

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 2582551

### СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КОАКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет" (ФГАОУ ВО "СПбПУ") (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014127076

Приоритет изобретения 02 июля 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 04 апреля 2016 г.

Срок действия патента истекает 02 июля 2034 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

 Г.П. Ивлиев





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014127076/08, 02.07.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.07.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.07.2014

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2016 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: 27.04.2016 Бюл. № 12

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2354018 C2, 27.04.2009. RU 2280929 C1, 27.07.2006. RU 2368041 C1, 20.09.2009. RU 2301483 C1, 20.06.2007. US 4577195 A2, 18.03.1986.

Адрес для переписки:

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая,  
29, ФГАОУ ВО "СПбПУ", отдел  
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Приходько Александр Владимирович (RU),  
Коньков Олег Игоревич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский  
государственный политехнический  
университет" (ФГАОУ ВО "СПбПУ") (RU)

**(54) СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КОАКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ**

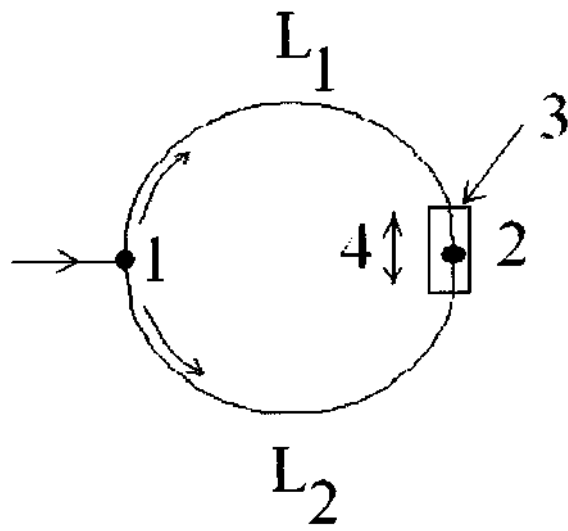
(57) Реферат:

Изобретение относится к области техники высоких и сверхвысоких частот и предназначено для эффективной защиты входов радиоэлектронного оборудования от воздействия электромагнитных наводок. Технический результат - повышение эффективности защиты входов радиоэлектронного оборудования от внешних переменных магнитных полей за счет полной компенсации магнитной составляющей электромагнитной волны. Для этого компенсацию осуществляют путем разделения электромагнитной волны в одной или в нескольких коаксиальных линиях на две симметричные составляющие, фиксируют начальную точку (точку фиксации) пространства, где разделяют электромагнитную волну путем

включения в каждую коаксиальную линию симметричного разветвителя, тем самым создают условия распространения составляющих волны навстречу друг другу в одной коаксиальной линии и/или в нескольких коаксиальных линиях, расположенных в плоскостях под углом друг к другу, устанавливают амплитуду и длительность встречных волн одинаковыми за равные промежутки времени, определяют точку компенсации магнитного поля каждой коаксиальной линии, сдвигают точку фиксации для каждой коаксиальной линии. При этом точка компенсации магнитной составляющей поля сдвигается, осуществляется продольное сканирование области коаксиальной линии. 3 з.п. ф-лы, 6 ил.

**RU 2 582 551 C 2**

**RU 2 582 551 C 2**



Фиг.1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014127076/08, 02.07.2014

(24) Effective date for property rights:  
02.07.2014

Priority:

(22) Date of filing: 02.07.2014

(43) Application published: 10.02.2016 Bull. № 4

(45) Date of publication: 27.04.2016 Bull. № 12

Mail address:

195251, Sankt-Peterburg, ul. Politekhnikeskaja, 29,  
FGAOU VO "SPbPU", otdel intellektualnoj  
sobstvennosti

(72) Inventor(s):

Prihodko Aleksandr Vladimirovich (RU),  
Konkov Oleg Igorevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij  
gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet"  
(FGAOU VO "SPbPU") (RU)

(54) **METHOD FOR COMPENSATION OF MAGNETIC FIELD OF COAXIAL LINE**

(57) Abstract:

