

*Алексеенков В.И., Богданова А.А., Галдецкий А.В.,  
Красноперкин В.М., Мирошник П.С., Чепурных И.П.,  
Щербаков С.В.  
АО «НПП «Исток» им. Шокина»*

## **Анализ потерь в линиях передачи и антенная система на новом типе передающих линий**

*Проанализированы характеристики различных типов передающих линий на основе промышленной технологии печатных плат. Показано, что симметричная линия с заземляющими отверстиями имеет чрезвычайно низкий уровень омических потерь, радиогерметична, допускает подстройку модуля и фазы коэффициента передачи. На основе такой линии спроектирована система распределения сигнала антенной решетки X-диапазона с повышенным кпд.*

**Ключевые слова:** антенная решетка, система распределения сигнала, микрополосковая линия, скин-слой, омические потери.

В антенных системах, состоящих из решетки излучателей, система распределения сигнала (СРС) строится на основе передающих линий - волноводов, микрополосков и т.п. Потери в этих линиях существенно влияют на основные параметры антенны: коэффициент усиления и КПД. Широко используются микрополосковые СРС на основе промышленной технологии печатных плат: медных проводников и органических диэлектриков. Однако такие системы имеют серьезный и не вполне очевидный недостаток: традиционно используемое антикоррозионное покрытие выполняется по технологии ENIG (Electroless Nickel Immersion Gold) и состоит из подслоя никеля толщиной 4 мкм и слоя золота толщиной 0.05-0.1 мкм. В сантиметровом диапазоне глубина скин-слоя заметно превышает толщину золота, так что СВЧ токи на верхней стороне и краях МПЛ протекают по никелю, что влечет существенный уровень СВЧ потерь в линии. Прототип СРС, спроектированный на основе таких МПЛ, имел КПД на уровне 30-35%, что значительно ограничивало усиление антенны и потенциал системы в целом. Распространенные копланарные линии с нижним экраном также обладают указанным недостатком. Кроме того, МПЛ имеют заметный уровень излучения и паразитных связей соседних участков СРС, что приводит к заметной неравномерности АЧХ.

### **Анализ различных типов линий**

Мы рассчитали потери в нескольких вариантах конструкции передающих линий на основе стандартной технологии печатных плат на органических диэлектриках (Рис. 1):

#### **1. Микрополосковая линия с покрытием ENIG**

Расчетный уровень потерь в МПЛ на основе материала Rogers 3010 толщиной 0.64 мм составляет 0.5 дБ/см.

#### **2. Микрополосковая линия без покрытия**

Этот тип линии имеет потери существенно меньше, но не слишком востребован из-за быстрой деградации в результате окисления.

#### **3. Копланарная линия с покрытием, нижним экраном и заземляющими отверстиями**

Потери в ней превышают потери в микрополосковой линии из-за того, что большая доля токов протекает по верхней поверхности с покрытием.

#### 4. Микрополосковая линия с покрытием препрегом.

Свойства линии близки к характеристикам варианта 2. Из-за отсутствия резистивного покрытия потери значительно уменьшаются по сравнению с обычным микрополоском.

#### 5. Копланарная линия с покрытием препрегом.

Потери сравнимы с потерями в аналогичной микрополосковой линии с покрытием препрегом.

#### 6. Линия с «окном» над полоской

Линия близка по параметрам к варианту 4, однако обладает большим уровнем экранировки.

7. Симметричная линия с заземляющими отверстиями между верхним и нижним экранами (СПЛЗ).

Фактически она представляет собой планарную коаксиальную линию, в которой распространяется ТЕМ-волна практически без дисперсии. В таком типе линий полностью исключено влияние покрытий на СВЧ свойства тракта и значительно уменьшены омические потери. Расчетный уровень потерь в симметричной линии на основе материала Rogers 3003 толщиной 1 мм составляет менее 0.1 дБ/см. Линия полностью экранирована, что благоприятно сказывается на неравномерности АЧХ тракта в целом. По этим причинам такой тип линий был принят в качестве основы для проектирования СРС.

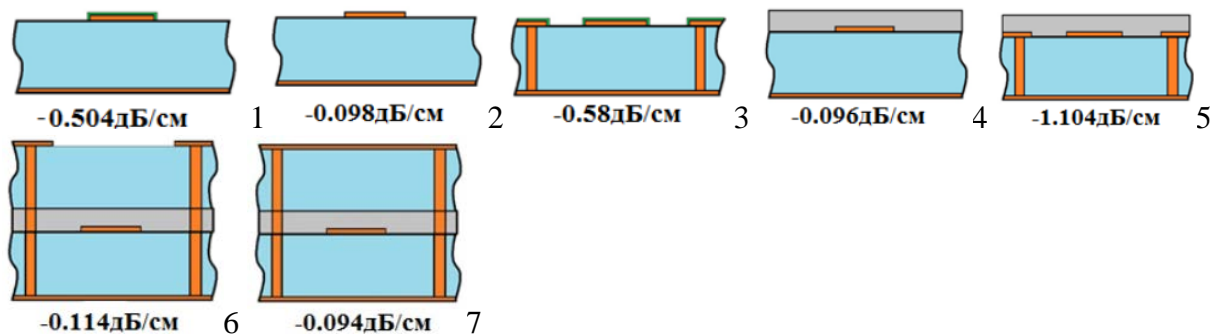


Рис. 1. Различные варианты передающих линий и коэффициент передачи линии длиной 1 см.

