



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013106594/28, 14.02.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.02.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.02.2013

(45) Опубликовано: 27.07.2014 Бюл. № 21

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 7415373 B2 19.08.2008. Коротков К.С. Методы определения комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ-устройств с преобразованием частоты, автореферат, 2002. RU 2377583 C1 27.12.2009. US 5434511 A 18.07.1995. US 6690722 B1 10.02.2004

Адрес для переписки:

350040, г.Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
ФГБОУ ВПО "Кубанский государственный
университет", отдел интеллектуальной
собственности

(72) Автор(ы):

Коротков Константин Станиславович (RU),
Левченко Антон Сергеевич (RU),
Мильченко Дмитрий Николаевич (RU),
Фролов Даниил Русланович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ "КУБАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"
(ФГБОУ ВПО "КубГУ") (RU)

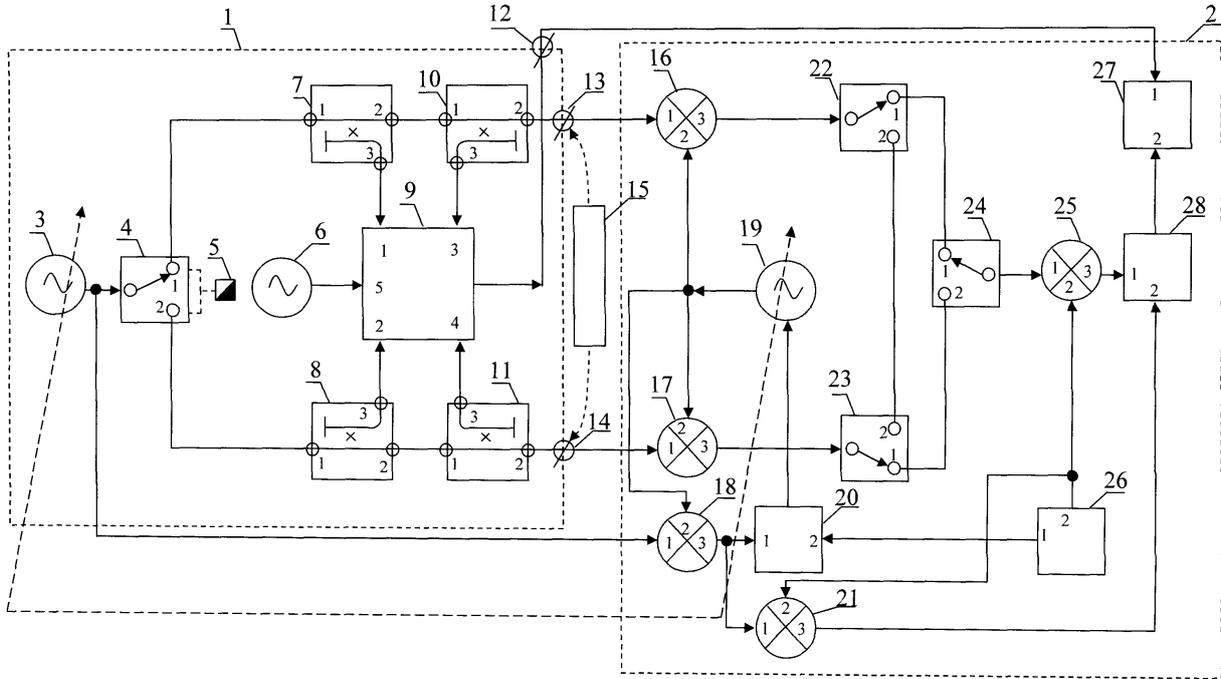
(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АБСОЛЮТНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ И ОТРАЖЕНИЯ СВЧ-УСТРОЙСТВ С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиоизмерений и может быть использовано при измерении абсолютных комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ-устройств с преобразованием частоты (СВЧ-смесителей). Устройство для измерения абсолютных комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ-устройств с преобразованием частоты, содержащее испытуемый СВЧ-четырёхполосник, измеритель параметров четырёхполосников СВЧ, состоящий из генератора испытательных СВЧ-сигналов, первого переключателя и связанной с ним согласованной нагрузки, СВЧ-гетеродина, первого, второго, третьего, четвертого направленных ответвителей, векторного вольтметра с выходным контактом, первого и второго портов, испытуемого СВЧ-смесителя,

опорного СВЧ-смесителя, СВЧ-генератора. В устройство дополнительно введены смеситель фазовой автоподстройки частоты, фазовый детектор, первый и второй смесители промежуточной частоты, второй, третий, четвертый переключатели, генератор опорных частот, компаратор и компьютер, образующие вместе с испытуемым СВЧ-смесителем, опорным СВЧ-смесителем и СВЧ-генератором двухканальный супергетеродинный приемник. Связи вновь введенных элементов между собой и общими с прототипом элементами в совокупности образуют устройство, позволяющее определять абсолютные комплексные коэффициенты передачи и отражения испытуемого СВЧ-смесителя без выполнения переключений и переподсоединений в СВЧ-трактах. Технический результат заключается в

повышении точности измерений. 1 з.п. ф-лы, 1 ил.



