

СВЕРХПРОВОДНИКИ

для электроэнергетики

Том 3 выпуск 4
сентябрь 2006

Исследовательские центры
Провода Кабели
Трансформаторы

Фирмы Инвесторы
Генераторы Накопители
Токоограничители

СЕГОДНЯШНИЙ РЕКОРД

ASMC. Новые ВТСП ленты стандарта 348 для катушек

Напор, с которым компания American Superconductor Corp. (ASMC), обновляет и продвигает свои ВТСП разработки, заслуживает, по меньшей мере, уважения. Совсем недавно ASMC анонсировала разработку и выпуск ВТСП лент 2-го поколения стандарта 344 (344 2G CC), оптимизированных специально для применений в силовых кабелях (см., например, http://perst.issph.kiae.ru/fsk/bulletin/fsk_2006_01.pdf). На сегодня они уже продали 10000 м этих лент. И вот – новый рекорд. 29 августа с.г. ASMC анонсировала, что ею достигнут уровень магнитных, тепловых и механических характеристик ВТСП проводов 2-го поколения, необходимый для коммерческого применения в электромагнитных катушках, являющихся ключевым элементом практически всех электротехнических устройств. Компания достигла этого выдающегося результата с помощью сверхпроводящей трехслойной ленты с шириной 4,8 мм (новый 348 стандарт AMSC). Этот успех открывает широкие возможности создания ВТСП моторов, генераторов и многих других сверхпроводящих электротехнических компонентов. В частности, проведенные тесты показали, что уже сейчас 348 проводник можно использовать для производства корабельной силовой установки мощностью 36,5 МВт (49 тыс. л. с.) при рабочей температуре 38 К.

AMSC изготовила и испытала 80 галетных и рейтрековых катушек из 344 и 348 проводников. Испытания показали, что увеличение ширины ленточного проводника с 4,4 мм до 4,8 мм приводит к существенным улучшениям прочности и долговечности ВТСП лент. На конечном этапе изготовления 348 ВТСП ленту ламинируют с обеих сторон ультратонким покрытием из специального медного сплава, что позволяет достичь требуемого уровня механических, электрических, термических и магнитных свойств.

AMSC предполагает начать коммерческие продажи 348 ВТСП проводника в 2007 г. Производство проводов «старого» 344 стандарта также будет наращиваться для последующего его использования в сверхпроводящих кабельных линиях электропередач.

И.А.Руднев

<http://www.amsuper.com/products/htsWire/2GWireTechnology.cfm>

ЗАРУБЕЖНЫЕ КОМПАНИИ

Энергетические фирмы проявляют очевидный интерес к ВТСП устройствам и ВТСП кабелям для линий электропередач. Этот факт заставляет ВТСП компании и отдельные исследовательские группы объединять усилия для скорейшего выхода на вновь открывающийся рынок высоких технологий и завоевания на нем своей ниши и лидирующих позиций в ней. Возникают новые объединенные компании как внутри отдельных стран, так и межгосударственные и даже межконтинентальные объединения. Пример – новая компания Zenergy Power plc. (объединение Australian Superconductors Ltd., Австралия;

И далее...

EAS - European Advanced Superconductors GmbH & Co. KG (Hannau, Германия) 2

Zenergy Power – новая ВТСП корпорация 4

ВТСП УСТРОЙСТВА

Сверхпроводниковые трансформаторы 4

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поиск новых подложек для ВТСП лент 9

ВТСП КАБЕЛИ В СЕТЯХ

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Новые проекты в области сверхпроводимости, финансируемые фондом РФФИ 9

КОНФЕРЕНЦИИ

20-22 ноября 2006 года. Санкт-Петербург, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. III Российская конференция "Физические проблемы водородной энергетики". 10

16-20 September 2007. Brussels. 8th European Conference on Applied Superconductivity – EUCAS2007. 10

SC Power Systems Inc., США; Trithor GmbH, Германия) и European Advanced Superconductors GmbH & Co. KG (образовалась при слиянии отдельных исследовательских групп немецких компаний Bruker, EAS и EHTSC). Ниже – краткая история, сегодняшнее состояние и продукция этих новых компаний.

EAS - European Advanced Superconductors GmbH & Co. KG (Hanau, Германия)

Ehrichstraße 10
63450 Hanau, Germany
Phone: (+49) (6181) 43 84-41 00
Fax: (+49) (6181) 43 84-44 00
Dr. Burkhard Prause, general manager
Dr. Thomas J. Arndt, manager of the HTS development
Product Marketing
E-Mail: Reinhard.Dietrich@advancedsupercon.com

European Advanced Superconductors (EAS) имеет почти 40 летнюю историю, у истоков которой – отделение сверхпроводящих материалов компании Vacuumschmelze Superconductors. В настоящее время

является дочерней компанией [Bruker Bio-Spin](#), известного производителя ЯМР магнитов для биологических исследований. ВТСП отделение компании EAS сливается с исследовательской группой Göttingen Univ. Интегрированная группа EAS/EHTS сконцентрирует работы на вновь открытом предприятии в Alzenau, городке, расположенном в 35 км от Frankfurt'a. Предприятие площадью 2000 кв. м. оснащено современным технологическим и производственным оборудованием. После завершения процедуры слияния EAS/EHTS станет лидирующей европейской компанией в области ВТСП технологий.

