

Измерение и расчет характеристик сверхразмерного окна с одной бегущей модой

О.Н. Алякринский, А.М. Барняков, А.Н. Лукин, В.Д. Шемелин
*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН,
Новосибирск, Россия*

Представлены результаты измерений коэффициента отражения сверхразмерного СВЧ-окна, состоящего из ступенчатых переходов в круглом волноводе и керамического диска между ними. Многократные отражения от ступеней перехода приводят к компенсации высших типов колебаний, возникающих при трансформации основной волны так, что в диэлектрике образуется бегущая волна. Сделано сравнение с расчетом, оценены допустимые погрешности изготовления. Предполагается повышение электрической прочности, связанное не только с бегущим характером волны, но и с отсутствием продольной компоненты электрического поля.

Введение

Баночное окно бегущей волны [1], предложенное С.Ю. Казаковым в 1992 году, позволило понизить электрическое поле в диэлектрике в $\sqrt[4]{\varepsilon}$ раз. Для формирования поля в таком окне в прямоугольном волноводе размещается пара индуктивных диафрагм симметрично относительно круглого волновода с керамическим диском.

Для реализации идеи бегущей волны в сверхразмерном окне (диаметр окна — керамического диска — превышает несколько длин волн) в работе [2] приводится методика расчета ступенчатого перехода, основанная на анализе высших типов колебаний, возникающих из-за трансформации основной моды (H_{11}), при переходе от одномодового круглого волновода к сверхразмерному круглому с диэлектрическим заполнением. В частности, на основе такого перехода было рассчитано сверхразмерное окно X-диапазона (диаметр окна 81 мм, рабочая частота 11.424 ГГц), в котором распространяется только основная мода H_{11} (вклад остальных менее 0.1% по мощности).

Начальный плавный переход между одномодовыми волноводами — прямоугольным и круглым — при достаточной длине практически полностью согласован и здесь не рассматривается.

1. Описание геометрии и методика расчета

На рис. 1 изображена принципиальная схема конструкции сверхразмерного окна с одной рабочей модой. Использование таких окон предлагается в системах ввода-вывода мощности для СВЧ-питания линейных коллайдеров. При выводе из СВЧ-генератора мощности порядка 100 МВт возникает проблема электрической прочности выходных окон. Для уменьшения напряженности электрического поля, а значит, повышения электрической прочности устройства и были предложены сверхразмерные окна [3]. В этих окнах переход с малого диаметра на большой делался в виде плавного конического рупора, при этом в диэлектрическом окне возможно возникновение высших мод. Заменяв конический плавный переход ступенчатым, можно добиться их отсутствия. Остающийся основной тип H_{11} не имеет при этом E_z составляющей, которая при наличии высших типов колебаний может привести к электрическому пробоею окна с последующим его механическим разрушением [4].

Расчеты проводились с помощью программы COAX [5], разработанной для аксиально-симметричной геометрии. При этом учитывалось 15 Н- и 15 Е-дипольных мод в наибольшем сечении. Результатом расчета являются коэффициенты прохождения и отражения всех учитываемых мод. Геометрические размеры перехода были подобраны так, чтобы в области керамики мощность передавалась в виде основной моды H_{11} . Найденные размеры позволяют подавить суммарную мощность высших типов колебаний более чем на 30 дБ относительно основной моды. Результаты проверялись непосредственным измерением коэффициента отражения на основной моде, который хорошо согласуется с расчетом в широком частотном диапазоне.

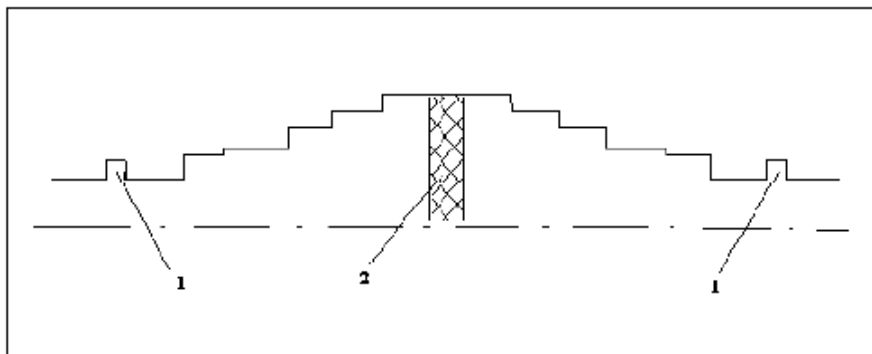


Рис. 1: Принципиальная схема сверхразмерного СВЧ-окна бегущей волны. 1 – компенсирующие канавки, 2 – керамический диск.

2. Экспериментальные результаты

Проверка методики расчета проводилась на образце, изготовленном на частоту 14 ГГц при диаметре 66 мм. Измерялся коэффициент отражения от всей конструкции в широком диапазоне частот. Схема измерений представлена на рис. 2. Она собрана на основе коаксиальной панорамы Р2-104 (Р2-108), которая через штатный интерфейс КОП соединена с РС. Программа для управления схемой и обработки результатов измерений написана О.В. Пироговым. Для подключения к схеме исследуемого окна использовались волноводные ответвители сечением 8×16 мм.