RU 2524049 C1

RU 2524049 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013106594/28, 14.02.2013

(24) Effective date for property rights:
14.02.2013

Priority:

(22) Date of filing: 14.02.2013

(45) Date of publication: 27.07.2014 Bull. № 21

Mail address:

350040, g.Krasnodar, ul. Stavropol'skaja, 149,
FGBOU VPO "Kubanskiy gosudarstvennyj
universitet", otdel intellektual'noj sobstvennosti

(72) Inventor(s):

**Korotkov Konstantin Stanislavovich (RU),
Levchenko Anton Sergeevich (RU),
Mil'chenko Dmitriy Nikolaevich (RU),
Frolov Daniil Ruslanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**FEDERAL'NOE GOSUDARSTVENNOE
BJuDZhetNOE OBRAZOVATEL'NOE
UChREZhdENIE VYSShEGO
PROFESSIONAL'NOGO OBRAZOVANIJa
"KUBANSKIJ GOSUDARSTVENNYJ
UNIVERSITET" (FGBOU VPO "KubGU") (RU)**

(54) **DEVICE FOR MEASURING ABSOLUTE COMPLEX TRANSMISSION AND REFLECTION COEFFICIENTS OF MICROWAVE DEVICES WITH FREQUENCY CONVERSION**

(57) Abstract:

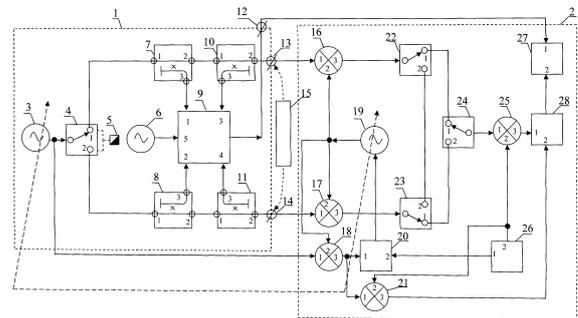
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: device for measuring absolute complex transmission and reflection coefficients of microwave devices with frequency conversion comprises a test microwave four-terminal device, a device for measuring parameters of microwave four-terminal devices which consists of a microwave test signal generator, a first switch and a matched load connected to said switch, a microwave heterodyne, first, second, third and fourth directional couplers, a vector voltmeter with an output contact, first and second ports, a test microwave mixer, a reference microwave mixer and a microwave generator. The device further includes a phase-locked-loop frequency control mixer, first and second intermediate frequency mixers, second, third and fourth switches, a reference frequency generator, a comparator and a computer, which, along with the test microwave mixer, the reference microwave mixer

and the microwave generator, form a double-channel superheterodyne receiver. Connections of the new elements with each other and elements common with the prototype together form a device which enables to determine absolute complex transmission and reflection coefficients of a test microwave mixer without switching and reconnections in microwave circuits.

EFFECT: high measurement accuracy.

2 cl, 1 dwg



RU 2 524 049 C1

RU 2 524 049 C1

Изобретение относится к области радиоизмерений и может быть использовано при измерении абсолютных комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ-устройств с преобразованием частоты (СВЧ-смесителей).

Известны устройства для измерения комплексных (модуля и фазы) коэффициентов передачи и отражения четырехполюсников СВЧ, в зарубежной литературе именуемые векторными анализаторами цепей, которые в дальнейшем будем называть измерителями параметров четырехполюсников СВЧ. (Абубакиров Б.А., Гудков К.Г., Нечаев Э.В. Измерение параметров радиотехнических цепей. М.: Радио и связь, 1984 г., с.118, рис. 3.49). Измеритель параметров четырехполюсников СВЧ состоит из генератора испытательных СВЧ-сигналов, когерентного с ним СВЧ-гетеродина, двух рефлектометров, каждый из которых содержит пару направленных ответвителей, включенных встречно. А также векторного вольтметра, имеющего четыре входа, на каждый из которых подаются сигналы со вторичных каналов направленных ответвителей, преобразованные в промежуточную частоту, образованную как разность между частотой испытательного СВЧ-сигнала и сигнала СВЧ-гетеродина. Измеритель параметров четырехполюсников СВЧ состоит из двух отдельных трактов СВЧ, в каждый из которых включен рефлектометр, что позволяет измерять все четыре комплексных параметра матрицы рассеяния испытуемого четырехполюсника.

Сами по себе такие устройства не позволяют измерять комплексные параметры СВЧ-смесителей, а зачастую являются составной частью сложного устройства для измерения таких параметров. Особые трудности вызывают измерения истинного сдвига фаз, вносимого СВЧ-смесителем в сигнал промежуточной частоты в процессе гетеродинного преобразования его входного СВЧ-сигнала, так как эти сигналы лежат в разных диапазонах частот и, следовательно, измерение их сдвига фаз обычными способами невозможно.

Известно устройство для определения коэффициентов передачи преобразователей частоты, использующее обратное гетеродинное преобразование частоты. Данное устройство состоит из измерителя параметров четырехполюсников СВЧ, испытуемого и двух опорных смесителей. С его помощью измеряют суммарный коэффициент передачи и сдвиг фаз испытуемого и первого опорного СВЧ-смесителей, испытуемого и второго опорного СВЧ-смесителей, первого и второго опорного СВЧ-смесителей. Затем решают систему из трех уравнений и вычисляют абсолютные коэффициент передачи и сдвиг фаз испытуемого СВЧ-смесителя (пат. РФ №2029966, МПК G01R 27/28, пат. США №5,937,006, МПК H04B 3/46, пат. США №6,064,694 МПК, H04B 3/46).

