

Проектирование широкополосной замедляющей системы для мощной ЛБВ X-диапазона

А.В. Галдецкий, Е.А. Богомолова

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Аннотация: Рассмотрена новая конструкция замедляющей системы типа «скрещенная лестница» для мощной широкополосной многолучевой ЛБВ X-диапазона. Использование плотной упаковки лучей и диафрагм со втулками позволяет увеличить сопротивление связи до 4-7 Ом, а коррекция дисперсии с помощью специальной формы щелей связи дает возможность расширить полосу до 18%. Расчет электроники демонстрирует возможность получения в ЛБВ с такой замедляющей системой мощности 24 кВт, усиления 17 дБ и КПД 28%.

Ключевые слова: многолучевая лампа бегущей волны, замедляющая система, сантиметровый диапазон волн, сопротивление связи

1. Введение

Рабочая полоса частот радиолокатора является ценным ресурсом, определяющим возможности станции. Мощные клистроны и ЛБВ на цепочке связанных резонаторов (ЦСР) обычно обеспечивают полосу частот не более 5-6%, что перестало удовлетворять требованиям к современным радарам. По этой причине весьма востребованными оказываются ЛБВ X-диапазона, перекрывающие рабочую полосу не менее 15% при выходной мощности около 30 кВт.

Важнейшим узлом широкополосной ЛБВ, определяющим рабочую полосу частот, является замедляющая система (ЗС). Известно, что «спиральная» ЗС и «петляющий волновод» позволяют обеспечить широкую полосу, однако первая система имеет ограничения по теплорассеивающей способности (и значит, по выходной мощности), а вторая – невысокое сопротивление связи в рабочей полосе [1; 2; 3]. Таким образом, необходим поиск новых ЗС, сочетающих широкую полосу с большим сопротивлением связи в расчете на один луч.

2. Конструкция замедляющей системы

Для ЛБВ повышенной мощности с полосой усиления не менее 16% предлагается конструкция многолучевой ЗС типа «скрещенная лестница», представляющая собой волновод, периодически перегороденный диафрагмами со щелями связи определенной формы с четырнадцатью пролетными каналами. Каждая диафрагма в периоде повернута относительно предыдущей на 90° вокруг оси волновода (рисунок 1).

Для увеличения сопротивления связи пролетные каналы максимально плотно упакованы, что минимизирует площадь рабочего зазора, а в диафрагмах выполнены выступы (втулки), концентрирующие поле в зазоре. Для уменьшения крутизны дисперсионной кривой в конструкцию были введены индуктивные элементы (рисунок 2).

Взаимодействие электронного потока осуществляется на пространственной гармонике второй моды. Замедление в ЗС подобрано для соответствия рабочему напряжению 22 кВ.

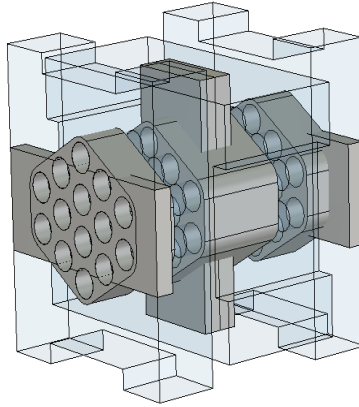


Рисунок 1. Макет периода модернизированной ЗС.

На рисунке 3 представлены АЧХ сопротивления связи. Среднее значение сопротивления связи по диапазону частот и по всем каналам составило 4.8-7.5 Ом. Столь высокое сопротивление связи на высшем типе связано с тем, что в конструкцию ЗС были введены втулки. Использование высшей моды позволило увеличить период и выполнить диафрагмы достаточно массивными для хорошего отвода тепла.

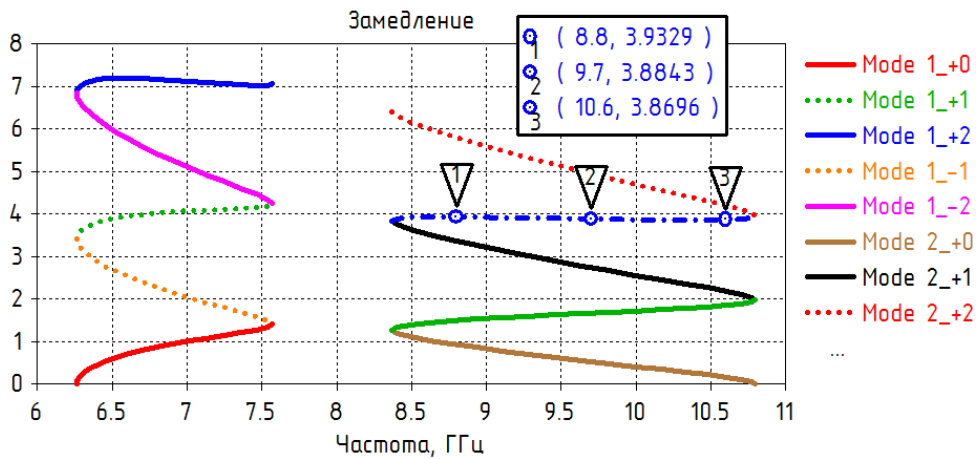


Рисунок 2. Зависимость коэффициента замедления от частоты.

