

О НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО КЛЮЧА С ТЕПЛОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ИЗ ЛЕНТЫ Nb_3Sn

В.А. Рахубовский

*Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт",
г. Харьков, Украина*

Представлены результаты исследований в импульсном режиме работы сверхпроводящего ключа с тепловым управлением из ленты Nb_3Sn . Измерены времена переключения ключа из сверхпроводящего состояния в резистивное и обратно при различных величинах параметров управляющих импульсов.

ВВЕДЕНИЕ

Сверхпроводящие источники питания (СИП) на базе насоса потока (НП) [1] используются для ввода, вывода, хранения, регулирования и стабилизации тока в сверхпроводящем соленоиде. Одним из основных элементов НП являются сверхпроводящие ключи. Известны различные конструктивные исполнения таких ключей исходя из способа управления фазовым переходом сверхпроводящего материала переключающего элемента ключа-вентиля. Типы сверхпроводящих ключей и их параметры представлены в [2-4]. В настоящее время большинство разработчиков отдают предпочтение сверхпроводящим ключам с тепловым управлением. Это обусловлено простотой их конструкции и эксплуатации, а также тем, что в вентилях можно использовать сверхпроводящие материалы с высокими критическими параметрами: T_k , $\rho_N \cdot J_k$ [5,6]. Ниже рассматривается сверхпроводящий ключ с тепловым управлением, вентиль которого изготовлен из ленты Nb_3Sn . (Такой сверхпроводящий ключ будем называть в дальнейшем ключ).

1. КОНСТРУКЦИЯ КЛЮЧА

Конструктивная схема ключа показана на рис. 1. В качестве токонесущего элемента ключа использовалась шина 1, сформированная из 2-х лент Nb_3Sn (лента Nb_3Sn толщиной 0,06 мм, шириной 10 мм, плакированная с обеих сторон медью толщиной 0,05 мм и затем залуженная), пропаянных индием. В вентильной части ключа 2 на длине 10 мм стравливалось стабилизирующее медное покрытие, и на этом участке устанавливались нагреватели 4,8 по одному на каждую ленту из Nb_3Sn . Каждый из нагревателей выполнен на текстолитовой пластинке $10 \times 10 \times 0,5$ мм, на которой располагалась бифилярным образом уложенная обмотка из константановой проволоки диаметром 0,08 мм в лаковой и шелковой изоляции. Сопротивление обмотки нагревателя при 4,2 К равно 100 Ом. Между вентилем и нагревателями устанавливались изолирующие пластинки 3,9 из слюды толщиной 0,1 мм. Нагреватели приклеивались клеем БФ-2 к вентилю и обматывались кварцевой нитью 5 (нагреватели 4,8, соединённые последовательно, будем называть в дальнейшем нагреватель). Для защиты ключа от перегрева в режимах коммутации вентиль зашунтирован актив-

ным сопротивлением 6, выполненным из манганинового провода диаметром 2,5 мм и длиной 10 мм. Величина защитного сопротивления при 4,2 К равна $8 \cdot 10^{-4}$ Ом.

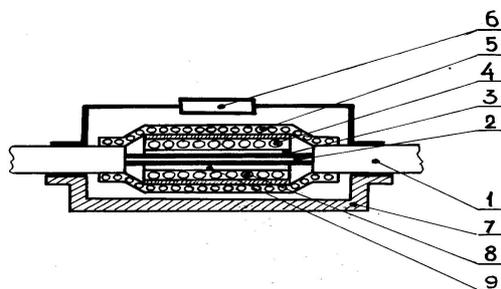


Рис.1. Конструктивная схема ключа:

1 - сверхпроводящая шина; 2 - вентиль; 3,9 - изолирующие пластинки; 4,8 - нагреватели; 5 - теплоизолирующая обмотка; 6 - защитное сопротивление; 7 - монтажная стойка

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Были проведены экспериментальные исследования работы ключа в импульсном режиме в жидком гелии при температуре 4,2 К. Процесс переключения ключа из сверхпроводящего состояния в резистивное и обратно показан на рис. 2, из которого видно, что за время t_1 нагреватель доводит вентиль до температуры перехода. С этого момента ключ начинает переходить из сверхпроводящего состояния в резистивное, и начинает расти напряжение на ключе U_k . Через время $t_1 + t_2$ U_k достигает максимума, а затем падает. За время t_3 ключ переходит из резистивного в сверхпроводящее состояние. В результате исследований получены зависимости $t_n = f(t_n)_{in}$ (таблица) и $t_n = f(I_n)_{in}$ (рис. 3).

Из приведенных в таблице и на рис. 3 данных следует, что при изменении длительности импульса от 0,03 с до 0,145 с и амплитуды импульса от 0,06 до 0,11 А t_n составляет от 0,07 до 0,55 с. Это соответствует частоте переключения ключа от 1,8 до 14 Гц. При этом R_{km} изменяется от $2,7 \cdot 10^{-4}$ до $4,8 \cdot 10^{-4}$ Ом при импульсе нагрева мощностью 2 Вт. Сопротивление ключа при установившейся тепловой мощности 2 Вт равно $7,4 \cdot 10^{-4}$ Ом.

