

УДК 621.313

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ

Сичевский А.С., магистрант гр. ЭПм-181, I курс

Научный руководитель: Захарова А.Г., д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Сверхпроводимость – это свойство различных материалов иметь нулевое сопротивление электрическому току при достижении температуры определенного значения (критическая температура – точка кипения азота: 77 K или -196 °C). Ширина промежутка перехода в состояние сверхпроводимости в первую очередь зависит от неоднородности металла, а именно: от наличия примесей и внутренних напряжений. Известные в настоящий момент значения критических температур (T_c) изменяются в пределах от 0,0005 K (Mg) до 23,2 K (Nb₃Ge) и 39 K у диборида магния (MgB₂).

Различают два типа сверхпроводимости: низкотемпературная (критическая температура ниже точки кипения азота) и высокотемпературная (критическая температура выше точки кипения азота). Исследование явления сверхпроводимости началось ещё в прошлом веке, и в настоящее время науке уже известно примерно сотни соединений, сплавов и чистых элементов, которые способны переходить в сверхпроводящее состояние.

Проблема практического применения сверхпроводимости остается актуальной на данный момент. Это явление находит применение в различных отраслях современной индустрии: энергетика, электроника, промышленность и медицина. Согласно данным International Superconductivity Industry Summit [1] к 2025 году большую часть мирового рынка сверхпроводниковой продукции придется на энергетическую отрасль (рисунок 1).

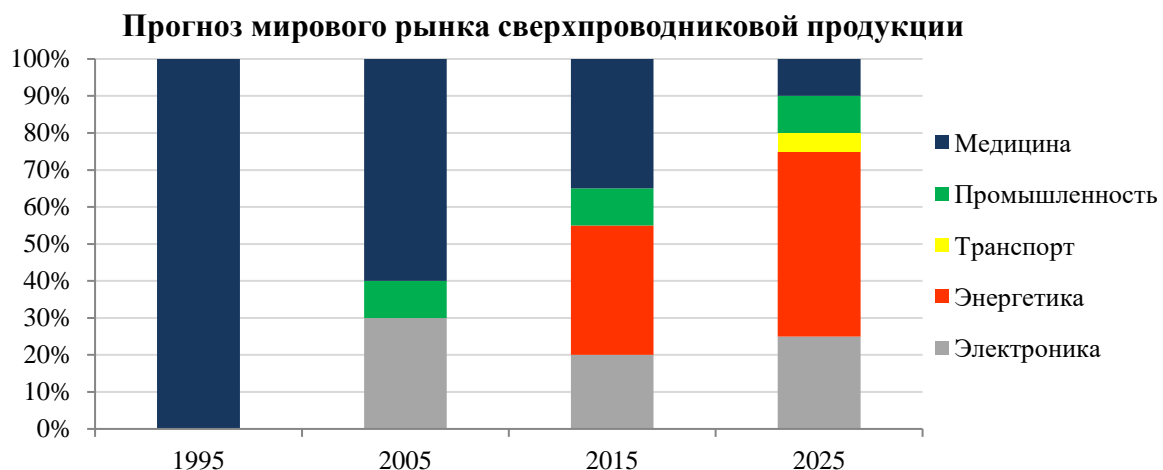


Рисунок 1 – Прогноз мирового рынка продукции из сверхпроводников

Одним из перспективных направлений применения явления сверхпроводимости в энергетической отрасли является использование сверхпроводников при производстве электрических машин. Опытные образцы уже давно созданы, а керамические сверхпроводники могли бы сделать такие машины достаточно экономичными. Кроме этого, рассматривается возможность применения сверхпроводящих магнитов (СПМ) для аккумулирования электрической энергии в магнитной гидродинамике, а также для производства термоядерной энергии.

Уже в начале 2000-х годов немецкий концерн Siemens, работающий в области промышленного энергетического оборудования, электроники и электротехники, создал прототип первого генератора мощностью 4 МВА с использованием высокотемпературной сверхпроводимости (HTS генератор) [2]. Несмотря на то, что стоимость электрических машин типа HTS очень высока, расчеты и испытания показали, что они более эффективны аналогичных по мощности традиционных генераторов и могут применяться в условиях ограниченного пространства, а именно: в морском флоте или авиации.

В России же разработка генераторов с использованием высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП генератор) началась сравнительно недавно, лишь с 2010 года. Для ликвидации отечественных разработок по ВТСП компания «Росатом» приобрела у немецкого концерна Bruker давно известную мировой энергетике HTS технологию по производству сверхпроводников. В работе приняли участие около 20 научных и конструкторских организаций, такие как: ИМФ СО РАН, ВЭИ, МАИ, МИФИ и другие [3].

