

## Сверхпроводниковый генератор гетеродина для интегрального приёмника субММ диапазона

### Flux-flow oscillator for superconducting integrated receivers

*Н. В. Кинев, В. П. Кошелец*  
*N. V. Kinev, V.P. Koshelets*

Сверхпроводниковый интегральный приёмник включает в себя генератор гетеродина ФФО, двойную дипольную антенну, СИС-смеситель, а также дополнительный гармонический СИС-смеситель, использующийся для стабилизации частоты гетеродина. Все элементы расположены на одной микросхеме приёмника. В статье представлены результаты исследования работы ФФО в частотном диапазоне 200-400 ГГц. Получена непрерывная перестройка частоты ФФО при ширине линии генерации менее 7 МГц во всей полосе.

Superconducting Integrated Receiver (SIR) comprises in one chip a planar antenna combined with an SIS mixer, a superconducting Flux Flow Oscillator (FFO) acting as a local oscillator and a second SIS harmonic mixer (HM) for the FFO phase locking. In this paper the results of the FFO study at 200-400 GHz are presented. The linewidth well below 7 MHz and possibility of continuous frequency tuning in all this frequency range has been demonstrated.

В ИРЭ РАН разрабатывается уникальный сверхпроводниковый интегральный приёмник (СИП) субММ диапазона длин волн [1, 2]. Такой приёмник разработан и успешно испытан в рамках проекта «TELIS» в частотном диапазоне 500-650 ГГц. СИП является одним из наиболее перспективных бортовых приборов для проектов по исследованию атмосферы и радиоастрономии, поскольку он очень компактен, обладает достаточно низкой шумовой температурой в диапазоне 100-1000 ГГц, а его чувствительность ограничена лишь квантовым пределом. Генератор гетеродина размещается на микросхеме приёмника и представляет собой распределённый Джозефсоновский переход (Flux Flow Oscillator, ФФО), частота его генерации связана с напряжением соотношением Джозефсона

$$f_{\text{ФФО}} = \frac{2eV_{\text{ФФО}}}{hc},$$

где  $h$  и  $c$  – постоянная Планка и скорость света соответственно,  $e$  – заряд электрона. Перспективно использование такого спектрометра в проекте «Миллиметрон», который предполагает создание космической обсерватории миллиметрового, субММ и инфракрасного диапазонов длин волн. СИП может быть удачно применён на высокогорном плато Суффа, где строится Радиотелескоп РТ-70, предназначенный для работы с проектом «Миллиметрон», с рабочим диапазоном частот принимаемого излучения 5 – 300 ГГц.

В работе была спроектирована и разработана тестовая микросхема для исследования характеристик генератора ФФО в частотном диапазоне 200-400 ГГц, измерена ширина линии его генерации.

При напряжениях, меньших  $V_{\text{gap}}/3$ , где  $V_{\text{gap}}$  – целевое напряжение перехода, ФФО работает в резонансном режиме: его ВАХ представляют собой равноотстоящие участки, так называемые ступени Фиске [3, 4]. На данный момент СИС-переходы (сверхпроводник-изолятор - свехпроводник) для СИП изготавливаются на основе Nb-AlN-NbN структур, у которых

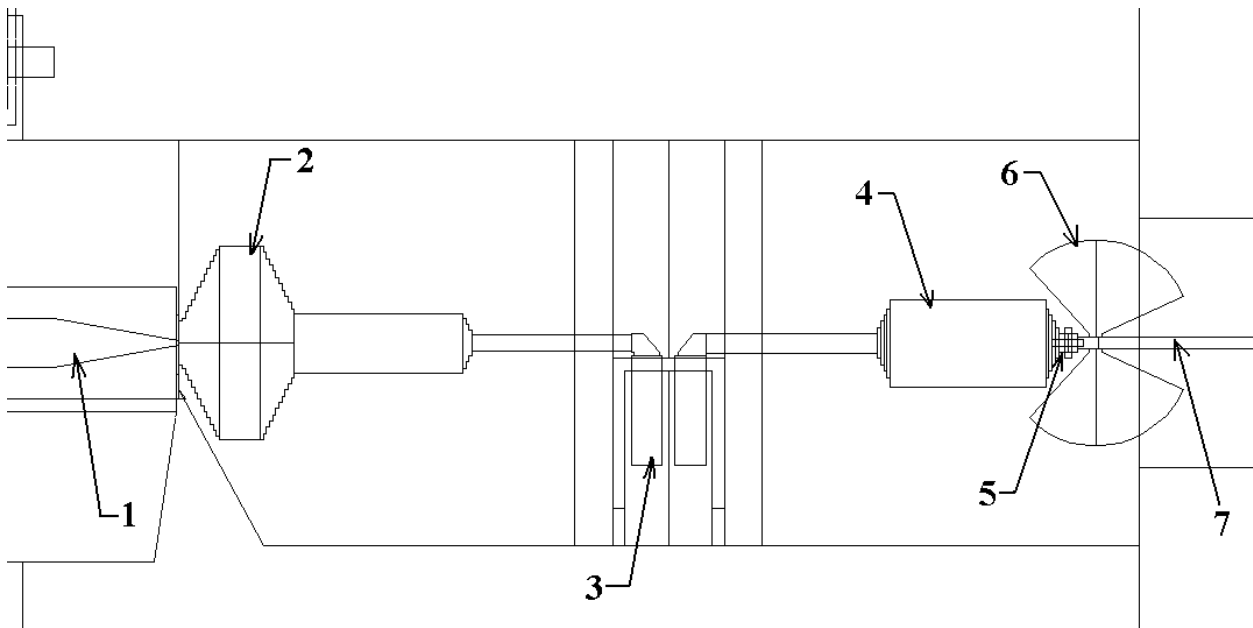
щелевое напряжение составляет примерно 3,7 мВ, поэтому в частотном диапазоне ниже 600 ГГц ФФО работает в резонансном режиме. Это усложняет задачу создания СИП в диапазоне 200 - 400 ГГц, поскольку на краях ступеней Фиске линия генерации получается крайне широкой, а из-за скачков между ступенями отсутствует возможность непрерывной перестройки частоты генерации, которая необходима для успешной работы СИП.

