

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ В УСИЛИТЕЛЕ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ НА ЭФФЕКТЕ СМИТА-ПАРСЕЛЛА

Г.С.Воробьев, докторант; А.И.Рубан, асп.; А.С.Кривец, студ.;

А.А.Шматько*, проф.

(*Харьковский государственный университет)

Экспериментальные исследования электродинамической системы усилителя, описанные в [1], проводились в диапазоне частот $f = 30 - 37$ ГГц по методике [2,3]. Открытый волновод (ОВ) образован двумя плоскими зеркалами с поперечными размерами $D = 50$ мм и длиной $L = 150$ мм, что соответствовало выполнению условия $L / \lambda > 10$ (λ - длина волны излучения).

На одном из зеркал ОВ наносилась дифракционная решетка (ДР), вдоль оси которой располагался планарный диэлектрический волновод (ДВ), подключаемый через измерительную схему к источнику колебаний. Выбор параметров излучающей системы ДР-ДВ производился на основании выполнения условия формирования в ОВ объемной волны [2]. Экспериментальная установка позволяла измерять диаграммы направленности излучения, амплитудные распределения полей вдоль осей ОВ, КСВ и коэффициенты передачи системы ($\kappa_{\Pi} = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}$, $P_{\text{вых}}$ и $P_{\text{вх}}$ - мощности на входе и выходе ДВ соответственно).

На рис. 1а в относительных единицах приведены результаты исследований мощности (P) диаграмм направленности излучающей системы для трех значений частоты. Из графиков видно, что основной максимум диаграмм направленности излучения с изменением частоты смещается на угол $\Delta \varphi \approx \pm 8^\circ$ относительно расчетного значения $\varphi = 70^\circ$,

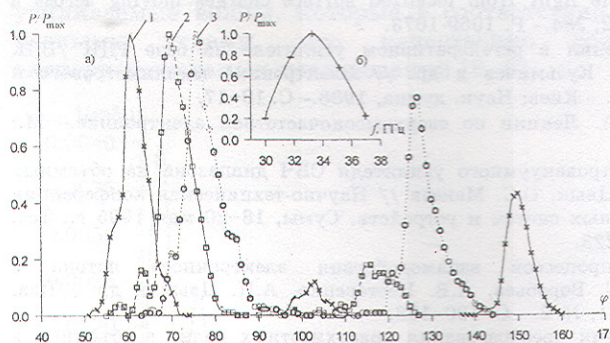


Рисунок 1 - Пространственные характеристики излучающей системы:

а) диаграммы направленности излучения: 1 - $f = 37.5$ ГГц, 2 - $f = 33.3$ ГГц, 3 - $f = 30$ ГГц, б) амплитудно-частотная характеристика излучателя

что обусловлено дисперсионными свойствами используемого в эксперименте ДВ. Кроме основных максимумов, на диаграммах наблюдаются дополнительные максимумы, связанные с паразитным излучением на концах ДР и ДВ, а также наличием отраженной волны в СВЧ тракте на согласующих переходах. Дополнительные диаграммы, обусловленные отраженной волной, излучаются под углом $\varphi > 90^\circ$ и имеют

минимальную мощность в центральной области частотного диапазона, на которую производилась настройка и согласование ДВ.

На рис.16 приведена амплитудно-частотная характеристика, демонстрирующая дисперсионные свойства излучателя ДР-ДВ. Изменение уровня диаграмм направленности главного лепестка в два раза при отстройке частоты от центральной на $\pm 10\%$ определяет эффективную полосу работы излучающей системы. Такое поведение характеристики может быть объяснено с помощью измерений в волноводном тракте, к которому подключена исследуемая система. В частности, на рис.2 представлены волноводные характеристики ДВ, излучателя и ОВ: коэффициенты передачи и КСВ. Из графиков видно, что КСВ диэлектрического волновода в заданном интервале частот изменяется от значений 1.1, в центральной области, до значений 1.4, на краях частотного диапазона, что обусловлено отражениями от согласующих переходов ДВ - волноводный тракт. Соответствующим образом в интервале значений 0.5-0.8 изменяется и коэффициент передачи системы. Наличие ДР приводит к существенному уменьшению κ_{Π} за счет трансформации поверхностной волны ДВ в объемную волну (рис. 2, график 2). Влияние отражающего экрана (модель ОВ) проявляется в резонансных свойствах волноводных характеристик исследуемой системы: значительном уменьшении в диапазоне частот $f=32-35$ ГГц коэффициента передачи и увеличении КСВ (графики 3 на рис. 2). При этом вся энергия

