

УДК 621.391.825

И.Е. Сагиева

Микрополосковая линия с двумя симметричными проводниками сверху, защищающая от сверхкоротких импульсов

Описывается заявка на патент на изобретение с одноименным названием. Показано, что устройство может использоваться как модальный фильтр. Получено ослабление сверхкороткого импульса более чем в 2 раза. Перечислены отличия характеристик устройства.

Ключевые слова: микрополосковая линия, сверхкороткий импульс, проводник, электромагнитная индукция, электростатическая индукция.

Микрополосковые линии (МПЛ) массово используются для передачи электрических сигналов и питания различным элементам электрических цепей. Поэтому они непрерывно модифицируются для совершенствования их возможностей [1].

Наиболее близкой к предлагаемому изобретению является МПЛ, состоящая из опорного проводника в виде проводящего слоя, диэлектрической подложки на опорном проводнике и сигнального проводника в виде полоски на подложке [2]. Недостатком линии является то, что она не обеспечивает защиту от сверхкороткого импульса (СКИ).

Предлагается МПЛ, состоящая из опорного проводника в виде проводящего слоя, диэлектрической подложки на опорном проводнике и сигнального проводника в виде полоски на подложке, отличающаяся наличием двух симметричных проводников сверху, соединенных на концах с опорным проводником, и выбором параметров линии, обеспечивающим разложение СКИ, воздействующего между сигнальным и опорным проводниками, на два импульса равной амплитуды. Техническим результатом является возможность защиты от СКИ, достигаемая за счет его модального разложения.

Достижимость технического результата показана на примере моделирования структуры, поперечное сечение которой приведено на рис. 1, схема электрическая принципиальная – на рис. 2, а воздействующий СКИ – на рис. 3.

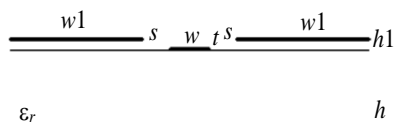


Рис. 1. Поперечное сечение предлагаемой линии

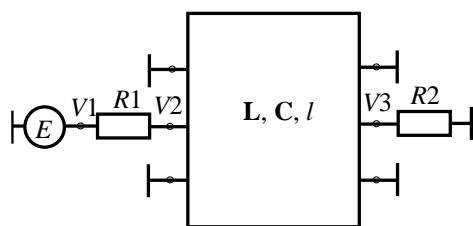


Рис. 2. Моделируемая схема включения предлагаемой линии

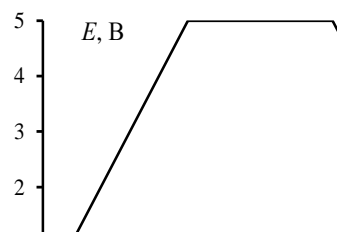


Рис. 3. Форма электродвижущей силы источника

Параметры поперечного сечения: $t = 18$ мкм, $w = 0,3$ мм, $w1 = 1$ мм, $h = 1$ мм, $h1 = 0,1$ мм, $s = 0,45$ мм. Совокупность этих параметров определяет матрицы погонных коэффициентов электромагнитной (\mathbf{L}) и электростатической (\mathbf{C}) индукции линии. Другие параметры схемы: длина линии $l = 1$ м, внутренние сопротивления источника СКИ и нагрузки $R1 = R2 = 50$ Ом. Два симметричных проводника соединены на концах с опорным проводником. У источника СКИ амплитуда электродвижущей силы (ЭДС) 5 В, а времена нарастания, плоской вершины и спада – по 50 пс. Потери в проводниках и диэлектриках не учитывались.

