

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202393085**

(13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки
2024.11.13

(51) Int. Cl. **G01R 27/32 (2006.01)**

(22) Дата подачи заявки
2023.10.24

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ И ФАЗОВОГО СДВИГА**

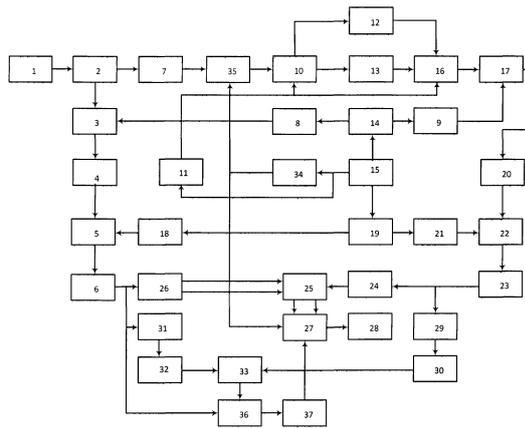
(96) **2023/EA/0073 (BY) 2023.10.24**

(72) Изобретатель:

(71) Заявитель:
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
"БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ" (BY)**

**Гусинский Александр Владимирович,
Кузюков Антон Николаевич, Лапшин
Сергей Михайлович, Сайков Алексей
Викторович, Шевалдина Юлия
Валерьевна (BY)**

(57) Изобретение относится к радиоизмерительной технике СВЧ миллиметрового диапазона волн и может быть использовано для измерения затухания и фазового сдвига элементов СВЧ трактов и калибровки эталонов. Целью настоящего изобретения является повышение точности измерения больших величин затухания и малых значений фазового сдвига элементов СВЧ трактов и калибровки эталонов затухания и фазового сдвига в диапазоне миллиметровых и субмиллиметровых волн. Поставленная цель достигается тем, что в устройство, содержащее генератор СВЧ, смеситель, измеряемый объект, опорный генератор, блок управления, эталонный аттенуатор, цифровой аттенуатор (делитель напряжения), введены первый и второй ключи, первый и второй гетеродины, первой и второй смесители, полосовые фильтры первой и второй промежуточных частот, фазорасщепитель и синхронный детектор, формирователь модулирующего сигнала, фазовый модулятор, первый и второй умножители частоты, полосовые фильтры, фазовый детектор, фильтр низкой частоты.



A1

202393085

202393085

A1

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ И ФАЗОВОГО СДВИГА

Изобретение относится к радиоизмерительной технике СВЧ миллиметрового диапазона волн и может быть использовано для измерения затухания и фазового сдвига элементов СВЧ трактов и калибровки эталонов.

Известно устройство для измерения ослабления СВЧ четырехполюсников, [1], содержащее СВЧ генератор, блок управления перестройкой частоты, блок сдвига частоты, блок задержки, делитель мощности, генератор пилообразного напряжения, два переключателя, эталонный аттенюатор, смеситель, амплитудный детектор, блок задержки, индикатор и регулятор частотного сдвига.

Недостатками известного устройства являются наличие погрешностей, обусловленных нестабильностью частоты генератора пилообразного напряжения и связанная с этим необходимость подстройки его частоты по максимуму сигнала промежуточной частоты на выходе смесителя. Значение затухания исследуемого элемента определяется сравнением с затуханием эталонного аттенюатора, который имеет собственную погрешность. Кроме того, изготовление прецизионного аттенюатора для диапазона порядка 100 ГГц и выше является достаточно сложной задачей. При этом не предусматривается измерение фазового сдвига исследуемого объекта.

