



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H03H 11/344 (2019.02); H01Q 21/0075 (2019.02); H04L 25/08 (2019.02)

(21)(22) Заявка: 2018122393, 18.06.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
18.06.2018Дата регистрации:  
16.07.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.06.2018

(45) Опубликовано: 16.07.2019 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ТУСУР,  
патентно-информационный отдел

(72) Автор(ы):

Носов Александр Вячеславович (RU),  
Суровцев Роман Сергеевич (RU),  
Газизов Тальгат Рашитович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Томский государственный  
университет систем управления и  
радиоэлектроники" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: RU 2607252 C1, 16.07.2015. RU  
2656834 C2, 06.06.2018. US 8217839 B1,  
10.07.2012. US 2013/188528 A1, 25.07.2013.

## (54) МЕАНДРОВАЯ МИКРОПОЛОСКОВАЯ ЛИНИЯ ЗАДЕРЖКИ, ЗАЩИЩАЮЩАЯ ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано для защиты радиоэлектронной аппаратуры от электростатического разряда. Техническим результатом является разложение пикового выброса ЭСР на последовательность импульсов меньшей амплитуды за счет выбора параметров и длины линии. При этом линия задержки состоит из одного опорного проводника, двух параллельных ему и друг другу сигнальных проводников, соединенных между собой на одном

конце, диэлектрической среды, с выбором параметров линии такими, что обеспечивается равенство среднего геометрического значения волновых сопротивлений четной и нечетной мод волновому сопротивлению тракта, при этом выбором параметров поперечного сечения линии обеспечивается равенство длительности пикового выброса электростатического разряда значению удвоенной длины линии, умноженной на модуль разности погонных задержек четной и нечетной мод линии. 4 ил.

RU 2 694 741 C1

RU 2 694 741 C1

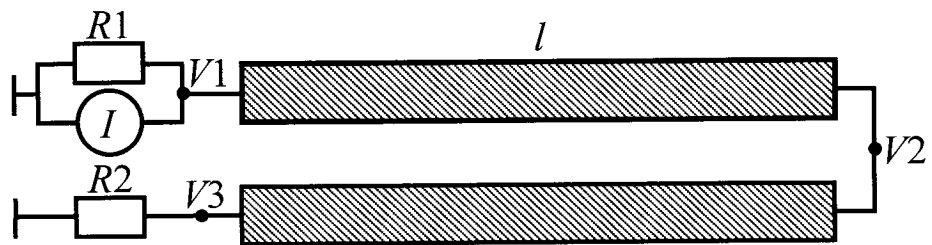


Схема соединений заявляемой линии

Фиг. 3

R U 2 6 9 4 7 4 1 C 1

R U 2 6 9 4 7 4 1 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H03H 11/344* (2019.02); *H01Q 21/0075* (2019.02); *H04L 25/08* (2019.02)

(21)(22) Application: **2018122393, 18.06.2018**

(24) Effective date for property rights:  
**18.06.2018**

Registration date:  
**16.07.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **18.06.2018**

(45) Date of publication: **16.07.2019** Bull. № 20

Mail address:

**634050, g. Tomsk, pr. Lenina, 40, TUSUR,  
patentno-informatsionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Nosov Aleksandr Vyacheslavovich (RU),  
Surovtsev Roman Sergeevich (RU),  
Gazizov Talgat Rashitovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Tomskij gosudarstvennyj  
universitet sistem upravleniya i radioelektroniki"  
(RU)**

(54) **MEANDER MICROSTRIP LINE OF DELAY, WHICH PROTECTS FROM ELECTROSTATIC DISCHARGE**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to electrical engineering and can be used for protection of radioelectronic equipment against electrostatic discharge. At that, delay line consists of one support conductor, two signal conductors parallel to it and to each other and connected to each other at one end of dielectric medium, with selection of line parameters such that there is an ensured equality of average geometric value of wave impedances of even and odd

modes is given to wave impedance of path, wherein selection of line cross-section parameters ensures equality of duration of peak ejection of electrostatic discharge to value of double line length, multiplied by modulus of difference of running delays of even and odd line modes.

EFFECT: decomposition of peak ejection of ESD into sequence of pulses of smaller amplitude due to selection of parameters and length of line.

1 cl, 4 dwg

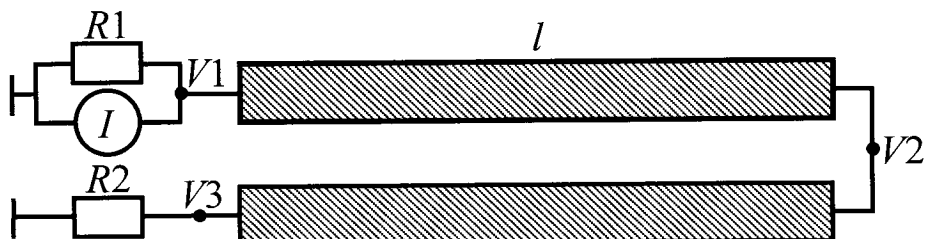


Схема соединений заявляемой линии

Фиг. 3

Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано для защиты радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) от электростатического разряда (ЭСР).

