

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.

Микрополосковые линии широко применяются для передачи электрических сигналов и питания к различным элементам цепей. Поэтому для усовершенствования их возможностей они непрерывно модифицируются [1]. В этой связи примечательна микрополосковая линия с заземленным проводником сверху, защищающая от сверхкоротких импульсов [2]. Данная линия обладает свойствами модального фильтра (МФ) [3]. Недостатком линии является малое ослабление СКИ. Поэтому актуально выявить возможности увеличения ослабления СКИ в таком МФ. Это можно сделать, используя каскадное соединение МФ. Примечательно, что из-за соединения пассивного и опорного проводников на концах каскадирование МФ при заданной его общей длине сведется просто к соединению в заданной точке. Цель работы – исследовать эту возможность.

Рассмотрим модификацию МПЛ из [2], отличающуюся тем, что верхний проводник дополнительно соединен с опорным проводником в точке, делящей линию на два отрезка в соотношении длин 1:2. Возможность разложения и увеличения ослабления СКИ можно показать на примере моделирования структуры, поперечное сечение, схема электрическая принципиальная и воздействие которой приведены на рис. 1. Параметры поперечного сечения: $t = 18$ мкм, $h = 1$ мм, $w = 0,9$ мм, $w1 = 1$ мм, $h1 = 0,2$ мм и $\epsilon_r = 4,5$. Параметры схемы электрической принципиальной: общая длина линии $l = 1$ м, $R1 = R2 = 50$ Ом. Верхний проводник соединен на концах и стыке отрезков с опорным. Потери в проводниках и диэлектриках не учитывались.

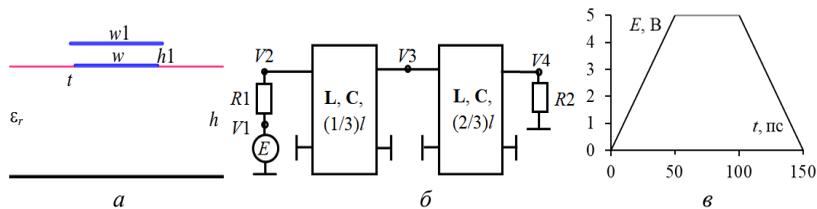


Рис. 1. Поперечное сечение (а), моделируемая схема (б) и форма ЭДС воздействующего СКИ (в) двухкаскадного МФ

Совокупность параметров поперечных сечений определяет матрицы погонных коэффициентов электромагнитной (L) и электростатической (C) индукции линий. Вычисленные в системе TALGAT матрицы L и C :

$$L = \begin{bmatrix} 427,06 & 344,22 \\ 344,22 & 444,63 \end{bmatrix} \text{ нГн/м}; \quad C = \begin{bmatrix} 124,46 & -55,54 \\ -55,54 & 69,78 \end{bmatrix} \text{ пФ/м}.$$

Корень квадратный из собственных значений произведения этих матриц определяет значения погонных задержек мод (τ), распространяющихся в такой линии, как $\tau_1 = 3,42$ нс/м, $\tau_2 = 5,84$ нс/м. Принцип работы МФ: в первом отрезке линии СКИ разлагается на два импульса с меньшей амплитудой, каждый из которых приходит к концу этого отрезка с задержкой, равной погонной задержке соответствующей моды, умноженной на длину отрезка. Каждый из этих двух импульсов, в свою очередь, разлагается во втором отрезке еще на два импульса, каждый из которых приходит к концу второго отрезка с задержкой, равной погонной задержке соответствующей моды, умноженной на длину этого отрезка. В результате форма напряжения на выходе линии представляет собой 4 импульса с интервалом между ними 0,8 нс и равными амплитудами 0,6 В. Это подтверждает вычисленная форма напряжения в узле V4 (рис. 2).

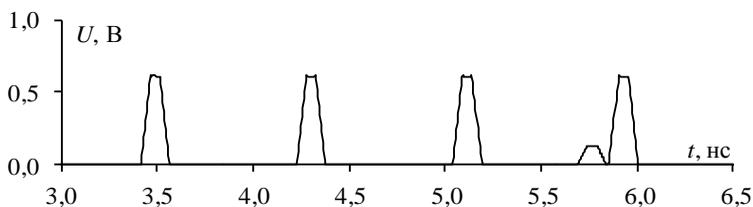


Рис. 2. Форма напряжения в конце двухкаскадного МФ

В итоге показана возможность увеличения ослабления в двухкаскадном МФ в два раза по сравнению с однокаскадным МФ. Это достигается практически без затрат: просто соединением пассивного и опорного проводников в точке, делящей их по длине в соотношении 1:2.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Maloratsky L.G. Using modified microstrip lines to improve circuit performance // High Frequency Electronics. – 2011. – Vol. 10, No. 5. – P. 38–52.
2. Патент РФ №2763692. Авторы: Сагиева И., Газизов Т.Р. Микрополосковая линия с заземленным проводником сверху, защищающая от сверхкоротких импульсов. Заявка №2020138861. Приоритет изобретения 27.11.2020. Опубликовано: 30.12.2021, Бюл. № 1.
3. Сагиева И.Е. Модальные фильтры на основе микрополосковой линии с заземленными проводниками сверху / И.Е. Сагиева, Т.Р. Газизов // Дайджесты IEEE XXII Междунар. конф. молодых специалистов в области электронных приборов и материалов (EDM–2021). – Ая, Алтайский край, Россия, 30 июня – 4 июля, 2021. – С. 182–187.