

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

# **ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПОСЛЕДНЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

*Методические указания для самостоятельной работы*

по направлению подготовки «Электротехника и энергетика»  
Магистерская программа «Электроэнергетические сети и системы»

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 для самостоятельной работы / Сост.: А.Н. Козлов, В.А. Козлов, А.Г. Ротачева. – 2-е изд., испр. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017. – 26 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.

Приведены общие рекомендации по работе над дисциплиной, сформулированы цели и задачи изучения дисциплины, содержание разделов лекционного курса и материалов для практических занятий. Представлена литература для углубленной проработки материала и литература для самостоятельного изучения.

В.А. Козловым подготовлены материалы по разделу 6, А.Г. Ротачевой – материалы по разделу 3, А.Н. Козловым подготовлены материалы остальных разделов пособия и выполнена общая редакция рукописи.

***В авторской редакции.***

ББК 31.26я73

©Амурский государственный университет, 2017

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

## ПРЕДИСЛОВИЕ

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 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».

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.

Освоение дисциплины «Электротехническое оборудование последнего поколения» 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 для самостоятельной работе студентов – очередная часть комплекта учебно-методических материалов, разрабатываемого кафедрой энергетики Амурского государственного университета в рамках реализации гранта Министерства образования и науки Российской Федерации «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания».

## ВВЕДЕНИЕ

Формирование специалиста, умеющего сформулировать проблему, проанализировать пути ее решения, найти оптимальный результат и доказать его правильность – основная задача высшего образования. Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса.

**Целью освоения дисциплины** является получение знаний об особенностях конструкции и эксплуатации современного электрооборудования и основных направлениях его совершенствования. Разработка новых материалов и технологий производства позволяет создать электротехнические устройства, которые по своим характеристикам значительно превосходят существующие, значительно повышают надежность электроустановок, обеспечивают удобство монтажа и эксплуатации, увеличивают продолжительность межремонтного периода [1]. Обобщение информации по современным проблемам создания новых электроустановок в России и за рубежом выполняется в нормативных документах и учебно-методических разработках, но со временем это обобщение обязательно будет неполным, и к затронутым вопросам необходимо возвращаться вновь. Поэтому было решено часть учебных часов, выделяемых на изучение дисциплины, запланировать для самостоятельной работы над некоторыми задачами, предусмотренными рабочей программой дисциплины.

В качестве первичной информации предлагаются настоящие «Методические указания к самостоятельной работе». Цель методической разработки – оказать помощь студентам в работе с новейшими источниками информации, в поиске необходимых сведений в Интернет-ресурсах.

По каждой из тем, запланированных для изучения, затронута только небольшая часть информации, известная на момент разработки методических материалов. По итогам работы над темой студентам предлагается подготовить реферат и презентацию и сделать доклад перед учебной группой в сроки, согласованные с преподавателем.

## **1. РАЗДЕЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ, ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ**

Наименование разделов
1. Токоограничивающее оборудование на основе высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП)
2. Силовые кабели на основе ВТСП.
3. Анализ повреждаемости выключателей 110 -750 кВ.
4. Контроль расхода коммутационного ресурса выключателей в условиях эксплуатации
5. Организация функциональных блокировок на КРУ с цифровой защитой и управлением.
6. Автоматические выключатели типа ВД (выключатель дифференциальный)

## **2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Раздел 1. Токоограничивающее оборудование на основе высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП)**

К числу прорывных технологий в электроэнергетике, называемых в документах РАО «ЕЭС России», относятся комплексная энерготехнологическая переработка угля, топливные элементы, водородные технологии, высокотемпературная сверхпроводимость, накопители электроэнергии, гибкие электропередачи, силовоточная электроника. Большое значение получают энергосберегающие технологии, обеспечивающие перевод энергоемких потребителей на применение новых энергосберегающих видов оборудования. Сюда относится создание устройств и аппаратов, использующих новые, относительно недавно открытые физические явления и материалы, - прежде всего, высокотемпературную сверхпроводимость (ВТСП) [3].

Сверхпроводимость – сложное физическое явление, которое заключается в существенном изменении всей совокупности свойств вещества (электрических, магнитных, термодинамических) при понижении его температуры ниже некоторого значения, которое называется критической температурой сверхпроводящего перехода. Сверхпроводимость была открыта голландским физиком Г. Камерлинг-Оннесом в 1911 г. и к настоящему времени

обнаружена у очень большого числа металлов, сплавов и химических соединений [3].

Отличительным признаком сверхпроводящего перехода является то, что при температуре ниже критической электрическое сопротивление вещества становится практически равным нулю – рис. 1 [3].

