



Том 5 выпуск 3
июнь 2008

ВТСП УСТРОЙСТВА

General Electric разрабатывает униполярные электрические машины с ВТСП обмотками подмагничивания для использования на флоте

Компания General Electric (США) прикладывает большие усилия по разработке и созданию мощных униполярных ВТСП генераторов и электродвигателей для нужд флота. Униполярные электрические машины с ВТСП обмотками подмагничивания имеют целый ряд преимуществ по сравнению с традиционными электрическими машинами, особенно при высокой частоте вращения. В рамках проекта AFRL (Air Force Research Lab) компания General Electric разрабатывает униполярный генератор с ВТСП обмотками подмагничивания мощностью 5 МВт и частотой вращения 16000 об/мин для последующего использования в мощных авиационных энергетических установках. Демонстрационный образец 1 МВт униполярного генератора уже был изготовлен и успешно испытан. Результаты испытаний в ближайшее время будут опубликованы. На основании полученного в ходе работ по проекту AFRL опыта в General Electric была поставлена задача разработки ВТСП униполярных электрических машин для нужд флота: основных и вспомогательных генераторов, гребных электродвигателей, различных вспомогательных электродвигателей. Компанией General Electric было разработано четыре демонстрационных образца электрических машин с ВТСП обмотками подмагничивания для флота, среди них: основной генератор мощностью 36 МВт (3600 об/мин) и гребной электродвигатель мощностью 36 МВт (120 об/мин). Также были разработаны вспомогательные генератор (7000 об/мин) и электродвигатель (132 об/мин), оба на 4 МВт.

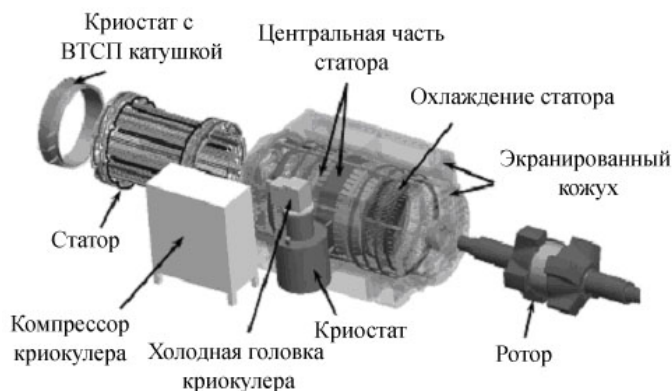


Рис 1. Генератор с ВТСП обмотками подмагничивания.

На рис. 1 изображена схема ВТСП униполярного генератора, состоящего из ВТСП обмотки подмагничивания постоянного тока, стального ротора и медного статора. Параметры обмотки статора и его железного яра оптимизированы с целью получения наилучших характеристик. Полюса ротора достаточно сильно выс-

И далее...

ВТСП УСТРОЙСТВА

Сверхпроводящие индукторы для электромагнитного перемешивания расплавленного металла 2

Существующие в мире проекты ВТСП электродвигателей и генераторов 3

Существующие в мире проекты ВТСП токоограничителей 4

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Новое семейство ВТСП материалов 5

ЗАРУБЕЖНЫЕ ФИРМЫ И ИХ РАЗРАБОТКИ

Разработки American Superconductor в области силовой электроники 7

ВЫСТАВКИ

Выставка сверхпроводниковых технологий SUPERCONDUCTIVITY EXPO2007 9

тупают, полюса на одном из концов ротора смещены на 45° относительно полюсов на другом его конце. ВТСП обмотка подмагничивания работает при температуре 30 К, в замкнутом цикле охлаждения от криокулера. Использование небольшой одиночной ВТСП катушки снижает требования к системе охлаждения и сокращает стоимость устройства. В таблице 1 приведены основные технические

параметры для всех четырех разработанных устройств. Для сравнения, обычный униполярный генератор мощностью 25 МВт (3600 об/мин) имеет диаметр около 3 м, длину 5 м при весе в 57 тонн. Наиболее эффективно электрические машины с ВТСП обмотками подмагничивания работают при высокой частоте вращения.

Таблица 1. Основные параметры электрических машин с ВТСП обмотками подмагничивания.

Устройство	Основной генератор	Вспомогательный генератор	Гребной электродвигатель	Гребной электродвигатель в гондоле
Мощность, МВт	36	4	36	4
Частота вращения, об/мин	3600	7000	120	132
Номинальное напряжение, кВ	6,6	6,6	3,8	4,16
Число фаз	3	6	3	3
Число полюсов	6	6	18	48
Рабочая частота, Гц	180	350	18	52,8
КПД при полной нагрузке, %	>98	>98	>95	>95
Расход ВТСП ленты Bi-2223, км	6	1,1	11	5
I_c при 77 К в собственном поле, А	150	150	150	150
Диаметр, см	110	90	290	290
Длина, см	200	80	400	500
Потребляемая мощность криокулера, кВт	14,4	7,2	14,4	7,2
Масса криокулера, кг	300	120	300	150
Суммарный вес устройства, т	12	1,3	100	11

На основании проведенных исследований в General Electric пришли к заключению, что униполярные электрические машины с ВТСП обмотками подмагничивания при высокой частоте вращения (3600 об/мин или более) практически не уступают значительно более сложным устройствам с ВТСП статором и ротором. Параметры тихоходных гребных электродвигателей с ВТСП обмотками подмагничивания при частотах вращения около 120 об/мин будут хуже чем, для электрических машин с полностью ВТСП статором и ротором. Однако цена устройств с ВТСП обмотками подмагничивания, будет заведомо ниже, что может стать решающим аргументом в их пользу.

