

СВЧ триплексер приемно-передающего модуля АФАР

Представлены оригинальные конструкции входного и выходного триплексеров с низким уровнем потерь для применений на высоком уровне мощности. Входной триплексер выполнен в виде планарной микрополосковой структуры, состоящей из трех фильтров третьего порядка и сочленения типа «звезда». Выходной триплексер реализован на объемных фильтрах с использованием микрополоскового сочленения. Обе структуры имеют малые вносимые потери и низкую стоимость изготовления.

Ключевые слова: триплексер, микрополосковый фильтр, фильтр на объемных резонаторах

Получение информации радиолокационной станцией (РЛС) о цели с различных направлений реализуется путем формирования диаграммы направленности (ДН) в виде трех лучей, обработка которых происходит параллельно в одном приемно-передающем блоке РЛС. При угловом сканировании РЛС собирает информацию о цели, уточняя ее координаты и получая информацию о скорости ее движения. Все три луча в такой системе формируются одной и той же апертурой антенны, однако управляются разными системами фазовращателей. Для независимого управления лучи должны формироваться на слегка разнесенных частотах. В составе передающего блока РЛС имеется синтезатор сигналов, формирующий сигнал на трех частотах f_1, f_2, f_3 , на которых осуществляется формирование трех лучей ДН. На рисунке 1-а показана блок-схема обработки сигналов в режиме передачи и в режиме приема. Разделение каналов передачи и приема осуществляется с использованием циркуляторов. На входе системы, осуществляющей подготовку сигнала для передачи, стоит разделитель каналов, образующий три внутренних канала на частотах: $f_1 = 3,95$ ГГц, $f_2 = 4,05$ ГГц, $f_3 = 4,2$ ГГц. Каждый из выделенных каналов содержит фазовращатель и усилитель мощности. Работа фазовращателей обеспечивает требуемое положение каждого из трех лучей ДН. Разделитель каналов и фазовращатели работают на низком уровне мощности. Усилители мощности обеспечивают примерно 150 Вт в импульсе в каждом из каналов. На выходе системы, осуществляющей подготовку сигнала для передачи, включен сумматор каналов, который осуществляет суммирование мощностей всех каналов. Подчеркнем, что сигналы во внутренних каналах некогерентны.

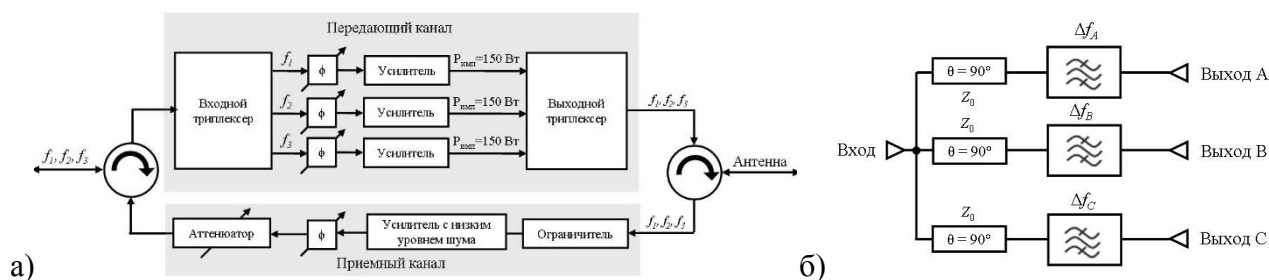


Рисунок 1.

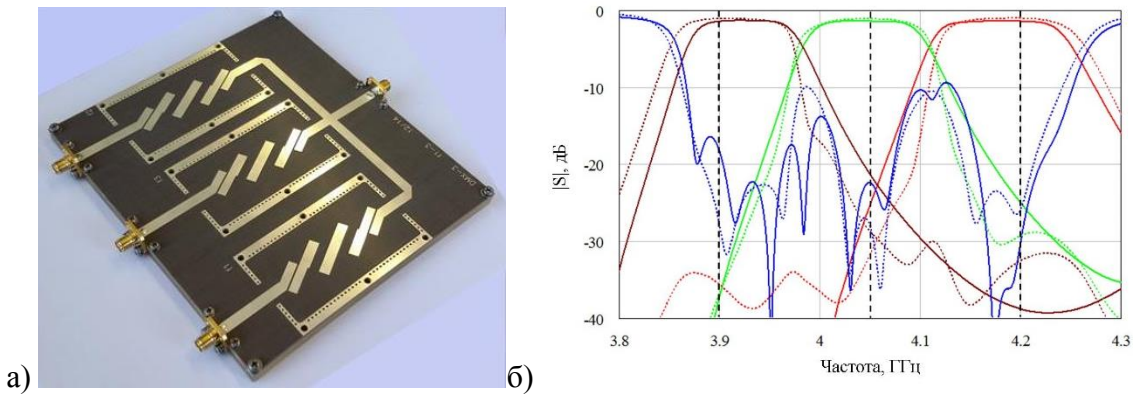


Рисунок 2.

