

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

С393 ЖЕ

P13-84-436

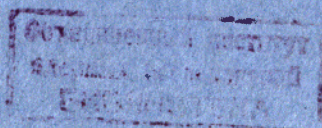
4563/84

А. Н. Тавхелидзе

О НАСТРОЙКЕ СКВИДОВ
ПРИ ГЕЛИЕВЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЧ ИМПУЛЬСОВ

Направлено в "Журнал технической физики"

1984



В последние годы в различных физических лабораториях широкое распространение получили квантовые сверхпроводящие интерферометры /сквиды/ - наиболее чувствительные детекторы электромагнитного поля. В основном применяется ВЧ сквид, представляющий собой джозефсоновский контакт с критическим током I_C и нормальным сопротивлением R_N , замкнутый сверхпроводящим кольцом индуктивностью L_S . Настройка ВЧ сквида обычно сводится к оптимизации параметров $\beta = 2\pi L_S I_C / \phi_0$ и $q = \omega L_S / R_N$, определяющих режим работы и сигнальные характеристики интерферометра. Здесь $\phi_0 = h/2e$ - квант магнитного потока, ω - рабочая частота возбуждения. Получение в лабораторных условиях сквидов с заданными β , q и дополнительное регулирование этих параметров в случае их временной нестабильности является относительно сложной в практическом осуществлении задачей ^{/1/}. Для упрощения процесса настройки тонкопленочных сквидов, содержащих мостиковые джозефсоновские переходы, был применен "электрический" метод ^{/2,3/}, позволяющий получить датчики с заданными параметрами. Физические явления, лежащие в основе этого метода, представляются не совсем ясными, что ограничивает область его применения сквидами на мостиковых переходах. В настоящей работе приводятся результаты исследований, проведенных на сквидах с точечными контактами, которые показали применимость "электрического" метода настройки для сквидов на основе данного типа джозефсоновского перехода.

"Электрический" метод настройки основан на возможности регулирования параметров джозефсоновского перехода без нарушения его физических свойств посредством пропускания через него относительно мощного импульса тока $I \gg I_C$. С целью настройки сквид индуктивно связывается с катушкой индуктивности, в которой кратковременно возбуждаются ВЧ колебания. При этом в кольце сквида наводится ВЧ ток, который, проходя через джозефсоновский переход, вызывает изменение его основного параметра I_C . Это дает возможность настраивать сквид подачей в него пакетов импульсов определенной мощности и длительности с одновременным наблюдением вольтамперной характеристики /ВАХ/ при гелиевых температурах.

Для настройки двухиндуктивного симметричного сквида, содержащего окисленный точечный контакт ^{/4/}, применялись импульсно-модулированные колебания с частотой заполнения 10 МГц и длительностью 5 мкс. Настройка начиналась с безгистерезисного режима $\beta \ll 1$ и продолжалась до получения оптимального β . Зависимость параметра β от числа подаваемых импульсов n , снятая для двух датчиков, подготовленных одинаковым образом, изображена на рис.1а. График показывает достаточно монотонный рост β с числом поступаю-

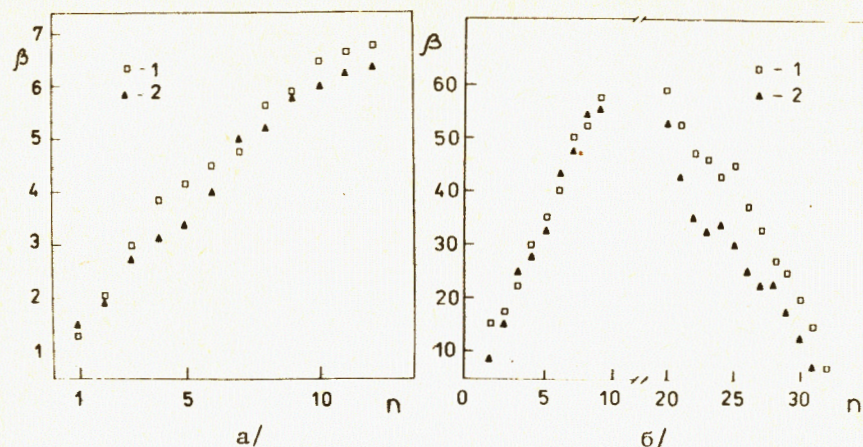


Рис.1. Зависимость параметра β от числа импульсов при мощности ВЧ колебаний $P=2$ Вт /а/ и $P=30$ Вт /б/.

щих в сквид импульсов. С увеличением мощности ВЧ колебаний β растет быстрее с числом подаваемых импульсов и, достигая определенного значения /в данных условиях $\beta_{max} \approx 100$ /, начинает нерегулярно падать, обращаясь в большинстве случаев в ноль /рис.1б/. Подготовка сквидов с $\beta \ll 1$ проводилась согласно методике настройки при комнатной температуре, изложенной в ^{/1/}. Получение датчика с $\beta \ll 1$ не представляет особенной трудности, поэтому подготовку можно проводить с применением любого серийного Q-метра.

