

УДК 621.385.6

ГИРО-ЛБВ С ЗАКРИТИЧЕСКОЙ СЕКЦИЕЙ И ПОГЛОЩАЮЩИМИ ВСТАВКАМИ

С.В. КОЛОСОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 10 февраля 2014

Рассмотрены возможности повышения коэффициента усиления и КПД в гиро-ЛБВ за счет введения закритической секции в середине волновода и наличия поглощающих вставок с обеих сторон такой секции.

Ключевые слова: гиро-ЛБВ, нерегулярные волноводы.

Введение

Разработка гиро-ЛБВ с высоким коэффициентом усиления наталкивается на проблему изоляции взаимного влияния электромагнитных полей входной секции лампы, где происходит начальная модуляция поперечных скоростей спирализованного электронного потока, с электромагнитными волнами выходной секции, где при отборе энергии от сгруппированного электронного потока возбуждаются как попутная волна, так и встречная волна, которая, если ее не изолировать, попадет во входную секцию, что приведет к самовозбуждению лампы.

Одним из путей решения этой проблемы является вставка поглощающей электромагнитные волны секции в середину лампы [1, 2]. Однако при этом происходит полное поглощение встречной волны и частичное поглощение возбуждаемой уже в средней части лампы попутной волны, что понижает полный КПД на 2–10 %.

Другим из возможных способом развязки входной и выходной секций лампы является вставка в средней части лампы закритической для рабочей моды секции, которая полностью изолирует эти секции друг от друга и не отбирает энергию от электромагнитных волн.

Результаты расчета гиро-ЛБВ

Моделирование процессов в гиро-ЛБВ осуществлялось с помощью компьютерной программы GYRO-K из программного комплекса «КЕДР» [3]. Параметры электронного потока гиро-ЛБВ были следующими: напряжение – 50 [кВ], ток электронного потока – 3 [А], питч фактор – $q = V_{\perp}/V_{\parallel} = 1,2$.

Магнитостатическое поле в этом приборе – понижающееся на величину $-0,04079$ начиная со значения $F(z) = \frac{\mu_0 e H_z^0(z)}{\omega_0} = \frac{1,748 \cdot 10^{11} \cdot B_0 [\text{T}]}{2\pi \cdot f_0 [\text{Hz}]} = 1,0391$.

Полная длина прибора: $l = \frac{2\pi L}{\lambda_0} = 160$ рад. Волновод имеет закритическую вставку

начиная с длины от 35 до 80 радиан. Волновод покрыт поглощающим покрытием с 20 по 40 и 75 по 105 радиана с удельным сопротивлением $R_V = 1092$ Мком/м.

В расчетах учитывались 8 типов волн – TE_{01-04} и TM_{01-04} . Это позволило корректно рассчитывать взаимные преобразования типов волн на нерегулярностях волновода и одновременно учитывать влияние полей пространственного заряда.

Интегральные характеристики данной лампы приведены на рис. 1. На нем профиль волновода обозначен жирным черным цветом, серым – поглощающие участки волновода,

$$F_1 = 1 - \left\{ \left[\sum_{s=1}^{N_s} G_s \left(\frac{1}{Ne} \sum_{i=1}^{Ne} \cos(\alpha_{is}) \right) \right]^2 + \left[\sum_{s=1}^{N_s} G_s \left(\frac{1}{Ne} \sum_{i=1}^{Ne} \sin(\alpha_{is}) \right) \right]^2 \right\} - \text{функция группировки электронного}$$

потока по первой гармонике, $\bar{\beta}_\perp = \bar{V}/c$ – средняя нормированная к скорости света поперечная скорость электронов, КПД-е – электронный КПД, КПД-в – волновой КПД, т.е. энергия переносимая волной.

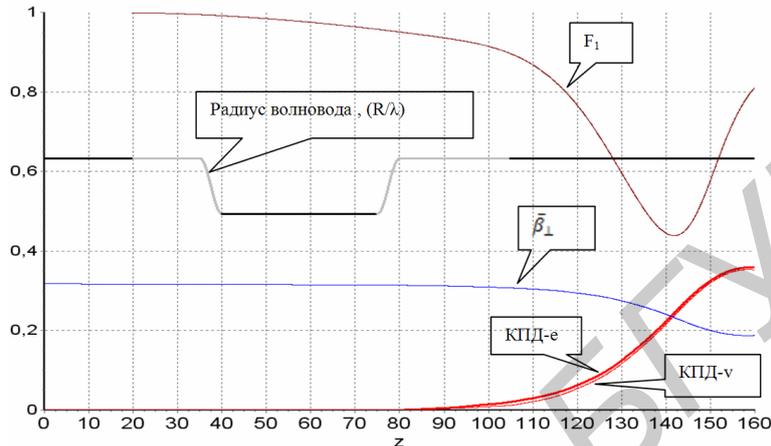


Рис.1. Интегральные характеристики gyro-ЛБВ

КПД такой gyro-ЛБВ достигает 37 %, а коэффициент усиления – 40 дБ. На следующем рисунке показано увеличенное изображение рис. 1.

