

04: 09

© 1992

## ТРАНСФОРМАЦИЯ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОЙ ВОЛНОВОДНОЙ МОДЫ В ЛИНЕЙНО-ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ ГАУССОВ ПУЧОК ПОСРЕДСТВОМ ПЛАВНО ИЗГНУТОГО ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

С.Н. В л а с о в, И.М. О р л о в а,  
А.В. Ч и р к о в, М.А. Ш а п и р о

1. В ряде экспериментов по нагреву плазмы используются гиротроны [1, 2], генерирующие в длинноволновой части миллиметрового диапазона излучение в виде аксиально-симметричных мод волновода круглого сечения. При транспортировке излучения гиротрона в плазму часто необходимо трансформировать генерируемую высшую волноводную моду в линейно-поляризованный гауссов пучок. В работе [3] исследован трехсекционный трансформатор, состоящий из отрезков плавноффрированных волноводов и последовательно преобразующий рабочую моду гиротрона в моду  $H_{01}$ , затем моду  $H_{01}$  в  $E_{11}$  и моду  $E_{11}$  в гауссов пучок. Этот трансформатор обладает высоким коэффициентом преобразования исходной моды в гауссов пучок, однако является узкополосным и в условиях сверхразмерного сечения тракта имеет большую длину. Компактным и в то же время широкополосным является квазиоптический трансформатор [4], включающий параболическое зеркало и волноводный излучатель в виде отрезка волновода со ступенчато-срезанным концом. Однако в квазиоптическом трансформаторе велики дифракционные потери. В данной работе исследован усовершенствованный квазиоптический трансформатор, совмещающий высокую эффективность с широкополосностью.

Предлагаемый трансформатор аксиально-симметричной моды в гауссов пучок включает две последовательно установленные секции. Первая секция, представляющая собой волноводный переход с круглого сечения на эллиптическое, формирует гауссово распределение поля по одной из декартовых координат; вторая секция, являющаяся плавно-изогнутым эллиптическим волноводом, создает гауссову структуру по другой координате.

2. Предполагается, что переход к эллиптическому сечению производится адиабатически, аксиально-симметричная  $H$ -мода круглого волновода трансформируется в соответствующую моду эллиптического волновода. Структуры исходной и сформированной мод (рис. 1) топологически различны: при переходе к эллиптическому сечению происходит переа замыкание силовых линий поля. При этом,

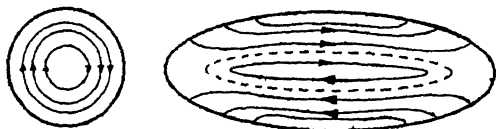


Рис. 1. Электрическое поле во входном и выходном сечениях волноводного перехода.

в условиях сильной деформации сечения, мода содержит в основном одну декартову компоненту поля.<sup>1</sup>

В рассматриваемом случае исходной является мода  $H_{01}$ . После перехода к эллиптическому сечению с полуосями  $a_x$  и  $a_y$   $H_{01}$ -мода трансформируется в волну со следующим распределением  $x$ -компоненты поля

$$E_x \approx \sin(\pi y/a_y) \exp\left(-\frac{x^2}{2W_x^2(y)}\right). \quad (1)$$

Поле имеет гауссово распределение, масштаб которого по  $x$  выражается зависимостью

$$W_x(y) = W_{x0} \left(1 + \left(\frac{a_y y}{\pi W_{x0}^2}\right)^2\right)^{1/2},$$

где размер перетяжки  $W_{x0}$  определяется соотношением

$$W_{x0} \approx \pi^{-1/2} (a_x^2/a_y^2 - 1)^{1/4} a_y.$$

Формирование гауссова распределения поля по одной из координат свидетельствует о том, что часть стенки волновода (примыкающая к большой оси эллипса) засвечивается модой менее интенсивно, чем в волноводе круглого сечения. Таким образом, переход к эллиптическому сечению позволяет оторвать поле от стенки волновода и тем самым уменьшить дифракцию на краях излучателя в квазиоптическом трансформаторе [6].

