

А.С. Подстригаев, А.И. Беззуб, В.А. Хвостов
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»

Разработка линии задержки сигнала промежуточной частоты приемного устройства радиолокационных сигналов

Представлены основные этапы проектирования линии задержки сигнала промежуточной частоты приемного устройства радиолокационных сигналов. Линия задержки выполнена на симметричной полосковой линии, диапазон рабочих частот от 2 до 3 ГГц, номинальное время задержки 20 нс. Предложена модель в среде AWR Microwave Office, подтвержденная результатами электромагнитного моделирования.

Ключевые слова: полосковая линия задержки, печатная линия задержки, модель линии задержки, промежуточная частота

Современные приемные устройства радиолокационных станций и станций радиоэлектронной борьбы работают в широкой полосе частот – от единиц до десятков гигагерц. Для перекрытия такой полосы применяют матричное построение приемного устройства, в котором входной сигнал в первой ступени разделяется на несколько частотных каналов и преобразуется в общий диапазон промежуточных частот (ПЧ). Сигнал ПЧ поступает на вторую ступень, где, по аналогии с первой ступенью, разделяется на частотные каналы и переносится в диапазон второй ПЧ и так далее до последней ступени [1]. Сигнал последней ПЧ поступает на детекторы или в цифровую часть для обработки. Для устройств с мгновенной полосой обзора более 3...5 ГГц оптимальной для последней ступени можно считать полосу ПЧ шириной в 1 ГГц (исходя из требований к чувствительности, сложности цифровой части, построения устройств СВЧ и других требований). В настоящее время достигнутая частота обрабатываемого цифровой схемой сигнала составляет около 3 ГГц, поэтому входной сигнал переносится на частоту, не превышающую данное значение. Таким образом, сигнал на входе цифровой части должен занимать полосу от 2 до 3 ГГц. Структура приемника предполагает наличие пороговых устройств в каждом канале. Такие устройства в общем случае состоят из детектора, компаратора и электронного ключа и информируют цифровую часть о наличии сигнала в одном из частотных каналов при превышении уровнем сигнала заданного порога. После этого открывается управляемый электронный ключ, и сигнал поступает в цифровую часть на АЦП. На срабатывание порогового устройства требуется несколько десятков нс (типовое время – около 20 нс). В это время канал оказывается запертым и начало сигнала теряется для обработки. Поэтому для исключения потери короткого импульса, а также передней части длинного импульса, предлагается введение в тракт ПЧ линии задержки (ЛЗ), которая обеспечит задержку сигнала на время срабатывания порогового устройства.

Существует множество исполнений ЛЗ (полосковые, кабельные, ферритовые, акустические и др.), но, исходя из требований к величине задержки и рабочему диапазону частот, подходящими являются только первые два типа. А, учитывая массогабаритные характеристики кабельной ЛЗ, наиболее удачным выглядит полосковое исполнение.

При этом возможна реализация как на симметричной, так и на несимметричной полосковой линии. Использование несимметричной линии целесообразно при

необходимости корректировки топологии после изготовления. Симметричная линия не дает такой возможности, но позволяет на 30 – 40 % уменьшить габариты платы, на которой выполнена ЛЗ. Поэтому для начальных расчетов выбрано исполнение на симметричной полосковой линии.

Чтобы сигнал задержался на 20 нс в воздушной среде, ему требуется пройти расстояние

$$S = c \cdot t = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 20 \cdot 10^{-9} \text{ с} = 6 \text{ м}$$

В среде с диэлектрическим заполнением это расстояние уменьшается в $\sqrt{\epsilon_r}$ раз (ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость материала подложки). Для укорочения длины линии выбран материал марки 100МСТ с высоким значением диэлектрической проницаемости $\epsilon_r = 100$ [2].

Тогда длина линии задержки составит

$$L = \frac{S}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{6}{\sqrt{100}} = 0,6 \text{ м}$$

Для обеспечения минимальных габаритов выбрана компактная топология печатной платы, приведенная в общем виде на рис. 1. Подобное исполнение с более низкими рабочими частотами рассмотрено в [3], однако приведенная там методика расчета недостаточно учитывает паразитные межсекционные связи, возникающие при реализации компактной структуры в выбранном диапазоне частот.

