

Проектирование замедляющей системы на цепочке связанных резонаторов для мощной ЛБВ X-диапазона

В данной работе рассматривается вопрос согласования замедляющей системы типа цепочки связанных резонаторов. Описана методика согласования, представлены результаты трёхмерного проектирования замедляющей системы двухсекционной ЛБВ, произведено сравнение результатов численного расчёта и эксперимента.

Ключевые слова: Замедляющая система, цепочка связанных резонаторов, лампа бегущей волны, согласование, коэффициент стоячей волны.

Введение

Работа посвящена исследованию возможностей преодоления принципиальных трудностей согласования замедляющих систем (ЗС), возникающих при разработке и проектировании согласующих элементов ламп бегущей волны (ЛБВ). Проведён поиск конструктивных методов согласования неоднородной ЗС мощного усилителя X-диапазона длин волн с использованием трёхмерного численного моделирования электродинамических характеристик ЗС.

1. Методика согласования ЗС на ЦСР

Метод согласования мощных ЛБВ с многосекционной замедляющей структурой типа цепочки связанных резонаторов сводится к выполнению следующих действий [1]:

а) Проектирование промежуточных ячеек, в ходе которого определяются геометрические размеры элементов ячейки.

Полученные оценки рассматриваются как опорные варианты для оптимизации ячейки с применением модели функционального подобия, реализуемой в пакете трёхмерного моделирования. В качестве параметров оптимизации выступали: изменения размера резонатора, толщин трубок дрейфа, размер щели связи между ячейками.

б) Аналитический расчёт секции замедляющей системы.

Он проводится в специальной одномерной программе в соответствии с моделью, где каждая ячейка описывается с помощью трёх параметров: собственной частоты, собственной добротности и коэффициента связи. Согласование осуществляется путём подбора параметров системы. Результатом аналитического расчёта секции замедляющей системы является такое описание ЗС на ЦСР, которое позволяет осуществить переход к проектированию опорного варианта.

в) Трёхмерное моделирование секции замедляющей системы.

На основании параметров, полученных при проектировании промежуточных ячеек, таких как частоты волноводного и согласующего резонаторов, а также коэффициента связи между ними проектируется функциональное подобие ЗС на ЦСР и проводится оптимизация замедляющей системы. Оптимизация каждого параметра включает последовательные расчёты волноводного резонатора, щели связи, параметры отдельных ячеек и связи между ними.

г) Последним этапом является согласование секций между собой.

2. Моделирование ячеек ЗС на ЦСР

После получения с помощью аналитической программы значений частот и добротностей волноводного и согласующего резонаторов, а также коэффициента связи между ними, определяются геометрические размеры секции ЗС на ЦСР.

Использование условий симметрии и настройка резонаторов на целевые значения обладает рядом преимуществ: пакет прикладных программ используется для моделирования не более двух резонаторов, что резко сокращает время расчёта и снижает требования к машинным ресурсам.

Вначале проектировался волноводный резонатор, связанный с волноводом. Для этого необходимо убрать в согласованной секции все резонаторы, кроме первого для получения зависимости КСВн от частоты. Модель проектируемой ячейки и результат её моделирования представлены на рис. 1.

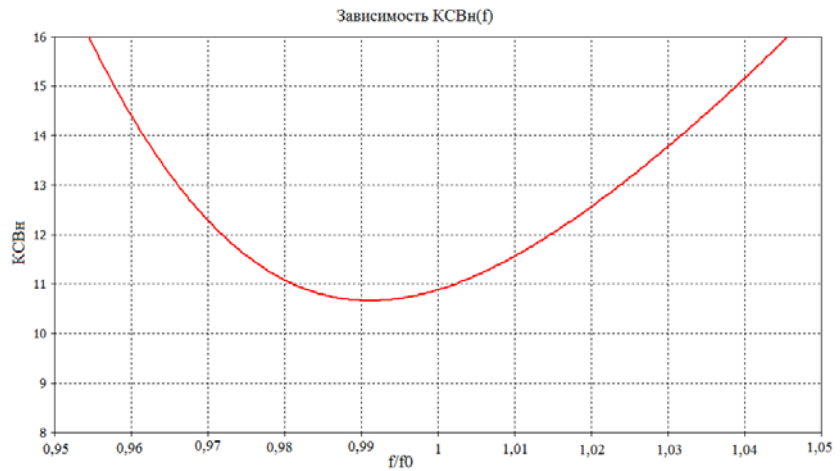
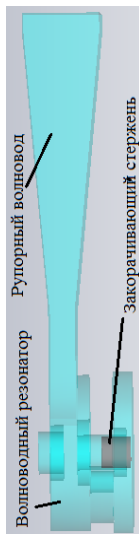


Рис. 1. Трёхмерное моделирование волноводной ячейки

Затем производилось проектирование двух связанных (волноводной и согласующей) ячеек. В результате настройки в трёхмерном пакете неоднородной ячейки секции была получена зависимость КСВн от частоты для модели, представленной на рис. 2.