Наиболее близким по техническому решению к предлагаемому изобретению является устройство для измерения затухания и фазового сдвига четырехполюсника [2], содержащее последовательно соединенные генератор СВЧ и направленный ответвитель, выходы которого один непосредственно, а другой через последовательно соединенные непрерывный фазовращатель и исследуемый четырехполюсник, подключены к смесителю, выход которого соединен с усилителем промежуточной частоты (УПЧ), между выходом усилителя промежуточной частоты и входом дополнительного УПЧ включен

первый цифровой аттенюатор, к выходу дополнительного УПЧ подключены два фазочувствительных преобразователя аналогового сигнала в частоту, соединенные, первый непосредственно, а второй через девяностоградусный фазовращатель с выходом генератора опорной частоты, к которому через второй цифровой аттенюатор подключен вход усилителя промежуточной частоты, выход первого фазочувствительного преобразователя аналогового сигнала в частоту подключен к входам формирования сигнала опорной частоты и первого блока цифрового отсчета, датчик сигнала синхронизации соединен с непрерывным фазовращателем и формирователем сигнала опорной частоты, выход второго фазочувствительного преобразователя аналогового сигнала в частоту подключен к входам второго блока цифрового отсчета и блока управления цифровыми аттенюаторами.

Недостатками известного устройства являются: использование непрерывного фазовращателя СВЧ диапазона для смещения частоты в измерительном канале, реализация которого в диапазоне частот 100 ГГц и выше достаточно сложна; использование двух цифровых аттенюаторов на промежуточной частоте, управляемых блоком управления, причем управление непрерывным фазовращателем осуществляется использованием механической связи с датчиком сигнала синхронизации; необходимость использования преобразователей аналогового сигнала в частоту, что является дополнительным источником погрешности измерения; необходимость подстройки амплитуд и фазы сигналов на дифференциальных входах первого усилителя промежуточной частоты.

Целью предлагаемого изобретения является повышение точности измерения больших величин затухания и малых значений фазового сдвига элементов СВЧ трактов и калибровки эталонов затухания и фазового сдвига в диапазоне миллиметровых и субмиллиметровых волн.

Поставленная цель достигается тем, что в устройство, содержащее генератор СВЧ, смеситель, измеряемый объект, опорный генератор, устройство управления, калиброванный аттенюатор, управляемый делитель

напряжения, введены первый и второй ключи, первый и второй гетеродины, четыре смесителя, полосовые фильтры первой и второй промежуточных частот, фазорасщепитель и синхронный детектор, формирователь модулирующего сигнала, фазовый модулятор, первый и второй умножители частоты, полосовые фильтры, фазовый детектор и фильтр низкой частоты.

Устройство для измерения затухания и фазового сдвига (фигура 1) содержит генератор СВЧ 1, направленный ответвитель 2, первый, второй, третий и четвертый смесители 3, 5, 17, 22, вентили 7, 8, 9, 18, 21, два ключа 10, 16, устройство управления 11, калиброванный аттенюатор 12, первый гетеродин 14, опорный генератор 15, полосовые фильтры промежуточных частот 4, 20, второй гетеродин 19, полосовые фильтры низкой частоты 6, 23, формирователь модулирующего сигнала 34, фазовый модулятор 35, умножители частоты 29, 31, полосовые фильтры 30, 32, пятый смеситель 33, фазорасщепитель 26, управляемый делитель напряжения 24, синхронный детектор 25, фазовый детектор 36, фильтр нижних частот 37, вычислительное устройство 27 и устройство отображения 28.

Выход генератора СВЧ 1 подключен ко входу направленного ответвителя 2, первый выход которого через вентиль 7 подключен ко входу первого ключа 10, а второй выход – к сигнальному входу первого смесителя 3. Выходы первого ключа 10 подключены ко входам калиброванного аттенюатора 12 и измеряемого объекта 13, выходы которых через второй ключ 16 подключены к сигнальному входу второго смесителя 17. Гетеродинные входы первого и второго смесителей через вентили 8 и 9 подключены к выходу первого гетеродина 14, синхронизированного от опорного генератора 15. Выходы первого и второго смесителей 3, 17 через полосовые фильтры первой и второй промежуточных частот 4 и 20 подключены соответственно ко входам третьего и четвертого смесителей 5 и 22, выход третьего смесителя 5 через полосовой фильтр низкой частоты 6 подключен ко входу фазорасщепителя 26, выход четвертого смесителя 22 через полосовой фильтр низкой частоты 23 подключен ко входу управляемого делителя напряжения 24, выход которого

подключен с сигнальному входу синхронного детектора 25, опорные входы которого подключены к выходам фазорасщепителя 26, а выходы – ко входам вычислительного устройства 27.