Известно устройство для измерения амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик четырехполюсников СВЧ с преобразованием частоты, состоящее из измерительного фазового моста, в который входят испытуемый и один опорный смесители. Данное устройство позволяет определять общий коэффициент передачи и сдвиг фаз испытуемого и опорного СВЧ-смесителей, включенных сначала последовательно, а затем параллельно. Далее решают систему из двух уравнений и вычисляют абсолютные коэффициент передачи и сдвиг фаз испытуемого СВЧ-смесителя (а.с. СССР №1475347, МПК G01R 27/28, а.с. СССР №1538149, МПК G01R 27/28).

Однако описанные выше устройства предполагают выполнение как минимум шести соединений и разъединений в СВЧ-трактах при проведении процедуры измерений, что вносит в измерения существенные погрешности из-за неидентичности механических соединений СВЧ-трактов. Особенно сильно данные погрешности влияют на измерение сдвигов фаз.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому устройству является

описанное в пат. США №7,415,373 МПК G01R 23/00, фиг.1, устройство для измерения параметров преобразователей частоты, состоящее из измерителя параметров четырехполосников СВЧ, испытуемого и опорного СВЧ-смесителя и СВЧ-генератора. В данном устройстве испытываемый и опорный СВЧ-смесители, включенные последовательно, присоединены к портам измерителя параметров четырехполосников СВЧ и имеют общий гетеродин, роль которого выполняет СВЧ-генератор. Такое соединение, при условии, что известны параметры опорного СВЧ-смесителя, позволяет измерять комплексные коэффициенты передачи и отражения испытываемого СВЧ-смесителя без каких-либо переключений в СВЧ-трактах.

Однако данное устройство имеет ограниченные возможности, т.к. позволяет измерять лишь относительные комплексные параметры испытываемого СВЧ-смесителя. Им не измерить истинные (абсолютные) комплексные коэффициенты передачи и отражения испытываемого СВЧ-смесителя, включая его абсолютный истинный сдвиг фаз.

Техническим результатом является повышение точности измерения комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ.

Для достижения технического результата предлагается устройство для измерения абсолютных комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ-устройств с преобразованием частоты, содержащее испытываемый СВЧ-четыреполосник, измеритель параметров четырехполосников СВЧ, состоящий из генератора испытательных СВЧ-сигналов, первого переключателя и связанной с ним согласованной нагрузки, СВЧ-гетеродина, первого, второго, третьего, четвертого направленных ответвителей, векторного вольтметра с выходным контактом, первого и второго портов, испытываемого СВЧ-смесителя, опорного СВЧ-смесителя, СВЧ-генератора. В это устройство дополнительно введены смеситель фазовой автоподстройки частоты, фазовый детектор, первый и второй смесители промежуточной частоты, второй, третий, четвертый переключатели, генератор опорных частот, компаратор и компьютер, образующие вместе с испытываемым СВЧ-смесителем, опорным СВЧ-смесителем и СВЧ-генератором двухканальный супергетеродинный приемник. Выход генератора испытательных СВЧ-сигналов соединен с подвижным контактом первого переключателя, первый неподвижный контакт которого соединен со входом основного канала первого направленного ответвителя, выход которого соединен со входом основного канала третьего направленного ответвителя, выход которого соединен с первым портом, который соединен с первым входом испытываемого СВЧ-смесителя. Первый вход опорного СВЧ-смесителя соединен со вторым портом, соединенным с выходом основного канала четвертого направленного ответвителя, вход которого соединен с выходом основного канала второго направленного ответвителя, вход которого соединен со вторым неподвижным контактом первого переключателя. В зависимости от положения подвижного контакта первого переключателя к его неподвижным контактам подсоединяется согласованная нагрузка. Выходы вторичных каналов первого, второго, третьего и четвертого направленных ответвителей соединены с первым, вторым, третьим и четвертым входами векторного вольтметра соответственно, пятый вход которого соединен с СВЧ-гетеродином, при этом вторые входы испытываемого и опорного СВЧ-смесителей одновременно соединены с выходом СВЧ-генератора. Выход векторного вольтметра соединен с выходным контактом. Выход испытываемого СВЧ-смесителя соединен с подвижным контактом второго переключателя, первый неподвижный контакт которого соединен с первым неподвижным контактом четвертого переключателя, второй неподвижный контакт которого соединен с первым неподвижным контактом третьего переключателя, подвижный контакт которого

соединен с выходом опорного СВЧ-смесителя. Второй вход опорного СВЧ-смесителя соединен со вторым входом испытуемого СВЧ-смесителя, выходом СВЧ-генератора и со вторым входом смесителя фазовой автоподстройки частоты, первый вход которого соединен с выходом генератора испытательных СВЧ-сигналов. Выход смесителя фазовой автоподстройки частоты соединен с первым входом фазового детектора и первым входом первого смесителя промежуточной частоты, выход которого соединен со вторым входом компаратора, первый вход которого соединен с выходом второго смесителя промежуточной частоты, первый вход которого соединен с подвижным контактом четвертого переключателя, а второй его вход соединен со вторым выходом генератора опорных частот и вторым входом первого смесителя промежуточной частоты. Первый выход генератора опорных частот соединен со вторым входом фазового детектора, выход которого соединен со входом СВЧ-генератора, вторые неподвижные контакты второго и третьего переключателей соединены между собой, выход компаратора соединен со вторым входом компьютера, первый вход которого соединен с выходным контактом векторного вольтметра. В зависимости от типа проводимых измерений возможно от первого и второго портов отсоединять двухканальный супергетеродинный приемник, а вместо него присоединять испытуемый СВЧ-четырёхполюсник.

