

ПАРАМЕТРЫ ПОЛОСКОВЫХ ДИАГРАММООБРАЗУЮЩИХ СВЧ-УСТРОЙСТВ

Многоканальные диаграммообразующие устройства, выполненные из полых волноводов, имеют большие габариты и вес, трудоемки в производстве. Полосковые устройства выгодно отличаются от волноводных по всем перечисленным параметрам. Кроме того, их конструкция значительно проще, технологичнее. Полосковые устройства могут быть изготовлены печатным способом. Поэтому интерес к ним возрастает.

Ниже описываются результаты исследования 8- и 16-канальных полосковых диаграммообразующих устройств, выполненных по схеме Батлера [1, 2]. Работа проводилась в целях выяснения возможностей использования полосковых диаграммообразующих устройств в широкой полосе частот.

Эффективность применения диаграммообразующих устройств определяется рядом параметров, среди которых одним из решающих является рабочая полоса частот. Разработка и подготовка производства диаграммообразующих устройств длительны и дорогостоящи даже в случае полосковой конструкции. Поэтому желательно использовать каждое такое устройство на нескольких фиксированных рабочих частотах или в широкой непрерывной полосе частот. Кроме того, в случае широкополосной схемы можно значительно смягчить производственные допуски, а следовательно, сократить время изготовления изделия и понизить его стоимость.

Описание устройств

Основными частями диаграммообразующих полосковых устройств являются печатные платы (рис. 1), выполненные, согласно [1], в соответствии с диаграммообразующими схемами. Плата 16-канального устройства (рис. 2) выполнена из двух зеркально симметричных половин, подобных плате 8-канального устройства (рис. 1). Для сокращения длины соединительных проводов половины плат располагались одна над другой на расстоянии около 12 мм. В схемы входят 3-децибельные квадратные направленные ответвители НО и фиксированные фазо-

вращатели Φ (рис. 2). Роль фазовращателей выполняют отрезки полосковых линий соответствующей длины

$$\Delta l = \frac{\psi}{2\pi} \frac{\lambda_0}{k_y}, \quad (1)$$

где ψ — сдвиг фазы;
 λ_0 — длина волны в свободном пространстве;
 k_y — коэффициент укорочения волны в линии.

Широкополосность диаграммообразующих устройств обеспечена главным образом структурой печатного рисунка (рис. 1), подчиненной следующим требованиям.

1. Длины путей между любым вводом и выводом одинаковы, за вычетом отрезков линий, имитирующих фиксированные фазовращатели.

2. Протяженность этих путей минимально возможная, в чем можно убедиться, проследив, например, форму тракта ab .

3. Количество неоднородностей, влияющих на фазовую характеристику каналов, на всех путях одинаково. Схемы имеют три неоднородности с разными фазовыми характеристиками — изгибы, перекрещивающиеся секции и 3-децибельные ответвители.

На любом пути их количество одинаково. Исключение составляют перекрестки, число которых равно трем или четырем.

4. Технологичность печатной платы. Она достигается применением в рисунке только прямоугольных изгибов и параллельных полосок. Маску такой печатной платы легко выполнить при помощи типовых координатографов.

Для выравнивания количества изгибов на разных путях в схему введены шлейфы (например, cd , рис. 1). Шлейфы служат также для удлинения коротких путей (например, ef); благодаря им упрощается разработка и доводка устройства. Так, выходные сдвиги фазы корректировались только изменением длины указанных шлейфов.

В диаграммообразующих устройствах применена высокодобротная воздушная симметричная полосковая линия со следующими размерами: ширина полоски b и расстояние между экранирующими пластинами H равны 3,5 мм, толщина центральной платы $t=0,5$ мм. Волновое сопротивление линии около 50 ом.

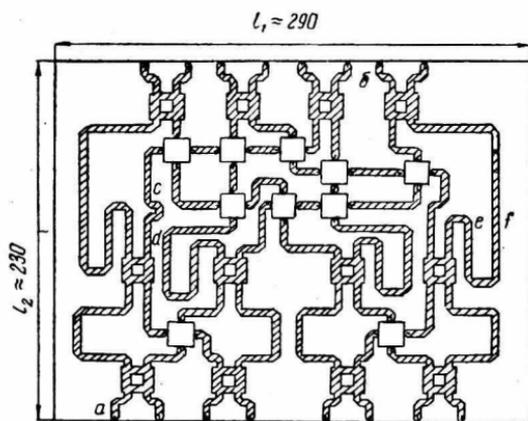


Рис. 1. Печатная плата 8-канального диаграммообразующего устройства.

