

К достоинству предложенного алгоритма можно отнести более простой и быстрый способ вычисления временного отклика. Построение временных зависимостей легче реализовать при помощи импорта данных, чем осуществление построения поперечного сечения и вычисления первичных и вторичных параметров. Предлагаемый алгоритм открывает дополнительные возможности в изучении временных характеристик в системе TALGAT с помощью использования рассчитанных или экспериментально полученных данных.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FEWM-2022-0001).

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2(36). – С. 45–50.

2. Исследование распространения сверхкороткого импульса в микрополосковой С-секции при изменении зазора между связанными проводниками / Р.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий, Т.Т. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2016. – № 1(19). – С. 79–82.

УДК 621.3712.001.24

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ С ЗАЗЕМЛЕННЫМ ПРОВОДНИКОМ СВЕРХУ

Б.Е. Нурхан, магистрант;

И.Е. Сагеева, ассистент, м.н.с. НИЛ «ФИЭМС»

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, nurkhan.bakhtiyar@mail.ru

Выполнено моделирование микрополосковой линии с заземленным проводником сверху. Вычислены зависимости погонной задержки (τ) и волнового сопротивления (Z) при температуре $T = -50, 25$ и 150 °С. Оценено влияние T на характеристики τ и Z . Приведены относительные модули их отклонений. Наибольшее отклонение для τ достигло 3,23%, а для $Z - 2,92\%$.

Ключевые слова: микрополосковая линия, радиоэлектронная аппаратура, погонная задержка, волновое сопротивление, температура.

В настоящее время с ростом требований к характеристикам радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) возникает необходимость воспроизведения линий передачи (ЛП) со стабильными значениями погонной задержки (τ) и волнового сопротивления (Z), и в целом актуально уменьшение чувствительности электрических характеристик линий к

изменению их физических параметров, геометрических, а также диэлектриков. При этом температура (T) является внешним эксплуатационным фактором, меняющим одновременно все параметры ЛП. В свою очередь, в зависимости от назначения РЭА должна обеспечивать работоспособность в самых различных климатических условиях (тропики, Арктика, космос и др.) [1]. Поэтому одна из важных задач конструирования РЭА состоит в обеспечении стабильности характеристик с учетом правильного теплового режима для каждого элемента конструкции, и тема исследования является актуальной.

В этой связи ранее авторами исследованы влияния T на характеристики τ и Z модифицированных микрополосковых линий (МПЛ): с боковыми заземленными проводниками сверху без учета [2] и с учетом [3] влияний T на относительную диэлектрическую проницаемость подложки (ϵ_r) и с боковыми заземленными проводниками [4]. Однако влияние T на характеристики τ и Z МПЛ с заземленным проводником сверху не выявлено. Поэтому цель данной работы – выполнить такое исследование.

В системе TALGAT [5] построена геометрическая модель поперечного сечения МПЛ с заземленным проводником сверху (рис. 1). Значения ряда параметров выбраны типовыми и не менялись: толщина сигнального и заземленного проводников $t = 18$ мкм, толщина диэлектрической подложки $h=1$ мм, $\epsilon_r=5,6$. Изменяемые параметры: ширина сигнального проводника $w=0,3-1,5$ мм (с шагом 0,3 мм), высота заземленного проводника $h1 = 0,1-0,9$ мм.

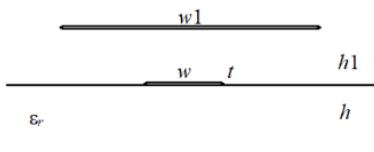


Рис. 1. Поперечное сечение МПЛ с заземленным проводником сверху

Выполнено моделирование влияния T (для $-50, 25$ и 150 °С) на характеристики τ и Z по формулам для расчетов [6] исследуемой линии по температурной модели и тепловым коэффициентам для каждого параметра из [7]. Зависимости τ и Z от $h1$ при разных значениях w и для каждой T представлены на рис. 2. Характерной особенностью зависимостей τ при каждой T является их пересечение между собой при $h1 = 0,55$ мм, а зависимости Z при каждой T монотонно возрастают. Однако с увеличением T значения характеристик τ уменьшаются, а Z – увеличиваются. Так, например, при $h1 = 0,1$ мм и $w = 0,3$ мм значение τ уменьшается с 4,996 нс ($T = -50$ °С) до 4,564 нс ($T = 150$ °С), а Z – увеличивается с 43,378 Ом ($T = -50$ °С) до 44,590 Ом ($T=150$ °С).