Д.И. Шумова

I. K. Sivasubramaniam et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., 18, 1 (2008).

Сверхпроводящие индукторы для электромагнитного перемешивания расплавленного металла

Электромагнитное перемешивание расплавленного металла начало широко использоваться в металлур-

гии с 70-х годов. На сегодняшний день существует целый ряд систем для магнитного перемешивания в электродуговых печах (рис. 1) и в процессе отливки слитков (например, системы ABB SEMS и MEMS). За счет электромагнитного перемешивания удается существенно снизить температурные градиенты в электродуговых печах, что улучшает качество выплавляемого металла, сокращает длительность технологических процессов и приводит к экономии электроэнергии. Электромагнитное перемешивание при отливке слитков позволяет добиться хорошей однородности свойств по всему объему слитка и сократить число дефектов.

Конструктивно системы для электромагнитного перемешивания представляют собой один или несколько индукторов с медными или алюминиевыми обмотками, создающими переменные магнитные поля, вызывающие завихрения расплавленного металла. Существуют также системы с постоянным магнитным полем, тормозящие поток расплавленного металла, втекающего в кристаллизатор, для того чтобы сделать его течение турбулентным и вызвать перемешивание. Однако индукторы с мед-

ными обмотками способны создавать лишь сравнительно слабые магнитные поля. Омические потери в подобных индукторах также велики, значительная часть потребляемой мощности попусту тратится на нагрев самих обмоток. Использование в системах для электромагнитного перемешивания сверхпроводящих индукторов позволит не только существенно поднять величину магнитного поля, но и повысить КПД устройства.

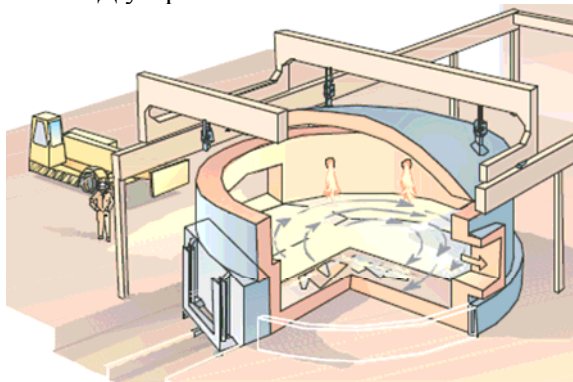


Рис. 1. Индуктор ABB AL-EMS на печи для выплавки алюминия.

Исследовательская группа из университета Тохоку и лаборатории CRIEPI (Япония) разработала и испытала небольшую модель индуктора для электромагнитного перемешивания расплавленного металла. Индуктор состоит из шести сверхпроводящих обмоток, включенных в трехфазную сеть таким образом, чтобы создать вращающееся магнитное поле (рис. 2). Обмотки индуктора намотаны из сверхпроводящего провода на основе ниобий-титана и размещены в криостате с жидким гелием. В теплом отверстии криостата размещается тигель с жидким галлием, позволяющий отработать различные режимы перемешивания в комнатных условиях (температура плавления галлия 30°C).

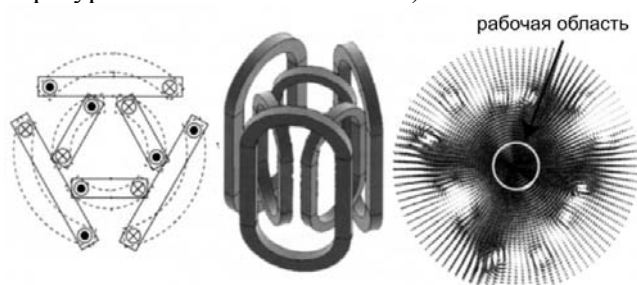


Рис. 2. Схема обмоток и распределение магнитного поля сверхпроводящего индуктора.

Существующие в мире проекты ВТСП электродвигателей и генераторов

В данном разделе мы приводим список текущих и планируемых проектов опытных образцов электродвигателей и генераторов на основе ВТСП, составленный по материалам доклада В. Пруссейта (W. Prusseit) “Сверхпроводниковая промышленность в Германии – состояние и перспективы” (“Supraleiterindustrie in Deutschland – status und perspektiven”), представленного на семинаре “Будущее и инновации в энергетическом оборудовании с применением ВТСП” (“Zukunft und Innovation in der Energietechnik mit Hochtemperatur-Supraleitern”).

Сверхпроводящий индуктор позволил поднять величину магнитной индукции в 10 раз по сравнению с аналогичным медным индуктором, скорость течения металла в тигле возросла при этом в 3 раза. Удалось добиться растекания всего металла тонким слоем по стенкам тигля (рис. 3), что недостижимо для индукторов с медной обмоткой.

На основании полученного опыта исследовательская группа приступила к проектированию полупромышленной установки для электромагнитного перемешивания расплавленного металла (рис. 4).

