



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014130672, 10.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.10.2013

Дата регистрации:
03.11.2017

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
10.10.2012 DE 102012218431.7;
03.01.2013 DE 102013200033.2

(43) Дата публикации заявки: 20.02.2016 Бюл. № 5

(45) Опубликовано: 03.11.2017 Бюл. № 31

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 24.07.2014

(86) Заявка РСТ:
EP 2013/071132 (10.10.2013)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2014/057020 (17.04.2014)

Адрес для переписки:
190000, Санкт-Петербург, ВОХ 1125,
"ПАТЕНТИКА"

(72) Автор(ы):

**ПАЕХ Андреас (DE),
ОРТЛЕР Георг (DE),
НАЙДХАРДТ Штэффэн (DE)**

(73) Патентообладатель(и):

**РОДЭ УНД ШВАРЦ ГМБХ УНД КО. КГ
(DE)**

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: WO 2013143681 A1, 03.10.2013. DE
102006035827 A1, 20.09.2007. WO 2010099855
A1, 10.09.2010. US 6529844 B1, 04.03.2003.

**(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТРИЦЫ РАССЕЙНИЯ
ИСПЫТУЕМОГО УСТРОЙСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ**

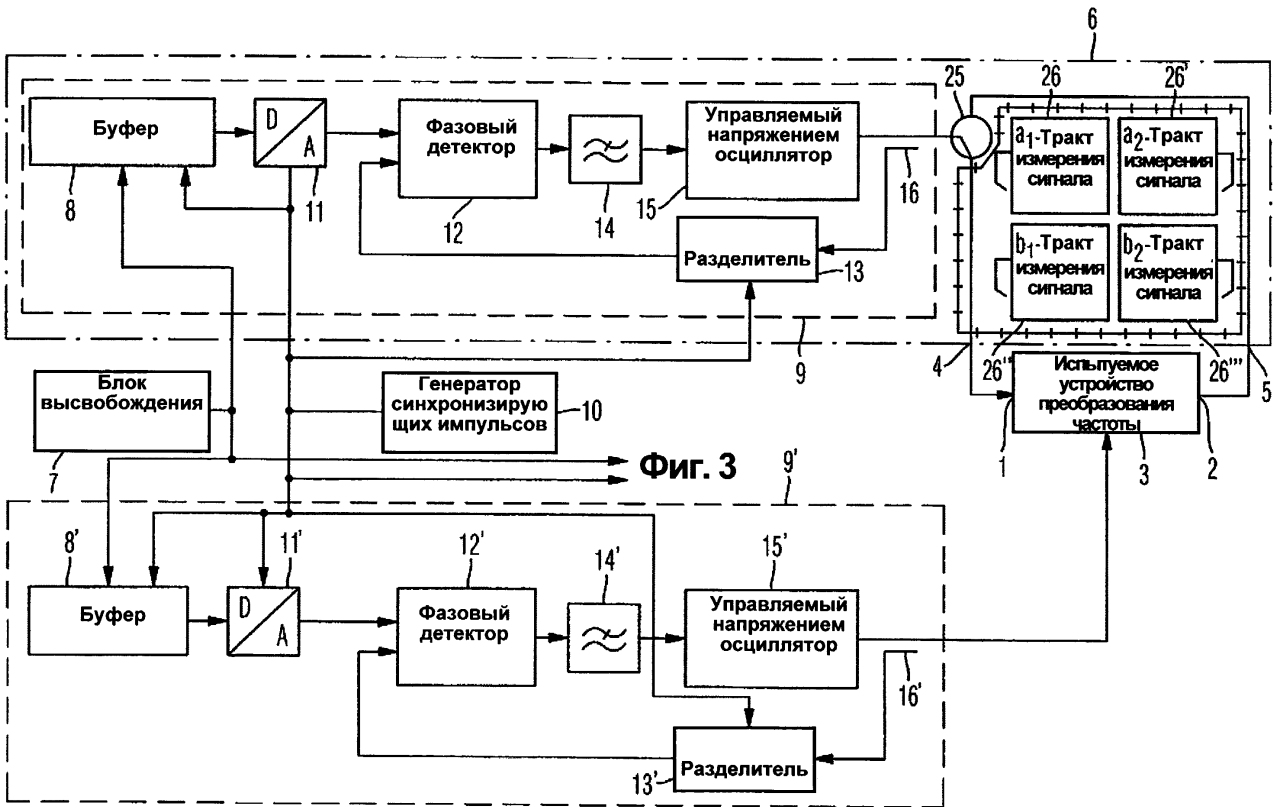
(57) Реферат:

Изобретение относится к способу и устройству для определения параметров матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты. Устройство для определения параметров матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты с использованием схемного анализатора определяет системные ошибки, возникающие между отдельными портами (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования частоты и портами (4, 5) схемного анализатора (6), соединенными с портами (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования частоты, и измеряет входные и выходные сигналы, имеющие системную ошибку соответственно в отдельных портах (1, 2)

испытуемого устройства (3) преобразования частоты. После этого входные и выходные сигналы со скорректированной системной ошибкой соответственно в отдельных портах (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования частоты определены посредством взвешивания входных и выходных сигналов с системной ошибкой соответственно в отдельных портах (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования частоты с соответствующими вычисленными системными ошибками, а параметры матрицы рассеяния испытуемого устройства (3) преобразования частоты определены по входным и выходным сигналам со скорректированной системной ошибкой соответственно в отдельных

портах (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования частоты. Фаза подлежащего измерению сигнала, возбуждающая соответственно порт (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования частоты,

инициализирована одинаковым образом при каждом измерении. Технический результат заключается в повышении точности измерений. 2 н. и 18 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 2

Фиг. 3

RU 2634733 C2

RU 2634733 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014130672, 10.10.2013**

(24) Effective date for property rights:
10.10.2013

Registration date:
03.11.2017

Priority:

(30) Convention priority:
10.10.2012 DE 102012218431.7;
03.01.2013 DE 102013200033.2

(43) Application published: **20.02.2016** Bull. № 5

(45) Date of publication: **03.11.2017** Bull. № 31

(85) Commencement of national phase: **24.07.2014**

(86) PCT application:
EP 2013/071132 (10.10.2013)

(87) PCT publication:
WO 2014/057020 (17.04.2014)

Mail address:
190000, Sankt-Peterburg, VOKH 1125,
"PATENTIKA"

(72) Inventor(s):
PAEKH Andreas (DE),
ORTLER Georg (DE),
NAJDKHARDT Shteffen (DE)

(73) Proprietor(s):
RODE UND SHVARTS GMBKH UND KO.
KG (DE)

(54) **METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING SCATTERING MATRIX PARAMETERS OF TEST FREQUENCY CONVERTING DEVICE**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

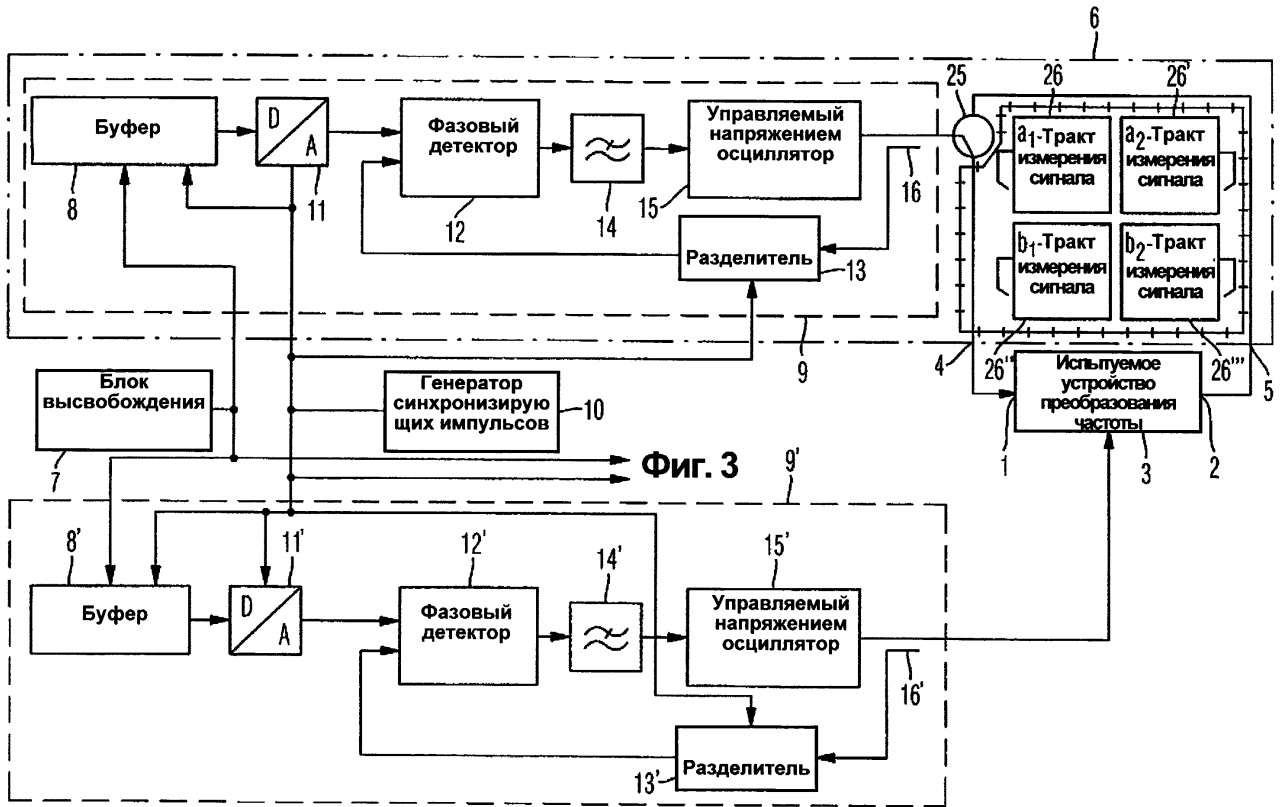
SUBSTANCE: device for determining the scattering matrix parameters of the test frequency converting device using a circuit analyzer determines the system errors occurring between the individual ports (1, 2) of the test frequency converting device (3) and the ports (4, 5) of the analyzer (6) connected with the ports (1, 2) of the test frequency converting device (3), and the input and output signals are measured having a system error, respectively, in the individual ports (1, 2) of the test frequency converting device (3). Then input and output signals with the corrected system error, respectively, in the individual ports (1, 2) of the test frequency converting device (3) are determined by

weighing the input and output signals with the system error, respectively, in the individual ports (1, 2) of the test frequency converting device (3) with the corresponding calculated system errors, and the scattering matrix parameters of the test frequency converting device (3) are determined by the input and output signals with the corrected system error, respectively, in the individual ports (1, 2) of the test frequency converting device (3). The phase of the signal to be measured, which drives the port (1, 2) of the test frequency converting device (3), respectively, is initialized in the same way for each measurement.

EFFECT: improving the measurement accuracy.
20 cl, 5 dwg

C 2
2 6 3 4 7 3 3
R U

R U
2 6 3 4 7 3 3
C 2



Фиг. 2

Фиг. 3

RU 2634733 C2

RU 2634733 C2

Изобретение относится к способу и устройству для определения параметров матрицы рассеяния испытываемого устройства преобразования частоты.

Для описания электрических свойств частотно-преобразующего элемента, предпочтительно смесителя, определяют параметры матрицы рассеяния частотно-преобразующего элемента с помощью схемного анализатора. На основе сопоставлений ошибок в портах испытываемого устройства, или соответственно схемного анализатора, а также неидеального поведения схемного анализатора, системные ошибки при сравнении с соответствующими правильно измеренными значениями накладываются на зарегистрированные измеренные значения.

Эти системные ошибки должны быть определены заранее при калибровке, а затем использованы для компенсации системных ошибок измеренных значений, зарегистрированных для определения точно измеренных значений. Для этого могут быть использованы обычные одно- или двухпортовые модели ошибок, например известны методы семи, девяти или десяти параметров. Ниже, в качестве примера показано использование метода семи параметров, либо соответственно использование двух методов трех и четырех параметров.

В этом случае, системными ошибками, определяемыми для каждого подлежащего измерению порта i испытываемого устройства преобразования частоты, являются направленность D_i , согласование источника S_i , прямая трассировка F_i и корреляция отражений R_i , показанные на фиг. 1 для испытываемого устройства с 2-мя портами.