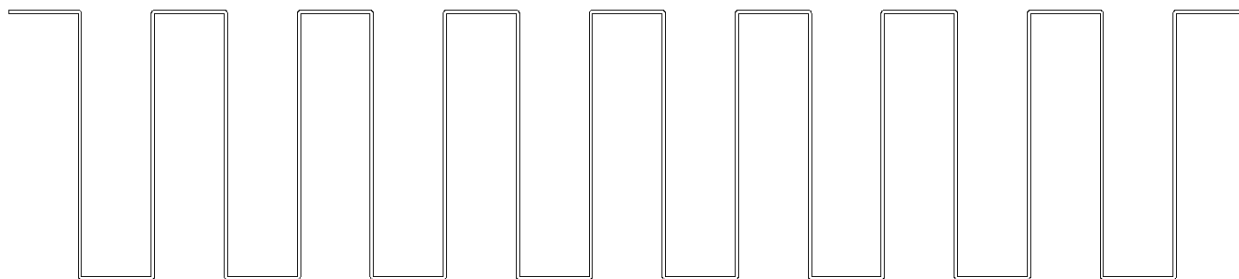


Рисунок 1

В данной линии задержки витки должны располагаться максимально близко друг к другу, но при этом слишком плотное расположение приводит к паразитным связям между витками и искажению АЧХ и ФЧХ. Соответственно увеличивается неравномерность амплитуды и времени задержки сигнала.

Для оптимизации топологии и получения приемлемых АЧХ и величины задержки в рабочем диапазоне частот (от 2 до 3 ГГц) в среде AWR Microwave Office (MWO) разработана модель 8-звенной линии задержки (рис. 2).

В результате оптимизации модели получена топология с размерами 55×40 мм. Частотные зависимости коэффициента передачи S_{21} , времени групповой задержки (GD), КСВН входа (VSWR) и коэффициента отражения от входа S_{11} представлены на рис. 3.

Полученные для диапазона рабочих частот зависимости можно коротко свести к следующему:

