



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H01P 5/107 (2019.02); H01Q 13/085 (2019.02)

(21)(22) Заявка: 2018122394, 18.06.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
18.06.2018

Дата регистрации:  
18.06.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.06.2018

(45) Опубликовано: 18.06.2019 Бюл. № 17

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, 10.01.2017. RU  
2656834 C2, 06.06.2018. WO 2011/056287 A1,  
12.05.2011. US 2004/239444 A1, 02.12.2004. US  
8217839 B1, 10.07.2012.

## (54) УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ 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. 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, причем

выбором параметров поперечного сечения линии обеспечивается произведение удвоенной длины линии на модуль разности погонных задержек четной и нечетной мод линии не менее длительности пикового выброса электростатического разряда, а также выравнивание амплитуд первых трех импульсов. Техническим результатом является разложение пикового выброса ЭСР на последовательность из трех импульсов, а также ослабление его амплитуды на выходе линии. 5 ил.

RU 2 691 844 C1

RU 2 691 844 C1

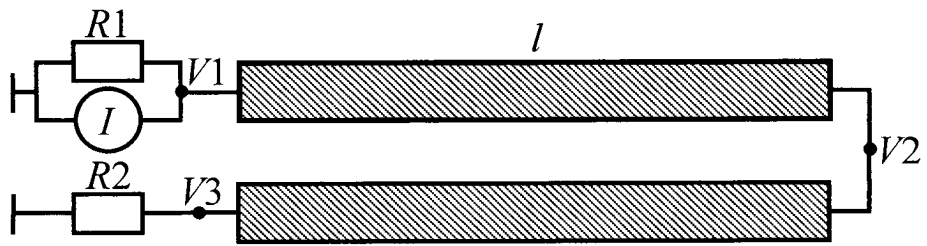


Схема соединений заявляемой линии

Фиг. 3

RU 2691844 C1

RU 2691844 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H03H 7/30* (2006.01)  
*H01P 5/107* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H01P 5/107 (2019.02); H01Q 13/085 (2019.02)*

(21)(22) Application: **2018122394, 18.06.2018**

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

Registration date:  
**18.06.2019**

Priority:

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

(45) Date of publication: **18.06.2019** Bull. № 17

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) **IMPROVED MEANDER MICROSTRIP DELAY LINE, 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. Delay line consists of one support conductor, two signal conductors parallel to it and to each other and interconnected at one end, of dielectric medium, with selection of line parameters such that equality of average geometrical value of wave impedances of even and odd modes is given to wave impedance of path,

wherein selection of cross-section parameters of the line provides a product of double line length per modulus of difference of running delays of even and odd mode of the line of not less than duration of peak ejection of electrostatic discharge, as well as alignment of amplitudes of the first three pulses.

EFFECT: decomposition of peak ejection of ESD into a sequence of three pulses, as well as attenuation of its amplitude at the output of the line.

1 cl, 5 dwg

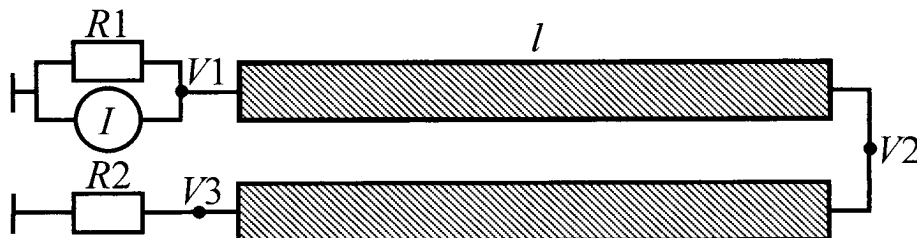


Схема соединений заявляемой линии

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 СП. 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 отсутствие у него возможности эффективной 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 произведение удвоенной длины линии на модуль разности погонных задержек четной и нечетной мод линии не менее длительности пикового выброса электростатического разряда, а также выравнивание амплитуд первых трех импульсов.