Соотношение между измеренными значениями входной волны \hat{a}_i или соответственно выходной волны \hat{b}_i , и точным значением входной a_i или соответствующей выходной волны b_i определенных системных ошибок получено по формуле (1) с помощью матрицы G_i системных ошибок, включающей в себя отдельные измеренные системные ошибки по формуле (2)

$$\begin{pmatrix} a_i \\ b_i \end{pmatrix} = G_i \cdot \begin{pmatrix} \hat{a}_i \\ \hat{b}_i \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$G_i = \begin{pmatrix} F_i - \frac{D_i \cdot S_i}{R_i} & \frac{S_i}{R_i} \\ -\frac{D_i}{R_i} & \frac{1}{R_i} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Значения входных/выходных волн представляют собой частотно-зависимые сигналы и, для простоты, именуется ниже входными/выходными сигналами.

Матричные элементы матрицы \tilde{G}_i определенных системных ошибок, отличные, за исключением неизвестного комплексного коэффициента d_i , от точных системных ошибок соответствующего порта i , получают исключительно при измерении основной гармоники по формуле (3А), с помощью матрицы G_i точных системных ошибок посредством взвешивания с неизвестным комплексным коэффициентом d_i . При измерении высших гармоник и интермодуляционных помех при частоте k матрицу \tilde{G}_i^k определенных системных ошибок согласно формуле (3В) получают из матрицы G_i^k точных системных

ошибок для высших гармоник и интермодуляционных помех при частоте k посредством взвешивания с неизвестным комплексным коэффициентом d_i

$$\tilde{G}_i = d_i \cdot G_i, \text{ где}$$

$$\tilde{G}_i = \begin{pmatrix} \tilde{F}_i - \frac{D_i \cdot S_i}{\tilde{R}_i} & \frac{S_i}{\tilde{R}_i} \\ -\frac{D_i}{\tilde{R}_i} & \frac{1}{\tilde{R}_i} \end{pmatrix} \quad (3A)$$

$$\tilde{G}_i^k = d_i^k \cdot G_i^k, \text{ где } G_i^k = \begin{pmatrix} F_i^k - \frac{D_i^k \cdot S_i^k}{R_i^k} & \frac{S_i^k}{R_i^k} \\ -\frac{D_i^k}{R_i^k} & \frac{1}{R_i^k} \end{pmatrix} \text{ и}$$

$$\tilde{G}_i^k = \begin{pmatrix} \tilde{F}_i^k - \frac{D_i^k \cdot S_i^k}{\tilde{R}_i^k} & \frac{S_i^k}{\tilde{R}_i^k} \\ -\frac{D_i^k}{\tilde{R}_i^k} & \frac{1}{\tilde{R}_i^k} \end{pmatrix} \quad (3B)$$

При исследовании устройств, не обладающих способностью преобразования частоты, параметры ошибок в двухпортовой модели ошибок, каждый из которых получен при двухпортовой калибровке, последовательно сопоставляют друг с другом, и зависят только от постоянной, которая соответственно одинакова для обоих портов. Неизвестный комплексный коэффициент d_i одинаков для каждого порта i испытываемого устройства. Так как каждый параметр матрицы рассеяния испытываемого устройства получен как отношение двух сигналов - входного и выходного - одного и того же порта или двух разных портов, этот неизвестный комплексный коэффициент d_i исключен из последнего и соответственно не представляет никакой проблемы.

При исследовании устройств преобразования частоты с различной частотой, а, следовательно, и разным фазовым соотношением между двумя подлежащими измерению портами, амплитудную составляющую $|d_i|$ неизвестного комплексного коэффициента d_i определяют с помощью калибровки уровня в обоих портах и учета при компенсации системной ошибки. При этом амплитудная составляющая $|d_i|$ неизвестного комплексного коэффициента d_i различна для каждого порта вследствие различия частот. Для

определения фазовой составляющей $e^{j\varphi_{d_1}}$ неизвестного комплексного

5 коэффициента d_1 используют опорная фаза или соответственно эталон (стандарт) фазы.

Использование при калибровке фазовой ошибки опорной фазы, соответственно эталона фазы, как например, в патенте США 6,292,000 В1, как правило, ограничивает диапазон частот и частотный интервал выполняемой калибровки фазы. Кроме того,

10 качество определения фазовой составляющей $e^{j\varphi_{d_1}}$ неизвестного

15 комплексного коэффициента d_1 зависит от стабильности и неопределенности опорной фазы, соответственно эталона фазы, и, следовательно, для достижения высокой точности

в определении фазы $e^{j\varphi_{d_1}}$ необходима сложная и соответственно

20 дорогостоящая испытательная установка.

Таким образом, задача настоящего изобретения состоит в создании способа и устройства компенсации системной ошибки при электрической характеристике испытываемого устройства преобразования частоты, обеспечивающих высокую точность измерений при малых затратах.

25 Для решения поставленной задачи предложены способ определения параметров матрицы рассеяния испытываемого устройства преобразования частоты, основные признаки которого заявлены в пункте 1 формулы изобретения, и устройство для определения параметров матрицы рассеяния испытываемого устройства преобразования частоты, основные признаки которого заявлены в пункте 12 формулы изобретения.

30 Предпочтительные технические решения раскрыты в каждом зависимом пункте формулы.

Согласно предложенному способу, соответственно определяют соответствующие системные ошибки каждого подлежащего измерению порта испытываемого устройства преобразования частоты, и соответственно измеряют каждый входной или

35 соответственно выходной сигналы подлежащего измерению порта испытываемого устройства преобразования частоты, все еще содержащие системные ошибки. Посредством взвешивания каждого измеренного входного или соответственно выходного сигналов с системной ошибкой отдельных подлежащих измерению портов испытываемого устройства преобразования частоты с соответствующими определенными

40 системными ошибками, и определяют соответствующие входной или соответственно выходной сигналы со скорректированной системной ошибкой, которые все еще содержат амплитуду и неопределенность фазы неизвестного коэффициента. По входному или соответственно выходному сигналам со скорректированной ошибкой отдельных подлежащих измерению портов испытываемого устройства преобразования частоты

45 определяют его параметры матрицы рассеяния.

В частности для компенсации фазовой погрешности в определенных системных ошибках отдельных подлежащих измерению портов испытываемого устройства преобразования частоты, фазы сигнала, возбуждающего испытываемое устройство,

согласно изобретению инициализированы одинаковым образом при каждом измерении. Это обеспечивает, как более подробно будет показано ниже, удаление фазовой погрешности из вычисленных таким образом параметров отражения испытываемого устройства преобразования частоты.

5 Кроме того, фазу локального сигнала осциллятора для испытываемого устройства преобразования частоты предпочтительно инициализируют фазокогерентным способом по отношению к фазе сигнала возбуждения при каждом измерении. Это обеспечивает наличие соответственно идентичной фазы во время инициализации на всех трех портах испытываемого устройства преобразования частоты.

10 И, наконец, фазы сигналов осциллятора для отдельных смесителей в отдельных трактах измерения сигналов предпочтительно инициализируют фазокогерентным способом по отношению к фазе сигнала возбуждения, так что во время инициализации также получают идентичную фазу в детекторах на выходе отдельных трактов измерения сигналов.

15 Амплитудная составляющая неизвестного комплексного коэффициента d_i в отдельных коэффициентах матрицы G_i определенных системных ошибок предпочтительно определяют посредством калибровки уровня.

Несмотря на то что эти меры обеспечивают возможность компенсации амплитудных составляющих и, одновременно, фазовых составляющих параметров отражения
20 испытываемого устройства преобразования частоты, предпочтительно только амплитудные составляющие компенсируют в параметрах передачи испытываемого устройства. Параметры передачи испытываемого устройства преобразования частоты продолжают вносить фазовую погрешность. Однако, при рассмотрении фактической величины параметров передачи неопределенность фазы не учитывают.

25 Для выполнения фазокогерентной инициализации сигнала возбуждения и локальных сигналов осциллятора при каждом отдельном измерении, соответствующие генераторы сигналов, которые соответственно генерируют сигнал возбуждения или локальный сигнал осциллятора, предпочтительно настроены в соответствии с принципом прямого цифрового синтеза (DDS) или как осцилляторы с числовым программным управлением.
30 Для этого каждый генератор содержит по меньшей мере один буфер, значения фазы синусоидального сигнала которого эквидистантно разнесены во времени.

Кроме того, может быть использован генератор синхронизирующих импульсов, выполненный с возможностью формирования синхронизирующего сигнала, подаваемого на буферы генераторов сигналов, и служащий синхронизированным выходом отдельных
35 значений фаз синусоидального сигнала на выходе соответствующего буфера.

Блок высвобождения предпочтительно выполнен с возможностью генерирования сигнала инициализации буферов генераторов сигналов, подаваемого на буферы для конечного выхода идентичного значения фазы на выходе соответствующего буфера при следующем синхронизирующем импульсе синхронизирующего сигнала, следующего
40 после инициализации.

Если генератором сигналов служит цифровой генератор прямого синтеза, значения фаз, которые выводятся с синхронизирующими импульсами синхронизирующего сигнала на выходе соответствующего буфера соответственно предпочтительно подают на аналого-цифровой преобразователь, расположенный после соответствующих буферов,
45 и выполненный с возможностью генерирования аналогового сигнала, соответствующего дискретным значениям фаз во время отдельных синхронизирующих импульсов. Этот аналоговый сигнал, в свою очередь, может быть предпочтительно выдан в виде опорного сигнала каждого генератора сигналов, работающего по принципу прямого

цифрового синтеза, на фазорегулятор, на выходе которого генерирован сигнал возбуждения, или соответственно локальный сигнал осциллятора.

Вследствие нелинейной передаточной характеристики испытуемого устройства преобразования частоты, в частности смесителя, при основной гармонике
5 соответственно входного и выходного сигналов на отдельных портах испытуемого устройства преобразования частоты, высшие гармоники и интермодуляционные помехи входного и выходного сигналов соответственно в этих портах возникают при других частотах. В другом варианте реализации изобретения, параметры матрицы рассеяния
10 испытуемого устройства преобразования частоты дополнительно определяют при частотах, при которых возникают высшие гармоники и интермодуляционные помехи входного и выходного сигналов соответственно в отдельных портах испытуемого устройства. В случае дополнительных частот определение параметров матрицы
15 рассеяния выполняют аналогичным образом по входному и выходному сигналам со скорректированной системной ошибкой соответствующих портов испытуемого устройства преобразования частоты.

Ниже приведено более подробное объяснение вариантов реализации предложенного способа и устройства для определения параметров матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты в качестве примера со ссылкой на прилагаемые
чертежи.

20 На фиг. 1 показаны две однопортовые модели ошибок испытуемого двухпортового устройства;

на фиг. 2 показана принципиальная схема варианта реализации устройства для определения параметров матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты согласно изобретению;

25 на фиг. 3 показана часть принципиальной схемы варианта реализации устройства для определения параметров матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты согласно изобретению;

на фиг. 4 показана блок-схема варианта реализации способа определения параметров матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты согласно
30 изобретению;

на фиг. 5 показаны примеры спектральных составляющих, возникающих соответственно в отдельных портах смесителя.

Ниже приведено математическое обоснование, необходимое для понимания изобретения, представленное на основе математических зависимостей.

35

Взвешивание входного и выходного сигналов \hat{a}_i и \hat{b}_i ,

40 зарегистрированных для каждой основной гармоники в подлежащих измерению портах испытуемого устройства преобразования частоты, с соответствующими элементами

45 матрицы \vec{G}_i системной ошибки, определяемыми для указанной основной

гармоники подлежащего измерению порта испытуемого устройства, обеспечивает, согласно формуле (4А) для основной гармоники, возможность получения в каждом из

указанных подлежащих измерению портов испытываемого устройства входного и

выходного сигналов со скорректированной системной ошибкой

$$\tilde{a}_i \text{ и } \tilde{b}_i,$$

отличающихся, согласно формуле (4А) от каждого точного входного и выходного сигнала a_i и b_i в каждом из подлежащих измерению портах i испытываемого устройства только на величину все еще неизвестного комплексного коэффициента d_i

$$\begin{pmatrix} \tilde{a}_i \\ \tilde{b}_i \end{pmatrix} = \tilde{G}_i \cdot \begin{pmatrix} \hat{a}_i \\ \hat{b}_i \end{pmatrix} = d_i \cdot \begin{pmatrix} a_i \\ b_i \end{pmatrix} \quad (4A)$$

При высших гармониках и интермодуляционных помехах с частотой k , входной и

выходной сигналы \tilde{a}_i^k и \tilde{b}_i^k со скорректированной системной ошибкой

получают по формуле (4В) в каждом из подлежащих измерению портов испытываемого устройства преобразования частоты посредством взвешивания входного и выходного

сигналов \hat{a}_i^k и \hat{b}_i^k , измеренных при высших гармониках и

интермодуляционных помехах с частотой k в каждом из подлежащих измерению портов испытываемого устройства, с матрицей \tilde{G}_i^k системной ошибки, определенной соответственно при высших гармониках и интермодуляционных помехах с частотой k

$$\begin{pmatrix} \tilde{a}_i^k \\ \tilde{b}_i^k \end{pmatrix} = \tilde{G}_i^k \cdot \begin{pmatrix} \hat{a}_i^k \\ \hat{b}_i^k \end{pmatrix} = d_i^k \cdot \begin{pmatrix} a_i^k \\ b_i^k \end{pmatrix} \quad (4B)$$

Посредством калибровки уровня амплитудная составляющая $|d_i|$ неизвестного комплексного коэффициента d_i , может быть определена и учтена в формуле (4).