Первые и вторые разъемы всех четырех направленных ответвителей являются в зависимости от положения подвижного контакта первого переключателя входами либо выходами их основных каналов.

Отличительными признаками предлагаемого устройства для измерения абсолютных комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ-устройств с преобразованием частоты являются введенные в него: смеситель фазовой автоподстройки частоты, фазовый детектор, генератор опорных частот, второго, третьего и четвертого переключателей, первого и второго смесителей промежуточной частоты, компаратор и компьютер. Связи вновь введенных элементов между собой и общими с прототипом элементами в совокупности образуют устройство, позволяющее определять абсолютные комплексные коэффициенты передачи и отражения испытуемого СВЧ-смесителя без выполнения переключений и переподсоединений в СВЧ-трактах, за счет чего увеличивается точность измерений.

На фиг. представлена блок-схема предлагаемого устройства для измерения абсолютных комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ-устройств с преобразованием частоты.

Устройство для измерения параметров преобразователей частоты состоит из измерителя параметров четырехполюсников СВЧ 1 и двухканального супергетеродинного приемника 2. В состав измерителя параметров четырехполюсников СВЧ 1 входят: генератор испытательных СВЧ-сигналов 3, первый переключатель 4 и связанная с ним согласованная нагрузка 5, СВЧ-гетеродин 6, первый направленный ответвитель 7, второй направленный ответвитель 8, векторный вольтметр 9, третий направленный ответвитель 10, четвертый направленный ответвитель 11, выходной контакт 12 векторного вольтметра 9, первый порт 13, второй порт 14. Между измерителем параметров четырехполюсников 1 и двухканальным супергетеродинным приемником 2 расположен испытуемый СВЧ-четырёхполюсник 15. В состав двухканального супергетеродинного приемника 2 входят испытуемый СВЧ-смеситель 16, опорный СВЧ-смеситель 17, смеситель фазовой автоподстройки частоты 18, СВЧ-генератор 19, фазовый детектор 20, первый смеситель промежуточной частоты 21, второй переключатель 22, третий переключатель 23, четвертый переключатель 24,

второй смеситель промежуточной частоты 25, генератор опорных частот 26, компьютер 27, компаратор 28.

Выход генератора испытательных СВЧ-сигналов 3 соединен с подвижным контактом первого переключателя 4, первый неподвижный контакт которого соединен со входом
5 один основного канала первого направленного ответвителя 7, выход два которого соединен со входом один основного канала третьего направленного ответвителя 10, выход два которого соединен с первым портом 13. Второй неподвижный контакт первого переключателя 4 соединен со входом один основного канала направленного
10 ответвителя 8, выход два которого соединен со входом один основного канала четвертого направленного ответвителя 11, выход два которого соединен со вторым портом 14. Выходы три вторичных каналов первого 7, второго 8, третьего 10, четвертого 11 направленных ответвителей соединены, соответственно, с первым, вторым, третьим и четвертым входами векторного вольтметра 9, пятый 5 вход которого соединен с выходом СВЧ-гетеродина 6. Выход векторного вольтметра 9 соединен с выходным
15 контактом 12. Первый порт 13 двухканального супергетеродинного приемника 2 соединен с первым входом испытуемого СВЧ-смесителя 16, выход три которого соединен с подвижным контактом второго переключателя 22, первый неподвижный контакт которого соединен с первым неподвижным контактом четвертого переключателя 24. Второй неподвижный контакт второго переключателя 22 соединен со вторым
20 неподвижным контактом третьего переключателя 23, подвижный контакт которого соединен с выходом три опорного СВЧ смесителя 17, первый вход которого соединен со вторым портом 14. Второй вход опорного СВЧ смесителя 17 соединен со вторым входом испытуемого СВЧ смесителя 16, выходом СВЧ-генератора 19 и вторым входом смесителя фазовой автоподстройки частоты 18, первый вход которого соединен с
25 выходом генератора испытательных СВЧ-сигналов 3. Выход три смесителя фазовой автоподстройки частоты 18 соединен с первым входом фазового детектора 20 и первым входом первого смесителя промежуточной частоты 21, выход три которого соединен со вторым входом компаратора 28, первый вход которого соединен с выходом три второго смесителя промежуточной частоты 25, второй вход которого соединен со
30 вторым выходом генератора опорных частот 26 и вторым входом первого смесителя промежуточной частоты 21. Первый вход смесителя промежуточной частоты 25 соединен с подвижным контактом четвертого переключателя 24. Первый выход генератора опорных частот 26 соединен со вторым входом фазового детектора 20, выход которого соединен со входом СВЧ-генератора 19. Выход компаратора 28 соединен со вторым
35 входом компьютера 27, первый вход которого соединен с выходом векторного вольтметра 9 через выходной контакт 12.

Смеситель фазовой автоподстройки частоты 18, СВЧ-генератор 19, фазовый детектор 20, генератор опорных частот 26, связанные между собой так, как это описано выше, образуют систему фазовой автоподстройки частоты.

40 Устройство для измерения абсолютных комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ-устройств с преобразованием частоты работает следующим образом.

