

Проектирование окна ввода энергии баночного типа для ускорителя электронов

С.В. Сурков, С.Е. Шарков, Ю.Н. Парамонов

АО «НПП «Торий»

Аннотация: в данной работе рассматривается вопрос проектирования герметизирующего окна баночного типа имеющего стабильную характеристику согласования с низким уровнем КСВн в полосе рабочих частот. На основании результатов моделирования показано, что использование конструкции с бегущей волной в диэлектрике позволяет ослабить электрическое поле во всем объеме керамики и вблизи ее поверхности.

Ключевые слова: окно баночного типа, керамическая перегородка, ускоритель электронов, электрическое поле, уровень согласования, бегущая волна в диэлектрике

1. Введение

За последние несколько десятилетий стремительно стала развиваться и совершенствоваться ускорительная техника. Линейные ускорители электронов широко используются в стерилизации, радиационной дефектоскопии, радиационной обработки, комплексов лучевой терапии, инспекционно-досмотровых комплексов (ИДК) и т.д.

Данная работа посвящена проектированию ввода энергии в ускоряющую структуру нового поколения, являющего в данном случае связующим звеном ускорителя электронов и источника СВЧ энергии, способного поддерживать уровень вакуума в ускоряющей структуре на требуемом уровне и пропустить СВЧ мощность от клистронов или магнетронов с минимальными потерями.

На основании имеющего огромного опыта сотрудников предприятия АО «НПП «Торий» в области разработки и изготовления волноводных герметизирующих окон, предназначенных для передачи высоких и сверхвысоких уровней СВЧ мощности без потерь в дециметровом диапазоне длин волн от клистронов или магнетронов в ускоряющую структуру, было рассмотрено несколько вариантов конструктивного исполнения окна ввода энергии с применением керамической перегородки из различных материалов с учетом возможных изменений их диэлектрической проницаемости ϵ , связанных с технологическим разбросом и зависимостью величины ϵ от температуры окна.

2. Выбор формы и материала керамической перегородки

В отличие от приборного окна вывода энергии окно ввода энергии ускорителя не имеет защиты в виде ферритового циркулятора. Поэтому применение керамической перегородки в виде конуса непосредственно в ускорителе, где может потребоваться значительно больший запас по пропускной способности, представляется нежелательным.

Отечественный и зарубежный опыт разработки электровакуумных СВЧ приборов с выходной импульсной мощностью 10 и более МВт, а также с высокой средней мощностью свидетельствует о том, что вместо конусных окон в прямоугольных волноводах используют окна баночного типа с дисковыми керамическими перегородками.

Достоинством баночных окон с вакуумноплотной перегородкой в виде

керамического диска, установленного в отрезке круглого волновода, является их очевидная технологичность, которая обусловлена простой формой перегородки и удобством ее пайки в цилиндрическую металлическую оболочку (манжету).

Передача энергии через волновод увеличенного сечения (по сравнению с прямоугольным волноводом) уменьшает плотность энергии СВЧ на единицу поверхности перегородки, а, следовательно, и величину напряженности электрического СВЧ поля, определяющую устойчивость окна к пробоям в газе и порог возникновения вторично-электронного СВЧ разряда (ВЭР) на вакуумной стороне поверхности диэлектрической пластины.

В настоящее время в окнах ввода-вывода энергии приборов дециметрового диапазона длин волн практически повсеместно используют различные алюмооксидные керамики, отличающиеся процентным содержанием окиси алюминия (Al_2O_3).

В качестве материала диэлектрической перегородки была выбрана керамика ВК94-1 (22ХС) исходя из соображений того, что в низкочастотной части СВЧ диапазона диэлектрические потери в диске, прямо пропорциональные частоте, минимальны, что и позволяет применять керамику с невысоким коэффициентом качества во вводах-выводах энергии при передаче повышенных уровней средней мощности, не опасаясь термомеханического разрушения, вызванного неравномерным распределением потерь и температуры в керамическом диске. При необходимости электрическое СВЧ поле в диске может быть уменьшено за счет выбора соответствующей конструкции окна.

3. Выбор конструкции волноводного окна ввода энергии

Учитывая значительные размеры проектируемого окна на сравнительно низкой рабочей частоте в сочетании с компрессированием тракта, а также имеющийся успешный опыт создания окон на более высокие частоты при больших уровнях импульсной мощности и меньших уровнях средней мощности, можно сделать вывод о том, что для создания надежного окна основной акцент все же должен быть сделан на получение максимально запаса по пропускной способности, определяемой неравномерным нагревом керамики из-за диэлектрических потерь.

В качестве возможного решения поставленной задачи был рассмотрен вариант конструкции окна с бегущей волной в диэлектрике [1]. Отличие конструкции окна, как это следует из его названия, состоит в получении бегущей волны H_{11} в диэлектрике при подавлении других типов волн за счет увеличения расстояния от волноводных стыков до керамической перегородки и выбора диаметра круглого волновода (150 мм), запределного для всех остальных волн.