В штате компании EAS 190 сотрудников. Основная продукция – сверхпроводящие материалы для магнитов ЯМР медицинских томографов и исследовательских ЯМР и ЭПР установок. Компания также участвует в поставках материалов для международных проектов – Большой адронный коллайдер (LHC) и экспериментальный термоядерный реактор (ITER).

Известные технические разработки EAS

1965	Ванадиевые ленты, покрытые слоем V ₃ Ga
1967	Технология электронно-лучевого плавления NbTi
1970	Производство скрученных и стабилизированных NbTi проводников
1975	Производство многожильных Nb ₃ Sn проводников по бронзовой технологии
1978	Производство Nb ₃ Sn кабелей
1980	Производство Nb ₃ Sn кабелей с внутренним каналом для охлаждения жидким гелием
1984	Производство (NbTa) ₃ Sn, стабилизированных медью
1987	Разработка керамических YBCO сверхпроводников
1995	Разработка ВТСП BiSCCO 2223 лент
2000	Многожильный ВТСП кабель с охлаждением по внутреннему каналу из Al сплава

Участие EAS в крупных проектах

1970	Big European Bubble Chamber в ЦЕРНе
1971	Детектор PLUTO для синхротронного источника DESY (Германия)
1972	ЯМР томограф с NbTi магнитом
1979	ЯМР томограф с Nb ₃ Sn магнитом
1980	Большая НТСП катушка для Oak Ridge Laboratory
1995	Международный проект ITER
1996	900 МГц томограф для National High Magnetic Field Laboratory в США
1997	Детектор ATLAS для LHC в ЦЕРНе
1999	ВТСП трансформатор, Германия
2001	ВТСП индуктивный накопитель (SMES), Германия
2002	ВТСП кабель для проекта в Мексике

В настоящее время компания активно включилась в разработки ВТСП материалов для электродвигателей, генераторов, линий электропередач и высокополевых магнитов. ВТСП разработками занимаются две исследовательские группы: одна – технологией проводников на основе Bi-системы, другая - технологией Y-системы.

Y-HTS группа, родившаяся от слияния исследовательских групп Zentrum fur Funktionswerkstoffe и Univ. Goettingen, разрабатывает и производит YBCO пленочные проводники с 1991 г. В качестве подложки используют ленты из нержавеющей стали длиной до 40 м. Дизайн и параметры проводников оптимизируются в зависимости от применений, для которых они предназначены:

- **ENTS YHT-NC** – стандартные ленты, оптимизированные для применений, требующих высокой плотности тока;
- **ENTS YHT-FC** – ленты с высокой плотностью тока, оптимизированные для применений в ограничителях тока;

- **ENTS YHT-UH** – специальные ленты с повышенной однородностью распределения плотности критического тока.

Архитектура	Подложка	Нержавеющая сталь 50 или 100 мкм
	ВТСП слой	YBCO толщиной 0,5-3 мкм
	Защитное покрытие	Ag или Au толщиной 0,2 мкм
	Cu шунтирующее покрытие	толщиной 20 мкм или по требованию
Электрические параметры при 77 К и 0 Тл	Инженерная плотность тока	300 – 1000 А/мм ²
	Критический ток	135 А в ленте шириной 4 мм 350 А в ленте шириной 10 мм 1000 А в ленте шириной 40 мм
Механические свойства	Прочность на растяжение	650 МПа
	Критический радиус изгиба	9 мм
	Критическое скручивание	30 угловых градусов на см длины (лента шириной 4 мм при приложенном напряжении вдоль оси 40 Н)

Bi-HTS группа, возникшая из бывшего отдела разработчиков компании Vacuumschmelze Superconductors, разрабатывает и производит Bi-2223 проводники с 1995 года. На сегодня это Bi-2223 ленты в оболочке из сплава на основе серебра длиной до 2000 м, оптимизированы для широкого круга применений:

ENTS BHT-NC – стандартные проводники с высокой плотностью тока;

ENTS BHT-RM – проводники с высокой плотностью тока и высокими механическими свойствами (>250 МПа при 77 К; >140 МПа при 300 К); оптимизированы для применений в электродвигателях и генераторах;

ENTS BHT-AC – специальные проводники с низкими потерями на переменном токе (<0.25 мВт/Ам в скрученном проводе);

ENTS BHT-CL – проводники для тоководов с низкой теплопроводностью;

ENTS BHT-M – специальные проводники для ЯМР установок.

Геометрические размеры Bi-2223 ленты: длина > 1500 м; ширина 4 мм; толщина 0.22 мм; число жил 121; коэффициент заполнения 30%; материал матрицы Ag; материал оболочки – AgMg.

Ограничители тока

Этапы в разработке ограничителей тока:

2001 год – успешно испытан 450 кВА модульный ограничитель тока на основе пленочного YBCO проводника на стальной подложке;

2003 год – разработана концепция 20 МВА ограничителя с оптимизированным соотношением цена/эффективность;

2005 – приступила к исполнению совместного (ENTS/Brucker) проекта токоограничителя промышленного уровня;

2006 год – завершен первый этап совместного проекта, разработана конструкция и спецификации на 10 кВ 10МВА ограничитель (переход в нормальное состояние в течение 0,01 мс; время восстановления сверхпроводящих свойств 0,5 мс; число переходов ВТСП плёнки в нормальное состояние без потери качества больше 8 млн.).