Устройство работает следующим образом: генератор СВЧ 1 формирует измерительный сигнал миллиметрового диапазона (например, 100 ГГц), который через направленный ответвитель 2 поступает через вентиль 7 в канал измерения на вход первого ключа 10 и на первый вход первого смесителя 3. В измерительном канале устройство управления 11, тактируемое сигналом опорного генератора 15, управляет работой ключей 10 и 16, которые включают в измерительный тракт либо измеряемый объект 13, либо калиброванный аттенюатор 12. Таким образом коммутация измерительного и эталонного трактов позволяет уменьшить затраты времени на проведение измерений и повысить точность измерений, поскольку не требуется производить переподключение волноводных трактов.

В качестве генератора может быть использован стандартный генератор сигналов соответствующего диапазона, либо специализированный генератор, например, генератор на диоде Ганна или лампе обратной волны. В качестве ключей могут быть использованы, например, волноводные переключатели на p-i-n диодах. В качестве калиброванного аттенюатора может быть использован, например, фиксированный аттенюатор поглощающего типа соответствующего диапазона или поляризационный аттенюатор.

Сигнал с выхода второго ключа 16 поступает на первый вход второго смесителя 17, ко второму входу которого через вентиль 9 подключен выход первого гетеродина 14. Сигнал $f_{Г1}$ с выхода первого гетеродина поступает также на второй вход смесителя 3, при этом на выходах обоих смесителей формируется сигнал первой промежуточной частоты $f_{пч1}$ (например, 3 ГГц). Первый гетеродин 14 синхронизирован высокостабильным опорным генератором 15, и может быть выполнен по схеме синтезатора частот с фазовой автоподстройкой частоты с последующим умножением частоты. Сигналы с выходов обоих смесителей 3 и 17 через полосовые фильтры

промежуточной частоты 4 и 20 поступают на первые входы смесителей 5 и 22 второй ступени преобразования частоты, где смешиваются с сигналами второго гетеродина 19, также синхронизированного от опорного генератора 15. Для уменьшения погрешности за счет просачивания сигналов опорного и измерительного каналов включены вентили 18 и 21. Второй гетеродин 19 формирует сигнал $f_{г2}$, отличающийся от сигнала первой промежуточной частоты на величину низкой частоты звукового диапазона $F_{НЧ}$. На выходах смесителей 5, 22 таким образом формируется низкочастотный сигнал $F_{НЧ}$, который выделяется полосовыми фильтрами низкой частоты 6, 23.

Сигнал опорного канала с выхода полосового фильтра низкой частоты 6 поступает на вход фазорасщепителя 26, который формирует ортогональные сигналы S_{\sin} и S_{\cos} со сдвигом фаз 90° , поступающие на опорные входы синхронного детектора 25, измерительный вход которого подключен к выходу полосового фильтра низкой частоты 23 через управляемый делитель напряжения 24.

Синхронный детектор представляет собой перемножитель опорных сигналов с измерительным $S_{изм}$, и формирует соответственно мнимую и действительную части комплексного сигнала $S_I = S_{\sin} \times S_{изм}$ и $S_Q = S_{\cos} \times S_{изм}$, которые поступают на входы вычислителя, вычисляющего значение амплитуды и фазы сигнала в измерительном канале как $\sqrt{S_I^2 + S_Q^2}$ и $\arctan\left(\frac{S_I}{S_Q}\right)$ соответственно. Вычислитель может быть реализован на базе специализированного сигнального процессора, в качестве синхронного детектора может быть использована специализированная интегральная схема, например, ADA2200, либо программная реализация его функций в сигнальном процессоре вычислителя. В качестве делителя напряжения может быть использован, например, программно-управляемый устройством управления многокаскадный резистивный или индуктивный делитель напряжений или низкочастотный магазин затухания. Выходной сигнал вычислителя поступает на вход устройства отображения 28, в качестве которого может быть

использован, например, персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением.