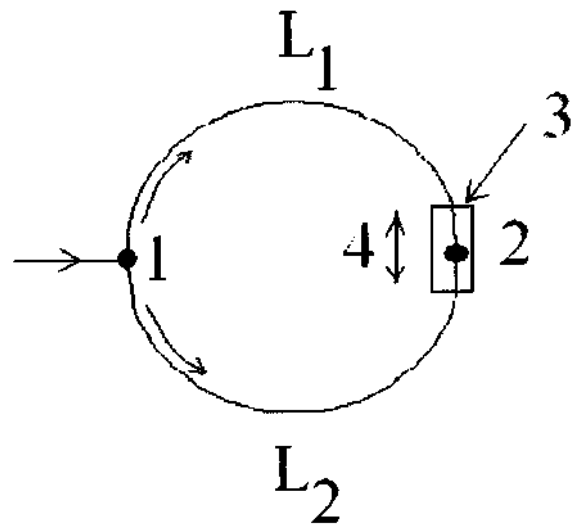
FIELD: radio engineering and communications.

SUBSTANCE: invention relates to high and ultrahigh frequencies and is intended for efficient protection of inputs of electronic equipment from electromagnetic noise. For this compensation is carried out by dividing electromagnetic wave in one or several coaxial lines into two symmetrical components, initial point (point fixation) of space is fixed, where electromagnetic wave is divided by inclusion into each coaxial line of symmetric splitter, thereby creating conditions for propagation of components of wave towards each other in one of coaxial line and/or in several coaxial lines located in planes at angle to each other, set amplitude and duration of waves identical for equal time intervals, determining the point of compensation of magnetic field of each of coaxial line, shifting point of fixation for each coaxial line. At that, point of compensation of magnetic field component moves, longitudinal scanning of coaxial line area is conducted.

EFFECT: higher efficiency of protection of inputs

of electronic equipment from external alternating magnetic fields due to complete compensation of magnetic component of electromagnetic wave.

4 cl, 6 dwg



Фиг. 1

RU 2 582 551 C 2

RU 2 582 551 C 2

Изобретение относится к области техники высоких и сверхвысоких частот и предназначено для защиты входов радиоэлектронного оборудования от воздействия электромагнитных наводок.

Известен способ компенсации магнитного поля проводника с током посредством операции пропускания тока через скрученную пару проводов, так называемую витую пару (Л.И. Рикетс, Дж.Э. Бриджес, Дж. Майлетта. Электромагнитный импульс и методы защиты. М., Атомиздат, 1979). Витая пара представляет тип кабеля, состоящий из двух независимо изолированных проводов, скрученных один вокруг другого. Это помогает только снизить перекрестные помехи, возникающие за счет электромагнитной индукции. Однако полностью провести компенсацию можно только в идеальных условиях, где есть полная симметрия изменения электрического и магнитного поля вдоль линии, четное число пар и однородное внешнее поле. Кроме того, данный способ не позволяет компенсировать собственное магнитное поле измерительного тока по длине проводника меньше шага скручивания - минимального витка проводника. Также известен способ компенсации, который включает создание бифилярной обмотки или бифилярной катушки (Патент US №512340). Бифилярная катушка - электромагнитная катушка, которая содержит две близко расположенных, параллельных обмотки. Если бифилярные катушки намотаны так, что ток в обеих катушках течет в противоположных направлениях, то магнитное поле, созданное одной обмоткой, равно и направлено противоположно созданному другой, приводя к общему магнитному полю, равному нулю. Взаимодействие между электромагнитными полями и проводниками с током может оказывать отрицательное воздействие на качество передачи сигнала. Известен также аналогичный способ, основанный на компенсации внешнего переменного магнитного потока за счет электромагнитной индукции (авторское свидетельство SU №1225056). В проводниках сбалансированной пары, по способам компенсации за счет индукционных потоков, электромагнитные помехи наводят одинаковые по амплитуде сигналы, находящиеся в противофазе. При этом суммарное излучение "идеальной пары" стремится к нулю. Компенсация магнитного поля происходит на расстояниях больше, чем расстояние между проводниками. На меньших расстояниях, в пределах проводника (для коаксиального проводника - внутри металлической оплетки), магнитное поле не скомпенсировано. Известен также способ компенсации магнитной составляющей электромагнитной волны путем создания скрещенных волноводов (Протасевич Е.Т. Радиотехника и электроника, т. 48, №1, 1988, с. 5-7). Однако данный способ не применим для коаксиальных линий. Наиболее близким к изобретению по совокупности существенных признаков является способ для передачи и приема так называемых «продольных» электромагнитных волн (Патент RU №2354018). Способ включает процесс преобразования электромагнитной энергии в излучение электромагнитных волн путем концентрации силовых линий магнитных полей ближней зоны антенны. Однако данный способ не применим для закрытых линий передачи энергии.

