Е.А. Ракова, А.В. Галдецкий

АО «Научно-производственное предприятие «Исток» им. Шокина»

Многолучевая «прозрачная» ЛБВ миллиметрового диапазона

Представлены результаты расчета ЗС многолучевой «прозрачной» ЛБВ миллиметрового диапазона длин волн и экспериментальные данные. Проанализирована проблема выходных параметров лампы. Предложено два решения проблемы. Рассчитаны основные характеристики ЗС, и проведен сравнительный анализ.

Ключевые слова: односекционная ЛБВ, многолучевой электронный поток, миллиметровый диапазон длин волн

Одним из магистральных направлений развития вакуумной электроники является разработка приборов миллиметрового диапазона длин волн. В настоящей работе представлены результаты расчета шестилучевой односекционной («прозрачной») ЛБВ 8-мм диапазона, со следующими требованиями технического задания: полоса рабочих частот – не менее 1 ГГц, напряжение питания – 6 кВ, ток катода – не более 0.4 А, радиус пролетных каналов – 0.5 мм, длина пространства взаимодействия – не более 23 мм, выходная и входная импульсные мощности – не менее 200 Вт и не более 4.5 Вт соответственно.

При проектировании электродинамической системы данной ЛБВ первоначально был выбран вариант замедляющей системы (ЗС) типа «сдвоенная лестница» с дополнительными кольцами (рисунок 1).

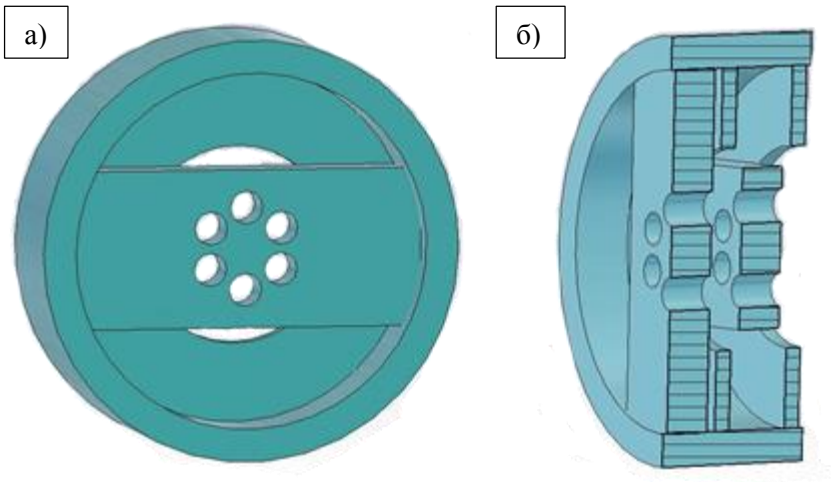

Рисунок 1. Вид спереди (а) и разрез одного периода (б) ЗС типа «сдвоенная лестница»

Её преимущества: высокое сопротивление связи (рис. 2), отсутствие самовозбуждения на паразитном 2π–виде колебаний и простота в подборе необходимой дисперсионной характеристики (рис. 3). Безвтулочные диафрагмы выполнены в виде толстых пластин (сечение ламелей – 2.4×0.5 мм), которые обеспечивают хороший теплоотвод. С целью повышения КПД лампы используется профилирование шага ЗС: первые 9 периодов имеют шаг 1.76 мм, а 3.5 периода – 1.74 мм за счет уменьшения толщины кольца. Данная ЗС может быть изготовлена на имеющемся прецизионном лазерном оборудовании «Истока».