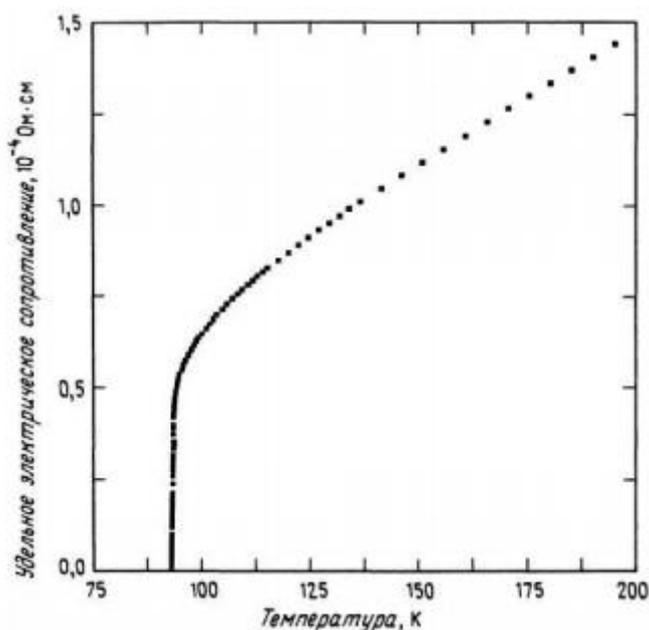


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления соединения  $YBa_2Cu_3O_7$  от температуры [3].

Важнейшими для практических применений являются также две особенности сверхпроводящего состояния: оно разрушается достаточно сильным магнитным полем и достаточно большим током, текущим по сверхпроводнику. Значения магнитного поля и тока, при превышении которых сверхпроводящее состояние разрушается, также называются критическими значениями [3]. Разрушение сверхпроводимости током означает, что при токах, меньших критического значения, сопротивление равно нулю, а при больших – сопротивление резко возрастает с ростом тока.

Реальные работы в этой области начались после открытия интерметаллического соединения  $Nb_3Sn$ . Это было время низкотемпературной сверхпроводимости, так как рабочие температуры сверхпроводящих материалов не превышали 10К и хладагентом мог служить только жидкий гелий. Именно это было главным препятствием для широкого применения сверхпроводников: высокая стоимость сверхпроводника и жидкого гелия, а также криогенно-вакуумного оборудования [2].

Новые возможности перед разработчиками сверхпроводящих электротехнических устройств появились с открытием высокотемпературных сверхпроводящих материалов (ВТСП): использование в системе охлаждения жидкого азота вместо гелия позволило проектировать и создавать экономически выгодные сверхпроводящие устройства. В настоящее время применяются практически два вида сверх проводящих материалов: керамические соединения на основе висмута (BSCCO) и иттрия (YBCO) с критической температурой 105-120К и 90-92К соответственно – рис.2 [2]:

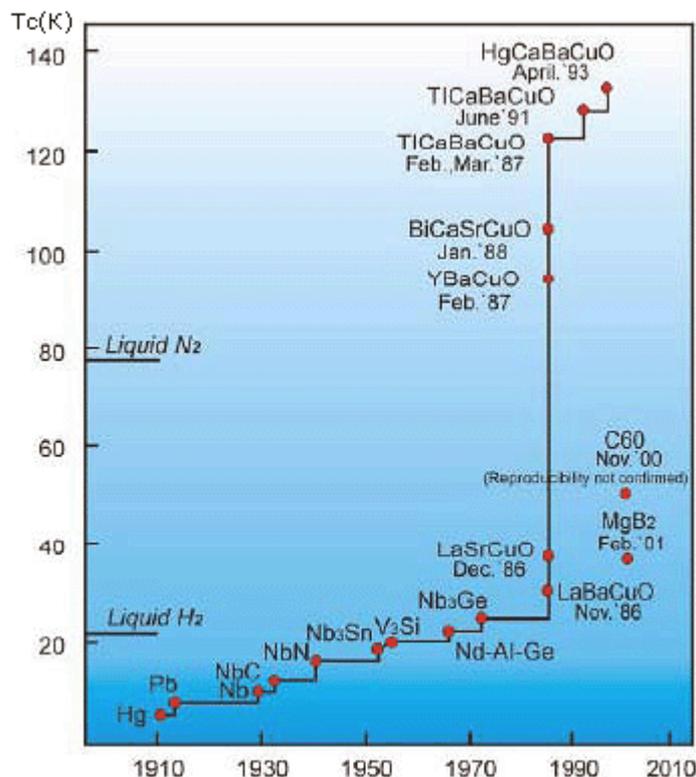


Рис. 2. Год создания и температурные параметры сверхпроводника [2].

### **Ограничители тока КЗ на основе ВТСП [2].**

Разработанные сверхпроводящие ограничители тока (СОТ) резистивного типа на основе ВТСП – принципиально новые электротехнические устройства с большой глубиной ограничения токов КЗ. Принцип действия СОТ основан на переходе ВТСП от состояния сверхпроводимости к высокому сопротивлению при достижении критического тока. То есть в нормальных режимах СОТ практически не оказывает влияния на режим работы сети, а в аварийных вводит в сеть реактанс, необходимый для ограничения токов КЗ до требуемого уровня. Специалистами Российского научного центра «Курчатовский институт» создан однофазный макет СОТ на ВТСП 2-го поколения для железнодорожного

