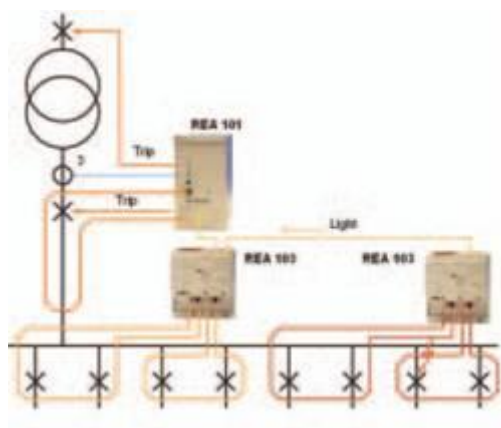


Рис. 14: Типичная компоновка с REA 101 и субблоками 103

REA - это самая быстрая защитная система от дуги на рынке, обеспечивающая время до 2,5 мсек. REA оснащена быстрым интегрированным элементом, считывающим максимальный ток, а таким образом работает независимо от остальных защитных устройств линии. Защитные реле линии REF 610 содержат оптическую защитную функцию от дуги для отсека линии.

Компания «Теквел» по заказу электротехнического завода «Вектор» разработала проект «Цифрового КРУ» 6-10 кВ. Проект на базе КРУ D-12P, производства ЭТЗ «Вектор» — это первый в России проект, с использованием

передачи данных по протоколу GOOSE для реализации всех функций РЗА в рамках распределительного устройства 6-10 кВ. Отличительной особенностью проекта является минимизация электромонтажных работ на объекте при наладке КРУ за счёт практически полного отказа от медных кабелей для межшкафных соединений [13].

В проекте «Цифрового КРУ» применены следующие технические решения [13]:

Функции ЛЗШ, УРОВ, АВР реализованы с использованием передачи сигналов между терминалами РЗА с использованием GOOSE-сообщений.

Межшкафные блокировки заземлителей и выдвижных элементов КРУ реализованы на базе терминалов РЗА с передачей данных между шкафами посредством протокола GOOSE.

Дуговая защита реализована с использованием клапанов и оптических датчиков в локальном исполнении, причём все сигналы заведены в терминал РЗА отдельного присоединения. Передача сигнала пуска МТЗ ввода для реализации контроля по току осуществляется GOOSE-сообщением. Сигналы срабатывания дуговой защиты в отсеках сборных шин шкафов отходящих линий также передаются GOOSE-сообщением на терминал РЗА ввода.

Интеграция в систему АСУ ТП осуществляется с использованием протокола МЭК 61850-8-1 (MMS)

В шкафах ввода предусмотрена возможность установки Merging Unit'ов для реализации цифровой дифференциальной защиты силового трансформатора.

Основное оборудование, применённое в проекте:

Устройства релейной защиты: Siemens SIPROTEC COMPACT с модулем расширения SICAM IO Unit

Ethernet-коммутаторы Pullnet AGENT-2 S41D, соответствующие требованиям МЭК 61850-3

Силовой выключатель — Таврида Электрик ВВ/TEL-10 [13].

Контрольные вопросы

- 1. В чем преимущества дуговой защиты по сравнению с защитами, реагирующими на изменение электрических величин?*
- 2. Поясните, что означает «оптическая защитная функция»?*
- 3. Как выполняется цифровая защитная система от дуги?*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильева В.Я., Дробиков Г.А., Лагутин В.А. Эксплуатация электрооборудования электрических станций и подстанций: учебное пособие. – Чебоксары: Чувашский гос. ун-т, 2000. – 864 с.
2. Грудинский П.Г., Мандрыкин С.А., Улицкий М.С. Техническая эксплуатация основного электротехнического оборудования станций и подстанций / под ред. П.И. Устинова. М.: Энергия, 1974. – 570 с.
3. Электромагнитная блокировка. Определение, конструкция, принцип действия. [Электронный ресурс]. URL: <http://elektri4estwo.ru/releinaya-zashita/84-elektromagnitnaya-blokirovka.html> (дата обращения 25.11.2014).
4. Программная (логическая) блокировка. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.smolgelios.ru/programnayablokirovkaa.html> (дата обращения 25.11.2014).
5. Сухие трансформаторы с литой изоляцией // Zucchini [Электронный ресурс]. URL: www.legrand.ru/ru/liblocal/.../DC079_Zucchini_page198-232.pdf. (дата обращения 22.11.2013).
6. Распределительные сухие трансформаторы АББ [Электронный ресурс]. URL: <http://silovoytransformator.ru/stati/raspredelitelnye-suhie-transformatory-abb.html>. (дата обращения 22.11.2013).
7. Гусев С.И., Зенова В.П., Ларин В.С., Матвеев Д.А. О перспективе создания сухих трансформаторов 110 кВ // ЭнергоЭксперт. – 2012. – № 5. – С. 68-73.
8. 37. Гуревич В. Оптоэлектронные трансформаторы: панацея или частное решение частных проблем? // Вести в электроэнергетике. – 2010. [Электронный ресурс]. URL: www.energyland.info/files/.../9df424e3837dd810f630b86c6ec82cc7.doc. (дата обращения 22.11.2013).
9. Измерительные оптические трансформаторы тока и напряжения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ruscable.ru/doc/analytic/KPD-5/proline.pdf> (дата обращения 22.11.2013).
10. Оптический трансформатор тока и напряжения [Электронный ресурс]. URL: <http://ukrm.ru/content/view/72/> (дата обращения 22.11.2013).
11. Инструкция по эксплуатации ограничителей перенапряжения (ОПН) // Инструкции / Инструкции по эксплуатации оборудования подстанций [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ruscable.ru/doc/documentation/instruction-13.html> (дата обращения 22.11.2013).
12. Защита от дуги - UniGear ZS1 КРУ АББ. [Электронный ресурс]. URL: <http://forca.ru/spravka/kru-i-ktp/unigear-zs1-kru-abb-16.html> (дата обращения 22.12.2014).
13. Самое цифровое КРУ. [Электронный ресурс]. URL: <http://digitalsubstation.ru/blog/2013/09/17/digital-switchgear-iec61850/> (дата обращения 22.12.2014).

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Перечень тем лабораторных работ	6
Критерии достижения результатов обучения по блоку практических дисциплин	7
1. Блокировки коммутационных аппаратов	8
2. Конструктивные особенности сухих трансформаторов	11
3. Оптические трансформаторы тока	16
4. Оптические трансформаторы напряжения	21
5. Нелинейные ограничители перенапряжения (ОПН)	24
6. Дуговые защиты отсеков КРУ и КРУЭ	29
Библиографический список	32

Учебное издание

Составители:

Козлов Александр Николаевич,
доцент кафедры энергетики АмГУ, канд. техн. наук;

Козлов Виталий Александрович,
*ведущий специалист службы перспективного развития Дальневосточной
распределительной сетевой компании;*

Рогачева Алла Георгиевна,
доцент кафедры энергетики АмГУ

**Электротехническое оборудование последнего поколения: Методические
указания к лабораторным работам**

Издательство АмГУ. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,97.