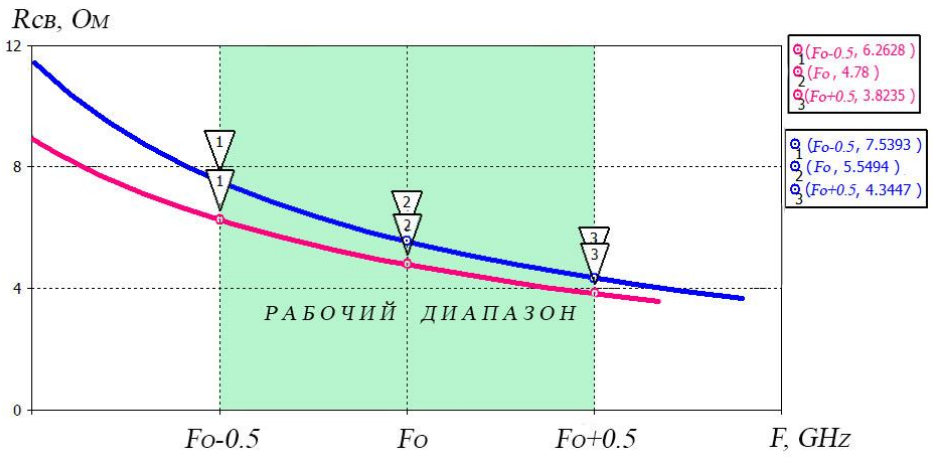

Рисунок 2. Сопротивление связи в полосе рабочих частот для периода ЗС 1.76 мм (синяя кривая) и 1.74 мм (красная кривая)

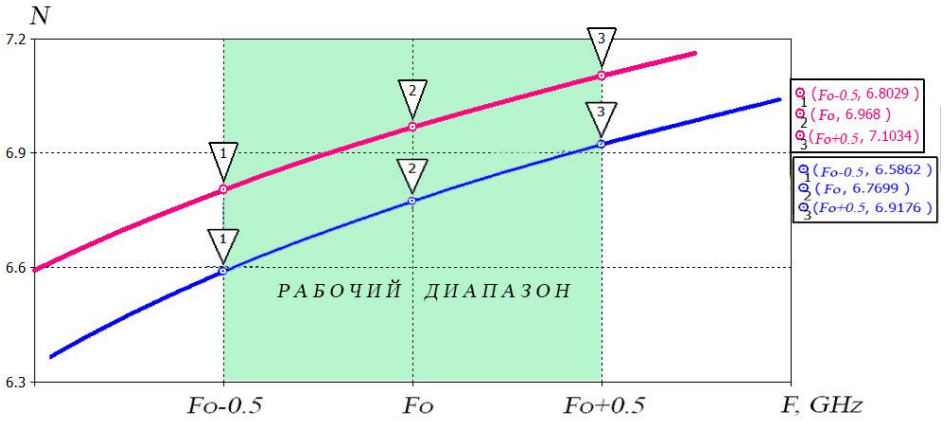

Рисунок 3. Дисперсионная характеристика в полосе рабочих частот для периода ЗС 1.76 мм (синяя кривая) и 1.74 мм (красная кривая)

Расчетное затухание в системе составляет 1.77 дБ/см (для полированной меди). Расчет эффективности взаимодействия в режиме большого сигнала показал, что требования технического задания в принципе выполнены: в полосе рабочих частот выходная мощность не менее 200 Вт.На рисунке 4 приведены выходные характеристики как расчетные, так и экспериментальные. Несмотря на то что в расчете имеется запас по выходной мощности (хотя и небольшой), в эксперименте наблюдается ее явный недобор. Причиной этого, по-видимому, являются значительные потери в ЗС. Измерения параметров матрицы S_{21} показали, что на всей длине лампы потери составляют около 8 дБ. Сборка ЗС заключается с чередованием 25 диафрагм и 26 колец и последующей их компрессионной пайкой. При такой технологии сборки ЗС отсутствие полировки деталей и большое количество паяных швов могут быть причиной больших потерь в системе, что ведет к большому несоответствию расчета и эксперимента. Моделирование системы с увеличенным вдвое удельным сопротивлением дает выходную мощность около 170 Вт, что близко к эксперименту, но не удовлетворяет требованиям на проект.