Для определения параметра q непосредственно в процессе настройки был применен простой способ измерения нормального сопротивления R_N точечного контакта, замкнутого сверхпроводящей петлей сквида. Сопротивление определялось путем измерения эффективного затухания, внесенного в высокочастотный контур, индуктивно связанный со сквидом, при резистивном состоянии точечного контакта. Перевод точечного контакта из сверхпроводящего в нормальное состояние проводился наведением в кольцо сквида низкочастотного / $f=400$ кГц/ тока $I_{HЧ}$ с амплитудой, большей I_C . При этом наблюдается исчезновение плат на ВАХ сквида и скачкообразное увеличение добротности ВЧ контура с ростом амплитуды НЧ тока. Выход добротности на плато при дальнейшем росте $I_{HЧ}$ свидетельствует о нахождении контакта в резистивном состоянии в течение всего периода НЧ накачки.

Анализ эквивалентной схемы системы, контура и связанного с ним двухиндуктивного симметричного сквида /рис.2/ дает для определения нормального сопротивления равенство

$$(1 + q^2) \left[\left(1 - \frac{k^2}{2}\right) + q^2 (1 - k^2) \right] = \frac{k^2}{2} q_{\mu} . \quad /1/$$

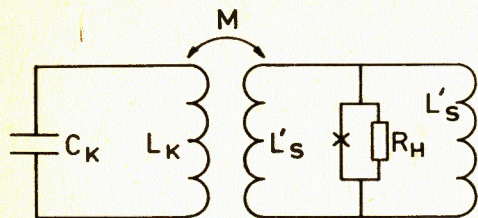


Рис.2. Эквивалентная схема системы контура и связанного с ним сквида.

Здесь $\mu = Q_{\infty} Q_R / (Q_{\infty} - Q_R)$, Q_{∞} - добротность контура при разомкнутом контакте, Q_R - добротность в случае резистивного состояния точечного контакта, $k = M / (L'_s L_k)^{1/2}$ - коэффициент связи контура со сквидом. При значениях $Q^2 \ll 1$, которые в условиях работы на частоте $\omega / 2\pi = 20$ МГц и индуктивности сквида $L_s = 5 \cdot 10^{-10}$ Гн реализуются для $R_H > 0,1$ Ом, выражение /1/ принимает более простой вид:

$$q = 2(1 - \frac{k^2}{2}) / k^2 \mu. \quad /2/$$

Относительная погрешность определения R_H по формуле /2/, вызванная погрешностью измерения Q_R и k , составляла 10% в диапазоне /0,1-10/ Ом.

Проведенные одновременно с настройкой сквида измерения нормального сопротивления точечного контакта показали, что оно скачкообразно падает после подачи первого импульса /при $\beta \ll 1$ / и затем медленно уменьшается с возрастанием числа импульсов. На рис.3 изображена зависимость R_H от n , снятая при настройке датчика №1 /рис.1а/.

Исходя из зависимости критического тока и нормального сопротивления окисленного точечного контакта от числа поступающих в сквид ВЧ импульсов, можно представить процесс настройки в следующем виде: первый импульс, подаваемый при $\beta \ll 1$, вызывает пробой окисного слоя в месте одной из закороток на площади контакта, что приводит к резкому уменьшению R_H и возрастанию I_C . При этом образуется тонкий мостик, который имеет большой, по сравнению с остальными закоротками, критический ток, близкий к I_C всего контакта. В дальнейшем, под действием следующих импульсов, мостик выходит из сверхпроводящего состояния и нагревается с последующим охлаждением до 4,2 К. Происходящие при этом термическом процессе изменения структуры мостика приводят к увеличению критического тока I_C . Нормальное сопротивление контакта меняется незначительно. Падение β после достижения определенного значения можно объяснить выжиганием мостика, что хорошо согласуется с результатом, полученным в /3/, хотя нерегулярность поведения контакта на второй ветви зависимости /рис.1б/ не дает возможности четко представить этот процесс.

На рис.4 показана блок-схема установки для настройки сквидов и измерения параметров β и q . Вырабатываемые генератором Г3

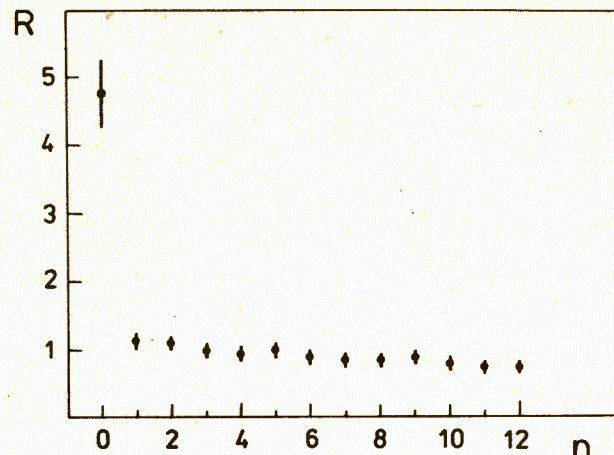


Рис.3. Зависимость сопротивления точечного контакта от числа импульсов.