Примененные двухшлейфовые ответвители имели направленность, не меньшую 20 дБ, и к. с. в., не больший 1,2; в 9-процентной полосе частот. Развязка пересекающихся полосковых линий осуществлялась с помощью впаяваемых секций перекрещивающихся коаксиальных линий длиной около $\lambda_0/2$. Их к. с. в. не превышал 1,2 в 50-процентной полосе частот. Перекрестки размещались в квадратных окнах, вырезанных в плате (рис. 1). Вершины изгибов линий срезаны на ширину полосок. К. с. в. таких изгибов не больше 1,08 в 50-процентной полосе частот [4].

Экспериментальные исследования

Восьми- и шестнадцатиканальные диаграммообразующие устройства должны обеспечивать при питании их от первого ввода сдвиги фаз между соседними выводами, соответственно равные $22,5^\circ$ и $11,25^\circ$. При переходе ко вводам с очередными номерами сдвиги фаз должны изменяться скачками, соответственно равными $\pm 45^\circ$ и $\pm 22,5^\circ$ [1, 2].

Получаемые в устройствах сдвиги фаз контролировались путем измерения углов поворота главного лепестка диаграмм направленности 32-вibratorных полосковых антенных решеток, питаемых от этих устройств. Вибраторы, расстояние между которыми равно $0,45\lambda_0$, были объединены в группы, питаемые от одного из выводов. В случае 8-канального устройства в группу входило четыре вибратора, в случае 16-канального — два. Ширина главного лепестка диаграммы направленности антенн на уровне половинной мощности в обоих случаях составляла 4° . Для уменьшения экспериментальной погрешности направление главного лепестка определялось как среднее значение между двумя направлениями с уровнем минус 3 дБ относительно главного максимума.

Получаемые в устройствах сдвиги фаз контролировались путем измерения углов поворота главного лепестка диаграмм направленности 32-вibratorных полосковых антенных решеток, питаемых от этих устройств. Вибраторы, расстояние между которыми равно $0,45\lambda_0$, были объединены в группы, питаемые от одного из выводов. В случае 8-канального устройства в группу входило четыре вибратора, в случае 16-канального — два. Ширина главного лепестка диаграммы направленности антенн на уровне половинной мощности в обоих случаях составляла 4° . Для уменьшения экспериментальной погрешности направление главного лепестка определялось как среднее значение между двумя направлениями с уровнем минус 3 дБ относительно главного максимума.

В табл. 1 приведены теоретические сдвиги фаз $\Delta\phi$ между соседними выводами 8-канального устройства, а также расчетные и опытные углы $\Delta\theta$ поворота главных лепестков диаграмм

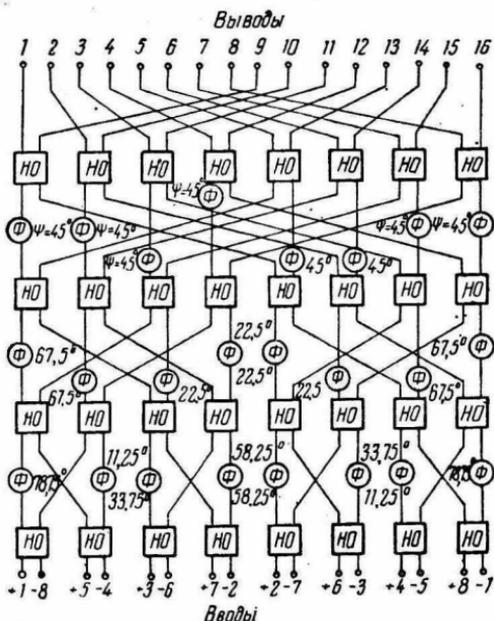


Рис. 2. Схема 16-канального диаграммообразующего устройства.

Таблица 1

№ вводов	+1	-1	+2	-2	+3	-3	+4	-4	
Сдвиги фаз $\Delta\psi$, град	22,5	-22,5	67,5	-67,5	112,5	-112,5	157,5	-157,5	
Углы отклонения $\Delta\theta$	расчетные	2°5'	-2°5'	6°13'	-6°13'	10°24'	-10°24'	14°39'	-14°39'
	опытные	2°31'	-2°31'	5°33'	-5°18'	10°35'	-10°34'	15°1'	-13°53'

направленности. Максимальная погрешность в угле отклонения составляет 1°.

