

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

**Гнедаш С.А., Лис А.В.,
научный руководитель доц. Егонский А.А.
Сибирский федеральный университет**

Согласно государственной программе энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года в РФ требуется повышение технического уровня, расширение освоения и внедрения в ЕНЭС России новых энергоэффективных инновационных технологий, разработка на их основе типовых проектных решений, в том числе внедрение высокоэффективных надёжных системообразующих и распределительных электрических сетей большой пропускной способности на базе ВТСП (высокотемпературных сверхпроводимых) кабелей, трансформаторов, синхронных компенсаторов, ограничителей тока, СПИНЭ (сверхпроводящий индуктивный накопитель энергии).

Сверхпроводящие материалы. Сверхпроводящие материалы подразделяют на две группы: сверхпроводники первого и второго рода. К сверхпроводникам первого рода относят чистые металлы. Установлено, что 26 таких металлов при критической температуре T_K , близкой к абсолютному нулю, становятся идеальными сверхпроводниками ($\rho = 0$) и идеальными диамагнетиками ($\mu = 0$). Однако при относительно малых магнитных полях (менее 0,2 Тл) свойства сверхпроводимости у них исчезают. Среди чистых металлов наибольшую T_K имеет ниобий (9,3 К), наименьшую — ванадий (0,01 К). Сверхпроводники первого рода пригодны для работы при постоянных и переменных магнитных полях. Однако они практически неприменимы для работы при сильных токах из-за относительно малых значений магнитной индукции и плотности тока.

К сверхпроводникам второго рода относят некоторые сплавы. В настоящее время электропромышленность выпускает четыре сверхпроводниковых изделия (провода, кабели, шины, ленты) из сплавов ниобий — цирконий, ниобий — титан, ниобий — цирконий — титан и интерметаллического соединения Nb_3Sn . Свойство полупроводника сохраняется у них при $T_K = 4K$ (т. е. при температуре жидкого гелия) в магнитных полях с индукцией порядка 10 Тл и плотностях тока в проводнике порядка $10^7 — 10^9 A/m^2$. Сверхпроводники второго рода практически пригодны для работы только в постоянных магнитных полях и при постоянном токе. Следовательно, их нельзя использовать для выполнения обмотки якоря, но они могут дать большой технико-экономический эффект при изготовлении из них обмоток возбуждения. Выполнение обмоток возбуждения из сверхпроводников, допускающих большие плотности тока и сильные магнитные поля при отсутствии джоулевых потерь, позволяет существенно уменьшить массу и габаритные размеры электрических машин, увеличить их КПД и предельную мощность.

Во всех сверхпроводниковых магнитных системах применяют стабилизированные провода, представляющие собой композит, состоящий из тонких сверхпроводящих нитей в несверхпроводящей (медной или алюминиевой) матрице. Эти нити занимают около 5% поперечного сечения провода, а средняя плотность тока достигает (5 — 8) $10^7 A/m^2$.

Открытие в конце 1986 года нового класса высокотемпературных сверхпроводящих материалов радикально расширяет возможности практического использования сверхпроводимости для создания новой техники и окажет революционизирующее воздействие на эффективность отраслей народного хозяйства.

Явление, заключающееся в полном исчезновении электрического сопротивления проводника при его охлаждении ниже критической температуры, было открыто в 1911 году, однако практическое использование этого явления началось в середине шестидесятых годов, после того как были разработаны сверхпроводящие материалы, пригодные для технических применений. В связи с тем, что критические температуры этих материалов не превышали 20 К, все созданные сверхпроводниковые устройства эксплуатировались при температурах жидкого гелия, т.е. при 4-5 К. Несмотря на дефицитность этого хладагента, высокие энергозатраты на его ожижение, сложность и высокую стоимость систем теплоизоляции по целому ряду направлений началось практическое использование сверхпроводимости. Наиболее крупномасштабными применениями сверхпроводников явились электромагниты ускорителей заряженных частиц, термоядерных установок, МГД-генераторов. Были созданы опытные образцы сверхпроводниковых электрогенераторов, линий электропередачи, накопителей энергии, магнитных сепараторов и др. В последние годы в различных капиталистических странах началось массовое производство диагностических медицинских ЯМР-томографов со сверхпроводниковыми магнитами, потенциальный рынок которых оценивается в несколько млрд. долларов.

Открытие высокотемпературных сверхпроводников, критическая температура которых с запасом превышает температуру кипения жидкого азота, принципиально меняет экономические показатели сверхпроводниковых устройств, поскольку стоимость хладагента и затраты на поддержание необходимой температуры снижаются в 50-100 раз. Кроме того, открытие высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) сняло теоретический запрет на дальнейшее повышение критической температуры с 30 - вплоть до комнатной. Так, со времени открытия этого явления критическая температура повышена с 30 - 130 К.

Государственная научно-техническая программа предусматривает широкий комплекс работ, включающих в себя фундаментальные и прикладные исследования, направленные на решение проблемы технической реализации высокотемпературной сверхпроводимости.

В последние годы становится все более близкой к осуществлению мечта о сверхпроводящих линиях электропередачи. Все возрастающая потребность в электроэнергии делает очень привлекательной передачу большой мощности на большие расстояния. Советские ученые убедительно показали перспективность сверхпроводящих линий передачи. Стоимость линий будет сопоставима со стоимостью обычных воздушных линий передачи электроэнергии (стоимость сверхпроводника, если учесть высокое значение критической плотности его тока по сравнению с экономически целесообразной плотностью тока в медных или алюминиевых проводах, невелика) и ниже стоимости кабельных линий.

Осуществлять сверхпроводниковые линии электропередачи предполагается так: между конечными пунктами передачи в земле прокладывается трубопровод с жидким азотом. Внутри этого трубопровода располагается трубопровод с жидким гелием. Гелий и азот протекают по трубопроводам вследствие создания между исходным и конечным пунктами разности давлений. Таким образом, ожижительно-насосные станции будут лишь на концах линии.

Сверхпроводящее электрооборудование позволит резко увеличить электрические и магнитные нагрузки в элементах устройств и благодаря этому резко сократить их размеры. В сверхпроводящем проводе допустима плотность тока, в 10...50 раз превышающая плотность тока в обычном электрооборудовании. Магнитные поля можно будет довести до значений порядка 10 Тл, по сравнению с 0,8...1 Тл в обычных машинах.