транспорта. Дело в том, что для систем тягового электроснабжения важной особенностью является высокая частота возникновения коротких замыканий, что приводит к частым повреждениям контактной сети и питающим ее понижающим трансформаторам. Применение же традиционных токоограничивающих устройств – реакторов и индуктивно-емкостных ограничителей недопустимо: первые снижают напряжение на токоприемниках электроподвижного состава, а вторые обладают малой глубиной ограничения токов КЗ. Разработанный СОТ - однофазное устройство с номинальным напряжением 3,5 кВ и током 250 А (действующее значение), представляющее собой размещенную в заполненном жидким азотом криостате сборку из восьми токоограничивающих элементов в виде цилиндрических безиндуктивных катушек намотанных из ВТСП проводника 2-го поколения типа SF12100 производства компании SuperPower (США) Ниже, на рис.3 показаны слева – сборка СОТ из 8 резистивных элементов, справа – криостат (сосуд Дьюара):



*Рис. 3. Сборка СОТ и криостат [2].*

На рис. 4 представлены осциллограммы тока и напряжения на одиночном токоограничивающем элементе в ходе опыта по имитации короткого замыкания [2]. Специалистами ВЭИ разработан макет СОТ с эффективным ограничением тока до 1000А при токе КЗ порядка 9 кА, с ВТСП SF 12100 на основе немагнитного высокорезистивного сплава Hastelloy компании SuperPower [2] – рис. 5.

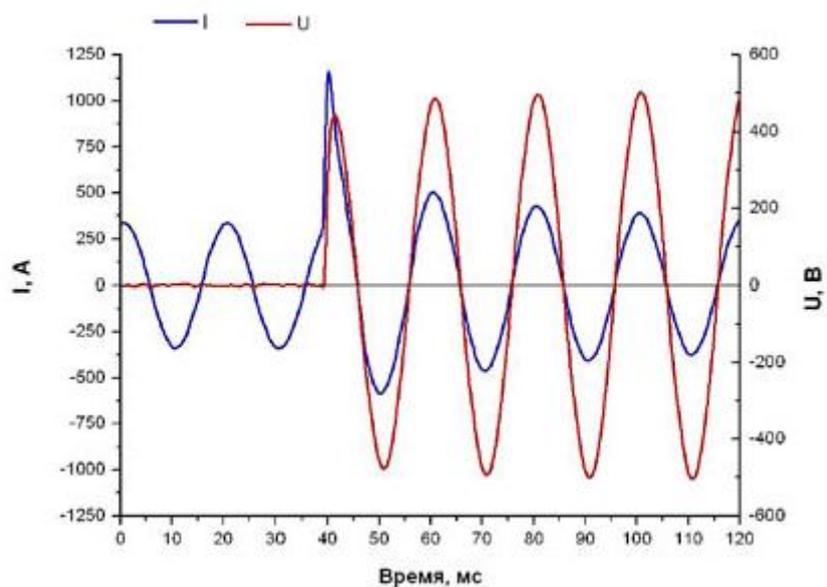


Рис. 4. Осциллограммы тока и напряжения на одиночном токоограничивающем элементе при имитации короткого замыкания [2].

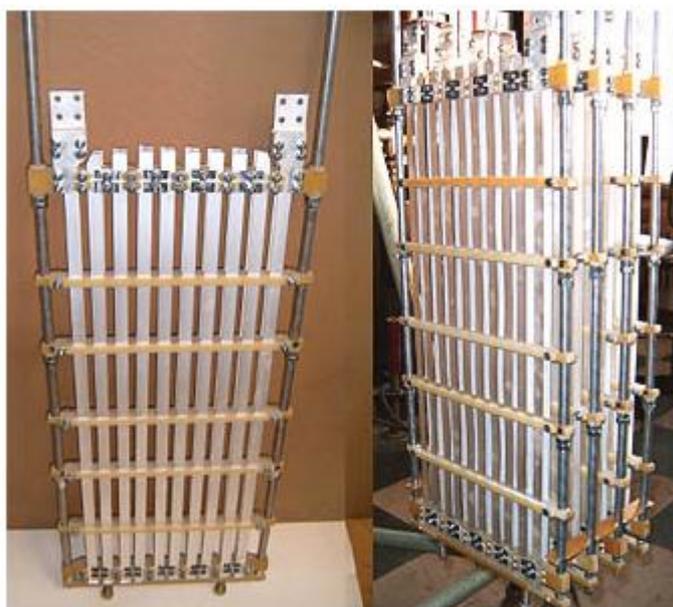


Рис. 5. Слева - один элемент СОР, справа - СОР в сборе [2].

Особенность этой разработки состоит в том, что уменьшение объёма ВТСП, а значит и стоимости СОР в целом, без снижения его эксплуатационных характеристик, в особенности допустимого нагрева ВТСП, достигается путём уменьшения длительности протекания тока в режиме токоограничения [2]. Для этой цели последовательно с ВТСП предлагается включить быстродействующий выключатель, например вакуумный выключатель со

сверхбыстродействующим приводом. Осциллограммы тока КЗ  $I_0$  и тока ограничения  $I_{lim}$  при  $U_0 = 4 \text{ кВ}$  представлены на рис.6 [2].