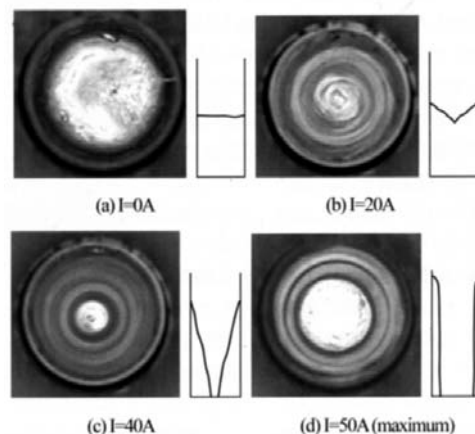


Рис. 3. Поверхность расплава при различных рабочих токах индуктора.

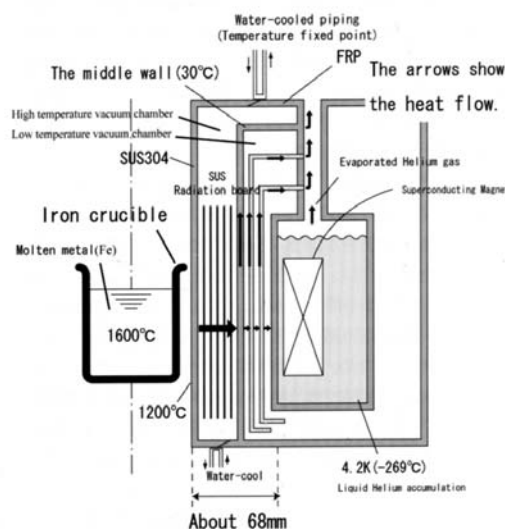


Рис. 4. Схема полупромышленной установки для электромагнитного перемешивания.

В.И. Щербаков

1. H. Kasahara et al., J. Cryog. Soc. Jap., 42, 395 (2007).

Организация	Страна	Год	Тип изделия	Мощность, МВА	Число оборотов в минуту	Масса, т	КПД, %	Финансирование проекта	ВТСП материал
AMSC	США	2001	Электродвигатель	3,8	1800	6,8			BSCCO
Oswald	Германия	2002	Моментный электродвигатель	0,2					ВТСП массив
Siemens	Германия	2002	Генератор	0,4	1500		96,8		BSCCO
AMSC	США	2003	Судовой электродвигатель	5	230			8 млн. USD	BSCCO
Siemens	Германия	2005	Генератор	4	3600	7	98,7		BSCCO
KERI/ Doosan	Корея	2007	Электродвигатель	0,08					BSCCO
Sumitomo Electric Industries	Япония	2007	Судовой электродвигатель	0,365	250	4,4			BSCCO
AMSC	США	2007	Судовой электродвигатель	36,5	120	< 75		100 млн. USD	BSCCO
Siemens	Германия	2008	Судовой электродвигатель	4	120				BSCCO
KERI/ Doosan	Корея	2011	Электродвигатель	5					BSCCO
Converteam/ Zenergy/ E.ON	Германия	2009	Гидрогенератор	1,25	214		> 98	3,44 млн. EUR	BSCCO
Converteam/ Zenergy/	Великобритания	2010	Ветрогенератор	8	12				BSCCO
DTU/ Vestas	Дания	2010	Ветрогенератор						Не решено
AMSC/ TECO Westinghouse	США	2012	Ветрогенератор	10	11	120		6,8 млн. USD	Не решено

Существующие в мире проекты ВТСП токоограничителей

Приведен список текущих и планируемых проектов опытных образцов токоограничителей на основе ВТСП, составленный по материалам доклада В. Прусейта (W. Prusseit) "Сверхпроводниковая промышленность в Германии – состояние и перспективы" ("Supraleiterindustrie in Deutschland – status und perspektiven"), представленного на семинаре "Будущее и инновации в энергетическом оборудовании с применением ВТСП" ("Zukunft und Innovation in der Energietechnik mit Hochtemperatur-Supraleitern").

Организация	Страна	Год	Тип	Напряжение, кВ	Ток, кА	Мощность, МВА	Количество фаз	ВТСП материал
ABB	Швейцария	1997	Индуктивный	10	0,07	1,2	3	Bi-2212, массив
ABB	Швейцария	1997	Резистивный	13,8	0,8	6,4	1	Bi-2212, массив
General Atomics	США	2002	Выпрямительный	12,5	1,2	9	1	Bi-2223, провод
ACCEL/ Nexans (CURL 10)	Германия	2004	Резистивный	10	0,6	10,4	3	Bi-2212, массив
Yonsei University	Корея	2004	Выпрямительный	6,6	0,2	2,3	3	Bi-2223, провод
KEPRI	Корея	2004	Резистивный	6,6	0,2	2,3	3	YBCO, пленка
CRIEPI	Япония	2004	Резистивный	1,7	0,04	0,04	1	YBCO, пленка
Mitsubishi	Япония	2004	Резистивный	0,3	1	0,2	1	YBCO, пленка

