

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАКОНА ЗАМЕДЛЕНИЯ В СПИРАЛЬНОЙ ЛБВ-О С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЗАКРЕПЛЯЮЩИМИ СТЕРЖНЯМИ

Синицын А. К., Навроцкий А. А.

Кафедра вычислительных методов и программирования, кафедра информационных технологий автоматизированных систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {sinitsyn, navrotsky}@bsuir.by

Рассматривается двухсекционная спиральная ЛБВ с закрепляющими спираль диэлектрическими стержнями, поперечное сечение которых изменяется, обеспечивая оптимальный закон замедления усиливаемой волны, вдоль области взаимодействия. Получены оптимальные профили диэлектрических стержней, обеспечивающие получение высокого КПД.

ВВЕДЕНИЕ

Лампа бегущей волны (ЛБВ), ввиду уникально большой полосы усиления, является наиболее массовым прибором вакуумной СВЧ электроники. Электронный КПД типичных ЛБВ-О достигает 25–45%, технический КПД (с учетом рекуперации) 50–70%. Проблема увеличения эффективности стоит достаточно остро, т.к. повышение КПД даже на несколько процентов может дать экономию в десятки миллионов долларов. Поэтому актуальным является выявление перспективных конструкций для достижения высоких КПД. Использование спиральных ЛБВ-О с плавным законом изменения замедления вдоль области взаимодействия позволяет достигать КПД порядка 70–80% [1]. Наиболее перспективным направлением является плавное изменение шага навивки спирали, однако из-за технологических сложностей, возникающих при их производстве такие конструкции до сих пор не нашли широкого распространения. Предложенная в работе [2] конструкция в которой, для реализации оптимального закона изменения замедления, применялся гипотетический диэлектрик, проницаемость которого изменяется при изменении амплитуды ВЧ поля, так же сложна в реализации. Поэтому в [3] была предложена двухсекционная спиральная ЛБВ-О с регулярной навивкой спирали и нерегулярной формой диэлектрических поддерживающих стержней во второй секции лампы. Для получения высокой эффективности требовалось большое изменение замедления, что трудно реализуемо. В [4] была предложена конструкция, в которой форма поддерживающих спираль стержней регулировалась как в первой, так и во второй секции. В данной работе рассматривается ЛБВ-О имеющая замедляющую систему с регулярно навитой спиралью и нерегулярной формой опорных стержней в обеих секциях лампы. Для того, что бы обеспечить оптимальные условия группировки электронов в первой секции и отбора энергии во второй секции лампы в каждой из секций применяются три под-

держивающих диэлектрических стержня с различной диэлектрической проницаемостью и формой, изменяемой вдоль оси z по заданному закону. На рис. 1. показано продольное сечение предлагаемой двухсекционной ЗС с регулярной спиралью, закрепленной в 3-х диэлектрических опорах: 1 – спиральная ЗС первой секции; 2 – нерегулярная диэлектрическая опора спирали в первой секции; 3 – нерегулярная диэлектрическая опора спирали в второй секции.

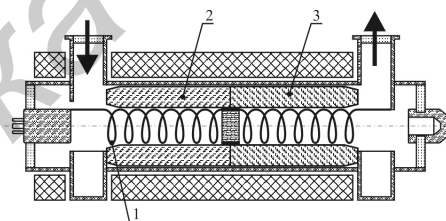


Рис. 1 – Схема усилительной двухсекционной ЛБВ-О с одноступенчатым рекуператором

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Для расчета двухсекционной ЛБВ с нерегулярными диэлектрическими закрепляющими стержнями были выбраны следующие параметры спирали и экрана: $R_0 = 0,18$ см, $R = 0,22$ см, диаметр провода спирали $d = 0,1$ см, шаг спирали $h = 0,24$ см, длина волны $\lambda = 6$ см, относительная скорость электронов $\beta_0 = v_0/c = 0,14$. При расчетах использовалась одномерная модель, описанная в работе [1], в которой зависимости сопротивления связи от частоты и фазовой скорости рассчитывались по методике работы [5]. Оптимальный закон изменения фазовой скорости в первой секции лампы рассчитывался методом синхронного электрона [6]. Во второй секции использовались метод авторегулировки замедления экспоненциальной функцией вида $V_f = V_{f_0} - \alpha_1(1 - e^{-\alpha_2 A^2(z)})$ и аппроксимация сплайнами. В результате оптимизации экспоненциальной функцией был получен электронный КПД $\eta_e = 70\%$, $I_0 = 0,383$ А, длина спирали $L = 14,9$ см., $K_u = 32$ Дб. Поглотитель

расположен на участке $0,37 < z/L < 0,47$. На рис. 2 представлено изменение характеристик взаимодействия η_e , Gr вдоль ЛБВ.