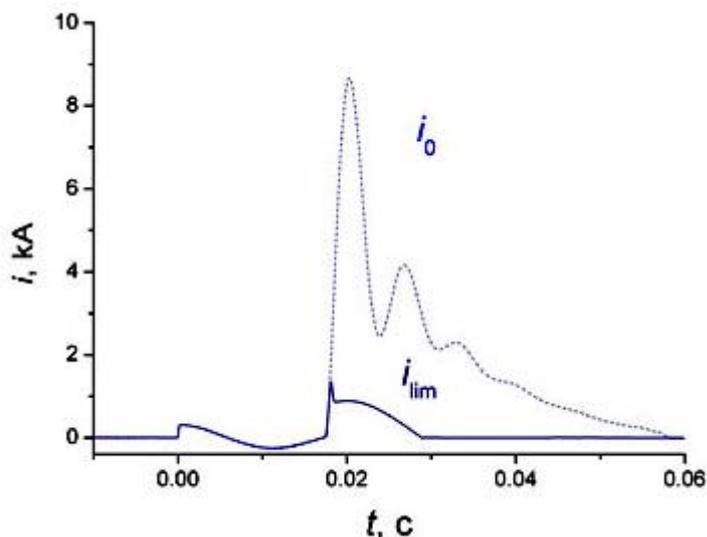


Рис. 6. Срез тока КЗ при разрушении сверхпроводимости [2].

### ***Задание для самостоятельной работы***

Рассмотреть конструкции сверхпроводящих элементов на базе ВТСП и использование их в схемах сверхпроводящих токоограничивающих устройств (СП ТОУ), основанных на различных принципах действия, российский и зарубежный опыт создания, освоения и эксплуатации СП ТОУ.

### ***Рекомендуемая литература для углубленной проработки материала:***

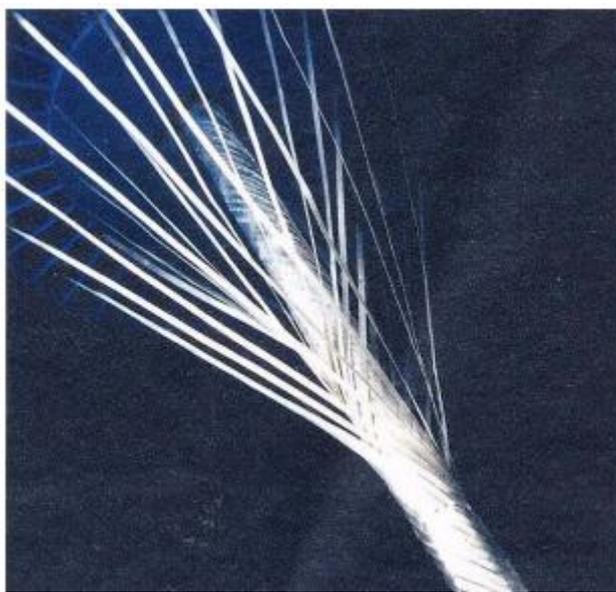
[2], [3] и материалы Интернет-ресурсов.

## **Раздел 2. Силовые кабели на основе ВТСП [2, 3]**

Наиболее эффективным способом значительного (в 3...8 раз) увеличения мощности распределительных сетей (без изменения напряжения в сетях) может быть достигнуто путем замены традиционных силовых кабелей сверхпроводящими кабелями. Появление высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) создало принципиально новые возможности для практического использования этого явления. Основные преимущества силовых ВТСП кабелей следующие: высокая токовая нагрузка, малые потери в сверхпроводнике, экологическая чистота (отсутствие масел, минимальное электромагнитное и тепловое воздействие на окружающую среду), высокий уровень пожарной безопасности [2].

СП кабели гелиевого уровня температур по конструкции подразделялись на жесткие, полугибкие и гибкие. СП электрический кабель жесткого типа представлял собой токонесущую систему коаксиальной пары проводников неизменяемой геометрии, охлаждаемую потоком хладагента и заключенную в специальную герметичную оболочку, внутри которой обеспечивается поддержание низкой температуры (криостатирование) по всей длине линии. Криостатирование осуществляется рефрижераторными установками, расположенными по всей длине ЛЭП. Гибкие СП кабели, в отличие от жестких конструкций, могут быть намотаны на барабаны и уложены в траншеи, как и обычные кабели [3].

В настоящее время на основе ВТСП материалов разрабатываются только более перспективные для применения гибкие кабели. Этому способствует тот факт, что, в силу хрупкости металлоксидных ВТСП керамик, провода из них изготавливают в виде композитов в серебряной матрице, которые после механической обработки приобретают ленточную форму. Из ленточных композитных ВТСП проводов с помощью стандартного оборудования для кабельного производства изготавливают оплетку гибкого ВТСП кабеля - рис. 7 [3].



*Рис. 7. Изготовление токонесущего слоя кабеля из ленточных ВТСП проводов [3].*

Конструкция созданного в России (г.Москва) под руководством ОАО «ЭНИН» и при участии ОАО «ВНИИКП», ФГБОУ МАИ и ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» ВТСП кабеля 20 кВ/1500 А длиной 200 м с криостатирующей оболочкой

и системой криообеспечения и общий вид ВТСП кабельной линии приведены на рис. 8, в табл. 1 и на рис. 9 [3].