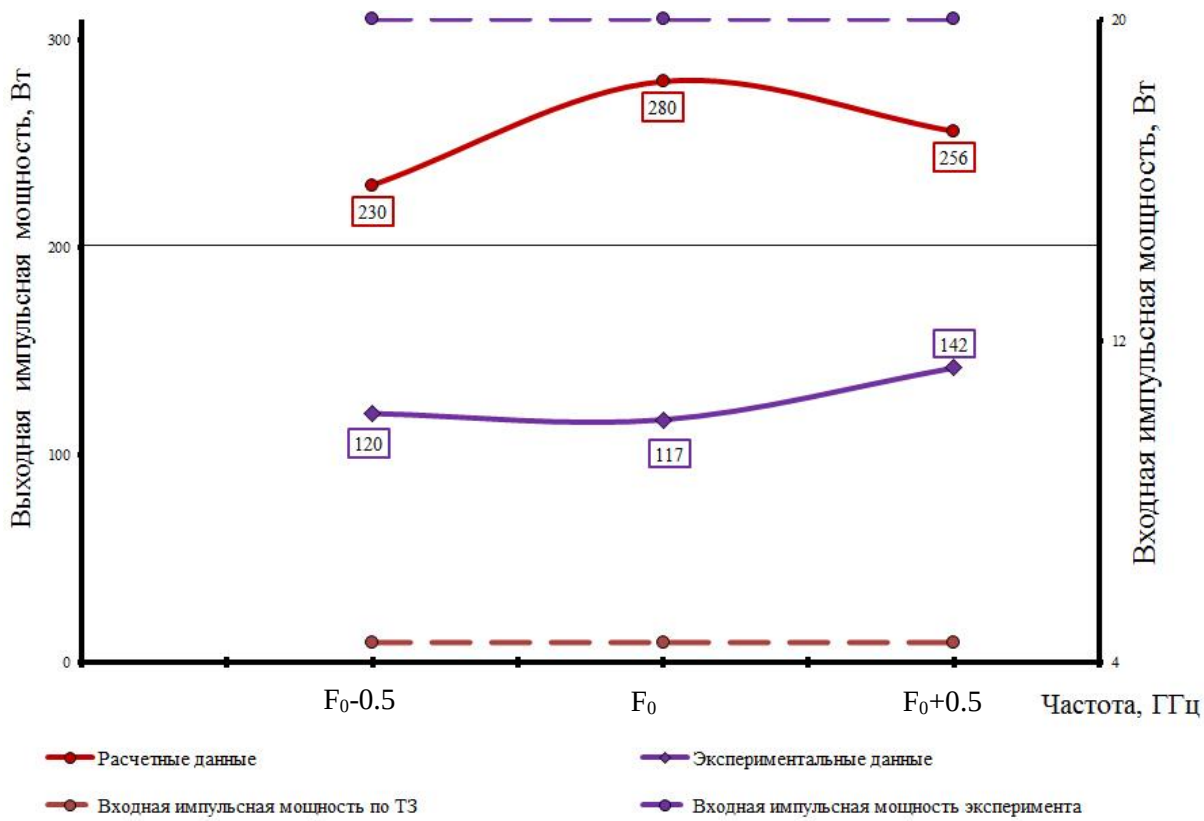

Рисунок 4. Выходные параметры ЛБВ: расчетные и экспериментальные данные

Для решения данной проблемы были предложены два варианта новых конструкций ЗС (рис. 5):

- ЗС типа «сдвоенная лестница» с втулочными диафрагмами для увеличения сопротивления связи;
- Применение ЗС типа «петляющий волновод», имеющая меньшее затухание и меньшее количество паяных швов.

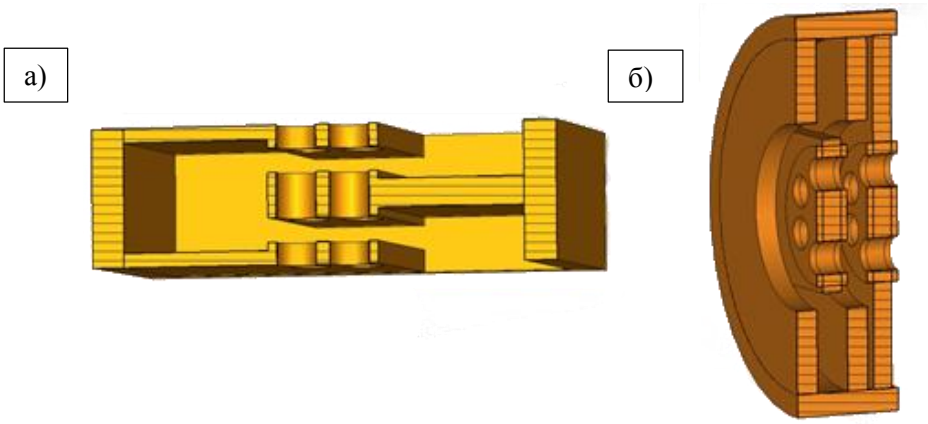

Рисунок 5. Один период ЗС типа «петляющий волновод» (а) и ЗС типа «сдвоенная лестница» с втулками (б)