Перед началом измерений проводят калибровку измерителя параметров СВЧ четырехполюсников 1 согласно одной из существующих методик, например (Agilent Application Note 1287-3 "Applying Error Correction to Network Analyzer Measurements").

45 После калибровки измеряют произведение коэффициентов передачи и сумму фазовых сдвигов последовательно включенных испытуемого 16 и опорного 17 СВЧ-смесителей следующим образом. Испытательный СВЧ-сигнал с частотой f_1 от генератора испытательных СВЧ-сигналов 3 через переключатель 4 в первом положении его

подвижного контакта, через основные каналы направленных ответвителей 7 и 10 и первый порт 13 подают на первый (сигнальный) вход испытуемого смесителя 16, на второй (гетеродинный) вход которого поступает СВЧ-сигнал с частотой f_2 от СВЧ-генератора 19, выполняющего функцию гетеродина. Образованный в результате гетеродинного преобразования частоты сигнал разностной первой промежуточной частоты $f_{ПЧ1}=f_1-f_2$ в испытуемом СВЧ-смесителе 16 с его выхода три через переключатели 22 и 23 во втором положении их подвижных контактов, подают на выход три используемый как вход, опорного СВЧ-смесителя 17. В опорном СВЧ-смесителе 17, в результате сложения сигнала первой промежуточной частоты $f_{ПЧ1}$ с сигналом от СВЧ-генератора 19 с частотой f_2 , поступающим на второй вход опорного СВЧ-смесителя 17, получают сигнал, равный по частоте испытуемому СВЧ-сигналу f_1 , где $f_1=f_{ПЧ1}+f_2=(f_1-f_2)+f_2$ на первом входе, используемом как выход СВЧ-смесителя 17. Этот сигнал с частотой f_1 подают через второй порт 14 и основные каналы направленных ответвителей 11 и 8 на второй неподвижный контакт переключателя 4, к которому присоединяют согласованную нагрузку 5. На основании того, что испытуемый СВЧ-смеситель 16, имеющий фазовый сдвиг φ_{16} , и опорный СВЧ-смеситель 17, имеющий фазовый сдвиг φ_{17} , соединены последовательно, их фазовые сдвиги складываются. В результате чего получают общий фазовый сдвиг $\Sigma\varphi=\varphi_{16}+\varphi_{17}$ между первым 13 и вторым 14 портами измерителя параметров четырехполосников СВЧ 1. Аналогично перемножают коэффициенты передачи испытуемого СВЧ-смесителя 16, K_{16} и опорного СВЧ-смесителя 17, K_{17} . В результате этого получают общий коэффициент передачи $\Sigma K=K_{16}K_{17}$ (общие потери преобразования). Величину общего сдвига фаз $\Sigma\varphi$ и общих потерь преобразования ΣK между первым 13 и вторым 14 портами регистрируют по разности сдвигов фаз и отношению амплитуд сигналов, поступающих со вторичных каналов первого направленного ответвителя 7 и четвертого направленного ответвителя 11 на первый и четвертый векторного вольтметра 9. Результаты измерений общего коэффициента передачи ΣK и общего сдвига фаз $\Sigma\varphi$ с выхода векторного вольтметра 9 через контакт 12 подают на первый вход компьютера 27, где их фиксируют (записывают в его память).

Величину первой промежуточной частоты $f_{ПЧ1}$ в процессе измерений поддерживают постоянной с помощью системы фазовой автоподстройки частоты. Величина первой переменной промежуточной частоты $f_{ПЧ1}$ задается с помощью генератора опорных частот 26 и может быть выбрана любой в пределах рабочего диапазона генератора опорных частот 26, который в свою очередь определяется условиями эксплуатации. Генератор опорных частот 26 одновременно с сигналом первой переменной промежуточной частоты $f_{ПЧ1}$ вырабатывает сигнал второй промежуточной частоты $f_{ПЧ2}$, постоянно сдвинутый относительно сигнала первой промежуточной частоты на величину третьей постоянной промежуточной частоты $f_{ПЧ3}$, когерентной с сигналом первой и второй промежуточной частоты и равной $f_{ПЧ3}=f_{ПЧ1}-f_{ПЧ2}$, величина которой стабилизирована кварцевым резонатором (на фиг. не показано), являющимся неотъемлемой частью генератора опорных частот 26. Система фазовой автоподстройки частоты работает следующим образом. На первый вход смесителя фазовой автоподстройки частоты 18 подают часть испытательного СВЧ-сигнала с частотой f_1 от генератора испытательных СВЧ-сигналов 3, а на второй вход этого смесителя 18

поступает сигнал с выхода генератора СВЧ-сигналов 19. Сигнал с выхода три смесителя фазовой автоподстройки частоты 18, равный разности частот $f_1 - f_2$ генератора испытательных СВЧ-сигналов 3 и генератора СВЧ 19 подают на первый вход фазового детектора 20, на второй вход которого поступает сигнал с первого выхода генератора опорных частот 26. Сигнал ошибки с выхода фазового детектора 20 подают на вход СВЧ-генератора 19, в результате чего его частота f_2 следует за изменениями частоты f_1 испытательного СВЧ-сигнала генератора испытательных СВЧ-сигналов 3 так, что разность между частотами f_1 и f_2 с точностью до фазы равна выбранной первой промежуточной частоте $f_{ПЧ1}$. Даже при качании генератора испытательных СВЧ-сигналов 3 в диапазоне частот разность между его частотой и частотой СВЧ-генератора 19 благодаря системе фазовой автоподстройки частоты будет оставаться постоянной и равной выбранной первой промежуточной частоте $f_{ПЧ1}$.