Вычисленные матрицы \mathbf{L} и \mathbf{C} :

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 518,1 & 235,8 & 235,8 \\ 235,8 & 412,7 & 147,8 \\ 235,8 & 147,7 & 412,7 \end{bmatrix} \text{ нГн/м};$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 72,82 & -22,06 & -22,06 \\ -22,06 & 60,61 & -5,667 \\ -22,06 & -5,667 & 60,61 \end{bmatrix} \text{ пФ/м}.$$

Корень квадратный из собственных значений произведения этих матриц определяет значения погонных задержек мод, распространяющихся в такой линии, как $\tau_1 = 4,32$ нс/м, $\tau_2 = 5,38$ нс/м, $\tau_3 = 4,19$ нс/м. Каждой из них соответствует собственный вектор напряжений:

$$U_1 = \begin{pmatrix} 0,7 \\ -0,2 \\ 0,7 \end{pmatrix}, U_2 = \begin{pmatrix} -0,4 \\ -0,8 \\ -0,4 \end{pmatrix}, U_3 = \begin{pmatrix} -0,7 \\ 0 \\ 0,7 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Достоверность результатов подтверждается их сравнением с векторами, представленными в [3], в нормированном виде через коэффициенты a и b :

$$U1 = \begin{pmatrix} a \\ 1 \\ a \end{pmatrix}, U2 = \begin{pmatrix} -b \\ 1 \\ -b \end{pmatrix}, U3 = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Однако в силу симметрии двух верхних проводников амплитуда импульса моды 3 равна нулю, и остаются только импульсы мод 1 и 2. Интервал между ними (около 1 нс) определяется произведением длины линии (1 м) и разности погонных задержек мод 1 и 2 (около 1 нс/м). Это подтверждают вычисленные формы напряжения в начале (V2) и конце (V3) сигнального проводника, приведенные на рис. 4.

Как видно, к концу линии приходят первые 2 импульса с интервалом между ними около 1 нс и равными амплитудами около 1,2 В. Это означает возможность ослабления (в 2 раза, по отношению к половине ЭДС) воздействующего СКИ (с общей длительностью меньше указанного интервала) и защиты от него, что показывает достижимость технического результата.

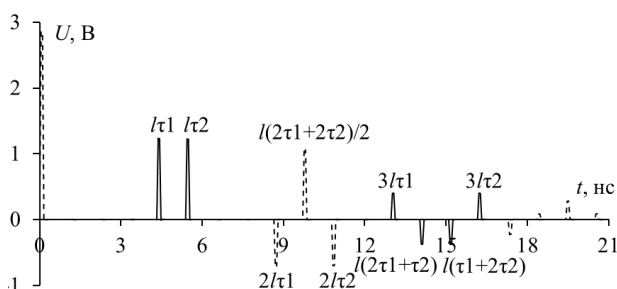


Рис. 4. Формы напряжения в начале (- -) и конце (-) заявляемой линии

В заключение отметим отличия предложенного МФ от известных и представленных в [4]:

1. Минимальное и равное напряжение импульсов на выходе, как правило, получалось при сопротивлениях на концах пассивного проводника, значения которых равны среднему геометрическому волновых сопротивлений мод, а в некоторых МФ – короткому замыканию на одном конце и холостому ходу на другом. Но в этом МФ равное напряжение импульсов получается при коротком замыкании пассивного проводника на опорный.

2. Многие известные МФ имеют симметричное (или близкое к нему) расположение активного и пассивного проводников относительно опорного, которое обеспечивало равенство амплитуд напряжения импульсов. Но данную МФ обеспечивает это при резко асимметричном расположении указанных проводников относительно опорного.

3. В этом МФ привлекает внимание тот факт, что пассивные проводники, закороченные на опорный, можно трактовать как опорный проводник, разделённый на несколько проводников, соединённых на концах.

4. Последующие импульсы, приходящие к концу линии, являются разнополярными, причем их амплитуды близки.

5. Среди последующих импульсов есть дополнительные импульсы с задержками, равными линейным комбинациям задержек импульсов мод.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

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. Бахарев С.И., Вольман В.И. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств. – М.: Радио и связь, 1982. – 328 с.
3. Riazat M. Propagation modes and dispersion characteristics of coplanar waveguides // M. Riazat, R. Majidi-Ahy, I.J. Feng // IEEE Trans. on microwave theory and techniques – March 1990. – Vol. 38, No. 3. – P. 241–251.
4. Электромагнитная совместимость: модальные технологии: учеб. пособие / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2018. – 132 с.

Сагиева Индира Ериковна

Аспирант каф. ТУ ТУСУРа,
научно-технологический университет «Сириус»
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0001-7119-0583
Тел.: +7-913-801-19-89
Эл. почта: indira_sagieva@mail.ru