

первый выход второго 3-дБ делителя мощности соединен со входом третьего балансного модулятора, второй выход третьего 3-дБ делителя мощности соединен со входом четвертого балансного модулятора, выход третьего балансного модулятора соединен со входом четвертого 3-дБ делителя мощности, выход четвертого балансного модулятора соединен со входом пятого 3-дБ делителя мощности, сигнальные входы третьего и четвертого балансных модуляторов соединены с первым и вторым выходами электронного коммутатора соответственно, первый выход четвертого 3-дБ делителя мощности выполнен с возможностью подключения первого входа исследуемой микроволновой цепи, а первый выход пятого 3-дБ делителя мощности выполнен с возможностью подключения второго входа исследуемой микроволновой цепи, второй выход второго 3-дБ делителя мощности соединен со вторым входом первого балансного смесителя, первый выход третьего 3-дБ делителя мощности соединен с первым входом второго балансного смесителя, первый вход первого балансного смесителя соединен с выходом первого ферритового вентиля, второй вход второго балансного смесителя соединен с выходом второго ферритового вентиля, выходы промежуточной частоты первого и второго балансных смесителей соединены соответственно с первым и вторым измерительными входами измерительно-вычислительного блока, входы первого и второго ферритовых вентиля соединены соответственно с выходами первого и второго балансных модуляторов, второй выход четвертого 3-дБ делителя мощности соединен со вторым входом первого балансного модулятора, второй выход пятого 3-дБ делителя мощности соединен со вторым входом второго балансного модулятора, выход генератора модулирующего напряжения соединен с первым входом электронного коммутатора, а выход измерительно-вычислительного блока соединен со вторым входом электронного коммутатора.

Изобретение относится к технике измерений в микроволновом диапазоне и может быть использовано при измерении комплексных параметров (S-параметров) микроволновых цепей различного типа (двухполюсники, четырехполюсники и многополюсники).

Известен измеритель микроволновых цепей типа НР8510 [1], содержащий микроволновый генератор, кольцевой измерительный тракт с направленными ответвителями (измерительными мостами), микроволновыми переключателями, обеспечивающими поочередно распространение микроволнового сигнала через исследуемую цепь в противоположных направлениях, согласованными нагрузками и смесителями, микроволновый гетеродин с системой фазовой автоподстройки частоты, синхронно перестраиваемый с качанием частоты микроволнового генератора, и измерительно-вычислительный блок, обеспечивающий автоматизацию процесса измерения S-параметров и осуществляющий аналого-цифровую обработку измерительной информации с представлением результатов измерения S-параметров в декартовой или полярной системе координат.

Однако данный измеритель, являющийся одним из самых современных приборов подобного типа, относится к гетеродинным приборам, и хотя обеспечивает автоматический анализ микроволновых цепей с высокими метрологическими характеристиками, но имеет, очень сложное схемно-алгоритмическое решение, требует применения самой современной вычислительной техники с соответствующим программным обеспечением и, как следствие, является одним из самых дорогостоящих радиоизмерительных приборов. В связи с этим актуальной является задача разработки гомодинных измерителей микроволновых цепей, которые значительно проще и дешевле гетеродинных измерителей.

Наиболее близким по технической сущности к заявленному измерителю является выбранный в качестве прототипа векторный анализатор цепей типа МС5-9121 [2], содержащий микроволновый генератор, соединенный со входом трехканального делителя мощности, первый выход которого соединен со входом 3-дБ делителя мощности, в свою

очередь, первый выход которого подключен через первый ферритовый вентиль к гетеродинному входу второго балансного смесителя. Второй выход трехканального делителя мощности соединен через последовательно включенные третий ферритовый вентиль, первый балансный модулятор и четвертый ферритовый вентиль со входом первичного канала первого направленного ответвителя, выход которого является первым входом для подключения исследуемой микроволновой цепи, а выход вторичного канала подключен к сигнальному входу первого балансного смесителя. Третий выход трехканального делителя мощности соединен через последовательно включенные пятый ферритовый вентиль, второй балансный модулятор и шестой ферритовый вентиль со входом первичного канала второго направленного ответвителя, выход которого является вторым входом для подключения исследуемой микроволновой цепи, а выход вторичного канала подключен к сигнальному входу второго балансного смесителя. Причем выходы промежуточной частоты первого и второго балансных смесителей подключены соответственно к первому и второму измерительным входам измерительно-вычислительного блока. Модулирующие входы первого и второго балансных модуляторов соединены с первым и вторым выходами генератора модулирующего напряжения, третий выход которого подключен к информационному входу измерительно-вычислительного блока, а управляющий выход этого блока соединен с управляющим входом микроволнового генератора.

