

05;12

Ограничитель тока короткого замыкания на основе высокотемпературного сверхпроводника

© М.И. Петров^{1,2}, Д.А. Балаев¹, В.И. Кирко², С.Г. Овчинников^{1,2}¹ Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 660036 Красноярск, Россия² Научно-исследовательский физико-технический институт, Красноярский государственный университет, 660036 Красноярск, Россия

(Поступило в Редакцию 24 июня 1997 г.)

Приведены экспериментальные данные исследования прототипа ограничителя тока короткого замыкания на основе поликристаллического ВТСП состава $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$. Ограничитель представляет собой последовательно включенный элемент цепи постоянного тока, помещенный в жидкий азот. Для лучшей эффективности предложено использовать поликристаллический ВТСП с S -образной вольт-амперной характеристикой как ограничителя тока.

Проблема защиты от аварий в электрических цепях при режимах короткого замыкания (КЗ) достаточно актуальна из-за отсутствия элементов защиты со 100%-ной надежностью. Принципиальная возможность использования сверхпроводимости в выключающих устройствах (так называемых криотронах) известна достаточно давно [1]. С открытием высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП) появились сообщения о возможности создания ограничителей тока, работающих при температуре жидкого азота [2,3]. В [4] предлагается в качестве активного элемента криотрона использовать монокристаллический ВТСП, что позволило бы, используя анизотропию, "разделить" управляющий и рабочий токи. В [5] сообщается о разработке криотрона на 2.2 кА, управляющая обмотка которого изготовлена из ВТСП на основе висмута.

В настоящей работе приводятся результаты измерения параметров поликристаллического (керамического) ВТСП устройства, включенного не по схеме криотрона, а в качестве последовательного участка цепи. В идеале такое балластное сопротивление при транспортном токе меньше критического (J_c) равно нулю и при возникновении аварийной ситуации, сопровождающейся увеличением тока сверх J_c , "включается" в цепь и ограничивает ток на неком безопасном уровне. При практической реализации такого ограничителя необходимо решить ряд технических задач, основные из которых, на наш взгляд, — проблема контактов в ВТСП, проблема отвода тепла от ВТСП элемента защиты в режиме защиты КЗ (когда ВТСП остается единственным потребителем) и вытекающая из этого задача согласования ВТСП элемента по падению напряжения в резистивном состоянии с напряжением защищаемой сети, что определяет его геометрические размеры и выделяемую в единицу объема мощность.

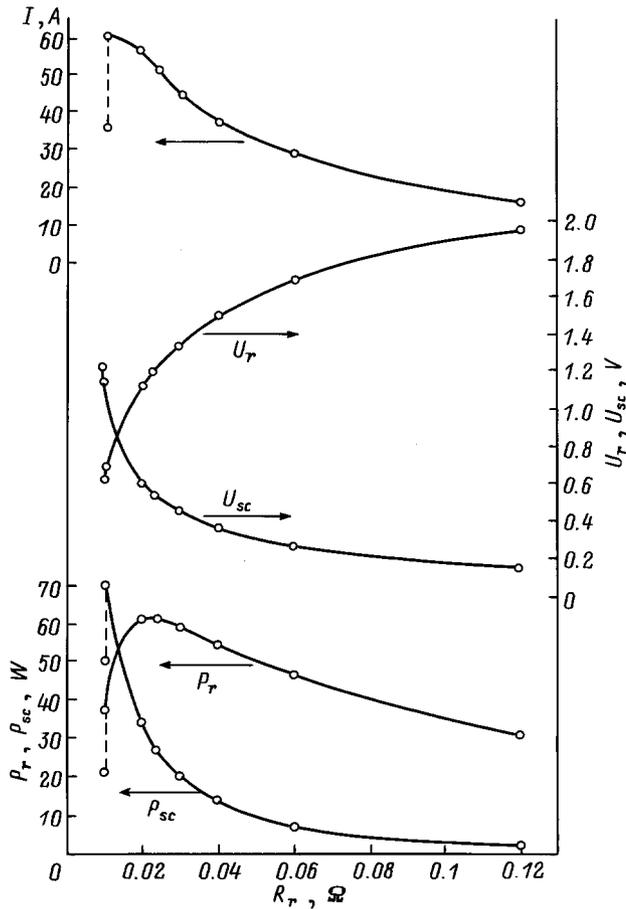
Образцы для измерений изготавливались прессованием из заранее приготовленного ВТСП порошка $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$. На торцевых гранях образца формиро-