Соответственно в случае измерения только основной гармоники, начиная с формулы (4), получают математическую зависимость, зависящую теперь только от фазы

$e^{j\varphi_{d_i}}$ неизвестного комплексного коэффициента d_i , между входным и выходным

сигналами со скорректированной системной ошибкой

$$\tilde{a}_i' \text{ и } \tilde{b}_i',$$

5

соответственно в соответствующем подлежащем измерению порту i испытуемого устройства преобразования частоты, и точными входным и выходным сигналами каждого подлежащего измерению порта i соответствующего испытуемого устройства преобразования частоты, и учитывающая оптимизированную по уровню матрицу

10

\tilde{G}_i' системной ошибки по формуле (5А).

При измерении высших гармоник и интермодуляционных помех с частотой k , с

15

учетом оптимизированной по уровню матрицы $\tilde{G}_i'^k$ системных ошибок, получают эквивалентное соотношение по формуле (5В)

20

$$\begin{pmatrix} \tilde{a}_i'^k \\ \tilde{b}_i'^k \end{pmatrix} = \tilde{G}_i'^k \cdot \begin{pmatrix} \hat{a}_i^k \\ \hat{b}_i^k \end{pmatrix} = e^{j\varphi_{a_i}} \cdot \begin{pmatrix} a_i^k \\ b_i^k \end{pmatrix} \text{ при } \tilde{G}_i' = e^{j\varphi_{a_i}} \cdot G_i \text{ и}$$

25

$$\tilde{G}_i' = \begin{pmatrix} \frac{1}{|d_i|} \cdot \left(\bar{F}_i - \frac{\bar{D}_i \cdot \bar{S}_i}{\bar{R}_i} \right) & \frac{1}{|d_i|} \cdot \frac{\bar{S}_i}{\bar{R}_i} \\ -\frac{1}{|d_i|} \cdot \frac{\bar{D}_i}{\bar{R}_i} & \frac{1}{|d_i|} \cdot \frac{1}{\bar{R}_i} \end{pmatrix} \quad (5A)$$

30

$$\begin{pmatrix} \tilde{a}_i'^k \\ \tilde{b}_i'^k \end{pmatrix} = \tilde{G}_i'^k \cdot \begin{pmatrix} \hat{a}_i^k \\ \hat{b}_i^k \end{pmatrix} = e^{j\varphi_{a_i}} \cdot \begin{pmatrix} a_i^k \\ b_i^k \end{pmatrix} \text{ при } \tilde{G}_i'^k = e^{j\varphi_{a_i}} \cdot G_i^k \text{ и}$$

35

$$\tilde{G}_i'^k = \begin{pmatrix} \frac{1}{|d_i^k|} \cdot \left(\bar{F}_i^k - \frac{\bar{D}_i^k \cdot \bar{S}_i^k}{\bar{R}_i^k} \right) & \frac{1}{|d_i^k|} \cdot \frac{\bar{S}_i^k}{\bar{R}_i^k} \\ -\frac{1}{|d_i^k|} \cdot \frac{\bar{D}_i^k}{\bar{R}_i^k} & \frac{1}{|d_i^k|} \cdot \frac{1}{\bar{R}_i^k} \end{pmatrix} \quad (5B)$$

Определяемые параметры S матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты, предпочтительно смесителя, могут быть получены по формуле (6А). Амплитуда $|a_{L0}|$ локального сигнала a_{L0} осциллятора регулируют с возможностью получения ее масштабированного значения $|a_{L0}|=1$

40

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \cdot a_{L0}^* \\ S_{21} \cdot a_{L0} & S_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad (6A)$$

45

Параметры S матрицы рассеяния смесителя в режиме зеркального отражения получают по формуле (6В)

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \cdot a_{1o} \\ S_{21} \cdot a_{1o} & S_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad (6B)$$

В дальнейшем будут рассмотрены смесители по формуле (6А). Однако изобретение также относится и к смесителям, работающим в режиме зеркального отражения. В частности, приведенное ниже описание ограничено основными гармониками. Распространение на высшие гармоники будет рассмотрено ниже.

Параметры S матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты могут быть определены соответственно по формуле (7) по входному и выходному сигналам в одном из двух отдельных подлежащих измерению портах испытуемого устройства преобразования частоты соответственно возбуждения указанного устройства по матричным элементам матрицы А, содержащей соответственно входные сигналы, и матрицы В, содержащей соответственно выходные сигналы. Каждым матричным элементом a_{ij} или b_{ij} является соответственно входной или выходной сигнал каждого порта i в случае возбуждения в порту j испытуемого устройства преобразования частоты

$$\begin{aligned} S &= B \cdot A^{-1} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}^{-1} = \\ &= \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{a_{11} \cdot a_{22} - a_{12} \cdot a_{21}} \cdot \begin{pmatrix} a_{22} & -a_{12} \\ -a_{21} & a_{11} \end{pmatrix} = \\ &= \frac{1}{a_{11} \cdot a_{22} - a_{12} \cdot a_{21}} \cdot \begin{pmatrix} b_{11} \cdot a_{22} - b_{12} \cdot a_{21} & -b_{11} \cdot a_{12} + b_{12} \cdot a_{11} \\ b_{21} \cdot a_{22} - b_{22} \cdot a_{21} & -b_{21} \cdot a_{12} + b_{22} \cdot a_{11} \end{pmatrix} \quad (7) \end{aligned}$$

На первом этапе, измеренные параметры или соответственно параметры скорректированной системной ошибкой матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты получают соответственно с помощью генератора невоспроизводимых фазных сигналов.

Если фаза генератора сигналов не инициализирована с одинаковой фазой при каждом измерении и если фазовое искажение в каждом отдельном тракте измерения сигнала между соответствующим устройством сопряжения и соответствующим регистратором неизвестно, то на основании формулы (8А) или (8В) с учетом формулы (4) получают с

каждом случае соотношение между входным и выходным сигналами \tilde{a}_{ij} и

\tilde{b}_{ij} со скорректированной системной ошибкой соответствующего подлежащего

измерению порта i испытуемого устройства преобразования частоты и точными входным и выходным сигналами a_{ij} и b_{ij} соответствующего подлежащего измерению порта i указанного устройства при возбуждении испытуемого устройства в соответствующем порту j . При этом точный входной и выходной сигналы a_{ij} и b_{ij}

умножают на фазу $e^{j\varphi_{d_i}}$ неизвестного комплексного коэффициента d_i , а также

5

на фазу $e^{j\varphi_{ij}}$, задающую форму неизвестной начальной фазы сигнала a_j

10 возбуждения в порту j испытываемого устройства преобразования частоты, а также неизвестного фазового искажения в тракте сигнала от источника возбуждения к испытываемому устройству, и далее в тракте передачи измерительного сигнала от испытываемого устройства к детектору - тракту измерения сигнала

$$15 \quad \tilde{\mathbf{A}} = \begin{pmatrix} \tilde{a}_{11}' & \tilde{a}_{12}' \\ \tilde{a}_{21}' & \tilde{a}_{22}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{d_1}} \cdot a_{11} & e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{d_1}} \cdot a_{12} \\ e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{d_2}} \cdot a_{21} & e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{d_2}} \cdot a_{22} \end{pmatrix} \quad (8A)$$

$$20 \quad \tilde{\mathbf{B}} = \begin{pmatrix} \tilde{b}_{11}' & \tilde{b}_{12}' \\ \tilde{b}_{21}' & \tilde{b}_{22}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{d_1}} \cdot b_{11} & e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{d_1}} \cdot b_{12} \\ e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{d_2}} \cdot b_{21} & e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{d_2}} \cdot b_{22} \end{pmatrix} \quad (8B)$$

При использовании генератора невоспроизводимых фазных сигналов измеренные
или соответственно параметры $\tilde{\mathbf{S}}$ матрицы рассеяния со скорректированной ошибкой
25 испытываемого устройства преобразования частоты получают с помощью матричных
элементов матрицы $\tilde{\mathbf{A}}$, содержащей входные сигналы со скорректированной

30

системной ошибкой, и матричных элементов матрицы $\tilde{\mathbf{B}}$, содержащей выходные
сигналы со скорректированной системной ошибкой, по формуле (9)

35

40

45

$$\tilde{S} = \begin{pmatrix} \tilde{S}_{11} & \tilde{S}_{12} \\ \tilde{S}_{21} & \tilde{S}_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot b_{11} & e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot b_{12} \\ e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot b_{21} & e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot b_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{11} & e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{12} \\ e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot a_{21} & e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot a_{22} \end{pmatrix}^{-1} =$$

$$\tilde{S}_{11} = \frac{e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot b_{11} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot a_{22} - e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot b_{12} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot a_{21}}{e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{11} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot a_{22} - e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{12} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot a_{21}}$$

$$\tilde{S}_{21} = \frac{e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot b_{21} \cdot e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{12} - e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot b_{22} \cdot e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{11}}{e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{11} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot a_{22} - e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{12} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot a_{21}}$$

$$\tilde{S}_{12} = \frac{-e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot b_{11} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot a_{12} + e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot b_{12} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot a_{11}}{e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{11} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot a_{22} - e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{12} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot a_{21}}$$

$$\tilde{S}_{22} = \frac{-e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot b_{21} \cdot e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{12} + e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot b_{22} \cdot e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{11}}{e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{11} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot a_{22} - e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{12} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot a_{21}}$$

(9)

Согласно формуле (9) точные параметры S матрицы рассеяния и параметры

S

матрицы рассеяния в случае использования генератора невоспроизводимых фазных сигналов и наличии в отдельных подлежащих измерению портах испытуемого устройства преобразования частоты входного и выходного сигналов со скорректированной системной ошибкой имеют различные значения.

При приближенных значениях $b_{12}=a_{12}=0$, приближенно выраженный параметр

S₁₁

отражения порта 1 испытуемого устройства преобразования частоты может

быть получен из формулы (10)

$$\tilde{S}_{11} \approx \frac{e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot b_{11} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot a_{22}}{e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{14}} \cdot a_{11} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot a_{22}} = \frac{b_{11}}{a_{11}}$$

(10)

Аналогично, при $b_{12}=a_{12}=0$, приближенно выраженный параметр

S₁₁

передачи

между портами 1 и 2 испытуемого устройства преобразования частоты может быть получен из формулы (11)

$$\tilde{S}_{21} \approx \frac{e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot b_{21} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot a_{22} - e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot b_{22} \cdot e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot a_{21}}{e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{12}} \cdot a_{11} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot a_{22}} =$$

5

$$= \frac{e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{22}}}{e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{12}} \cdot e^{j\varphi_{22}} \cdot e^{j\varphi_{22}}} \cdot \frac{b_{21} \cdot a_{22} - b_{22} \cdot a_{21}}{a_{11} \cdot a_{22}} = \frac{e^{j\varphi_{21}} \cdot e^{j\varphi_{22}}}{e^{j\varphi_{11}} \cdot e^{j\varphi_{12}}} \cdot \frac{b_{21} \cdot a_{22} - b_{22} \cdot a_{21}}{a_{11} \cdot a_{22}} \quad (11)$$

10

Аппроксимация параметра \tilde{S}_{11} отражения в порте 1 испытуемого

15

устройства преобразования частоты по формуле (10) не зависит от неопределенности

фазы, в то время как аппроксимация параметра \tilde{S}_{21} передачи сигнала между

20

портами 1 и 2 указанного устройства по формуле (11) обеспечивает возможность создания некомпенсированной неопределенности фазы с практически компенсированной погрешностью амплитуды.

На втором этапе, параметры матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты теперь получают соответственно при использовании генератора воспроизводимых фазных сигналов согласно изобретению.

