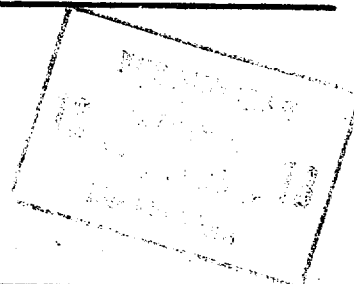




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 3316299/18-09
 (22) 06.07.81
 (46) 07.03.84. Бюл. № 13
 (72) А.М.Кострикин
 (71) Минский радиотехнический институт
 (53) 621.317.341(088.8)
 (56) 1. Бондаренко И.К., Дейнега Г.А. Маграчев З.В. Автоматизация измерений параметров СВЧ трактов. М., "Советское радио", 1969, с.32, рис.1.18.
 2. Справочник по радиоизмерительным приборам. Под ред. В.С.Насонова. М., "Советское радио", т.1, 1977, с.168-169, 195-198, 199-201, рис. 5.12, 5.42, 5.44 (прототип).
 (54) (57) ИЗМЕРИТЕЛЬ КОМПЛЕКСНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ, содержащий управляемый СВЧ-переключатель, вход которого является входом СВЧ-сигнала, к управляемому входу подключен первый выход блока управления, к первому выходу последовательно подсоединены первый развязывающий вентиль, первичные каналы первого и второго направленных ответвителей, к второму выходу последовательно подсоединены второй развязывающий вентиль, первичные каналы третьего и четвертого направленных ответвителей и стробоскопический преобразователь частоты, выход которого подключен к первому входу смесителя, и блок настройки перестраиваемого генератора, выход которого соединен с входом умножителя частоты, соединенного выходом с входом стробоскопического преобразователя частоты, выход смесителя подключен к управляемому входу гетероди-

на через блок автоматической подстройки частоты, а выход гетеродиа соединен с вторым входом смесителя, а также блок памяти, выход которого через арифметический блок соединен с входом цифрового индикатора, второй, третий и четвертый выходы блока управления соединены соответственно с управляющими входами блока памяти, арифметического блока и цифрового индикатора, при этом выход первичного канала второго направленного ответвителя и вход первичного канала третьего направленного ответвителя являются соответственно выходом и входом для подключения исследуемого СВЧ-четырёхполюсника, отсюда являясь тем, что, с целью повышения точности измерений, в него введены четырехканальный управляемый СВЧ-переключатель, управляющий вход которого соединен с пятым выходом блока управления, цифровой измеритель разности фаз разновременного сравнения и цифровой измеритель отношения напряжений разновременного сравнения, причем выходы вторичных каналов второго, третьего и четвертого направленных ответвителей соединены с соответствующими входами четырехканального управляемого СВЧ-переключателя, выход которого подключен к второму входу стробоскопического преобразователя частоты, выход смесителя соединен с входом цифровым измерителем разности фаз разновременного сравнения и цифровым измерителем отношения напряжений разновременного сравнения, выходы которых подсоединены к первому и второму информационным входам блока памяти.

(19) SU (11) 1084699 A

Изобретение относится к СВЧ измерительной технике и может быть использовано для измерения комплексных параметров линейных невзаимных четырехполюсников.

Известен измеритель комплексных параметров СВЧ-четырёхполюсников, содержащий двухчастотный свип-генератор, два делителя мощности, четыре аттенюатора, исследуемый четырехполюсник, два смесителя с детекторными фоловками, два усилителя промежуточной частоты, усилитель АРУ, два фазовых детектора, электронно-лучевую трубку, при измерении КСВ-направленный ответвитель 1.

Однако в данном измерителе не осуществлена автоматизация процесса измерения невзаимных параметров СВЧ-четырёхполюсников, так как для изменения направления распространения СВЧ энергии через исследуемый четырехполюсник необходима его переориентация, что усложняет и удлиняет процесс измерения.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому является измеритель комплексных параметров СВЧ-четырёхполюсников, содержащий управляемый СВЧ-переключатель, вход которого является входом СВЧ-сигнала, к управляющему входу подключен первый выход блока управления, к первому выходу последовательно подсоединены первый развязывающий вентиль, первичные каналы первого и второго направленных ответвителей, к второму выходу последовательно подсоединены второй развязывающий вентиль, первичные каналы третьего и четвертого направленных ответвителей и стробоскопический преобразователь частоты, выход которого подключен к первому входу смесителя и блоку настройки перестраиваемого генератора, выход которого соединен с входом умножителя частоты, соединенного выходом с входом стробоскопического преобразователя частоты, выход смесителя подключен к управляющему входу гетеродина через блок автоматической подстройки частоты, а выход гетеродина соединен с вторым входом смесителя, а также блок памяти, выход которого через арифметический блок соединен с входом цифрового индикатора, второй, третий, и четвертый выходы блока управления соединены соответственно с управляющими входами блока памяти, арифметического блока и цифрового индикатора, при этом выход первичного канала второго направленного ответвителя и вход первичного канала третьего направленного ответвителя являются соответственно выходом и входом для подключения исследуемого СВЧ-четырёхполюсника [2].