Тоководы



Свойства Bi-2223 ленты для тоководов:

Состав матрицы, вес. % -

AgAu5/AgAu5 с примесью Mg

Ширина ленты, мм –

4.00 (+/- 0.20)

Толщина ленты, мм –

0.220 (+/- 0.03)

Число жил - 121

Коэффициент заполнения, % - 30

Пористость матрицы, % < 1

Критическое напряжение на разрыв при комнатной температуре, МПа > 100

Критический радиус изгиба

(комнатная температура), мм < 35

Модуль Юнга, ГПа - 60

I_c (77 К, 1 мкВ/см), А > 85

Длина в одном куске, м ≤ 300/500

ВТСП проводники для генераторов

EAS поставила ВТСП проводники компании Siemens для создания генератора класса 4 МВА (скорость вращения 3600 оборотов/мин.). Генератор предназначен для морских судов, в частности, 4 МВА генератор по мощности достаточен для обеспечения электричеством мотора и потребителей яхты класса 150 футов. Генератор прошел успешные испытания в 2005 году.

Наряду с ВТСП материалами, EAS разрабатывает и производит широкую номенклатуру НТСП (NbTi, Nb₃Sn) проводников для самых различных применений.

По материалам сайта

<http://www.advancedsupercon.com>

Zenergy Power – новая ВТСП корпорация

В августе 2006 г. Zenergy Power plc. (Rheinbach, Германия) сообщила о приобретении трех компаний, разработчиков и производителей ВТСП материалов и устройств: Australian Superconductors Ltd. (Австралия), SC Power Systems Inc. (основана в 2004 г., Сан-Франциско, США) и Trithor GmbH (основана в 1999 г., Бонн, Германия). Компания надеется таким образом завоевать позицию лидирующего игрока на мировом ВТСП поле, являясь в результате слияния владельцем 90 патентов по технологии и применению сверхпроводников.

Zenergy Power производит продукцию на основе ВТСП проводников 1-го поколения (с 2003 года компания уже продала ВТСП проводников 1-го поколения на 1 млн. долл.) и планирует разрабатывать ВТСП 2-го поколения (2G CC). В разработке 2G CC Zenergy Power сначала сделает ставку на процессы, которые использует компания Trithor (см. наш бюллетень, 2006, том 3, вып. 1 - http://perst.issph.kiae.ru/fsk/bulletin/fsk_2006_01.pdf). Zenergy Power будет стремиться привлечь максимальное число потребителей своей продукции среди энергетических и промышленных компаний.

В разработках энергетического отделения компании Zenergy Power – ВТСП компоненты для генерации электроэнергии для ветряных и гидроэлектростанций, электростанций, использующих энергию морских волн, а также устройства защиты электросетей (известные как ограничители токов). Промышленное отделение компании сосредоточится на инновационных решениях для металлургической промышленности (индукционные нагреватели, линейные моторы, магнитные устройства для вытягивания металлических труб, известные под брендом "Limodraw").

По материалам сайтов

www.zenergypower.com

www.australiansc.com/

www.scpowersystems.com/

www.trithor.com

ВТСП УСТРОЙСТВА

Сверхпроводниковые трансформаторы

Трансформатор – одно из важнейших электротехнических устройств, без которого невозможно осуществить распределение и передачу электрической энергии на большие расстояния. По мощности трансформаторы условно разделяют на две группы: маломощные различного назначения и силовые – общего и специального назначения.

Определяя место силового трансформатора в электрической сети, следует отметить, что по мере удаления от электростанции единичные мощности трансформаторов уменьшаются, а удельный расход материалов на их изготовление и потери, отнесенные к единице мощности, а также цена 1 кВт потерь возрастают. В этой связи наиболее болезненными точками энергосистем являются распределительные сети напряжением 35 и 10(6) кВ, в которых происходят основные потери энергии. Если с потерями холостого хода удаётся достаточно эффективно бороться путем усовершенствования существующих и поиска новых технических решений, то с потерями в режиме короткозамкнутых обмоток трансформатора дело обстоит гораздо сложнее, и вряд ли эту проблему удастся решить без использования сверхпроводящих материалов.

История сверхпроводниковых трансформаторов началась ещё в начале 60-х годов. Первоначально их обмотки изготавливали из проводов на основе НТСП I рода, имеющих сравнительно невысокую токонесущую способность, сильно снижающуюся с ростом магнитного поля. Поэтому мощность первых сверхпроводниковых трансформаторов оставалась невысокой, сводя на нет экономические преимущества от низких потерь. Заметное повышение токонесущей способности стало возможным с появлением длинномерных НТСП II рода и использованием для изготовления обмоток многожильных проводов на их основе, что позволило проектировать и строить сравнительно более мощные трансформаторы [1]. Однако высокая стоимость криогенного оборудования гелиевого уровня температур и энергозатраты на поддержание сверхпроводящего состояния делали эти проекты неконкурентоспособными по сравнению с резистивными аналогами.