25

При использовании генератора воспроизводимых фазных сигналов согласно изобретению, фазы сигнала возбуждения испытуемого устройства преобразования частоты, локального сигнала осциллятора испытуемого устройства, и сигналов осциллятора для смесителей, используемых в отдельных трактах измерения сигнала, инициализируют при каждом измерении до идентичного значения фазы. Таким образом,

30

отдельные входной и выходной сигналы со скорректированной системной ошибкой создают неопределенности $e^{j\varphi_i}$ фазы, зависящей от фазового искажения в

35

рассмотренных выше отдельных трактах сигнала. Матрица \tilde{A} , матричные элементы

40

которой содержат входные сигналы \tilde{a}_{ij} со скорректированной системной

45

ошибкой соответствующих подлежащих измерению портов i испытуемого устройства преобразования частоты в случае возбуждения на один из двух подлежащих измерению

портов j указанного устройства, получают по формуле (12), а матрица \tilde{B} , матричные

элементы которой содержат выходные сигналы \tilde{b}_{ij}' со скорректированной

5

системной ошибкой соответствующих подлежащих измерению портов i испытуемого устройства преобразования частоты, в случае возбуждения на один из двух подлежащих измерению портов j указанного устройства получают по формуле (13)

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} \tilde{a}_{11}' & \tilde{a}_{12}' \\ \tilde{a}_{21}' & \tilde{a}_{22}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}} \cdot a_{11} & e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}} \cdot a_{12} \\ e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}} \cdot a_{21} & e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}} \cdot a_{22} \end{pmatrix} =$$

15

$$= \begin{pmatrix} e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}} & 0 \\ 0 & e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} = D \cdot A$$

20

$$\text{где } D = \begin{pmatrix} e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}} & 0 \\ 0 & e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}} \end{pmatrix} \quad (12)$$

25

$$\tilde{B} = \begin{pmatrix} \tilde{b}_{11}' & \tilde{b}_{12}' \\ \tilde{b}_{21}' & \tilde{b}_{22}' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}} \cdot b_{11} & e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}} \cdot b_{12} \\ e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}} \cdot b_{21} & e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}} \cdot b_{22} \end{pmatrix} =$$

30

$$= \begin{pmatrix} e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}} & 0 \\ 0 & e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} = D \cdot B \quad (13)$$

35

Матрица \tilde{S} рассеяния может быть сформирована с помощью матрицы D ,

40

содержащей неопределенности $e^{j\varphi_1}$, $e^{j\varphi_2}$, $e^{j\varphi_{d1}}$ и $e^{j\varphi_{d2}}$

фаз, а также при использовании генератора воспроизводимых фазных сигналов согласно

45

изобретению и при использовании входного и выходного сигналов \tilde{a}_{ij}' и

\tilde{b}_{ij}' со скорректированной системной ошибкой соответственно в отдельных

5 подлежащих измерению портах испытуемого устройства преобразования частоты

$$\tilde{S} = \tilde{B} \cdot \tilde{A}^{-1} = D \cdot B \cdot (D \cdot A)^{-1} = D \cdot B \cdot A^{-1} \cdot D^{-1} = D \cdot S \cdot D^{-1} =$$

$$10 = \begin{pmatrix} e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}} & 0 \\ 0 & e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \cdot a_{LO}^* \\ S_{21} \cdot a_{LO} & S_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}}} \end{pmatrix} =$$

$$15 = \begin{pmatrix} \frac{e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}} \cdot S_{11}}{e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}}} & \frac{e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}} \cdot S_{12} \cdot e^{j\varphi_{a_{LO}}^*}}{e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}}} \\ \frac{e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}} \cdot S_{21} \cdot e^{j\varphi_{a_{LO}}}}{e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}}} & \frac{e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}} \cdot S_{22}}{e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & \frac{e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}} \cdot S_{12} \cdot e^{j\varphi_{a_{LO}}^*}}{e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}}} \\ \frac{e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\varphi_{d2}} \cdot S_{21} \cdot e^{j\varphi_{a_{LO}}}}{e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\varphi_{d1}}} & S_{22} \end{pmatrix}$$

20

(14)

При использовании генератора воспроизводимых фазных сигналов согласно

25

изобретению и входного и выходного сигналов \tilde{a}_{ij}' и \tilde{b}_{ij}' со

30 скорректированной системной ошибкой соответственно в отдельных подлежащих измерению портах испытуемого устройства преобразования частоты, измеренные и

откорректированные параметры \tilde{S}_{11} и \tilde{S}_{22} отражения матрицы \tilde{S}

35 рассеяния соответствуют точным параметрам S_{11} и S_{22} отражения соответствующего испытуемого устройства.

Исходя из формулы (14) и на основании формулы (7), параметр \tilde{S}_{11} передачи

40

вычисляют соответственно по формуле (15), а параметр \tilde{S}_{22} передачи по

45 формуле (16)

$$\tilde{S}_{11} = \frac{\tilde{b}_{11}' \cdot \tilde{a}_{22}' - \tilde{b}_{12}' \cdot \tilde{a}_{21}'}{\tilde{a}_{11}' \cdot \tilde{a}_{22}' - \tilde{a}_{12}' \cdot \tilde{a}_{21}'} \quad (15)$$

5

$$\tilde{S}_{22} = \frac{-\tilde{b}_{21}' \cdot \tilde{a}_{12}' + \tilde{b}_{22}' \cdot \tilde{a}_{11}'}{\tilde{a}_{11}' \cdot \tilde{a}_{22}' - \tilde{a}_{12}' \cdot \tilde{a}_{21}'} \quad (16)$$

10

В противоположность этому, исходя из формулы (14) и на основании формулы (7), параметры \tilde{S}_{12} и \tilde{S}_{21} передачи по формулам (17) и (18) создают

15

дополнительные неопределенности фазы при использовании генератора воспроизводимых фазных сигналов согласно изобретению и с использованием входного

20

и выходного сигналов \tilde{a}_{ij}' и \tilde{b}_{ij}' со скорректированной системной ошибкой соответственно в отдельных подлежащих измерению портах испытуемого устройства преобразования частоты

25

$$\tilde{S}_{12} = \frac{-\tilde{b}_{11}' \cdot \tilde{a}_{12}' + \tilde{b}_{12}' \cdot \tilde{a}_{11}'}{\tilde{a}_{11}' \cdot \tilde{a}_{22}' - \tilde{a}_{12}' \cdot \tilde{a}_{21}'} \cdot \frac{e^{j\varphi_{a1}} \cdot e^{j\varphi_{a2}}}{e^{j\varphi_{b1}} \cdot e^{j\varphi_{b2}} \cdot e^{j\varphi_{a1a'}}} \quad (17)$$

30

$$\tilde{S}_{21} = \frac{\tilde{b}_{21}' \cdot \tilde{a}_{22}' - \tilde{b}_{22}' \cdot \tilde{a}_{21}'}{\tilde{a}_{11}' \cdot \tilde{a}_{22}' - \tilde{a}_{12}' \cdot \tilde{a}_{21}'} \cdot \frac{e^{j\varphi_{b1}} \cdot e^{j\varphi_{b2}}}{e^{j\varphi_{a1}} \cdot e^{j\varphi_{a2}} \cdot e^{j\varphi_{a1a'}}} \quad (18)$$

35

Эти неопределенности фазы содержат неизвестные фазовые искажения $e^{j\varphi_{d1}}$

40

и $e^{j\varphi_{d2}}$ в четырех трактах 26, 26', 26" и 26''' измерения сигнала и неизвестные

фазы $e^{j\varphi_{d1}}$ и $e^{j\varphi_{d2}}$ неизвестных комплексных коэффициентов d_1 и d_2

45

в системных ошибках, связанных соответственно с портами 1 и 2, и также неизвестные

фазы $e^{j\varphi_{a_{Lo}}}$ и $e^{j\varphi_{a_{Lo}^*}}$ сигнала a_{Lo} осциллятора. Поскольку при

5 измерения параметров S_{11} и S_{21} передачи в большинстве случаев практически могут быть использованы только амплитудные значения, то без этих неопределенностей фазы можно обойтись.

10 На основе своей нелинейной передаточной характеристики испытуемое устройство преобразования частоты, в частности смеситель, может выдавать высшие гармоники или соответственно интермодуляционные помехи. Они могут накладываться на основные гармоники в портах испытуемого устройства и передаваться к портам схемного анализатора. После сопоставления ошибок в порте схемного анализатора, высшие гармоники, соответственно интермодуляционные помехи, отражаются к портам

15 испытуемого устройства, где их дополнительно смешивают с учетом частотного положения, а затем вновь переданы к портам схемного анализатора с возможностью неоднократного наложения при одинаковой частоте с основными гармониками входного и выходного сигналов соответствующего порта.

20 На фиг. 5 наряду с высокочастотным сигналом возбуждения RF, показаны сигнал генератора при частоте LO смесителя и выходной сигнал смесителя при промежуточной частоте IF, например интермодуляционная помеха, сформированная, главным образом, в смесителе при частоте $RF=2*LO$. Эта интермодуляционная помеха может быть передана на высокочастотный порт RF схемного анализатора и отражена там при частоте $RF=2*LO$, а затем вновь смешана в смесителе с образованием высокой частоты $RF-LO$.

25 Сигнал, сформированный таким образом на основе интермодуляционной помехи, накладывается на сигнал возбуждения, образованный в высокочастотном порте RF схемного анализатора при высокой частоте RF, вызывая искажение измеренного результата. Для выявления этого искажения, необходимо выполнить дополнительное измерение в смесителе при первоначальной частоте $RF=2*LO$ интермодуляционной

30 помехи.

Для этого, как и для основных гармоник соответственно входного и выходного сигналов отдельных портов испытуемого устройства, соответственно входной и выходной сигналы отдельных портов испытуемого устройства также зарегистрированы при дополнительных частотах. На примере возбуждения порта j испытуемого устройства

35 при трех различных частотах k, матрица \hat{A} получают по формуле (19) на основе

40 входных сигналов \hat{a}_{ij}^{kl} в каждом случае в порту i испытуемого устройства при

трех частотах l. Аналогично, матрица B может быть получена по формуле (20) на основе

45 выходных сигналов \hat{b}_{ij}^{kl} с тремя различными частотами k, соответственно

измеренных в каждом порте i испытуемого устройства, при возбуждении соответственно

с тремя различными частотами I порта j испытуемого устройства

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} \hat{a}_{11}^{11} & \hat{a}_{11}^{12} & \hat{a}_{11}^{13} & \hat{a}_{12}^{11} & \hat{a}_{12}^{12} & \hat{a}_{12}^{13} \\ \hat{a}_{11}^{21} & \hat{a}_{11}^{22} & \hat{a}_{11}^{23} & \hat{a}_{12}^{21} & \hat{a}_{12}^{22} & \hat{a}_{12}^{23} \\ \hat{a}_{11}^{31} & \hat{a}_{11}^{32} & \hat{a}_{11}^{33} & \hat{a}_{12}^{31} & \hat{a}_{12}^{32} & \hat{a}_{12}^{33} \\ \hat{a}_{21}^{11} & \hat{a}_{21}^{12} & \hat{a}_{21}^{13} & \hat{a}_{22}^{11} & \hat{a}_{22}^{12} & \hat{a}_{22}^{13} \\ \hat{a}_{21}^{21} & \hat{a}_{21}^{22} & \hat{a}_{21}^{23} & \hat{a}_{22}^{21} & \hat{a}_{22}^{22} & \hat{a}_{22}^{23} \\ \hat{a}_{21}^{31} & \hat{a}_{21}^{32} & \hat{a}_{21}^{33} & \hat{a}_{22}^{31} & \hat{a}_{22}^{32} & \hat{a}_{22}^{33} \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} \hat{b}_{11}^{11} & \hat{b}_{11}^{12} & \hat{b}_{11}^{13} & \hat{b}_{12}^{11} & \hat{b}_{12}^{12} & \hat{b}_{12}^{13} \\ \hat{b}_{11}^{21} & \hat{b}_{11}^{22} & \hat{b}_{11}^{23} & \hat{b}_{12}^{21} & \hat{b}_{12}^{22} & \hat{b}_{12}^{23} \\ \hat{b}_{11}^{31} & \hat{b}_{11}^{32} & \hat{b}_{11}^{33} & \hat{b}_{12}^{31} & \hat{b}_{12}^{32} & \hat{b}_{12}^{33} \\ \hat{b}_{21}^{11} & \hat{b}_{21}^{12} & \hat{b}_{21}^{13} & \hat{b}_{22}^{11} & \hat{b}_{22}^{12} & \hat{b}_{22}^{13} \\ \hat{b}_{21}^{21} & \hat{b}_{21}^{22} & \hat{b}_{21}^{23} & \hat{b}_{22}^{21} & \hat{b}_{22}^{22} & \hat{b}_{22}^{23} \\ \hat{b}_{21}^{31} & \hat{b}_{21}^{32} & \hat{b}_{21}^{33} & \hat{b}_{22}^{31} & \hat{b}_{22}^{32} & \hat{b}_{22}^{33} \end{bmatrix} \quad (20)$$