Однако известное устройство не позволяет обеспечить высокую точность измерения комплексных параметров СВЧ-четырёхполюсников.

Цель изобретения - повышение точности измерений.

Для достижения поставленной цели в устройстве-измерителе комплексных параметров СВЧ-четырёхполюсников, содержащем управляемый СВЧ-переключатель, вход которого является входом СВЧ-сигнала, к управляющему входу подключен первый выход блока управления к первому выходу последовательно подсоединены первый развязывающий вентиль, первичные каналы первого и второго направленных ответвителей, к второму выходу последовательно подсоединены второй развязывающий вентиль, первичные каналы третьего и четвертого направленных ответвителей и стробоскопический преобразователь частоты, выход которого подключен к первому входу смесителя и блоку настройки перестраиваемого генератора, выход которого соединен с входом умножителя частоты, соединенного выходом с входом стробоскопического преобразователя частоты, выход смесителя подключен к управляющему входу гетеродина через блок автоматической подстройки частоты, а выход гетеродина соединен с вторым входом смесителя, а также блок памяти, выход которого через арифметический блок соединен с входом цифрового индикатора, второй, третий и четвертый выходы блока управления соединены соответственно с управляющими входами блока памяти, арифметического блока и цифрового индикатора, при этом выход первичного канала второго направленного ответвителя и вход первичного канала третьего направленного ответвителя являются соответственно входом и выходом для подключения исследуемого СВЧ-четырёхполюсника, введены четырехканальный управляемый СВЧ-переключатель, управляющий вход которого соединен с пятым выходом блока управления, цифровой измеритель разности фаз разновременного сравнения и цифровой измеритель отношения напряжений разновременного сравнения, причем выходы вторичных каналов второго, третьего и четвертого направленных ответвителем соединены с соответствующими входами четырехканального управляемого СВЧ-переключателя, выход которого подключен к второму входу стробоскопического преобразователя частоты, выход смесителя соединен с входом цифрового измерителя разности фаз разновременного сравнения и цифрового измерителя отношения напряжений разновременного сравнения, выходы которых

подсоединены к первому и второму информационным входам блока памяти.

На чертеже приведена структурная электрическая схема измерителя комплексных параметров СВЧ-четырепольюсников.

Измеритель комплексных параметров СВЧ-четырепольюсников содержит первый развязывающий вентиль 1, управляемый СВЧ-переключатель 2, второй развязывающий вентиль 3, первый 4 и второй 5 направленные ответвителя, измеряемый четырехпольюсник 6, третий 7 и четвертый 8 направленные ответвителя, четырехканальный управляемый СВЧ-переключатель 9, умножитель частоты 10, стробоскопический преобразователь 11 частоты, блок 12 управления, перестраиваемый генератор 13, блок 14 настройки, гетеродин 15, смеситель 16, блок 17 автоматической подстройки частоты, цифровой индикатор 18, цифровой измеритель 19 отношения напряжений разновременного сравнения, цифровой измеритель 20 разности фаз разновременного сравнения, арифметический блок 21, блок 22 памяти.

Причем клемма входа СВЧ-сигнала соединена с входом управляемого СВЧ-переключателя 2, первый выход которого через первый развязывающий вентиль 1, первичные каналы первого 4 и второго 5 направленных ответвителей подключен к входу измеряемого четырехпольюсника 6, а второй выход - через второй развязывающий вентиль 3, первичные каналы четвертого 8 и третьего 7 направленных ответвителей к выходу измеряемого четырехпольюсника 6, выходы вторичных каналов направленных ответвителей 4, 5, 7 и 8 подключены к входам четырехканального управляемого СВЧ-переключателя 9, выход которого через стробоскопический преобразователь 11 частоты и смеситель 16 соединен с входами цифрового измерителя отношений напряжений разновременного сравнения 20, выход стробоскопического преобразователя частоты 11 через блок 14 настройки, перестраиваемый генератор 13, умножитель 10 частоты соединен с вторым входом стробоскопического преобразователя 11 частоты, выход смесителя 16 через блок 17 автоматической подстройки частоты и гетеродин 15 подсоединен к второму входу смесителя 16, выходы цифрового измерителя 19 отношения напряжений разновременного сравнения и цифрового измерителя 20 разности фаз разновременного сравнения соединены с первым и вторым входами блока 22 памяти, выход которого через арифметический блок 21 соединен с цифровым индикатором 18, первый, второй, тре-

тий, четвертый, пятый выходы блока 12 управления соединены с управляющими входами управляемого СВЧ-переключателя 2, четырехканального управляемого СВЧ-переключателя 9, блок 22 памяти, арифметического блока 21, цифрового индикатора 18.

