

УДК 621.385

ДВУХВОЛНОВОЙ ГИРОТРОН НА МОДАХ ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ

С.В. КОЛОСОВ, А.А. КУРАЕВ, А.В. СЕНЬКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 27 сентября 2011*

Рассмотрены возможности повышения эффективности работы миллиметрового гиротрона при многомодовом взаимодействии полей волн шепчущей галереи с релятивистским спирализованным электронным потоком. Показано, что двухмодовый гиротрон по сравнению с одномодовым позволяет повысить КПД с 40 до 45%.

Ключевые слова: гиротрон, нерегулярный волновод, многомодовый режим.

Введение

Оптимальным распределением ВЧ-поля по длине резонатора гиротрона является нарастающее к концу резонатора поле [1], т.е. фазовая группировка пучка электронов должна проводиться в слабом нарастающем поле, а отбор энергии в сильном поле быстро спадающим в конце резонатора.

Реально при больших азимутальных и радиальных индексах волновых мод в волноводе реализовать такое распределение в одномодовом режиме невозможно даже в нерегулярном волноводе. Но если использовать резонатор, состоящий из секций с разными типами волн, то можно добиться того, что амплитуды волн от секции к секции будут нарастать и это приведет к повышению общего КПД прибора. При этом в каждой из секций распределение амплитуды волны будет близко к синусоидальному.

Результаты моделирования

Для расчетов использовалась программа *Gyro-K* из программного комплекса КЕДР [2]. Математическая модель процессов в гиротроне, заложенная в этой программе, основана на теории возбуждения нерегулярного волновода релятивистским электронным потоком с учетом омических потерь в стенках волновода [3].

В качестве прототипа был выбран гиротрон, рассмотренный в [4]. Этот гиротрон работал на моде $TE_{22,6}$ с напряжением электронного пучка 96 кВ, током 40 А на частоте 110 ГГц и пинч-фактором $q = V_{\perp}/V_z = 1,4$. Начальный угловой разброс скоростей электронов равен $\Delta V_t/V_t = 2\%$.

Нормированное значение магнитостатического поля – $F = \frac{\mu_0 \eta_0 H_{z0}}{\omega_0} = 1,0875$. Длина гиротрона $l = \frac{2\pi L}{\lambda_0} = \frac{2\pi 90}{2,73} = 184$ радиан.

Функция, которая описывала профиль волновода, определялась следующими параметрами.

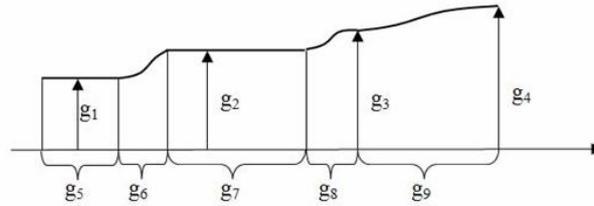


Рис. 1. Параметры, определяющие профиль волновода

Для заданного в [4] профиля волновода нормированные параметры задавались следующими: $g_1 = \frac{2\pi R_1}{\lambda_0} = \frac{2\pi 19,4\text{mm}}{2,73\text{mm}} = 44,65$, $g_2=45,665$, $g_3=46,95$, $g_4=48,33$, $g_5=23$, $g_6=23$, $g_7=46$, $g_8=46$, $g_9=46$.

Нормированный радиус ведущего центра электронных орбит – $r_{vc} = \frac{2\pi 10,24}{2,73} = 23,57$.

Результаты расчета данного варианта гиротрона приведены на рис. 2.

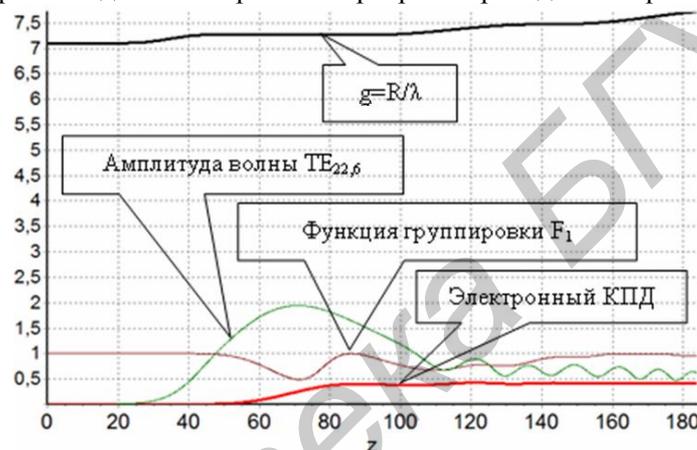


Рис. 2. Интегральные характеристики гиротрона

Как видно на рис. 2, амплитуда волны $TE_{22,6}$ в активной области резонатора похожа на синусоиду. Электронный КПД этого гиротрона по нашим расчетам составляет 40,5%. Расчеты по программе *MAGY* показали значение 39% [4]. Это говорит о хорошем совпадении расчетных данных полученных по программе *GYRO-K* и программе *MAGY*.