В настоящее время актуальной задачей является защита РЭА от импульсов наносекундного и субнаносекундного диапазонов, которые способны проникать в различные узлы РЭА, минуя электромагнитные экраны устройств. Большую опасность из таких импульсов представляет ЭСР, поскольку его влияние является достаточно распространенной причиной выхода РЭА из строя. Традиционными схмотехническими средствами защиты от такого воздействия являются фильтры, устройства развязки, ограничители помех, разрядные устройства, а конструктивными - защитные экраны и методы повышения однородности экранов, заземление и методы уменьшения импедансов цепей питания. Известно, что включаемые на входе аппаратуры устройства защиты обладают рядом недостатков (малая мощность, недостаточное быстродействие, паразитные параметры), затрудняющих защиту от ЭСР. Эффективная защита в широком диапазоне воздействий требует сложных многоступенчатых устройств. Между тем, наряду с высокими характеристиками, практика требует простоты и дешевизны устройств защиты, поэтому необходима разработка новых устройств защиты от ЭСР.

Наиболее близкой к заявляемому устройству является меандровая микрополосковая линия задержки, защищающая от сверхкоротких импульсов [Суровцев Р.С., Газизов Т.Р., Носов А.В., Заболоцкий А.М., Куценко С.П. Меандровая микрополосковая линия задержки, защищающая от сверхкоротких импульсов. Патент РФ №2607252], состоящая из одного опорного проводника, двух параллельных ему и друг другу сигнальных проводников, соединенных между собой на одном конце, и диэлектрической среды.

Недостатком устройства-прототипа является невозможность его использования для защиты от ЭСР.

Рассмотрим типовую форму ЭСР (Фиг. 1) согласно стандарту IEC 61000-4:2003 [2012 Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 2: Electrostatic discharge immunity test, IEC 61000-4:2003]. Для ясности дальнейшего изложения введем следующие пояснения: первая часть ЭСР - пиковый выброс ЭСР длительностью 4 нс, вторая часть ЭСР - часть ЭСР после пикового выброса длительностью 4 нс.

Заявляется линия задержки, состоящая из одного опорного проводника, двух параллельных ему и друг другу сигнальных проводников, соединенных между собой на одном конце, диэлектрической среды, с выбором параметров линии такими, что обеспечиваются равенство среднего геометрического значения волновых сопротивлений четной и нечетной мод волновому сопротивлению тракта, отличающаяся тем, что выбором параметров поперечного сечения линии обеспечивается равенство длительности пикового выброса электростатического разряда значению удвоенной длины линии, умноженной на модуль разности погонных задержек четной и нечетной мод линии.

Достоинством заявляемого устройства, в отличие от устройства-прототипа, является возможность его использования для защиты РЭА от ЭСР.

Техническим результатом является разложение пикового выброса ЭСР на последовательность импульсов меньшей амплитуды за счет выбора параметров и длины линии. Технический результат достигается за счет выбора параметров линии такими, чтобы обеспечить равенство длительности пикового выброса ЭСР значению удвоенной длины линии, умноженной на модуль разности погонных задержек четной и нечетной мод линии. За счет этого, пиковый выброс ЭСР раскладывается на три основных импульса, каждый из которых приходит к концу линии по окончании предыдущего: импульс ближней перекрестной наводки от фронта пикового выброса ЭСР (первый

импульс) и импульсы нечетной и четной мод (второй и третий импульсы). Позже к концу линии будут приходить импульсы разной полярности, вызванные отражениями. Первые три импульса имеют максимальные амплитуды из всех импульсов последовательности. Таким образом, минимизируется максимальная амплитуда выходного сигнала. Приведенные выше качественные оценки достижимости технического результата подтверждаются ниже количественными оценками, полученными с помощью моделирования.

На фиг. 2 приведено поперечное сечение заявляемой линии, со следующими параметрами:  $w$  и  $t$  - ширина и толщина проводников соответственно,  $s$  - расстояние между проводниками,  $h$  - толщина диэлектрической подложки,  $\epsilon_r$  - диэлектрическая проницаемость подложки. На фиг. 4 приведена форма сигнала в конце линии, максимальный уровень которого составляет 77% от уровня сигнала в начале линии. На фиг. 3 приведена эквивалентная схема заявляемой линии. Она состоит из одного опорного проводника, двух параллельных ему и друг другу сигнальных проводников длиной  $l=2630$  мм каждый, находящихся на диэлектрической подложке и соединенных между собой на одном конце. Один из проводников линии соединен с генератором воздействия, представленным на схеме идеальным источником тока  $I$  и параллельным сопротивлением  $R1$ . Воздействие представляет собой ЭСР с формой тока, соответствующей стандарту IEC 61000-4-2 (Фиг. 1). Его форма напряжения в начале линии представлена на фиг. 4. Другой проводник линии соединен с приемным устройством, представленным на схеме сопротивлением  $R2$ .

