

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

(19) **ВУ** (11) **6193**

(13) **С1**

(51)⁷ **G 01R 27/02**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(54) **ИЗМЕРИТЕЛЬ КОМПЛЕКСНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-УСТРОЙСТВ**

(21) Номер заявки: а 19980615

(22) 1998.07.01

(46) 2004.06.30

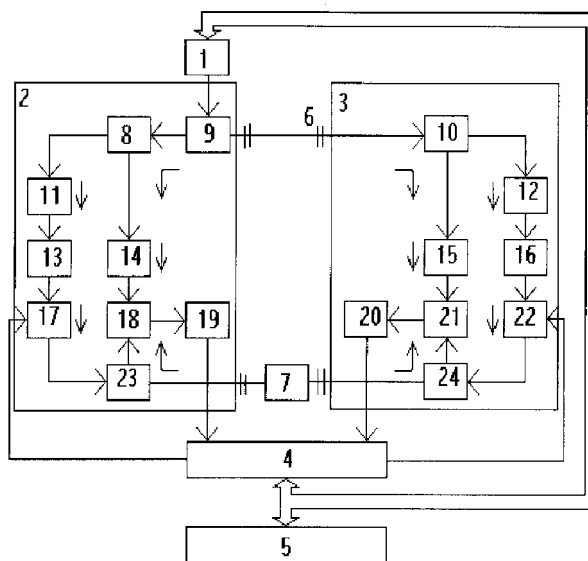
(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(72) Авторы: Гусинский Александр Владимирович; Кострикин Анатолий Михайлович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(57)

Измеритель комплексных параметров СВЧ-устройств, содержащий генератор СВЧ-сигналов, устройство обработки измерительной информации, ЭВМ с интерфейсом и измерительный СВЧ-тракт, включающий делитель мощности, первый ферритовый вентиль, выход которого через первый модулятор-выключатель и третий ферритовый вентиль соединен со входом первичного канала первого направленного ответвителя, вторичный канал которого через первый балансный смеситель соединен с выходом пятого ферритового вентиля, второй ферритовый вентиль, выход которого через второй модулятор-выключатель и четвертый ферритовый вентиль соединен со входом первичного канала второго направленного ответвителя, вторичный канал которого через второй балансный смеситель соединен с выходом шестого ферритового вентиля, выходы первого и второго балансных смесителей соединены со входами первой и второй детекторных секций, выходы которых являются измерительными



Фиг. 1

ВУ 6193 С1

ВУ 6193 С1

выходами измерительного СВЧ-тракта и соединены с первым и вторым измерительными входами устройства обработки измерительной информации, управляющие входы первого и второго модуляторов-выключателей являются управляющими входами измерительного СВЧ-тракта и соединены с первым и вторым управляющими выходами устройства обработки измерительной информации, цифровой выход персональной ЭВМ с интерфейсом соединен с цифровыми выходами генератора СВЧ сигналов и устройства обработки измерительной информации, содержащего первый коммутатор, первый и второй входы которого через первый и второй предварительные усилители соединены с первым и вторым измерительными входами устройства обработки измерительной информации, выход первого коммутатора через логарифмический усилитель и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) соединен с цифровым выходом устройства обработки измерительной информации и непосредственно с первым входом синхронного детектора, выход которого соединен со знаковым входом АЦП, генератор опорных сигналов, первый выход которого соединен со вторым входом синхронного детектора, а второй выход - со входом второго коммутатора, первый и второй выходы которого являются управляющими выходами устройства обработки измерительной информации, цифровой выход которого соединен с управляющими входами первого и второго коммутаторов, **отличающийся** тем, что измерительный СВЧ-тракт конструктивно разбит на две составные части, первая составная часть содержит делитель мощности, первый и третий направленные ответвители, первый, третий и пятый ферритовые вентили, первые модулятор-выключатель, балансный смеситель и детекторную секцию, вход делителя мощности является третьим волноводным входом первой составной части и соединен с выходом генератора СВЧ-сигналов, второй выход делителя мощности через первичный канал третьего направленного ответвителя соединен со входом первого ферритового вентиля, а вторичный канал третьего направленного ответвителя - со входом пятого ферритового фазовращателя, первый выход делителя мощности является первым волноводным входом-выходом первой составной части измерительного СВЧ-тракта, а выход первого направленного ответвителя - вторым волноводным входом-выходом первой составной части измерительного СВЧ-тракта, вторая составная часть которого содержит второй и четвертый направленные ответвители, второй, четвертый и шестой ферритовые вентили, вторые модулятор-выключатель, балансный смеситель и детекторную секцию, вход первичного канала четвертого направленного ответвителя является первым волноводным входом-выходом второй составной части измерительного СВЧ-тракта, выход первичного канала четвертого направленного ответвителя соединен со входом второго ферритового фазовращателя, вторичный канал четвертого направленного ответвителя соединен со входом шестого ферритового вентиля, выход второго направленного ответвителя является вторым волноводным входом-выходом второй составной части измерительного СВЧ-тракта, при этом первый волноводный вход-выход первой составной части через отрезок волновода, являющийся геометрическим аналогом исследуемого устройства, соединяется с первым волноводным входом-выходом второй составной части, а второй волноводный вход-выход первой составной части через исследуемое устройство соединяется со вторым волноводным входом-выходом второй составной части.