Для проведения расчетов многомодового гиротрона была использована следующая функция для описания профиля волновода.

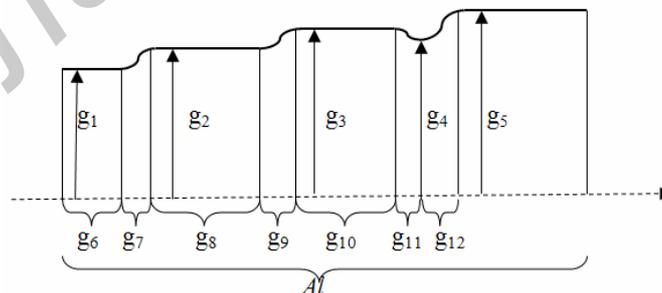


Рис. 3. Параметры, определяющие профиль многомодового волновода

В результате оптимизации профиля волновода был получен следующий вариант двухмодового гиротрона. Параметры, определяющие профиль волновода, получили следующие значения: $g_1=41,5109$, $g_2=42,4272$, $g_3=46,0768$, $g_4=49,0268$, $g_5=50,9772$, $g_6=10,0$, $g_7=8,8921$, $g_8=12,7941$, $g_9=11,982$, $g_{10}=12,7628$, $g_{11}=12,001$, $g_{12}=10,0$.



Рис. 4. Интегральные характеристики двухмодового гиротрона

В отличие от гиротрона, характеристики которого приведены на рис. 2, в данном гиротроне на участке $15 < z < 35$ взаимодействие электронного потока происходит с волной $TE_{22,5}$, а на участке $40 < z < 62$ с волной $TE_{22,6}$.

Возбуждаемая волна $TE_{22,5}$ имеет существенно меньшую амплитуду по сравнению с возбуждаемой волной $TE_{22,6}$. Это позволяет более эффективно группировать фазовый электронный сгусток электронов, т.е. он получается более сжатым и при этом не происходит такого сильного динамического разброса скоростей электронов как в одномодовом гиротроне, что в итоге позволяет повысить электронный КПД данного гиротрона до 45%.

Следует отметить, что влияние моды $TE_{22,5}$ сказывается и на участке максимума моды $TE_{22,6}$. В итоге на выходе гиротрона обе волны имеют приблизительно одинаковую амплитуду и следовательно одинаковый волновой КПД по 22,5%.

Заключение

Приведенные в статье материалы свидетельствуют о перспективности многомодовых гиротронов в отношении повышения КПД. Заметим, что в таких гиротронах на выходе резонатора сигнал оказывается многомодовым. Однако использованные трансформаторы мод на регулярном волноводе, конструкция и расчет которых для TE_{0n} -мод приведены в [5], позволяет преобразовать сигнал в одномодовый (например, смесь $TE_{22,5} + TE_{22,6}$ в моду $TE_{22,5}$ или $TE_{22,6}$).

TWO-WAVE GYROTRON ON WHISPERING GALLERY MODES

S.V. KOLOSOV, A.A. KURAYEV, A.V. SENKO

Abstract

The possibilities of improving the efficiency of millimeter-wave gyrotron with multimode interaction fields of whispering gallery waves and a relativistic helical electron beam were considered. It is shown that two-mode gyrotron, compared with single-mode, allows to raise the efficiency from 40 to 45%.

Список литературы

1. Кураев А.А., Ковалев И.С., Колосов С.В. Численные методы оптимизации в задачах электроники СВЧ. Мн., 1975.
2. Kolosov S.V., Kurayev A.A., Senko A.V. // The simulation code CEDR IVEC-2010. USA. P. 115–116.
3. Колосов С.В., Кураев А.А., Сенько А.В. // Техника и приборы СВЧ. 2009, №2 С. 8–13.
4. James P. Anderson // Experimental Study of a 1.5-MW, 110 – GHz Gyrotron Oscillator Massachusetts Institute of Technology. 2005. P. 171.
5. Батура М.П., Кураев А.А., Синецын А.К. // Моделирование и оптимизация мощных электронных приборов СВЧ. Мн., 2006.