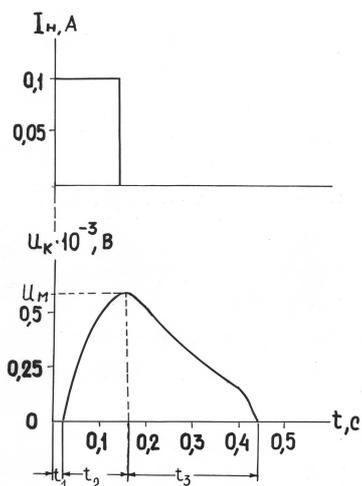


Рис. 2. Этюры импульса тока в нагревателе и напряжения на вентиле ключа при длительности импульса тока в нагревателе 0,14 с и амплитуде импульса 0,1 А, где t_1 - время задержки начала перехода ключа в резистивное состояние; t_2 - время перехода ключа из резистивного состояния; t_3 - время перехода ключа из резистивного в сверхпроводящее состояние

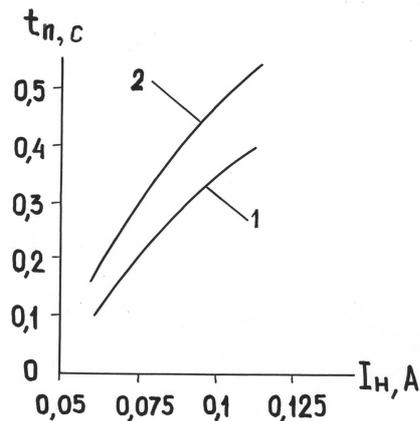


Рис. 3. Зависимость времени переключения ключа из сверхпроводящего состояния в резистивное и обратно от амплитуды импульса тока в нагревателе при $f = 2$ Гц и $I_k = 2$ А, где кривая 1 - для $t_n = 0,1$ с; кривая 2 - для $t_n = 0,145$ с

$f=2$ Гц		$I_n=0,1$ А			$I_k=2$ А		
$t_n \cdot 10^{-3}$	с	30	50	70	100	120	145
$t_1 \cdot 10^{-3}$	с	33	32	29	26	22	10
$t_2 \cdot 10^{-3}$	с	15	50	86	115	128	150
$t_3 \cdot 10^{-3}$	с	20	75	110	195	240	300
$t_n \cdot 10^{-3}$	с	68	157	225	336	390	460
$U_m \cdot 10^{-3}$	В	0,4	0,5	0,55	0,6	0,6	0,6
$R_{км} \cdot 10^{-4}$	Ом	2,7	3,6	4,2	4,8	4,8	4,8

f - частота следования импульсов тока в нагревателе; I_n - амплитуда импульса; I_k - ток в вентиле ключа; t_n - длительность импульса; t_1 - время переключения ключа из сверхпроводящего состояния в резистивное и обратно; U_m - максимальное напряжение на вентиле ключа (см. рис. 2); $R_{км}$ - максимальное сопротивление ключа в резистивном состоянии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сверхпроводящий ключ был использован в СИП на базе НП, в рабочем контуре которого циркулировал ток $\sim 10^3$ А и, работая на частоте 2,3 Гц, показал надёжную и устойчивую работу [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. H.L. Laquer. An electrical flux pump for powering superconducting magnet coils // *Cryogenics*. 1963, v. 3, N 1, p. 27-30.
2. L.J.M. Klundert, H.H.J. Kate. On fully superconducting rectifiers flux pumps // *Cryogenics*. 1981, v. 21, N 5, p. 267-277.
3. В.А. Рахубовский. Тепловой сверхпроводящий ключ с защитной оболочкой в вентильной цепи // *Вопросы*

атомной науки и техники. Серия «Общая и ядерная физика». 1984, в. 3(28), с. 33-35.

4. В.Е.Тонкаль, А.В.Новосельцев, Ю.В.Скобарихин, С.В.Непогодьев. *Введение в теорию статических сверхпроводниковых преобразователей* // Киев: «Наукова думка», 1990, с. 26-52.
5. K.E.Gray, R.T.Kampwirth. Design for a repetitive superconducting switch // *Cryogenics*. 1984, v. 24, N 1, p. 21-27.
6. *Справочник по физико-техническим основам криогеники* // Под ред. Н.П.Малкова. М.: Энергоатомиздат, 1985, с. 154-162.
7. V.A.Rakhubovskij. Compact superconducting power source constructed on base of the flux pump with heat switches // *Cryogenics*. 1992, v. 32, ICEC, Supplement, p. 470-472.

ПРО ДЕЯКІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДПРОВІДНОГО КЛЮЧА З ТЕПЛОВИМ УПРАВЛІННЯМ ЗІ СТРІЧКИ Nb_3Sn

В.А. Рахубовський

Представлені результати досліджень в імпульсному режимі роботи надпровідного ключа з тепловим керуванням зі стрічки Nb_3Sn . Виміряні часи переключення ключа з надпровідного стану в резистивний і зворотно при різних величинах параметрів керуючих імпульсів.

ON SOME CHARACTERISTICS OF A SUPERCONDUCTING HEAT CONTROLLED SWITCH MADE OF Nb_3Sn TAPE

V.A. Rakhubovskij

The results of investigation carried out in the pulse mode for the superconducting heat-controlled switch made of Nb₃Sn tape have been given. The switch time of the above switch from its superconducting state into the resistive one and visa versa at different values of parameters of the control pulses has been measured.