(56)

Елизаров А.С. и др. // Радиотехника и электроника. - 1996. - Т. 41, № 5. - С. 602-610.

SU 1818977 A1, 1989.

RU 2069862 C1, 1996.

SU 1762267 A1, 1992.

SU 1596278 A1, 1990.

EP 0064413 A1, 1982.

US 4247815 A, 1981.

WO 89/01167 A1.

ВУ 6193 С1

Изобретение относится к технике измерений на сверхвысоких частотах и может быть использовано при определении S -параметров СВЧ-устройств различных видов (двухполюсников, четырехполюсников, многополюсников).

Известен измеритель комплексных параметров СВЧ-устройств [1], содержащий генератор СВЧ-сигналов, три направленных ответвителя, исследуемое устройство, согласованную нагрузку, три модулятора-выключателя, управляемый фазовращатель, два делителя мощности, детекторную секцию, индикаторный блок, ЭВМ с интерфейсом КОП, при этом индикаторный блок содержит предварительный усилитель, логарифмический усилитель, синхронный детектор, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), задающий генератор, делители частоты, коммутатор, три устройства сопряжения с модуляторами-выключателями, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), формирователь управляющего тока.

Однако данный измеритель обладает существенным недостатком: применение управляемого фазовращателя в опорном канале для получения квадратурного сигнала, характеризующего мнимую составляющую S -параметра, приводит к дополнительным систематическим погрешностям из-за отличия фазового сдвига в управляемом фазовращателе от 90 градусов во всем диапазоне частот измерителя. Компенсация этих систематических погрешностей приводит к усложнению режима калибровки измерителя и к усложнению математической обработки при калибровке и измерении, что в свою очередь приводит к уменьшению быстродействия измерителя. Кроме того, такой измеритель не позволяет автоматизировать процесс измерения всего комплекса S -параметров.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому измерителю комплексных параметров СВЧ-устройств является выбранный в качестве прототипа измеритель [2], который содержит генератор СВЧ-сигналов, выход которого соединен с третьим волноводным входом измерительного СВЧ-тракта, в качестве которого выступает вход тройного делителя мощности, первый выход которого через первый ферритовый вентиль, первый модулятор-выключатель, третий ферритовый вентиль соединен с первичным каналом первого направленного ответвителя, выход которого является первым волноводным входом измерительного СВЧ-тракта, второй выход - через второй ферритовый вентиль, второй модулятор-выключатель, четвертый ферритовый вентиль соединен с первичным каналом второго направленного ответвителя, выход которого является вторым волноводным входом измерительного СВЧ-тракта, третий выход - через седьмой ферритовый вентиль, третий модулятор-выключатель соединен со входом делителя мощности, первый выход которого через пятый ферритовый вентиль, первый балансный смеситель соединен со вторичным каналом первого направленного ответвителя, второй выход - через шестой ферритовый вентиль, второй балансный смеситель соединен со вторичным каналом второго направленного ответвителя, выходы первого и второго балансного смесителей соединены со входами первой и второй детекторных секций, выходы которых являются первым и вторым измерительными выходами измерительного СВЧ-тракта, которые соединены с первым и вторым измерительными входами устройства обработки измерительной информации, управляющие входы первого, второго и третьего модуляторов-выключателей являются первым, вторым и третьим управляющими входами измерительного СВЧ-тракта, которые соединены с соответствующими управляющими выходами устройства обработки измерительной информации, цифровой выход персональной ЭВМ с интерфейсом КОП соединен с цифровыми выходами устройства обработки измерительной информации и генератора СВЧ-сигналов; исследуемое устройство через присоединительные волноводы соединено с первым и вторым волноводными входами измерительного СВЧ-тракта.