Заявляемое изобретение направлено для решения следующей задачи - полная компенсация магнитной составляющей электромагнитной волны в коаксиальной линии, что даст возможность повысить эффективность защиты входов радиоэлектронного оборудования от внешних переменных магнитных полей. Заявляемое изобретение также решает задачу проведения электрофизических исследований при пространственном (3-мерном) сканировании исследуемых образцов не биологического и биологического происхождения в условиях компенсации магнитной составляющей электромагнитных волн в области высоких и сверхвысоких частот. Это даст возможность повысить информативность поведения исследуемых образцов при

взаимодействии с электромагнитными полями.

Поставленная задача решается за счет того, что компенсацию осуществляют путем разделения электромагнитной волны в коаксиальной линии на две симметричные составляющие, фиксируют начальную точку пространства (точка фиксации), где осуществляют разделение электромагнитной волны путем включения в n-коаксиальную линию симметричного разветвителя, тем самым создают условия распространения  $2n$  составляющих волны навстречу друг другу в одной коаксиальной линии ( $n=1$ ) и/или в  $n=2, 3 \dots$  коаксиальных линиях, расположенных в плоскостях под углом друг к другу, устанавливают амплитуду и длительность встречных волн одинаковыми за равные промежутки времени, определяют точку n-коаксиальной линии, где компенсируется магнитное поле (область компенсации), сдвигают точку фиксации для каждой коаксиальной линии, где осуществляют разделение волны, на величину  $\Delta l$ , удовлетворяющую критерию  $\Delta l > v\Delta t$ , где  $\Delta t$  - длительность импульса электромагнитной волны,  $v$  - скорость электромагнитной волны. При этом область компенсации магнитной составляющей поля, определяемое положением каждой пары симметричных составляющих, сдвигается, осуществляется продольное сканирование области коаксиальной линии. Помещают образец исследуемого вещества в область компенсации для n-коаксиальной линии и осуществляют операцию сканирования области образца исследуемого вещества, сдвигая область компенсации каждой n-коаксиальной линии, задаваемой  $2n$  парой симметричных составляющих. Компенсация магнитной составляющей поля определяется по отсутствию сигнала магнитной составляющей с магнитной петли связи. Разделение электромагнитной волны в коаксиальной линии на две симметричные составляющие можно осуществить путем включения в n-коаксиальную линию симметричного разветвителя.

Отличительным от прототипа признаком способа является создание электромагнитной волны с компенсацией магнитной составляющей, возникающей за счет разделения электромагнитной волны в точке фиксации на две симметричные составляющие, распространяющиеся в кольцевой и/или в n кольцевых коаксиальных линиях, навстречу друг другу, компенсации встречных  $2n$  электромагнитных волн в области компенсации, сдвиге точки фиксации на величину, удовлетворяющую критерию  $\Delta l > v\Delta t$ , где  $\Delta t$  - длительность импульса электромагнитной волны,  $v$  - скорость электромагнитной волны, и определении области компенсации магнитного поля протяженностью  $\Delta l$ .

На Фиг. 1, 2 схематически представлены устройства для реализации предлагаемого способа. На Фиг. 3 схематически представлены падающий ( $U_{\text{пад}}$ ) и отраженный ( $U_{\text{отр}}$ ) импульсы напряжения, распространяющиеся во времени. На Фиг. 4 представлен результат эксперимента в коаксиальном кольце при отсутствии магнитной компоненты. На Фиг. 5, 6 представлены вольтамперные характеристики (ВАХ) образцов исследуемого вещества, помещенного в точку компенсации магнитного поля: сопротивлений типа УЛМ и МЛТ соответственно.

На Фиг. 1 обозначено:

коаксиальный симметричный разветвитель, представляющий точку фиксации 1, где происходит разделение электромагнитной волны;

длина отрезков коаксиальной линии  $L_1$  и  $L_2$ ;

$2L_1=2L_2=vt_1=vt_2$ , где  $v$  - скорость электромагнитной волны,  $t_{1,2}$  - время двойного прохождения отрезка коаксиальной линии  $L_{1,2}$ ;

точка компенсации с нулевым магнитным полем (2);

коаксиальная область (3), где помещается образец исследуемого вещества;  
область (4) продольного сканирования  $\Delta l$  образца исследуемого вещества.