Затем определяют отношение коэффициентов передачи и разность фазовых сдвигов испытуемого 16 и опорного 17 СВЧ-смесителей. Для этого измерения производят путем сравнения амплитуды и фазы испытательного сигнала с выхода три второго смесителя промежуточной частоты 25, образованного в результате двойного преобразования частоты испытательного СВЧ-сигнала сначала от испытуемого 16, а затем опорного 17 СВЧ-смесителей, с опорным сигналом третьей промежуточной частоты $f_{ПЧ3}$ в компараторе 28, с последующим вычислением отношения коэффициентов передачи и разности фазовых сдвигов испытуемого 16 и опорного 17 СВЧ-смесителей в компьютере 27.

Двойное преобразование частоты применяют для того, чтобы сигнал первой переменной промежуточной частоты $f_{ПЧ1}$ преобразовать в сигнал третьей постоянной промежуточной частоты $f_{ПЧ3}$ и сравнение сдвигов фаз и разности амплитуд, с целью уменьшения погрешности измерений, проводить на постоянной, относительно низкой промежуточной частоте. Опорный сигнал третьей промежуточной частоты $f_{ПЧ3}$ получают из испытательного СВЧ-сигнала, с выхода генератора испытательных СВЧ-сигналов 3, путем двойного преобразования его частоты, сначала в первую промежуточную частоту $f_{ПЧ1}$ в смесителе фазовой автоподстройки частоты 18, а затем в третью промежуточную частоту $f_{ПЧ3}$ в первом смесителе промежуточной частоты 21, сигнал которой подают на второй вход компаратора 28.

Испытательный сигнал первой переменной промежуточной частоты $f_{ПЧ1}$ подают сначала с выхода три испытуемого СВЧ-смесителя 16 на первый вход второго смесителя промежуточной частоты 25 в первом положении подвижного контакта третьего переключателя 22 и первом положении подвижного контакта четвертого переключателя 24, при измерении коэффициента передачи и сдвига фаз испытуемого СВЧ-смесителя 16. Затем испытательный сигнал первой переменной промежуточной частоты $f_{ПЧ1}$ с выхода три опорного СВЧ-смесителя 17 на первый вход второго смесителя промежуточной частоты 25, в первом положении подвижного контакта третьего переключателя 23 и втором положении подвижного контакта четвертого переключателя 24, при измерении коэффициента передачи и сдвига фаз опорного СВЧ-смесителя 17. Подвижные контакты второго 22 и третьего 23 переключателей переводят в первое положение. Учитывая, что после калибровки измерителя комплексных параметров СВЧ четырехполосников 1 уровни амплитуд и разности фаз между его портами 13 и 14 равны между собой приписывают порту 13 амплитуду сигнала U_{13} , а порту 14

амплитуду сигнала U_{14} и $U_{13}=U_{14}$. Обозначают модуль коэффициента передачи испытываемого СВЧ-смесителя K_{16} , его истинный сдвиг фаз φ_{16} , модуль коэффициента передачи опорного СВЧ-смесителя K_{17} , его истинный сдвиг фаз φ_{17} , модуль

5 коэффициента передачи смесителя промежуточной частоты K_{25} , а его истинный сдвиг фаз φ_{25} . Тогда амплитуда сигнала от порта 13, пришедшая к первому входу компаратора 28 в первом положении подвижного контакта переключателя 24, будет составлять U_{13} ($K_{16}K_{25}$), а сдвиг фаз $\varphi_{16}+\varphi_{25}$. Аналогично амплитуда сигнала от порта 14, пришедшая

10 к первому входу компаратора 28 во втором положении подвижного контакта переключателя 24, будет составлять $U_{14}(K_{17}K_{25})$, а сдвиг фаз $\varphi_{17}+\varphi_{25}$. В компараторе 28 сравнивают по амплитуде и фазе сигналы, поступающие отдельно от первого порта 13 и отдельно от второго порта 14, на первый вход компаратора 28, преобразованные во втором смесителе промежуточной частоты 25 в третью промежуточную частоту

15 $f_{ПЧ3}$ с постоянным по амплитуде и фазе опорным сигналом третьей промежуточной частоты $f_{ПЧ3}$, подаваемым с выхода три первого смесителя промежуточной частоты 21 на второй вход компаратора 28. В результате в компараторе 28 получают отношение произведения амплитуды сигнала первого порта 13 U_{13} и коэффициентов передачи

20 испытываемого смесителя 16 K_{16} и второго смесителя промежуточной частоты 25 K_{25} к постоянному опорному уровню сигнала $U_{ПЧ3}$ третьей промежуточной частоты $f_{ПЧ3}$,

$$\frac{U_{13}K_{16}K_{25}}{U_{ПЧ3}}; \text{ отношение произведения амплитуды сигнала второго порта 14 } U_{14} \text{ и}$$

25 коэффициентов передачи опорного смесителя 17 K_{17} и второго смесителя промежуточной частоты 25 K_{25} к постоянному опорному уровню сигнала $U_{ПЧ3}$ третьей промежуточной частоты $f_{ПЧ3}$, $\frac{U_{14}K_{17}K_{25}}{U_{ПЧ3}}$. Для сдвигов фаз в компараторе 28 получают значения

30 разности между суммой сдвигов фаз испытываемого смесителя 16 φ_{16} и второго смесителя промежуточной частоты φ_{25} и фазой опорного сигнала третьей промежуточной частоты $\varphi_{ПЧ3}$, $(\varphi_{16}+\varphi_{25})-\varphi_{ПЧ3}$. Аналогично получают значения разности между суммой сдвигов фаз опорного смесителя 17 φ_{17} и второго смесителя промежуточной частоты φ_{25} и фазой опорного сигнала третьей промежуточной частоты $\varphi_{ПЧ3}$, $(\varphi_{17}+\varphi_{25})-\varphi_{ПЧ3}$.