Расчетный коэффициент затухания ЭМП (для неполированной меди) ЗС типа «сдвоенная лестница» с втулками составляет 1.9 дБ/см, для ЗС типа «петляющий волновод» - 1.2 дБ/см. Для ЗС типа «петляющий волновод» оказалось предпочтительным двухрядное

расположение лучей, что потребует некоторого изменения конструкции катода. Расчеты показали, что в ЗС типа «сдвоенная лестница» с втулками сопротивление связи удалось поднять на 35%, а в ЗС типа «петляющий волновод» - на 42% (рис. 6). В обоих вариантах предполагается профилирование шага ЗС.

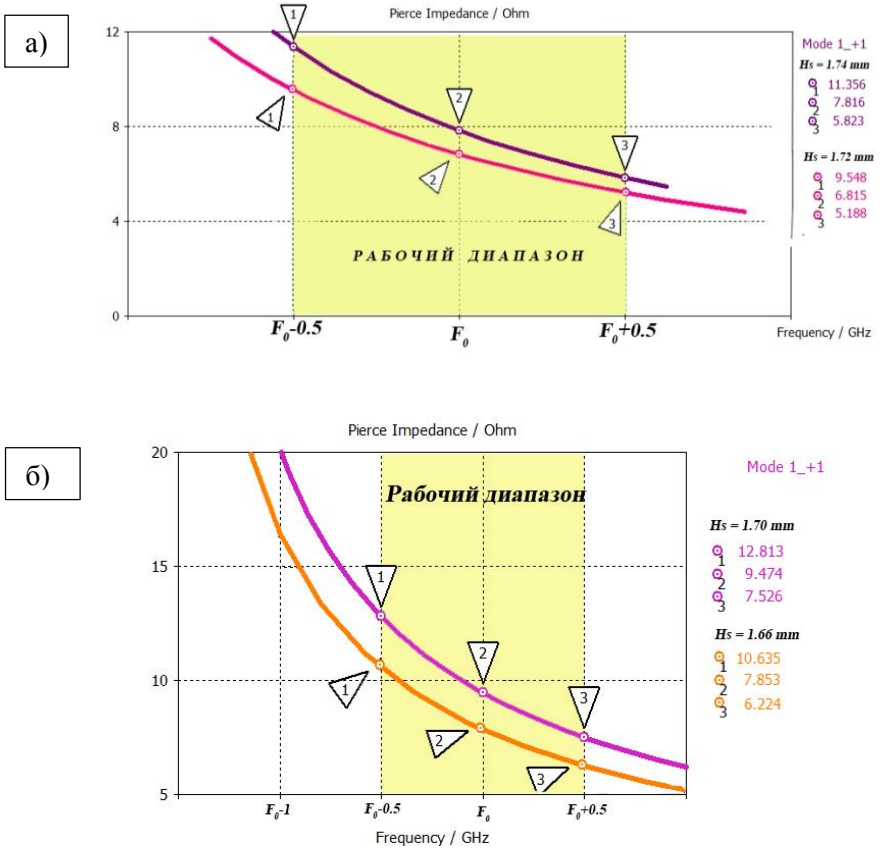

Рисунок 6. Сопротивление связи в полосе рабочих частот для ЗС типа «сдвоенная лестница» с втулками (а) и ЗС типа «петляющий волновод» (б)

В результате даже при учете повышенных потерь в неполированной ЗС удается добиться требуемого уровня мощности (рис. 7).