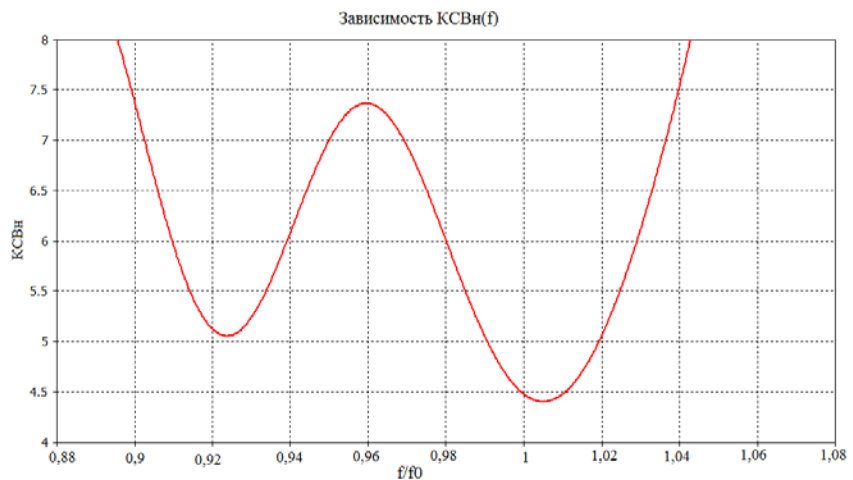
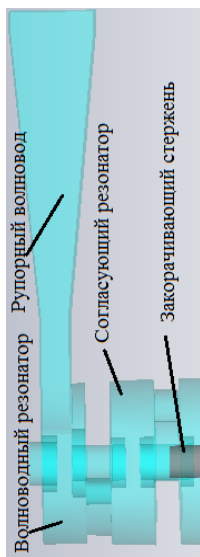


Рис. 2. Трёхмерное моделирование неоднородных ячеек секции ЗС на ЦСР

3. Моделирование входной и выходной секций ЗС ЛБВ

После настройки неоднородных элементов замедляющей системы на требуемые параметры, проектировалась вся входная секция целиком (рис. 3). При этом не нужно производить согласование регулярной ячейки с согласующей, а можно просто соединить их в единую конструкцию.

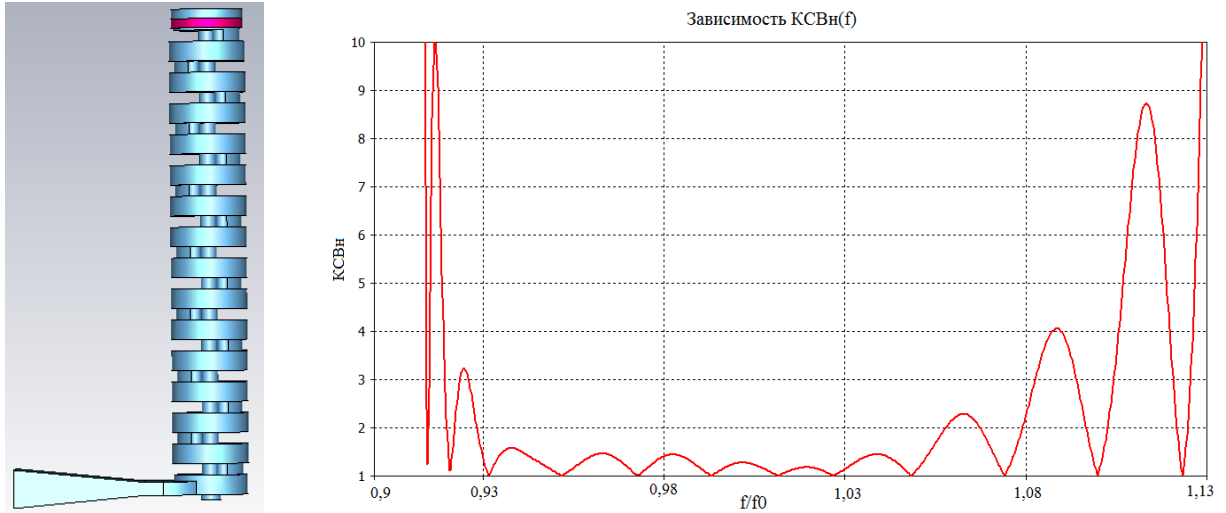


Рис. 3. Результаты согласования проектируемой входной секции ЗС

После настройки входной секции лампы, аналогичным образом производилось согласование выходной секции ЗС ЛБВ (рис. 4).