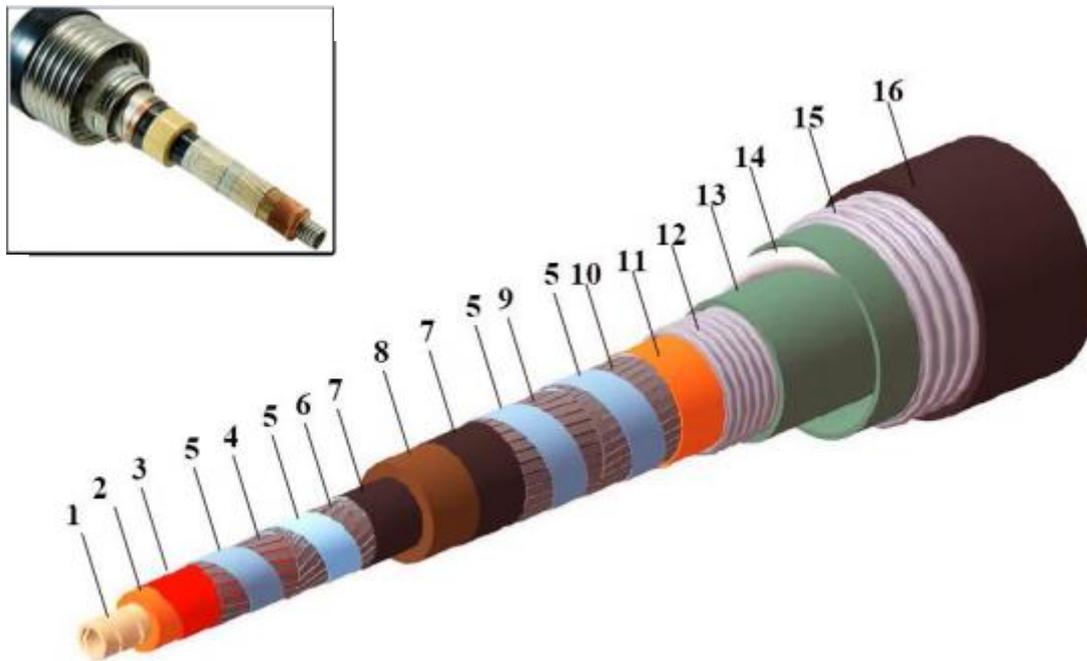


Рис. 8. Конструкция ВТСП кабеля [3].

Таблица 1

Элементы конструкции ВТСП кабеля [3]

№	Элемент	Субэлемент
1	Центральный несущий элемент – формер	Центральная несущая спираль
2		Несколько скруток из медных проволок общим сечением обеспечивающим защиту кабеля при коротком замыкании
3		Обмотка проволочных скруток медной фольгой без зазора
4	Сверхпроводящий токонесущий слой	Первый повив из ВТСП лент
5		Обмотка первого повива нержавеющей или изолирующей лентой
6		Второй повив из ВТСП лент
5		Обмотка второго повива нержавеющей или изолирующей лентой
7	Изоляция	Обмотка полупроводящей кабельной бумагой
8		Высоковольтная изоляция кабельной бумагой .в несколько слоев общей толщиной ~6-8 мм
7		Обмотка полупроводящей кабельной бумагой

Продолжение таблицы 1

№	Элемент	Субэлемент
9	Экран	Первый повив сверхпроводящего экрана
5		Обмотка первого повива сверхпроводящего экрана нержавеющей или изолирующей лентой
10		Второй повив (если потребуется) сверхпроводящего экрана
5		Обмотка второго повива сверхпроводящего экрана нержавеющей или изолирующей лентой
11		Защитный экран из медных проволок
12		Криостат
13	Экранно-вакуумная изоляция (суперизоляция)	
14	Разделительная трубка	
15	Внешняя гофрированная труба криостата	
16	Защитная полимерная оболочка криостата	



*Рис. 9. Общий вид системы криообеспечения (слева) и ВТСП кабельной линии на полигоне ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» [3].*

***Задание для самостоятельной работы***

Рассмотреть конструкции сверхпроводящих элементов на базе ВТСП и использование их в силовых кабелях. Сравнить российский и зарубежный опыт создания, освоения и эксплуатации силовых кабелей на основе ВТСП.

### ***Рекомендуемая литература для углубленной проработки материала:***

[2], [3] и материалы Интернет-ресурсов.

### **Раздел 3. Анализ повреждаемости выключателей 110 -750 кВ**

Обеспечение надежной работы электростанций, подстанций и систем электроснабжения промышленных предприятий в значительной степени определяется безотказной работой выключателей высокого напряжения [5]. *Выключатели* – основные коммутационные аппараты в электрических установках и служат для включения и отключения токовых цепей. Уникальной особенностью выключателей является то, что они должны надежно выполнять свои функции, находясь как во включенном, так и в отключенном состоянии, а также одновременно быть постоянно готовыми к мгновенному выполнению коммутационных операций в любых режимах работы, включая аварийные ситуации [5].