В статье обсуждаются конструкции триплексеров, выполняющих функции как частотного разделения, так и частотного объединения каналов. Структурная схема триплексера, включающая три полосно-пропускающих фильтра (ППФ) и сочленение с использованием отрезков длинных линий, показана на рисунке 1-б.

Основными критериями при разработке передающего модуля являются минимальные вносимые потери в рабочей полосе частот, малые массогабаритные показатели и низкая стоимость при массовом производстве. В соответствии с данными требованиями используется комбинированный подход при разработке входного и выходного триплексеров. Входной триплексер выполнен в виде планарной структуры с использованием технологии печатных плат, что позволяет обеспечить малые размеры и исключить подстройку устройства после изготовления. Выходной триплексер предназначен для работы на высоком уровне мощности и выполнен с использованием ППФ на высокочастотных объемных встречно-штыревых резонаторах.

Входной триплексер, работающий на низком уровне мощности, реализован в планарном исполнении в виде микрополосковой структуры на подложке Taconic TLY-5 ($\tan\delta = 0,0009$ и $\epsilon_r = 2,2$) толщиной 1,574 мм. Входы ППФ объединены с помощью сочленения на отрезках микрополосковых линий, длина которых кратна четверти длины волны. Для обеспечения необходимой развязки между каналами в составе триплексера используются ППФ третьего порядка с Чебышевской характеристикой, реализованные на отрезках связанных линий (рисунок 2-а). Площадь, занимаемая входным триплексером, составляет 100x150 мм². Результаты экспериментального исследования (сплошные линии) модулей коэффициентов передачи и отражения входного триплексера соответствуют результатам электродинамического моделирования (пунктирные линии), рисунок 2-б. Уровень вносимых потерь составляет 2 дБ, коэффициент отражения по входу не менее -20 дБ в рабочей полосе частот. Ширина полосы каждого частотного канала 3,2%.

Выходной триплексер предназначен для работы на высоком уровне мощности. В его составе используются ППФ на объемных четвертьволновых встречно-штыревых резонаторах, характеризующихся высокой добротностью. Для суммирования мощностей каналов используется сочленение типа «звезда», выполненное в виде планарной микрополосковой структуры. Преимуществом такой конструкции является низкий уровень вносимых потерь и простота подстройки устройства при невысокой себестоимости [5]. Следует отметить, что

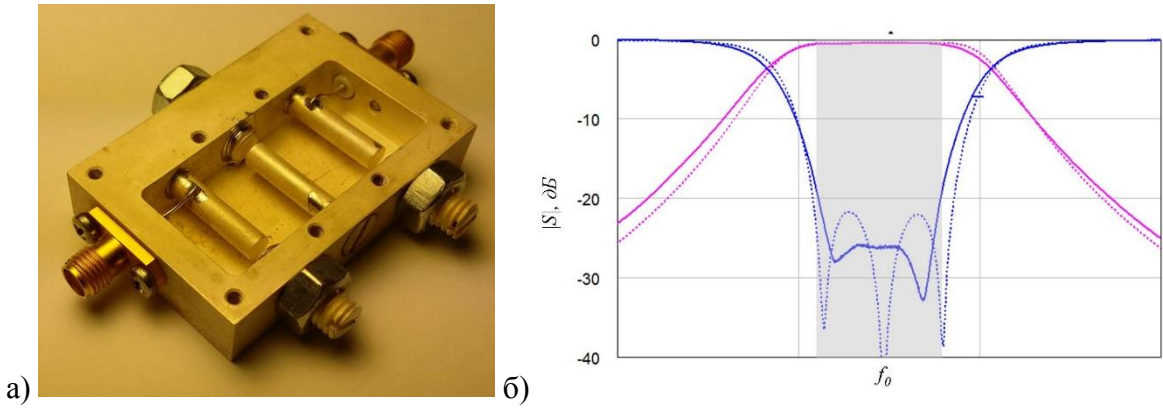


Рисунок 3.