На Фиг. 2 обозначено:

направление (x) продольного сканирования образца исследуемого вещества в первой  
5 коаксиальной линии;

направление (y) продольного сканирования образца исследуемого вещества во  
второй коаксиальной линии.

На Фиг. 3 обозначено:

падающий ( $U_{\text{пад}}$ ) и отраженный ( $U_{\text{отр}}$ ) импульсы напряжения;

10  $v$  - скорость электромагнитной волны;

длина отрезка коаксиальной линии  $L$ ;

время прохода отрезка пути длиной  $2L$ ,  $\Delta t = 2L/v$ .

волновое сопротивление коаксиальной линии  $\rho$ .

На Фиг. 4 обозначено:

15 амплитуда импульса напряжения, соответствующего магнитной компоненте ( $U_H$ );

амплитуда входного (падающего) импульса напряжения ( $U_{\text{пад}}$ ).

На Фиг. 5 обозначено:

ток через исследуемый образец  $I$ ;

20 напряжение на исследуемом образце  $U$ .

Изобретение осуществляется следующим образом.

Разделяют электромагнитную волну в коаксиальной линии на две симметричные  
составляющие, фиксируют начальную точку пространства (точка фиксации), где  
осуществляют разделение электромагнитной волны путем включения в коаксиальную  
25 линию симметричного разветвителя, тем самым создают условия распространения  
составляющих волны навстречу друг другу в коаксиальной линии и/или в  $n=2, 3 \dots$   
коаксиальных линиях, расположенных в плоскостях под углом друг к другу,  
устанавливают амплитуду и длительность встречных волн одинаковыми за равные  
промежутки времени, определяют точку  $n$ -коаксиальной линии, где компенсируется  
30 магнитное поле (точка компенсации), сдвигают точку фиксации для каждой  
коаксиальной линии, где осуществляют разделение волны, на величину  $\Delta l$ ,  
удовлетворяющую критерию  $\Delta l > v\Delta t$ , где  $\Delta t$  - длительность импульса электромагнитной  
волны,  $v$  - скорость электромагнитной волны. При этом точка компенсации магнитной  
составляющей поля сдвигается, осуществляется продольное сканирование области  
35 коаксиальной линии. Помещают образец исследуемого вещества в точку компенсации  
для  $n$ -коаксиальной линии и осуществляют операцию сканирования области образца  
исследуемого вещества, сдвигая точку компенсации каждой коаксиальной линии.  
Компенсация магнитной составляющей поля определяется по отсутствию сигнала  
магнитной составляющей с магнитной петли связи.

40 Электромагнитный импульс от генератора (на чертежах не показан) подается на  
вход коаксиального симметричного разветвителя 1, представляющего точку фиксации  
для одной коаксиальной линии (Фиг. 1), или для  $n=2, 3 \dots$  коаксиальных линий (на Фиг.  
2 показано две коаксиальные линии). Прошедшие через разветвитель симметричные  
импульсы противоположного направления компенсируют магнитную составляющую  
45 электромагнитной волны в точке компенсации 2 коаксиального кольца, а также в  
коаксиальной области 3 (точка и область компенсации 4 для случая  $n=2$  на Фиг. 2  
выделены черным цветом). Отраженная составляющая электрической компоненты  $U_E$   
электромагнитной волны ( $U_{\text{отр}}$ ) регистрируется после обратного прохода разветвителя

1 детектором (на чертежах не показан). Магнитная компонента  $U_H$  регистрируется петлей связи, помещенной в точку компенсации 2 коаксиальной линии таким образом, чтобы плоскость петли пересекала магнитную компоненту поля.

#### Пример реализации

5 В качестве источника электромагнитных волн использовался наносекундный генератор импульсов напряжения на основе ртутного реле длительностью 2 нс и частотой повторения 100 Гц. Измерительная схема соответствовала методике измерения наносекундных вольтамперных характеристик по регистрации напряжения падающего ( $U_{\text{пад}}$ ) и отраженного ( $U_{\text{отр}}$ ) сигнала (Jantsch W., Heinrich H. // Rev. Sci. Instr. 1970. V. 41. 10 228-230).

