

*Соболев Д.И., Самсонов С.В., Денисов Г.Г.
Федеральный исследовательский центр*

Институт прикладной физики РАН

Широкополосный преобразователь поляризаций моды TE_{11} круглого волновода для ввода и вывода излучения в gyro-ЛБВ

Для ввода и вывода излучения gyro-ЛБВ через одно окно разработана геометрия волноводного преобразователя, превращающего моды TE_{11} круглого волновода с ортогональными линейными поляризациями во вращающиеся моды TE_{11} с противоположным вращением. Поляризатор обеспечивает разделение поляризаций 24 дБ в полосе частот 15%.

Ключевые слова: Многомодовый волновод, волноводный преобразователь, гиротронная лампа бегущей волны, gyro-ЛБВ.

Для gyro-ЛБВ с оригинальной схемой ввода и вывода излучения через одно окно [1-3] необходим волноводный преобразователь, обеспечивающий трансформацию линейно-поляризованного СВЧ-излучения обеих поляризаций в моду TE_{11} круглого волновода противоположных вращений в полосе частот 15%. При проникновении заметной доли мощного выходного излучения обратно во входной канал возможен выход устройства из строя, поэтому от преобразователя требуется разделение поляризаций на уровне около 25 дБ. Схема ввода и вывода излучения показана на Рис. 1.

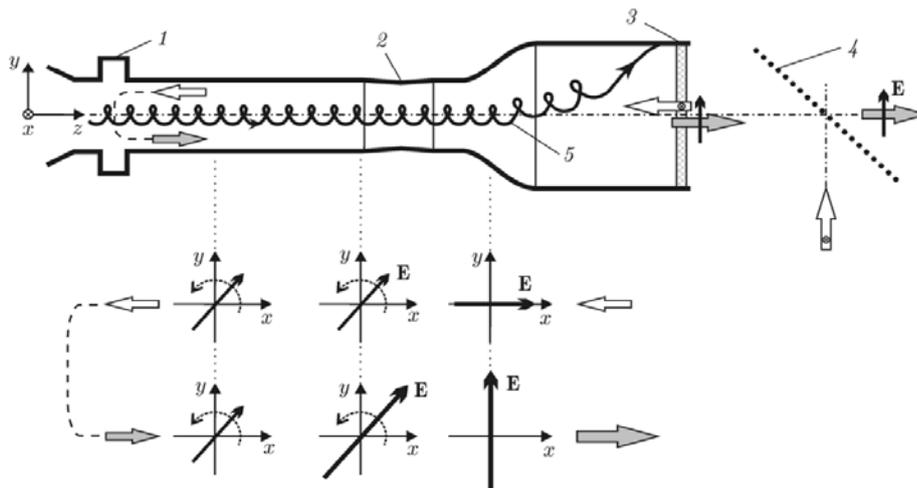


Рис. 1. Схема ввода и вывода излучения gyro-ЛБВ через одно окно. 1 – отражатель, 2 – поляризатор, 3 – окно, 4 – сплиттер.

Для одной частоты преобразование между линейными и вращающимися поляризациями может осуществляться при помощи регулярного волновода эллиптического сечения. При разложении по линейно-поляризованным модам это соответствует разным волновым числам мод разных поляризаций, а при разложении по вращающимся модам – связи между модами противоположных вращений. Для эффективной работы такого

преобразователя радиус волновода должен быть достаточно малым, чтобы избежать появления паразитных мод, в первую очередь TE_{31} . Однако, рабочая полоса такого решения является в данном случае недостаточной и не может быть улучшена простым увеличением длины, поскольку моды противоположных вращений имеют одинаковые волновые числа. Чтобы попытаться увеличить полосу, необходимо переходить на волновод большего радиуса и эффективно бороться с появлением паразитных мод в широкой полосе частот. Для заданной полосы 26.5-30.5 ГГц радиус волновода, дающий принципиальную возможность получения необходимых характеристик, начинается с 7 мм, но удобнее выбрать несколько большее значение 7.5 мм, чтобы критическая частота моды TE_{31} была ближе к нижней границе диапазона.

Синтез поверхности нерегулярного волновода по заданным полям на входе и выходе осуществлялся с помощью специального итерационного метода, ранее разработанного авторами [4,5]. Выберем одну частоту из диапазона и для нее рассмотрим два распределения электромагнитного поля внутри волновода, одно из которых получено при помощи просчета внутрь заданного входного поля, второе – развернутого в пространстве выходного. Тогда в первом приближении наибольшее увеличение эффективности преобразования при зафиксированном среднем квадрате деформации будет при следующем ее виде:

$$l = \alpha \operatorname{Re} F + \beta \operatorname{Im} F, F = -ik(\mathbf{H}_{\tau 1} \mathbf{H}_{\tau 2} + \mathbf{E}_{n1} \mathbf{E}_{n2}), \quad (1)$$

где l – значение деформации в некоторой точке поверхности, \mathbf{H}_{τ} – тангенциальная к поверхности компонента магнитного поля, \mathbf{E}_n – нормальная компонента электрического поля, α и β – константы, выражающиеся через поверхностные интегралы от функции F . Для синтеза геометрии широкополосного преобразователя необходимо взять несколько частот и рассчитать несколько соответствующих пар распределений поля.

В данном случае длина преобразователя, достаточная для требуемого разделения поляризаций, составила 20 см, при этом максимальная амплитуда деформации (отклонение поверхности от регулярного круглого волновода) составила 0.33 мм. Вид деформации показан на Рис. 2.