Значения  $R1$  и  $R2$  для минимизации отражения сигнала на концах проводников линии приняты равными среднему геометрическому волновых сопротивлений четной и нечетной мод линии:

$$R1=R2 = \sqrt{(Z_{11} + Z_{12}) \cdot (Z_{11} - Z_{12})}, \quad (1)$$

где  $Z_{11}$  и  $Z_{12}$  - соответствующие коэффициенты матрицы импедансов  $Z$ .

Параметры поперечного сечения на фиг. 2 выбраны таким образом, чтобы выполнялось условие

$$2l|\tau_e - \tau_o| \approx 4 \text{ нс}, \quad (2)$$

где  $\tau_e$  и  $\tau_o$  - погонные задержки четной и нечетной мод.

Выполнение условия (2) обеспечивает разложение пикового выброса электростатического разряда на импульсы меньшей амплитуды.

Погонные задержки четной и нечетной мод для симметричной, относительно опорного проводника, структуры связанных линий передачи вычисляются как [Малютин Н.Д. Многосвязные полосковые структуры и устройства на их основе / Н.Д. Малютин. - Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. - 164 с.]

$$\tau_{e,o} = \sqrt{(L_{11} \cdot C_{11} + L_{12} \cdot C_{12}) \pm (L_{12} \cdot C_{11} + L_{11} \cdot C_{12})}, \quad (3)$$

где  $C_{11}$  и  $C_{12}$ ,  $L_{11}$  и  $L_{12}$  - соответствующие элементы матриц (погонных коэффициентов электростатической и электромагнитной индукции)  $L$  и  $C$ .

Для подтверждения возможности выполнения условия (1) рассмотрим линию, представленную на фиг. 2. Параметры поперечного сечения:  $w=2450$  мкм,  $t=45$  мкм,  $s=300$  мкм,  $d=12250$  мкм,  $h=2000$  мкм,  $\epsilon_r=5,4$ . Вычисленные матрицы:

$$C = \begin{bmatrix} 130,7 & -42,6 \\ -42,6 & 130,7 \end{bmatrix} \text{ пФ/м}, \quad L = \begin{bmatrix} 352,7 & 151,7 \\ 151,7 & 352,7 \end{bmatrix} \text{ нГн/м}, \quad Z = \begin{bmatrix} 54,8 & 20,8 \\ 20,8 & 54,8 \end{bmatrix} \text{ Ом}.$$

Значения сопротивлений  $R1$  и  $R2$ , вычисленные по (1) с помощью соответствующих

коэффициентов матрицы  $Z$ , получились равными 50,76 Ом.

По выражению (3) с помощью соответствующих коэффициентов матриц  $C$  и  $L$  получим  $\tau_e=6,66$  нс/м,  $\tau_o=5,9$  нс/м. Произведение модуля разности погонных задержек четной и нечетной мод линии на удвоенную длину линии составляет

$2l|\tau_e - \tau_o|=2 \cdot 2,63 \text{ м} \cdot |6,66 - 5,9| \text{ нс/м}=3,9976 \text{ нс}$ . Таким образом, условие (2) выполняется. Форма сигнала в конце такой линии представлена на фиг. 4. Как видно, пиковый выброс ЭСР в конце меандровой линии представлен последовательностью из трех основных импульсов (импульса перекрестной наводки на ближнем конце и импульсов четной и нечетной мод пикового выброса ЭСР). Амплитуда этих импульсов составляет около 77% от амплитуды ЭСР в начале линии. Позже к концу линии приходят импульсы разной полярности и меньшей амплитуды, вызванные отражениями.

Таким образом, показан технический результат, на достижение которого направлена заявляемая линия - разложение пикового выброса электростатического разряда на импульсы меньшей амплитуды.