Полученные значения $\frac{U_{13}K_{16}K_{25}}{U_{ПЧ3}}$, $\frac{U_{14}K_{17}K_{25}}{U_{ПЧ3}}$, $(\varphi_{16}+\varphi_{25})-\varphi_{ПЧ3}$, $(\varphi_{17}+\varphi_{25})-\varphi_{ПЧ3}$ с

40 выхода компаратора 28 поступают на второй вход компьютера 27 и фиксируются в его памяти. В компьютере 27 вычисляют отношение коэффициентов передачи испытываемого смесителя 16 и опорного смесителя 17 (учитывая, что $U_{13}=U_{14}$):

$$\frac{\frac{U_{13}K_{16}K_{25}}{U_{ПЧ3}}}{\frac{U_{13}K_{17}K_{25}}{U_{ПЧ3}}} = \frac{K_{16}}{K_{17}} = \Delta K$$

И разность сдвигов фаз между испытываемым 16 и опорным 17 смесителями:

$$((\varphi_{16} + \varphi_{25}) - \varphi_{ПЧ3}) - ((\varphi_{17} + \varphi_{25}) - \varphi_{ПЧ3}) = \varphi_{16} - \varphi_{17} = \Delta\varphi$$

Значения ΔK и $\Delta \varphi$ фиксируются в памяти компьютера 27.

После измерения суммы и разности коэффициентов передачи и сдвигов фаз испытываемого 16 и опорного 17 СВЧ-смесителей вычисляют абсолютные коэффициенты передачи и фазовые сдвиги испытываемого СВЧ-смесителя 16. Расчеты производят следующим образом.

В памяти компьютера 27 имеется ранее измеренное произведение коэффициентов передачи $\Sigma K = K_{16}K_{17}$ в результате последовательного включения испытываемого 16 и

опорного 17 СВЧ-смесителей. А также отношение коэффициентов передачи $\frac{K_{16}}{K_{17}} = \Delta K$

, полученное в результате параллельных измерений испытываемого 16 и опорного 17 СВЧ-смесителей. В компьютере 27 решается система уравнений:

$$\begin{cases} K_{16}K_{17} = \Sigma K \\ \frac{K_{16}}{K_{17}} = \Delta K \end{cases}$$

Находят действительные значения модулей коэффициентов передачи испытываемого и опорного смесителей соответственно:

$$K_{16} = \sqrt{\Delta K \Sigma K}, \quad K_{17} = \sqrt{\frac{\Sigma K}{\Delta K}}.$$

В памяти компьютера 27 имеется полученное в результате последовательного включения испытываемого 16 и опорного 17 СВЧ-смесителей значение суммы их сдвигов фаз $\varphi_{16} + \varphi_{17} = \Sigma \varphi$. А также значение разности их сдвигов фаз $\varphi_{16} - \varphi_{17} = \Delta \varphi$, полученное в результате параллельных измерений испытываемого 16 и опорного 17 СВЧ-смесителей. В компьютере 27 решается система уравнений:

$$\begin{cases} \varphi_{16} + \varphi_{17} = \Sigma \varphi \\ \varphi_{16} - \varphi_{17} = \Delta \varphi \end{cases}$$

Находят действительные значения фазового сдвига испытываемого 16 и опорного 17 СВЧ-смесителей соответственно:

$$\varphi_{16} = \frac{\Sigma \varphi + \Delta \varphi}{2}, \quad \varphi_{17} = \frac{\Sigma \varphi - \Delta \varphi}{2}.$$

Полученные абсолютные значения модуля и фазы комплексного коэффициента передачи испытываемого СВЧ-смесителя 16 выводятся на экран компьютера 27 для выбранной частотной точки рабочего диапазона генератора испытательных СВЧ-сигналов 3, на выбранной с помощью генератора опорных частот 20 первой промежуточной частоте $f_{ПЧ1}$ и в виде амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик этого СВЧ смесителя в панорамном режиме его испытаний, при автоматическом качании генератора испытательных СВЧ сигналов 3 в его рабочем диапазоне частот.

Для измерения в частотной точке комплексного коэффициента отражения испытываемого СВЧ-смесителя 16 в реальном рабочем режиме его эксплуатации с помощью векторного вольтметра 9 измеряют отношение амплитуд и разность фаз сигналов на его первом и третьем входах. С целью устранения влияния паразитных сигналов, возникающих в испытываемом СВЧ-смесителе, применяют преобразование частоты сигналов, поступающих на входы векторного вольтметра 9 с помощью СВЧ-

гетеродина 6.