Увеличение объемов электрооборудования, сработавшего свой ресурс, несмотря на значительное увеличение инвестиций в техническое перевооружение энергообъектов за последнее время, пока еще превышает темпы его замены на новое. Такое положение дел может привести в ближайшие 10 лет к дальнейшему росту уровня износа основных фондов энергетики до 70 % [5]. Если не остановить процесс увеличения износа основных фондов, то энергетика рискует потерять свою работоспособность из-за возникновения массовых отказов электрооборудования [5].

В сетях среднего напряжения 6–35 кВ, согласно Положению о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» в распределительном электросетевом комплексе, проблема износа оборудования выделяется особо. Это связано с тем, что общая протяженность сетей 6 (10) кВ в России, находящихся в эксплуатации, превышает 1,1 млн. км, а общее число подстанций 6–35/0,4 кВ – 500 тыс. В настоящее время в расчете на 100 км длины линий 6 (10) кВ происходит в среднем 26 отключений в год. В результате за год происходит до 5–6 отключений потребителей (в технически развитых зарубежных странах – 1–2). Примерно 15% трансформаторных подстанций 6 (10)/0,4 кВ имеют неудовлетворительное состояние. Более 40% воздушных и кабельных линий, а также 30% подстанций находятся в эксплуатации дольше нормативного срока службы. Около 70% всех нарушений электроснабжения происходит именно в

сетях 6 (10) кВ. К наиболее изношенному оборудованию на подстанциях относятся, как правило, выключатели. По данным ОАО «ФСК ЕЭС», количество технологических нарушений из-за отказа выключателей – наибольшее (см. рис. 10) [5].



*Рис.10. Распределение технологических нарушений на подстанциях по видам оборудования [5].*

Доля количества отказов конструктивных элементов от общего количества отказов масляных выключателей распределяется следующим образом: дугогасящая камера – 18 %, привод – 26 %, цепи управления – 42 %, опорная изоляция и вводы – 14 % [5]. Среднее время восстановления одного отказа сетей 6 (10) кВ составляет более 3 часов. Если затраты на восстановление принять за единицу, то ущерб, включая недоотпуск электрической энергии, может достигать 2 единиц. Кроме того, для электрооборудования, отработавшего более 30 лет, затраты на ремонт превышают средние показатели по отрасли в 3 раза. У наиболее изношенного электрооборудования затраты на техническое обслуживание и ремонт за срок службы в 2,5–3,5 раза превосходят затраты, необходимые для установки нового электрооборудования. Поэтому особую актуальность приобретает необходимость обеспечения надежности сетей 6–35 кВ, в том числе на основе замены изношенных и морально устаревших выключателей [5].

### ***Задание для самостоятельной работы***

Сформулировать основные требования, которым должны отвечать высоковольтные выключатели. Дать классификацию существующих типов современных выключателей и проанализировать конструктивные и эксплуатационные преимущества и недостатки выключателей разных типов. Сравнить российский и зарубежный опыт создания, освоения и эксплуатации высоковольтных выключателей.

#### ***Рекомендуемая литература для углубленной проработки материала:***

[4], [5], [6], [7] и материалы Интернет-ресурсов.

### **Раздел 4. Контроль расхода коммутационного ресурса выключателей в условиях эксплуатации [8, 9]**

Эффективность функционирования электротехнического оборудования (ЭО) электростанций, подстанций, электрических сетей и систем электроснабжения связана с его техническим состоянием. Надежность ЭО зависит не только от качества его изготовления, но и от применения научно обоснованной системы технического обслуживания и ремонта (ТОР). В настоящее время, согласно требованиям нормативно-технической документации, применяется система планово-предупредительных ремонтов (ППР), где основным технико-экономическим критерием является минимум простоев оборудования на основе жесткой регламентации ремонтных циклов [9]. Однако система ППР в условиях развития рыночных отношений в области энергоремонта во многих случаях не обеспечивает принятие оптимальных решений. Это связано с тем, что назначение профилактических работ осуществляется регламентно и не зависит от фактического технического состояния ЭО, что приводит к появлению дополнительных материальных и трудовых затрат [9].

Новым направлением в развитии системы ТОР является разработка методов, основанных на индивидуальном наблюдении за реальными изменениями технического состояния оборудования в процессе эксплуатации. В современных условиях, когда износ основных производственных фондов электроэнергетической отрасли превышает 50%, проблема обеспечения безотказной работы высоковольтных выключателей является особенно актуальной [9].

В связи с этим необходимо разрабатывать средства получения диагностической информации, а также математические методы и модели, позволяющие учесть все факторы, влияющие на техническое состояние выключателей. Еще более важной задачей является создание комплексного метода определения технического состояния, способного объединить разностороннюю диагностическую информацию и на этой базе рассчитать интегральную количественную характеристику уровня технического состояния – сработанный ресурс [9].

Сравнивая полученное значение с допустимыми границами его изменения, можно сформулировать рекомендации о необходимости вывода выключателя в ремонт или о продолжении его эксплуатации. Кроме того, комплексный метод определения технического состояния высоковольтных выключателей должен позволять прогнозировать остаточный ресурс коммутационного аппарата [9].

