

равенство амплитуд $|E_x^{np}| = |E_y^{np}|$ достигается отклонением оси вибратора от диагонали волновода в сторону углов, меньших 45° . Отметим, что смещение середины вибратора из центра волновода в горизонтальной ($y_0/b=0,5$) и в вертикальной ($x_0/a=0,5$) плоскостях слабо влияет на энергетические и поляризационные характеристики.

Таким образом, одиночный наклонный вибратор в квадратном волноводе позволяет преобразовать линейно поляризованную волну в практически кругополяризованную в узкой полосе частот, однако величина коэффициентов отражения и преобразования имеет довольно высокие значения.

Список литературы: 1. Бондаренко И. К., Дейнега Г. А., Маграчев З. В. Автоматизация измерений параметров СВЧ трактов. М., 1969. 304 с. 2. Цибилов К. Н., Витовцев А. Г. Расчет поляризатора СВЧ с диэлектрической пластинкой // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1987. Т. 30, № 11. С. 69—71. 3. Петленко В. А., Хижняк Н. А. Рассеяние электромагнитных волн идеально проводящими телами в прямоугольном волноводе // Изв. вузов. Радиофизика. 1978. Т. 21, № 9. С. 1325—1331. 4. Петленко В. А., Нестеренко М. В. Распределение тока и резонанс стержневых проводников в прямоугольном волноводе // Изв. вузов. Радиофизика. 1984. Т. 27, № 3. С. 356—362. 5. Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П. Теория волн, М., 1979. 387 с.

Поступила в редколлегию 18.12.88

УДК 621.385

Н. Н. ЖДАНОВ, канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ С ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫМИ ЛАМЕЛЯМИ

Известно, что дисперсионные характеристики, в частности, взаимное положение полос пропускания, зависят от формы ламели гребенчатой замедляющей системы. Так, в работах [1; 2] показано, что при T-образной форме ламели гребенчатой замед-

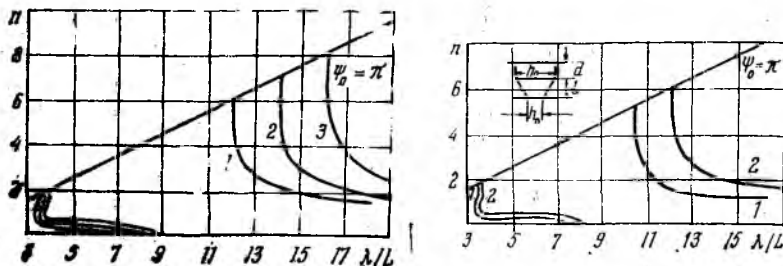


Рис. 1

ляющей системы основная полоса смещается в более длинноволновую область по отношению ко второй полосе, которая остается на месте, как и в случае прямоугольных ламелей.

Исследуются электродинамические характеристики гребенчатой однородной замедляющей системы с трапецеидальными ламелями (рис. 1). Для получения дисперсионного уравнения исследуемой замедляющей системы используется электродинамический метод расчета — согласование проводимостей [3], который заключается в определении проводимости пространства взаимодействия $Y_{пз}$ и входной проводимости резонатора с ламелями трапецеидальной формы Y_1^n .

Дисперсионное соотношение определяется из условия равенства нулю суммы указанных проводимостей $Y_{пз} + Y_1^n = 0$ (1). Для определения выражения входных проводимостей использовалось соотношение [3]

$$Y = \frac{\int E_\tau^* \cdot H_\tau ds}{|\int E_\tau dl|^2}, \quad (2)$$

где E_τ , H_τ — тангенциальные составляющие электромагнитного поля, которые определяются из решения волнового уравнения.

Выражение проводимости для пространства взаимодействия имеет следующий вид:

$$Y_{пз} = -j \left(\frac{h_0}{L} \right) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} (kd) \sum_{s=-\infty}^{+\infty} \frac{\operatorname{ctg} \alpha_s d_1}{\alpha_s d} \left(\frac{\sin \psi_s d_1}{\psi_s d_1} \right)^2, \quad (3)$$

где $k = 2\pi/\lambda$ — постоянная распространения в вакууме;

ϵ_0 , μ_0 — электрическая и магнитная проницаемость вакуума;

$\psi_s = \psi_0 + 2\pi s$ — фазовый сдвиг, s -й пространственной гармоники
 $s = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ — номер пространственной гармоники;

$\alpha_s = \sqrt{k^2 - \psi_s^2}$ — поперечное волновое число.

Для определения входной проводимости резонатора с трапецеидальной ламелью, ее аппроксимируют n -ступенчатой T -образной ламелью, как это показано на рис. 1. Боковая сторона трапеции представляется ломаной кривой, которая будет описывать ее, при этом, чем больше число разбиений n , тем выше будет точность расчета. Длинная линия с трапецеидальными ламелями заменяется n -ступенчатой прямоугольной линией, т. е. разбивается на n равных по длине прямоугольных отрезков длинных линий различной ширины

$$h_m = h_0 \cdot \left[1 - \frac{m(\alpha - 1)}{\alpha n} \right], \quad (4)$$

где $m = 1, \dots, n$ — номер отрезка прямоугольной длинной линии;
 $\alpha = h_0/h_n$ — отношение широкой и узкой сторон трапецеидальной ламели (коэффициент трапецеидальности).