Новый оптимизм в проектирование и строительство сверхпроводниковых трансформаторов вселило открытие высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), способных работать при температуре жидкого азота. Спустя десять лет, в лабораториях крупных энергетических компаний и научно-исследовательских институтов промышленно развитых стран мира (США, Япония, Китай, Германия, Ю.Корея) стартовали многообещающие проекты трёхфазных и однофазных ВТСП трансформаторов различной мощности и уровней напряжения (табл. 1). Финансирование этих проектов (в рамках долгосрочных программ) осуществляют государственные учреждения и ведомства, привлекая частные инвестиции.

За последние годы были достигнуты большие успехи в разработке ВТСП проводов, электроизоляционных материалов азотного уровня температур [2], систем криостатирования и тепловой изоляции, производстве ВТСП обмоток. Совершенствуется технологический процесс изготовления прототипов ВТСП трансформаторов, ориентированный на их

серийный или мелкосерийный выпуск для скорейшей интеграции в распределительные сети общего назначения.



Рис. 1. Трёхфазный ВТСП трансформатор мощностью 5/10 МВА. [5]

Вместе с тем не имеют однозначного решения принципиально важные для изготовления трансформаторов вопросы. Наиболее острые из них – оптимальная конструкция магнитопровода и снижение динамических потерь в сверхпроводящих обмотках.

Что касается магнитопровода, не решен, например, вопрос, какое его исполнение наиболее выгодно: “тёплое” (снаружи криостата) или “холодное” (внутри криостата).

“Холодное” исполнение (рис.1), с одной стороны, способствует упрощению конструкции криостата и уменьшению размеров магнитной системы, с другой стороны, вносит дополнительные теплопритоки, увеличивая энергозатраты на охлаждение. Снижения теплопритоков достигают использованием в качестве материала магнитопровода дорогостоящих аморфных сталей, имеющих очень низкие тепловыделения (0,2 Вт/кг при 1,4 Т и 100 К) [3], или обычной холоднокатаной электротехнической стали с улучшенными характеристиками. Очень интересны работы по совершенствованию сплава FeSi, в результате которых получена величина тепловыделений 0,35 Вт/кг при 1,7 Т, 50 Гц вместо прежних 0,8 Вт/кг [4].

“Тёплое” исполнение магнитопровода приводит к более сложной конструкции криостата, выполняемого в виде полого цилиндра, что увеличивает размер магнитной системы, но вместе с тем уменьшает теплопритоки в холодную часть. При этом в качестве материала магнитопровода можно использовать сравнительно дешёвую тонколистовую рулонную электротехническую сталь (марок 3404, 3405, 3406), допускающую магнитную индукцию до 1,6-

1,65 Т. Подобная конструкция более эффективна для однофазных трансформаторов (рис. 2). В трёхфазных трансформаторах аналогичного исполнения потребуются дополнительные токовводы для электрической связи обмоток.

Снижения динамических потерь в обмотках трансформаторов достигают различными способами:

- использование качественных ВТСП проводников; транспонирование проводов;
- применение многослойных экранирующих медных обмоток;
- чередование модулей высокого и низкого напряжения;
- увеличение числа витков в обмотках;
- понижение рабочей температуры обмоток трансформатора.

Остановимся более подробно на этих способах.

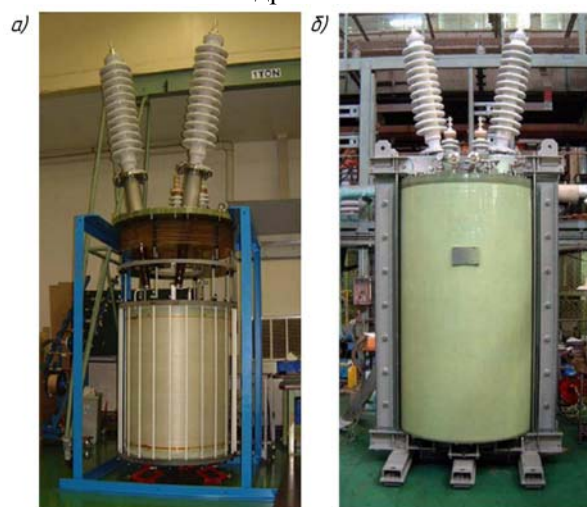


Рис. 2. Однофазный ВТСП трансформатор с “тёплой” магнитной системой и неметаллическим криостатом коаксиального типа: а) – в разобранном состоянии; б) – в сборе [7].

Динамические потери в обмотках связаны с качеством используемых сверхпроводников (критическая плотность тока в собственном поле при максимально возможной длине куска) и анизотропией сверхпроводящего материала. Для примера, качественная HTS-1G лента производства AMSC – $J_c=115$ А, $l \leq 1000$ м. Во избежание увеличения динамических потерь и снижения токонесущей способности проводов, катушку после намотки подвергают длительному отжигу в специальной печи для устранения возможных механических напряжений и дефектов в структуре сверхпроводника, возникших в результате его деформации.

