

- [2] Umezawa A., Crabtree G.W., Lin J.Z. et al. // Phys. Rev. B. V. 36. N 13. P. 7151-7154.
- [3] Atobe K., Yoshida H. // Phys. Rev. B. V. 36 N 13. P. 7194-7196.
- [4] Антоненко С.В., Головашкин А.И., Елесьин В.Ф. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 20. С. 1828-1832.

Московский инженерно-физический институт

Поступило в Редакцию
13 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7

12 апреля 1989 г.

05.4; 12

О СХЕМЕ С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВЧ СКВИДА

Я.С. Гринберг

В настоящее время экспериментально показано, что ВЧ СКВИДы, выполненные на высокотемпературном сверхпроводнике $YBa_2Cu_3O_7$, в принципе не уступают по своим параметрам рядовым гелиевым ВЧ СКВИДам [1, 2]. Дальнейшее повышение чувствительности этих приборов, связанное с уменьшением индуктивности интерферометра, наталкивается на серьезные технологические трудности при формировании в кольце интерферометра джозефсоновского перехода с относительно небольшим критическим током. Характерные размеры такого перехода порядка 50 мкм. Как известно, значительно менее жесткие требования к параметрам джозефсоновского перехода предъявляет схема, в которой полезный сигнал выделяется не на частоте ВЧ возбуждения, а на кратных гармониках этой частоты [3].

Численные расчеты показали, что выделение сигнала на кратных гармониках позволяет в ряде случаев повысить отношение сигнал-шум и увеличить коэффициент преобразования по измеряемому потоку [4].

Применительно к высокотемпературным ВЧ СКВИДам схема, предложенная в [3], была экспериментально осуществлена в работах [5-7]. В [6, 7] была применена схема с независимым возбуждением (рис. 1), причем полезный сигнал на четных гармониках частоты ВЧ возбуждения оказался линейным по измеряемому магнитному потоку Φ_x — обстоятельство, которое является важным для многих практических применений этих устройств. В настоящей работе схема с независимым возбуждением проанализирована для ВЧ СКВИДа, работающего в гистерезисном режиме ($\mathcal{L} = \frac{2\pi L I_c}{\Phi_0} > 1$, где

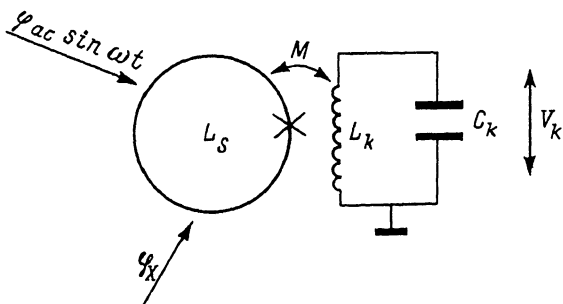


Рис. 1.

L - индуктивность интерферометра, I_c - критический ток джозефсоновского перехода, $\Phi_0 = h/2e$ - квант магнитного потока). Показано, что полезный сигнал на четных гармониках линеен по Φ_x при $\Phi_x \ll LI_c$, а синфазная компонента второй гармоники строго пропорциональна Φ_x во всем диапазоне Φ_x , причем коэффициент преобразования по Φ_x превосходит аналогичную величину для ВЧ СКВИДа, работающего по обычной схеме выделения сигнала на основной частоте.

Будем исходить из пороговой модели гистерезисного интерферометра [8], в которой устойчивые участки зависимости внутреннего магнитного потока Φ от внешнего Φ_e , неявно задаваемые уравнением $\Phi = \Phi_e - LI_c \sin\left(\frac{2\pi\Phi}{\Phi_0}\right)$, аппроксимируются в плоскости (Φ, Φ_e) рядом параллельных отрезков, центры которых расположены в точках $(k\Phi_0, k\Phi_0)$, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

$$\Phi = \alpha(\Phi_e - k\Phi_0) + k\Phi_0 \quad (1)$$

$$|\Phi_e - k\Phi_0| \leq \Phi, \quad \text{где} \quad \text{tg} \alpha = \frac{\arccos(-\frac{1}{I})}{\varphi_c}; \quad \varphi_c = \sqrt{I^2 - 1 + \arccos(-\frac{1}{I})}$$

Пусть на интерферометр воздействует внешний поток

$$\Phi_e(t) = \Phi_x + \Phi_{ac} \sin \omega t, \quad (2)$$

где Φ_{ac} - амплитуда сигнала ВЧ возбуждения. Анализ точных динамических уравнений, описывающих схему рис. 1, показывает, что если не учитывать непосредственное влияние сигнальной катушки на измерительную (что легко осуществить для двухдырочного циммермановского интерферометра, помещая эти катушки в разные отверстия), и настроить резонансный контур на высшие гармоники сигнала возбуждения, то можно пренебречь обратным влиянием резонансного контура на интерферометр. Тогда, выбирая амплитуду ВЧ возбуждения так, чтобы осуществлялись переходы между состояниями $k = -1, 0, +1$ (первое плато вольтамперной характеристики),

получим для ЭДС, наводимой в измерительной катушке, следующее выражение:

$$E = \frac{MI_c}{l} \omega \left\{ y_{ac} \cos \omega t - \sum_{n=1}^{\infty} [n a_n \cos n \omega t - n b_n \sin n \omega t] \right\}, \quad (3)$$

