

*Цветков А.И., Мишакин С.В., Гачев И.Г.,  
Гаиштури А.П., Гойхман М.Б., Гузнов Ю.М.  
Институт прикладной физики РАН*

## **Разработка квазиоптической системы ввода сигнала в мощные электронные микроволновые усилители**

*Для целого ряда перспективных фундаментальных и прикладных приложений чрезвычайно актуальной является задача создания эффективных источников мощного (до нескольких десятков МВт) микроволнового излучения с возможностью управления частотой и фазой. Представлен проект квазиоптической коаксиальной системы ввода сигнала в модулирующий резонатор мультимегаваттного 35,4 ГГц гироклистрона, имеющегося в Институте прикладной физики РАН. Разрабатываемая система ввода позволит в будущем реализовать мощные субтерагерцовые усилительные гироприборы, работающие на модах высокого порядка (например,  $TE_{32,3}$ )*

**Ключевые слова:** микроволновый усилитель, гироклистрон, селекция мод, волновой трансформатор, квазиоптический ввод сигнала.

Задача создания эффективных источников мощного (до нескольких десятков МВт) микроволнового излучения с возможностью управления частотой и фазой является чрезвычайно актуальной для целого ряда перспективных научных и технических приложений, таких как радиолокация, дальняя космическая связь, создание ускорителей заряженных частиц нового поколения, неразрушающий контроль, исследование взаимодействия мощного электромагнитного излучения с плазмой и т.д. В ИПФ РАН в течение значительного времени ведутся исследования, направленные на создание мощных усилительных гироклистронов, работающих на комбинациях пространственно-развитых мод высокого порядка [1, 2]. В частности, в ходе последних экспериментов, в гироклистроне с выходной рабочей модой  $H_{7,3}$  на частоте около 35 ГГц была получена импульсная мощность 15 МВт при коэффициенте усиления 30 дБ и КПД 33 % [2].

Одним из эффективных методов увеличения мощности и частоты вакуумных электронных микроволновых генераторов и усилителей является увеличение сечения пространства взаимодействия электронов с высокочастотным полем. Однако увеличение сверхразмерности электродинамической системы приводит к усложнению задачи устойчивого одномодового возбуждения рабочего типа колебаний, что требует использования специальных методов селекции. Примером могут служить мощные субтерагерцовые гиротроны-автогенераторы, в которых комбинируются электронные (например, использование приосевых или многолучевых электронно-оптических систем) и электродинамические (например, связанные резонаторы, состоящие из отрезков цилиндрических волноводов различных диаметров) методы селекции мод. Подобные методы разрабатываются и применительно к мощным усилителям, основанным на стимулированных черенковском и циклотронно-резонансном излучениях

субрелятивистских и релятивистских электронных пучков. С этой целью в [3] была предложена схема ввода излучения во входной резонатор гироклистрона с использованием коаксиального волновода.

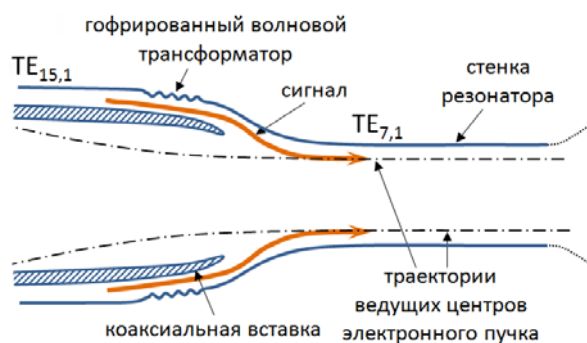


Рис. 1. Схематическое изображение квазиоптической коаксиальной системы ввода излучения в модулирующий резонатор гироклистрона.

В частности, вращающуюся рабочую моду высокого порядка в модулирующем резонаторе гироклистрона можно возбудить волной, приходящей из коаксиального волновода (рис. 1) [3] (внешняя стенка коаксиального волновода на некотором отрезке гофрирована для смены азимутального индекса моды шепчущей галереи).

В работе представлен проект квазиоптической системы ввода сигнала в модулирующий резонатор имеющегося в ИПФ РАН мультимегаваттного 34,5 ГГц гироклистрона. На основе комбинации аналитических и численных методов была синтезирована конфигурация модулирующего резонатора, позволяющая исключив самовозбуждение эффективно сопрячь его с питающим волноводом и минимизировать добротности паразитных мод в волноводном канале (рис. 2).