Заслуживают внимания также способы снижения динамических потерь в обмотках трансформатора, изготавливаемых из ВТСП проводов 1-го поколения (HTS-1G), стабилизированных лентами из нержавеющей стали. Сверхпроводники этого типа очень чувствительны к поперечной составляющей магнитного поля, поэтому скручивание или транспозиция, применяемые для равномерного распре-

ления токов в пакетах проводов обмоток, очень часто приводят к увеличению потерь на гистерезис и вводят кооперативные потери, рассеиваемые в матрице [6]. Этим можно объяснить сравнительно невысокий ток (219 А) во вторичной обмотке трансформатора [7], которая намотана пакетом из 20 HTS-1G проводников. Но если скрутку или транспозицию производить с *определённым* шагом, который подбирается индивидуально в каждом конкретном случае, то можно добиться снижения динамических потерь вместе с равномерным распределением токов.

Для уменьшения действия магнитного поля на сверхпроводник при большом числе первичных и вторичных обмоток, применяют многослойные экранирующие обмотки из медного проводника [8].

Очень часто для изготовления обмоток трансформатора используют модули двойных галет, простое применение которых неблагоприятно из-за увеличения динамических потерь за счёт сильной анизотропии HTS-1G. Однако чередование таких модулей высокого и низкого напряжения (соответственно первичной и вторичной обмоток), расположенных на общем стержне магнитопровода (рис. 3), ведёт к снижению потерь [9].

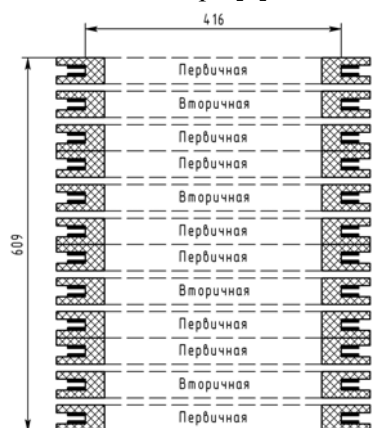


Рис. 3. Чередующиеся модули двойных галет первичной и вторичной обмоток [9].

Другим способом борьбы с динамическими потерями является снижение индукции в магнитопроводе путём увеличения числа витков в обмотках, но этот способ увеличивает общий расход сверхпроводника [10].

Наряду с перечисленными, наиболее распространенный способ борьбы с динамическими потерями в сверхпроводниках - понижение рабочей температуры до 65-66 К, в результате чего увеличивается диапазон рабочих полей и токов.

Была предпринята единственная попытка в качестве обмоток использовать ВТСП ленты 2-го поколения (HTS-2G) [11], имеющие более высокие плотности токов в полях, превосходящих допустимые для лент 1-го поколения. Пока известно, что на их основе удалось изготовить только одну вторичную обмотку. Имея первичную и вторичную обмотки, и изготовленные из разных материалов (HTS-1G и

HTS-2G), разработчики произвели качественное сравнение динамических потерь в них, доказавшее преимущество HTS-2G (достигнуто ограничение токов короткого замыкания, ограничение бросков тока нагрузки, быстрое восстановление сверхпроводящих свойств) при непрерывной работе трансформатора [12].

Интерес также представляет технология формирования 3-х мерных катушек в одном процессе (осаждения буферного и ВТСП покрытия на вращающийся Ni цилиндр) и последующего формирования рисунка лазерным скрайбированием, подробно описанная в одном из выпусков нашего бюллетеня (2005, том 2, вып. 2, стр.2 http://perst.issph.kiae.ru/fsk/bulletin/fsk_2005_04_01.doc) [13-15]. В этом случае многослойные сверхпроводящие структуры имеют сразу цилиндрическую форму, что и требуется при производстве обмоток трансформаторов (рис. 4). Такой процесс позволяет достичь высоких инженерных плотностей тока и снизить динамические потери.

Совершенствование технологии производства ВТСП трансформаторов и её доведение до промышленных масштабов позволит наладить их коммерческий выпуск и постепенную замену трансформаторов традиционного исполнения. ВТСП трансформаторы обладают многими преимуществами: выдерживают двукратные перегрузки в течение 48 часов и не приводят при этом к нагреву и старению изоляции [17]; более экологичны, пожаро- и взрывобезопасны ввиду отсутствия в них масла; имеют существенно меньшие массогабаритные показатели; очень низкие потери холостого хода и короткого замыкания. Наряду со всеми перечисленными преимуществами они обладают возможностью ограничивать токи короткого замыкания за счёт перехода обмоток или обмотки (в зависимости от вида короткого замыкания) в нормальное состояние.

Предпринимались попытки включения ВТСП трансформатора (630 кВА; 18,7 кВ/420 В) с “тёплым” магнитопроводом, созданного в рамках совместного проекта ABB, EdF (Electricite de France), American Superconductor и SIG (Services Industriels de Geneve), в действующую сеть. Однако ВТСП обмотки не были оптимизированы для использования на переменном токе, потери в них оказались неприемлемо высокими (3 Вт на 1 кА·м), поэтому в сети трансформатор проработал чуть более года и был выведен из сети. Второй проект этой же группы исполнителей – ВТСП трансформатор мощностью 10 МВА (63 кВ/21 кВ) [25] в 2001 г. прошел полный цикл лабораторных испытаний и в 2002 г. был включен в энергосистему Франции.