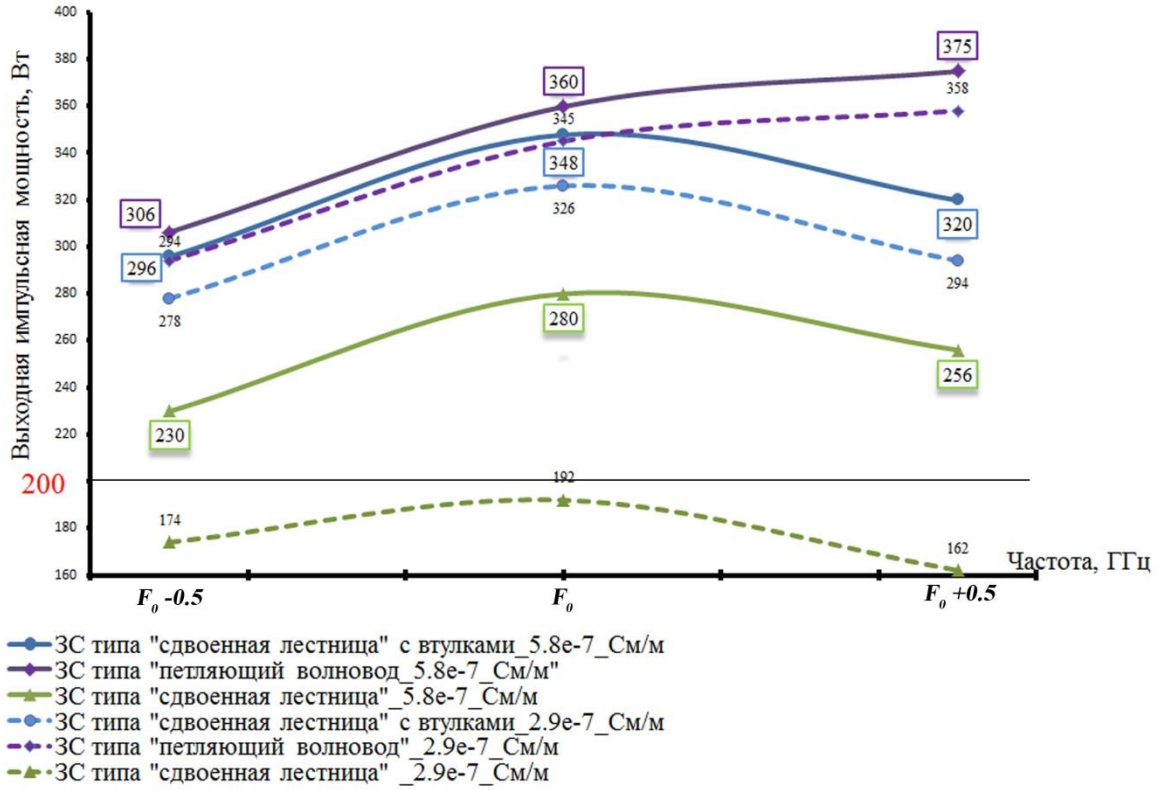

Рисунок 7. Выходные характеристики ЛБВ

Для ЗС типа «сдвоенная лестница» с втулками расчетный запас по выходной мощности составляет 40%, для ЗС типа «петляющий волновод» - 50%.

Подводя итоги, можно заключить, что в новых вариантах ЗС сопротивление связи больше, чем в ЗС типа «сдвоенная лестница». Для двух ЗС рабочее напряжение лампы остаётся 6 кВ, токопрохождение потока в режиме большого сигнала остается 100%. При этом в ЗС типа «петляющий волновод» теоретические потери ниже, а деталей ЗС – всего 5 шт. Это позволяет надеяться на успешное выполнение требований ТЗ.

Библиографический список

1. Победоносцев А.С., Сазонов Б.В. Односекционные многолучевые многорежимные ЛБВ. Электронная техника, серия 1 СВЧ-техника, 2013 3 (518): стр. 131-135
2. Голеницкий И.И.,Духина Н.Г., Сазонов Б.В. Многолучевая миниатюрная «прозрачная» лампа бегущей волны (RU 2337425) Ф.г.у.п.Н.-п.п.И.Ф.Н.И. (Ru), Editor 2008: Россия
3. Королев А.Н. История развития разработок СВЧ-приборов в ФГУП «НПП «Исток» - 60 лет пути. Материалы конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо’2003). 2003. Севастополь.