вались серебряные контактные площадки для токоподводов. Типичные размеры образцов были $2 \times 7 \times 44$ мм. Для увеличения площади контакта до максимально возможной токовые контакты покрывались In-Ga эвтектикой. Собранный прибор помещался в ванну с жидким азотом. Ввиду малости контактного сопротивления значения падения напряжения, измеренные двух- и четырехконтактными методами, отличались незначительно, и здесь приводятся данные двухзондового метода. Источником тока служил аккумулятор 6 СТ-132, шесть элементов которого были соединены параллельно. На рисунке все зависимости одного из серии измеренных образцов приведены от сопротивления нагрузки R_r , роль которого выполнял ступенчатый реостат.

Из рисунка видно, что при уменьшении R_r ток в цепи при $I > 20$ А начинает отклоняться от гиперболической зависимости $I = U/R_r$, при $R_r = 0.01 \Omega$ ток достигает своего максимального значения ~ 60 А и далее самопроизвольно уменьшается до ~ 35 А. Это мы связываем с выходом ВАХ на ветвь с большим дифференциальным сопротивлением, что наблюдалось нами ранее [6]. На рисунке показано, как при этом перераспределяются падения на сверхпроводнике U_{sc} и на нагрузке U_r .

Видно, что при минимально достигнутом сопротивлении нагрузки наблюдается эффект защиты, а именно падение напряжения на нагрузке меньше, чем на сверхпроводнике. Здесь же приведены зависимости мощности, выделяемой на нагрузке P_r и на сверхпроводнике P_{sc} . Видно, что в нагрузке при ее минимальном значении выделяется всего ~ 20 Вт, в то время как в отсутствие ВТСП элемента в цепи было бы ~ 400 Вт (в первом приближении $P_r = U^2/R_r$, и при $U = 2$ В и $R_r = 0.01 \Omega$ получим указанное значение). Мощность на сверхпроводнике при этом не превосходит 70 Вт и эффективно отводится жидким азотом.

Таким образом, использование S -образной вольт-амперной характеристики ВТСП образца позволяет добить-



- [4] Волков А.Ю. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. Вып. 4. С. 11–14.
 [5] Libkin G.B. // Physics Today. 1996. N 3. P. 48–51.
 [6] Petrov M.I., Krivomazov S.N., Khrustalev B.P., Aleksandrov K.S. // Sol. St. Commun. 1992. Vol. 82. N 6. P. 453–465.

Зависимость I — тока в цепи последовательно соединенных аккумулятора, сверхпроводника и R_r , U_r — падения напряжения на R_r , U_{sc} — падения напряжения на сверхпроводнике, P_r — мощности, выделяемой на R_r , P_{sc} — мощности, выделяемой на сверхпроводнике, от сопротивления нагрузки R_r .

ся эффекта переключения и создать ограничитель тока, альтернативный криотрону.

Хотя приведенные здесь результаты говорят о том, что параметры ограничителя тока на основе ВТСП далеки от совершенства, мы надеемся, что детальное исследование гистерезисной особенности на ВАХ поликристаллических ВТСП под углом зрения практического "использования" этого гистерезиса позволяет создать элемент защиты с параметрами, близкими к требуемым на практике.

Список литературы

- [1] Глазков И.Н. // Исследование сверхпроводящих электротехнических устройств. Новосибирск: ИТФ СО РАН, 1980. С. 22–29.
 [2] Амелин Г.П. // Материалы совещания "Проблемы ВТСП". Свердловск, 1987. Т. 2. С. 240–241.
 [3] Chen J., Chen Z. // Proc. of 5th Intern. Conf. "Materials & Mechanisms of Superconductivity HTSC". Beijing (China), 1997. P. 305–306.