В.Лобынцев

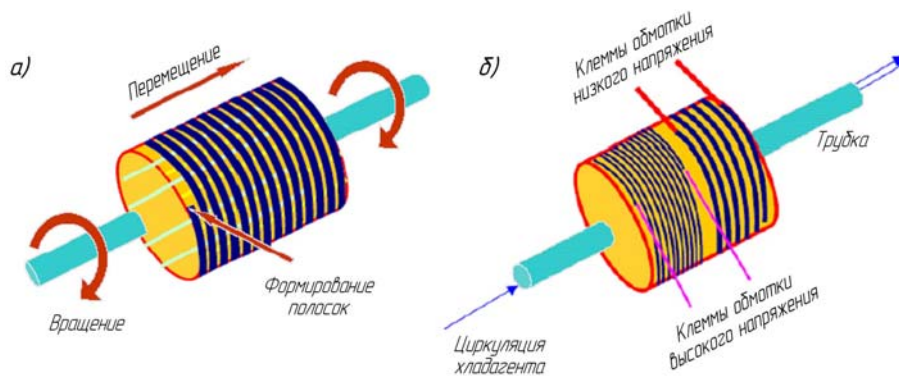


Рис. 4. Обмотки, полученные в процессе осаждения YBCO и литографии: а) - процесс формирования лент (проводов обмотки); б) – взаимное расположение первичной и вторичной обмоток на подложке [16].

Табл. 1. Сравнение основных параметров ВТСП трансформаторов.

а) силовые трансформаторы

Параметр/ Разработчик	Siemens AG (Германия) [18]	SuperPower Inc., Oak Ridge Natn. Lab., Waukesha El. Syst. (США) [5,17]	Seoul Natn. Univ., El. Engineering & Sci. Res. Inst., Korea Polytechnic Univ., Hyosung Corp. (Корея) [9,10]	Fuji Electric Systems (Япония) [7]	Railway Techn. Res. Inst. (Токио), Fuji El. Corp. (Токио), Kyushu Univ (Япония) [8]	Niigata University (Япония) [20]
Номинальная мощность, кВА	1000	5000/10000	1000	2000	4000	100000
Число обмоток первичных/вторичных	2/2	-	8/4	1/1	2/4/2	1/2
Напряжение первичное/вторичное, кВ	25/ 1,389	24,9/ 4,2	22,9/6,6	66/6,9	25/1,2/ 0,44	132/66
Ток первичный/вторичный, А	40/ 360	116/694	44/152	30,3/219	160/750/909	437/874
Рабочая температура, К	66	30-50	65	66	66	77
Индукция в магнитопроводе, Тл	1,671	-	1,48	-	-	-
Общая длина сверхпроводника, м	6783	-	2702	-	-	173113
Критический ток про- вода, А	46	-	115	-	-	-

б) маломощные трансформаторы (рабочая температура – 77 К)

Параметры/Разработчик	Hebei Univ., Tebian Electric Apparatus Stock Co., Ltd (ТБЕА), Inst. Electrical Engineering (Китай) [19], [22], [23]			CNRS-CRCBT-LEG, Air Liquid DTA (Франция), 3-Cs Co. Ltd (Англия), EHTS GmbH (Германия) [6,11].	SKODA Vyzkum (Пльзень, Чехия), Bergische Univ. (Вупперталь, Германия), Inst. Electrical Eng. (Братислава, Словакия) [21]
Номинальная мощность, кВА	9	26	45	41	14
Число обмоток первичных/вторичных	1/2	1/24	1/13	2/4	1/12
Напряжение первичное/вторичное, кВ	0,24/ 0,096	0,24/ 0,096	2,4/ 0,16	2,05/ 0,41	0,4/ 0,2
Ток первичный/вторичный, А	37,5/ 938	37,5/ 940	18,75/ 281,25	20/ 100	35/ 70
Индукция в магнитопроводе, Тл	1,32	1,27	1,69	1,5	-
Общая длина сверхпроводника, м	306	318	440	219	-
Критический ток про- вода, А	115	115	115	200	92

1. *Proc. ICEC 10, Berlin. Germany 1986, p. 139*
2. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2006, 16, 1497*
3. *JMMM, 1992, 112, 174*
4. *JMMM 2000, 215-216, 69*
5. *Superconductivity for Electric Systems, Program Plan FY 2005-2009*
6. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2003, 13, 2331*
7. *Physica C 2005, 426-431, 1402*
8. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2003, 13, 2337*
9. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2003, 13, 2291*
10. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2003, 13, 2214*
11. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2005, 15, 1847*
12. *Superconductor Sci. Technol., 2003, 16, 54*
13. *E.F. Maher, International Patent Application PCT/GB02/03898 published as WO 03/019589, March 2003.*
14. *Supercon. Sci. Technol. 2004, 17, 1440*
15. *Информационный бюллетень "Сверхпроводники для электроэнергетики" 2005, 2, вып. 2, http://perst.issph.kiae.ru/fsk/bulletin/fsk_2005_04_01.pdf*
16. <http://www.3-cs.co.uk/concepts/introduction.htm>
17. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2005, 15, 2210*
18. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2003, 13, 2325*
19. *Supercond. Sci. Technol. 2004, 17, 1014*
20. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2003, 13, 2306*
21. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2003, 13, 2310*
22. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2004, 14, 924*
23. *IEEE Trans. Appl. Supercond. 2006, 16, 1477*
24. *Supercond. Sci. Technol. 2000, 13, 60*
25. *Physica C, 2000, 341-348*

ВТСП КАБЕЛИ В СЕТЯХ

20 июля 2006 г. ВТСП подземный кабель длиной 350 м из BSCCO ленты включен в городскую сеть г. Олбани (шт. Нью-Йорк) [1]. Испытания будут проводиться в течение полугода. ВТСП лента длиной 70 км была изготовлена Sumitomo Electric Industries по новой drastically-innovative технологии DI-BSCCO. Там же был изготовлен и кабель, его торговая марка 3-in-One означает размещение трех жил в одном криостате (three-cores-in-one-cryostat type).