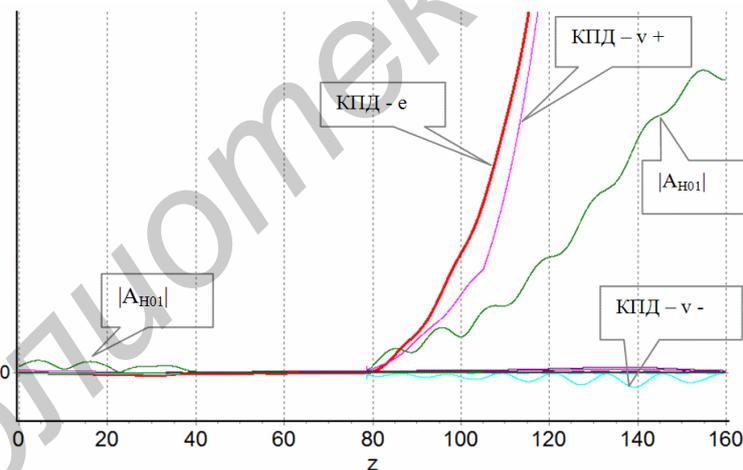


Рис. 2. Детализация кривых рис. 1

Здесь $|A_{H01}|$ – амплитуда волны H_{01} , КПД-в+ – мощность этой же волны, но распространяющейся вправо, КПД-в- – мощность волны, распространяющейся влево, т.е. встречной волны. Видно, как на участке по z от 105 до 80, амплитуда встречной волны уменьшается за счет ее поглощения поглотителем волновода. В этом случае мощность, отдаваемая электронным потоком полю, превышает мощность бегущей волны TE_{01} , но разница в КПД в этом случае не превышает 1 %, в то время как в варианте с одной поглощающей секцией [1] эта разница достигала 4,7 %. Это указывает на то, что закритический участок волновода не препятствует группировке электронов и обеспечивает надежную развязку входа и выхода лампы, а поглощающие участки волновода обеспечивают режим бегущей волны и препятствуют образованию режима стоячих волн, как во входной секции волновода, так и в выходной. Процесс поперечной фазовой группировки электронов показан на рис. 3.

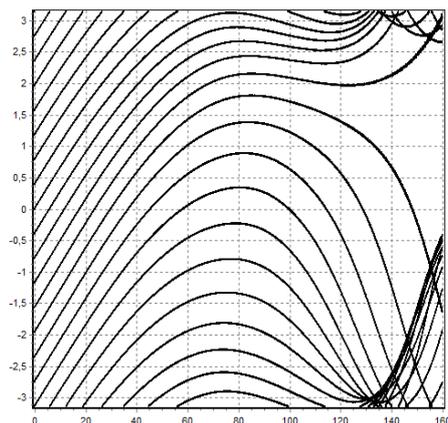


Рис. 3. Фазовые траектории электронов

Рис. 3 показывает, как формируется фазовый пакет электронов при $z = 135$ и как он рассыпается при отборе энергии к концу лампы.

Из рис. 4 следует, что большинство электронов отдадут свою энергию электромагнитному полю, т.е. в конце лампы большинство электронов имеют поперечную скорость меньше начальной – 0,317.

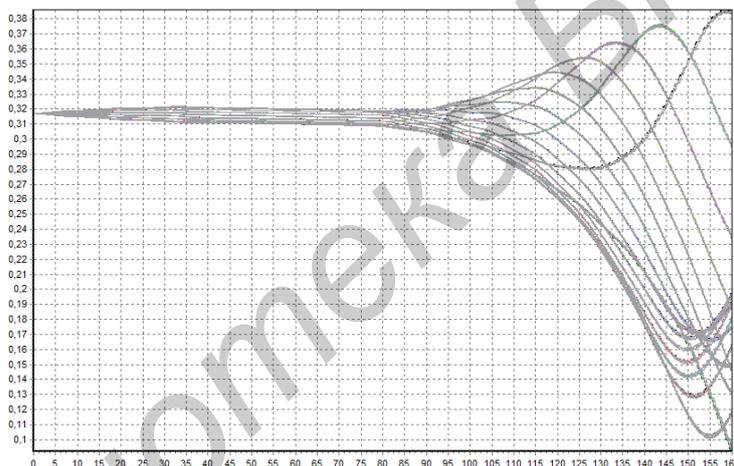


Рис. 4. Распределение поперечных скоростей электронов

На рис. 5 показан продольный разрез лампы с отображением модуля амплитуды волны H_{01} .