Изменяя затухание управляемого делителя напряжения можно добиться равенства амплитуд в измерительном канале при попеременном включении в измерительный тракт калиброванного аттенюатора и объекта измерения и определить затухание объекта измерения. После выравнивания уровней амплитуд сигналов по разности фаз при включении эталона фазового сдвига и объекта измерения можно определить точное значение фазового сдвига объекта измерения с учетом погрешностей, вызванных, например, фазовым шумом и нестабильностью частоты генератора.

Для повышения разрешающей способности измерения малых фазовых сдвигов применен метод умножения частоты и фазы. Для этого использованы формирователь модулирующего сигнала 34, синхронизированный сигналом опорного генератора 15, фазовый модулятор 35, включенный между выходом направленного ответвителя 2 и входом первого ключа 10, первый и второй умножители частоты 31 и 29, подключенные к выходам смесителей второй ступени преобразования частоты 6 и 23 соответственно, полосовые фильтры 32 и 30, подключенные к выходам умножителей частоты, пятый смеситель 33, входы которого подключены к выходам полосовых фильтров 32 и 30, фазовый детектор 36, входы которого подключены к выходу смесителя 22 и выходу полосового фильтра второй ступени преобразования частоты опорного канала 6, а выход через фильтр низкой частоты 37 подключен к входу вычислителя 27 (фигура 1). В качестве умножителей частоты могут быть использованы, например, амплитудные ограничители с последующей фильтрацией заданной гармоники, или нелинейные устройства с задаваемой на получении заданного коэффициента умножения формой передаточной характеристикой, например, на основе нелинейного полиномиального чебышевского преобразования [3].

При этом сигнал в измерительном канале подвергается фазовой модуляции сигналом с выхода формирователя модулирующего сигнала (например, двукратной фазовой манипуляции или модуляцией

широкополосным сигналом, например, последовательностью Баркера или псевдослучайной последовательностью). При этом, низкочастотный сигнал второй промежуточной частоты с выхода полосового фильтра низкой частоты 23 в измерительном канале будет модулированным по фазе. Этот сигнал поступает на вход умножителя частоты измерительного канала 29, где происходит умножение частоты и фазы в N раз. Опорный низкочастотный сигнал с выхода полосового фильтра низкой частоты 6 умножается по частоте в $N-1$ раз. Таким образом на выходе смесителя 22 формируется модулированный по фазе сигнал с увеличенным в N раз фазовым сдвигом.

На выходе фазового детектора 36 формируется огибающая фазовой модуляции, выделяемая фильтром низкой частоты 37 с фазовым сдвигом, в N раз большим, чем у сигнала на входе синхронного детектора 25. Вычислительное устройство 27 вычисляет разность фаз или взаимно-корреляционную функцию между полученной огибающей фазовой модуляции и исходным сигналом с выхода формирователя модулирующего сигнала 34.

Проведенное математическое моделирование показывает работоспособность предлагаемого устройства (фигуры 2-4).

На Фигуре 2 представлены эпюры сигналов на входе и выходе объекта измерения при фазовом сдвиге 0.1 рад.

При двукратной фазовой манипуляции сигналом типа «меандр» формируется измерительный сигнал, представленный на фигуре 3.

На фигуре 4 представлены эпюры исходного модулирующего сигнала и сигнала с выхода фазового детектора при использовании коэффициента умножения частоты $N=5$.

При проведении измерений с объектами, имеющими большое затухание или высокий уровень собственных шумов целесообразно использовать модуляцию широкополосными сигналами, обладающие хорошими корреляционными характеристиками, например, последовательности Баркера, псевдослучайные последовательности и т.п. При этом на конечном этапе обработки вычисляется взаимно-корреляционная функция (ВКФ)

демодулированной и исходной последовательностей (модулирующего сигнала) в эталонном и измерительных каналах по амплитуде и по временному сдвигу между ВКФ можно определить усредненное значение затухания и фазового сдвига. При этом на выходе вычислительного устройства соотношение сигнал/шум увеличивается пропорционально базе сигнала.