### ***Задание для самостоятельной работы***

Сравнить существующие методы оценки технического состояния и коммутационного ресурса (КР) высоковольтных выключателей. Дать классификацию КР существующих типов современных выключателей. Сравнить имеющиеся данные коммутационного ресурса для однотипных выключателей различных фирм.

### ***Рекомендуемая литература для углубленной проработки материала:***

[8], глава 7, глава 13; [9] и материалы Интернет-ресурсов.

## **Раздел 5. Организация функциональных блокировок на КРУ с цифровой защитой и управлением**

Основные преимущества цифровой подстанции связаны с повышением уровня ее автоматизации за счет применения более скоростных коммуникаций на основе промышленного Ethernet с поддержкой технологий резервирования и безопасности, использования единых протоколов обмена при интеграции с АСУ ТП подстанции различных интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ), возможности реализации так называемых горизонтальных связей между ИЭУ для обмена дискретной (МЭК 61850-8-1, GOOSE-сообщения) и аналоговой информацией (МЭК 61850-90-5) [10]. Организация горизонтальных

связей между интеллектуальными электронными устройствами позволяет построить надежную систему оперативных блокировок на подстанции, обеспечить реализацию более эффективных алгоритмов устройств защиты и автоматики, систем регулирования напряжения на подстанции и т. д. [10].

Другое важнейшее преимущество цифровой подстанции связано с существенным сокращением количества медных проводов во вторичных и оперативных цепях или их отсутствием при полной реализации стандартов цифровой подстанции. Переход на цифровые технологии связи на подстанциях позволит осуществить полноценный мониторинг и диагностику работы как отдельных интеллектуальных электронных устройств, промышленных сетей, высоковольтных ячеек, так и подстанции в целом [10].

Главное отличие решений для РУ 6–20 кВ от решений для открытых РУ 110 кВ и выше связано с тем, что основные компоненты цифровой подстанции находятся внутри высоковольтных ячеек 6–20 кВ, что позволяет упростить реализацию резервирования промышленных сетей, требований по обеспечению ЭМС, вводу/выводу аналоговой и дискретной информации. Основным компонентом РУ 6–20 кВ нового поколения является цифровая ячейка [10].

В высоковольтных ячейках применяется множественное дублирование ввода/вывода дискретных сигналов, используется большое количество медных проводов, что приводит к снижению надежности. Для устройств РЗА, телемеханики, устройств индикации состояния ячейки, организации оперативных блокировок часто применяются отдельные концевые выключатели, блок-контакты выключателей и т. д. [10].

### ***Задание для самостоятельной работы***

Уяснить назначение и принципы реализации оперативных и логических блокировок, сопоставить их возможности с традиционными электромагнитными блокировками электрических аппаратов. Описать алгоритм работы блокировок и особенности конфигурирования блокировочных модулей. Привести примеры блок-схем.

### ***Рекомендуемая литература для углубленной проработки материала:***

[10], [11], [12], [13], [14] и материалы Интернет-ресурсов.

## Раздел 6. Автоматические выключатели типа ВД (выключатель дифференциальный)

Существуют устройства, объединяющие в себе принципы работы автоматических выключателей и выключателей дифференциальных (ВД или УЗО). Такие аппараты называют автоматическими выключателями дифференциального тока (АВДТ).

Подобные быстродействующие защитные выключатели обеспечивают защиту людей от поражения электрическим током при прямом непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электрооборудования, а также защиту от перегрузки и короткого замыкания.

При монтаже выключателя необходимо строго соблюдать фазировку в соответствии с маркировкой, нанесенной на корпусе, т.к. тепловой и электромагнитный расцепители расположены в фазном полюсе аппарата.

На сегодняшний день практически в любых сферах деятельности человека присутствуют электроприборы, которые в свою очередь весьма требовательны к значениям уровня напряжения в питающей сети. Качество электрической энергии часто не соответствует установленным требованиям именно по уровням напряжения. В весьма широком ассортименте защитно-коммутационных аппаратов имеется также оборудование, защищающее электроприемники от повышенного или пониженного напряжения.

Быстродействующие защитные выключатели типа АД (автоматы дифференциальные) имеют возможность «контролировать» сразу несколько параметров сети и отключать напряжение питания в случае нарушения заданных уставок одним из «контролируемых» параметров:

- уставки срабатывания по току утечки, для защиты людей от поражения электрическим током при прямом непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- уставки срабатывания от перегрузки и короткого замыкания;
- уставки срабатывания от **недопустимого отклонения напряжения сети** (как при условии превышения, так и при условии недопустимо низкого уровня напряжения в зависимости от конкретных марок);

Данный защитный аппарат имеет электронный управляющий блок. Он весьма полезен в быту, так как нередки случаи, отгорания нулевого проводника в ВРУ жилых домов, что в свою очередь приводит к появлению в однофазной сети линейного напряжения [15].

### ***Задание для самостоятельной работы***

Уяснить функциональное назначение и принципы реализации устройства защитного отключения (УЗО) и дифференциального автоматического выключателя. Охарактеризовать области применения каждого аппарата, условия, принимаемые во внимание при выборе соответствующего прибора. Привести технические данные приборов.