3. Вторая секция трансформатора – изогнутый эллиптический волновод – является усовершенствованным излучателем. Форма изгиба в плоскости  $(y, x)$  подбирается таким образом, чтобы трансформировать моду эллиптического волновода в пучок с гауссовой структурой по обеим декартовым координатам.

<sup>1</sup> При условии  $kF \gg 1$  ( $k$  – волновое число,  $F$  – фокусное расстояние эллипса) мода эллиптического волновода переходит в моду открытого двухзеркального волновода [5].

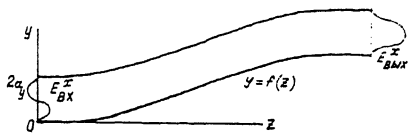


Рис. 2. Профиль изгиба волновода и поперечное распределение амплитуды поля во входном и выходном сечениях.

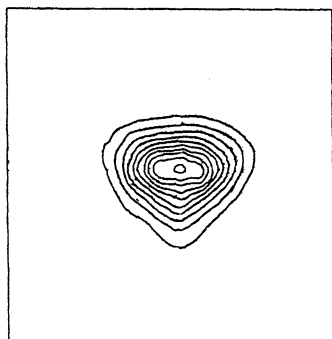
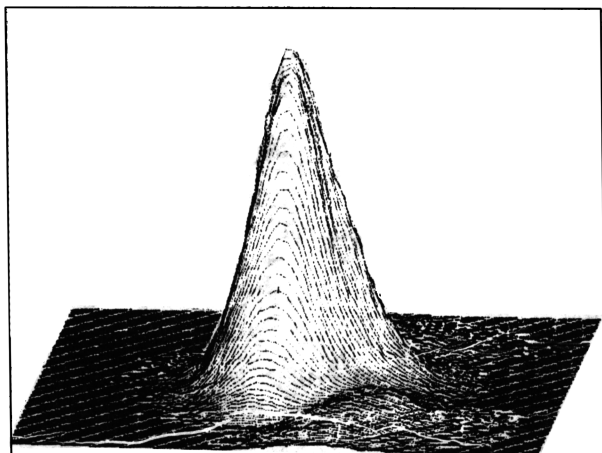


Рис. 3. Распределение амплитуды и линии равных интенсивностей в основной поляризации поля.

Принимая во внимание, что структура поля по  $y$  (1) близка к структуре моды планарного волновода, и выполняется условие параксиальности  $ka_y \gg 1$ , оптимизацию изгиба  $y = f(z)$  (рис. 2) можно проводить, решая в плоскости  $(y, z)$  параболическое уравнение для поля  $E_x$  с нулевыми условиями на границах планарного волновода [7]. В соответствии с расчетами, посредством изгиба

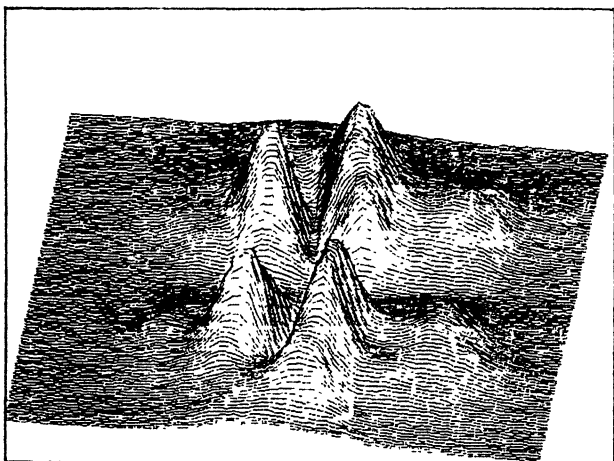


Рис. 4. Распределение амплитуды и линии равных интенсивностей в кросс-поляризованной компоненте поля.

$$f(z) = a_y \left[ 3 \left( \frac{z}{ka_y^2} \right)^2 - \left( \frac{z}{ka_y^2} \right)^4 \right]$$

поле с исходным синусоидальным распределением по  $y$  (1) эффективно трансформируется в гауссову структуру по  $y$ . В итоге на выходе трансформатора распределение амплитуды имеет вид

$$E_x \approx \exp \left( -\frac{x^2}{2W_x^2} - \frac{y^2}{2W_y^2} \right),$$

где масштаб поля по  $y$  —  $W_y = 0.3a_y$ . Длина изогнутого волновода составляет  $1.225ka_y^2$ .