#### (57) Формула изобретения

Линия задержки, состоящая из одного опорного проводника, двух параллельных ему и друг другу сигнальных проводников, соединенных между собой на одном конце, диэлектрической среды, с выбором параметров линии такими, что обеспечивается равенство среднего геометрического значения волновых сопротивлений четной и нечетной мод волновому сопротивлению тракта, отличающаяся тем, что выбором параметров поперечного сечения линии обеспечивается равенство длительности пикового выброса электростатического разряда значению удвоенной длины линии, умноженной на модуль разности погонных задержек четной и нечетной мод линии, таким образом, что значения  $R1$  и  $R2$  для минимизации отражения сигнала на концах проводников линии приняты равными среднему геометрическому волновых сопротивлений четной и нечетной мод линии:

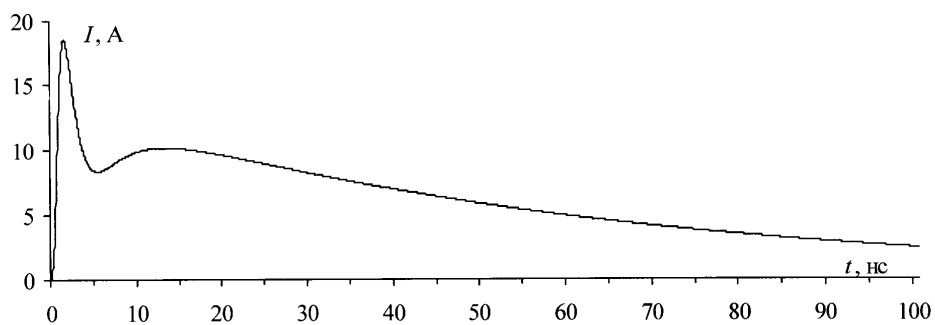
$$R1=R2=\sqrt{(Z_{11} + Z_{12}) \cdot (Z_{11} - Z_{12})}, \quad (1)$$

где  $Z_{11}$  и  $Z_{12}$  - соответствующие коэффициенты матрицы погонных импедансов  $Z$ , а параметры поперечного сечения выбраны таким образом, чтобы выполнялось условие

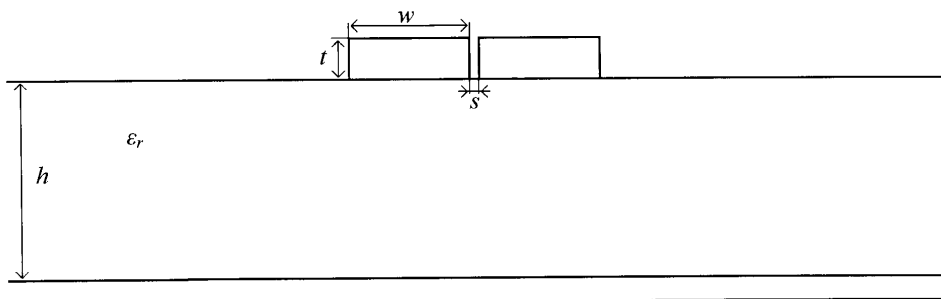
$$2l|\tau_e - \tau_o| \approx 4 \text{ нс}, \quad (2)$$

где  $\tau_e$  и  $\tau_o$  - погонные задержки четной и нечетной мод, а  $l$  - длина сигнального проводника.

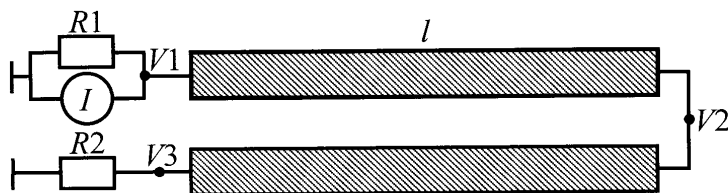
Меандровая микрополосковая линия задержки,  
защищающая от электростатического разряда



Фиг. 1. Типовая форма ЭСР

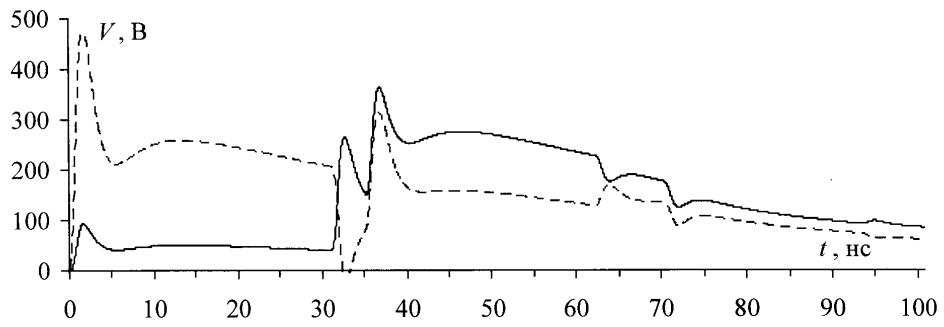


Фиг. 2. Поперечное сечение заявляемой линии



Фиг. 3. Схема соединений заявляемой линии

**Меандровая микрополосковая линия задержки,  
защищающая от электростатического разряда**



Фиг. 4. Формы напряжений в начале (---) и в конце (—) заявляемой линии