В основу конструкции положена идея использования низкого волнового сопротивления круглого волновода, заполненного диэлектриком с высоким значением диэлектрической проницаемости ϵ , что позволяет ослабить электрическое поле внутри него примерно в $\sqrt[4]{\epsilon}$ раз.

Применение бегущей волны дает дополнительное преимущество выбора любой толщины диска, позволяющей с одной стороны противостоять заданному перепаду давлений, а с другой стороны - обеспечивающей достаточный запас по величине полосы частот, свободной от паразитных видов колебаний в перегородке.

Выбранная толщина составила 8,5 мм. После этого рассчитывались размеры индуктивных диафрагм на стыках волноводов и расстояния от них до керамического диска. Для получения бегущей волны в диэлектрике необходимо, чтобы отражения от волноводных стыков на рабочей частоте компенсировали отражение от ближайших к ним поверхностей перегородки. Углы волноводных стыков вдоль широких стенок в отверстиях диафрагм скруглены (радиусы скругления $R=5$ мм) с целью ослабления в

этих местах электрических полей и повышения электропрочности волноводных окон.

4. Результаты моделирования спроектированного окна ввода энергии баночного типа с бегущей волной в диэлектрике

Трёхмерная модель разработанного окна ввода энергии баночного типа с бегущей волной в диэлектрике, выполненного в виде дисковой перегородки из алюмооксидной керамики ВК94-1 представлена на рисунке 1.

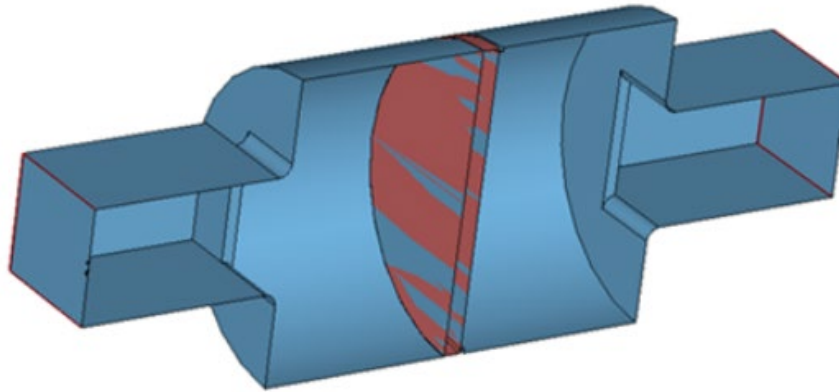


Рисунок 1. Трёхмерная модель разработанного окна ввода энергии

На рисунке 2 показаны зависимости КСВн от частоты при возможных разбросах диэлектрической проницаемости диска.

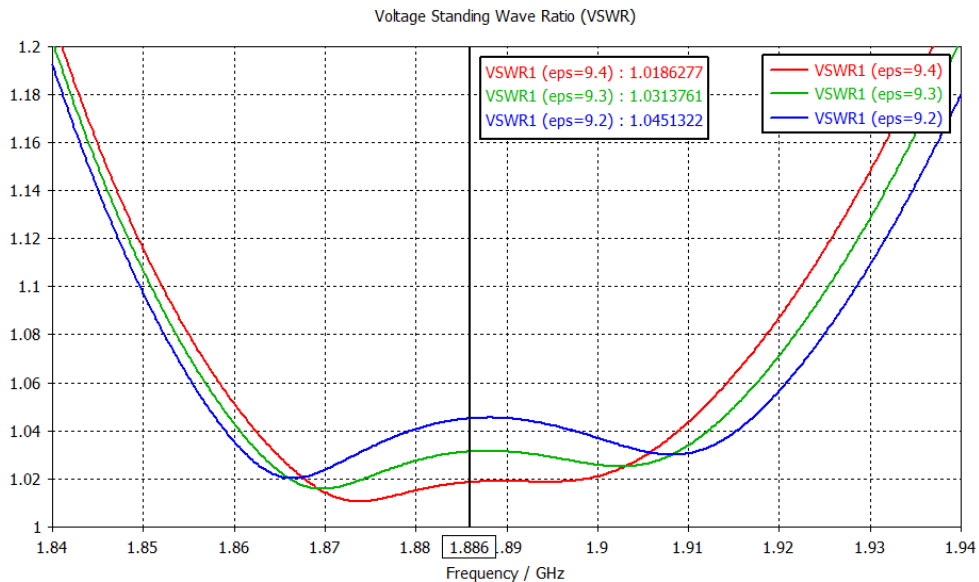


Рисунок 2. Зависимости КСВн от частоты для разных значений диэлектрической проницаемости диска

Как следует из графика, приведенного на рисунке 2, при всех возможных разбросах величины ϵ коэффициент отражения от баночного окна остается весьма низким.

Изменение электрического поля вдоль оси окна показано на рисунке 3.