При этом устройство обработки измерительной информации содержит первый коммутатор, первый и второй входы которого через первый и второй предварительные усилители соединены с первым и вторым измерительными входами устройства обработки измерительной информации; выход первого коммутатора через логарифмический усилитель и АЦП соединен с цифровым выходом устройства обработки измерительной информации и

ВУ 6193 С1

непосредственно с первым входом синхронного детектора, выход которого соединен со знаковым входом АЦП; первый выход генератора опорных сигналов соединен со вторым входом синхронного детектора, а второй выход - со входом второго коммутатора, первый, второй и третий выходы которого являются управляющими выходами устройства обработки измерительной информации, управляющие входы первого и второго коммутаторов соединены с цифровым выходом устройства обработки измерительной информации.

Недостатком прототипа является невозможность автоматизированного измерения всего комплекса S-параметров СВЧ-устройств с любыми геометрическими размерами и наличие присоединительных волноводов, которые из-за своей неидеальности ограничивают точность измерения S-параметров.

Задача изобретения - обеспечение возможности автоматизированного измерения всего комплекса S-параметров СВЧ-устройств с любыми геометрическими размерами и повышение точности измерений за счет исключения присоединительных волноводов.

Задача достигается тем, что известный измеритель комплексных параметров СВЧ-устройств, содержащий генератор СВЧ-сигналов, устройство обработки измерительной информации, ЭВМ с интерфейсом и измерительный СВЧ-тракт, включающий делитель мощности, первый ферритовый вентиль, выход которого через первый модулятор-выключатель и третий ферритовый вентиль соединен со входом первичного канала первого направленного ответвителя, вторичный канал которого через первый балансный смеситель соединен с выходом пятого ферритового вентиля, второй ферритовый вентиль, выход которого через второй модулятор-выключатель и четвертый ферритовый вентиль соединен со входом первичного канала второго направленного ответвителя, вторичный канал которого через второй балансный смеситель соединен с выходом шестого ферритового вентиля, выходы первого и второго балансного смесителей соединены со входами первой и второй детекторных секций, выходы которых являются измерительными выходами измерительного СВЧ-тракта и соединены с первым и вторым измерительными входами устройства обработки измерительной информации, управляющие входы первого и второго модуляторов-выключателей являются управляющими входами измерительного СВЧ-тракта и соединены с первым и вторым управляющими выходами устройства обработки измерительной информации, цифровой выход персональной ЭВМ с интерфейсом соединен с цифровыми выходами генератора СВЧ-сигналов и устройства обработки измерительной информации, содержащего первый коммутатор, первый и второй входы которого через первый и второй предварительные усилители соединены с первым и вторым измерительными входами устройства обработки измерительной информации, выход первого коммутатора через логарифмический усилитель и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) соединен с цифровым выходом устройства обработки измерительной информации и непосредственно с первым входом синхронного детектора, выход которого соединен со знаковым входом АЦП, генератор опорных сигналов, первый выход которого соединен со вторым входом синхронного детектора, а второй выход - со входом второго коммутатора, первый и второй выходы которого являются управляющими выходами устройства обработки измерительной информации, цифровой выход которого соединен с управляющими входами первого и второго коммутаторов, отличающийся тем, что измерительный СВЧ-тракт конструктивно разбит на две составные части, первая составная часть содержит делитель мощности, первый и третий направленные ответвители, первый, третий и пятый ферритовые вентиля, первые модулятор-выключатель, балансный смеситель и детекторную секцию, вход делителя мощности является третьим волноводным входом первой составной части и соединен с выходом генератора СВЧ-сигналов, второй выход делителя мощности через первичный канал третьего направленного ответвителя соединен со входом первого ферритового вентиля, а вторичный канал третьего направленного ответвителя - со входом пятого ферритового фазовращателя, первый выход делителя мощности является первым волноводным входом-выходом первой составной части измерительного СВЧ-тракта, а выход первого