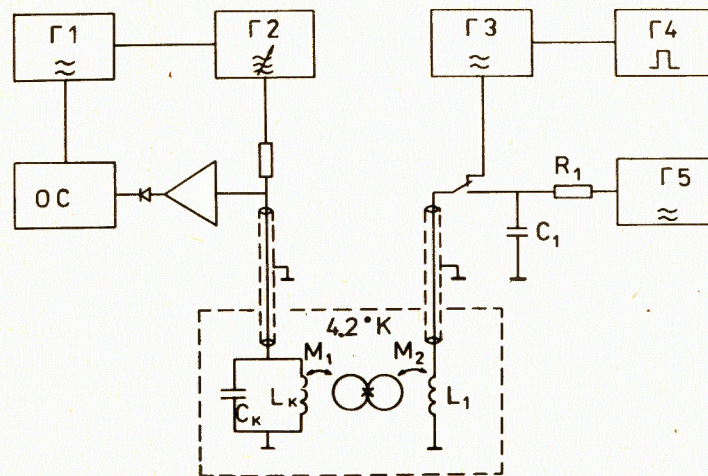


Рис.4. Блок-схема установки для настройки сквидов.

мощные ВЧ колебания модулируются прямоугольными импульсами, поступающими из генератора Г4. Генератор Г3 нагружен на катушку L_1 , которая индуктивно связана со сквидом. В промежутках между импульсами генератор Г5 подключается к контуру $L_1 C_1$ и подает в него НЧ ток частотой $f = 400$ кГц, позволяющий переводить контакт в резистивное состояние. Контур $L_1 C_1$ предназначен для подавления высоких гармоник $I_{НЧ}$, которые могли бы воздействовать на ВЧ контур с резонансной частотой $\omega / 2\pi = 20$ МГц. Высокодоброт-

ный $/Q = 150$ /контур $L_{KK}C_{KK}$ применяется для измерения сопротивления и наблюдения ВАХ сквида /Г1, Г2, ОС/ в промежутках между импульсами.

Описанный метод настройки сквидов с применением мощных ВЧ импульсов позволяет получать устойчивые к термоциклированиям сквиды с известными параметрами β, φ и сигнальными характеристиками, не отличающимися от характеристик сквидов на традиционных точечных контактах. Достаточно высокая для практических применений точность регулирования критического тока может также оказаться полезной при настройке двухконтактных интерферометров, для которых получение одинаковых параметров контактов имеет важное значение.

Автор выражает глубокую благодарность Б.В.Васильеву за постановку задачи и постоянную помощь во время проведения работы, а также В.Ф.Бобракову, В.К.Игнатовичу, В.Н.Полушкину за полезные советы и обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Б.В., Колычева Е.В., Кривой Г.С. ОИЯИ, Б1-13-11342, Дубна, 1978, с. 18.
2. Duret D.W., Bernard P., Zennati D. Rev.Sci.Instrum., 1975, vol. 46, No. 4, p. 474-480.
3. Pascal D. Proceedings of the Second International Conference on Superconducting Quantum Devices. Berlin (West), 1980, p. 417-422.
4. Burhman R.A. et al. J.Appl.Phys., 1974, vol. 45, No. 9, p. 4045-4048.



Рукопись поступила в издательский отдел
22 июня 1984 года.

Тавхелидзе А.Н.

P13-84-436

О настройке сквидов при гелиевых температурах с применением ВЧ импульсов

Экспериментально исследовалось поведение критического тока точечного джозефсоновского контакта при воздействии на сквид относительно мощных ВЧ импульсов. Обнаружено, что действие ВЧ импульсов ведет сначала к возрастанию критического тока точечного контакта, а дальнейшее увеличение числа импульсов вызывает нерегулярное уменьшение критического тока. Разработана методика настройки сквида при гелиевых температурах с одновременным измерением основных параметров контакта.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Tavchelimze A.N.

P13-84-436

On SQUID Adjustment at Helium Temperature with the Use of RF Pulses

The behaviour of critical current of Josephson point contact under influence of SQUID of a relatively powerful rf pulses is experimentally investigated. It is found that the action of rf pulses leads at first to increasing the critical current of point contact, and then further increasing of number of rf pulses causes irregular decrease of critical current. Adjustment technique of SQUID at helium temperatures with a simultaneous measurement of main parameters of point contact is developed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984