Toshiba	Япония	2004	Резистивный	11	0,38	2,5	1	YBCO, пленка
CAS	Китай	2005	Выпрямительный	10	1,5	27	3	Bi-2223, провод
Rolls Royce	Великобритания	2007	Резистивный	0,4	1	0,22	1	MgB ₂ , провод
Innopower	Китай	2007	Насыщенный маг- нитопровод	35	1,6	96	3	Bi-2223, провод
KEPRI	Корея	2007	Гибридный	23	0,63	25	3	YBCO, пленка
Hyundai/ AMSC	Корея	2007	Резистивный	23	0,63	8	1	YBCO, провод
Siemens/ AMSC	Германия	2007	Резистивный	13	0,3	2,3	1	YBCO, провод
KEPRI	Корея	2009	Гибридный	23	3,0	119	3	Не решено
Toshiba	Япония	2008	Резистивный	11	0,6	4	1	YBCO, провод
Zenergy power	США, Австра- лия, Германия	2007	Насыщенный магнитопровод	35	3	180	3	Bi-2223, провод
Rolls Royce	Великобритания	2009	Резистивный	11	1,0	19,8	3	MgB ₂ , провод
Nexans (CULT 110)	Германия	2009	Резистивный	110	1,8	114	1	Bi-2212, массив
Nexans, RWE (INES 110)	Германия	2010	Резистивный	110	1,8	343	3	Bi-2212, массив
KEPRI	Корея	2010	Гибридный	154	4,0	1068	3	YBCO, провод
Zenergy power	США, Австра- лия, Германия	2007	Насыщенный магнитопровод	138			3	Bi-2223, провод
Siemens/ AMSC	США	2011	Резистивный	115		> 200	3	YBCO, провод
SuperPower/ SEI	США	2011	Резистивный	138		> 240	3	YBCO, провод

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Новое семейство ВТСП материалов

Японские исследователи искали сверхпроводимость в оксипниктидных соединениях (пниктиды – соединения металлов с атомами пятой группы – N, P, As, Sb) в течение последних лет и были вознаграждены большим успехом. В феврале этого года вышла статья, сообщающая о сверхпроводимости соединения La(O,F)FeAs при температуре ниже 26 К [1], а через несколько недель на сайте arxiv.org

стали одно за другим появляться сообщения о сверхпроводимости аналогов этого соединения с температурой перехода выше 50 К. Семейство новых сверхпроводников окрестили "вторым ВТСП-семейством" – более высокие температуры перехода наблюдали пока только у купратов. За последний месяц сенсационных новостей, правда, нет. Исчерпан ли на этом потенциал новых ВТСП? Вряд ли кто возьмется сегодня ответить на этот вопрос – история знает немало неожиданных открытий.

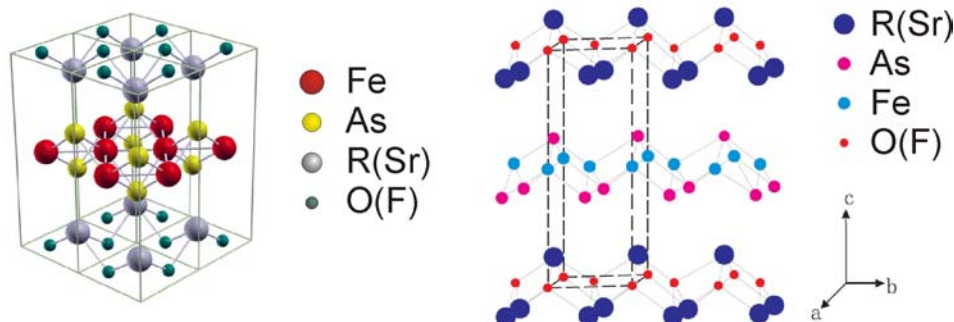


Рис. 1. Кристаллическая структура оксипниктидных ВТСП.

Соединения кристаллизуются в структуре типа ZrCuSiAs (рис. 1). Элементарная ячейка тетрагональная с параметром a около 0,39-0,4 нм и c около 0,84-0,87 нм. Вдоль оси c наблюдается чередование слоев – R(O,F) - FeAs - R(O,F) -. Вместо железа может быть никель, а вместо мышьяка – фосфор; так, сверхпроводимость наблюдается в LaOFeP (T_c около 5 К) и LaONiP (3 К). Наибольшие значения T_c

наблюдаются всё же для соединений, содержащих одновременно Fe и As. Для появления сверхпроводимости в LaOFeAs необходимо путем замещения допировать соединение носителями заряда. Показано, что сверхпроводимость достигается как частичным замещением кислорода на фтор, так и восстановлением до LaO_{1-x}FeAs – при этом возникает проводимость n -типа. Интересно, что сверхпроводимости

мость реализуется и при допировании дырками. Этого можно добиться, например, замещая La на Sr в $(La,Sr)OFeAs$ [2] и $(La,Sr)ONiAs$ [3], но первооткрывателям сверхпроводимости в $La(O,F)FeAs$ не удалось получить *p*-допированного сверхпроводника замещением La на Ca [1]. В этом оксипниктиды похожи на купраты, в которых сверхпроводимость тоже может реализовываться при допировании как дырками (например, в $(La,Sr)_2CuO_4$), так и электронами (в $(Nd,Ce)_2CuO_4$). Из рис. 2 также видно, что температура перехода повышается с уменьшением размера редкоземельного иона, и достигает рекордного значения около 55 К для $SmO_{1-\delta}FeAs$. T_c следующего соединения, $GdO_{1-\delta}FeAs$, оказывается снова несколько ниже, 53,5 К [11]. Возможно, значение 55К является оптимумом для FeAs-сверхпроводников.