ВУ 6193 С1

направленного ответвителя - вторым волноводным входом-выходом первой составной части измерительного СВЧ-тракта, вторая составная часть которого содержит второй и четвертый направленные ответвители, второй, четвертый и шестой ферритовые вентили, вторые модулятор-выключатель, балансный смеситель и детекторную секцию, вход первичного канала четвертого направленного ответвителя является первым волноводным входом-выходом второй составной части измерительного СВЧ-тракта, выход первичного канала четвертого направленного ответвителя соединен со входом второго ферритового фазовращателя, вторичный канал четвертого направленного ответвителя соединен со входом шестого ферритового вентиля, выход второго направленного ответвителя является вторым волноводным входом-выходом второй составной части измерительного СВЧ-тракта, при этом первый волноводный вход-выход первой составной части через отрезок волновода, являющийся геометрическим аналогом исследуемого устройства, соединяется с первым волноводным входом-выходом второй составной части, а второй волноводный вход-выход первой составной части через исследуемое устройство соединяется со вторым волноводным входом-выходом второй составной части.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемый измеритель отличается новым структурным построением (наличие двух составных частей измерительного СВЧ-тракта) и наличием новых функциональных узлов - двух направленных ответвителей и отрезка волновода, являющегося геометрическим эквивалентом исследуемого устройства, а также дополнительными функциональными связями этих узлов с остальными функциональными частями измерителя.

Сравнение заявляемого решения с другими техническими решениями показывает, что в существующих измерителях, обеспечивающих автоматизированное измерение всего комплекса S-параметров СВЧ-устройств, нет возможности реализации этого процесса применительно к СВЧ-устройствам любого геометрического размера, т.к. измерительный СВЧ-тракт в таких измерителях представляет собой конструктивно целый блок и волноводные входы, выведенные на передней панели последнего, расположены в одной плоскости. Кроме того, возникает необходимость при подключении исследуемого устройства использовать присоединительные волноводы, что вследствие неидеальности последних (наличие отражений, наличие изгибов и т.п.) приводит к существенным погрешностям измерений. В заявляемом измерителе благодаря введенным двум направленным ответвителям и отрезку волновода, представляющему геометрический аналог исследуемого устройства, удастся конструктивно разбить измерительный СВЧ-тракт на две составные части и т.к. волноводные входы для подключения исследуемого устройства расположены в разных составных частях, нет ограничений по геометрическим размерам исследуемого устройства и нет необходимости в использовании присоединительных волноводов, которые уменьшают точность измерений.

На фиг. 1 приведена структурная схема измерителя. На фиг. 2 приведена структурная схема устройства обработки измерительной информации.

Измеритель комплексных параметров СВЧ-устройств содержит (фиг. 1) генератор СВЧ-сигналов 1, первую 2 составную часть измерительного СВЧ-тракта, вторую 3 составную часть измерительного СВЧ-тракта, устройство обработки измерительной информации 4, персональную ЭВМ 5 с интерфейсом КОП, отрезок волновода 6, являющийся геометрическим аналогом исследуемого устройства, исследуемое устройство 7, при этом выход генератора СВЧ-сигналов 1 соединен с третьим волноводным входом первой 2 составной части измерительного тракта, первый волноводный выход первой 2 составной части измерительного СВЧ-тракта через отрезок волновода 6 соединен с первым волноводным выходом второй 3 составной части измерительного СВЧ-тракта, второй волноводный выход первой 2 составной части измерительного СВЧ-тракта через исследуемое устройство 7 соединен со вторым волноводным входом второй 3 составной части измерительного СВЧ-тракта, управляющие входы первой 2 и второй 3 составных частей измери-

ВУ 6193 С1

тельного СВЧ-тракта соединены с первым и вторым управляющими выходами устройства обработки измерительной информации 4, измерительные выходы первой 2 и второй 3 составных частей измерительного СВЧ-тракта соединены с первым и вторым измерительными входами устройства обработки измерительной информации 4, цифровой выход которого соединен с цифровыми входами персональной ЭВМ 5 с интерфейсом КОП и генератора СВЧ-сигналов 1.