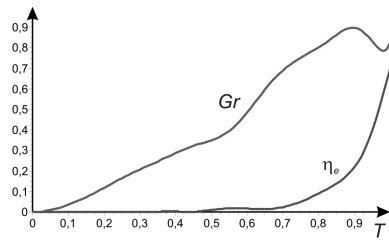


Рис. 2 – Схема усилительной двухсекционной ЛБВ-О с одноступенчатым рекуператором

Распределение электронов в ЭП по энергиям на выходе из ЗС (рис. 3) в этом варианте позволяет при одноступенчатой рекуперации вернуть в систему 14

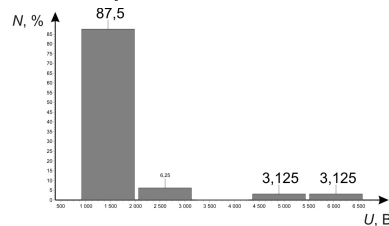


Рис. 3 – Гистограмма распределения электронов в пучке по энергиям

Частотная характеристика представлена на рис. 4.

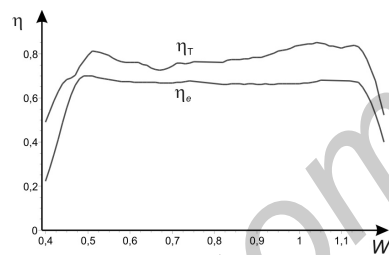


Рис. 4 – Частотная характеристика

В результате оптимизации сплайнами был получен электронный КПД $\eta_e = 68\%$, $I_0 = 0,227$ А, длина спирали $L = 16,6$ см., $K_u = 32,4$ Дб. Поглотитель расположен на участке $0,5 < z/L < 0,6$. На рис. 5 представлено изменение характеристик взаимодействия η_e , Gr вдоль ЛБВ.

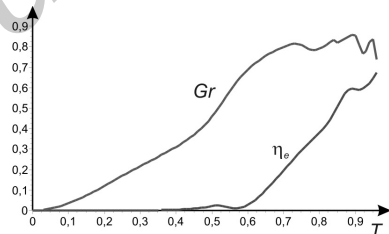


Рис. 5 – Распределение η_e , Gr вдоль области взаимодействия

Распределение электронов в ЭП по энергиям на выходе из ЗС (рис. 6) в этом варианте позволяет при одноступенчатой рекуперации вернуть в систему 12% энергии и получить технический КПД 80

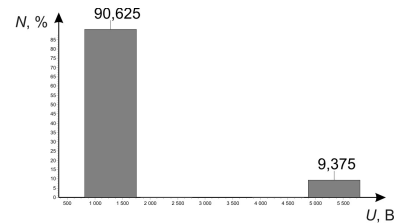


Рис. 6 – Гистограмма распределения электронов в пучке по энергиям

Частотная характеристика представлена на рис. 7.

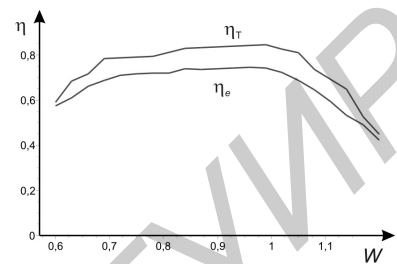


Рис. 7 – Частотная характеристика

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе получены оптимальные по КПД варианты ЛБВ-О с плавным изменением формы диэлектрических опор. Выяснено, что для поиска оптимального распределения фазовой скорости вдоль области взаимодействия в первой секции лучше всего использовать метод синхронного электрона, а во второй секции можно использовать аппроксимацию сплайнами или экспоненциальной функцией. Полученный технический КПД до 84% говорит о перспективности использования таких конструкций ЛБВ-О.

1. Кураев, А. А. Лампа бегущей волны с авторегулировкой замедления. / А. А. Кураев, А. А. Навроцкий, Т. Л. Попова, А. К. Синицын // ЭВиЭС. – 1998. – Е.З. – № 4. – С.47-50.
2. Кураев, А.А. Метод авторегулировки замедления для оптимизации распределения фазовой скорости в спиральной ЛБВ. //Материалы 19-й Международной Крымской Конференции (КрыМиКо.2009) «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии / А. А. Кураев, А. А. Навроцкий, А. К. Синицын // – Севастополь. – 2009. – С.163-164.
3. Кураев А.А., Двухсекционная ЛБВ с изменяемой формой диэлектрических опор. // Труды 20-й международной крымской конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" / А. А. Кураев, А. А. Навроцкий, А. К. Синицын // – Севастополь. – 2010. – С. 277-278.
4. Навроцкий А.А., Математическая модель двухсекционной нерегулярной ЛБВ-О с диэлектрическими закрепляющими стержнями // Материалы международной научной конференции Информационные технологии и системы /А. А. Навроцкий // –Минск, – 2012. – С. 118-119.
5. Синицын А.К., Расчет дисперсионных характеристик спиральной замедляющей системы / А. А. Навроцкий, А. К. Синицын // – Радиотехника и электроника. – 1995. – Т.40. – № 11.
6. Кураев А. А., Мощные приборы СВЧ. Методы анализа и оптимизации параметров / А. А. Кураев // – М.: Сов. радио, – 1986. – 206с.