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

Техническим результатом является разложение пикового выброса ЭСР на последовательность из трех импульсов, а также увеличенное ослабление его амплитуды на выходе линии. Прежде всего, технический результат достигается за счет выбора параметров линии такими, чтобы обеспечить равенство длительности пикового выброса ЭСР произведению удвоенной длины линии и модуля разности погонных задержек четной и нечетной мод линии. За счет этого, пиковый выброс ЭСР разлагается 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. Последнее условие может быть обеспечено за счет сильной торцевой связи между сигнальными проводниками линии, например, за счет уменьшения расстояния между ними, выбором оптимального значения которого можно выровнять и минимизировать амплитуды первых трех импульсов сигнала на выходе линии. Таким образом, защита от ЭСР обеспечивается за счет разложения пикового выброса ЭСР на последовательность импульсов меньшей амплитуды, а за счет выбора оптимальной связи между сигнальными проводниками обеспечивается выравнивание первых трех импульсов на выходе линии. При этом за счет выравнивания амплитуд первых трех импульсов обеспечивается дополнительное ослабление амплитуды 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. 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 погонных импедансов  $Z$ .

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

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

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 (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  $R_1$  и  $R_2$ , 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  $2|\tau_e-\tau_o|=2 \cdot 0,76$  м  $\cdot$   $6,66-5,9$  нс/м =  $3,99$  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 (фиг. 4). Позже к концу линии приходят импульсы разной полярности и меньшей амплитуды, вызванные отражениями.

Следующей рассмотрим линию, поперечное сечение которой также соответствует фиг. 2. Для обеспечения условия (2), а также для минимизация амплитуды на выходе заявляемой линии параметры поперечного сечения выбраны следующими:  $w=2450$  мкм,  $t=45$  мкм,  $s=1$  мкм,  $d=12250$  мкм,  $h=2000$  мкм,  $\epsilon_r=5,4$ . Вычисленные матрицы параметров:

$$C = \begin{bmatrix} 603,8 & -518,6 \\ -518,6 & 603,8 \end{bmatrix} \text{ пФ/м}, \quad L = \begin{bmatrix} 267,2 & 254,8 \\ 254,8 & 267,2 \end{bmatrix} \text{ нГн/м}, \quad Z = \begin{bmatrix} 40,8 & 37,5 \\ 37,5 & 40,8 \end{bmatrix} \text{ Ом}.$$

Значения сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , вычисленные по (1) с помощью соответствующих коэффициентов матрицы  $Z$ , получились равными  $16,09$  Ом.

По выражению (3) с помощью соответствующих коэффициентов матриц  $C$  и  $L$  получим  $\tau_e=6,66$  нс/м,  $\tau_o=3,7$  нс/м. Произведение модуля разности погонных задержек четной и нечетной мод линии на удвоенную длину линии составляет  $2|\tau_e-\tau_o|=2 \cdot 2,96$  м  $\cdot$   $6,66-3,7$  нс/м =  $15,57$  нс. Таким образом, условие (2) выполняется. Форма сигнала в конце такой линии представлена на фиг. 5. Как видно, пиковый выброс ЭСР в конце меандровой линии также представлен последовательностью из трех основных импульсов. Амплитуды импульсов, определяемых максимальной амплитудой (первый и третий импульсы) практически равны и не превышают 69,3% от амплитуды ЭСР в начале линии (фиг. 5). Таким образом, устройство обеспечивает разложение СКИ с большим ослаблением амплитуды выходного сигнала.

Таким образом, показан технический результат, на достижение которого направлена заявляемая линия - разложение пикового выброса ЭСР на последовательность из трех импульсов, а также увеличенное ослабление его амплитуды на выходе линии.

#### (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 произведение удвоенной длины линии на модуль разности погонных задержек четной и нечетной мод линии не менее длительности пикового выброса электростатического разряда, а также выравнивание амплитуд первых трех импульсов.