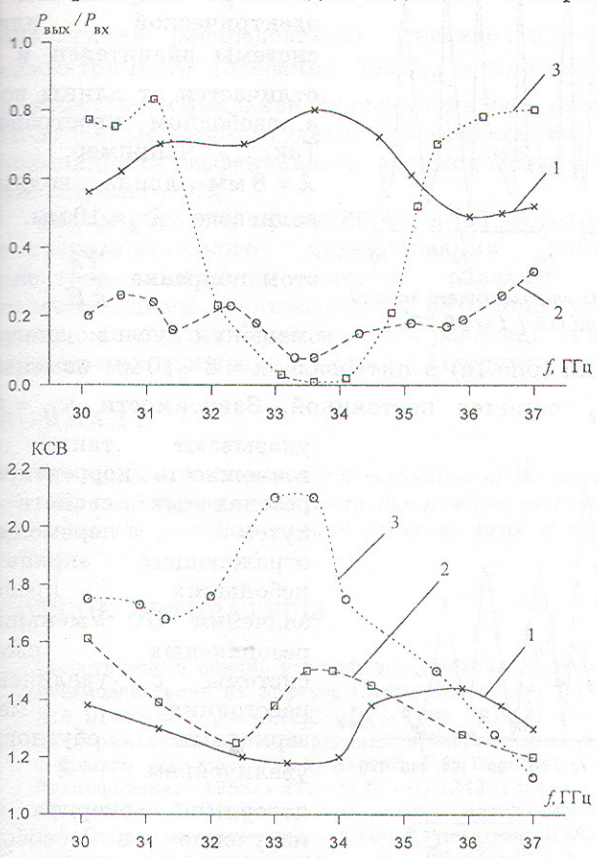


Рисунок 2 - Волноводные характеристики: ДВ - 1, излучателя (ДР-ДВ) - 2, ОВ - 3

сосредотачивается в объеме ОВ, о чем свидетельствует увеличение интенсивности излучения из открытого конца волновода, регистрируемого рупорной антенной. Резонансные свойства системы сохраняются в интервале расстояний между зеркалами $H = \lambda - 10\lambda$ и наиболее наглядно могут быть проиллюстрированы зависимостью $\kappa_{\Pi} = f(H)$, которая приведена на рис. 3 и качественно согласуется с аналогичным теоретическим графиком инкремента нарастания амплитуды в зависимости от высоты экрана [1].

Максимальные (минимальные) значения κ_{Π} повторяются при расстояниях до экрана кратных $\lambda_g/2$, где λ_g - длина волны в ОВ, определяемая соотношением [4].

значений 1.1, в центральной области, до значений 1.4, на краях частотного диапазона, что обусловлено отражениями от согласующих переходов ДВ - волноводный тракт. Соответствующим образом в интервале значений 0.5-0.8 изменяется и коэффициент передачи системы. Наличие ДР приводит к существенному уменьшению κ_{Π} за счет трансформации поверхностной волны ДВ в объемную волну (рис. 2, график 2). Влияние отражающего экрана (модель ОВ) проявляется в резонансных свойствах волноводных характеристик исследуемой системы: значительном уменьшении в диапазоне частот $f=32-35$ ГГц коэффициента передачи и увеличении КСВ (графики 3 на рис. 2). При этом вся энергия

$$\lambda_g = \lambda \left(1 + \frac{\Psi \lambda}{\pi H} \right).$$

Анализ зависимостей коэффициента передачи от H в диапазоне частот

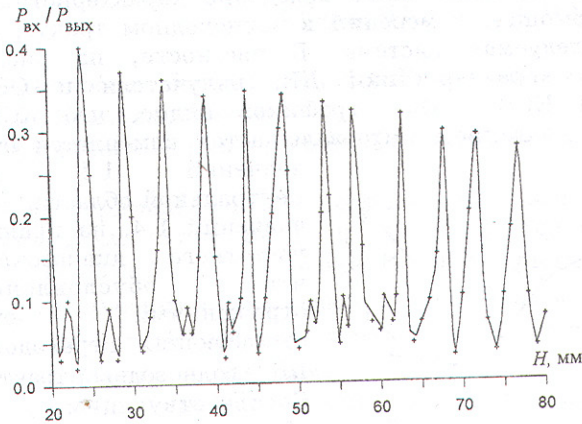


Рисунок 3 - Влияние высоты отражающего экрана на коэффициент передачи ОВ ($f = 33$ ГГц)

показал, что в отличие от плоско-параллельного резонатора в волноводе дополнительный к геометрическому набег фазы Ψ по сравнению с электрической длиной системы значителен и λ_g отличается от длины волны в свободном пространстве. Так, например, при $\lambda = 8$ мм длина волны в волноводе $\lambda_g \approx 10$ мм. При этом поправка $\frac{\Psi \lambda}{\pi H}$ за счет

смещения углов диаграмм

направленности излучения (рис.1а) в интервале $\lambda = 8 - 10$ мм изменяется таким образом, что λ_g остается постоянной. Зависимости $\kappa_{\Pi} = f(H)$