В рамках проекта «Индустрия с использованием сверхпроводников» были поставлены задачи разработать:

- отечественные технологии производства ВТСП продукции;
- прототипные устройства энергетического назначения на базе ВТСП;
- двигатели мощностью до 200-300 кВт;
- генераторы переменного тока мощностью до 1 МВт;
- силовые трансформаторы мощностью до 1 МВА.

Однако, в настоящее время отечественные разработки в области сверхпроводимости остаются лишь на проектируемом уровне, в то время как крупные зарубежные производители уже используют ВТСП генераторы в кораблестроении военного назначения. Данное применение генераторы данного типа получили по той причине, что обмотки из сверхпроводящих материалов создают огромные магнитные поля в генераторах и электродвигателях, благодаря чему электрические машины ВТСП типа являются более мощными, чем традиционного исполнения. Также значительно уменьшаются габариты, что позволяет эффективно применять их в условиях ограниченного пространства, а именно: авиа- и кораблестроение военного назначения (уже используется в мировой практике), генераторы для ветроэнергетических установок, привод для автотранспорта, машины на воздушной подушке и мобильные грузоподъемные механизмы, тяговые двигатели для промышленного оборудования.

Как известно, одним из основных показателей эффективности работы электрической машины является коэффициент полезного действия (КПД), который обуславливается омическими потерями в обмотках статора и ротора, потерями на гистерезис, трение и другие. КПД генератора традиционного исполнения составляет в среднем 96,2%, в то время как КПД ВТСП генератора аналогичной мощности находится на уровне 98,7%, то есть потери снижаются практически в 2,8 раза. Несмотря на то, что КПД генератора с высокотемпературной сверхпроводимостью выше, чем у традиционного генератора, в нем возникают дополнительные потери на криогенику (потери в системах охлаждения электрической машины), в то время как омические потери в цепи ротора сводятся практически к нулевому значению (рис. 2).

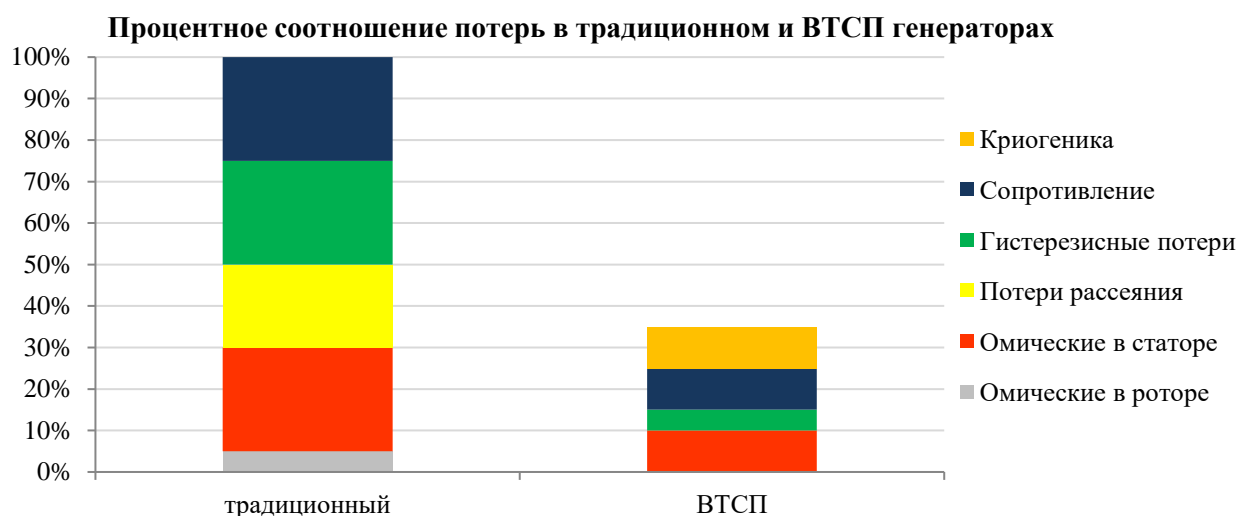


Рис. 2. Процентное соотношение потерь в традиционном и ВТСП генераторах

Ещё одним важным показателем эффективности работы электрической машины является перегрузочная способность. ВТСП генераторы обладают недостижимой для традиционных генераторов перегрузочной способностью: до 700% по крутящему моменту в кратковременном режиме и 150% в течение 15 минут по мощности.

Таким образом, применение генераторов с использованием высокотемпературной сверхпроводимости позволит выйти на новый уровень в машиностроении. Повысится эффективность работы электрических машин и, наряду с этим, снизятся их габариты и масса.

Список литературы:

1. International Superconductivity Industry Summit, Florida, 2004 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ccas-web.org/>.
2. High Temperature Superconducting (HTS) Generators [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1083>.
3. Проект «Индустрия сверхпроводников» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=7555>.