10

15

20

25

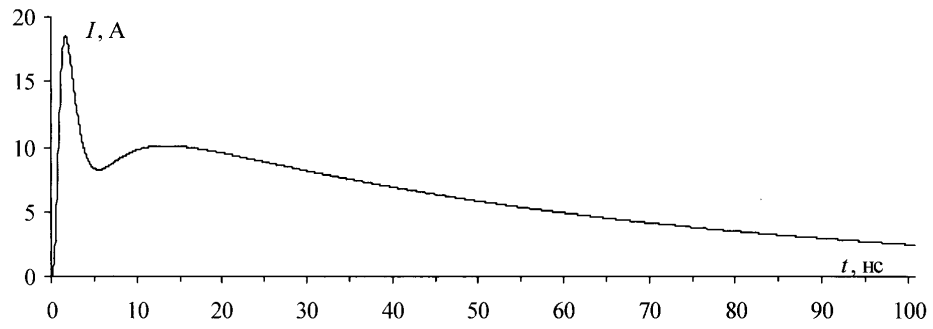
30

35

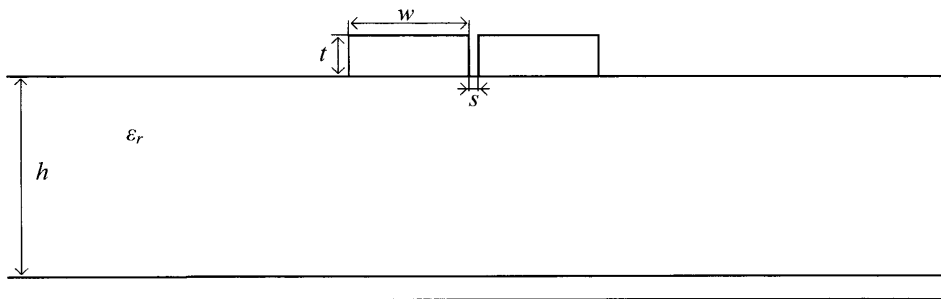
40

45

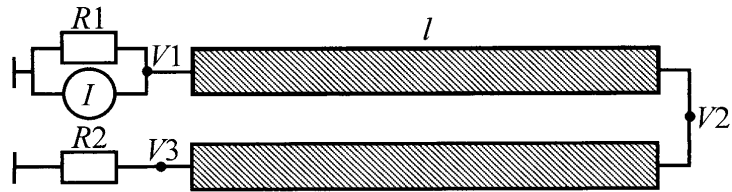
1



Фиг. 1. Типовая форма ЭСР



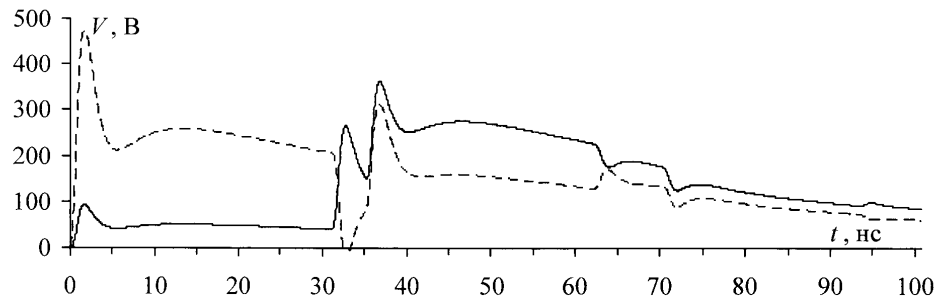
Фиг. 2. Поперечное сечение заявляемой линии



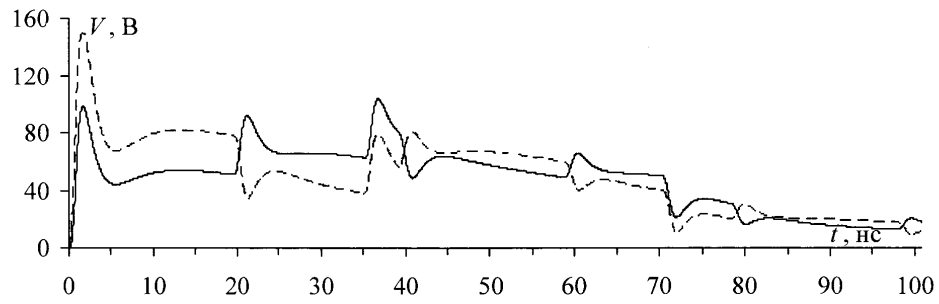
Фиг. 3. Схема соединений заявляемой линии

2





Фиг. 4. Формы напряжений в начале (---) и в конце (—) заявляемой линии при  $s=300$  мкм



Фиг. 5. Формы напряжений в начале (---) и в конце (—) заявляемой линии при  $s=1$  мкм