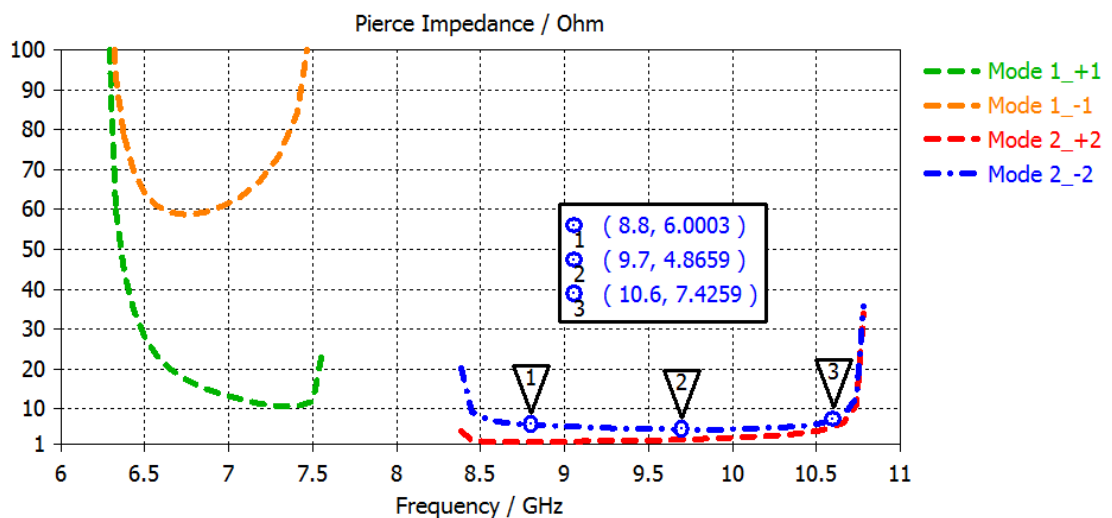


Рисунок 3. АЧХ сопротивления связи.

Нетрудно видеть, что имеется дополнительная, «паразитная» полоса усиления в области 7 ГГц с сопротивлением связи 10-20 Ом. Обратная волна имеет достаточно высокое сопротивление связи (~60 Ом) в области 6.5-7.5 ГГц, но имеет малое замедление, так что самовозбуждение на ней невозможно.

3. Транспортировка пучка в статическом и динамическом режимах

Электронно-оптическое моделирование транспорта электронных пучков в поле соленоида в статическом режиме показало хорошее токопрохождение. ЭОС имеет следующие параметры: общий ток 4.2 А, напряжение питания 22 кВ, заполнение на входе в ЗС – 0.3. Фокусировка электронного потока в канале радиусом 0.75 мм осуществляется постоянным магнитным полем с амплитудой 0.17 Тл, магнитный зазор составляет – 119 мм.

Был произведен двумерный расчет динамического режима в однолучевом приближении. График траекторий частиц в динамическом режиме представлен на рисунке 4.