Сопоставительный анализ с прототипом, а также техническими решениями, описанными в [4-10], показывает существенные отличия заявляемого устройства от известных. Благодаря наличию введенных в устройство дополнительных элементов: ключей, осуществляющих оперативное переключение в измерительном тракте между калиброванным аттенюатором и измеряемым объектом, управляемого делителя напряжения, фазового модулятора и умножителей частоты обеспечивается большая оперативность проведения измерений и обеспечивается повышение точности и разрешающей способности измерения параметров и характеристик устройств миллиметрового диапазона волн.

Источники информации:

1. АС СССР SU 1437803, Устройство для измерения ослабления СВЧ-четырёхполюсников. МПК G01R 27/32 (2000.01) Заявл. 4165608, 04.10.1986, опубл. 15.11.1988
2. Устройство для измерения затухания и фазового сдвига четырёхполюсника. Патент СССР № SU 669987F1
3. Кушнир В.Ф., Ферсман Б.А. Теория нелинейных электрических цепей. - М.: Связь, 1974)
4. Устройство для измерения абсолютных комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ устройств. Патент RU2524049C1
5. Измеритель S-параметров невзаимного четырёхполюсника. АС СССР № 1442962
6. Измеритель S-параметров пассивного четырёхполюсника. АС СССР № 1497586

7. Устройство для измерения ослабления СВЧ –четырёхполюсников. АС СССР 1437803
8. Измеритель S-параметров пассивного четырёхполюсника. АС СССР SU1800396С
9. Измеритель S-параметров невзаимных четырёхполюсников АС СССР SU1608593 A1RU1800396С
10. Устройство для измерения абсолютных комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ-устройств с преобразованием частоты. Патент RU 2524049С1

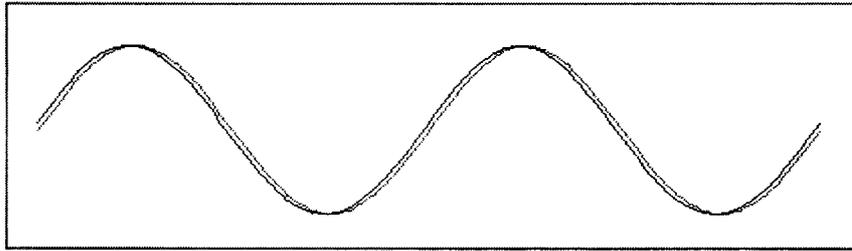
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ И ФАЗОВОГО СДВИГА

Формула изобретения

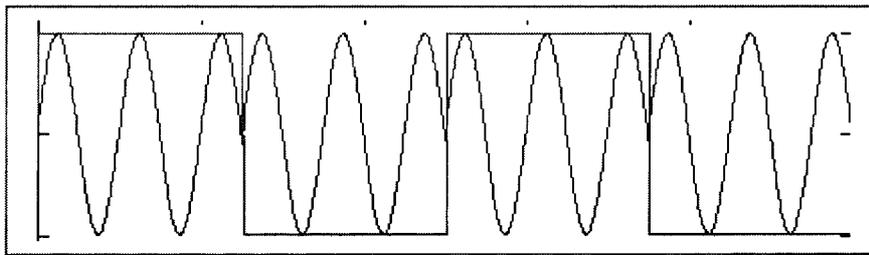
Устройство для измерения затухания и фазового сдвига, содержащее генератор СВЧ, направленный ответвитель, калиброванный аттенюатор, смеситель, управляемый делитель напряжения, первый выход направленного ответвителя подключен к измеряемому объекту, устройство управления, отличающееся тем, что дополнительно введены фазовый модулятор, формирователь модулирующего сигнала, первый и второй умножители частоты, фазовый детектор, первый и второй смесители, первый и второй гетеродины, третий и четвертый смесители, фазорасщепитель, синхронный детектор, и вычислительное устройство, первый выход направленного ответвителя через вентиль подключен ко входу первого ключа, второй выход направленного ответвителя подключен к сигнальному входу первого смесителя, выходы первого ключа через калиброванный аттенюатор и измеряемый объект подключены ко входам второго ключа, выход которого подключен к сигнальному входу второго смесителя, гетеродинные входы первого и второго смесителей через развязывающие вентили подключены к выходам первого гетеродина, выходы первого и второго смесителей через полосовые фильтры подключены к сигнальным входам третьего и четвертого смесителей, гетеродинные входы которых через вентили подключены к выходам второго гетеродина, выходы синхронизации обоих гетеродинов и формирователь модулирующего сигнала подключены к выходам опорного генератора, выход третьего смесителя через последовательно соединенные полосовой фильтр и фазорасщепитель подключены к опорному входу синхронного детектора, выход четвертого смесителя через последовательно соединенные полосовой фильтр и управляемый делитель напряжения подключен к сигнальному входу синхронного детектора, формирователь модулирующего сигнала, фазовый модулятор, первый и второй умножители частоты, два полосовых фильтра, пятый смеситель, фазовый детектор и