После коррекции системной ошибки матричных элементов двух матриц \hat{A} и

\hat{B} , матрицу \hat{A} получают по формуле (21) соответственно на основе входных

сигналов со скорректированной системной ошибкой \tilde{a}_{ij}^{kl} , в каждом случае в

порту i испытуемого устройства с тремя различными частотами k при возбуждении испытуемого устройства в порту j, соответственно с тремя частотами I, а матрица в

\tilde{b}_{ij}^{kl} , в каждом случае в порту i испытуемого устройства с тремя различными

частотами k при возбуждении испытуемого устройства в порту j соответственно с тремя частотами I

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11}^{11}, & \tilde{a}_{11}^{12}, & \tilde{a}_{11}^{13}, & \tilde{a}_{12}^{11}, & \tilde{a}_{12}^{12}, & \tilde{a}_{12}^{13}, \\ \tilde{a}_{11}^{21}, & \tilde{a}_{11}^{22}, & \tilde{a}_{11}^{23}, & \tilde{a}_{12}^{21}, & \tilde{a}_{12}^{22}, & \tilde{a}_{12}^{23}, \\ \tilde{a}_{11}^{31}, & \tilde{a}_{11}^{32}, & \tilde{a}_{11}^{33}, & \tilde{a}_{12}^{31}, & \tilde{a}_{12}^{32}, & \tilde{a}_{12}^{33}, \\ \tilde{a}_{21}^{11}, & \tilde{a}_{21}^{12}, & \tilde{a}_{21}^{13}, & \tilde{a}_{22}^{11}, & \tilde{a}_{22}^{12}, & \tilde{a}_{22}^{13}, \\ \tilde{a}_{21}^{21}, & \tilde{a}_{21}^{22}, & \tilde{a}_{21}^{23}, & \tilde{a}_{22}^{21}, & \tilde{a}_{22}^{22}, & \tilde{a}_{22}^{23}, \\ \tilde{a}_{21}^{31}, & \tilde{a}_{21}^{32}, & \tilde{a}_{21}^{33}, & \tilde{a}_{22}^{31}, & \tilde{a}_{22}^{32}, & \tilde{a}_{22}^{33}, \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\tilde{B} = \begin{bmatrix} \tilde{b}_{11}^{11}, & \tilde{b}_{11}^{12}, & \tilde{b}_{11}^{13}, & \tilde{b}_{12}^{11}, & \tilde{b}_{12}^{12}, & \tilde{b}_{12}^{13}, \\ \tilde{b}_{11}^{21}, & \tilde{b}_{11}^{22}, & \tilde{b}_{11}^{23}, & \tilde{b}_{12}^{21}, & \tilde{b}_{12}^{22}, & \tilde{b}_{12}^{23}, \\ \tilde{b}_{11}^{31}, & \tilde{b}_{11}^{32}, & \tilde{b}_{11}^{33}, & \tilde{b}_{12}^{31}, & \tilde{b}_{12}^{32}, & \tilde{b}_{12}^{33}, \\ \tilde{b}_{21}^{11}, & \tilde{b}_{21}^{12}, & \tilde{b}_{21}^{13}, & \tilde{b}_{22}^{11}, & \tilde{b}_{22}^{12}, & \tilde{b}_{22}^{13}, \\ \tilde{b}_{21}^{21}, & \tilde{b}_{21}^{22}, & \tilde{b}_{21}^{23}, & \tilde{b}_{22}^{21}, & \tilde{b}_{22}^{22}, & \tilde{b}_{22}^{23}, \\ \tilde{b}_{21}^{31}, & \tilde{b}_{21}^{32}, & \tilde{b}_{21}^{33}, & \tilde{b}_{22}^{31}, & \tilde{b}_{22}^{32}, & \tilde{b}_{22}^{33}, \end{bmatrix} \quad (22)$$

Со ссылкой на формулы (14)-(18), используемые при анализе методом сеток с одной частотой, матрицу \tilde{S} рассеяния в случае этого анализа, например, с тремя частотами,

получают по формуле (23) на основе матричных элементов матриц \tilde{A} и \tilde{B} .

Подчеркнутые матричные элементы матрицы \tilde{S} рассеяния представляют собой параметры матрицы рассеяния испытуемого устройства при выполнении измерений при одной частоте

$$\tilde{S} = \begin{bmatrix} \underline{\tilde{S}}_{11}^{11}, & \tilde{S}_{11}^{12}, & \tilde{S}_{11}^{13}, & \tilde{S}_{12}^{11}, & \underline{\tilde{S}}_{12}^{12}, & \tilde{S}_{12}^{13}, \\ \tilde{S}_{11}^{21}, & \tilde{S}_{11}^{22}, & \tilde{S}_{11}^{23}, & \tilde{S}_{12}^{21}, & \tilde{S}_{12}^{22}, & \tilde{S}_{12}^{23}, \\ \tilde{S}_{11}^{31}, & \tilde{S}_{11}^{32}, & \tilde{S}_{11}^{33}, & \tilde{S}_{12}^{31}, & \tilde{S}_{12}^{32}, & \tilde{S}_{12}^{33}, \\ \tilde{S}_{21}^{11}, & \tilde{S}_{21}^{12}, & \tilde{S}_{21}^{13}, & \tilde{S}_{22}^{11}, & \tilde{S}_{22}^{12}, & \tilde{S}_{22}^{13}, \\ \underline{\tilde{S}}_{21}^{21}, & \tilde{S}_{21}^{22}, & \tilde{S}_{21}^{23}, & \tilde{S}_{22}^{21}, & \underline{\tilde{S}}_{22}^{22}, & \tilde{S}_{22}^{23}, \\ \tilde{S}_{21}^{31}, & \tilde{S}_{21}^{32}, & \tilde{S}_{21}^{33}, & \tilde{S}_{22}^{31}, & \tilde{S}_{22}^{32}, & \tilde{S}_{22}^{33}, \end{bmatrix} \quad (23)$$

При работе смесителя в режиме зеркального отражения и при измерении входного

и выходного сигналов при зеркальной частоте, коэффициенты в матрицах \tilde{A} и

5 \tilde{B} должны быть комплексно сопряженными числами.

10 При этом условии, матрицу \tilde{S} рассеяния с ее отдельными коэффициентами

15 \tilde{S}_{ij}^{kl} получают по формуле (24) на основе матриц \tilde{A} и \tilde{B} и их

коэффициентов \tilde{a}_{ij}^{kl} , или \tilde{b}_{ij}^{kl} , соответственно

$$\tilde{S} = \tilde{B} \cdot \tilde{A}^{-1} \quad (24)$$

25 С учетом данного математического обоснования, подробное описание способа определения параметров матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты согласно изобретению будет приведено со ссылкой на блок-схему, изображенную на фиг. 4, а описание устройства для определения параметров матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты будет приведено со ссылкой на принципиальные схемы, показанные на фиг. 2 и 3.

30 При выполнении первого шага S10, системные ошибки, возникающие соответственно в подлежащем измерению порте 1 и 2 испытуемого устройства 3 преобразования частоты, определяют посредством традиционного способа калибровки системной ошибки. При этом могут быть использованы известные способы калибровки с 7-ю, 9-ю и/или 10-ю параметрами.

35 При выполнении следующего шага S20, амплитудную составляющую $|d_i|$ неизвестного комплексного коэффициента d_i , содержащаяся, согласно формуле (5A) или (5B), в

каждом коэффициенте оптимизированной по уровню матрицы \tilde{G}'_i системной

40 ошибки, вычисляют с помощью измерения калибровки уровня. Для формирования

коэффициентов оптимизированной по уровню матрицы \tilde{G}'_i системных ошибок,

45 системные ошибки, определенные при выполнении предыдущего шага S10 и

используемые для формирования коэффициентов матрицы \tilde{G}_i системных ошибок,
 5 делят на определенную амплитудную составляющую $|d_i|$ неизвестного комплексного
 коэффициента d_i .

10 Таким образом, матрица \tilde{G} с зарегистрированными системными ошибками,
 содержащая этот неизвестный комплексный коэффициент d_i , по формуле (5А) или (5В)
 15 преобразуют в матрицу \tilde{G}' , содержащую соответственно, в отличие от матрицы

20 G с точными системными ошибками, только неизвестную фазу $e^{j\varphi_{d_i}}$ этого
 неизвестного комплексного коэффициента d_i .

При выполнении следующего шаг S30, фаза сигнала возбуждения инициализирована
 при одинаковом значении фазы при каждом измерении. Для этого блок высвобождения
 25 7 генерирует сигнал инициализации, поступающий на буфер 8, значения фазы которого
 эквидистантны по времени синусоидального сигнала в первом генераторе 9 сигналов,
 формирующем сигнал возбуждения. При последующем синхронизирующем импульсе
 синхронизирующего сигнала, сгенерированного генератором 10 синхронизирующих
 импульсов, буфер 8 оповещается сигналом инициализации для записи на выходе
 30 выбранного и ранее установленного значения фазы, хранящегося в буфере 8.

30 Записанное в буфер 8 значение фазы, а также все последующие значения фазы
 синусоидального сигнала, записанные на выходе буфера 8 с синхронизирующим
 импульсом синхронизирующего сигнала, преобразуют в соответствующий аналоговый
 сигнал, в расположенном после буфера 8 цифроаналоговом преобразователе 11,
 35 управляемом синхронизирующим сигналом генератора 10 синхронизирующих
 импульсов. Аналоговый сигнал подают на вход фазового детектора 12, соединенного
 с фазорегулятором, для сравнения с сигналом возбуждения с уменьшенной частотой.

40 Уменьшение частоты высокочастотного сигнала возбуждения может быть выполнено
 после разъединения в соединителе 16 внутри частотного разделителя 13, также
 управляемого синхронизирующим сигналом генератора 10 синхронизирующих
 импульсов. Как правило, разность фаз фазового детектора 12 подают на фильтр 14
 низких частот для ослабления составляющих сигнала повышенной частоты в схеме
 фазовой синхронизации и на управляемый напряжением осциллятор 15 для
 формирования высокочастотного сигнала возбуждения, зависящего от разности фаз,
 45 отфильтрованной фильтром низких частот.

Фазу локального сигнала осциллятора для испытываемого устройства 3 преобразования
 частоты инициализируют в начале каждого измерения фазокогерентным способом по
 отношению к фазе сигнала возбуждения, предпочтительно с тем же значением фазы.
 Для этого, как и в случае инициализации фазы сигнала возбуждения в первом генераторе

9 сигналов, буфер 8' второго генератора 9' сигналов, отвечающего за генерирование локального сигнала осциллятора, получает сигнал инициализации от блока высвобождения 7 и синхронизирующий сигнал от генератора 10 синхронизирующих импульсов. Как показано на фиг. 2, конструкция второго генератора 9' сигналов
 5 идентична конструкции первого генератора 9 сигналов и также включает в себя цифроаналоговый преобразователь 11', фазовый детектор 12', фильтр низких частот 14', управляемый напряжением осциллятор 15', соединитель 16' и частотный разделитель 13'.

Фазы отдельных сигналов осциллятора для смесителей, содержащихся в каждом
 10 отдельном тракте измерения сигнала, также инициализированы фазокогерентным способом в начале каждого измерения по отношению к фазе сигнала возбуждения, предпочтительно с тем же значением фазы. Все четыре тракта 26, 26', 26" и 26''' измерения

15 сигнала для измерения соответственно входного сигнала \hat{a}_{11} ,

20 \hat{a}_{12} , \hat{a}_{21} и \hat{a}_{22} и выходного сигнала

25 \hat{b}_{11} , \hat{b}_{12} , \hat{b}_{21} и \hat{b}_{22} в двух подлежащих измерению

портах 1 и 2 испытуемого устройства 3 преобразования частоты выполнены, как
 показано на фиг. 3, с одинаковой конструкцией, включающую в себя соединитель 17,
 17', 17" и 17''', аналоговый первый смеситель 18, 18', 18" и 18''', цифроаналоговый
 30 преобразователь 19, 19', 19" и 19''', второй цифровой смеситель 20, 20', 20" и 20''', цифровой
 фильтр 21, 21', 21" и 21''' низких частот и детектор 22, 22', 22" и 22''''.

