

УДК 621.385.6

С. В. КОЛОСОВ

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ГИРОТРОН НА ВОЛНЕ H_{01} С ОТРАЖАЮЩИМИ ФИЛЬТРАМИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

(Поступила в редакцию 30.01.2014)

Введение. Эффективная работа гиротронов наблюдается на рабочих частотах, близких к частоте отсечки рабочей моды, когда продольная длина волны стремится к бесконечности. Однако при этом возникают почти равные условия для возбуждения как попутной, так и встречной волн. В данной работе предлагается в начале области взаимодействия спирализованного электронного потока с электромагнитными полями волновода разместить волноводный отражающий фильтр, который будет отражать встречную волну и не пропускать ее на эмиттер. В результате получим комбинированный вид взаимодействия: основной – гиро-ЛБВ и дополнительный – гиро-ЛОВ.

Волноводный фильтр обладает достаточно широкой полосой заграждения, что позволяет создавать перестраиваемые по частоте гиротроны за счет изменения магнитостатического поля в пределах нескольких процентов.

Результаты моделирования. Для расчета гиротрона использовалась программа Гуго-К из комплекса КЕДР [1, 2]. Основу математической модели подсистемы Гуго-К составляет метод преобразования координат, который заменяет решение задачи возбуждения нерегулярного волновода решением задачи возбуждения регулярного волновода единичного радиуса с изменяемой метрикой пространства [3]. Данный метод позволяет свести трехмерную задачу к одномерной, что существенно сокращает время расчетов по сравнению с такими пакетами программ, как GSTStudio [4], Karat [5] и др., где используются сеточные методы для решения краевых задач электродинамики.

Параметры электронного потока: $\beta_0 = v/c = 0,436$, $\sigma = I_0 \cdot 0,737 \cdot 10^{-3} = 0,0155$, $q = V_{\perp}/V_z = 0,96$.

Магнитостатическое поле $F(z) = \frac{\mu_0 e H_z^0(z)}{\omega_0} = 0,996$. Радиус ведущего центра $r_{r.v.c} = \frac{2\pi R_{r.v.c}}{\lambda} = 1,85$.

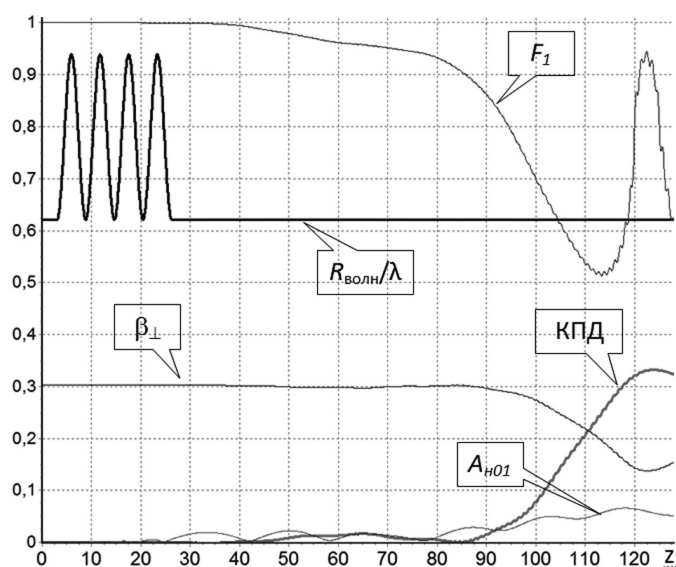


Рис. 1. Интегральные характеристики гиротрона

Длина прибора $z = 2\pi L_w/\lambda = 128$ рад. Интегральные характеристики оптимального варианта такого гиротрона приведены на рис. 1, где F_1 – функция фазовой группировки электронного потока по первой гармонике:

$$F_1 = 1 - \left[\left(\sum_{i=1}^{N_e} \sin(-\arctg(\beta_{xi}/\beta_{yi}) - t_i) \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{N_e} \cos(-\arctg(\beta_{xi}/\beta_{yi}) - t_i) \right)^2 \right],$$

$\beta_{\perp} = \frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^{N_e} (\beta_{xi}^2 + \beta_{yi}^2)$ – усредненная по траекториям поперечная скорость электронов, λ –

рабочая длина волны, $A_{h01} = \left| \frac{\eta_0}{\omega_0 c} E_{\phi} \right|$ – нормированная амплитуда волны H_{01} в волноводе.

КПД такого гиротрона составляет 33%, при этом электронный поток имеет питч-фактор $q < 1$, что дает возможность провести рекуперацию на коллекторе и повысить общий КПД прибора до 80%.

В расчете учитывались 8 типов волн от H_{01} до H_{08} . Из анализа рис.1 следует, что после отражающей секции поле H_{01} имеет вид стоячей волны, т. е. на отражающий фильтр падает встречная волна, которая от него отражается, что и создает синусоидальные колебания поля. На выходе же из рабочей области преобладает уже бегущая вправо волна.