Первая 2 составная часть измерительного СВЧ-тракта содержит делитель мощности 9, первый 23 и третий 8 направленные ответвители, первый 11, третий 17 и пятый 14 ферритовые вентили, первый 13 модулятор-выключатель, первый 18 балансный смеситель, первую 19 детекторную секцию, при этом вход делителя мощности 9 является третьим волноводным входом первой 2 составной части измерительного СВЧ-тракта, управляющий вход первого 13 модулятора-выключателя является управляющим входом первой 2 составной части измерительного СВЧ-тракта, выход первой 19 детекторной секции является измерительным выходом первой 2 составной части измерительного СВЧ-тракта, первый выход делителя мощности 9 является первым волноводным входом первой 2 составной части измерительного СВЧ-тракта, второй выход делителя мощности 9 через первичный канал третьего 8 направленного ответвителя, первый 11 ферритовый вентиль, первый 13 модулятор-выключатель, третий 17 ферритовый вентиль и первичный канал первого 23 направленного ответвителя соединен со вторым волноводным входом первой 2 составной части измерительного СВЧ-тракта, вторичные каналы третьего 8 и первого 23 направленных ответвителей соединены через пятый 14 ферритовый вентиль и первый 18 балансный смеситель, выход первого 18 балансного смесителя соединен со входом первой 19 детекторной секции.

Вторая 3 составная часть измерительного СВЧ-тракта содержит второй 24 и четвертый 10 направленные ответвители, второй 12, четвертый 22 и шестой 15 ферритовые вентили, второй 16 модулятор-выключатель, второй 21 балансный смеситель, вторую 20 детекторную секцию, при этом управляющий вход второго 16 модулятора-выключателя является управляющим входом второй 3 составной части измерительного СВЧ-тракта, выход второй 20 детекторной секции является измерительным выходом второй 3 составной части измерительного СВЧ-тракта, первый волноводный вход второй 3 составной части измерительного СВЧ-тракта через первичный канал четвертого 10 направленного ответвителя, второй 12 ферритовый вентиль, второй 16 модулятор-выключатель, четвертый 22 ферритовый вентиль и первичный канал второго 24 направленного ответвителя соединен со вторым волноводным входом второй 3 составной части измерительного СВЧ-тракта, вторичные каналы четвертого 10 и второго 24 направленных ответвителей соединены через шестой 15 ферритовый вентиль и второй 21 балансный смеситель, выход второго 21 балансного смесителя соединен со входом второй 20 детекторной секции.

Устройство обработки измерительной информации (фиг. 2) содержит первый 25 и второй 26 предварительные усилители, первый 27 и второй 32 коммутаторы, логарифмический усилитель 28, АЦП 29, синхронный детектор 30, генератор опорных сигналов 31, при этом первый и второй входы первого 27 коммутатора через первый 25 и второй 26 предварительные усилители соединены с первым и вторым измерительными входами устройства обработки измерительной информации 4; выход первого 27 коммутатора через логарифмический усилитель 28 и АЦП 29 соединен с цифровым выходом устройства обработки измерительной информации 4 и непосредственно с первым входом синхронного детектора 30, выход которого соединен со знаковым входом АЦП 29; первый выход генератора опорных сигналов 31 соединен со вторым входом синхронного детектора 30, а второй выход - со входом второго 32 коммутатора, первый и второй выходы которого являются управляющими выходами устройства обработки измерительной информации 4; управляющие входы первого 27 и второго 32 коммутаторов соединены с цифровым выходом устройства обработки измерительной информации 4.

ВУ 6193 С1

Измеритель работает следующим образом. Выходной сигнал генератора СВЧ-сигналов 1 с помощью делителя мощности 9 и первого 23, второго 24, третьего 8 и четвертого 10 направленных ответвителей разветвляется и попадает в опорные каналы (сигналы в них проходят через вторичные каналы третьего 8 и четвертого 10 направленных ответвителей) и плечи кольцевого тракта, образующие измерительные каналы. В измерительные каналы включены первый 13 и второй 16 модуляторы-выключатели, на которые с управляющих выходов устройства обработки измерительной информации 4 подаются либо модулирующее, либо запирающее напряжение. Извлечение СВЧ-сигналов, несущих информацию об измеряемых S-параметрах, осуществляется с помощью первого 23 и второго 24 направленных ответвителей. При этом первый 23 направленный ответвитель ориентирован на СВЧ-сигналы, несущие информацию об S11 и S12, а второй 24 направленный ответвитель - на СВЧ-сигналы, пропорциональные S22 и S21.