В случае применения 16-канального устройства погрешность не превышала 30 минут (табл. 2).

Таблица 2

№ вводов	$\Delta\psi$, град.	$\Delta\theta$	
		Расчетные	Опытные
+1	11,25	2°05'	2°
-1	-11,25	-2°05'	-2°
+2	33,75	6°13'	6°14'
-2	-33,75	-6°13'	-6°12'
+3	56,25	10°24'	10°28'
-3	-56,25	-10°24'	-10°20'
+4	78,75	14°39'	14°20'
-4	-78,75	-14°39'	-14°32'
+5	101,25	18°59'	18°41'
-5	-101,25	-18°59'	18°35'
+6	123,75	23°15'	22°49'
-6	-123,75	-23°15'	-22°43'
+7	146,25	28°01'	27°30'
-7	-146,25	-28°01'	-27°30'
+8	168,75	32°19'	32°09'
-8	-168,75	-32°19'	32°29'

Диаграммообразующие устройства с описанной выше структурой печатного рисунка обеспечивают постоянство углов отклонения диаграммы направленности в широкой полосе частот. При изменении частоты колебаний на +14 и -13% диаграммы направленности в центральном и боковых положениях отклонялись от направлений, занимаемых ими на средней частоте не больше, чем на 14 минут. Главные лепестки пересекались на уровне, не превышающем минус 3 дб. Такую широкополосность можно объяснить выполнением первых трех требований, указанных выше. Действительно, если они соблюдаются, то сдвиги фаз $\Delta\psi$ между соседними выводами устройств определяются

только запроектированной разностью длин путей Δl между ними и питающим вводом

$$\Delta\psi = \frac{2\pi}{\lambda_d} \Delta l = \frac{2\pi}{\lambda_0} k_y \Delta l. \quad (2)$$

Здесь λ_d длина волны в полосковой линии. В свою очередь, угол отклонения $\Delta\theta$ диаграммы направленности связан с $\Delta\psi$, λ_0 и расстоянием между секциями излучателей d соотношением

$$\sin \Delta\theta = \frac{\Delta\psi}{2\pi} \frac{\lambda_0}{d}. \quad (3)$$

Из (2) и (3) следует, что при использовании описываемого устройства $\Delta\theta$ не зависит от длины волны λ_0 :

$$\sin \Delta\theta = k_y = \frac{\Delta l}{d}. \quad (4)$$

Мало изменяется при отклонении диаграмм направленности амплитуда поля в направлении максимума главного лепестка. В случае применения 16-канального устройства максимальные изменения амплитуд не превышали $\pm 0,5$ дБ.

Кроме углов отклонения проверялись частотные изменения к. б. в. во входных линиях. Измерения проводились при полностью собранных устройствах, т. е. с присоединенными коаксиально-полосковыми переходами. К выводам устройств присоединялись согласованные полосковые нагрузки с собственными к. с. в., не большими 1,05. На результаты этих измерений оказали влияние коаксиальные разъемы, собственный к. с. в. которых нестабилен и количественно превышает к. с. в. всех использованных в устройствах полосковых элементов. К. б. в. устройств вместе с разъемами не меньше 0,5 в 12-процентной полосе пропускания, что примерно совпадает с полосой пропускания 3-децибелльных мостов.

Приведенные исследования свидетельствуют о возможности применения полосковых диаграммообразующих устройств в широкой рабочей полосе частот. Дальнейшее ее расширение может быть достигнуто в случае применения более широкополосных 3-децибелльных мостов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антенные решетки. Под ред. Л. С. Бененсона. М., «Советское радио», 1966. с. 368.
2. Moody H. L. The Systematic Design of Butler Matrix, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP — 12, 1964, N 6, p. 786—789.
3. Малорацкий Л. Г. Методика расчета направленных ответвителей. «Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общетеχνическая», вып. 17, 1967, с. 43.
4. Дорохов А. П., Кушнир Л. Ю. Частотные характеристики полосковых переключателей, разъемов и изгиба. Сб. «Радиотехника». Вып. 17. Харьков, 1971, с. 69—71.