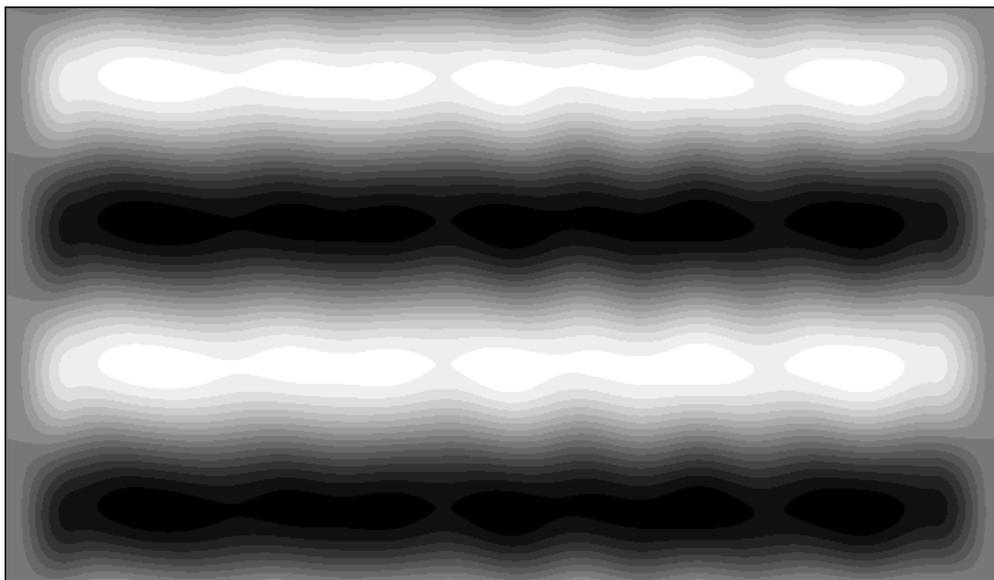


Рис. 2. Развертка амплитуды деформации поверхности волноводного преобразователя.

Синтезированная поверхность преобразователя была проверена различными прямыми методами анализа электромагнитных полей (MLFMA-МоМ, FDTD). Полученное

значение разделения поляризаций составило около 24 дБ по краям диапазона, и более 30 дБ в центре. Зависимость эффективности от частоты показана на Рис. 3.

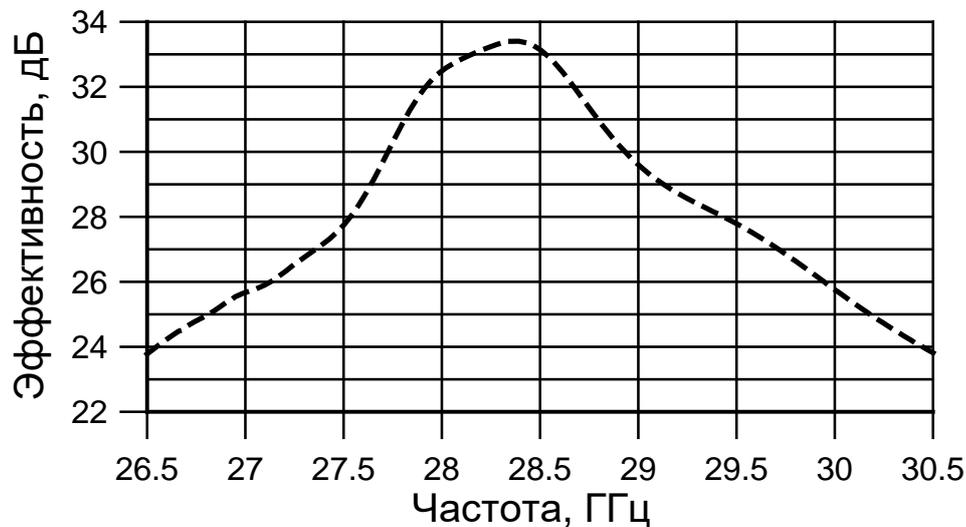


Рис. 3. Эффективность поляризатора в зависимости от частоты.

Представленный преобразователь позволит обеспечить эффективный ввод и вывод излучения из gyro-ЛБВ и защитить компоненты от воздействия избыточной мощности.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант 16-19-10332.

Библиографический список

1. G.G. Denisov, S.V. Samsonov, S.V. Mishakin, A.A. Bogdashov, Microwave system for feeding and extracting power to and from a gyrotron traveling-wave tube through one window, *IEEE Electron Device Letters*, vol. 35, no.7, pp. 789-791, 2014.
2. S.V. Samsonov, A.A. Bogdashov, G.G. Denisov, I.G. Gachev, S.V. Mishakin, Proof-of-Principle Experiment on High-Power Gyrotron Traveling-Wave Tube with a Microwave System for Driving and Extracting Power Through One Window, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol.26, no.4, pp.288-290, 2016.
3. G.G. Denisov, A.A. Bogdashov, I.G. Gachev, S.V. Mishakin, and S.V. Samsonov, New radiation input/output systems for millimeter-wave gyrotron traveling-wave tubes, *Radiophysics and Quantum Electronics*, vol.58, no.10, pp. 769-776, 2016.
4. D. I. Sobolev, G. G. Denisov, Method for synthesis of wideband multimode waveguide elements, *Radiophysics and Quantum Electronics*, vol. 50, no. 9, pp. 720-725, 2007.
5. D. I. Sobolev, G. G. Denisov, Principles of Synthesis of Multimode Waveguide Units, *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 38, no. 10, pp. 2825-2830, 2010.