

05.4;12

©1994

## БАЗОВАЯ ЯЧЕЙКА СИНХРОННЫХ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ СТРУКТУР НА ОДИНОЧНЫХ КВАНТАХ МАГНИТНОГО ПОТОКА

*В.К.Корнев, А.Д.Маштаков, Г.А.Овсянников*

Сверхпроводящие джозефсоновские схемы, работа которых основана на использовании одиночных квантов магнитного потока, находят в настоящее время широкое применение в разработке импульсных и цифровых устройств так называемой быстрой одноквантовой (БОК) логики. Взаимодействие джозефсоновских переходов в БОК схемах осуществляется за счет генерации и передачи одноквантовых импульсов напряжения с "площадью"

$$\int V dt = \Phi_0 = h/2e$$

по структуре, состоящей из сверхпроводящих квантовых интерферометров. Уже первые расчеты [1,2] и косвенные эксперименты указывают на возможность использования регулярных БОК структур в качестве одно- и двумерных решеток для генерации излучения в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах волн. Поэтому представляется актуальным проведение детального анализа возможных базовых ячеек таких структур.

В настоящей работе исследовалась ячейка, представляющая собой  $4J$ -интерферометр (рис. 1,а) с индуктивным параметром  $l = 2\pi LI_c/\Phi_0 \simeq 1$ . Анализ проводился путем численного моделирования динамики процессов и вычисления вольт-амперных характеристик (ВАХ) с помощью специальной программы PSCAN [3]. Область синхронной генерации определялась по наличию общего участка на ВАХ джозефсоновских переходов, а синфазность генерации контролировалась по эпюрам напряжения на джозефсоновских переходах.

Наиболее сильно эффект синхронизации джозефсоновских переходов ячейки проявляется в режиме генерации, соответствующем периодическому прохождению пар квантов магнитного потока через контур ячейки, когда пара квантов потока сначала входит в ячейку, например через переходы  $J_1, J_3$ , а затем покидает ее через другую пару переходов  $J_2$ ,

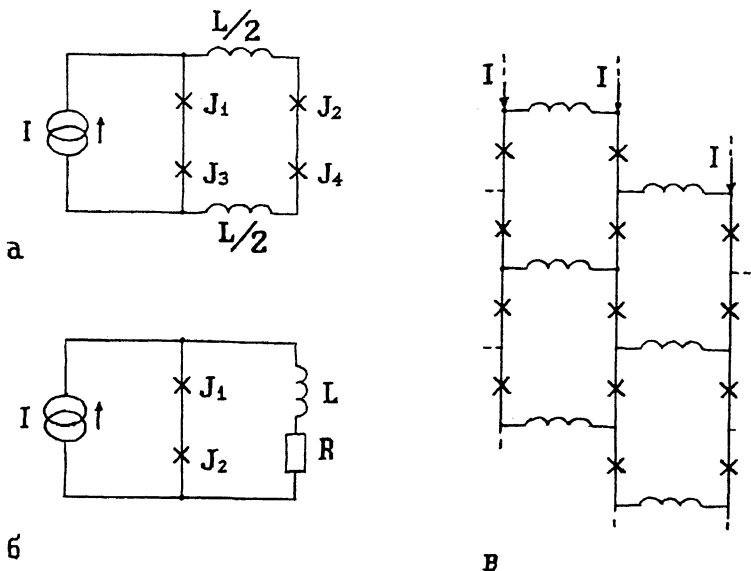


Рис. 1. Базовые ячейки синхронных структур, 4J-интерферометр (а) и “классическая” двухконтактная ячейка с  $RL$  связью (б), пример двумерной структуры на основе 4J-ячеек (в).

Крестиками обозначены джозефсоновские переходы, стрелками указано направление токов смещения.

$J_4$ . В результате этого происходит генерация одноквантовых импульсов напряжения джозефсоновскими переходами ячейки: синфазно в пределах каждой пары переходов, но в противофазе по отношению к переходам другой пары.

Основным параметром, определяющим перспективность ячейки для создания на ее основе синхронных структур, является максимальная разность критических токов  $(\Delta I_c)_{\max}$  джозефсоновских переходов, в пределах которой сохраняется синхронизм их джозефсоновской генерации. Проведенный анализ показал, что наибольшая величина  $(\Delta I_c)_{\max} \approx \pm 40\%$  имеет место при значении параметра Маккамбера  $\beta \approx 1 \dots 1.5$  и  $l \approx 1 \dots 2$ . На рис. 2 показано семейство областей синхронной генерации джозефсоновских переходов ячейки с частотой  $F$  на плоскости параметров  $\Delta I_c / I_c$  и  $F / F_c$  ( $F_c$  — характерная джозефсоновская частота) для нескольких значений параметра  $\beta$  при  $l = 1$ . Для  $\beta = 1$  пунктирной линией показана также “условная” область синхронной генерации, соответствующая резистивному участку гистерезисной ВАХ джозефсоновского перехода при  $I < I_c$ . Штрихпунктирной линией на этом рисунке показана область синхронной генерации для “классиче-