В волноводном тракте обеспечивается поочередное распространение СВЧ-сигналов через исследуемое устройство 7 в противоположных направлениях. Это достигается поочередной подачей модулирующего напряжения на первый 13 или второй 16 модуляторы-выключатели в разные периоды свипирования частоты. Подача на первый 13 или второй 16 модуляторы-выключатели запирающего напряжения превращает последние в аттенюаторы с большим ослаблением. Дополнительная развязка плеч волноводного тракта в соответствующие периоды свипирования частоты обеспечивается с помощью первого 11, второго 12, третьего 17, четвертого 22, пятого 14 и шестого 15 ферритовых вентилях. Они, кроме того, уменьшают погрешности из-за рассогласований в первом 13, втором 16 модуляторах-выключателях и первом 18, втором 21 балансных смесителях.

Устройство обработки измерительной информации 4 осуществляет обработку выходных сигналов первой 19 и второй 20 детекторных секций модулирующей частоты по одноканальной схеме, причем переключение сигналов осуществляется с помощью первого 27 коммутатора, управляемого от интерфейса КОП персонального компьютера 5. Для аналоговой обработки сигналов используются логарифмический усилитель 28 и синхронный детектор 30, а затем с помощью АЦП 29 сигналы преобразуются в цифровые коды. За каждый период свипирования частоты формируются цифровые коды, соответствующие значениям реальной составляющей соответствующего S-параметра во всех точках частотного диапазона.

При калибровке (режим S11 и S22) к первым волноводным выходам первой 2 и второй 3 составным частям измерительного СВЧ-тракта подключаются отрезок волновода 6, а ко вторым волноводным выходам - короткозамыкатели. В режиме S12 и S21 к первым и вторым волноводным выходам подключаются отрезки волноводов, являющиеся геометрическими аналогами исследуемого устройства 7.

Сигналы, поступающие на измерительные входы устройства обработки измерительной информации 4, несут информацию о реальных составляющих параметров калибровки:

$$U_{11ск} = -K_{11} \cdot \cos \varphi_{н11},$$

$$U_{22ск} = -K_{22} \cdot \cos \varphi_{н22},$$

$$U_{21ск} = K_{21} \cdot \cos \varphi_{н21},$$

$$U_{12ск} = K_{12} \cdot \cos \varphi_{н12},$$

где K11, K22, K21, K12 - коэффициенты пропорциональности, учитывающие амплитудно-частотные характеристики опорных и измерительных каналов в соответствующих режимах; $\varphi_{н11}$, $\varphi_{н22}$, $\varphi_{н21}$, $\varphi_{н12}$ - фазовые сдвиги, учитывающие неидентичности фазочастотных характеристик этих каналов.

Программным путем с использованием преобразования Гильберта или прямого и обратного преобразований Фурье формируются массивы, несущие информацию о мнимых составляющих параметров калибровки:

$$U_{11ск} = -K_{11} \cdot \sin \varphi_{н11},$$

$$U_{22ск} = -K_{22} \cdot \sin \varphi_{н22},$$

ВУ 6193 С1

$$U_{21ск} = K_{21} * \sin \varphi_{н21},$$

$$U_{12ск} = K_{12} * \sin \varphi_{н12}.$$

При измерении к первым волноводным выходам первой 2 и второй 3 составных частей измерительного СВЧ-тракта подключается отрезок волновода 6, а ко вторым волноводным выходам - исследуемое устройство 7. Сигналы, поступающие на измерительные входы устройства обработки измерительной информации 4, несут информацию о реальных составляющих измеряемых S-параметров:

$$U_{11си} = K_{11} * IS_{11I} * \cos(\varphi_{11} + \varphi_{н11}),$$

$$U_{22си} = K_{22} * IS_{22I} * \cos(\varphi_{22} + \varphi_{н22}),$$

$$U_{21си} = K_{21} * IS_{21I} * \cos(\varphi_{21} + \varphi_{н21}),$$

$$U_{12си} = K_{12} * IS_{12I} * \cos(\varphi_{12} + \varphi_{н12}),$$

где IS_{11I} , IS_{22I} , IS_{21I} , IS_{12I} и φ_{11} , φ_{22} , φ_{21} , φ_{12} - модули и аргументы соответствующих S-параметров.