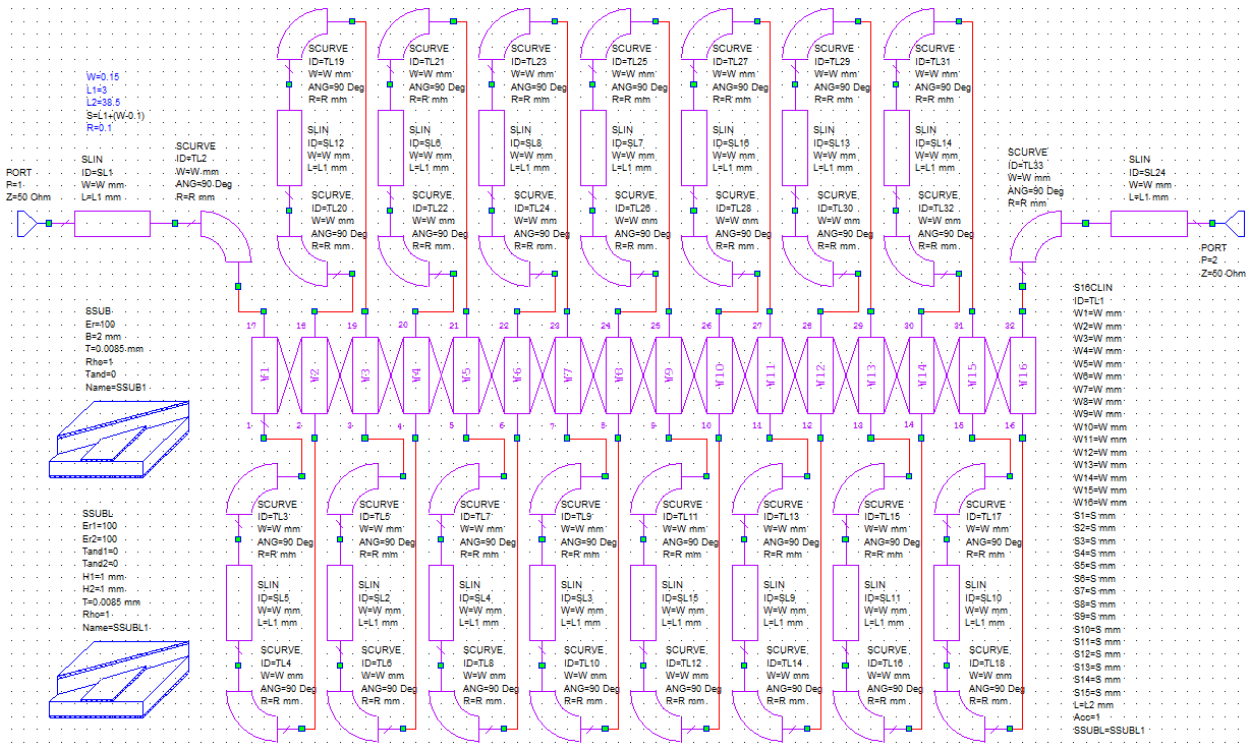


Рисунок 2

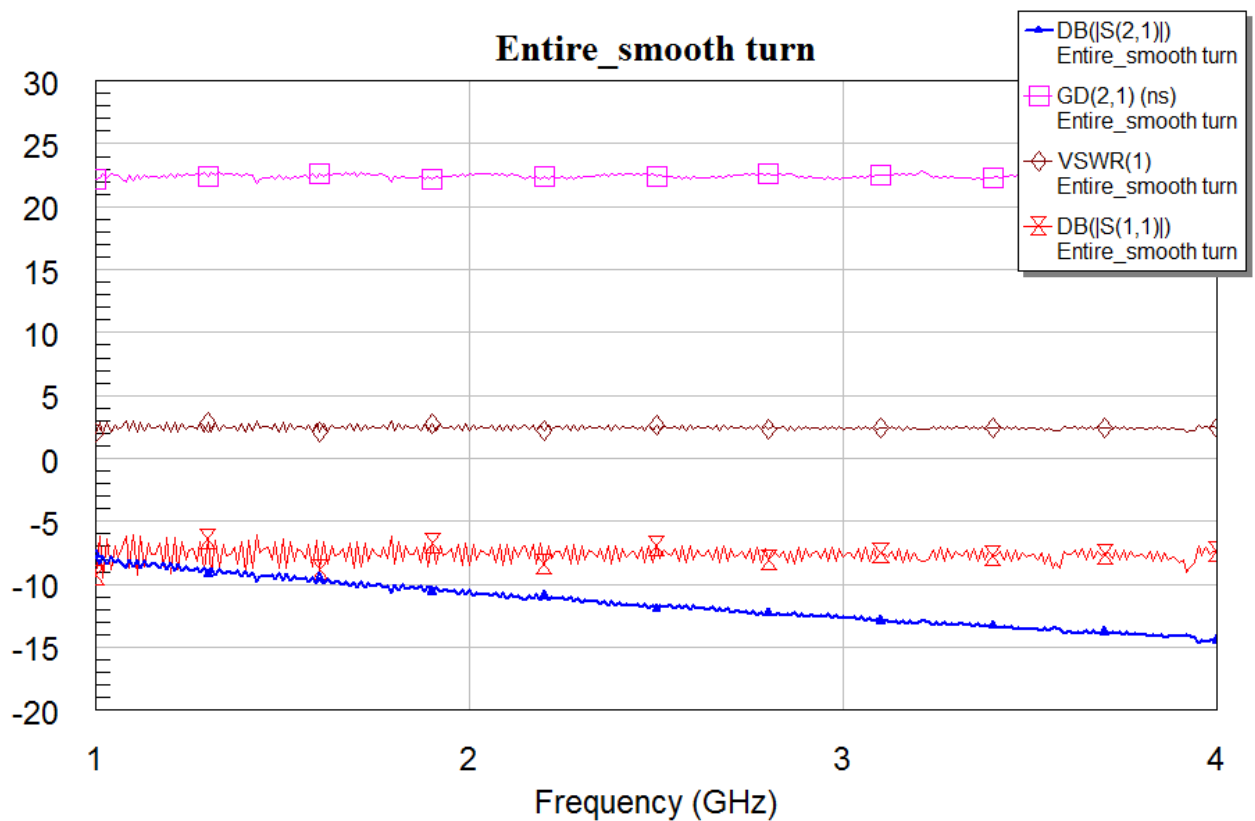


Рисунок 3

минимальное время задержки, нс	22,2
максимальное время задержки, нс	22,6
максимальный КСВН	2,6
максимальное затухание, дБ	12,7

Время групповой задержки на 2 нс превышает требуемую величину, что дает небольшой запас по времени срабатывания порогового устройства.

Полученный КСВН обусловлен плохим согласованием на выводах ЛЗ (измерения проводились на 50-омных портах). При выбранной ширине полоска 0,15 мм и диэлектрической проницаемости подложки $\epsilon_r = 100$ волновое сопротивление составляет 20,5 Ом. Его можно согласовать с 50-омной линией, используя четвертьволновый отрезок сопротивлением $\sqrt{50 \cdot 20,5} = 32$ Ом. Для обеспечения возможности подключения стандартных разъемов серии CP-50 согласование целесообразно выполнить, используя несимметричную линию. Тогда ширина отрезка составит также 0,15 мм, а длина 4 мм. Окончательная конструкция ЛЗ с учетом согласующих отрезков представлена на рис. 4. При этом, согласно результатам моделирования, максимальное значение КСВН снижается до 1,35, а также приблизительно на 1,5 дБ уменьшаются потери. Время групповой задержки остается неизменным.