Локальный сигнал осциллятора для первого аналогового смесителя 18, 18', 18" и 18'''
 генерируют соответственно в присоединенном к нему генераторе 23, 23', 23" и 23'''
 35 сигналов, который обеспечивает идентичную структурную установку для первого
 генератора 9 сигналов, выполненного с возможностью формирования сигнала
 возбуждения, или соответственно для второго генератора сигналов 9', выполненного
 с возможностью формирования локального сигнала осциллятора испытуемого
 устройства 3 преобразования частоты, и принимает для этого сигнал инициализации
 40 от блока высвобождения 7 и синхронизирующий сигнал от генератора 10
 синхронизирующих импульсов.

Локальный сигнал осциллятора для второго цифрового смесителя 20, 20', 20" и 20'''
 формируют в присоединенном к нему осцилляторе 24, 24', 24" и 24''' с числовым
 программным управлением, который содержит по меньшей мере один буфер, значения
 45 фазы синусоидального сигнала которого эквидистантны по времени, и также подают
 с сигналом инициализации блока высвобождения 7 и синхронизирующим сигналом
 генератора 10 синхронизирующих импульсов. Кроме того, управление аналого-
 цифровыми преобразователями 19, 19', 19" и 19''' в отдельных трактах измерения сигнала
 осуществляют синхронизирующим сигналом генератора 10 синхронизирующих

импульсов.

При выполнении следующего шага S40, сигнал возбуждения, сформированный в первом генераторе 7 сигналов, подают при соответствующем положении переключателя 25, через соответствующий порт 4 или 5 схемного анализатора, на один из двух подлежащих измерению портов 1 или 2 испытываемого устройства 3 преобразования частоты, причем соответственно каждый входной сигнал

$\hat{a}_{11}, \hat{a}_{12}, \hat{a}_{21}$ и \hat{a}_{22} с системной ошибкой в двух

подлежащих измерению портах 1 и 2 испытываемого устройства 3 преобразования частоты

и каждый выходной сигнал $\hat{b}_{11}, \hat{b}_{12}, \hat{b}_{21}$ и \hat{b}_{22} с системной

ошибкой в соответствующих трактах 26, 26', 26" и 26''' измерения сигнала измеряют с одной частотой для каждого подлежащего измерению порта указанного устройства 3.

При проведении анализа методом сеток с несколькими частотами для каждого подлежащего измерению порта испытываемого устройства 3 преобразования частоты,

входной \hat{a}_{ij}^{kl} и выходной \hat{b}_{ij}^{kl} сигналы с системной ошибкой с частотой

к соответственно в измеряемом порту i указанного устройства 3 регистрируют при возбуждении с частотой l испытываемого устройства 3 преобразования частоты 3 в порту j . Для приводимых в качестве примера измерений с тремя частотами для каждого подлежащего измерению порта испытываемого устройства 3 преобразования частоты,

входные \hat{a}_{ij}^{kl} и выходные \hat{b}_{ij}^{kl} сигналы с системной ошибкой получают

в виде матричных элементов матриц \hat{A} и \hat{B} , выраженных формулой (19) или

(20) соответственно.

При выполнении следующего шага S50, в случае анализа методом сеток с одной частотой для каждого подлежащего измерению порта испытываемого устройства 3 преобразования частоты, соответственно входные сигналы

$\hat{a}_{11}, \hat{a}_{12}, \hat{a}_{21}$ и \hat{a}_{22} и выходные сигналы

45

\hat{b}_{11} , \hat{b}_{12} , \hat{b}_{21} и \hat{b}_{22} с системной ошибкой, измеренные

5

в двух подлежащих измерению портах 1 и 2 указанного устройства 3, взвешивают по формуле (5А) с системными ошибками, измеренными в каждом из двух портов 1 и 2 указанного устройства 3 при выполнении шага S10, и в каждом случае с амплитудной составляющей $|d_j|$ неизвестного комплексного коэффициента d_j , при последующем шаге

10

S20, для получения входных сигналов \tilde{a}_{11}' , \tilde{a}_{12}' , \tilde{a}_{21}' и

15

\tilde{a}_{22}' с откорректированной системной ошибкой и выходных сигналов

20

\tilde{b}_{11}' , \tilde{b}_{12}' , \tilde{b}_{21}' и \tilde{b}_{22}' в двух портах 1 и 2 указанного

устройства 3.

Аналогично, при проведении анализа методом сеток с несколькими частотами для каждого подлежащего измерению порта испытуемого устройства 3 преобразования

25

частоты, соответственно входные \hat{a}_{ij}^{kl} и выходные \hat{b}_{ij}^{kl} сигналы с

30

системной ошибкой каждого соответствующего подлежащего измерению порта i указанного устройства 3 с соответствующей частотой k , взвешивают по формуле (5В) с системными ошибками, зарегистрированными в каждом из двух портов 1 и 2 указанного устройства 3 при выполнении шага S10, и с каждой амплитудной составляющей $|d_j|$ неизвестного комплексного коэффициента d_j , при последующем шаге

35

S20, для получения входных \tilde{a}_{ij}^{kl} и выходных \tilde{b}_{ij}^{kl} сигналов с

40

откорректированной системной ошибкой соответственно на соответствующих подлежащих измерению портах i испытуемого устройства 3 с соответствующей частотой k в случае возбуждения указанного устройства 3 в соответствующий порт j с соответствующей частотой l . Для приводимых в качестве примера измерений с тремя частотами для каждого подлежащего измерению порта испытуемого устройства 3

45

преобразования частоты, входные \tilde{a}_{ij}^{kl} , и выходные \tilde{b}_{ij}^{kl} сигналы

со скорректированной системной ошибкой получают в виде матричных элементов

матриц \tilde{A} и \tilde{B} , выраженных формулой (21) или (22) соответственно.

При выполнении следующего шага S60, в случае анализа методом сеток с одной частотой для каждого порта, параметры S_{11} и S_{22} отражения в двух подлежащих измерению портах 1 и 2 испытываемого устройства 3 преобразования частоты определяют по формулам (15) и (16) соответственно с помощью входных сигналов

\tilde{a}_{11}' , \tilde{a}_{12}' , \tilde{a}_{21}' и \tilde{a}_{22}' и выходных сигналов

\tilde{b}_{11}' , \tilde{b}_{12}' , \tilde{b}_{21}' и \tilde{b}_{22}' с откорректированной

системной ошибкой двух портов испытываемого устройства 3 преобразования частоты.

При проведении анализа методом сеток с несколькими частотами для каждого порта испытываемого устройства 3 преобразования частоты, отдельные параметры

$$\hat{S}_{ij}^{kl}$$

отражения аналогичным образом определяют по формуле (24), при частоте k в порту i испытываемого устройства 3 преобразования частоты при возбуждении указанного устройства 3 в соответствующем порту j с соответствующей частотой l , соответственно

с помощью входных \tilde{a}_{ij}^{kl} и выходных \tilde{b}_{ij}^{kl} сигналов с

откорректированной системной ошибкой в отдельных подлежащих измерению портах j испытываемого устройства 3 преобразования частоты при соответствующей частоте k в случае возбуждения указанного устройства 3 в соответствующих портах j с соответствующими частотами l .

И, наконец, выполняемый в качестве опции, шаг S70: при проведении анализа методом сеток с одной частотой для каждого порта испытываемого устройства преобразования

частоты, определяют параметры \hat{S}_{12} передачи с откорректированной системной

ошибкой между измеряемым портом 1 и измеряемым портом 2, и параметры \tilde{S}_{21}

5 передачи между измеряемым портом 2 и измеряемым портом 1 посредством формирования модуля по формуле (17) и (18) соответственно с помощью входных

10 сигналов \tilde{a}_{11}' , \tilde{a}_{12}' , \tilde{a}_{21}' и \tilde{a}_{22}' выходных

15 сигналов \tilde{b}_{11}' , \tilde{b}_{12}' , \tilde{b}_{21}' и \tilde{b}_{22}' скорректированной

системной ошибкой в двух портах 1 и 2 испытуемого устройства 3 преобразования частоты.

При анализе методом сеток с несколькими частотами для каждого порта испытуемого

20 устройства 3 преобразования частоты, параметры \tilde{S}_{ij}^{kl} передачи,

25 определяемые с отдельными частотами k в отдельных портах j указанного устройства 3 при возбуждении в отдельные портах j испытуемого устройства 3 преобразования частоты с отдельными частотами l , определяют аналогичным способом по формуле

30 (24) соответственно с помощью входных \tilde{a}_{ij}^{kl} и выходных \tilde{b}_{ij}^{kl}

35 сигналов со скорректированной системной ошибкой в отдельных подлежащих измерению портах i испытуемого устройства 3 преобразования частоты с соответствующей частотой k при возбуждении в соответствующих портах j испытуемого устройства 3 преобразования частоты с соответствующими частотами l .

Для приводимого в качестве примера измерения с тремя частотами каждого подлежащего измерению порта испытуемого устройства 3 преобразования частоты,

40 по формуле (23) определяют матрицу \tilde{S} рассеяния, содержащую параметры \tilde{S}_{ij}^{kl}

45 отражения и параметры \tilde{S}_{ij}^{kl} передачи.

Изобретение не ограничено проиллюстрированным вариантом реализации. В частности настоящее изобретение охватывает все сочетания признаков, раскрытых в формуле изобретения, в описании и чертежах.

(57) Формула изобретения

1. Способ определения параметров матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты с использованием схемного анализатора, согласно которому:

5 - определяют системные ошибки ($\tilde{\mathbf{F}}_i$, $\tilde{\mathbf{S}}_i$, $\tilde{\mathbf{D}}_i$, $\tilde{\mathbf{R}}_i$) в отдельных портах (1, 2)

испытуемого устройства (3) преобразования частоты,

- измеряют входные и выходные сигналы ($\hat{\mathbf{a}}_{11}$, $\hat{\mathbf{a}}_{12}$, $\hat{\mathbf{a}}_{21}$, $\hat{\mathbf{a}}_{22}$, $\hat{\mathbf{b}}_{11}$, $\hat{\mathbf{b}}_{12}$, $\hat{\mathbf{b}}_{21}$, $\hat{\mathbf{b}}_{22}$) с

10 системными ошибками соответственно в отдельных портах (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования частоты,

- определяют входные и выходные сигналы ($\tilde{\mathbf{a}}_{11}$, $\tilde{\mathbf{a}}_{12}$, $\tilde{\mathbf{a}}_{21}$, $\tilde{\mathbf{a}}_{22}$, $\tilde{\mathbf{b}}_{11}$, $\tilde{\mathbf{b}}_{12}$, $\tilde{\mathbf{b}}_{21}$, $\tilde{\mathbf{b}}_{22}$)

со скорректированной системной ошибкой соответственно в отдельных портах (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования частоты посредством взвешивания входных

15

и выходных сигналов ($\hat{\mathbf{a}}_{11}$, $\hat{\mathbf{a}}_{12}$, $\hat{\mathbf{a}}_{21}$, $\hat{\mathbf{a}}_{22}$, $\hat{\mathbf{b}}_{11}$, $\hat{\mathbf{b}}_{12}$, $\hat{\mathbf{b}}_{21}$, $\hat{\mathbf{b}}_{22}$) с системной ошибкой

соответственно в отдельных портах (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования частоты с соответствующими определенными системными ошибками ($\tilde{\mathbf{F}}_i$, $\tilde{\mathbf{S}}_i$, $\tilde{\mathbf{D}}_i$, $\tilde{\mathbf{R}}_i$),

20

- определяют параметры ($\tilde{\mathbf{S}}$) матрицы рассеяния испытуемого устройства (3)

преобразования частоты по входным и выходным сигналам ($\tilde{\mathbf{a}}_{11}$, $\tilde{\mathbf{a}}_{12}$, $\tilde{\mathbf{a}}_{21}$, $\tilde{\mathbf{a}}_{22}$, $\tilde{\mathbf{b}}_{11}$,

25 $\tilde{\mathbf{b}}_{12}$, $\tilde{\mathbf{b}}_{21}$, $\tilde{\mathbf{b}}_{22}$) со скорректированной системной ошибкой соответственно в отдельных портах (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования частоты,

причем фаза сигнала, который возбуждает каждый подлежащий измерению порт (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования частоты, инициализирована одинаковым образом при каждом измерении.

30

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что фаза локального сигнала осциллятора инициализирована для испытуемого устройства (3) преобразования частоты при каждом измерении когерентным по фазе способом по отношению к фазе сигнала возбуждения.

3. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что фазы сигналов осциллятора инициализированы когерентным по фазе способом по меньшей мере в одном смесителе (18, 18', 18'', 18''', 20, 20', 20'', 20''') в отдельных трактах (26, 26', 26'', 26''') измерения сигнала по отношению к фазе сигнала возбуждения.