Аналогично, как и при калибровке, формируются массивы, несущие информацию о мнимых составляющих измеряемых S-параметров:

$$U_{11си} = K_{11} * IS_{11I} * \sin(\varphi_{11} + \varphi_{н11}),$$

$$U_{22си} = K_{22} * IS_{22I} * \sin(\varphi_{22} + \varphi_{н22}),$$

$$U_{21си} = K_{21} * IS_{21I} * \sin(\varphi_{21} + \varphi_{н21}),$$

$$U_{12си} = K_{12} * IS_{12I} * \sin(\varphi_{12} + \varphi_{н12}).$$

Реальные и мнимые составляющие измеряемых S-параметров рассчитываются по формулам:

$$IS_{11I} * \cos \varphi_{11} = - \frac{U_{11ск} * U_{11си} + U_{11ск} * U_{11си}}{(U_{11ск})^2 + (U_{11ск})^2};$$

$$IS_{11I} * \sin \varphi_{11} = \frac{U_{11ск} * U_{11си} - U_{11ск} * U_{11си}}{(U_{11ск})^2 + (U_{11ск})^2};$$

$$IS_{22I} * \cos \varphi_{22} = - \frac{U_{22ск} * U_{22си} + U_{22ск} * U_{22си}}{(U_{22ск})^2 + (U_{22ск})^2};$$

$$IS_{22I} * \sin \varphi_{22} = \frac{U_{22ск} * U_{22си} - U_{22ск} * U_{22си}}{(U_{22ск})^2 + (U_{22ск})^2};$$

$$IS_{21I} * \cos \varphi_{21} = \frac{U_{21ск} * U_{21си} + U_{21ск} * U_{21си}}{(U_{21ск})^2 + (U_{21ск})^2};$$

$$IS_{21I} * \sin \varphi_{21} = \frac{U_{21си} * U_{21ск} - U_{21си} * U_{21ск}}{(U_{21ск})^2 + (U_{21ск})^2};$$

$$IS_{12I} * \cos \varphi_{12} = \frac{U_{12ск} * U_{22си} + U_{12ск} * U_{12си}}{(U_{12ск})^2 + (U_{12ск})^2};$$

$$IS_{12I} * \sin \varphi_{12} = \frac{U_{12си} * U_{12ск} - U_{12ск} * U_{12си}}{(U_{12ск})^2 + (U_{12ск})^2}.$$

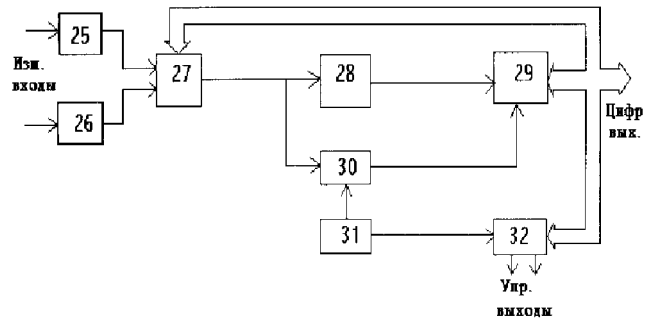
Результаты измерений S-параметров представляются либо в полярной (только для параметров S_{11} и S_{22}), либо в декартовой системе координат (для всех S-параметров). Для перехода к декартовым координатам используются общеизвестные формулы.

Источники информации:

1. Гусинский А.В. Измеритель комплексных параметров СВЧ-устройств. - А.с. СССР 1818977 (не публ.).

ВУ 6193 С1

2. Елизаров А.С., Кострикин А.М., Гусинский А.В. и др. Гомодинные анализаторы для исследования цепей СВЧ в коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн // Электроника СВЧ. - 1996. - Т. 41, № 5. - С. 602-610.



Фиг. 2