ППФ, предназначенные для развязки трех различных частотных каналов, являются полностью идентичными. Подстройка ППФ на заданные центральные частоты рабочих полос пропускания осуществляется с помощью подстроечных винтов (рисунок 3-а). Размеры экспериментального образца, выполненного в алюминиевом корпусе, составляют $12 \times 30 \times 50$ мм³. Для уменьшения уровня потерь используется серебрение корпуса и резонаторов. Результаты измерений (сплошные линии) для одного фильтра в сравнении с результатами электродинамического моделирования (пунктир) показаны на рисунке 3-б. Частота f_0 равна 4,045 ГГц, а уровень вносимых потерь в относительной рабочей полосе частот, составляющей 3%, равен 0,7 дБ. Потери в микрополосковом сочленении, реализованном на диэлектрической подложке Taconic TLY-5 толщиной $h=0,762$ мм, менее 0,1 дБ. Структура выходного триплексера и характеристики, полученные в результате электродинамического моделирования, показаны на рисунке 4. Габаритные размеры устройства составляют 110×110 мм². Согласно результатам моделирования, коэффициент отражения меньше -20 дБ во всех частотных диапазонах, а уровень вносимых потерь менее 0,8 дБ.

Предложенные оригинальные конструкции входного и выходного триплексеров, предназначенные для объединения и разделения сигналов в составе приемопередающего модуля трехлучевой РЛС, удовлетворяют требованиям минимальных вносимых потерь в рабочей полосе частот, малым массогабаритным показателям и низкой стоимости при массовом производстве. Данные свойства обусловлены использованием входного триплексера,

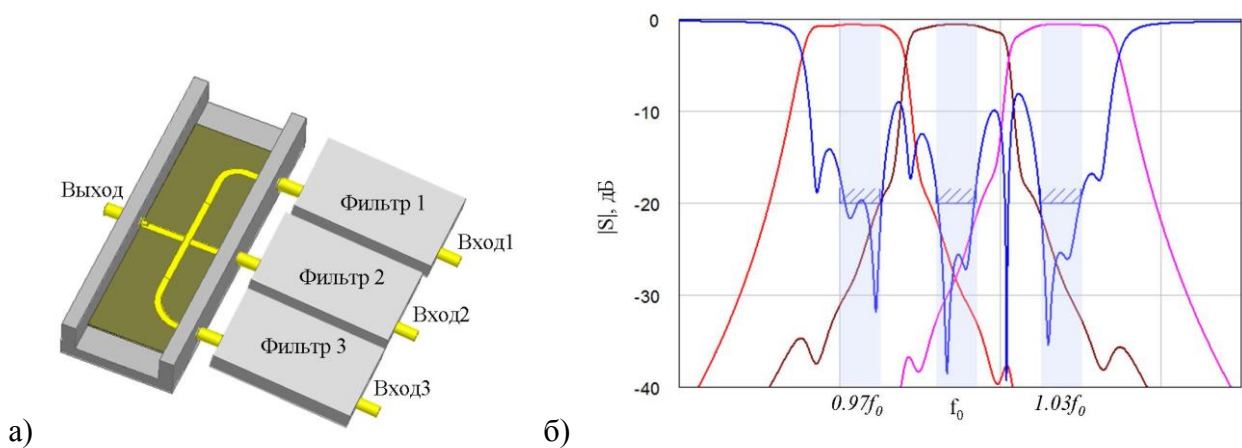


Рисунок 4.

выполненного в виде планарной микрополосковой структуры и выходного триплексера на объемных встречно-штыревых резонаторах.

Авторы выражают признательность М.Д. Парнесу и И.Б. Вендик за плодотворные дискуссии и помощь в постановке задачи, а также компании Rode&Shwarz за содействие в проведении измерений.

Библиографический список

1. G. Rhodes, J.D., and Levy, R.: 'A generalized multiplexer theory', IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 1979, 27, (2), pp. 99–111
2. Rebenaque, D. C., and G. Macchiarella. "Application of polynomial design of multiplexers to the implementation of a manifold microstrip triplexer." International Journal of RF and Microwave Computer Aided Engineering 23.6 (2013): 690-698.
3. Matthaei, G. L., Leo Young, and E. M. Jones. Design of microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures. Vol 2. Stanford Research Inst Menlo Park CA, 1963.
4. Macchiarella, Giuseppe, and Stefano Tamiazzo. "Synthesis of star-junction multiplexers." Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on 58.12 (2010): 3732-3741
5. Puglia, K. V. "A General Design Procedure for Bandpass Filters Derived from Lowpass Prototype Elements: Part I." Microwave Journal-Euroglobal edition- 43.12 (2000): 22-38.