

УДК 001.891.57, 655.326

DOI: 10.30987/conferencearticle\_61c997ee15f5f3.56701054

## МЕТОДИКА ЭКСТРАКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОВОДЯЩИХ ЧЕРНИЛ

**Наталья Сергеевна Труфанова**, аспирант, trufanovan1997@gmail.com

**Сергей Александрович Артищев**, научн. рук., доцент каф. КУДР, к.т.н.

Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники, Россия, Томск

*Аннотация. В данной работе рассматривается методика экстракции параметров, которая позволяет проводить расчет узлов с учетом свойств материала, используемых в технологии принтерной печати. В результате проведения экстракции параметров были выявлены реальные параметры материала.*

*Ключевые слова: печатная электроника, экстракция, свч-узел, электрические параметры, микрополосковая линия.*

### TECHNIQUE FOR EXTRACTION OF ELECTRIC FREQUENCY PARAMETERS OF CONDUCTIVE INK

Natalia S. Trufanova, Postgraduate, trufanovan1997@gmail.com

Sergey A. Artishchev, Scientific advisor, Associate Professor KUDR, cand. tech. science  
TUSUR, Russia, Tomsk

*Abstract. This article discusses a method for extracting parameters that allow you to calculate the nodes taking into account the properties of the material used in the technology of printing on a printer. As a result of the extraction of the parameters, the real parameters of the material were revealed.*

*Keywords: printed electronics, extraction, microwave units, electrical parameters, microstrip line.*

Печатная электроника – электроника, создаваемая с использованием принтерных способов последовательного послойного нанесения электропроводящих, диэлектрических, резистивных слоев заданной топологии. Применение печатных способов нанесения материала позволит обеспечить более быстрый процесс изготовления компонентов и СВЧ-узлов благодаря исключению многих этапов свойственных традиционной технологии.

При печати планарных компонентов было выявлено, что электрические параметры зачастую не соответствуют расчетным [1]. Предположительно, это может быть связано как с разбавлением материала [2], так и с отклонением параметров чернил от заявленных. Это в свою очередь накладывает определенные трудности при проектировании компонентов и узлов СВЧ-техники.

Одним из решений данной проблемы является определение параметров материалов экспериментальным путем. Экстракция параметров заключается в

обнаружении параметров, влияющих на потери сигнала. Экстракция основана на расчетно-экспериментальном методе проектирования, сущность которого заключается в изготовлении макета исходя из результатов расчета и моделирования. Для проведения экстракции параметров материала была разработана методика.

Разработанная методика экстракции включает следующее:

1. Разработка моделей в САПР для учета влияния параметров материала;

1.1. Расчет геометрических размеров микрополосковой линии (МПЛ);

1.2. Построение схемы МПЛ на основе рассчитанных геометрических размеров;

1.3. Построение частотных зависимостей модулей коэффициентов передачи и отражения;

1.4. Построение топологии МПЛ на основе рассчитанных геометрических размеров;

2. Печать тестовых образцов;

3. Измерения частотных зависимостей напечатанных образцов;

4. Сравнительный анализ измеренных частотных зависимостей и результатов модели;

5. Подбор параметров модели для обеспечения совпадения с измеренными характеристиками;

6. Анализ полученных зависимостей.

Для проведения экстракции параметров был выбран САПР AWR Design Environment 14. В качестве объекта для экстракции параметров была выбрана полимерная серебросодержащая паста ПСП-2 [3]. В качестве подложки использовалась ВК-100 [4]. Первым этапом был проведен расчет ширины линии при волновом сопротивлении 50 Ом по формуле приведенной ниже.

$$\rho = \frac{377H}{W\sqrt{\varepsilon} \left[ 1 + 1,735 \cdot \varepsilon^{-0,0724} \left( \frac{W}{H} \right)^{-0,836} \right]},$$

где  $\rho$  – волновое сопротивление, Ом;

$H$  – толщина подложки, мм;

$W$  – ширина линии, мм;

$\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость подложки.

В результате вычисления ширина линии равна 0,9 мм. Для подтверждения расчета ширины был проведен синтез геометрических размеров в программе TXLINE AWR Design Environment 14.

Следующим этапом была построена схема МПЛ для исследования частотных зависимостей. Задавались полученные геометрические размеры линии и параметры подложки: диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon = 9,8$ , тангенс угла диэлектрический потерь  $\text{tg}\delta = 0,0004$  и толщина  $H = 1$  мм (рисунок 1).