Финансирование пятилетнего (ноябрь 2002 - ноябрь 2007) проекта - 27 млн. долл. осуществляют: Министерство энергетики США (13,5 млн.), New York State Energy Research and Development Authority (NYSERDA) (6 млн) и фирмы-участники проекта (SuperPower, Inc - подрядчик, National Grid - потребитель). Sumitomo Electric Group - отвечает за изготовление провода, кабеля, его установку и функционирование в сети; BOC Group - за криобезопасение и мониторинг состояния криосистемы в процессе эксплуатации кабеля. В центре внимания энергетической политики США - замена к 2030 году всех сетевых кабелей страны на сверхпроводниковые.

18 сентября 2006 г. Новый ВТСП кабель длиной 200 м включен в потребительскую сеть [2] сеть

через подстанцию AEP's Vixby в штате Огайо. Сеть снабжает питанием 8600 домов и предприятий в пригороде Колумбуса. Проект длительностью 2 года и стоимостью 9 млн. долл. реализован компанией Southwire в партнерстве с American Electric Power (AEP), Praxair (PX), American Superconductor (AMSC) и Oak Ridge Natn. Lab. (ORNL). 75% стоимости пришлось на создание инфраструктуры, в частности, строительство подземного тоннеля. Конструкция кабеля (Triax HTS cable) разработана совместно Southwire и NKT Cable (Европейский производитель кабелей, Дания) и позволяет пропускать ток до 3000 А (это в 3 раза выше других известных ВТСП кабелей, включенных в демонстрационные сети и находящихся в разработке). ВТСП ленты 2-го поколения поставила компания AMSC. Особенность конструкции в том, что все 3 фазы расположены концентрически вокруг общего центрального сердечника, окруженного медным экраном. В более ранних конструкциях требовался отдельный кабель для каждой фазы. Для новой конструкции требуется в половину меньший расход ВТСП провода, упрощается система охлаждения, снижается расход хладагента, а, следовательно, и стоимость кабельной системы.

1. <http://www.sumitomoelectricusa.com/scripts/products/scc/default.cfm>

2. <http://www.amsuper.com/documents/SUPERCONDUCTIVITY%20PROJECT%20ADDRESSES%20URBAN%20POWER%20BARRIERS.pdf>

ИССЛЕДОВАНИЯ

Поиск новых подложек для ВТСП лент

В технологии ВТСП проводников 2-го поколения (2G CC) используют ленты-подложки из хорошо текстурирующегося никеля. Так как никель является магнитным материалом (что может отрицательно воздействовать на ВТСП слой), то, как правило, используют его сплавы с «размагничивающими» добавками (Cr, V, Cu, W), которые, в свою очередь, приводят к некоторому ухудшению текстуробразования подложки и ее устойчивости к окислению. Таким образом задача получения хороших ВТСП-слоев на немагнитных текстурированных лентах пока не решена, и разработчики ВТСП проводников продолжают активные поиски альтернативы стандартному сплаву Ni с 5 ат. % W (температура Кюри 335 К).

В совместной работе сотрудников 3-х исследовательских организаций США (Univ. Dayton Res. Inst., State Univ. New York at Albany и Wright-Patterson AirForce Res. Lab.) продемонстрирована принципиальная возможность получения биаксиальной текстуры в "техническом" сплаве константан. Ленты из сплава производства компании GoodFellow (вес. %: Cu 55, Ni 44, Mn 1) прокатывали с уменьшением толщины на 10% за проход до степени деформации 99%. Конечная толщина лент составила 50 мкм. Получена хорошая текстура с разориентацией в плоскости ленты 6.5° и вне плоскости 4.9°. Следует заметить, однако, что

этот результат удалось получить только в очень жёстких условиях рекристаллизации (1200°C, 2 часа). Авторы не дают объяснения такому поведению, но, возможно, оно вызвано большим количеством микропримесей в "техническом" сплаве, которые могут замедлять рекристаллизацию (сера, углерод и другие). На полученных лентах выращены слои YBCO (буфер CeO₂/YSZ/CeO₂) с T_c ~ 85K. Низкие характеристики слоя не уменьшили оптимизм авторов, так как на медных и медно-железных подложках результаты

пока ещё хуже (см. статью того же коллектива [2]). При этом у константана есть очевидные достоинства: невысокая стоимость и отсутствие ферромагнитных свойств при 77 K. Авторы также провели аналогичные исследования для манганина (Cu86–Mn12–Ni2 вес. %), но получить образцы с высокой степенью текстуры на таких лентах так и не удалось.