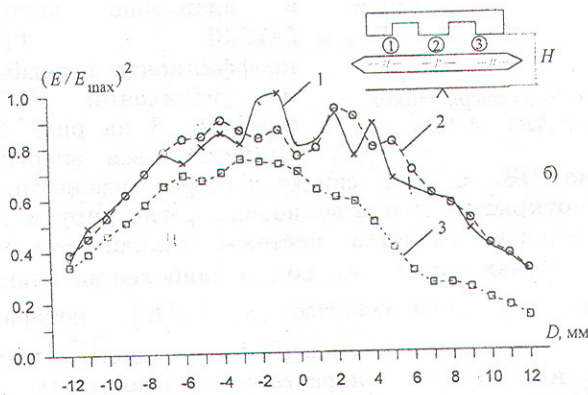
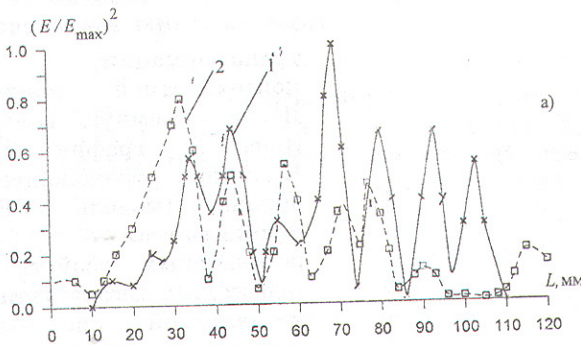


Рисунок 4 - Амплитудные распределения полей вдоль продольной (а) и поперечной (б) осей волновода:

а) 1 - $H = 25$ мм, 2 - $H = 50$ мм, б) 1 - $L = 37$ мм, 2 - $L = 83$ мм, 3 - $L = 117$ мм

указывают также на возможность корректировки резонансных свойств ОВ путем перемещения отражающего экрана в пределах небольших значений H . Уменьшение резонансных свойств системы с увеличением расстояния между зеркалами обусловлено увеличением λ_g и потерями энергии на излучение в свободное пространство за счет разбюстировки системы.

Поскольку все процессы связанные с преобразованием поверхностных волн в объемные, происходят в зоне ближних полей, то важной характеристикой исследуемой системы является амплитудное их распределение вдоль продольной и поперечной осей. Относительные амплитуды распределения полей (E/E_{\max}) для различных значений H и L при $f = 33$ ГГц, измеренные

по методике [2], представлены на рис.4.

Из графиков рис. 4а видно, что картина поля вдоль продольной оси ОВ, при заданных значениях H и $\varphi \approx 70^\circ$ имеет вид стоячей волны с равномерным распределением максимальных значений амплитуды на $\frac{2}{3}L$, что существенно отличает исследуемую систему от ОВ с цилиндрическими зеркалами [2], где существенный спад поля наблюдается на $\frac{1}{3}L$. Картина поля в поперечном сечении ОВ (рис. 4б) – аналогична распределению относительной амплитуды поля нечетно-симметричного колебания TEM_{10} в плоско-параллельном резонаторе [4] и имеет максимальное значение на оси волновода вдоль всей системы. Полученные амплитудные распределения полей свидетельствуют о возможности эффективного взаимодействия ЭП на значительной длине исследуемого ОВ.

Таким образом, проведенный в [1] теоретический анализ и результаты экспериментального моделирования показали, что исследуемая электродинамическая система обладает резонансными свойствами, позволяющими реализовать на ее основе усилитель с квазиоптическим выводом энергии. Практическая реализация такого усилителя затруднена сложностью юстировки зеркал и большими потерями на излучение.

SUMMARY

The results of the experimental modulation of the condition of oscillations in the amplifier electrodynamic system on the Smith-Parsell effect qualitatively correlate a theoretical analysis and allow the possibility to build device on basis of the open waveguide with flat parallel mirrors.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретический анализ условий возбуждения колебаний в усилителе с распределенным взаимодействием на эффекте Смита-Парселла / Г.С.Воробьев, А.С.Кривец, А.И.Рубан, А.А.Шматько // Вестник СумГУ. – 1998. №1(12). – С. 28-33.
2. Экспериментальные исследования преобразования поверхностных волн в объемные в открытом волноводе / А.А. Вергий, Г.С. Воробьев, И.В. Иванченко и др. // Изв. вузов. Радиофизика. - 1988. - 31. - № 6. - С. 1242-1254.
3. Шестопалов В.П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. Т.1: Открытые структуры. – Киев: Наук. думка, 1985. – 216 с.
4. Техника субмиллиметровых волн / Под ред. Р.А. Валитова. - М.: Советское радио, 1969. – 480 с.

Поступила в редколлегию 21 сентября 1998 г.