РОССИЙСКИЙ ФОРУМ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА



ШКОЛА
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ТЕЗИСЫ
трудов конференции

Школа молодых ученых

Федеральная территория «Сириус»
Университет «Сириус»
21–29 сентября 2026 г.

УДК 621.372.8.01

Моделирование влияния температуры на характеристики микрополосковой линии с двумя боковыми заземленными проводниками при разных влагозащитных покрытиях

Сагиева И. Е., к. т. н.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
634050, г. Томск, пр-т Ленина, 40
indira_sagieva@mail.ru

Выполнено моделирование влияния температуры на характеристики микрополосковой линии с двумя боковыми заземленными проводниками на основе четырех марок диэлектрической подложки PTFE при разных влагозащитных покрытиях (лаках).
Ключевые слова: печатная плата; микрополосковая линия; погонная задержка; волновое сопротивление; температура; тепловой коэффициент; лак.

Modeling the influence of temperature on the characteristics of a microstrip line with two side grounded conductors with different moisture-proof coatings

Sagiyeva I. Y., Ph.D
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), 40 Lenina Ave., Tomsk, 634050, Russia
indira_sagieva@mail.ru

The influence of temperature on the characteristics of a microstrip line with two side grounded conductors based on 4 grades of PTFE dielectric substrate with different moisture-proof coatings (varnishes) was simulated.
Keywords: printed circuit board; microstrip line; per-unit-length delay; impedance; temperature; thermal coefficient; moisture-proof coating.

Радиоэлектронная аппаратура широко применяется в промышленности, медицине, аэрокосмической и морской областях. Ее основой является печатная плата (ПП), обеспечивающая интеграцию и надежность компонентов в разных климатических условиях, включая космос, Арктику и тропики. Надежность ПП сильно зависит от температуры (T) и влажности: T вызывает деформацию материалов, приводящую к изменению геометрических размеров элементов ПП, а влажность может вызвать дендритный рост проводников и короткие замыкания. Поэтому для защиты ПП от влажности применяют влагозащитные покрытия (лаки). При проектировании ПП важно выбирать правильные типы линий передачи, например микрополосковую линию (МПЛ) и ее модификации [1]. МПЛ в микроэлектронике обеспечивает эффективную передачу сигналов, фильтрацию и согласование, что делает ее ключевой для антенн и усилителей благодаря компактности и технологичности.

В данной работе представлены новые результаты моделирования в системе TUSUR.EMC [2] влияния T (от –50 до 150 °C шагом 25 °C) на характеристики

погонной задержки (τ) и волнового сопротивления (Z) МПЛ с двумя боковыми заземленными проводниками (рис. 1) при разных влагозащитных покрытиях (табл. 1) на основе линейной температурной модели [3] для четырех марок материала PTFE (табл. 2). Марки PTFE имеют одну общую относительную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon_r = 3$, но отличаются тепловыми коэффициентами (α).

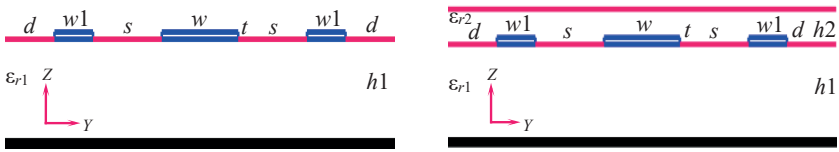


Рис. 1. Поперечное сечение исследуемой линии без влагозащитного покрытия (*а*) и с ним (*б*)

Таблица 1. Параметры влагозащитных лаков

Параметр \ Тип лака	Полипараксилилен	Полихлорпараксилилен	Эпоксидный	Силиконовый	Уретановый
ε_{r2}	2,65	2,95	3,3	2,7	6,5
α, 10^{-5} K^{-1}	6,9	3,5	4,5	25	10

Таблица 2. Марки материала PTFE

Марка PTFE	**α · 10^6 K^{-1}**			**ε_r**	**α(ε_r) · 10^6 K^{-1}**
	X	***Y***	***Z***		
GNA300 (армированный без наполнителя)	16	18	130	3	−132
GNC3008 (армированный с керамическим наполнением)	14	17	30	3	−17
GNC3003 (без армирования с керамическим наполнением)	17	17	23	3	−6
GNH300 (армированный углеводородный композит с наполнением)	15	16	36	3	280

Выявлено, что с увеличением ε_r лака значения τ увеличиваются, а Z уменьшаются для всех марок PTFE (рис. 2). Между тем из-за значений ε_r всех лаков, кроме уретановых с ε_r, близким к маркам GNC3008 и GNC3003, появляется возможность минимальной чувствительности τ и Z с ростом T. Это означает возможность минимизации влияния T до стабильных значений τ и Z за счет правильного учета подбора материалов диэлектрической подложки и влагозащитного лака, т.е. за счет компенсации значений их ε_r и α.

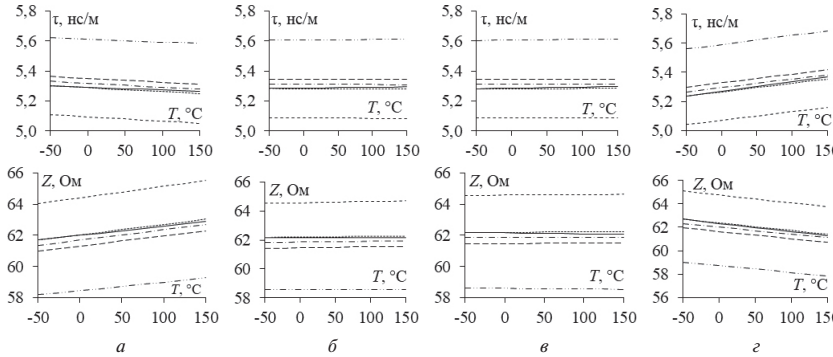


Рис. 2. Зависимости τ и Z с ростом T без (- -) и с учетом влагозащитного лака: полипараксилилена (· ·), полихлорпараксилилена (–·–), эпоксидного (– –), силиконового (–), уретанового (–··–) для марок GNA300 (*а*), GNC3008 (*б*), GNC3003 (*в*), GNH300 (*г*)

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства образования и науки РФ, проект FEWM-2024-0005.

Литература

1. Maloratsky L. G. Using modified microstrip lines to improve circuit performance // High frequency electronics, 2011. Vol. 10. № 5. P. 38–52.
2. Kuksenko S. P. Preliminary results of a project of the University of TUSUR on designing the distribution network space vehicles: modeling EMS // IOP Conf. Series: Materials science and engineering, 2019. Vol. 560. № 012110. P. 1–7.
3. Sagiyeva I. Y., Nosov A. V., Surovtsev R. S. The influence of temperature on microstrip transmission line characteristics // 21st International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM). Erlagol, Altai, Russia, 29 June — 3 July 2020. P. 191–194.