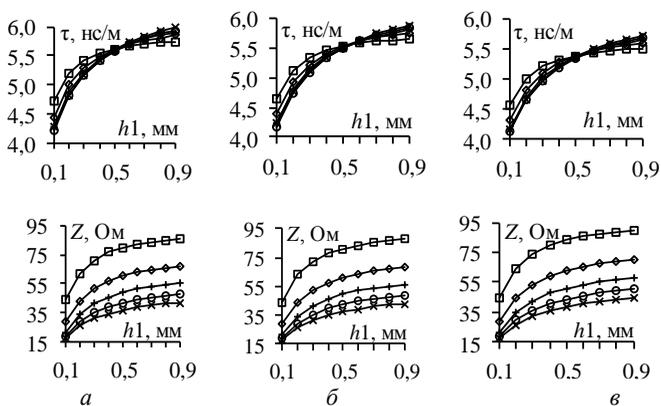


Рис. 2. Зависимости τ и Z от $h1$ при $w = 0,3$ (\square); $0,6$ (\diamond); $0,9$ ($+$); $1,2$ (\circ) и $1,5$ (\times) мм для $T = -50$ (a), 25 (b) и 150 ($в$) °C

Влияние T на характеристики линии можно оценить процентным отношением модуля отклонения характеристики к меньшему значению (таблица). Наибольшее отклонение для τ достигло 3,23%, а для Z – 2,92%.

Относительный модуль (%) отклонений для τ и Z

w , мм	T , °C	$h1$, мм	τ			Z		
		0,1	0,5	0,9	0,1	0,5	0,9	
0,3	-50		1,02	1,69	1,84	1,12	1,53	1,56
	150		1,72	2,87	3,12	1,96	2,71	2,77
0,6	-50		0,93	1,69	1,86	1,001	1,53	1,59
	150		1,57	2,87	3,15	1,72	2,73	2,84
0,9	-50		0,91	1,71	1,88	0,92	1,54	1,62
	150		1,52	2,88	3,18	1,58	2,73	2,87
1,2	-50		0,95	1,72	1,89	0,91	1,54	1,63
	150		1,59	2,91	3,2	1,56	2,74	2,9
1,5	-50		1,01	1,74	1,91	0,95	1,55	1,64
	150		1,7	2,95	3,23	1,63	2,75	2,92

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воздействие внешних условий на работоспособность РЭА. – URL: https://sinref.ru/000_uchebniki/04600radio/008_regulirovshik_radioaparaturi_goro_dilin/054.htm (дата обращения: 20.02.2022).

2. Нурхан Б.Е. Влияние температуры на характеристики микрополосковой линии с боковыми заземленными проводниками сверху / Б.Е. Нурхан,

И.Е. Сагиева // Матер. XV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – Томск, Россия, 18–20 ноября, 2020. – Ч. 1. – С. 310–312.

3. Сагиева И.Е. Оценка влияния температуры на характеристики микрополосковой линии с боковыми заземленными проводниками сверху / И.Е. Сагиева, Б.Е. Нурхан // 27-я Междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС-27–2021». – Томск, Россия, 16 ноября, 2021. – С. 146–151.

4. Нурхан Б.Е. Влияние температуры на характеристики микрополосковой линии с боковыми заземленными проводниками / Б.Е. Нурхан, И.Е. Сагиева // Междунар. науч.-техн. конф. «Электронные средства и системы управления», Томск, Россия, 18–20 ноября, 2020. – Ч. 1. – С. 310–312.

5. Куксенко С.П. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2(36). – С. 45–50.

6. Сагиева И.Е. Моделирование характеристик микрополосковой линии, покрытой заземленным проводником / И.Е. Сагиева // Научная сессия ТУСУР–2017: матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа. – Томск, Россия, 10–12 мая, 2017. – Ч. 3. – С. 77–79.

7. Sagiyeva I.Y. The influence of temperature on microstrip transmission line characteristics / I.Y. Sagiyeva, A.V. Nosov, R.S. Surovtsev // 21st International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices EDM. – Erlagol, Altai, June 29 – July 3, 2020. – P. 191–194.

УДК 621.3712.001.24

ДВУХКАСКАДНЫЙ МОДАЛЬНЫЙ ФИЛЬТР НА ОСНОВЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ С ЗАЗЕМЛЕННЫМ ПРОВОДНИКОМ СВЕРХУ

И.Е. Сагиева, ассистент каф. ТУ, м.н.с. НИЛ «ФИЭМС»;

А. Секенова, магистрант каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, aitowaas@mail.ru

Описывается двухкаскадный модальный фильтр (МФ) на основе микрополосковой линии с заземленным проводником сверху. В системе TALGAT построено поперечное сечение линии. Вычислены матрицы погонных коэффициентов электромагнитной и электростатической индукции линии, погонные задержки и временной отклик на воздействие сверхкороткого импульса. Получено его дополнительное ослабление в 2 раза за счет разложения на 4 импульса.

Ключевые слова: микрополосковая линия, модальный фильтр, сверхкороткий импульс, каскадирование.