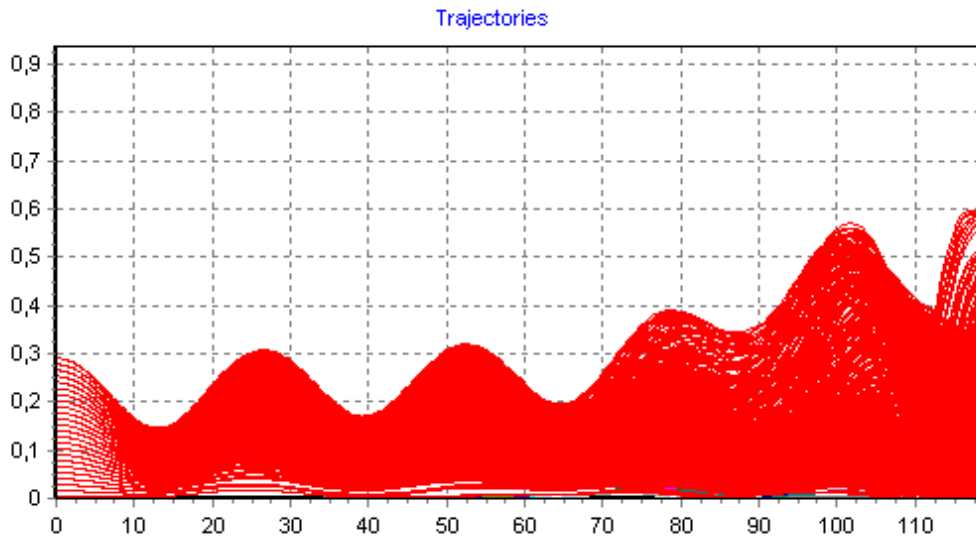


Рисунок 4. Траектории электронного потока в режиме большого сигнала в однолучевом приближении.

Из расчета видно, что электронный пучок расширяется к концу лампы до радиуса 0.6 мм, но проходит без токооседания. В дальнейшем будет прорабатываться вопрос о переходе на реверсную систему.

На рисунке 5 представлен рассчитанные в однолучевом приближении АЧХ входной и выходной мощности прибора в рабочей полосе с учетом возможности подстройки входной мощности.

Выходная мощность лампы составляет 24 кВт, усиление 17 дБ и КПД 28%.

3. Заключение

Расчет показывает, что предложенная ЗС имеет очень слабую дисперсию фазовой скорости и достаточно высокое сопротивление связи, что должно обеспечить стабильную работу ЛБВ в полосе 18 % (при оптимизации входной мощности в рабочей полосе). Использование высшего типа колебаний позволило увеличить период системы и заметно облегчить теплоотвод. Дальнейшее развитие этой конструкции может идти в направлении слияния двух полос прозрачности ЗС и дальнейшего расширения полосы.

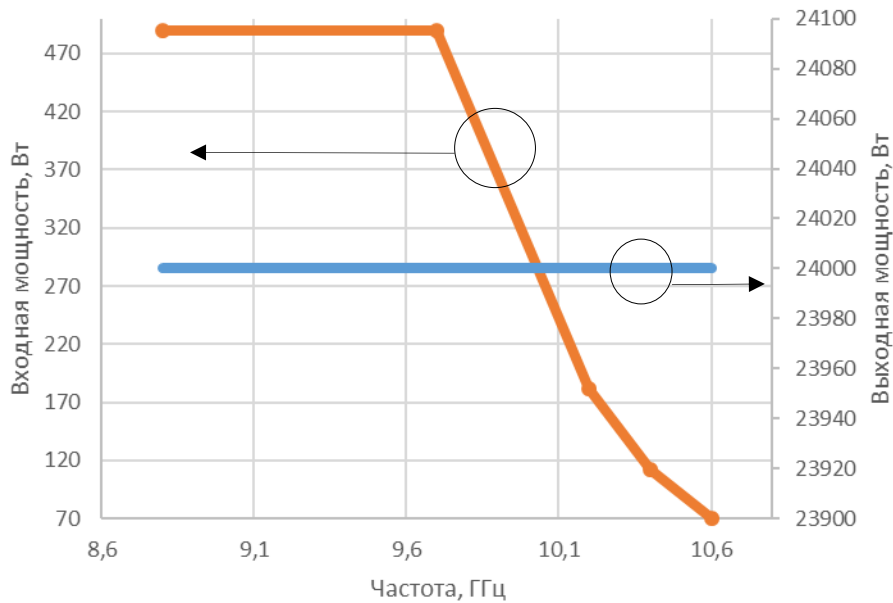


Рисунок 5. АЧХ выходной и входной мощности.

Список литературы

1. Tamashiro R.N., Aldana S.L. 60 percent efficient K-band TWT using a new diamond rod technology // International Electron Devices Meeting, 1989. IEDM '89. Technical Digest. Washigton DC USA, 1989. - С. 187-190.
2. Рожнёв А.Г., Рыскин Н.М., Каретникова Т.А., Торгашов Г.В., Сеницын Н.И., Шалаев П.Д., Бурцев А.А. Исследование характеристик замедляющей системы лампы бегущей волны миллиметрового диапазона с ленточным электронным пучком // Изв. вузов. Радиофизика. 2013. Т. 56. № 8. — С. 601-613.
3. Галдецкий А.В., Богомолова Е.А., Натура И.П., Соколова И.М., Сапрынская Л.А. Проектирование лампы бегущей волны W-диапазона // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2017. Т. 1. № 1. — С. 300-306.