Параметр/Значение	Константан	Никель
Удельное сопротивление при 20°C, мкОм·см	52	6.9
Температурный коэффициент сопротивления, K ⁻¹	0.00001	0.0068 (0-100°C)
Плотность, г·см ⁻³	8.9	8.9
Удельная теплоемкость, Дж·кг ⁻¹ ·K ⁻¹	410	444
КТР (20-100°C), 10 ⁻⁶ K ⁻¹	15	13.3
Нижний предел текучести, МПа	74	52
Предел прочности, МПа	400-590	400-660
Модуль упругости, ГПа	162	200
Температура плавления, °C	1225-1300	1453
Теплопроводность, Вт·м ⁻¹ ·K ⁻¹	19.5 (23°C)	90.9 (0-100°C)
Температура Кюри, K	35	627

С.Самойленков

1. *Supercond. Sci. Technol.*, 2006, **19**, 896

2. *Supercond. Sci. Technol.*, 2006, **19**, 85

ФИНАНСИРОВАНИЕ И РЫНОК

Проекты РФФИ по сверхпроводимости

В 2006 г. фонд РФФИ продолжил конкурс в области знаний «Фундаментальные основы инженерных наук». Информация о победителях этого конкурса 2005 года по направлению «Сверхпроводимость» раздела

«Электротехника и техническая проводимость» опубликованы в первом выпуске этого бюллетеня за 2006 год (см. http://perst.iissph.kiae.ru/fsk/bulletin/fsk_2006_01.pdf). В таблице – новые проекты, победители конкурса 2006 г.

ФИО руководителя	Организация	Тема исследования
Антонов Б.М. Баев В.П.	ОИВТ РАН	Теплоэлектромагнитные переходные процессы в сверхпроводниковых секционированных обмотках с высокой плотностью запасаемой энергии
Иванов В.П. Сидоров В.А.	ВЭИ	Разработка и исследование высоковольтных коммутационных аппаратов на основе явления высокотемпературной сверхпроводимости
Кейлин В.Е.	ФГУ РНЦ КИ	Исследование фундаментальных проблем создания сверхпроводящих ограничителей токов короткого замыкания
Козуб С.С.	ГНЦ ИФВЭ	Исследование стабильности сильноточного сверхпроводящего токонесящего элемента для магнитов ускорителей заряженных частиц
Колмогоров Г.Л.	ПерГТУ	Инженерные основы технологии производства композитных изделий для сверхпроводящей магнитной системы международного термоядерного экспериментального реактора ИТЭР
Красноперов Е. П.	ФГУ РНЦ КИ	Изучение динамики магнитного потока в сверхпроводниках, предназначенных для создания высокополевых магнитных систем электротехнических устройств нового поколения
Панцырный В.И.	ВНИИНМ	Исследование микроструктуры границ раздела сопряженных ОЦК и ГЦК фаз в двухфазных объемных нанокристаллических материалах, полученных большой пластической деформацией "in situ" композитов на основе систем Cu-Nb и Cu-V
Руднев И.А.	МИФИ	Разработка и реализация фундаментальных принципов аттестации высокотемпературных сверхпроводящих материалов для электротехнического оборудования нового поколения
Самойленков С.В.	ОИВТ РАН	Исследование магнитопольевых и температурных зависимостей токонесящей способности разрабатываемых высокотемпературных сверхпроводников второго поколения

http://www.rfbr.ru/default.asp?doc_id=21198

КОНФЕРЕНЦИИ

20 — 22 ноября 2006 года. Санкт-Петербург, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. III Российская конференция "Физические проблемы водородной энергетики".

Организаторы:

- Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН
- Санкт-Петербургский научный центр РАН
- Национальная ассоциация водородной энергетики

Председатель Оргкомитета:

Проф. Забродский Андрей Георгиевич
Fax: (812) 297 1017

Тематика конференции:

- Суперионные проводники и материалы композиционных электродов топливных элементов
- Твердополимерные электролиты и мембраны
- Высокоэффективные катализаторы для топливных элементов
- Топливные элементы
- Диагностика компонентов топливных элементов

- Методы получения водорода и материалы для хранения водорода

- Датчики водорода и вопросы безопасности

Предоставление тезисов до **09 октября 2006 г.**

Секретарь Оргкомитета

Трапезникова Ирина Николаевна

Телефон: (812) 292 7173

FAX: (812) 297 1017

E-mail: hydrogen2006@mail.ioffe.ru

Web <http://www.ioffe.ru/HE2006/>

16-20 September 2007. Brussels. 8th European Conference on Applied Superconductivity –EUCAS2007.

Abstract submission and registration – **01 October 2006**

Abstract submission deadline – **01 April 2007**

<http://www.eucas2007.be/>

Издатель РНЦ «Курчатовский институт»

(при поддержке Фонда «Научный потенциал» и «НТЦ Электроэнергетики»)

Научный редактор *Н.А. Черноплеков*, член-корр. РАН,

научный руководитель ИСФТТ РНЦ «Курчатовский институт»

Редакторы *В.С. Высоцкий* vsotsky@gmail.com, *С.С. Иванов* ssi@iht.mpei.ac.ru

В подготовке выпуска принимали участие: *С. Корецкая* stk@issp.ras.ru;

А. Чернышева chak@newmail.ru; *В. Лобынцев*, *Ю. Метлин*,

И. Руднев, *С. Самойленков*

Верстка *И. Фурлетова*

Ответственный за тираж *Н. Морозова*