### Подстройка модуля и фазы коэффициента передачи СПЛЗ

При формировании разностного канала антенны ее критически важные параметры: глубина и положение нуля диаграммы направленности сильно зависят от модуля и фазы коэффициентов передачи отдельных ветвей системы суммирования в СРС. Мы рассмотрели возможность подстройки модуля и фазы коэффициента передачи отрезка СПЛЗ. Если в верхней металлизации выполнить поперечные щели (которые можно закрывать в процессе настройки антенны), то это эквивалентно включению дополнительной последовательной индуктивности в тракт, что позволит корректировать фазу коэффициента передачи практически не меняя модуля коэффициента передачи (Рис. 2). Отражения от такой неоднородности вполне приемлемы. Если накладывать на такую щель поглощающий материал, то это позволяет корректировать коэффициент передачи.

### СРС на основе нового типа линий

На основе СПЛЗ была спроектирована СРС X-диапазона с полосой частот 2 ГГц (Рис. 3). СРС содержит суммарно-разностную схему, формирующую суммарный и два разностных канала антенны. КПД СРС достигает 60-70% (Рис. 4), что на 3 дБ превышает КПД аналогичной СРС на основе микрополосковых линий на материале Rogers 3010.

Данные линии практически полностью радиогерметичны, что улучшает АЧХ системы и облегчает ее настройку.

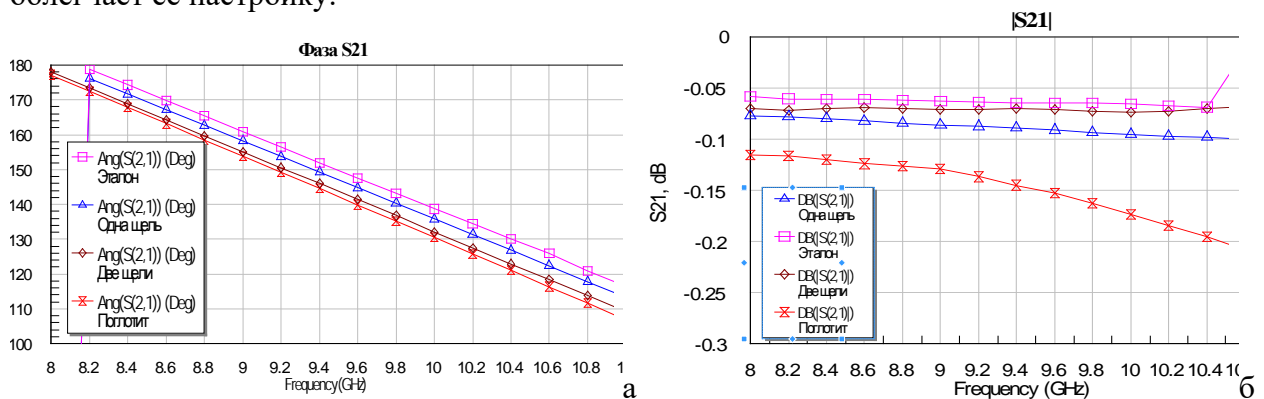


Рис. 2. Фазо-частотные характеристики и АЧХ отрезка СПЛЗ длиной 1 см: без щелей (эталон), с одной щелью, с двумя щелями, с щелью и поглотителем на ней