35

4. Способ по пп. 1 и 2, отличающийся тем, что каждый коэффициент вычисленной матрицы ($\tilde{\mathbf{G}}_i$) системных ошибок, вычисленный по системным ошибкам ($\tilde{\mathbf{F}}_i$, $\tilde{\mathbf{S}}_i$, $\tilde{\mathbf{D}}_i$, $\tilde{\mathbf{R}}_i$), измеренным для каждого порта (i) испытуемого устройства (3) преобразования частоты, зависит от неизвестного комплексного коэффициента (d_i).

40

5. Способ по п. 4, отличающийся тем, что оптимизированная по уровню матрица системных ошибок ($\tilde{\mathbf{G}}'_i$) вычислена посредством деления коэффициентов вычисленной матрицы ($\tilde{\mathbf{G}}_i$) системных ошибок на амплитудную составляющую ($|d_i|$) неизвестного комплексного коэффициента (d_i), найденную при дополнительном калибровочном измерении.

45

6. Способ по п. 5, отличающийся тем, что входной и выходной сигналы ($\tilde{\mathbf{a}}_{11}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{12}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{21}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{22}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{11}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{12}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{21}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{22}'$) со скорректированной системной ошибкой соответственно в отдельных портах (1, 2) испытываемого устройства (3) преобразования частоты определены посредством взвешивания входных и выходных сигналов ($\hat{\mathbf{a}}_{11}$, $\hat{\mathbf{a}}_{12}$, $\hat{\mathbf{a}}_{21}$, $\hat{\mathbf{a}}_{22}$, $\hat{\mathbf{b}}_{11}$, $\hat{\mathbf{b}}_{12}$, $\hat{\mathbf{b}}_{21}$, $\hat{\mathbf{b}}_{22}$) с системной ошибкой соответственно в отдельных портах (1, 2) испытываемого устройства (3) с соответствующими коэффициентами оптимизированной по уровню матрицы ($\tilde{\mathbf{G}}_i'$) системных ошибок.

7. Способ по п. 6, отличающийся тем, что амплитудные значения ($|\tilde{\mathbf{S}}_{12}|$, ($|\tilde{\mathbf{S}}_{21}|$) двух параметров ($|\tilde{\mathbf{S}}_{12}|$, $|\tilde{\mathbf{S}}_{21}|$) передачи сигнала параметров ($\tilde{\mathbf{S}}$) матрицы рассеяния испытываемого устройства (3) преобразования частоты определены по входным и выходным сигналам ($\tilde{\mathbf{a}}_{11}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{12}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{21}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{22}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{11}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{12}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{21}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{22}'$) со скорректированной системной ошибкой соответственно в двух портах (1, 2) испытываемого устройства (3) преобразования частоты.

8. Способ по п. 6, отличающийся тем, что оба параметра ($\tilde{\mathbf{S}}_{11}$, $\tilde{\mathbf{S}}_{22}$) отражения параметров (S) матрицы рассеяния испытываемого устройства (3) преобразования частоты соответственно определены по входным и выходным сигналам ($\tilde{\mathbf{a}}_{11}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{12}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{21}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{22}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{11}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{12}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{21}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{22}'$) со скорректированной системной ошибкой соответственно в двух портах (1, 2) испытываемого устройства (3) преобразования частоты.

9. Способ по п. 6 или 7, отличающийся тем, что входными и выходными измеренными сигналами ($\hat{\mathbf{a}}_{11}$, $\hat{\mathbf{a}}_{12}$, $\hat{\mathbf{a}}_{21}$, $\hat{\mathbf{a}}_{22}$, $\hat{\mathbf{b}}_{11}$, $\hat{\mathbf{b}}_{12}$, $\hat{\mathbf{b}}_{21}$, $\hat{\mathbf{b}}_{22}$) соответственно в двух портах (1, 2) испытываемого устройства (3) преобразования частоты является соответственно входной или соответственно выходной сигнал ($\hat{\mathbf{a}}_{ij}^{kl}$, $\hat{\mathbf{b}}_{ij}^{kl}$) измерительного порта (i) с заданной частотой (k), а входными и выходными сигналами ($\tilde{\mathbf{a}}_{11}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{12}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{21}'$, $\tilde{\mathbf{a}}_{22}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{11}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{12}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{21}'$, $\tilde{\mathbf{b}}_{22}'$) со скорректированной системной ошибкой соответственно в двух портах (1, 2) испытываемого устройства (3) преобразования частоты является соответственно

входной или соответственно выходной сигнал ($\tilde{\mathbf{a}}_{ij}^{kl}$, $\tilde{\mathbf{b}}_{ij}^{kl}$) со скорректированной системной ошибкой измерительного порта (i) с частотой (k), при возбуждении испытываемого устройства (3) в порту возбуждения (j) при заданной частоте (l).

10. Способ по п. 9, отличающийся тем, что амплитудное значение ($|\tilde{\mathbf{S}}_{ij}^{kl}|$) параметра

(\tilde{S}_{ij}^{kl}) передачи сигнала параметров (\tilde{S}) матрицы рассеяния испытуемого устройства (3) преобразования частоты, при измерении с частотой (k) в измерительном порте (i) и при возбуждении с частотой (l) порта (j) возбуждения определено по отдельным входным и выходным сигналам (\tilde{a}_{op}^{mn} , \tilde{b}_{op}^{mn}) со скорректированной системной ошибкой, соответственно со всеми частотами (m) во всех измерительных портах (o) испытуемого устройства (3) преобразования частоты при возбуждении со всеми частотами (n) на всех портах возбуждения (p).

11. Способ по п. 10, отличающийся тем, что параметр (\tilde{S}_{ii}^{kl}) отражения параметров (S) матрицы рассеяния испытуемого устройства (3) преобразования частоты определен при измерении с частотой (k) в измерительном порте (i), и при возбуждении с частотой (l) порта (i) возбуждения соответственно по отдельным входным и выходным сигналам (\tilde{a}_{op}^{mn} , \tilde{b}_{op}^{mn}) со скорректированной системной ошибкой соответственно со всеми частотами (m) во всех измерительных портах (o) испытуемого устройства (3) преобразования частоты при возбуждении со всеми частотами (n) на всех портах возбуждения (p).

12. Устройство для определения параметров матрицы рассеяния испытуемого устройства преобразования частоты с использованием схемного анализатора с испытуемым устройством (3) преобразования частоты, содержащее:

схемный анализатор (6) для восприятия сигнала возбуждения на одном из двух подлежащих измерению портов (1, 2) испытуемого устройства (3) преобразования

частоты и измерения входных и выходных сигналов (\hat{a}_{11} , \hat{a}_{12} , \hat{a}_{21} , \hat{a}_{22} , \hat{b}_{11} , \hat{b}_{12} , \hat{b}_{21} ,

\hat{b}_{22}) соответственно на одном из указанных подлежащих измерению портов (1, 2);

первый генератор (9) сигналов, расположенный в схемном анализаторе (6) для генерирования сигнала возбуждения; и

второй генератор (9') сигналов для генерирования локального сигнала осциллятора для испытуемого устройства (3) преобразования частоты,

причем фаза сигнала возбуждения инициализирована одинаковым образом соответственно при каждом отдельном измерении.

13. Устройство по п. 12, отличающееся тем, что первый и второй генераторы (9, 9') сигналов выполнены с возможностью генерирования сигнала по принципу прямого цифрового синтеза соответственно с помощью буфера (8, 8'), выполненного с возможностью хранения разных значений фаз синусоидального сигнала, эквидистантно разнесенного во времени.

14. Устройство по п. 13, отличающееся тем, что выполнен генератор (10) синхронизирующих импульсов для генерирования синхронизирующего импульса, подаваемого в буфер (8, 8') первого и второго генераторов (9, 9') сигналов для синхронизированного по тактам вывода значений буферной фазы на выходе из буфера (8, 8').

15. Устройство по п. 14, отличающееся тем, что дополнительно выполнен блок высвобождения (7) для генерирования сигнала инициализации буфера (8, 8') первого и второго генератора (9, 9') сигналов, который подан на буфер (8, 8') первого и второго генератора (9, 9') сигналов для конечного вывода заданного значения фазы при следующем синхронизирующем импульсе после инициализации.

16. Устройство по любому из пп. 12-15, отличающееся тем, что фазы последующих сигналов осциллятора по меньшей мере для одного смесителя (18, 18', 18", 18"', 20, 20', 20", 20"') соответственно в одном из трактов (26, 26', 26", 26"') измерения сигналов схемного анализатора (6) инициализированы когерентным по фазе способом по отношению к фазе сигнала возбуждения.

17. Устройство по пп. 12-15, отличающееся тем, что реализованный аналоговым или цифровым способом генератор (23, 23', 23", 23"', 24, 24', 24", 24"') сигналов для генерирования каждого сигнала осциллятора для каждого смесителя (18, 18', 18", 18"', 20, 20', 20", 20"') выполнен в каждом тракте (26, 26', 26", 26"') измерения сигнала.

18. Устройство по п. 17, отличающееся тем, что в каждом тракте (26, 26', 26", 26"') измерения сигнала каждого реализованного аналоговым и/или цифровым способом генератора (23, 23', 23", 23"', 24, 24', 24", 24"') сигналов, выполненного с возможностью генерирования сигнала осциллятора для смесителя (18, 18', 18", 18"', 20, 20', 20", 20"'), предусмотрен буфер для хранения значений фазы синусоидального сигнала, эквидистантно разнесенного по времени.

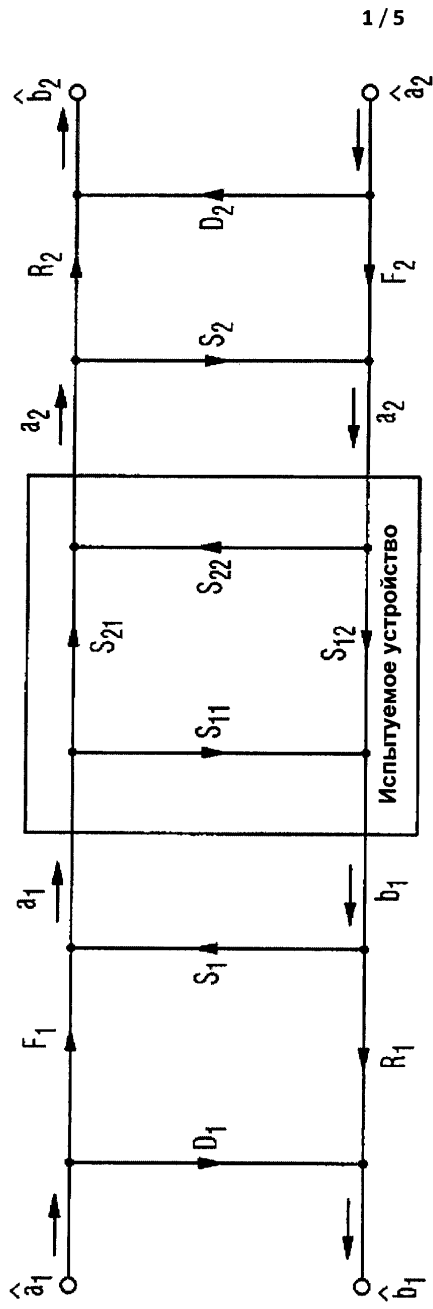
19. Устройство по п. 17, отличающееся тем, что каждый реализованный аналоговым и/или цифровым способом генератор (23, 23', 23", 23"', 24, 24', 24", 24"') сигналов, выполненный с возможностью генерирования сигналов осциллятора для смесителя (18, 18', 18", 18"', 20, 20', 20", 20"'), соединен в тракте (26, 26', 26", 26"') измерения сигнала с генератором (10) синхронизирующих импульсов для синхронизированного вывода значений фазы синусоидального сигнала, хранящихся в соответствующем буфере, и с блоком высвобождения (7) для инициализации соответствующего буфера со следующим после инициализации синхронизирующим импульсом.

20. Устройство по пп. 13-15, отличающееся тем, что соответственно цифроаналоговый преобразователь (11, 11') для цифроаналогового преобразования конечных дискретных выходных значений фазы, расположенных в соответствующем буфере (8, 8'), в соответствующий аналоговый сигнал подключен после буфера (8, 8') первого и второго генераторов (9, 9') сигналов, и соответственно схема фазовой синхронизации для конечного генерирования выходного сигнала возбуждения относительно локального сигнала осциллятора, зависящего от входного конечного аналогового сигнала, служащего опорным сигналом, подключена после соответствующего цифроаналогового преобразователя (11, 11').