где M — взаимная индуктивность между интерферометром и измерительной катушкой;

$$a_n = \frac{d}{n\pi} \left\{ \cos n \omega t_1^- - (-1)^n \cos n \omega t_1^+ + \cos n \omega t_2^- - (-1)^n \cos n \omega t_2^+ \right\},$$

$$b_n = \frac{d}{n\pi} \left\{ -\sin n \omega t_1^- + (-1)^n \sin n \omega t_1^+ + (-1)^n \sin n \omega t_2^+ + \sin n \omega t_2^- \right\},$$

$$\omega t_1^{\pm} = \arcsin \frac{y_{\pm} y_x}{y_{ac}}; \quad \omega t_2^{\pm} = \pm \arcsin \frac{y_c - 2\pi \pm y_x}{y_{ac}}; \quad (4)$$

$$y_c = \frac{2\pi \Phi_c}{\Phi_0}; \quad y_x = \frac{2\pi \Phi_x}{\Phi_0}; \quad y_{ac} = \frac{2\pi \Phi_{ac}}{\Phi_0}; \quad d = \frac{2\pi \sqrt{b^2 - 1}}{y_c}.$$

Анализируя выражения (4), можно показать, что для четных n коэффициенты a_n и b_n являются нечетными по y_x : $a_n(-y_x) = -a_n(y_x)$, $b_n(-y_x) = -b_n(y_x)$, поэтому при $y_x \ll y_c$ эти коэффициенты линейны по y_x . Что касается второй гармоники, то непосредственные вычисления показывают, что a_2 линейна по y_x строго:

$$a_2(y_x) = G \begin{cases} y_x & 0 < y_x < \pi \\ y_x - 2\pi & \pi < y_x < 2\pi \end{cases}, \quad (5)$$

где

$$G = \frac{2d}{\pi y_{ac}^2} (y_c - \pi).$$

Выделяя модуль $|a_2|$, можно получить треугольную вольтпотокую характеристику, как у гистерезисного СКВИДа, работающего по обычной схеме на основной гармонике.

Пользуясь (3) и (5), вычислим коэффициент преобразования синфазной компоненты второй гармоники по измеряемому потоку Φ_x :

$$\frac{dE_2}{d\Phi_x} = \frac{MI_c \omega Q}{l} 2G = \left\{ \left(\frac{L_k}{L} \right)^{1/2} \frac{\omega}{k} \right\} 2k^2 Q G, \quad (6)$$

где Q — добротность резонансного контура, настроенного на выделение 2-й гармоники, L_k — индуктивность измерительной катушки; $k = M(L L_k)^{1/2}$.

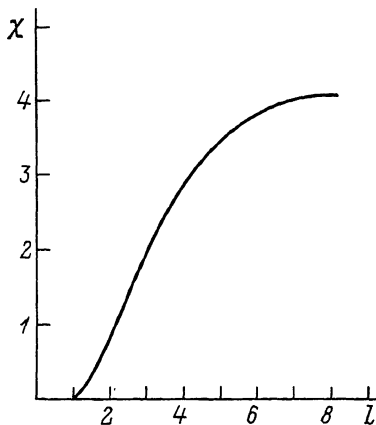


Рис. 2.

В фигурных скобках в (6) стоит коэффициент преобразования СКВИДа, работающего по обычной схеме. Множитель $X = 2k^2 Q G$ позволяет сравнить эти два режима. На рис. 2 приведена зависимость $X(l)$ для $Y_{ac} = Y_c + X$ и значений типичных для обычного режима гистерезисного СКВИДа: $k^2 = 0.05$, $Q = 80$. Из этого графика следует, что в диапазоне $l = 3-8$ коэффициент преобразования на второй гармонике в несколько раз превышает аналогичную величину для основной гармоники.

Таким образом, результаты экспериментов [6, 7] можно объяснить в рамках рассмотренной здесь пороговой модели единичного джозефсоновского перехода. Полученные

расчетные соотношения позволяют оптимизировать работу высокотемпературного СКВИДа в этом новом режиме.

Выражаю благодарность Б.М. Рогачевскому за полезное обсуждение результатов, полученных в работе.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Шнырков В.Н., Цой Г.М., Козырь А.Г., Глянцев Б.Н. // ФНТ. 1988. Т. 14. № 7. С. 770-773.
- [2] Беркин Б.И., Карцовник В.В., Павлов П.П., Павлюк В.А., Таврин Ю.А. // ФНТ. 1988. Т. 14, № 7. С. 774-776.
- [3] Yamashita T., Onodera Y. // J. Appl. Phys. 1979. V. 50. N 7. P. 4503-4508.
- [4] Рогачевский Б.М. Сверхпроводниковые средства измерений. Новосибирск, НЭТИ. 1986. 80 с.
- [5] Pegrum C.M., Buckley J.R., Odehna M. // Applied Superconductivity conference. San Francisco, CA, USA. 21-25 Aug. 1988. Extended Abstracts. P. 19.
- [6] Gallop J.C., Lilleyman S., Langham C.D., Radcliffe W.J., Stewart M. // IBID. P. 20.
- [7] Gallop J.C., Lilleyman S., Langham C.D., Radcliffe W.J., Gee M., Stewart M. // Cryogenics. 1988. V. 28. N 10. P. 691-693.

Новосибирский электротехнический институт

Поступило в Редакцию
16 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7
05.2

12 апреля 1989 г.

ФАЗОВЫЙ НАКЛЕП ПРИ МАГНИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ В СПЛАВАХ ХРОМА

А.К. Б у т ы л е н к о

Охрупчивание хрома и его сплавов в области нормальных температур связывалась с антиферромагнетизмом [1]. Однако корреляция между температурой Нееля (T_N), температурой перехода в хрупкое состояние (T_X), микротвердостью (H_V) в сплавах систем $Cr-Re$, $Cr-Ru$, $Cr-Os$, $Cr-Fe$, отличающихся по характеру зависимости T_N от концентрации добавок (Re , Ru , Os повышают, а Fe понижает T_N), не была обнаружена [2, 3]. Это послужило основанием для отрицания влияния магнитных превращений в сплавах хрома на их прочностные свойства.