Схематический рисунок центральной части микросхемы для исследования свойств ФФО представлен на рис. 1. Гармонический смеситель (ГС) представляет собой сосредоточенный Джозефсоновский переход и используется для стабилизации частоты ФФО в системе фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Топология согласующей линии между ФФО и ГС спроектирована специальным образом, чтобы до смесителя доходила достаточная мощность (более 10%) в широком диапазоне частот для измерения линии генерации. Упрощённая блок-схема измерительной установки представлена на рис. 2. Сигнал с ГС на промежуточной частоте (ПЧ) поступает на спекроанализатор, который производит измерение ширины линии.

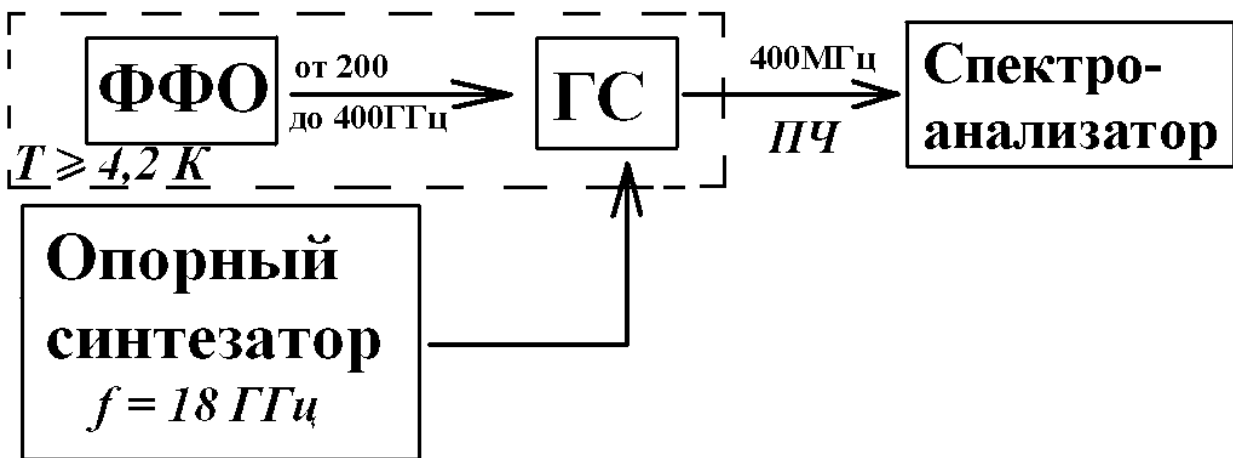
При температуре 4,2 К (кипения жидкого гелия) ступени Фиске в исследуемой области практически вертикальные, так что добиться непрерывной подстройки напряжения на ФФО оказалось невозможным. Однако, при небольшом увеличении температуры микросхемы (примерно до 5 К) ступени становятся достаточно наклонными, что позволяет проводить непрерывное измерение ширины линии в зависимости от частоты генерации в широком диапазоне токов. На рис. 3 показана экспериментально измеренная зависимость ширины линии от её частоты генерации при трёх различных токах смещения ФФО. Результат измерений приведён для небольшого диапазона частот, охватывающего три ступени Фиске, так что учтены области между ступенями, где ширина линии наибольшая. Для реализации режима стабилизации частоты с помощью современной системы ФАПЧ, что необходимо для успешной работы спектрометра, линия генерации ФФО не должна превышать 7 МГц. Видно, что при любом напряжении возможно нахождение такого значения тока, при котором ширина линии меньше 7 МГц. Это позволяет реализовать как непрерывную перестройку частоты ФФО, так и режим ФАПЧ, во всём диапазоне частот 200-400 ГГц, что открывает возможность создания СИП на этих частотах для новых радиоастрономических проектов.