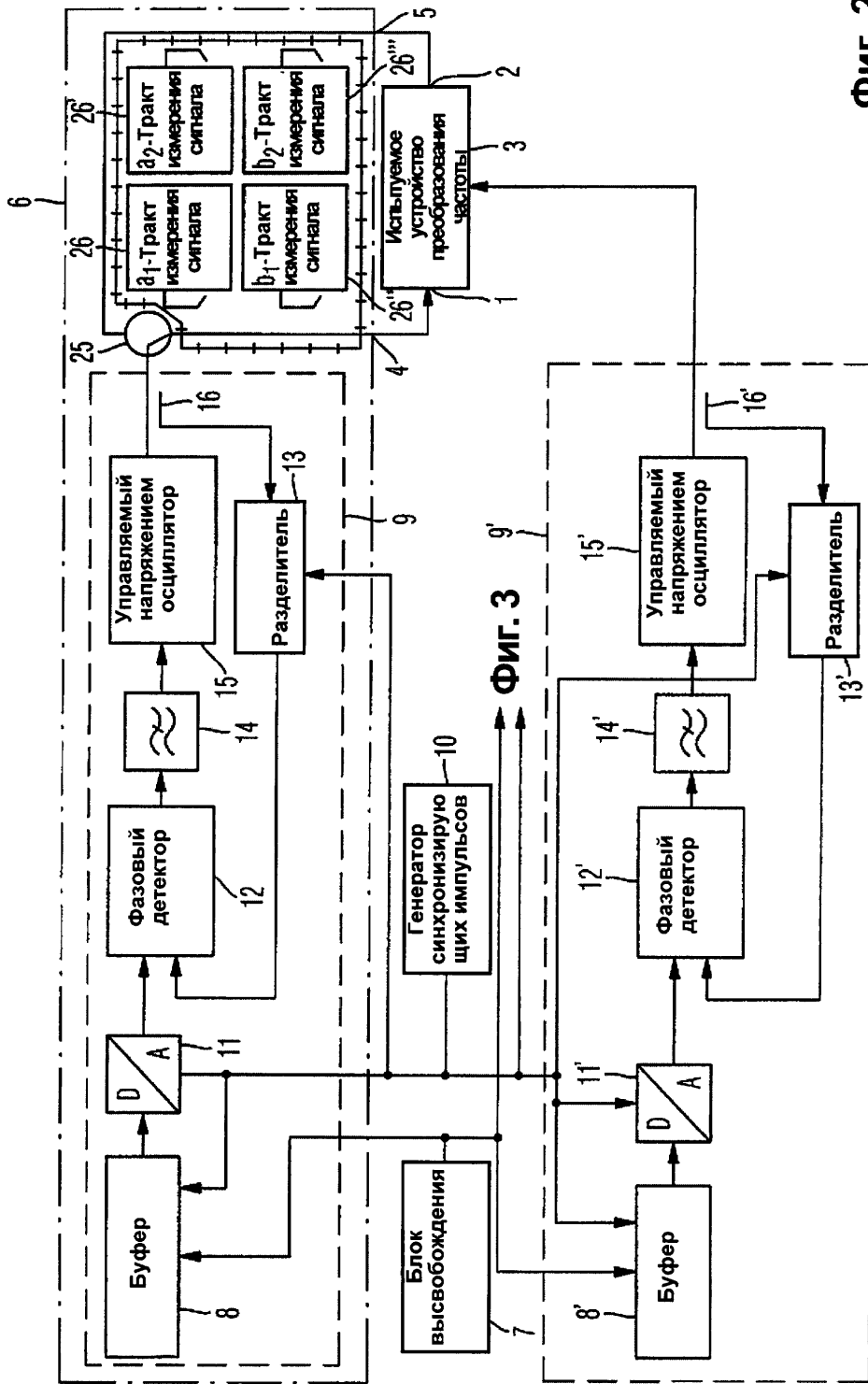
35

40

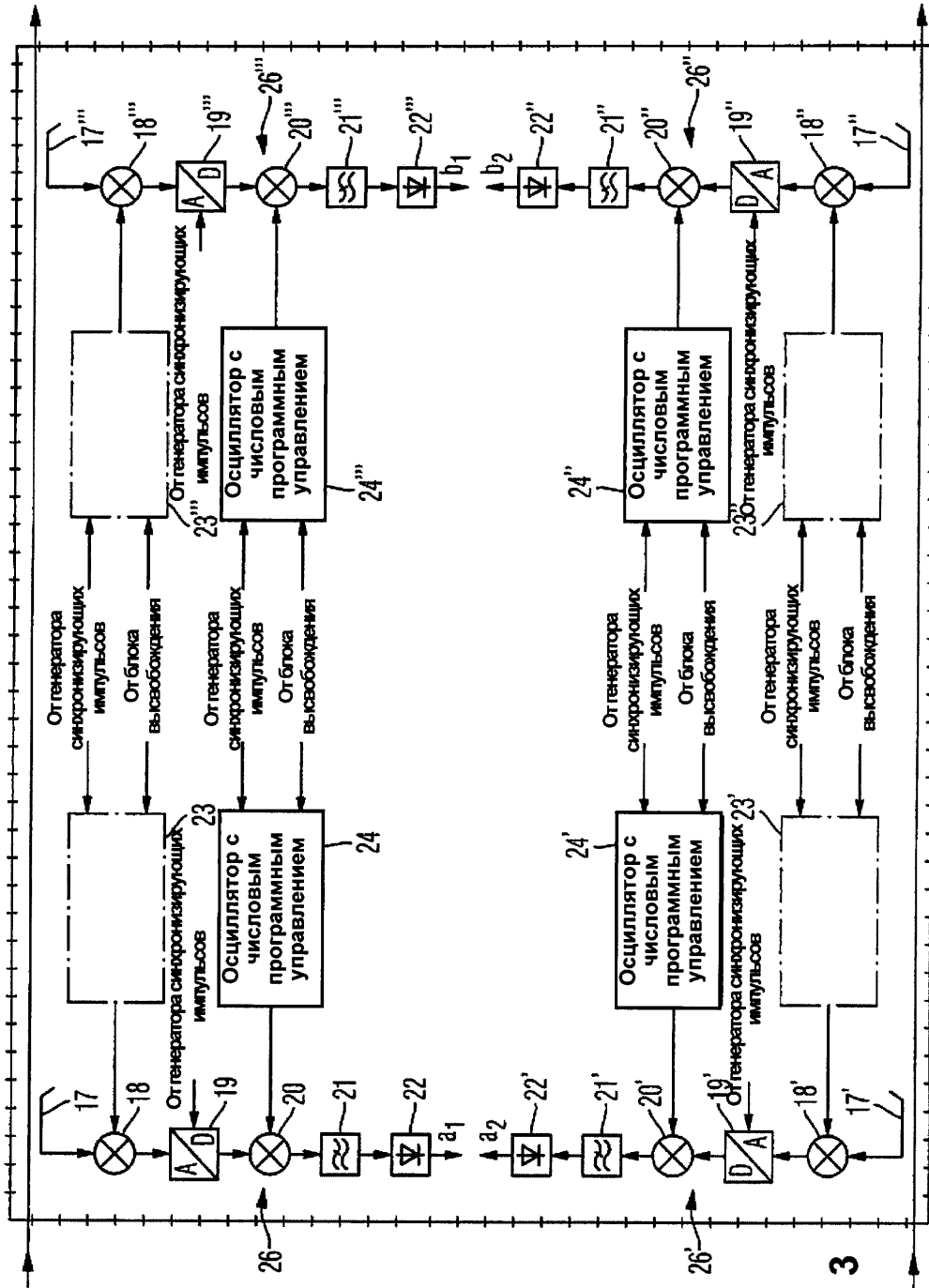
45



ФИГ. 1

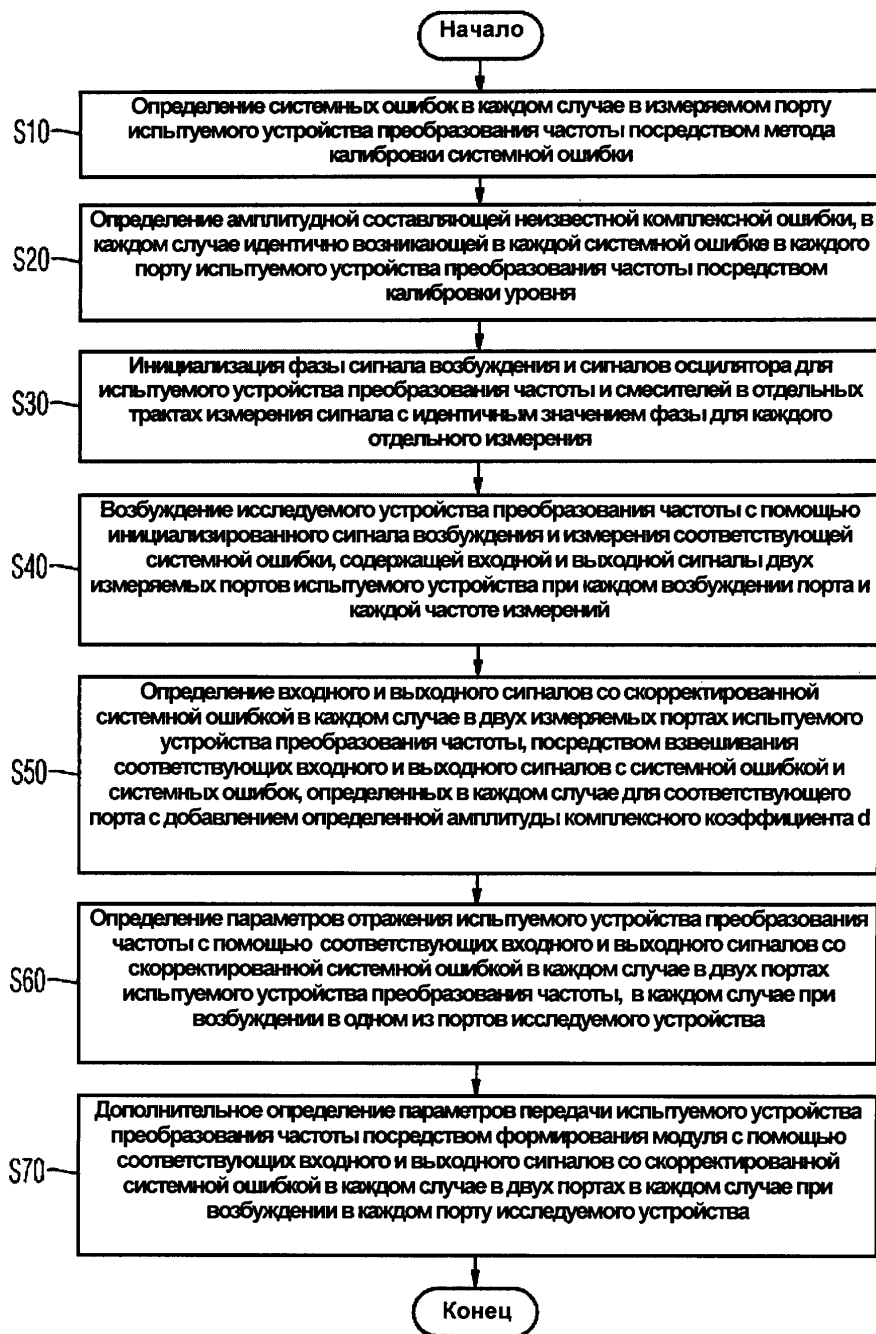


ФИГ. 2

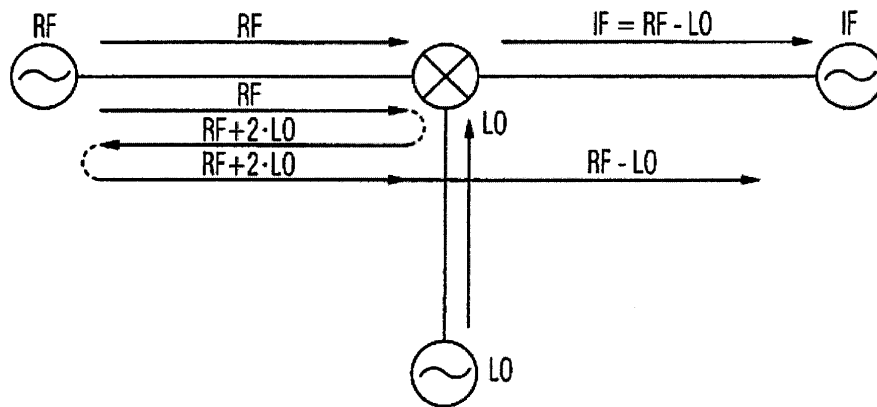


ФИГ. 3

4 / 5



Фиг. 4



Фиг. 5