4. Экспериментальный образец трансформатора был изготовлен для волноводного тракта диаметром 40 мм с рабочей длиной волны 8 мм. Волноводный переход на эллиптическое сечение с  $a_x = 50$  мм и  $a_y = 20$  мм имел длину 400 мм, т.е. угол раскрытия в плоскости  $y = 0$  составил  $\beta = 0.075$ .

При проведении измерений волна  $H_{01}$  возбуждалась в волноводе с помощью преобразователя Марье [8]. Эффективность трансформации моды  $H_{01}$ , заданной на сечении диаметром 40 мм, в гауссов пучок, оценивалась путем измерения структуры поля в основной ( $E_x$ ) и кросс-поляризованной ( $E_y$ ) компонентах поля на выходе трансформатора.

Результаты измерений приведены на рис. 3 и 4, где помимо рельефного изображения структуры поля имеются линии равной интенсивности на сечении выходного пучка. Значения интенсивности на каждой последующей линии отличается от предыдущей на 10%. Отношение максимальных интенсивностей в кросс-поляризованной (рис. 4) и в основной компонентах составляет 0.08. При этом интегральная мощность в кросс-поляризованной компоненте - 17%.

Потери  $\Delta$  на трансформацию в паразитные кросс-поляризованные моды оцениваются по прогибу фазового фронта  $\delta$  волны на апертуре рупора с эллиптическим сечением:  $\Delta \approx (k\delta)^2$ . Прогиб фронта составляет  $\delta = \beta k W_x^2 (a_y) / (2 a_x)$ ; таким образом, оценка дает  $\Delta \approx 0.1$ .

5. Продемонстрирована возможность трансформации аксиально-симметричной магнитной волны, распространяющейся в волноводе сверхразмерного круглого сечения, в линейно-поляризованный гауссов пучок с использованием перехода к волноводу эллиптического сечения и последующего изгиба эллиптического волновода. Двухсекционный трансформатор рассчитан на основе квазиоптического приближения. Установлено, что в условиях сверхразмерности исходного тракта требуется оптимизация адиабатического перехода к эллиптическому сечению. Задача оптимизации может быть решена развитием метода обобщенного линзового преобразования [9] применительно к нерегулярным волноводам эллиптического сечения.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Felch K., Bier R., Fox L. et al. // Int. Journ. of Electronics. 1984. V. 57. N 6. P. 815.
- [2] Antakov I.I., Aksjonova L.A., Zasyukin E.V. et al. // Strong Microwaves in Plasmas. - Int. Workshop. Suzdal, 1990. Paper S-10.
- [3] Thumm M. // Int. Journ. of Electronics. 1986. V. 61. N 6. P. 1135.

- [4] В л а с о в С.Н., О р л о в а И.М. // Радиофизика. 1974. Т. 17. № 1. С. 148.
- [5] В а й н ш т е й н Л.А. Открытые резонаторы и открытые волноводы. М.: Сов. радио, 1966.
- [6] M o u r i e r G. / US Patent 4,636,689. Jan. 13, 1987.
- [7] В л а с о в С.Н., Ш а п и р о М.А. // Радиотехника и электроника. 1990. Т. 35. № 1. С. 39.
- [8] В а г а н о в Р.Б., М а т в е е в Р.Ф., М е р и а к - р и В.В. Многоволновые волноводы со случайными нерегулярностями. М.: Сов. радио, 1972.
- [9] В л а с о в С.Н., Ш а п и р о М.А. Гиротроны / Под ред. В.А. Флягина. Сб. научн. трудов. Горький: ИПФ АН СССР, 1989. С. 133.

Институт  
прикладной физики РАН,  
Нижний Новгород

Поступило в Редакцию  
23 апреля 1992 г.