

О НИЗКОЧАСТОТНЫХ ШУМАХ В ВТСП КЕРАМИКЕ

И.М.Закосяренко, Е.В.Ильичев, В.В.Кутырев,
Ю.М.Гальперин, В.И.Козуб

Исследуемый квантовый интерферометр (датчик сквида), изготовленный из $YBaCuO_x$ керамики, представляет собой кольцо, замкнутое мостиком. Внутренний и внешний диаметры кольца равны соответственно 0.5–1 и ≈ 3 мм, высота ≈ 4 мм, характерный размер мостика порядка 30 μ . Образцы были изготовлены способом, аналогичным изложенному в [1]. В отверстие интерферометра помещалась катушка резонансного контура с добротностью $Q \approx 50$. Для определения коэффициента преобразования сквида $\eta = dV/d\Phi$ на стенде [2] записывалась зависимость детектированного напряжения на резонансном контуре U от постоянного магнитного потока Φ в сквиде, иначе называемая сигнальной характеристикой. Все измерения проводились в жидком азоте. Температура изменялась с помощью откачки паров азота и контролировалась по их давлению.

Для уменьшения внешнего магнитного поля азотный дьюар помещался в экран из магнитомягких материалов. Сверхпроводящие экраны, также используемые нами, представляли собой полые цилиндры из иттриевой керамики (как с дном, так и без дна) высотой 90 мм, с диаметром внутреннего отверстия 12 мм, толщиной стенок ≈ 3 мм. Соленоид размещался поверх сверхпроводящего экрана, что позволяло замораживать в экране различные магнитные поля. Датчик сквида располагался в сверхпроводящем экране на одинаковом расстоянии от его торцов.

Исследуемые ВТСП интерферометры работали в так называемом безгистерезисном режиме, подробно описанном в [3]. Это означает, что безразмерная индуктивность датчиков $l = 2\pi L_s I_c / \Phi_0 < 1$. Здесь L_s — индуктивность кольца, I_c — критический ток слабой связи, $\Phi_0 = 2.07 \times 10^{-15}$ Вб — квант магнитного потока.

Измерения спектральной плотности шумов проводились на спектрометре на основе персональной ЭВМ типа IBM PC/AT с подключенным крейтом КАМАК. Детектированное ВЧ напряжение подавалось на строб-интегратор, собранный в стандарте КАМАК, выполнявший усреднение измеряемого сигнала. Строб-интегратор содержал два независимых интегратора, включавшихся попеременно. Пока один из интеграторов производил накопление, второй интегратор сначала удерживал накопленный сигнал в течение времени, необходимого для преобразования сигнала 13-разрядным АЦП, а затем сбрасывался. Время интегрирования определялось управляющимися импульсами с таймера и менялось в диапазоне 100 μ s–100 ms. Таким образом, получался массив значений U , эквидистантно распределенных во времени и усредненных за интервал между измерениями. Подробнее работа схемы изложена в [4].

Из полученной зависимости $U(t)$ вычиталась линейная составляющая и проводилось преобразование Фурье полученного массива. Спектральная плотность шума приводилась к магнитному потоку в сквиде с