Для новых сверхпроводников характерны большие значения верхнего критического поля. Экспериментально показано, что для $LaO_{0.89}F_{0.11}FeAs$ с $T_c = 26$ К величина $B_{c2}(0)$, определенная из значений, соответствующих 50% сопротивления, составляет около 50 Тл [5-7]. Длина когерентности при 0 К равна 80 Å в плоскости *ab* и 8 Å в направлении оси *c*, т.е. фактор анизотропии составляет около 10 [6]. Согласно данным [8], для $CeO_{0.88}F_{0.12}FeAs$ с $T_c = 41$ К величина $B_{c2}(0)$, также определенная по величине 50% сопротивления, составляет около 110 Тл (рис. 3). Это больше, чем у MgB_2 . Данные для $SmO_{0.85}FeAs$ [13] определены по началу перехода на действительной части магнитной ас восприимчивости в постоянном внешнем магнитном поле до 5 Тл.

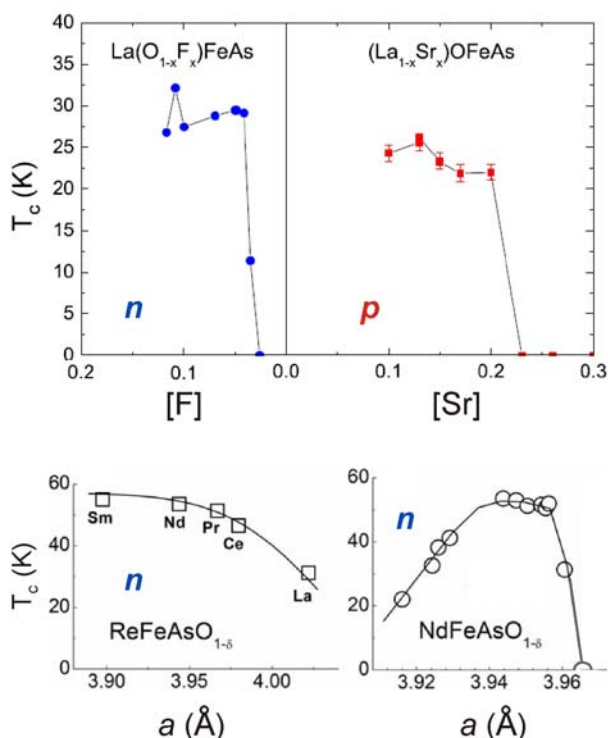


Рис. 2. Температура перехода в СП состояние соединений на основе $LaOFeAs$ при различных замещениях [2, 4].

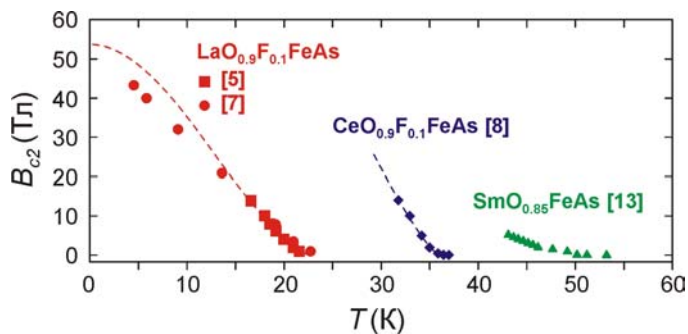


Рис. 3. Верхнее критическое поле новых сверхпроводников.

Много внимания уделяется изучению резистивной аномалии при температуре 100-150 К для недопированного несверхпроводящего соединения $LaOFeAs$ и его РЗЭ-замещенных аналогов. Эта аномалия исчезает при допировании и появлении сверхпроводимости. С использованием рентгеновских данных, авторам [10] удалось показать, что аномалия отвечает переходу от тетрагональной структуры с симметрией $P4/nmm$ к орторомбической $Cmma$ структуре. Последняя при низкой температуре переходит в состояние с волнами спиновой плотности (SDW = spin density waves).

Нельзя сказать, что новые соединения просто синтезировать. Обязательной стадией синтеза является отжиг при температуре выше 1100°C в атмосфере аргона, эта процедура обычно проводится в запаянных кварцевых ампулах. Образцы с высокими значениями T_c синтезировали к тому же и при давлении 6 ГПа. На воздухе эти соединения получить не удастся из-за окисления Fe^{2+} и As^{3+} . Определенную сложность в синтез добавляют токсичные свойства мышьяка. Мышьяк обладает заметной летучестью выше 250°C и очень легко переходит в ещё больше летучую окись As_2O_3 ($T_{кип.} = 436°C$). Сильным ядом является газообразный гидрид мышьяка арсин - AsH_3 – основной прекурсор для получения пленок GaAs в полупроводниковой промышленности. ПДК в воздухе для мышьяка 0,5 мг/м³.

Тем временем, уже продемонстрированы первые провода, изготовленные по методу порошок в трубе. Исходные материалы (La , As , LaF_3 , Fe и Fe_2O_3) помещали в железную трубку, защищенную изнутри тонкой титановой фольгой и прокатывали. Эти операции проводили в сухом боксе без доступа воздуха. Синтез осуществляли в токе аргона при 1150°C. Полученные провода диаметром 2 мм переходили в сверхпроводящее состояние при 20 К. О критическом токе не сообщается.

С.В. Самойленков

1. Kamihara et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **130**, 3296 (2008).
2. <http://arxiv.org/abs/0803.3021v2>.
3. <http://arxiv.org/abs/0803.3978v2>.
4. <http://arxiv.org/abs/0804.2582v1>.
5. <http://arxiv.org/abs/0803.0128v1>.
6. <http://arxiv.org/abs/0803.1288v1>.
7. <http://arxiv.org/abs/0804.0485>.

