

Линзовая щелевая антенна для джозефсоновского широкополосного генератора ТГц диапазона

Н.В. Кинев^{1,*}, К.И. Рудаков^{1,2,3}, А.М. Барышев³, В.П. Кошелец¹

¹ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, ул. Моховая, 11 стр.7, Москва, 125009.

² Московский физико-технический институт, Институтский пер., 9, Долгопрудный, Московская обл., 141701.

³ Университет Гронингена, Гронинген, Нидерланды.

*nickolay@hitech.cplire.ru

Предложена схема генератора терагерцового (ТГц) диапазона на основе распределённого туннельного СИС-перехода, в которой генератор интегрирован на одной микросхеме с планарной щелевой передающей антенной на кремниевой линзе и излучает сигнал в открытое пространство. Предложены и численно рассчитаны несколько конструкций щелевой антенны, согласованной (по входу) с джозефсоновским генератором и (по выходу) с кремниевой эллиптической линзой. Представлены результаты расчётов согласования выходной мощности генератора с антенной различных конструкций, рассчитанных на три частотных диапазона: 250-410 ГГц, 330-570 ГГц и 420-700 ГГц; рассчитаны диаграммы направленности и импеданс антенн.

Введение

Одной из проблем современной радиофизики, астрономии и спектроскопии является отсутствие широкополосных источников в ТГц области частот. Генератор на основе сверхпроводникового туннельного СИС-перехода с геометрической длиной много больше джозефсоновской длины представляется перспективным источником в ТГц диапазоне. Такой генератор на основе туннельных структур Nb/AlOx/Nb и Nb/AlN/NbN обладает широкой рабочей полосой от 200 до 750 ГГц, что составляет порядка 100% от центральной частоты, и до настоящего момента применялся исключительно в качестве гетеродина в составе интегральных приёмных схем для накачки детектора. Неизвестны работы с попыткой вывода его излучения в открытое пространство, такая работа представляется целесообразной и интересной с практической точки зрения, поскольку генератор обладает сверхширокой рабочей полосой, достаточно прост в эксплуатации, относительно недорогой в изготовлении по сравнению с другими ТГц источниками и имеет достаточную мощность для решения многих практических задач – гетеродинное детектирование, спектроскопия газов.

Концепция ТГц генератора

Принцип работы генератора на основе распределённого СИС-перехода подробно описан в классических работах (например, [1]), его современные

характеристики в составе сверхпроводникового интегрального приёмника диапазона 450-650 ГГц представлены в работе [2]. Так, на сегодняшний день диапазон генерации одного образца генератора на основе Nb/AlN/NbN размером 400x16 мкм² составляет от 200 до 750 ГГц с шириной линии генерации порядка 1 МГц, при этом верхняя граница области генерации ограничена половиной энергетической щели сверхпроводника, образующего линию передачи, и потенциально может составлять до 1 ТГц. Частота генерации определяется фундаментальным соотношением Джозефсона $hf = 2eV_{DC}$, где V_{DC} – постоянное напряжение на переходе. Для стабилизации частоты излучения и синхронизации мощности в центральном пике используется система ФАПЧ, которая сужает фактическую ширину линии до величины порядка 1 Гц и собирает до 97% мощности излучения в пике.

Ключевая идея конструкции генератора в данной работе заключается в том, что генератор интегрирован с передающей антенной на одной микросхеме (рис. 1а), которая размещается на поверхности собирающей эллиптической линзы из кремния (рис. 1б). Таким образом, основная задача заключается в согласовании по мощности генератора с квазиоптической антенно-линзовой системой, а также в создании требуемой диаграммы направленности излучения.

