

Математическая модель двухсекционной нерегулярной ЛБВ-О с диэлектрическими закрепляющими стержнями

Навроцкий А.А.

Кафедра вычислительных методов и программирования
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
e-mail: navrotsky@bsuir.by

Аннотация— Предложена двухсекционная спиральная ЛБВ в которой используются закрепляющие спираль диэлектрические стержни, поперечное сечение которых изменяется вдоль области взаимодействия. Найдены оптимальные профили диэлектрических стержней, обеспечивающие получение высокого КПД.

Ключевые слова: лампа бегущей волны (ЛБВ); КПД; замедляющая система (ЗС).

I. ВВЕДЕНИЕ

Электронный КПД спиральных ЛБВ с плавным законом изменения замедления вдоль области взаимодействия может достигать 70-80% [1]. Однако лампы с плавным изменением шага навивки спирали из-за технологических сложностей, возникающих при их производстве до сих пор не нашли широкого распространения. В работе [2] предложена ЛБВ-О в которой, для реализации оптимального закона изменения замедления, применялся гипотетический диэлектрик, проницаемость которого изменяется при изменении амплитуды ВЧ поля. Получены хорошие результаты, однако имеются существенные трудности в изготовлении такого диэлектрика. Поэтому в [3] была предложена двухсекционная спиральная ЛБВ-О с регулярной навивкой спирали и нерегулярной формой диэлектрических поддерживающих стержней во второй секции лампы. Получен электронный КПД порядка 52%, а использование одноступенчатого рекуператора позволило получить технический КПД 72%.

В данной работе предложена 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 поддерживающих диэлектрических стержня с различной диэлектрической проницаемостью и формой, изменяемой вдоль оси z по заданному закону.

Для расчета дисперсионных характеристик используется методика, описанная в [4], которая позволяет получить зависимость замедления $\beta_{\phi}(\psi)$ и сопротивления связи $\rho(\psi)$ от угла ψ опор секторного типа.

На рис. 1. показано продольное сечение предлагаемой двухсекционной ЗС с регулярной спиралью, закрепленной в 3-х диэлектрических

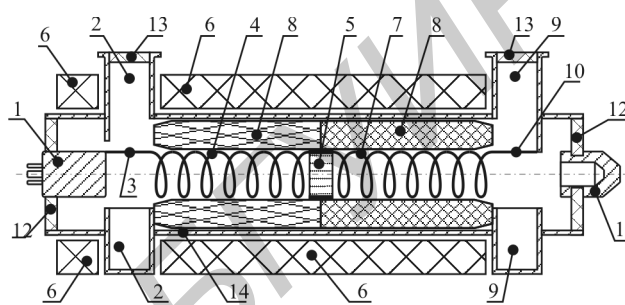


Рис. 1. Схема усилительной двухсекционной ЛБВ-О с одноступенчатым рекуператором

опорах: 1 – электронно-оптическая система; 2 – входной волновод, согласованный с антенной спирали 3; 4 – спиральная ЗС первой секции; 5 – аттенуатор; 6 – магниты фокусирующей системы; 7 – спиральная ЗС второй секции ЛБВ; 8 – нерегулярная диэлектрическая опора спирали в первой и второй секции; 9 – выходной волновод, согласованный с антенной 10 выходной секции; 11 – коллектор электронов; 12 – диэлектрические шайбы, изоляторы; 13 – диафрагмы входного и выходного волноводов; 14 – экран спиральной ЗС.

На рис. 2. показано поперечное сечение ЗС предлагаемой ЛБВ: 1 – спиральная ЗС; 2 – диэлектрические опоры спирали; 3 – экран.

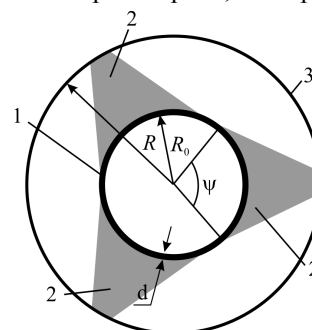


Рис. 2. Поперечное сечение

II. 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 $\beta_0 = v_0/c = 0,17$ ($V_0 = 7,5$ кВ). При расчетах использовалась одномерная

модель, описанная в работе [1], в которой зависимости сопротивления связи от частоты и фазовой скорости рассчитывались по методике работы [4].

Для предложенной на рис. 2 формы диэлектрических опор были получены распределения $\psi(\beta_\phi)$ и $R_s(\beta_\phi)$.