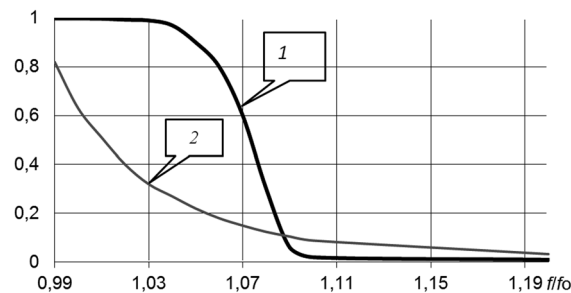


Рис. 2. Зависимости коэффициента отражения для волны H_{01} : 1, 2 – четырехзвенный и однозвенный фильтры соответственно

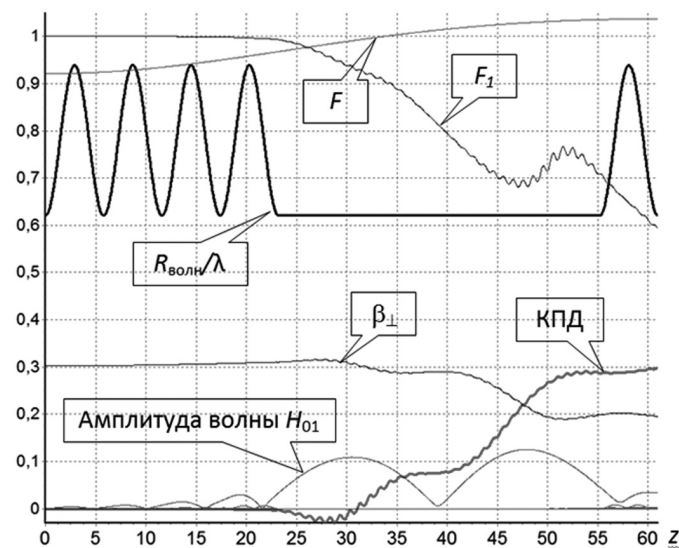


Рис. 3. Интегральные характеристики гиротрона с двумя фильтрами

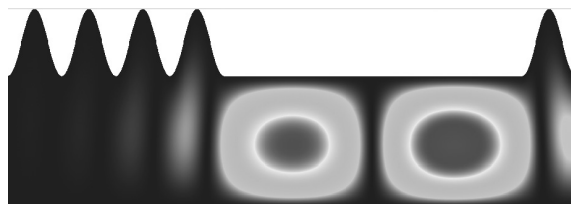


Рис. 4. Продольный разрез волновода с отображением величины напряженности электрического поля по длине прибора и его радиусу

В начале волновода располагается четырехзвенный волноводный фильтр с коэффициентом отражения 0,998. Полосовые свойства этого фильтра представлены на рис. 2, который показывает, что можно перестраивать рабочую частоту гиротрона с четырехзвенным фильтром магнитостатическим полем в пределах 6%.

Длину прибора можно сократить в два раза, если на выходе поставить односекционный отражающий фильтр. Коэффициент прохождения такого фильтра по мощности равен 0,36 (рис. 2). Это позволит создать низкодобротный резонатор в средней части лампы. Основные интегральные характеристики такого прибора приведены на рис. 3, где F – нормированное значение магнитостатического поля. Из рисунка видно, что в средней части лампы наблюдается двугорбый резонанс, что положительно влияет на эффективность работы прибора. КПД в этом случае достигает 30%, что с учетом рекуперации на коллекторе может обеспечить полный КПД свыше 80%. Следует отметить, что оптимальный КПД достигается в условиях нарастающего магнитостатического поля и при несколько повышенном значении токового параметра $\sigma = 0,02$.

Продольный разрез волновода для амплитуды напряженности электрической составляющей высокочастотного поля показан на рис. 4, где четко определяются два резонансных максимума поля и видно, что поле почти не проникает влево через четырехзвенный фильтр.

Заключение. В результате проведенного исследования показано, что возможно создание гиротрона на волне H_{01} с отражающими волноводными фильтрами. Электронный КПД прибора при этом может достигать 30% при полном КПД 80% и полосе перестройки примерно 6%.

Литература

1. Kolosov S. V., Kurayev A. A., Sinitsyn A. K. et al. // IVEC-2010. 2010. P. 115–116.
2. Свидетельство о регистрации компьютерной программы №384. Компьютерный программный комплекс КЕДР / правообладатель БГУИР, авторы: Колосов С. В., Кураев А. А., Сеницын А. К., Аксенчик А. В.; дата внесения записи в реестр Национального центра интеллектуальной собственности РБ – 07.02.2012.
3. Колосов С. В., Кураев А. А., Сенько А. В. // Техника и приборы СВЧ. 2009. №2. С. 8–13.
4. Complete Technology for 3D EM Simulation / CST Computer Simulation Technology AG – Режим доступа: <http://www.cst.com/> – 24.02.2012.
5. Tarakanov V. P. User's manual for Code KARAT. Springfield, VA: Berkley Research Associates, Inc. 1992.

S. V. KOLOSOV

TUNABLE GYROTRON BASED ON WAVES H_{01} WITH REFLECTION FILTERS

Summary

A possibility of creating a gyrotron wave H_{01} with reflective waveguide filters is reviewed. Electronic efficiency of the device at the same time can reach 30% at full efficiency 80%, and the band tuning 6%.