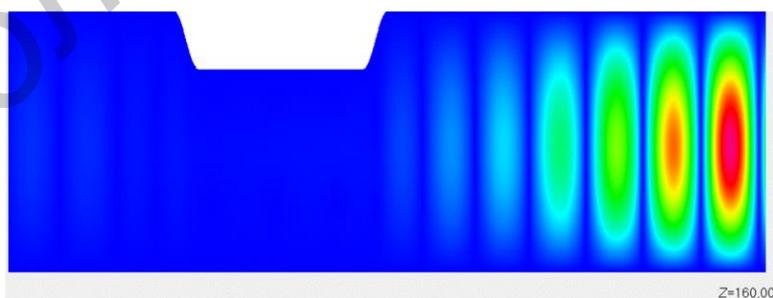


Рис. 5. Распределение модуля напряженности электрического поля в продольном сечении волновода

Рис. 5 показывает, как нарастает мощность бегущей вправо волны H_{01} и показывает полное отсутствие электромагнитного поля в области закритической вставки волновода.

Была исследована частотная характеристика этой гиро-ЛБВ, она показана на рис. 6.

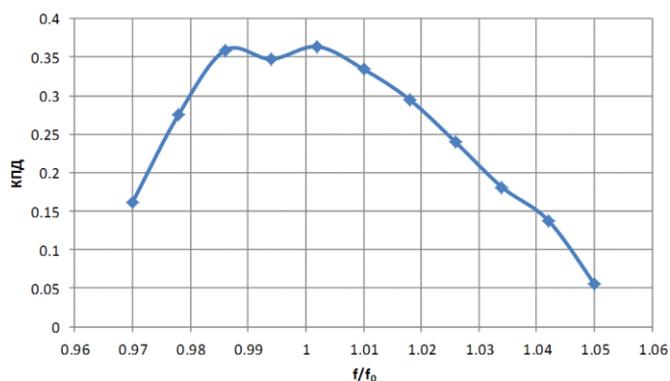


Рис. 6. Частотная характеристика гиро-ЛБВ

Полоса усиления данной лампы составляет 6 %. Следует отметить, что если убрать поглощающие вставки в волноводе, то частотная характеристика лампы станет более неравномерной, что следует из следующего рисунка.

Рис. 7 показывает, что при отсутствии поглощающих вставок существенно усилилась неравномерность частотной характеристики, т.е. возникают резонансные явления внутри волновода.

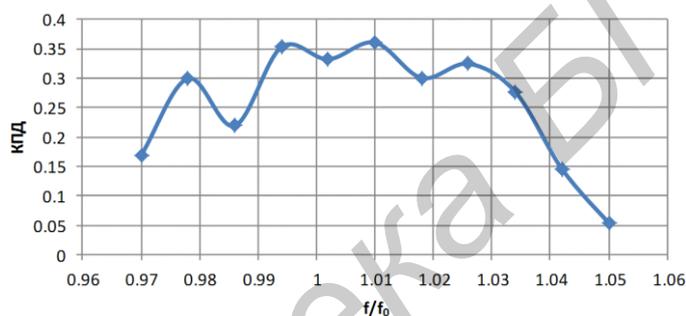


Рис. 7. Частотная характеристика гиро-ЛБВ без поглощающих секций

Заключение

Проведенные расчеты показали, что введение закритической секции в середине волновода и наличие поглощающих вставок позволяют создавать гиро-ЛБВ с большим коэффициентом усиления, более 40 дБ, предотвращать эффекты самовозбуждения, достигать КПД ~ 37 %, улучшать равномерность частотной характеристики и иметь полосу усиления 6 %.

GYRO-TWT WITH CUT-OFF SECTION AND ABSORB INSERTS

S.V. KOLOSOV

Abstract

Computer simulations have shown that the introduction of the cut-off waveguide section in the middle and the presence of absorbing inserts allows you to create a gyro-TWT with high gain over 40 dB, prevents the effects of self-excitation, receive an efficiency of ~ 37 %, improve the uniformity of the frequency response and have a gain bandwidth of 6 %.

Список литературы

1. Колосов С.В., Кураев А.А., Сенько А.В. // Матер. XX Междунар. конф. «КрыМиКо-2010». Севастополь, 13–17 сентября 2010. С. 299–300.
2. Колосов С.В., Кураев А.А., Сенько А.В. // Весці НАН Беларусі. Сер. фізіка-техн. навук. 2012. № 2. С. 97–103.
3. Колосов С.В., Кураев А.А., Сеницын А.К., Аксенчик А.В. Свидетельство о регистрации компьютерной программы № 389.