Измеритель комплексных параметров СВЧ-четырепольюсников работает следующим образом.

Алгоритм измерений разделен на два цикла. В первом цикле из блока 12 управления на управляемый вход СВЧ-переключателя 2 подается сигнал, который подключает вход СВЧ-сигнала к входу первого развязывающего вентиля 1. Через кольцевой тракт, образованный развязывающими вентилями 1, 3, направленными ответвителями 4, 5, 7 и 8 измеряемым четырехпольюсником 6, распространяется подающая волна a_1^i в прямом направлении и отраженная от выхода тракта (развязывающий вентиль 3) волна a_2^i в обратном направлении. В тракте следует учитывать отраженные от входа и выхода измеряемого четырехпольюсника 6 волны. В направленном ответвителе 5 происходит интерференция распространяющихся в обратном направлении волн, а в направленном ответвителе 7 - распространяющихся в прямом направлении волн.

$$\begin{aligned} b_1^i &= \alpha_{11}^i \dot{s}_{11} + \alpha_{21}^i \dot{s}_{12} \\ b_2^i &= \alpha_{12}^i \dot{s}_{21} + \alpha_{22}^i \dot{s}_{22} \end{aligned} \quad (1)$$

где a_1^i , a_2^i , b_1^i , b_2^i - комплексные нормированные волны при распространении в тракте падающей волны в прямом направлении, части которых относятся в направленных ответвителях 4, 5 и 7 соответственно, \dot{s}_{11} , \dot{s}_{12} , \dot{s}_{21} , \dot{s}_{22} - комплексные коэффициенты матрицы рассеяния измеряемого четырехпольюсника 6.

Во втором цикле из блока 12 управления на управляемый вход СВЧ-переключателя 2 подается сигнал, который подключает вход СВЧ-сигнала к входу второго развязывающего вентиля 3. Через кольцевой тракт распространяется падающая волна в обратном направлении a_2^i и отраженная от выхода тракта (развязывающий вентиль 1) волна a_1^i в прямом направлении. При этом

$$b_1'' = \alpha_1'' \dot{s}_{11} + \alpha_2'' \dot{s}_{12} \quad (2)$$

$$b_2'' = \alpha_1'' \dot{s}_{21} + \alpha_2'' \dot{s}_{22}$$

где α_1'' , α_2'' , b_1'' , b_2'' - комплексные нормированные волны при распространении в тракте падающей волны в обратном направлении, части которых отвечают в направленных ответвителях 4, 8, 5 и 7 соответственно.

Из (1) и (2) легко получить две системы уравнений

$$\begin{cases} b_2' = \alpha_1' \dot{s}_{21} + \alpha_2' \dot{s}_{22} \\ b_2'' = \alpha_1'' \dot{s}_{21} + \alpha_2'' \dot{s}_{22} \\ b_1' = \alpha_1' \dot{s}_{11} + \alpha_2' \dot{s}_{12} \\ b_1'' = \alpha_1'' \dot{s}_{11} + \alpha_2'' \dot{s}_{12} \end{cases}$$

После решения их и несложных преобразований получаем

$$\dot{s}_{11} = \frac{\frac{b_1'}{\alpha_1'} - \frac{b_1''}{\alpha_2'} - \frac{\alpha_2'}{\alpha_1'}}{1 - \frac{\alpha_2'}{\alpha_1'} \frac{\alpha_1''}{\alpha_2''}} \quad (3)$$

$$\dot{s}_{12} = \frac{\frac{b_1''}{\alpha_2''} - \frac{b_1'}{\alpha_1'} - \frac{\alpha_1''}{\alpha_2''}}{1 - \frac{\alpha_2'}{\alpha_1'} \frac{\alpha_1''}{\alpha_2''}}$$

$$\dot{s}_{21} = \frac{\frac{b_2'}{\alpha_1'} - \frac{b_2''}{\alpha_2''} - \frac{\alpha_2'}{\alpha_1'}}{1 - \frac{\alpha_2'}{\alpha_1'} \frac{\alpha_1''}{\alpha_2''}} \quad (4)$$

$$\dot{s}_{22} = \frac{\frac{b_2''}{\alpha_2''} - \frac{b_2'}{\alpha_1'} - \frac{\alpha_1''}{\alpha_2''}}{1 - \frac{\alpha_2'}{\alpha_1'} \frac{\alpha_1''}{\alpha_2''}}$$