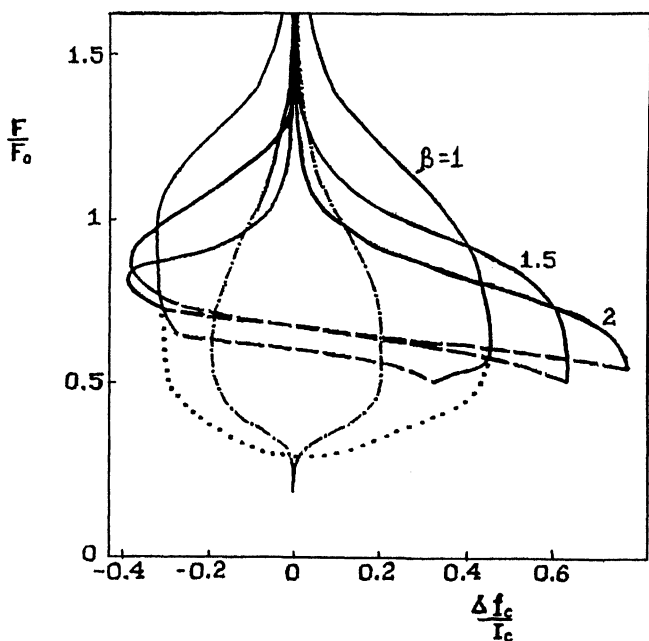


Рис. 2. Границы областей синхронной генерации для разных значений  $\beta$  (сплошные и штриховые линии), штриховая линия соответствует скачку на резистивную ветвь гистерезисной ВАХ при  $I = I_c$ , пунктирной линией указана для  $\beta = 1$  "условная" область синхронной генерации при  $I < I_c$ , штрихпунктирная линия — границы области синхронного режима для двухконтактной ячейки.

ской" двухконтактной ячейки с  $RL$  цепью электродинамической связи (рис. 1, б) при значениях параметров  $\beta = 1$ ,  $l = 1$ ,  $r = R/R_n = 1$ , обеспечивающих наибольшую для этой ячейки величину  $(\Delta I_c)_{\max} \approx \pm 20\%$ .

Величина параметра  $(\Delta I_c)_{\max}$  зависит от величины возбуждающегося в петле ячейки высокочастотного тока, который, протекая через джозефсоновские переходы, оказывает на них синхронизирующее воздействие. Так, в случае двухконтактной ячейки с  $RL$  цепочкой электродинамической связи размах колебаний высокочастотного тока при  $l = 1$ ,  $r = 1$ ,  $\beta = 1$  составляет примерно  $1.2I_c$ , в то время как в ячейке на основе  $4J$ -интерферометра этот размах достигает  $3I_c$  (при  $l = 1$ ,  $\beta = 1$ ). Это является результатом того, что в  $4J$  ячейке обе пары джозефсоновских переходов принимают участие в формировании высокочастотного тока в качестве активных элементов, которые последовательно переключают ток питания из одной параллельной цепи в

другую. Иными словами, в режиме периодического прохождения пар квантов магнитного потока через контур ячейки пары джозефсоновских переходов  $J_1$ ,  $J_3$  и  $J_2$ ,  $J_4$  образуют последовательно включенные в этот контур синфазные генераторы переменного тока.

На рис. 1, в показан пример построения двумерной синхронной структуры на основе  $4J$  ячеек. Полученные результаты позволяют предполагать, что синхронный режим работы такой структуры будет сохраняться при достаточно большом разбросе параметров джозефсоновских переходов.

### Список литературы

- [1] *Литарев К.К., Семенов В.К., Зорин А.Б.* Новые возможности для сверхпроводниковой электроники. Итоги науки и техники. Сер. Сверхпроводимость. М.: ВИНТИ, 1988.
- [2] *Бабаян Г.Э., Кокоулин М.А., Овсянников Г.А.* // Радиотехника и электроника. 1993. Т. 38. С. 566.
- [3] *Polonsky S.V., Semenov V.K., Shevchenko P.N.* // Proc. ISEC'91. Glasgow, Scotland, 1991. P. 160.

Московский государственный  
университет им. М.В.Ломоносова

Поступило в Редакцию  
24 мая 1994 г.  
В окончательной редакции  
14 октября 1994 г.