#### ***Рекомендуемая литература для углубленной проработки материала:***

[15], раздел 9, [16], [17] и материалы Интернет-ресурсов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учеб. пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 480 с.
2. Сверхпроводники – инновационный путь к энергосбережению в электроэнергетике / Использование высокотемпературных сверхпроводников - инновационный путь к энергосбережению в электроэнергетике. [Электронный ресурс]. URL: [www.ukrm.ru](http://www.ukrm.ru) (дата обращения 25.12.2014).
3. Применение ВТСП материалов. [Электронный ресурс]. URL: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Admin/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/Downloads/%D1%80%D1%82%D0%B9%D0%BD%D0%B5%D0%BE%D0%B5%D0%BE%D0%B9%D0%B5%20%D1%87%D1%84%D1%83%D1%80%20%D0%BD%D0%B1%D1%84%D0%B5%D1%82%D0%B9%D0%B1%D0%BC%D0%BF%D1%87.pdf> (дата обращения 25.12.2014).
4. Высоковольтные выключатели: классификация, устройство, принцип действия. [Электронный ресурс]. URL: <http://electricalschool.info/uchet/309-vysokovoltnye-vykljuchateli.html> (дата обращения 25.12.2014).
5. Назарычев А.Н. Анализ основных преимуществ применения вакуумных выключателей. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bester54.ru/cms.php?type=page&id=22> (дата обращения 25.12.2014).
6. Опыт замены масляных выключателей на выключатели с элегазовой изоляцией. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.moesk.ru/press/publications\\_smi/publikacii/2014/ee-5-2.pdf](http://www.moesk.ru/press/publications_smi/publikacii/2014/ee-5-2.pdf) (дата обращения 25.12.2014).
7. Белоусов В.В. Анализ повреждений высоковольтных выключателей на тяговых подстанциях ВСЖД за период с 2001 по 2010 г.г. / МИКС-2012: Сборник трудов Межвузовской итоговой конференции студентов. [Электронный ресурс]. URL: <http://sdo.irgups.ru/modules/works/miks2012%20tehnicieskiy%20chast1.pdf> (дата обращения 25.12.2014).
8. Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией / Под ред. Ю.И. Вишневого – СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отделение, 2002. – 728 с.

9. Андреев Д.А, Назарычев И.А. Анализ методов оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей. – Вестник ИГЭУ, вып. 2, 2008, с. 69-84.
10. Цифровая ячейка. [Электронный ресурс]. URL: <http://isup.ru/articles/36/4795/> (дата обращения 25.12.2014).
11. Цифровая подстанция. МЭК 61850 – Вектор. [Электронный ресурс]. URL: [http://etz-vektor.ru/products/buklet\\_MEK\\_61850.pdf](http://etz-vektor.ru/products/buklet_MEK_61850.pdf) (дата обращения 25.12.2014).
12. Комплектное распределительное устройство 6–10 кВ. Техническое описание. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.electronmash.ru/sites/default/files/to\\_kry\\_ultima.pdf](http://www.electronmash.ru/sites/default/files/to_kry_ultima.pdf) (дата обращения 25.12.2014).
13. Оперативные блокировки на базе КП «Исеть». [Электронный ресурс]. URL: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Admin/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/Downloads/%D0%91%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B8-%D0%98%D0%A1%D0%95%D0%A2%D0%AC.pdf> (дата обращения 25.12.2014).
14. Микропроцессорный блок оперативной блокировки БЭМП 1-24. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. URL: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Admin/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/Downloads/24.02%20bemp%201-24%20izm1.pdf> (дата обращения 25.12.2014).
15. Козлов А.Н., Козлов В.А., Ротачева А.Г. Электротехническое оборудование последнего поколения: учебное пособие / А.Н. Козлов, В.А. Козлов, А.Г. Ротачева. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 166 с.
16. Как отличить дифференциальный автомат от УЗО? [Электронный ресурс]. URL: <http://zametkielectrika.ru/otlichie-differencialnogo-avtomata-ot-uzo/> (дата обращения 25.12.2014).
17. УЗО ВД 1-63. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.imiselectro.ru/index.php/1-63> (дата обращения 25.12.2014).

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
1. Разделы дисциплины, запланированные для самостоятельного изучения	6
2. Содержание разделов дисциплины	6
Раздел 1. Токоограничивающее оборудование на основе высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП)	6
Раздел 2. Силовые кабели на основе ВТСП	11
Раздел 3. Анализ повреждаемости выключателей 110 -750 кВ	15
Раздел 4. Контроль расхода коммутационного ресурса выключателей в условиях эксплуатации	17
Раздел 5. Организация функциональных блокировок на КРУ с цифровой защитой и управлением	18
Раздел 6. Автоматические выключатели типа ВД (выключатель дифференциальный)	20
Библиографический список	22

ДЛЯ ЗАМЕТОК

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;*

**Ротачева Алла Георгиевна,**  
*доцент кафедры энергетики АмГУ*

**Электротехническое оборудование последнего поколения:**  
*Методические указания для самостоятельной работы.*

---

Издательство АмГУ. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,51.