Таким образом, входная проводимость резонатора с трапецеидальными ламелями Y_1^n представляет собой последовательное

соединение n отрезков прямоугольных длинных линий длиной $l_0 = \frac{l}{n}$ и шириной, определяемой соотношением (4), последний m -й из которых — закороченный отрезок, длиной l_0 , имеющий проводимость, определяемую выражением

$$Y_m^n = -j \left(\frac{h_m}{2d_1} \right) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \operatorname{ctg} \frac{kl}{n}, \quad (5)$$

которая, в свою очередь, является нагрузкой для следующего $(m-1)$ -го отрезка прямоугольной длинной линии. Проводимость ее равна

$$Y_{m-1}^n = j \left(\frac{h_{m-1}}{2d_1} \right) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \frac{\left(\sin \frac{kl}{n} + \frac{Y_m^n}{j \left(\frac{h_{m-1}}{2d_1} \right) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}}} \cos \frac{kl}{n} \right)}{\cos \frac{kl}{n} - \frac{Y_m^n}{j \left(\frac{h_{m-1}}{2d_1} \right) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}}} \sin \frac{kl}{n}}. \quad (6)$$

Последовательно соединяя аналогичные отрезки длиной линии, получаем входную проводимость резонатора с трапецидальными ламелями Y_1^n , которая является функцией коэффициента трапецидальности α и числа разбиений n . Значения α могут изменяться в довольно широких пределах $1 \leq \alpha \leq \infty$. Если $\alpha=1$, то рассматриваемая система с прямоугольными ламелями, а если $\alpha=\infty$, то тогда они будут треугольными. В зависимости от значения α число разбиений n будет различным. С ростом α оно тоже увеличивается. Но как показывает практика, в реальных приборах значения $\alpha \ll \infty$, так как при больших значениях коэффициента трапецидальности ухудшается теплоотвод и механическая прочность замедляющих систем. Для дисперсионного соотношения (1) был составлен алгоритм расчета и написана программа на языке Фортран-IV, численная реализация которой осуществлялась на ЭВМ ЕС-1050. Расчеты дисперсионных характеристик проводились для различного числа разбиений n входной проводимости резонатора Y_1^n , где $n=2, 3, 4, 5, 6$, и различных значений $\alpha=1, 2, 4, 8$. Для определения числа разбиений n трапецидальной ламели при каждом конкретном α вводится погрешность на трапецидальность δ , которая определялась как

$$\delta = \frac{\lambda'_\pi - \lambda''_\pi}{\lambda''_\pi} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где λ'_π — значение длины волны на π -виде колебаний для системы, когда боковая сторона трапеции аппроксимируется ломанной кривой с ее внешней стороны; λ''_π — значение длины волны, когда боковая сторона аппроксимируется внутренней стороной трапеции.

Как показали расчеты, при $\alpha=2$ и разбиении $n=5-6$ отрезков величины $\delta \approx 1,5\%$, а для значения $\alpha=8$ при том же разбиении $\delta \approx 7\%$. Следовательно, с увеличением α должно возрастать число разбиений при заданной точности, но это приводит к более громоздкому выражению, описывающему входную проводимость резонатора с трапециевидальной ламелью. Число разбиений ($n=6$) вполне достаточно для практических расчетов, так как увеличение $\alpha > 3$ приводит к ухудшению теплоотвода в данной замедляющей системе.

На рис. 1 представлен расчет дисперсионных характеристик гребенчатых замедляющих систем с прямоугольной и трапециевидальной формой ламели (при $\alpha=2$). Кривая 1 получена для прямоугольной ламели, 2 — для трапециевидальной. При трапециевидальной ламели основная полоса пропускания смещается в более длинноволновую область по сравнению с системой, у которой они прямоугольные, но при этом положение высших полос пропускания изменяется незначительно.

Как видно из рис. 2, с ростом α основная полоса смещается в более длинноволновую область (соответственно кривая 1 — $\alpha=2$; 2 — $\alpha=4$; 3 — $\alpha=8$). С возрастанием α увеличиваются эквивалентные индуктивности и емкости трапециевидального резонатора в основной полосе, а эквивалентные параметры в высших полосах пропускания не изменяются. Это приводит к тому, что основная полоса пропускания замедляющей системы смещается в более длинноволновую область, а высшие остаются на месте.

Рассматривалась также замедляющая структура, у которой узкое основание трапеции обращено в пространство взаимодействия, для которой $\alpha < 1$. С уменьшением α длинноволновая полоса пропускания смещается в более коротковолновую область, что характеризуется уменьшением емкости, связанной с пространством взаимодействия.

Расчет сопротивления связи для данных систем показал, что оно мало отличается от гребенчатой замедляющей структуры с прямоугольными ламелями. Величина пространства взаимодействия и толщины ламелей мало влияет на электродинамические параметры данной системы.

Таким образом, исследование дисперсионных характеристик гребенчатой замедляющей системы с трапециевидальными ламелями показало, что изменяя $\alpha > 1$, можно управлять положением основной полосы пропускания, смещая ее в более длинноволновую область. Следовательно, используя данную замедляющую структуру в СВЧ-приборах, можно несколько уменьшать их габаритные размеры и массу.

Список литературы: 1. Головаш С. А., Жданов Н. И., Писаренко В. М. Исследование Т-образной гребенчатой замедляющей системы // Радиотехника. 1984. Вып. 70. С. 87—90. 2. Жданов Н. И., Харченко О. И., Старостенко В. В. Исследование штыревой Т-образной замедляющей системы в прямоугольном волноводе // Радиотехника. 1986. Вып. 77. С. 35—40. 3. Магнетроны сантиметрового диапазона / Под ред. С. А. Зусмановского. М., 1950. Ч. 1. 420 с.

Поступила в редколлегию 06.01.89