Если определить модули отношений и разности фаз комплексных величин, входящих в (3) и (4)

$$A_1 = \left| \frac{b_1'}{\alpha_1'} \right|; A_2 = \left| \frac{b_2'}{\alpha_1'} \right|; A_3 = \left| \frac{\alpha_2'}{\alpha_1'} \right|$$

$$A_4 = \left| \frac{b_1''}{\alpha_2''} \right|; A_5 = \left| \frac{b_2''}{\alpha_2''} \right|; A_6 = \left| \frac{\alpha_1''}{\alpha_2''} \right|$$

$$\varphi_1 = \arg \left(\frac{b_1'}{\alpha_1'} \right); \varphi_2 = \arg \left(\frac{b_2'}{\alpha_1'} \right); \varphi_3 = \arg \left(\frac{\alpha_2'}{\alpha_1'} \right);$$

$$\varphi_4 = \arg \left(\frac{b_1''}{\alpha_2''} \right); \varphi_5 = \arg \left(\frac{b_2''}{\alpha_2''} \right); \varphi_6 = \arg \left(\frac{\alpha_1''}{\alpha_2''} \right) \quad (5)$$

то при соответствующей математической обработке можно найти модули и фазы комплексных коэффициентов матрицы рассеяния

$$|s_{11}|^2 = \frac{A_1^2 + A_2^2 A_3^2 - 2A_1 A_2 A_3 \cos(\varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3)}{1 + A_3^2 A_6^2 - 2A_3 A_6 \cos(\varphi_3 + \varphi_6)} \quad (6)$$

$$|s_{12}|^2 = \frac{A_4^2 + A_5^2 A_6^2 - 2A_4 A_5 A_6 \cos(\varphi_4 - \varphi_5 - \varphi_6)}{1 + A_3^2 A_6^2 - 2A_3 A_6 \cos(\varphi_3 + \varphi_6)}$$

$$|s_{21}|^2 = \frac{A_2^2 + A_5^2 A_3^2 - 2A_2 A_5 A_3 \cos(\varphi_2 - \varphi_5 - \varphi_3)}{1 + A_3^2 A_6^2 - 2A_3 A_6 \cos(\varphi_3 + \varphi_6)}$$

$$|s_{22}|^2 = \frac{A_5^2 + A_2^2 A_6^2 - 2A_5 A_2 A_6 \cos(\varphi_5 - \varphi_2 - \varphi_6)}{1 + A_3^2 A_6^2 - 2A_3 A_6 \cos(\varphi_3 + \varphi_6)}$$

$$\varphi_{11} = \arctg \frac{A_1 \sin \varphi_1 - A_2 A_3 \sin(\varphi_2 + \varphi_3)}{A_1 \cos \varphi_1 - A_2 A_3 \cos(\varphi_2 + \varphi_3)} - \arctg \frac{A_3 A_6 \sin(\varphi_3 + \varphi_6)}{1 - A_3 A_6 \cos(\varphi_3 + \varphi_6)}$$

$$\varphi_{12} = \arctg \frac{A_4 \sin \varphi_4 - A_5 A_6 \sin(\varphi_5 + \varphi_6)}{A_4 \cos \varphi_4 - A_5 A_6 \cos(\varphi_5 + \varphi_6)} - \arctg \frac{A_3 A_6 \sin(\varphi_3 + \varphi_6)}{1 - A_3 A_6 \cos(\varphi_3 + \varphi_6)}$$

$$\varphi_{21} = \arctg \frac{A_2 \sin \varphi_2 - A_5 A_3 \sin(\varphi_5 + \varphi_3)}{A_2 \cos \varphi_2 - A_5 A_3 \cos(\varphi_5 + \varphi_3)} - \arctg \frac{A_3 A_6 \sin(\varphi_3 + \varphi_6)}{1 - A_3 A_6 \cos(\varphi_3 + \varphi_6)}$$

$$\varphi_{22} = \arctg \frac{A_5 \sin \varphi_5 - A_2 A_6 \sin(\varphi_2 + \varphi_6)}{A_5 \cos \varphi_5 - A_2 A_6 \cos(\varphi_2 + \varphi_6)} - \arctg \frac{A_3 A_6 \sin(\varphi_3 + \varphi_6)}{1 - A_3 A_6 \cos(\varphi_3 + \varphi_6)} \quad (7)$$