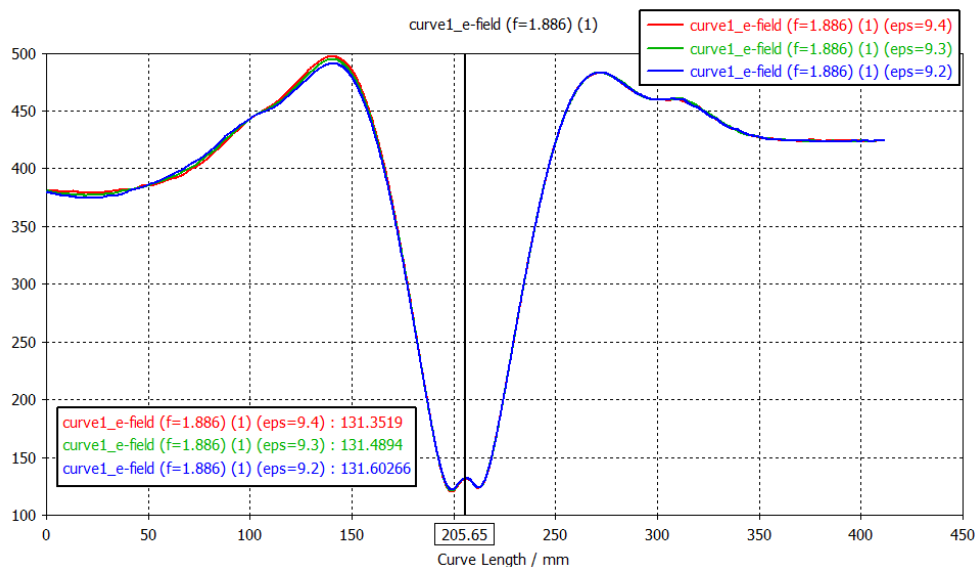


Рисунок 3. Изменение электрического поля вдоль оси окна

Внутри керамического диска электрическое поле ослаблено, что способствует уменьшению диэлектрических потерь в окне, а также позволяет получить стабильное согласование на рабочей частоте, не зависящее от возможных технологических разбросов величины диэлектрической проницаемости.

На рисунке 4 показано распределение электрических полей в Н- и Е- плоскостях у поверхности керамического диска.

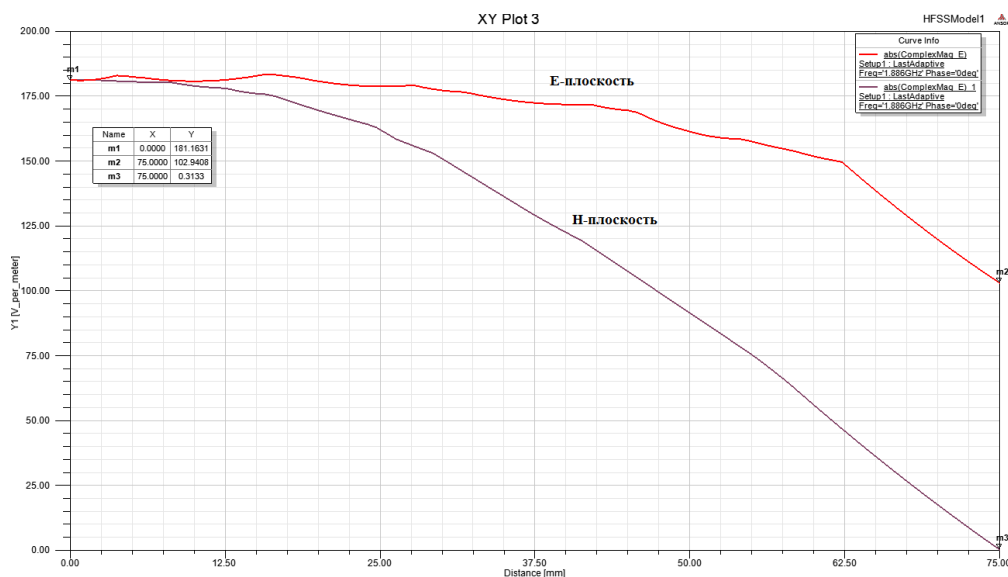


Рисунок 4. Изменение электрического поля вдоль поверхности керамической перегородки в Е- и Н-плоскостях

Из приведенного графика следует, что электрическое поле на краю диска в Е-плоскости ослаблено по сравнению с величиной поля в центре диска. Именно за счет этого удастся ослабить токовую нагрузку на спай металл-диэлектрик и электрические поля в области спаев. В результате резко снижается вероятность пробоев с микроострий припоя по внешней стороне керамического диска.

5. Заключение

В результате проведенного моделирования удалось спроектировать конструкцию окна ввода энергии, построенного по принципу баночного окна с бегущей волной в диэлектрике, в которой удастся ослабить электрическое поле в области спаев металл-диэлектрик и внутри керамического диска. В результате чего снижается вероятность пробоев по поверхности керамической перегородки, способствующих ее разрушению, а также уменьшаются диэлектрические потери, что позволяет получить стабильное согласование в рабочей полосе частоте, не зависящее от возможных технологических разбросов величины диэлектрической проницаемости.

Список литературы

1. Kazakov, S.Yu. A New Traveling-Wave Mixed-Mode RF Window with a Low Electric Field in Ceramic-Metal Brazing Area. KEK Preprint 98-120. August 1998. A.