фильтр низкой частоты, вход формирователя модулирующего сигнала подключен к выходу опорного генератора, выходы синхронного детектора и выход фазового детектора через фильтр низких частот подключены ко входам вычислительного устройства, фазового модулятора, включенного на входе первого ключа, входы первого и второго умножителей частоты подключены к выходам третьего и четвертого смесителей соответственно, выходы умножителей частоты через полосовые фильтры соединены со входами пятого смесителя, выход которого подключен к сигнальному входу фазового детектора, опорный вход которого соединен с выходом третьего смесителя.

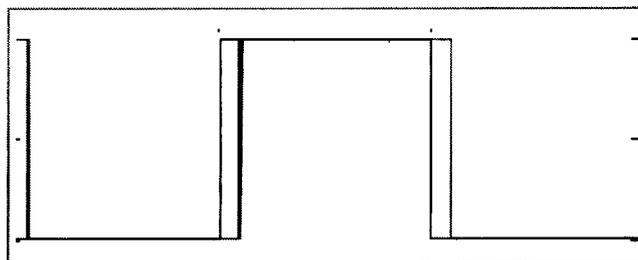
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ И ФАЗОВОГО СДВИГА



Фигура 2



Фигура 3



Фигура 4

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ ПОИСКЕ

(статья 15(3) ЕАПК и правило 42 Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

202393085**А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:**

МПК:

G01R 27/32 (2006.01)

СПК:

G01R 27/32**Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:**

G01R 25/00-25/02, G01R 27/00-27/32

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если возможно, используемые поисковые термины)
Espacenet, EAPATIS, Google, Reaxys**В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ**

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	SU 669871 A1 (ПУЛИКА С.Д. и др.) 23.10.1980	1
A	SU 1675799 A1 (МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ) 07.09.1991	1
A	SU 1107068 A1 (ЛЕТУНОВ ЛЕОНИД АЛЕКСЕЕВИЧ) 07.08.1984	1
A	DE 69732085 T2 (TEKTRONIX, INC) 02.06.2005	1
A	CN 106291106 A (BEIJING INST TECHNOLOGY) 04.01.2017	1
A	US 5524281 A (WILTRON COMPANY) 04.06.1996	1

 последующие документы указаны в продолжении графы

* Особые категории ссылочных документов:

«А» - документ, определяющий общий уровень техники

«D» - документ, приведенный в евразийской заявке

«E» - более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее

«O» - документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.

"P" - документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета"

«Т» - более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения

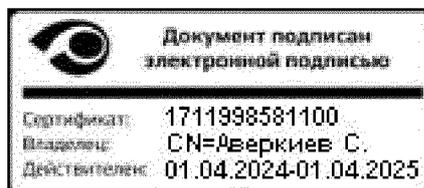
«X» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности

«Y» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории

«&» - документ, являющийся патентом-аналогом

«L» - документ, приведенный в других целях

Дата проведения патентного поиска: 16 мая 2024 (16.05.2024)

Уполномоченное лицо:
Начальник Управления экспертизы

С.Е. Аверкиев