8. <http://arxiv.org/abs/0803.3790v3>.
9. <http://arxiv.org/abs/0804.2053>.
10. <http://arxiv.org/abs/0804.3569>.
11. <http://arxiv.org/abs/0804.3727>.
12. <http://arxiv.org/abs/0804.3738>.
13. <http://arxiv.org/abs/0805.2794>.

ЗАРУБЕЖНЫЕ ФИРМЫ И ИХ РАЗРАБОТКИ

Разработки American Superconductor в области силовой электроники

Мы уже неоднократно писали о разработке и создании компанией American Superconductor (AMSC) различных ВТСП электротехнических устройств: электродвигателей, генераторов, синхронных компенсаторов и т.д. Однако, во многих случаях, для того чтобы по настоящему эффективно использовать ВТСП электротехнику (в особенности электрические машины) необходимы надежные, компактные и экономичные преобразовательные агрегаты. Компания AMSC прикладывает значительные усилия в области разработки современной силовой электроники, которая может работать совместно как с ВТСП, так и с обычным электрическим оборудованием.

Динамические компенсаторы D-VAR

Компания American Superconductor (AMSC) недавно объявила, что получила два заказа на динамические компенсаторы D-VAR(R). Один из компенсаторов будет установлен на подстанции компании Entergy Mississippi, Inc., входящей в Entergy Corporation и обеспечивающей электроэнергией 2,7 миллиона клиентов в Арканзасе, Луизиане, Миссисипи и Техасе. Всего компания AMSC получила более 60 заказов на динамические компенсаторы. Клиентами AMSC являются более 20 энергетических компаний со всего мира.

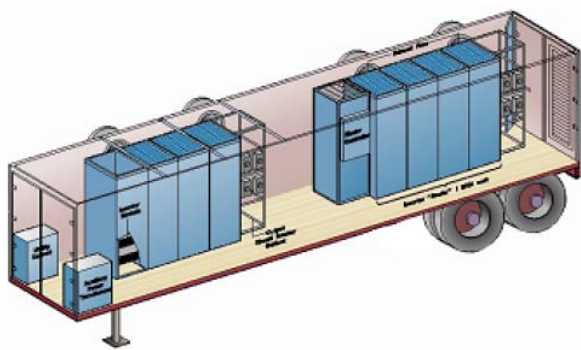


Рис. 1. Динамический компенсатор D-VAR на трейлере.

Динамические компенсаторы D-VAR являются эффективным и экономичным решением для компенсации реактивной мощности и улучшения качества напряжения в распределительных сетях и на промышленных объектах. Пропускная способность электрических сетей часто ограничена условиями стабильности. Использование в динамических компенсаторах D-VAR быстродействующих преобразовательных модулей PowerModule на основе IGBT

транзисторов (рис. 2) позволяет практически мгновенно гасить возмущения в сети путем коммутации конденсаторных батарей. Динамические компенсаторы D-VAR во многих случаях способны улучшить качество энергоснабжения путем:

- компенсации реактивной мощности в передающих и распределительных сетях;
- регулирования уровня напряжения, в том числе в ветроэнергетике;
- увеличения пропускной способности сетей;
- борьбы с падением напряжения – промышленность, ветроэнергетика.

Таблица 1. Основные характеристики динамического компенсатора D-VAR.

Номинальное напряжение	до 35 кВ
Частота	50 или 60 Гц
Компенсированная реактивная мощность	до 8 МВА
Время отклика	½ периода
Допустимая перегрузка	300% в течение 3 с
Габариты	16,1 × 4,1 × 2,6 м

Корабельные преобразовательные агрегаты на базе PowerModule

Компания AMSC объявила о получении первых заказов на преобразовательные агрегаты на базе PowerModule для питания ходовых электродвигателей судов. Преобразовательные агрегаты на базе PowerModule будут установлены на борту трех мегаяхт и одного речного теплохода, которые сейчас строятся в Европе.

Преобразователи на базе PowerModule обладают высокой мощностью (до 400 кВт в одном модуле), компактны и легко программируются, что позволяет использовать их во многих приложениях. Интеграция преобразователей PowerModule и судового электрооборудования позволит повысить его надежность и поднять КПД всей силовой установки. По словам генерального директора коммерческого отдела AMSC Power Systems Чака Станкевича: "Использование печатной платы особой конструкции для преобразователей мощностью в сотни киловатт уникально. Этот подход позволяет нам объединять микропроцессор с конвертером и программировать систему под любые потребности клиента".

Базовым элементом преобразовательного агрегата является преобразовательный модуль (рис. 2) на основе IGBT транзисторов, помимо них в состав модуля входит также фильтр, датчики тока, напряжений и температуры. Охлаждение преобразовательного модуля может быть как воздушное, так и жидкостное. Отдельные преобразовательные модули могут соединяться вместе подобно детским кубикам, что позволяет легко собрать преобразовательные агрегаты различных типов: AC-AC, AC-DC, DC-DC или DC-AC. С управляющим модулем преобразовательные модули соединяются через цифровой оптический CAN интерфейс. На рис. 3

показана схема преобразовательного агрегата для питания корабельного ходового электродвигателя, выполненная из нескольких преобразовательных модулей. КПД одиночного преобразователя PowerModule на сегодня самый высокий среди представленных на рынке преобразователей мощностью от 60 до 750 кВт.

Таблица 2. Основные характеристики преобразовательных модулей PowerModule.