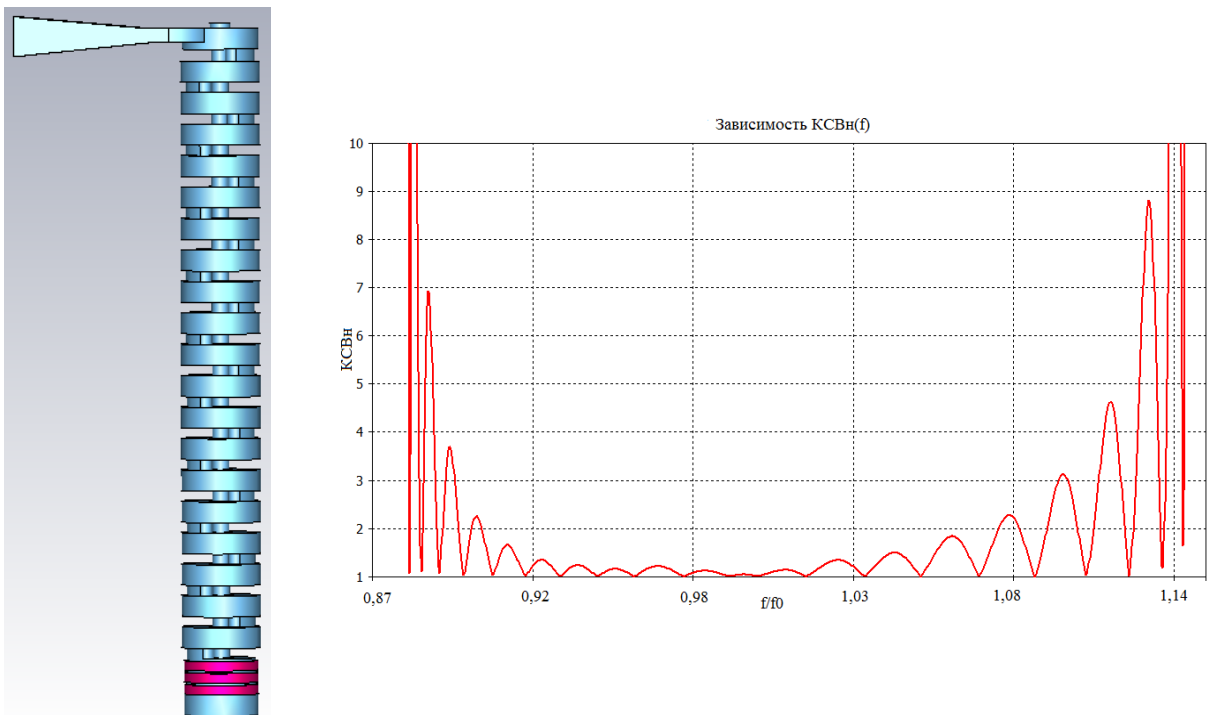
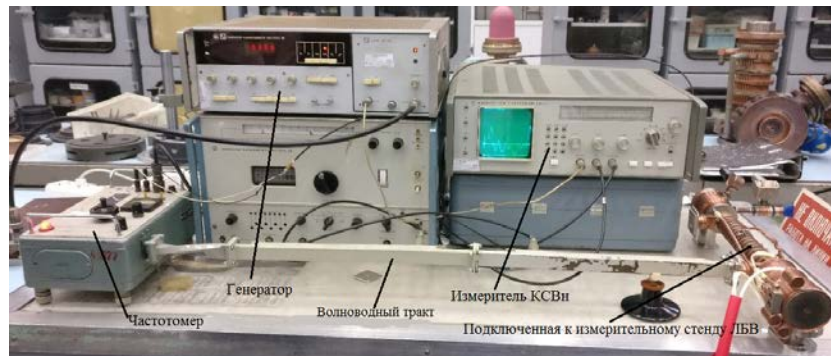


Рис. 4. Результаты согласования проектируемой выходной секции ЗС

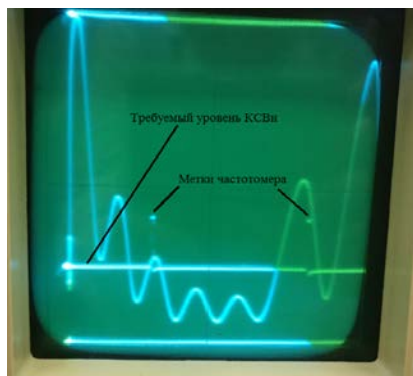
Результаты разработанной методики согласования секций лампы свидетельствуют о том, что в результате трёхмерного численного проектирования удалось добиться согласования входной (рис. 3) и выходной (рис. 4) секций ЗС во всем рабочем диапазоне усиливаемых частот.