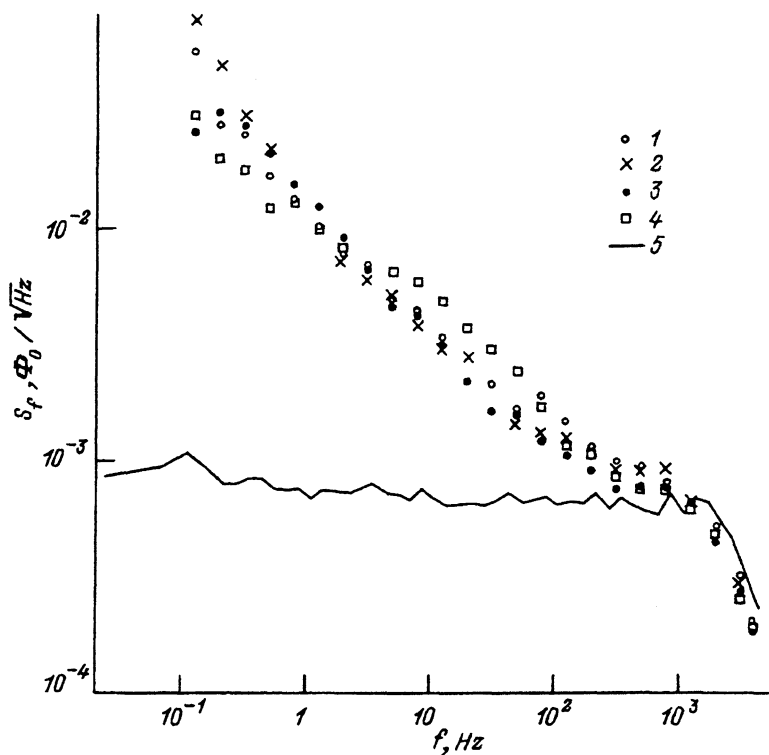


Рис. 1. Спектральная плотность шума магнитного потока, записанная в различных магнитных полях. Сплошная линия — уровень шума измерительной аппаратуры. $H = 0.85$ (1), 0.75 (2), 0.5 (3), 0 Oe (4).

помощью экспериментально определенного коэффициента преобразования. Такая процедура обработки позволяет получить зависимость спектральной плотности шумового магнитного потока в отверстии датчика от частоты в диапазоне частот $f_{\min} = 1/2T$, где T — полное время измерения, до $f_{\max} = 1/2\tau$, где τ — время интерирования [5].

На рис. 1 представлена зависимость спектральной плотности шума магнитного потока от частоты, записанная в разных магнитных полях для одного из интерферометров. Здесь экспериментальные точки 1-4 соответствуют различным магнитным полям. Из рис. 1 видно, что с точностью до ошибки магнитное поле не влияет на величину фликкер-шума.

К такому же выводу приходим в случае, когда изменяемым параметром является температура (рис. 2). Датчик, исследуемый здесь (образец N:2), имел коэффициент преобразования $\eta = 33 \mu\text{V}/F_0$ при $T = 33$ К. При понижении температуры η монотонно уменьшался. Максимально возможное значение коэффициента преобразования при $T = 67$ К составило $\eta = 25 \mu\text{V}/F_0$. Несмотря на это обстоятельство, экспериментально зафиксировать заметное изменение шумовых характеристик при различных температурах не удается.

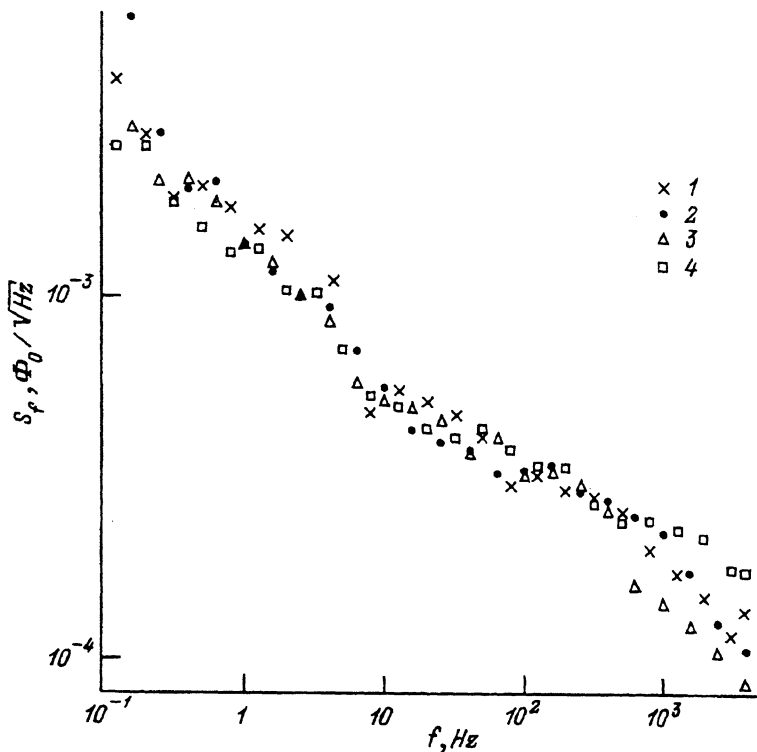


Рис. 2. Спектральная плотность шума магнитного потока, записанная при $T = 67$ (1), 72 (2), 74 (3), 77 К (4).