Дополнительно измеритель параметров четырехполюсников СВЧ 1 позволяет определять и комплексные коэффициенты передачи и отражения испытываемых четырехполюсников СВЧ. Для этого от его портов 13 и 14 отсоединяется двухканальный супергетеродинный приемник 2, и к ним присоединяют испытываемый четырехполюсник СВЧ 15. Для определения S-параметров четырехполюсника СВЧ 15 применяют два рефлектометра, один из которых образован системой встречно включенных направленных ответвителей 7 и 10, а другой, аналогичный, системой встречно включенных направленных ответвителей 8 и 11, сигналы со вторичных каналов которых преобразуют в постоянную промежуточную частоту, получаемую как разность между частотами сигналов от генератора испытательных СВЧ-сигналов 3 и СВЧ-гетеродина в векторном вольтметре 9.

В положении 1 первого переключателя 4 при направлении подачи испытательного СВЧ-сигнала от порта 13 к порту 14 измеряют комплексные коэффициенты матрицы рассеяния испытываемого СВЧ четырехполюсника 14:S, как отношение сигналов на первом и третьем входах векторного вольтметра 9, S_{21} , как отношение сигналов на первом и четвертом входах векторного вольтметра 9.

В положении 2 первого переключателя 4 испытательный СВЧ-сигнал подают от порта 14 к порту 13 и измеряют комплексные коэффициенты матрицы рассеяния испытываемого СВЧ-четырёхполюсника, S_{22} как отношение сигналов на втором и четвертом входах и как отношение сигналов на втором и третьем входах векторного вольтметра 9.

На основании изложенного можно сделать вывод, что предлагаемое устройство обладает большей точностью измерения комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ-четырёхполюсников с преобразованием частоты по сравнению с прототипом. Оно позволяет измерять их абсолютные комплексные параметры без каких-либо переключений и переподсоединений в СВЧ-трактах.

Формула изобретения

1. Устройство для измерения абсолютных комплексных коэффициентов передачи и отражения СВЧ-устройств с преобразованием частоты, содержащее испытываемый СВЧ-четырёхполюсник, измеритель параметров четырехполюсников СВЧ, состоящий из генератора испытательных СВЧ-сигналов, первого переключателя, согласованной нагрузки, связанной с первым переключателем, СВЧ-гетеродина, первого, второго, третьего, четвертого направленных ответвителей, векторного вольтметра с выходным контактом, первого и второго портов, испытываемого СВЧ-смесителя, опорного СВЧ-смесителя, СВЧ-генератора, причем выход генератора испытательных СВЧ-сигналов соединен с подвижным контактом первого переключателя, первый неподвижный контакт которого соединен с входом основного канала первого направленного ответвителя, выход которого соединен с входом основного канала третьего направленного ответвителя, выход которого соединен с первым портом, который соединен с первым входом испытываемого СВЧ-смесителя, первый вход опорного СВЧ-смесителя соединен со вторым портом, соединенным с выходом основного канала четвертого направленного ответвителя, вход которого соединен с выходом основного канала второго направленного ответвителя, вход которого соединен со вторым неподвижным контактом первого переключателя, выходы вторичных каналов первого, второго, третьего и четвертого направленных ответвителей соединены с первым, вторым, третьим и четвертым входами векторного вольтметра соответственно, пятый

вход которого соединен с СВЧ-гетеродином, выход векторного вольтметра соединен с выходным контактом, при этом вторые входы испытуемого и опорного СВЧ-смесителей одновременно соединены с выходом СВЧ-генератора, первый переключатель связан с согласованной нагрузкой, отличающееся тем, что в него дополнительно введены
5 смеситель фазовой автоподстройки частоты, фазовый детектор, первый и второй смесители промежуточной частоты, второй, третий, четвертый переключатели, генератор опорных частот, компаратор и компьютер, образующие вместе с испытуемым СВЧ-смесителем, опорным СВЧ-смесителем и СВЧ-генератором двухканальный супергетеродинный приемник, при этом выход испытуемого СВЧ-смесителя соединен
10 с подвижным контактом второго переключателя, первый неподвижный контакт которого соединен с первым неподвижным контактом четвертого переключателя, второй неподвижный контакт которого соединен с первым неподвижным контактом третьего переключателя, подвижный контакт которого соединен с выходом опорного СВЧ-смесителя, второй вход опорного СВЧ-смесителя соединен со вторым входом
15 испытуемого СВЧ-смесителя, выходом СВЧ-генератора и вторым входом смесителя фазовой автоподстройки частоты, первый вход которого соединен с выходом генератора испытательных СВЧ-сигналов, выход смесителя фазовой автоподстройки частоты соединен с первым входом фазового детектора и первым входом первого смесителя промежуточной частоты, выход которого соединен со вторым входом компаратора,
20 первый вход которого соединен с выходом второго смесителя промежуточной частоты, первый вход которого соединен с подвижным контактом четвертого переключателя, а второй его вход соединен со вторым выходом генератора опорных частот и вторым входом первого смесителя промежуточной частоты, первый выход генератора опорных частот соединен со вторым входом фазового детектора, выход которого соединен со
25 входом СВЧ-генератора, вторые неподвижные контакты второго и третьего переключателей соединены между собой, выход компаратора соединен со вторым входом компьютера, первый вход которого соединен с выходным контактом векторного вольтметра.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что к первому и второму портам измерителя
30 параметров четырехполюсников СВЧ могут быть подсоединены либо двухканальный супергетеродинный приемник, либо испытуемый СВЧ-четыреполюсник, в зависимости от типа проводимых измерений.

35

40

45