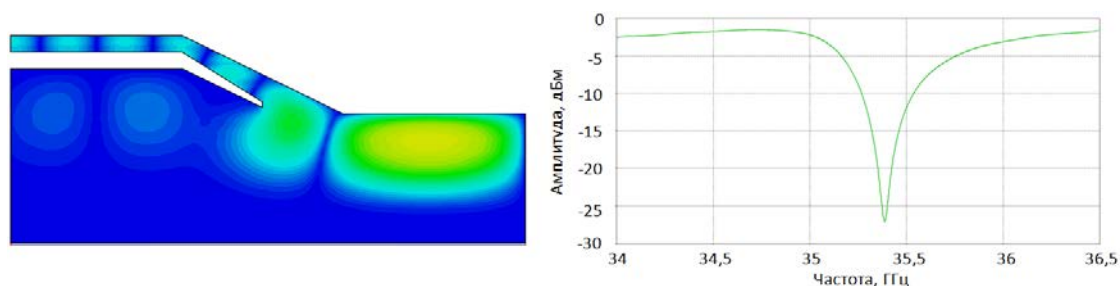


Рис. 2. Проект модулирующего резонатора 35,4 ГГц гироклистрона с коаксиальной вставкой (слева), добротность  $Q$  рабочего типа колебаний  $TE_{7,1}$  составила около 200; S-параметр нерабочей моды в волноводном канале (справа).

Вращающаяся мода шепчущей галереи высокого порядка (рассматривалась  $TE_{15,1}$ ) в коаксиальном волноводом может быть возбуждена путём его сопряжения с плоским рупором (рис. 3). Поле вращающейся моды  $TE_{m,1}$  коаксиального волновода с азимутальным индексом  $m \gg 1$  можно приближенно представить в виде набора лучей, которые распространяются по винтовым траекториям под углом Бриллюена к оси волновода. Соответствующий квазиоптический волновой поток может быть сопряжен с плоским рупором, который, в свою очередь, можно сопрячь со стандартным волноводом прямоугольного сечения.

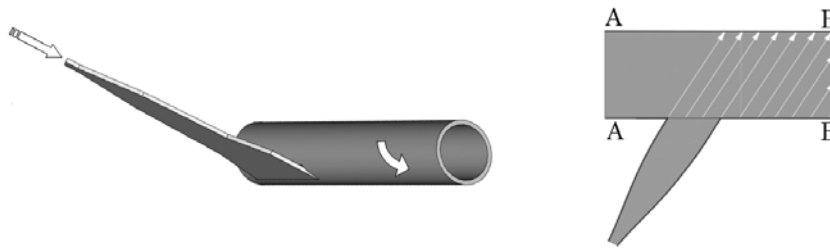


Рис. 3. Возбуждение вращающейся моды шепчущей галереи с большим азимутальным индексом в коаксиальном волноводе: сопряжение с плоским рупором (слева); развертка коаксиального волновода, сопряженного с плоским рупором (справа).

Для смены азимутального индекса моды галереи был разработан вариант гофрированного волнового трансформатора, представляющего собой систему в виде 22-заходной спирали, представленную на рис. 4. Эффективность преобразования (по мощности) моды  $TE_{15,1}$  в моду  $TE_{7,1}$  составила до 96%

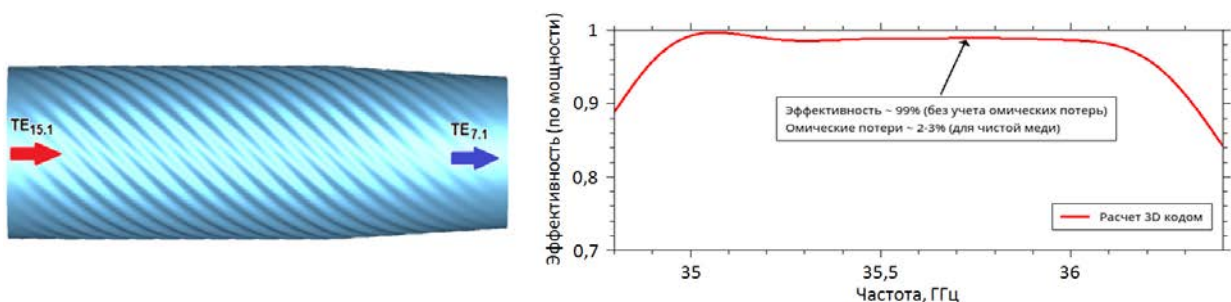


Рис. 4. Гофрированный волновой преобразователь (слева) моды  $TE_{15,1}$  в моду  $TE_{7,1}$  (22-заходная спираль, длина - около 160 мм, входной диаметр - около 50 мм); эффективность преобразования (справа).

Разрабатываемая система ввода излучения в модулирующий резонатор имеющегося 35 ГГц/15 МВт гироклистрона позволит в будущем реализовать мощные субтерагерцовые усилительные гироприборы, работающие на модах высокого порядка, например,  $TE_{32,3}$ .

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-00431 мол\_а.

#### Библиографический список

1. M. Petelin, Yu. Danilov, V. Pavelyev, E. Zasyrkin, N. Zaitsev, A research to high-order-mode gyroklustrons, Proc of IVEC 2010, 2010, Monterey, California, pp.191-192.
2. N. Zaitsev, M. Petelin, Yu. Guznov // 9th International Workshop Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications, 2014, p. 174.
3. V. Erckmann, J.L. Hirshfield, W. Kasperek, M.I. Petelin, M.B. Salin, D.Yu. Shchegolkov, N.I. Zaitsev // Proc. of IVEC 2008. Monterey. California. USA. 2008. P. 87-88.