T. 55, № 9/2

ФИЗИКА

2012

УДК 621.396.677.49

Ю.И. БУЯНОВ, В.И. КОШЕЛЕВ, П.Ф. ШВАДЛЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ МНОГОЛУЧЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Представлены результаты исследования элементов антенной решетки, предназначенной для зондирования объектов сверхширокополосными импульсами. Антенная решетка состоит из диаграммообразующего устройства на основе многоступенчатых направленных ответвителей, линий задержек и сверхширокополосных антенн. Приведены результаты измерений.

Ключевые слова: антенная решетка, сверхширокополосное излучение, диаграммообразующее устройство.

Введение

Современные системы сверхширокополосного (СШП) радиоизлучения зачастую требуют формирование нескольких диаграмм направленности или оперативное управление положением луча в пространстве. Одним из путей решения данной задачи является использование многолучевых антенных решеток (МАР), которые достаточно широко представлены в литературе [1]. Многолучевая антенная решетка является устройством, сочетающим в себе набор антенных элементов и диаграммообразующую схему (матрицу).

В общем случае МАР имеет *М* входов и *N* излучателей, что позволяет одновременно и независимо сформировать в пространстве *М* лучей. Диаграммообразующая схема МАР содержит фазосдвигающие элементы и делители мощности, в качестве которых обычно используются направленные ответвители (HO).

В радиосистемах, использующих СШП-сигналы, наиболее пригодной является МАР, построенная по схеме Бласса, которая обеспечивает независимое от частоты положение лучей. Известные конструкции МАР, использующие матрицу Бласса, имеют полосу пропускания не более октавы [2], в то время как для работы с СШП-импульсами полоса пропускания должна составлять 2–3 октавы.

В этой связи представляет интерес экспериментальное исследование возможности создания МАР с полосой пропускания более двух октав.

Характеристики одного канала

Для выявления факторов, влияющих на свойства сверхширокополосной МАР, достаточно исследовать характеристики одного из каналов матрицы Бласса. Каждый канал четырехлучевой МАР содержит четыре последовательно включенных сверхширокополосных НО [3], линии задержки и согласованные нагрузки. Макет печатной платы канала показан на рис. 1. Плата изготовлена методом фотолитографии на материале ФЛАН-10.



Рис. 1. Внешний вид одного канала антенной решетки

При измерении характеристик МАР использовались: измеритель комплексных коэффициентов передач Agilent 8719ET, генератор биполярных импульсов напряжения длительностью 0,5 нс и стробоскопический осциллограф Trim TMR8112 с полосой частот до 12 ГГц. Результаты измерений S-параметров HO приведены на рис. 2. Видно, что в полосе 0,7–4,2 ГГц коэффициент ответвления S_{21} составляет –(14±1,5) дБ. Параметр S_{41} не превышает –17 дБ. Коэффициент отражения S_{11} не превышает –12 дБ и увеличивается до –8 дБ в полосе частот 3,7–4 ГГц. Коэффициент прохождения в нагрузку S_{31} в рабочей полосе частот составил (4±2) дБ.



Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики направленных ответвителей: $a - S_{21}$, S_{41} ; $\delta - S_{11}$, S_{31}

В работе проведено исследование работы канала с импульсом длительностью 0,5 нс. На рис. 3 приведены осциллограммы импульсов напряжения на входе канала U_0 и на его выходах (U_1-U_4). Как можно видеть из рис. 3, амплитуда напряжения входного сигнала U_0 составляет 3 В, а амплитуда выходного сигнал с первого направленного ответвителя U_1 равна 0,65 В.

Следует отметить, что входной импульс претерпевает искажения, связанные с особенностями работы направленного ответвителя [3]. При этом задержка между импульсами на выходах канала составляет примерно 0,7 нс.