Номинальная мощность	60 - 400 кВт
Рабочий ток (AC)	до 240 А
Рабочий ток (DC)	до 160 А
Номинальное напряжение (AC)	480 В и 690 В
Допустимая перегрузка	150% в течение 60 с каждые 15 мин 200% в течение 5 с каждые 15 мин

Компания AMSC занимается разработкой преобразовательных агрегатов на базе PowerModule начиная с 2000 г, за прошедшее время по всему миру было продано несколько тысяч устройств для совместной работы с ветряными генераторами, гидрогенераторами, топливными элементами, системами стабилизации выходного напряжения, импульсными источниками питания для военного применения. Дальнейшее развитие технология PowerModule получила в совместной программе Power Electronics Building Blocks компании AMSC и военно-морского флота США.

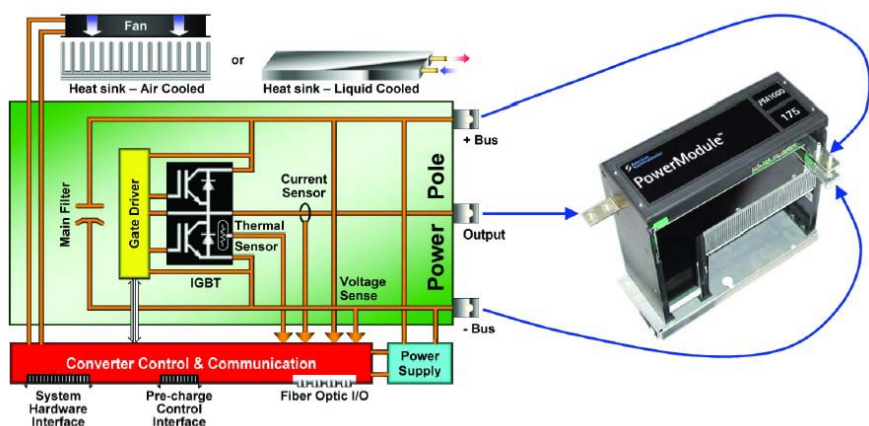


Рис. 2. Схема одиночного преобразовательного модуля PowerModule.

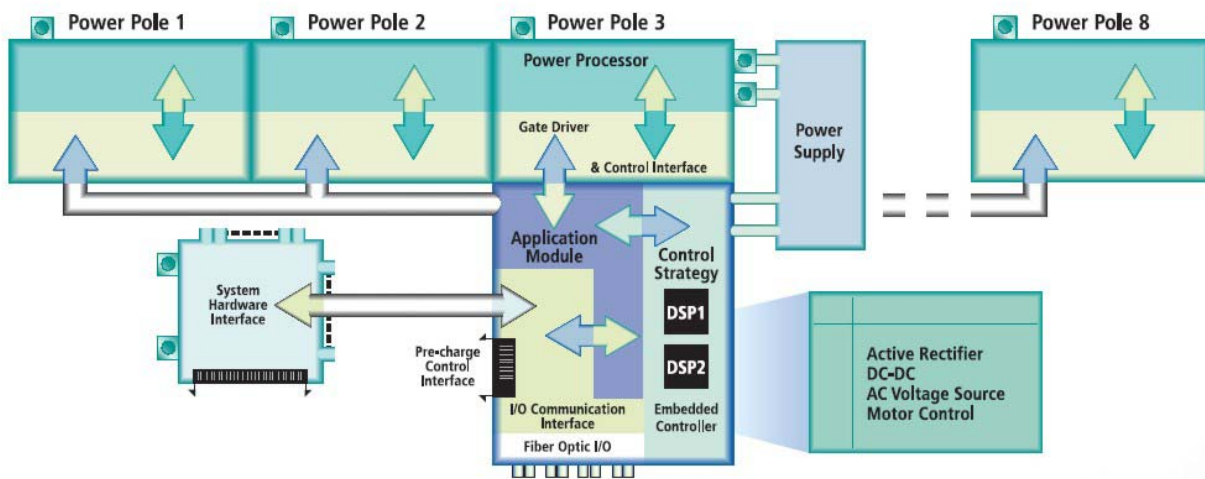


Рис. 3. Из нескольких PowerModule собран преобразовательный агрегат для питания многофазного корабельного ходового электродвигателя.

В.И. Щербаков

1. *Superconductor Week*, 22, n. 3, 6 (2008).
2. www.amsc.com.

ВЫСТАВКИ

Выставка сверхпроводниковых технологий SUPERCONDUCTIVITY EXPO2007

С 13 по 15 декабря 2007 г. в г. Токио (Япония) проводилась первая выставка достижений в области сверхпроводниковых материалов и устройств SUPERCONDUCTIVITY EXPO2007, являющаяся частью более глобальной выставки “9th Eco Products Fair”, посвященной разработкам, ориентированным на решение экологических проблем. Основным спонсором “9th Eco Products Fair” выступала корпорация Nikkei, Inc. SUPERCONDUCTIVITY EXPO2007, поддерживалась также Министерством экономики, торговли и промышленности Японии, Организацией развития новых промышленных технологий и источников энергии (NEDO), Криогенным сообществом Японии и Международным центром сверхпроводниковых технологий (ISTEC).