## Литература

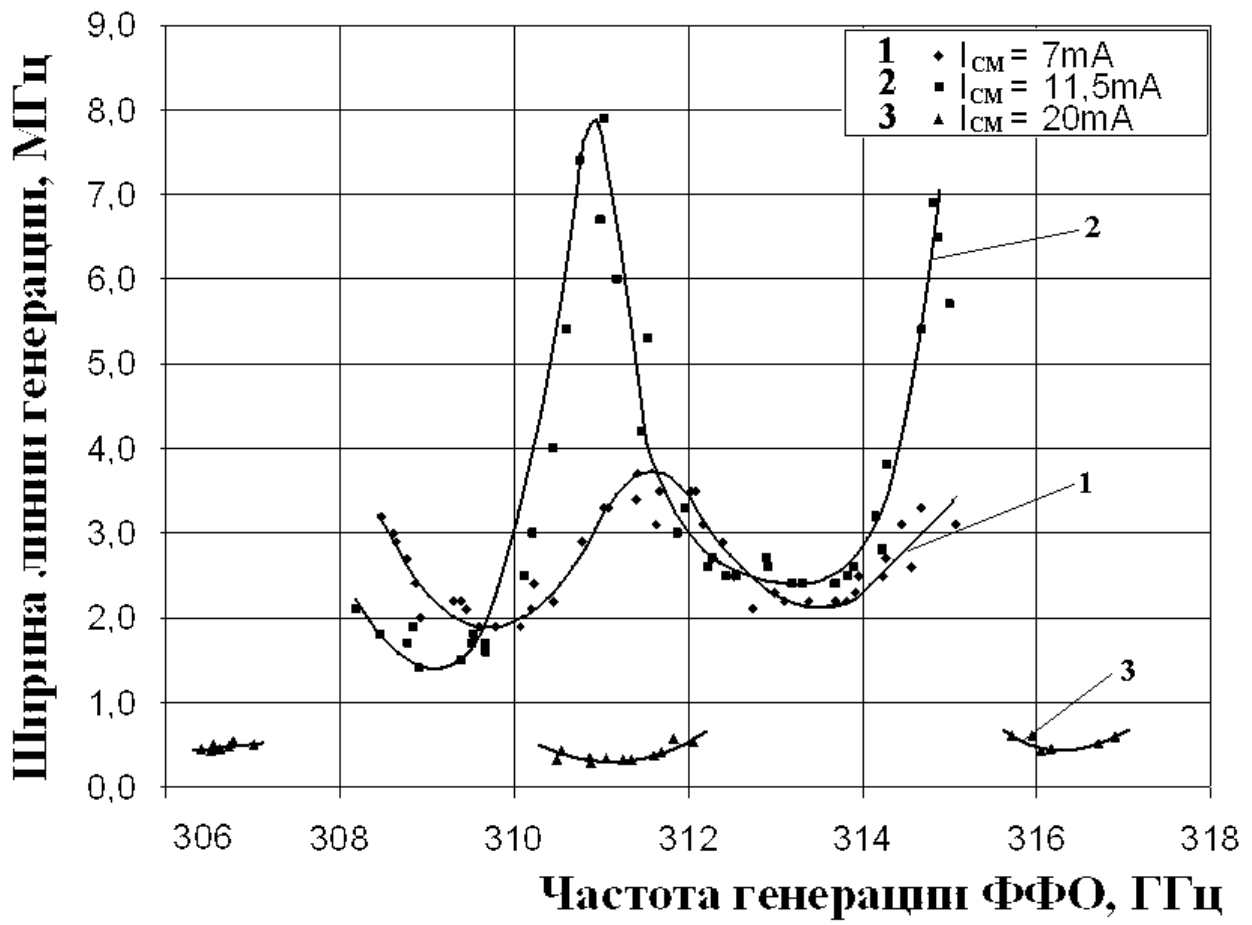
1. *Koshelets V.P., Shitov S.V.* Integrated Superconducting Receivers. – Superconductor Science and Technology, 2000, vol.13, no.5, p.R53-R69.
2. *Koshelets V.P., Shitov S.V., Filippenko L.V.* et al. First Implementation of a Superconducting Integrated Receiver at 450 GHz. – Applied Physical Letters, 1996, vol.68, p.1273.
3. *Milan D.Fiske* Temperature and Magnetic Field Dependences of the Josephson Tunneling Current. – Reviews of Modern Physics, 1964, vol.36, p.221 – 222.
4. *Koshelets V.P., Shitov S.V., Shchukin A. V.* et. al. Self-pumping effects and radiation linewidth of Josephson flux-flow oscillators. – Physical Review B, 1997, vol. 56, p.5572–5577.



**Рис. 1.** Схема микрополосковой структуры для измерения характеристик ФФО. Основные элементы обозначены цифрами: 1) ФФО, 2) согласующий трансформатор импеданса, 3) разрыв по постоянному току, 4) дополнительный согласующий трансформатор, 5) гармонический смеситель, 6) радиальный замыкатель, 7) выход гармонического смесителя.



**Рис 2.** Блок-схема измерительной установки для измерения ширины линии генерации ФФО (ПЧ – промежуточная частота).



**Рис. 3.** Зависимость ширины линии генерации ФФО от частоты генерации при различных токах смещения.