Рис. 3. Осциллограммы входного и выходных импульсов канала

Характеристики антенного элемента

В качестве элементов решетки использовались специально разработанные сверхширокополосные антенны, изготовленные печатным способом на материале FR-4 и установленные на металлическом экране. Размер антенны составляет 80×80 мм, а размер экрана 60×80 мм. Внешний вид антенны приведен на рис. 4, *a*. На рис. 4, *б* показана зависимость коэффициента отражения S_{11} от частоты.



Рис. 4. Внешний вид антенны (*a*) и коэффициент отражения антенны S_{11} (*б*)

Диаграммы направленности антенны по пиковой мощности в горизонтальной и вертикальной плоскостях приведены на рис. 5, a и 5, δ соответственно. Антенна возбуждалась биполярным импульсом напряжения длительностью 0,5 нс. В измерениях использовалась приемная TEMантенна [4].

Как видно из рис. 5, антенна имеет ширину диаграммы направленности на половинном уровне мощности в горизонтальной плоскости 155°, а в вертикальной – 115°.



Рис. 5. Диаграммы направленности антенны в горизонтальной (a) и вертикальной (δ) плоскостях

Характеристики антенной решетки

Внешний вид макета МАР приведен на рис. 6. В качестве линий задержки выбраны отрезки коаксиального кабеля RG8 со вспененным полистирольным наполнителем. Измерения показали, что один метр кабеля обеспечивает задержку 4,35 нс. Длина отрезка кабеля последнего выхода составляет величину 0,15 м, необходимую для его подключения к элементу антенной решетки. Для синфазного возбуждения элементов решетки длины линий задержки равны 0,626, 0,468, 0,311 и 0,15 м. Диаграмма направленности МАР приведена на рис. 7, *а*. При длине линий задержек 0,514, 0,420, 0,263 и 0,15 м максимум луча отклоняется на 50° (рис. 7, *б*). Ширины диаграмм направленности решетки в горизонтальной плоскости для двух режимов близки и равны 40°.



Рис. 6. Антенная решетка с одним каналом



Рис. 7. Диаграммы направленности антенной решетки в горизонтальной плоскости при синфазном возбуждении антенн (*a*) и в режиме сканирования (*б*)

На рис. 8 приведены осциллограммы принятых ТЕМ-антенной электромагнитных импульсов при синфазном возбуждении решетки для главного направления и угла, соответствующего половинному уровню мощности. Видно, что в пределах ширины диаграммы направленности по половинному уровню мощности формы импульсов излучения мало изменяются.



Рис. 8. Осциллограммы излученных импульсов решетки в главном направлении (*a*) и на уровне половинной мощности (*б*)

Заключение

Создан макет одного канала многолучевой антенной решетки. Выполнены экспериментальные исследования элементов макета в частотном и временном режимах. Показана возможность формирования лучей в заданных направлениях, Для реализации многолучевой антенной решетки необходимо увеличить число каналов и исследовать взаимодействие между ними.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Воскресенский Д.И. // Антенны и устройства СВЧ. М.: Радио и связь, 1994. 380 с.
- 2. Fonseca N.J.G. // IEEE Trans. Anten. Propagat. 2009. V. 57. No. 6. P. 1673-1677.
- 3. Буянов Ю.И., Кошелев В.И., Швадленко П.Ф. // Изв. вузов. Физика. 2010. Т. 53. № 9. С. 5–9.
- 4. Андреев Ю.А., Кошелев В.И., Плиско В.В.// V Всерос. науч.-технич. конф. «Радиолокация и радиосвязь». Москва, 21–25 ноября 2011 г.: доклады. М.: Информпресс-94, 2011. С. 77–82.

Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия E-mail: koshelev@lhfe.hcei.tsc.ru Поступила в редакцию 20.07.12.

Буянов Юрий Иннокентьевич, к.ф.-м.н., доцент, ведущ. электроник; Кошелев Владимир Ильич, д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией; Швадленко Павел Федорович, мл. науч. сотр.