

09;10

Оротрон с двухрядной периодической структурой терагерцового диапазона частот с широким электронным потоком

© Е.А. Мясин, В.В. Евдокимов, А.Ю. Ильин

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН
E-mail: eam168@ms.ire.rssi.ru

Поступило в Редакцию 11 января 2012 г.

Впервые экспериментально в оротроне с двухрядной периодической структурой диапазона 140–300 GHz со сфероцилиндрическим фокусирующим зеркалом открытого резонатора, образующая цилиндра которого параллельна электронному потоку, показана возможность увеличения мощности генерации за счет увеличения ширины потока.

В настоящее время идет интенсивное освоение терагерцового диапазона частот. Таким образом, в этот диапазон попадает коротковолновая часть миллиметрового диапазона волн, начиная с 2 mm диапазона (100–150 GHz), и 1 mm диапазон (150–300 GHz). Проблема увеличения генерируемой мощности в этих диапазонах волн для приборов О-типа с рабочим напряжением до 20 kV является актуальной, и один из путей ее решения возможен в оротроне с двухрядной периодической структурой (ДПС) за счет увеличения ширины плоского электронного потока.

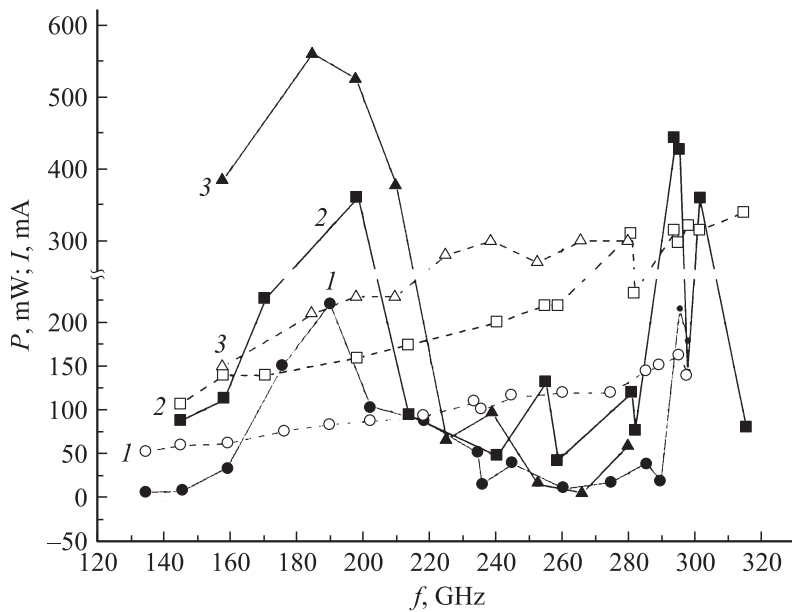
Оротрон был предложен Ф.С. Русиным и Г.Д. Богомоловым в 1966 году [1]. Отличительной особенностью этого прибора была открытая гребенчатая периодическая структура, расположенная на плоском

зеркале открытого резонатора (ОР). Плоский электронный поток проходил над гребнями этой структуры. Его фокусировка осуществлялась внешним магнитным полем. С тех пор появилось достаточно много разновидностей приборов с ОР как с названием оротрон, например [2], так и с другим названием, например [3]. В оротроне с ДПС [2] в отличие от однорядной „гребенки“ [1] между рядами ДПС имеется плоская щель для пролета электронного потока. Исследования оротрона с ДПС имеют в ИРЭ АН СССР и ИРЭ РАН длинную историю [4] и в настоящее время направлены на возможность использования преимуществ этого прибора в терагерцовом диапазоне частот [5].

В работе [6] теоретически было показано, что в оротроне с ДПС с полусферическим ОР сантиметрового диапазона волн ширину электронного потока ($2C$) можно увеличивать до 2 радиусов каустики (r_c), не уменьшая эффективности электронно-волнового взаимодействия. Объясняется это тем, что в таком ОР распределение амплитуды ВЧ-поля основного типа колебания TEM_{00q} является гауссовым как вдоль, так и поперек электронного потока. Однако, пока $2C \leq 2r_c$, уменьшение амплитуды поля на краях электронного потока компенсирует увеличение рабочего тока за счет увеличения его ширины при неизменной плотности тока в пролетном канале. В оротроне с ДПС в упомянутых ранее диапазонах, особенно в 1 мм диапазоне, для уменьшения пускового тока генерации приходится использовать ДПС с числом периодов N более 100, т.е. более длинные, чем в оротронах сантиметрового и миллиметрового диапазона, где $N \approx 20$. Поэтому для создания нужного распределения амплитуды поля вдоль пространства взаимодействия прибора использование полусферического ОР невозможно. В оротроне 1 мм диапазона необходимо использовать ОР с фиксирующим зеркалом другой формы.