В выставке участвовало 14 компаний и организаций. Были представлены 25 стендов, наибольшее количество представили NEDO – 9, ISTEC/SRL – 3, Sumitomo Electric Industries – 2. По одному стенду выставили Chubu Electric Power Co, Kyushu Electric Power Co, Fuji Electric, Furukawa Electric, Fujikura, Showa Electric Wire & Cable, Japan Superconductor Technology (JASTEC), SuperPower, Iwantani International, Japan Quantum Design, Toyo Corp. Кроме компании SuperPower (США), все участники выставки представляли японские организации.

Что касается содержания выставки, то она представляла интерес, как для новичков, так и для специалистов в сверхпроводниковой тематике. Существенный вклад в популяризацию сверхпроводимости внесла NEDO, представившая наибольшее количество стендов и массу интересных экспонатов. В частности, на стенде “Музей сверхпроводимости” была представлена уменьшенная модель магнитно-левитирующего поезда, на основе сверхпроводящих элементов. На модельной железной дороге посетители выставки могли наблюдать ускорение, равномерное движение, торможение и остановку поезда. В своем “музее” NEDO также продемонстрировала обнаружение сверхслабых магнитных полей с помощью СКВИДа (сверхпроводящего квантового интерферометра). Кроме того, в течение всего времени проведения выставки установка, предоставленная ISTEC, каждый час (7 раз в день) демонстрировала левитацию человека. Работа левитирующей установки основывалась на возникновении силы отталкивания между массивным сверхпроводником и постоянным магнитом. Этот экспонат вызывал огромный интерес со стороны посетителей. На стенде “Передовая линия сверхпроводниковой деятельности” были представлены основные проекты NEDO за последние 20 лет.

В отличие от экспонатов NEDO, нацеленных на широкий круг посетителей, ISTEC/SRL представили стенды, ориентированные на специалистов. Например, на их стендах подробно и наглядно представлялась информация, посвященная созданию ВТСП лент 2-го поколения, массивных сверхпроводников и сверхпроводниковых устройств.

Представители компании Sumitomo Electric Industries демонстрировали видеозапись работы автомобиля, приводимого в движение сверхпроводниковым электродвигателем. (За рамками выставки наши люди даже имели удовольствие прокатиться на этом автомобиле (рис. 1). Это – Тойота - хэтчбек с багажником, загруженным 12-ю обычными кислотно-свинцовыми аккумуляторами. Впереди, в моторном отсеке (на месте обычного двигателя), стоит СП электродвигатель, сверху него – пенопластовый сосуд, в который заливается жидкий азот. Скорость – около 10-15 км/час, запаса азота хватает на 20-30 мин. С этой скоростью наши представители проехали около 800 м по двору компании. То есть, это хоть и очень впечатляющая, но, конечно, чисто демонстрационная игрушка.)



Рис. 1. Тойота со сверхпроводниковым электродвигателем Sumitomo Electric Industries.

На стенде “Сверхпроводимость быстро становится реальностью” представители Sumitomo продемонстрировали сверхпроводниковый двигатель, предназначенный для привода морских судов, упрощенную модель сверхпроводящего силового кабеля, проходящего тестовые испытания в США, и многие другие экспонаты.

Компания Chubu Electric Power, Co выставила модель СПИНЭ (Сверхпроводникового индукционного накопителя энергии), выполненного из ВТСП ленты 2-го поколения, погруженной в жидкий азот.

Модель трансформатора на основе ВТСП материалов, показала корпорация Kyushu Electric Power, Co.

На своем стенде Furukawa Electric отразила этапы производства низкотемпературного сверхпроводящего провода, а также представила проводник, созданный и поставленный в Европу для использования в ускорителях. Компания также показала сверхпроводящий кабель и другие ВТСП устройства на основе ВТСП материалов 2-го поколения.

Fujikura выставила на своем стенде произведенные компанией 500 метров ВТСП провода 2-го поколения.

Showa Electric Wire & Cable, в свою очередь, представила токонесящий элемент резерфордовского

типа скрученный из ВТСП проводов первого поколения (Bi2212).

Корпорация Fuji Electric представила различные модели криокулеров на базе пульсационных труб, на которые Fuji возлагает большие коммерческие ожидания.

Iwantani International выставила компактный азотный ожижитель. Аналитики компании полагают, что спрос на подобные системы будет существенно увеличиваться по мере роста продаж ВТСП лент. JASTEC представила свои сверхпроводящие магнитные системы, выполненную на основе низкотемпературных сверхпроводников, большинство из которых охлаждается от криокулеров.

Перед началом проведения выставки организаторы опасались, что выставка может привлечь слишком мало внимания. Однако их опасения оказались излишними – выставка привлекла достаточно большое количество посетителей и вызвала огромный интерес общественности. После такого успеха организаторы SUPERCONDUCTIVITY EXPO2007 решили сделать выставку ежегодной.

М.П. Смаев

1. Superconductivity Web21, spring issue (2008).

<http://perst.isssp.kiae.ru/supercond>

Издатель РНЦ «Курчатовский институт»

(при поддержке ОАО «НТЦ электроэнергетики» и Фонда «Научный потенциал»)

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

научный руководитель ИСФТТ РНЦ «Курчатовский институт»

Редакторы *В.С. Высоцкий* vsotsky@gmail.com, *В.И. Щербаков* sherby@isssp.kiae.ru

Ответственный редактор: *М.П. Смаев* smayev@sci.lebedev.ru

В подготовке выпуска принимали участие: *С.В. Самойленков*, *Д.И. Шутова*, *А.К. Чернышева*,
perst@isssp.kiae.ru,

Верстка *И.Л. Фурлетова*