Регистрация напряжения  $U_{\text{пад}}$  и  $U_{\text{отр}}$  электромагнитной волны осуществлялась стробоскопическим осциллографом С7-8.

15 На Фиг. 4 (o - кривая) представлен результат измерения зависимости амплитуды напряжения, соответствующей магнитной компоненте электромагнитной волны  $U_H$  от величины падающего напряжения  $U_{\text{пад}}$ . Регистрация  $U_H$  осуществлялась при помощи петли связи для магнитной составляющей. Эксперимент соответствует схеме для случая  $n=1$ , представленной на Фиг. 3, когда существуют электрическая и магнитная компоненты электромагнитной волны в отрезке коаксиальной линии, закороченной на длинном конце. На Фиг. 4 ( $\square$  - кривая) представлен результат эксперимента в 20 коаксиальном кольце при отсутствии магнитной компоненты (эксперимент соответствует схеме с кольцом, представленной на Фиг. 3).

На Фиг. 5, 6 для сравнения представлены ВАХ поведения электрической компоненты электромагнитной волны. Проведены эксперименты без компенсации магнитной 25 компоненты, и по схеме для компенсации в коаксиальном кольце с образцами, помещенными в точку компенсации (Фиг. 3). Образцы имеют вид цилиндра, с диаметром не более диаметра коаксиальной линии. В качестве образцов использовались два типа сопротивлений - сопротивление типа УЛМ и сопротивление типа МЛТ. Для случая, когда компенсируется магнитная составляющая (кривые на Фиг. 5, 6 обозначены ( $\blacktriangle$ ), 30 наблюдается изменение зависимостей ВАХ для сопротивлений типа УЛМ. Такое поведение характерно для эффекта поперечного магнитосопротивления углеродных тонкопленочных материалов (Демишев С. В., Пронин А.А. ФТТ, т. 48, вып. 7.2006, с. 1285-1294). Для металлодиэлектрических тонкопленочных сопротивлений МЛТ, где эффект магнитосопротивления не наблюдается, ВАХ не изменяются при компенсации 35 магнитной составляющей (Фиг. 6).

Таким образом, предлагаемый способ компенсации магнитного поля коаксиальной линии позволяет достигнуть полной компенсации магнитной составляющей электромагнитной волны в коаксиальной линии, что дает возможность повысить 40 эффективность защиты входов радиоэлектронного оборудования от внешних переменных магнитных полей. Предлагаемый способ решает задачу проведения электрофизических исследований при пространственном сканировании исследуемых образцов в условиях компенсации магнитной составляющей электромагнитных волн в области высоких и сверхвысоких частот. Это дает возможность повысить 45 информативность поведения исследуемых образцов при взаимодействии с электромагнитными полями.

Техническим результатом, который обеспечивается только совокупностью всех существенных признаков, является повышение эффективности защиты входов радиоэлектронного оборудования от внешних переменных магнитных полей за счет



полной компенсации магнитной составляющей электромагнитной волны.

#### Формула изобретения

5 1. Способ компенсации магнитного поля коаксиальной линии, включающий процесс преобразования электромагнитной энергии в излучение электромагнитной волны с компенсацией магнитной составляющей, отличающийся тем, что компенсацию осуществляют путем разделения электромагнитной волны на две симметричные составляющие, создают условия распространения составляющих волны навстречу друг другу, фиксируют начальную точку разделения упомянутой электромагнитной волны, 10 устанавливают амплитуду и длительность встречных волн одинаковыми за равные промежутки времени и определяют точку компенсации магнитного поля по отсутствию сигнала магнитной составляющей в коаксиальной линии.

2. Способ компенсации магнитного поля коаксиальной линии по п. 1, отличающийся тем, что сдвигают точку разделения электромагнитной волны на величину  $\Delta l > v\Delta t$ , где 15  $\Delta t$  - длительность импульса электромагнитной волны,  $v$  - скорость электромагнитной волны, и определяют область компенсации магнитного поля протяженностью  $\Delta l$ .

3. Способ компенсации магнитного поля коаксиальной линии по п. 1 или 2, отличающийся тем, что компенсацию осуществляют путем разделения электромагнитной волны на  $2n$  симметричных составляющих таким образом, чтобы положение каждой 20 пары симметричных составляющих задавало область компенсации магнитного поля.