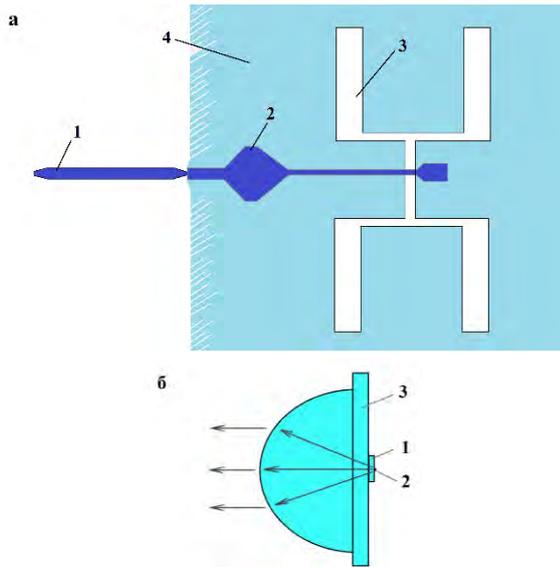


Рис. 1. а – схематичное изображение планарной интегральной структуры ТГц генератора (1) на основе распределённого СИС-перехода, согласованного посредством микрополосковой линии (2) с щелевой антенной (3). Щелевая структура создана в слое металлизации (4), который является также нижним электродом микрополосковой линии. б – схематичное изображение микросхемы (1) с планарной интегральной структурой генератора и антенны (а), размещённой в дальнем фокусе (2) кремниевой линзы (3). Рисунки (а), (б) выполнены не в масштабе, размеры и пропорции элементов не соблюдены

Результаты численного расчёта

Расчёты согласования генератора с антенной по мощности и излучающей структуры антенн проводились в специализированной программе трёхмерного численного моделирования CST Studio. На рис. 2 представлены результаты расчёта согласования по мощности для трёх конструкций антенн, рассчитанных на центральные частоты 350 ГГц, 450 ГГц и 600 ГГц, – показан процент мощности излучения в открытое пространство от полной выходной мощности генератора. Более 70% мощности излучается антеннами в диапазонах 250 - 410 ГГц, 330 - 570 ГГц и 420 - 700 ГГц, при этом характер зависимости достаточно равномерный в окрестности центральной частоты. На рис.3 показаны диаграммы направленности антенн центральной частоты 450 ГГц и 600 ГГц, подавляющая часть мощности сосредоточена в центральном лепестке. Набор диаграмм на разных частотах рабочего диапазона показывает, что мощность боковых лепестков уменьшается при приближении к центральной частоте диапазона. Все расчёты производились без

учёта линзы, добавление линзы к антенне существенно уменьшает ширину и увеличивает мощность центрального лепестка диаграммы, при этом физически не влияет на зависимость из рис. 2. Следующим этапом работы должно стать изготовление рассчитанных сверхпроводниковых структур и экспериментальные исследования генератора.

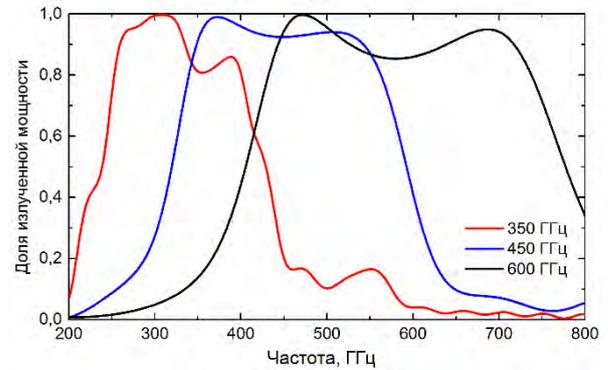


Рис. 2. Доля мощности, излучённой антенной трёх различных конструкций, в полный телесный угол 4π

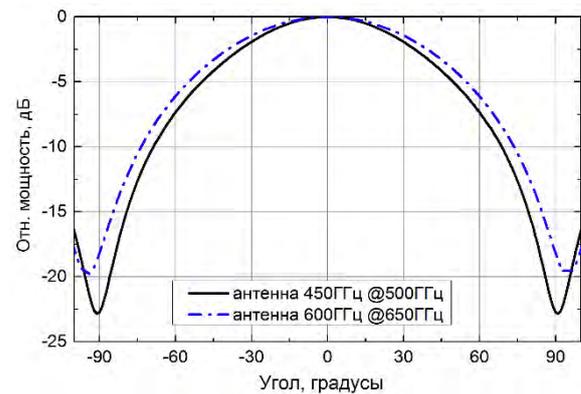


Рис. 3. Диаграммы направленности антенн диапазона 330 - 570 ГГц на частоте 500 ГГц и 420 - 700 ГГц при 650 ГГц

Предложенный ТГц генератор на направленном потоке джозефсоновских вихрей (флаксонов) представляется интересным решением ТГц источника для круга задач, где требуется широкая рабочая полоса перестройки и стабильность, при этом не требуется высокая мощность.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20343).

Литература

1. T. Nagatsuma, K. Enpuku, F. Iri, K. Yoshida. // J. Appl. Phys., V. 54., P. 3302 (1983)
2. G.de Lange, D. Boersma *et al.* // Supercond. Sci. Technol., V. 23, 045016 (2010).