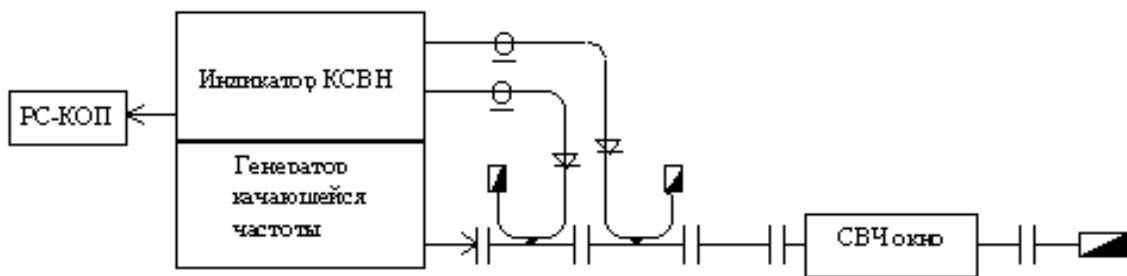


Рис. 2: Схема измерения коэффициента отражения.

Результаты измерений и расчетов коэффициентов отражений представлены на рис.3.

Из-за погрешности изготовления реальные размеры переходов несколько отличаются от теоретических размеров. Этим объясняется наблюдаемое отличие рассчитанной теоретически зависимости квадрата коэффициента отражения от частоты, (кривая 1 на рис. 3) и зависимости, измеренной на изготовленном образце (кривая 2 на рис. 3). С целью проверки точности расчетов была получена зависимость квадрата коэффициента отражения для измененных в

пределах погрешности изготовления ($\pm 0,05$ мм) размеров геометрии окна. Расчетная зависимость (кривая 3 на рис.3) удовлетворительно согласуется с измеренной экспериментальной кривой (кривая 2 рис.3) квадрата коэффициента отражения.

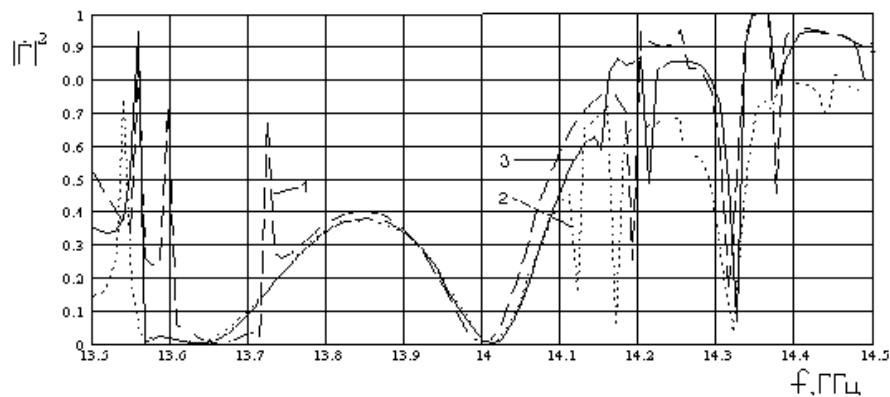


Рис. 3: Зависимость квадрата коэффициента отражения от частоты. 1 — расчетная кривая коэффициента отражения; 2 — экспериментальная кривая коэффициента отражения; 3 — расчетная кривая коэффициента отражения с фактическими размерами окна.

Заключение

Измерения показали хорошее совпадение расчетных и экспериментальных зависимостей коэффициентов отражения в широкой полосе частот. Данная работа была проделана с целью подтверждения методики, в рабочем варианте будут учтены условия, необходимые для расширения полосы, которая для экспериментального окна составила 20 МГц. Наряду со сверхразмерным окном с одной рабочей модой в рамках этой методики предложено: окно с нулевым электрическим полем в области пайки и окно с несколькими бегущими в диэлектрике модами со сдвигом фаз между ними [2], которые также основаны на использовании ступенчатого перехода и в которых рассмотрены другие варианты повышения электрической прочности.

Авторы выражают искреннюю благодарность О.В. Пирогову за помощь в организации измерений.

Список литературы

- [1] *S.Yu. Kazakov*. RF Window with TW in Ceramics. Int. Workshop on Pulsed RF Power Sources for Linear Colliders (RF 93). July 5 – 9, 1993, Dubna - Protvino, Russia, BINP, July, 1993.
- [2] *V.D. Shemelin*. Oversized RF Windows with Travelling H-waves in the Dielectric Area. Вопросы атомной науки и техники. 4, 1999, с. 24 – 26.
- [3] *V.E. Balakin* VLEPP status. Third Int. Workshop on Linear Colliders (LC91). September 17 – 27, 1991, BINP, Protvino, USSR BINP, January 1992.
- [4] *H. Matsumoto*. High Power Coupler Issues in Normal Conducting and Superconducting Accelerator Applications. KEK Preprint 99 - 12, May 1999.
- [5] *O.N. Alyakrinsky, V.A. Dolgashev, A.N. Lukin, V.D. Shemelin*. Development of Overmode RF Window Using Multimode Matrix Formalism. Seventh Int. Workshop on Linear Colliders (LC 97) Sept. 29 – Oct. 3, 1997, Zvenigorod, Russia.