4. Способ компенсации магнитного поля коаксиальной линии по п. 1, или 2, или 3 отличающийся тем, что осуществляют разделение электромагнитной волны путем включения в  $n$ -коаксиальную линию симметричного разветвителя.

25

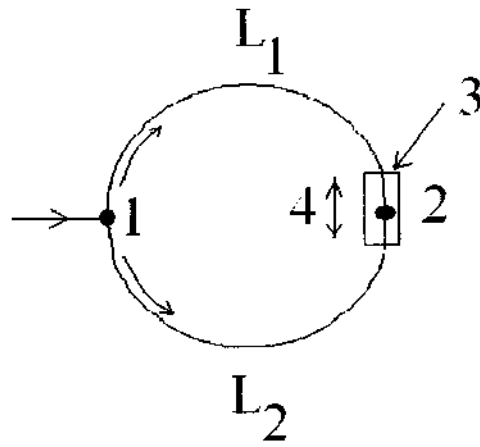
30

35

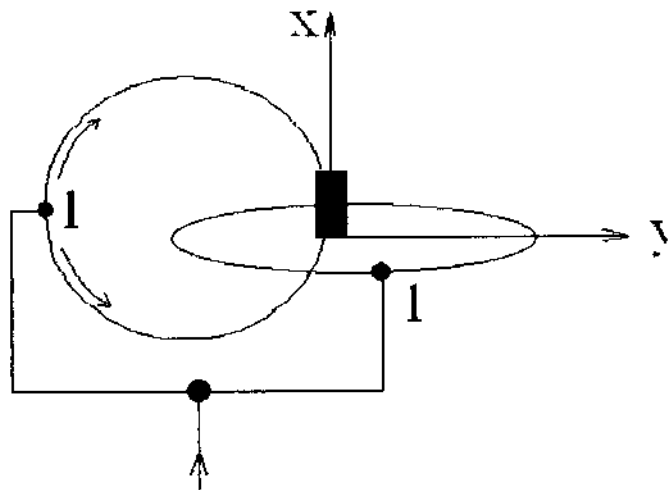
40

45

Способ компенсации магнитного поля коаксиальной линии

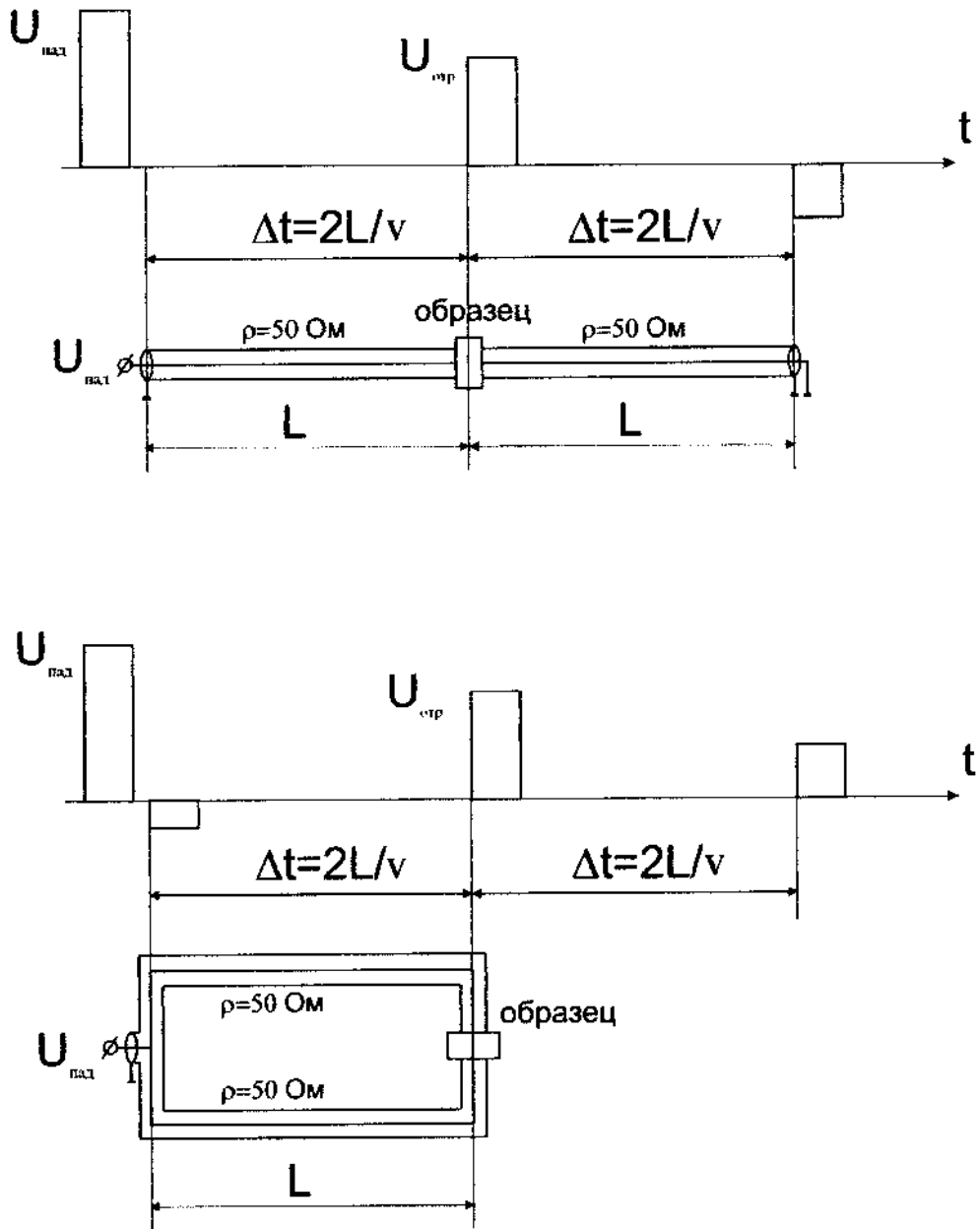