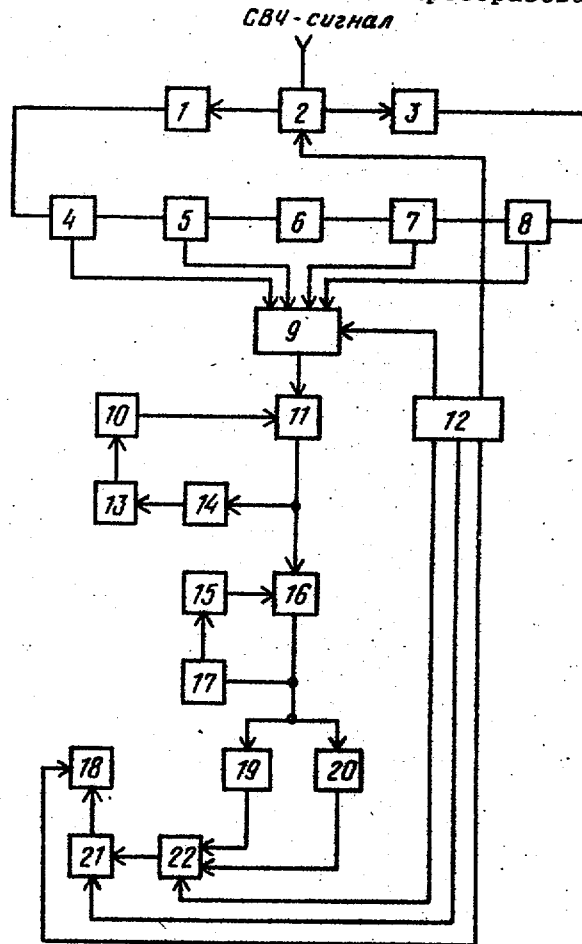
Значения $A_1, A_2, A_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ определяются в первом цикле измерений значения $A_4, A_5, A_6, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6$ - во втором цикле измерений. В свою очередь каждый цикл состоит из трех тактов, в течение каждого из которых происходит отдельное измерение A_1 и φ_1, A_2 и φ_2 и т.д. в зависимости от коммутаций, осуществляемых в четырехполюсном управляемом СВЧ-переключателе 9. Например, значения A_4 и φ_4 определяются цифровым

измерителем 19 отношения напряжений
разновременного сравнения и цифро-
вым измерителем 20 разности фаз раз-
новременного сравнения и записыва-
ются в блок 22 памяти при подаче
на управляемый вход четырехканально- 5
го управляемого СВЧ-переключателя
9 сигналов, которые поочередно под-
ключают на входы измерителей 19 и
20 частотно-преобразованные сигналы
с вторичных каналов направленных
ответвителей 4 и 5.

После записи цифровых значений
 A_1 и φ_1 измерителя 19 и 20 устанавли-
ваются в нуль и в следующем такте
измерения происходит определение
значений A_2 и φ_2 при соответствующих
коммутациях в переключателе 9 и
т.д. Записанные в блоке 22 памяти
значения A_1, \dots, A_6 и $\varphi_1, \dots, \varphi_6$
подвергаются математической обработ- 20
ке в арифметическом блоке 21 в со-
ответствии с формулами (6) и (7)

и значения модулей и аргументов
коэффициентов матрицы рассеяния
измеряемого четырехполюсника 6 ин-
дицируется на цифровом индикаторе
18 при подаче соответствующих
управляющих сигналов с блока 12 уп-
равления.

Таким образом, технико-экономи-
ческие преимущества предлагаемого
измерителя по сравнению с известным
заключаются в том, что он имеет
более высокую точность, так как
в измерительных уравнениях учитыва-
ются неидеальности трактов, обуслов-
ленные наличием отраженных волн от
вентилей, которые играют роль нагру-
зок, а также вследствие применения
одного канала преобразования частоты
устраняются погрешности из-за неиден-
тичности и нестабильности характе-
стик преобразователей при двухканаль-
ном преобразовании частоты.



Составитель Рабинович В.

Редактор О.Сопко

Техред Т. Дубинчак

Корректор Ю.Макаренко

Заказ 1990/39

Тираж 711

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

113035, Москва; Ж-35, Раушская наб., д.4/5

Филиал ППП 'Патент', г. Ужгород, ул. Проектная, 4