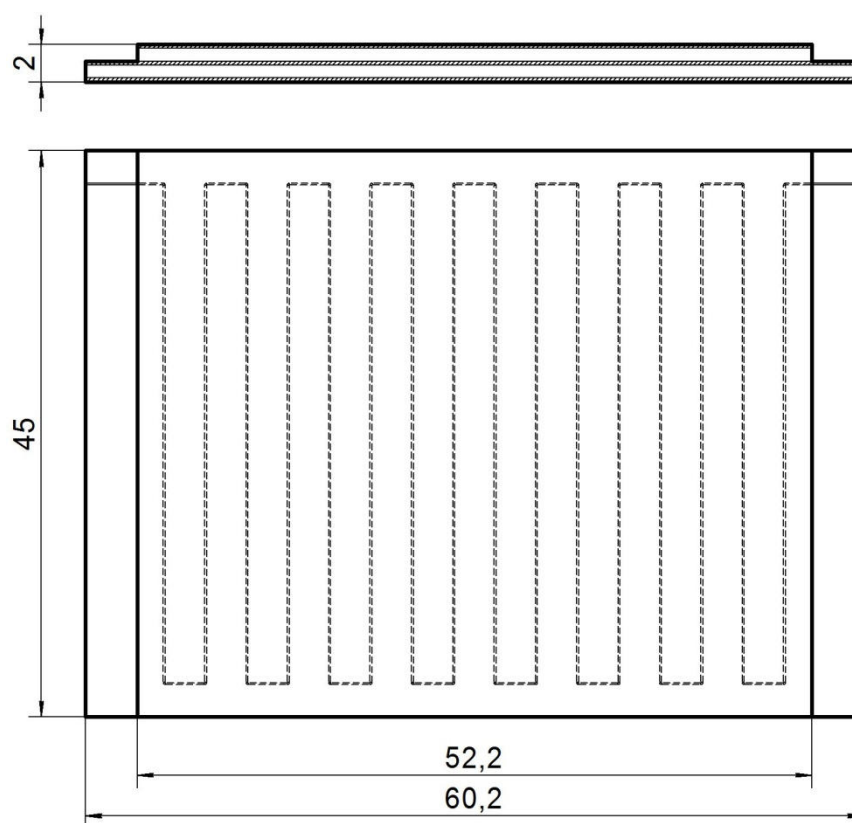


Рисунок 4

Стоит заметить, что линия обладает значительным затуханием с неравномерностью более 2 дБ, которое при необходимости может быть скомпенсировано в приемнике усилительным звеном.

В процессе проектирования рассмотрены 2 варианта топологии: с плавными переходами в местах изгиба линии (рис. 5, а) и с резкими скосами (рис. 5, б). Результаты их моделирования показывают практически полную идентичность частотных

зависимостей, поэтому целесообразно использовать первый вариант, как более технологичный.

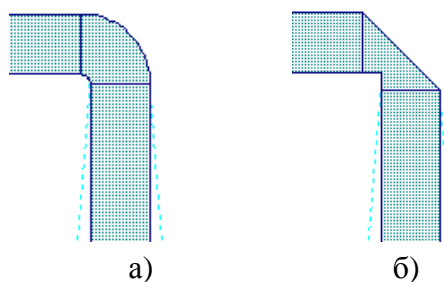


Рисунок 5. Место изгиба ЛЗ: а) плавный переход; б) резкий скос

Поскольку приведенная на рис. 2 модель не учитывает всех паразитных эффектов, влияющих на частотные характеристики ЛЗ, дополнительно выполнен электромагнитный анализ. Выявлено, что для получения адекватных значений следует использовать шаг моделирования не более 50 кГц, а размеры геометрической сетки должны быть не только сравнимы с шириной полоска, но и учитывать изгибы линии (оптимальное значение составляет 0,01 мм). Поэтому для снижения времени моделирования до приемлемой величины электромагнитный анализ с необходимыми параметрами выполнен в узком диапазоне частот – от 2,4 до 2,41 ГГц. Полученные характеристики совпадают с результатами моделирования на основе эквивалентной схемы замещения с погрешностью не более 10 %, что позволяет говорить о правильности построенной модели.

Таким образом, разработана линия задержки, позволяющая задержать сигнал промежуточной частоты на время срабатывания цифрового порогового устройства в приемнике радиолокационных сигналов. Разработана модель в среде AWR Microwave Office. Рассмотрены вопросы моделирования и проектирования линии задержки в исполнении на симметричной полосковой линии. Для уточнения результатов выполнен электромагнитный анализ, подтверждающий адекватность представленной модели.

Библиографический список

1. Куприянов, А.И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: Учеб. пособие / А.И. Куприянов, А.В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.
2. Сайт НИИ «Феррит-Домен» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.domen.ru
3. Вишневский В.Н. Портативные осциллографы с цифровыми измерениями параметров сигнала / В.Н. Вишневский, В.М. Немировский, А.А. Рогачев // – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – С. 85-89.