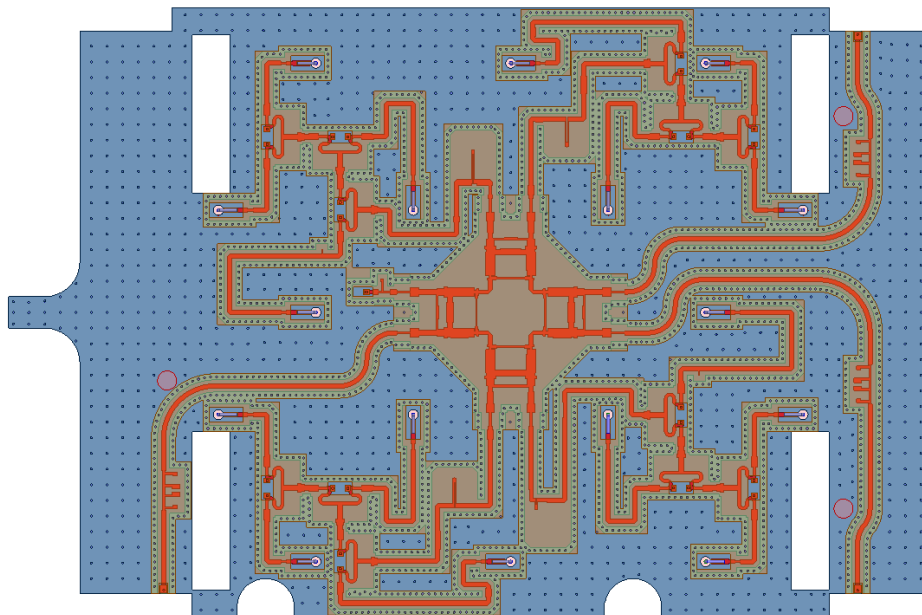


Рис. 3. СПС на основе симметричных полосковых линий с заземлением

### Согласующие трансформаторы излучателей

Излучатели антенной решетки имеют коаксиальные выходы с импедансом, отличным от 50 Ом. К тому же переход с коаксиала на СПЛЗ содержит межслойный переход и также является значительной неоднородностью. Для обеспечения низкого КСВ спроектированы встроенные в СПС согласующие трансформаторы для излучателей антенны (Рис. 5).

КСВ излучателя с трансформатором не превышает 1.24 (Рис. 6).

Аналогичный по конструкции переход с СПЛЗ на СМП коаксиальный разъем имеет КСВ менее 1.15.

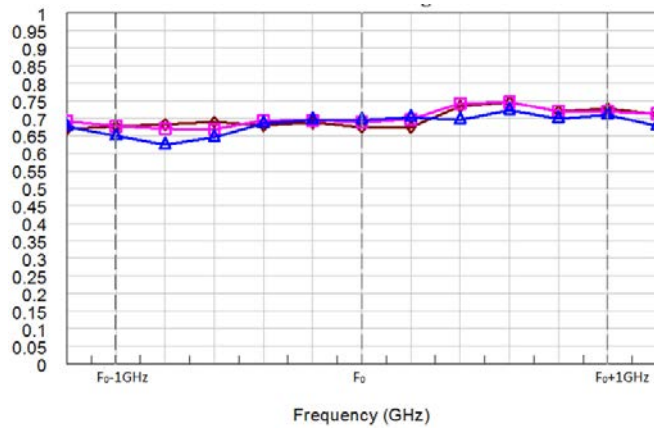


Рис. 4. КПД передачи сигнала с суммарного и двух разностных входов СРС на излучатели

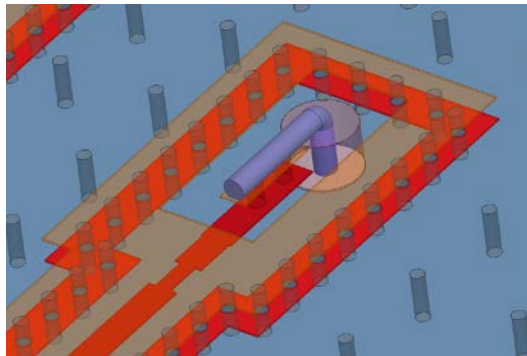


Рис. 5. Согласующий трансформатор перехода с коаксиального входа излучателя на СПЛЗ

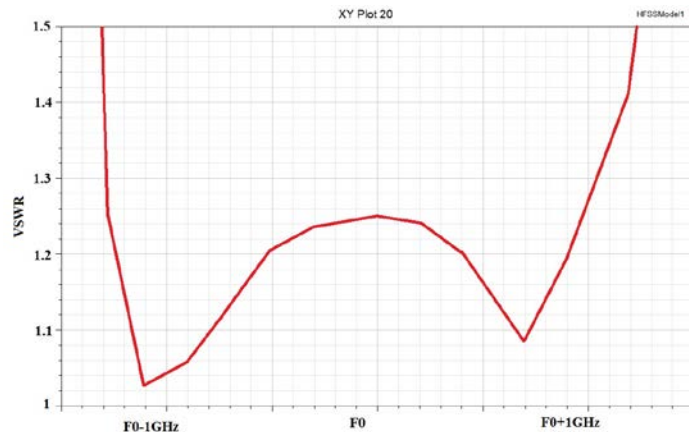


Рис. 6. КСВ согласования излучателя в тракте на основе СПЛЗ

#### Выводы

Рассмотренная передающая линия СПЛЗ имеет чрезвычайно малый уровень потерь в отличие от традиционной микрополосковой линии, СВЧ свойства которой заметно деградируют при наличии антикоррозионного покрытия. Это позволило спроектировать систему распределения сигнала для антенной решетки X-диапазона, имеющую повышенный уровень усиления и КПД более 60%.

#### Библиографический список

1. М.В. Инденбом. Антенные решетки подвижных обзорных РЛС. Теория, расчет, конструкции. – М., изд. «Радиотехника», 2015. – 416с.