С этой целью нами впервые были проведены эксперименты с оротроном диапазона 140–300 GHz со сфероцилиндрическим фокусирующим зеркалом ОР, с образующей цилиндра, параллельной электронному потоку.

Детальная конструкция экспериментального макета, работающего при непрерывной откачке (рабочий вакуум $\sim 2 \cdot 10^{-7}$ mm Hg) и импульсном режиме питания, описана в [7]. В таком ОР распределение амплитуды ВЧ-поля поперек электронного потока имеет гауссов вид. Поэтому, согласно [6], ширину электронного потока можно увеличить



Зависимости выходной мощности (сплошные кривые) и тока пучка (пунктир) от частоты генерации при ширине катода 5 mm (1), 7 mm (2) и 10 mm (3).

до $(2-3)r_c$, увеличив тем самым рабочий ток и генерируемую оротроном мощность.

Параметры зеркала таковы: радиусы кривизны цилиндрической и сферической частей $R_{cyl} = R_{sph} = 65$ mm, расстояние между зеркалами $H_{OR} = 10$ mm. Поэтому для $\lambda = 1.5$ mm радиус каустики на плоском зеркале, ширина которого 11 mm, $r_c = 3.34$ mm, а для $\lambda = 1.0$ mm $r_c = 2.74$ mm. В оротроне с ДПС, имеющий период 0.2 mm и длину 33 mm были проведены измерения диапазона перестройки при 3 значениях ширины электронного потока: 5, 7 и 10 mm. Результаты эксперимента приведены на рисунке.

Как видно на рисунке, при ширине 7 mm мощность генерации возрастает по сравнению с шириной потока при 5 mm практически во всем диапазоне перестройки по частоте. Особенно четко это видно на частотах двух резонансов 195 GHz и около 300 GHz, где она возрастает

в два раза. При этом ширина электронного потока на частоте 195 GHz составляет $2.1r_c$, а на частоте 300 GHz — $2.55r_c$. При увеличении ширины потока до 10 mm мощность генерации вблизи частоты 195 GHz возрастает уже в 3 раза, но, начиная с частоты 245 GHz, становится меньше даже мощности генерации при ширине потока в 5 mm. При этом ширина электронного потока на частоте 195 GHz составляет $3.0r_c$, а на частоте 250 GHz — $3.3r_c$. В этой связи мы не стали проводить измерения для высокочастотной части диапазона перерестройки.

Таким образом, при использовании в оротроне с ДПС ОР со сфероцилиндрическим фокусирующим зеркалом, образующая цилиндра которого параллельна электронному потоку, увеличение мощности генерации возможно за счет увеличения его ширины до $3r_c$, как и было предсказано теоретически в работе [6].

Работа выполнена при частичной поддержке программы ОФН РАН „Современные проблемы радиофизики“.

Список литературы

- [1] Русин Ф.С., Богомолов Г.Д. // Письма в ЖЭТФ. 1966. Т. 4. № 6. С. 236–239.
- [2] Цейтлин М.Б., Мясин Е.А. // РЭ. 1993. Т. 38. № 6. С. 961.
- [3] Генераторы дифракционного излучения / Под ред. В.П. Шестопалова. Киев: Наук. думка, 1991. 320 с.
- [4] Мясин Е.А. // Радиотехника. 2004. № 2. С. 22–32.
- [5] Мясин Е.А. // РЭ. 2008. Т. 53. № 9. С. 1–15.
- [6] Цейтлин М.Б., Мясин Е.А., Нутович Л.М. // РиЭ. 1990. Т. 35. № 11. С. 2364.
- [7] Мясин Е.А., Евдокимов В.В., Ильин А.Ю. // РЭ. 2011. Т. 56. № 4. С. 454–467.