Фиг.1.



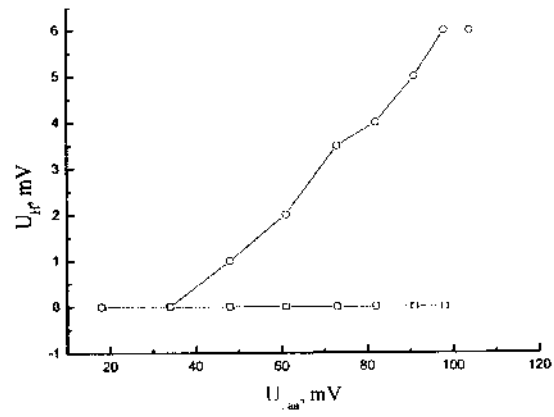
Фиг.2.

Способ компенсации магнитного поля коаксиальной линии



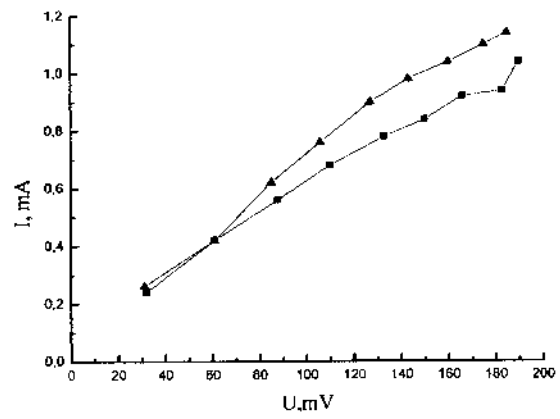
Фиг.3

## Способ компенсации магнитного поля коаксиальной линии



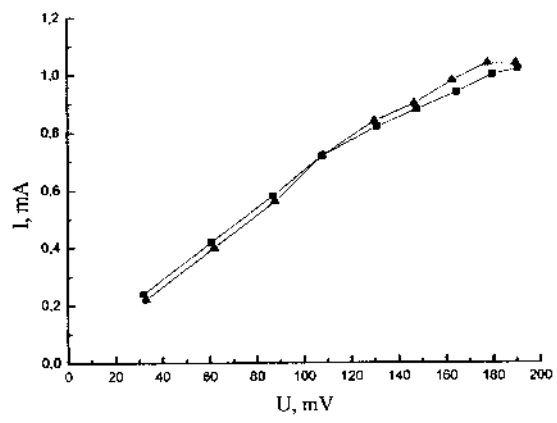
Фиг.4.

## Способ компенсации магнитного поля коаксиальной линии



Фиг.5.

## Способ компенсации магнитного поля коаксиальной линии



Фиг. 6.