Таким образом, экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что 1) наблюдаемый шум не связан с перераспределением потока в кольце (в этом случае следовало бы ожидать зависимость шума от внешнего магнитного поля; см. например, [6]), а обусловлен процессами в самой области связи; 2) источник шума является «внешним» по отношению к сверхпроводящему конденсату, в противном случае следовало бы ожидать существенной зависимости шума от близости температуры к T_c (ср. [6]). Наблюдаемое поведение получает объяснение, если предположить, что мы имеем дело с «шумом среды», приводящим к флуктуациям параметра I_c . Механизм такого типа был предсказан ранее в работах [7-9], в которых рассматривались флуктуации критического тока, обусловленные присутствием в области слабой связи специфических структурных дефектов с внутренней степенью свободы — «флуктуаторов». Грубая оценка флуктуаций I_c имеет при этом вид (в предположении, что слабая связь является контактом с непосредственной проводимостью)

$$\frac{\langle (\delta I_c)^2 \rangle_\omega}{I_c} \sim \frac{l_e^2 \langle (\Delta \sigma)^2 \rangle}{V \omega} \bar{P} T F(T).$$

Здесь ω — частота; l_e — длина свободного пробега электронов в контакте; \bar{P} — плотность состояний флуктуаторов; $\Delta \sigma$ — разность сече-

ний рассеяния электронов на флуктуаторе для двух разных его состояний; V — объем контакта; \mathcal{F} — некоторая плавная функция температуры, детали поведения которой зависят от деталей распределения параметров флуктуаторов (соответствующее обсуждение представлено в работе [10]). Как следует из данного выражения, шум при этом определяется характером структурной релаксации материала, не зависит от внешнего магнитного поля и не обнаруживает принципиальной зависимости от близости к T_c .

К сожалению, сравнительно малый температурный интервал не позволяет детально проанализировать плавную зависимость шума от температуры. Таким образом, полученные экспериментальные результаты по меньшей мере не противоречат предсказаниям модели [7-10].

Список литературы

- [1] Закосаренко В.М., Ильичев Е.В., Никифорова Т.В., Тулин В.А. // Письма в ЖТФ. 1973. Т. 13. № 22. С. 1389.
- [2] Антонова И.Ю., Закосаренко В.М., Ильичев Е.В., Розенфланц В.Ж., Тулин В.А. // ЖТФ. 1990. Т. 60. С. 135.
- [3] Закосаренко В.М., Ильичев Е.В., Тулин В.А. // Письма в ЖЭТФ. 1990. Т. 51. С. 275.
- [4] Борисенко И.Ю., Закосаренко В.М., Ильичев Е.В., Орлов А.М. // ПТЭ. 1992. № 1. С. 148.
- [5] Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. М., 1976. С. 419.
- [6] Ferrarì M.J. et al. // Phys. Rev. Lett. 1990. V. 64. P. 72.
- [7] Козуб В.И. // ЖЭТФ. 1984. Т. 87. С. 1410.
- [8] Galperin Yu.M., Gurevich V.L., Kozub V.I. // Europhys. Lett. 1989. V. 10. P. 753.
- [9] Гальперин Ю.М., Гуревич В.Л., Козуб В.И. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 1. С. 155.
- [10] Гальперин Ю.М., Карпов В.Г., Козуб В.И. // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. С. 1123.

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
25 декабря 1992 г.
В окончательной редакции
1 декабря 1993 г.