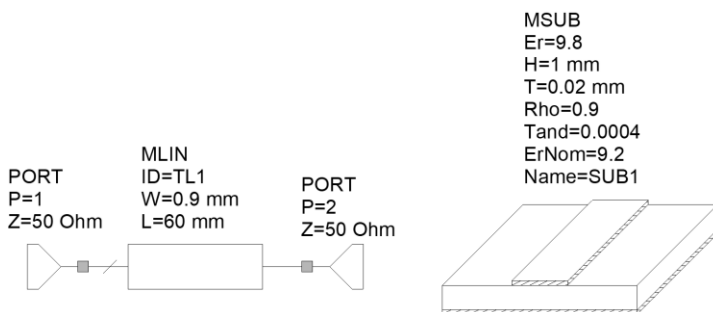


Рисунок 1 – Модель МПЛ

По результатам построения схемы была изготовлена МПЛ методом принтерной печати. Измерение частотной зависимости модуля коэффициента передачи проходило на векторном анализаторе цепей Планар Обзор-804. Полученные значения S-параметров были импортированы в AWR и построены графики сравнения характеристик модели и измерения МПЛ (рисунок 2).

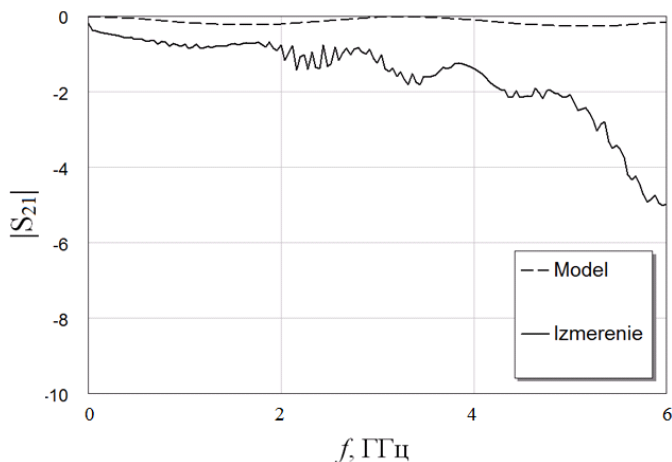


Рисунок 2 – Частотная зависимость модуля коэффициента передачи сигнала

Определенное расхождение расчетных и измеренных значений  $|S_{21}|$  на частотах обусловлено тем, что при расчете учитывались теоретические параметры материалов, а не действительные значения, полученные при подготовке чернил. Исходя из этого, необходимо было провести экстракцию параметров так, чтобы модель соответствовала измеренным характеристикам. Для экстракции частотных параметров была построена МПЛ, которая учитывает: волновое сопротивление, относительную эффективную диэлектрическую проницаемость, потери. В результате экстракции удалось добиться схожести частотных характеристик при значениях, показанных на рисунке 3.

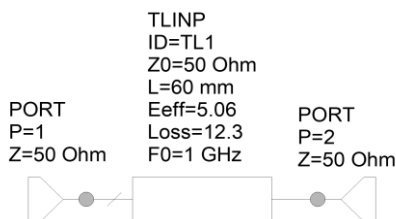


Рисунок 3 – Модель МПЛ после экстракции

Полученная частотная зависимость модуля коэффициента передачи приведена на рисунке 4.

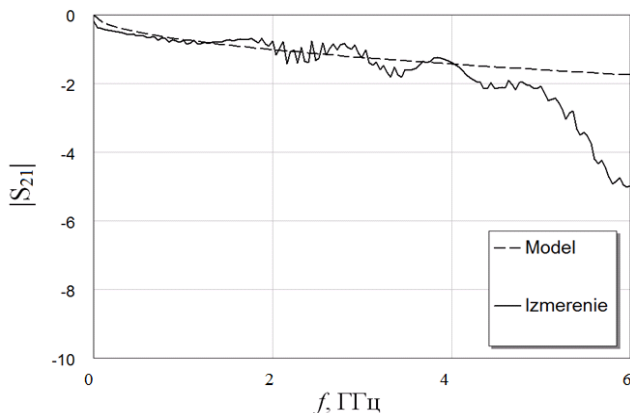


Рисунок 4 – Частотная зависимость модуля коэффициента передачи сигнала

В результате экстракции параметров были определены реальные частотные параметры МПЛ. Полученные параметры могут применяться для проектирования иных СВЧ-узлов.

#### Список литературы

1. Труфанова, Н.С., Труфанова А.С. Исследование возможности изготовления планарных компонентов методом протерной печати. Сборник избранных статей по материалам международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2021». Томск: «В-Спектр». 2021. Ч. 1. С. 162–164.
2. Труфанова А.С, Труфанова Н.С. Определение пропускной способности поршневого дозатора проводящих паст. Сборник избранных статей по материалам международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2020». Томск: «В-Спектр». 2020. Ч. 1. С. 157–160.
3. ТУ 6365-007-59839838-2004 Пасты полимерные. – М: ООО «НПП ДЕЛЬТА-ПАСТЫ», 1993. – 17 с.
4. Подложки [Электронный курс]. – Режим доступа: <https://www.polikor.net/katalog/podlozhki.html> (дата обращения: 25.09.20).

Материал принят к публикации 11.10.21.