

С.В. ВЕСЕЛОВА, А.С. СТАРИКОВСКИЙ, К.А. БОРОДАКО, Д.А. АБИН,
М.А. ОСИПОВ, С.В. ПОКРОВСКИЙ

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ В ЭЛЕМЕНТАХ СПИН

В настоящей работе было проведено исследование элемента сверхпроводящего индуктивного накопителя энергии (СПИН), состоящего из промышленно-произведенного CORC (conductor on round core – проводник на круглом сердечнике) кабеля. Был создан экспериментальный стенд с датчиком газа, испарившегося в процессе условий, имитирующих реальную работу накопителя. Были получены данные для различных амплитуд пропускаемого тока. Показано, что даже в условиях работы более, чем $0,5 I_c$, процентное соотношение тепловых потерь не превышает 7% от стационарного состояния.

S.V. VESELOVA, A.S. STARIKOVSKIY, K.A. BORODAKO, D.A. ABIN,
M.A. OSIPOV, S.V. POKROVSKIY

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

HEAT LOSSES IN SMES ELEMENTS

In this work, an element of a SMES (superconducting magnetic energy storage) was studied, consisting of an industrially produced CORC (conductor on round core) cable. An experimental stand was created with a sensor for gas vaporized during conditions simulating the actual operation of the storage device. Data were obtained for various amplitudes of the transmitted current. It is shown that even under operating conditions of more than $0.5 I_c$, the percentage of heat losses does not exceed 7% of the stationary state.

Сверхпроводящие индуктивные накопители энергии (СПИН) [1-3] широко используются в различных энергетических системах для высокоэффективного сохранения электроэнергии. В процессе эксплуатации заряда происходит при помощи выпрямления тока, а разряда при помощи его инвертирования. Это влечет за собой возникновение потерь в элементах СПИН во время его работы. Более того, в условиях переменного тока возникают локальные нагревы сверхпроводящего слоя, что может привести к возникновению квенча.

Так как из-за большого количества физических процессов, протекающих во время заряда и разряда накопителя, расчет может быть очень затруднительным, то для исследования этой проблемы был создан экспериментальный стенд, включающий в себя азотный криостат с образцом, килоамперный источник тока и микротермальный счетчик газа. В качестве исследуемого образца использовался CORC (conductor on round core – проводник на круглом сердечнике) кабель на основе ВТСП лент в виде геликоидальной катушки с номинальным критическим током 1700 А. К образцу через крышку криостата были подведены токовводы и потенциальные провода. Эксперимент был произведен для амплитуд тока низкой частоты от $0,15 I_c$ до $0,5 I_c$. Развертка тока до максимального значения составляла 100 мс. Значение напряжения в ходе всего эксперимента не превышало 35 нВ. Расчет потерянной энергии был произведен с учетом параметра теплоты парообразования для жидкого азота, составляющего $r = 159,6$ кДж/л.

Показано, что существует зависимость роста потерь с увеличением пропускаемого тока. Тем не менее, полученные значения остаются низкими (в пределах 13-52 мДж/цикл) по сравнению с общей запасаемой энергией СПИН (порядка 1,2 кДж для данной геометрии), что свидетельствует о высоком КПД системы в условиях работы. Таким образом, было показано, что CORC кабель, используемый в качестве элемента накопителя СПИН, имеет высокий КПД в процессе ввода-вывода электромагнитной энергии.

Исследование выполнено в рамках государственного задания FSWU-2025-0008.

Список литературы

1. Luongo C. A. Superconducting storage systems: An overview //IEEE Transactions on Magnetics. – 1996. – Т. 32. – №. 4. – С. 2214-2223.
2. Molina M. G., Mercado P. E., Watanabe E. H. Improved superconducting magnetic energy storage (SMES) controller for high-power utility applications //IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2011. – Т. 26. – №. 2. – С. 444-456.
3. Yuan W. et al. Design and test of a superconducting magnetic energy storage (SMES) coil //IEEE transactions on applied superconductivity. – 2010. – Т. 20. – №. 3. – С. 1379-1382.