5. Экспериментальное исследование ЗС мощной ЛБВ на опытном образце

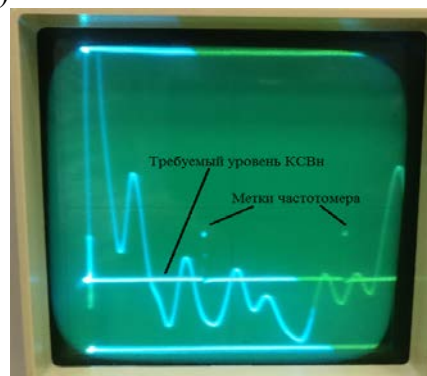
На рис. 5 представлена панорама для измерения КСВн секций ЛБВ, а так же добротностей резонаторов и проведения радиотехнического контроля. Также здесь показаны результаты проведённого экспериментального исследования.



а)



б)



в)

Рис. 5. Фотография измерительного стенда (а) и результаты эксперимента: согласование входной (б) и выходной (в) секций ЗС

Результаты, приведённые на рис. 6 и рис. 7, свидетельствуют о хорошем соответствии трёхмерного численного моделирования и результатов, полученных в ходе эксперимента.

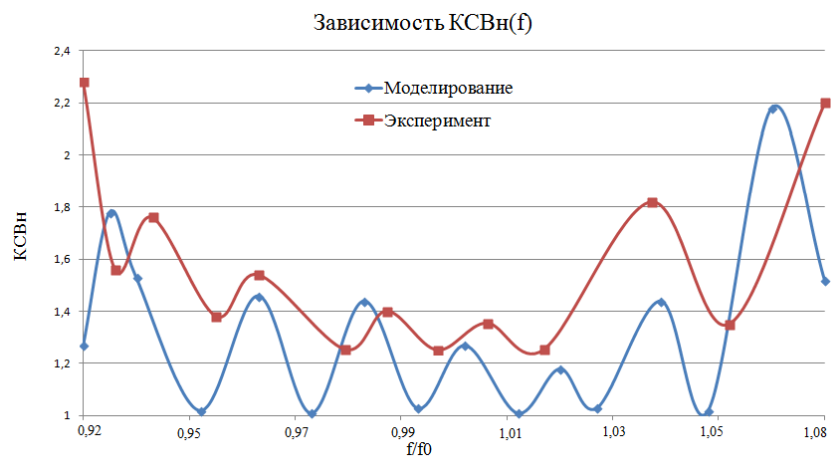


Рис. 6. Сравнение результатов трёхмерного моделирования и эксперимента входной секции ЗС лампы

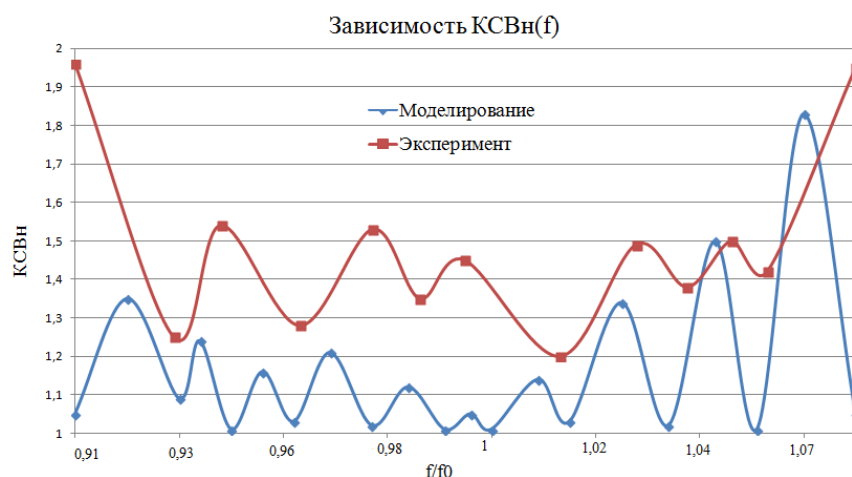


Рис. 7. Сравнение результатов трёхмерного моделирования и эксперимента выходной секции ЗС лампы

Выводы

Таким образом, разработана и предложена методика согласования ЗС на основе ЦСР для мощной ЛБВ X-диапазона. Благодаря найденным конструктивным методам согласования удастся осуществить подстройку уровня КСВн на начальных этапах изготовления прибора, что позволит уменьшить затраты на производство и снизить процент брака.

Библиографический список

1. Комаров Д.А., Морев С.П., Гудович А.В. Проектирование устройств широкополосного согласования мощных ламп бегущей волны на цепочке связанных резонаторов. – М. Радиотехника и электроника, 2010г., том 55, № 6, с. 720-725.