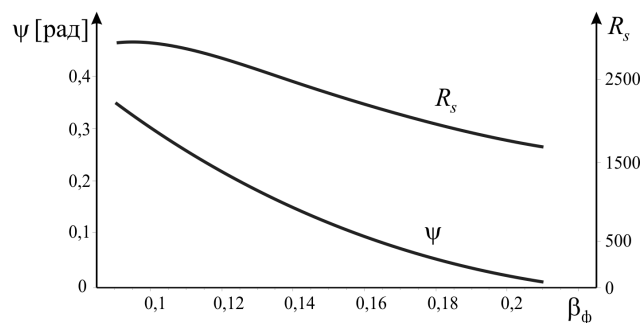


Рис. 3. Зависимость угла ψ , характеризующего форму опор и сопротивления связи R_s от фазовой скорости для трех опор с $\epsilon=15$

Из рис. 3 видно, что для уменьшения фазовой скорости волны требуется делать опоры более толстыми. Сопротивление связи при этом тоже возрастает, что способствует улучшению взаимодействия электронов с полем усиливаемого сигнала.

В результате оптимизации получен электронный КПД $\eta_e = 48\%$, $I_0 = 0,367A$, длина спирали $L = 12,4$ см., $K_y = 29,4$ Дб. Поглотитель расположен на участке $0,4 < z/L < 0,5$.

На рис. 4 представлено изменение характеристик взаимодействия η_e , Gr и угла ψ вдоль ЛБВ. Как видно из графика, для получения оптимальных условий для отбора энергии во второй секции размер диэлектрических опор должен монотонно увеличиваться. Заметим, что в отличие от ЛБВ-О с нерегулярными опорами только во второй секции [3] в данной лампе отсутствует скачок фазовой скорости при переходе из первой секции во вторую.

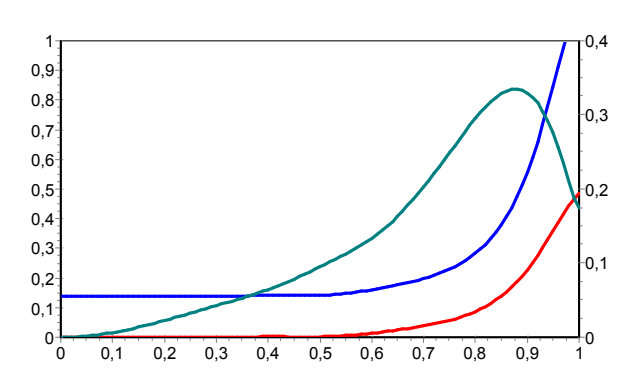


Рис. 4. Распределение ψ , Gr и η_e вдоль области взаимодействия

Распределение электронов в ЭП по энергиям на выходе из ЗС (рис. 5) в этом варианте позволяет при одноступенчатой рекуперации вернуть в систему 27% энергии и получить технический КПД 75%.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предложенной ЛБВ плавный закон изменения фазовой скорости реализуется при регулярной навивке спирали. Использование диэлектрических опор с изменяемой формой в обеих секциях ЗС позволило повысить технический КПД до 75% и избавиться от скачка фазовой скорости при переходе из одной секции в другую.

- [1] Кураев А.А., Навроцкий А.А., Попкова Т.Л., Синец А.К. Лампа бегущей волны с авторегулировкой замедления. // ЭВиЭС. 1998, т.3, №4, с.47-50.
- [2] Кураев А.А., Навроцкий А.А. Синец А.К. . Метод авторегулировки замедления для оптимизации распределения фазовой скорости в спиральной ЛБВ. //Материалы 19-й Международной Крымской Конференции (КрыМиКо.2009) «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. 14-18 сентября . Севастополь. Крым. Украина. 2009г. С.163-164.
- [3] А.А. Кураев, А.К. Синец, А.А. Навроцкий Двухсекционная ЛБВ с изменяемой формой диэлектрических опор. // Труды 20-й международной крымской конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». КрыМиКо'2010. – Севастополь, 2010. – С. 277–278.
- [4] Синец А.К., Навроцкий А. А. Расчет дисперсионных характеристик спиральной замедляющей системы // Радиотехника и электроника. – 1995. – т.40. –№ 11.

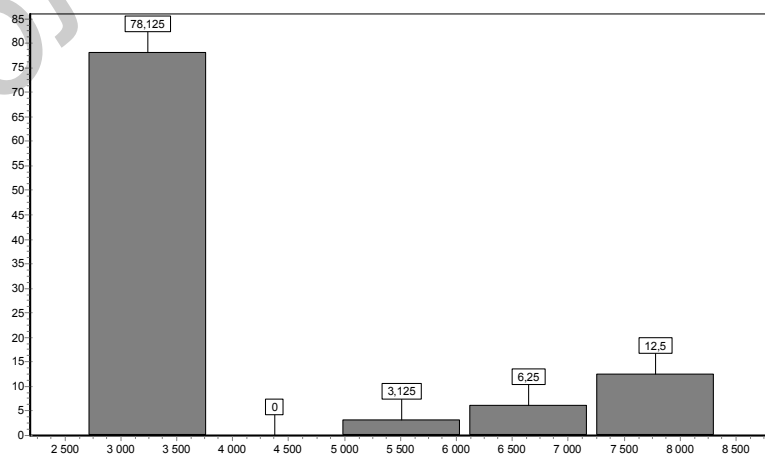


Рис. 5. Гистограмма распределения электронов в пучке по энергиям