Недостатком прототипа, который, безусловно, является более простым и дешевым прибором по сравнению с любым из известных гетеродинных измерителей, является по-прежнему имеющая место относительная сложность структуры и конструкции его микроволнового измерительного тракта. Это вызвано, во-первых, необходимостью создания с помощью трехканального делителя мощности автономного опорного канала, разветвляющегося при помощи дополнительного 3-дБ делителя мощности в соответствии с кольцевой структурой измерительного канала, во-вторых, большим числом ферритовых вентилях, необходимых для обеспечения требуемой развязки между опорным каналом и плечами кольцевого измерительного канала, и, наконец, в-третьих, необходимостью подключения исследуемой микроволновой цепи к плечам кольцевого измерительного канала через направленные ответвители (измерительные мосты).

Задача изобретения - упрощение структуры и конструкции микроволнового тракта измерителя.

Указанная задача достигается тем, что в известный измеритель, содержащий микроволновый генератор, соединенный со входом первого 3-дБ делителя мощности, генератор модулирующего напряжения, первый и второй выходы которого соединены с модулирующими входами соответственно первого и второго балансных модуляторов, и измерительно-вычислительный блок, информационный вход и выход которого подключены к выходу и входу генератора модулирующего напряжения, а управляющий выход и вход соединены с управляющим входом и выходом микроволнового генератора, введены второй, третий, четвертый и пятый 3-дБ делители мощности, первый и второй балансные смесители, первый и второй ферритовые вентиля, третий и четвертый балансные модуляторы и электронный коммутатор, причем к первому выходу 3-дБ делителя мощности подключен вход второго 3-дБ делителя мощности, а ко второму его выходу - вход третьего 3-дБ делителя мощности, далее к первому выходу второго 3-дБ делителя мощности подключен вход третьего балансного модулятора, а ко второму выходу третьего 3-дБ делителя мощности - вход четвертого балансного модулятора, причем к первому выходу третьего балансного модулятора подключен вход четвертого 3-дБ делителя мощности, а ко второму выходу четвертого балансного модулятора - вход пятого 3-дБ делителя мощности, сигнальные входы третьего и четвертого балансных модуляторов соединены с первым и вторым выходами электронного коммутатора, причем выход четвертого 3-дБ делителя мощности является первым входом для подключения исследуемой микроволновой цепи, а выход пятого 3-дБ делителя мощности - вторым входом для подключения ис-

ВУ 19773 С1 2016.02.28

следуемой микроволновой цепи, ко второму выходу второго 3-дБ делителя мощности подключен вход первого балансного смесителя, а ко второму выходу третьего 3-дБ делителя мощности - вход второго балансного смесителя, причем к первому входу первого балансного смесителя подключен выход первого ферритового вентиля, а ко второму входу второго балансного смесителя - выход второго ферритового вентиля, и далее выходы промежуточной частоты балансных смесителей подключены соответственно к первому и второму измерительным выходам измерительно-вычислительного блока, причем со входами первого и второго ферритовых вентилях соединены соответственно выходы первого и второго балансных модуляторов, выход четвертого 3-дБ делителя мощности подключен к входу первого балансного модулятора, а ко второму выходу пятого 3-дБ делителя мощности - вход второго балансного модулятора, и, наконец, генератор модулирующего напряжения соединен с выходом и входом электронного коммутатора, а также измерительно-вычислительный блок соединен с выходом и входом электронного коммутатора.

На фигуре приведена структурная схема измерителя.

Измеритель (фигура) содержит микроволновый генератор 1, первый 2, второй 3, третий 4, четвертый 5 и пятый 6 трехдецибелльные (3-дБ) делители мощности, первый 7 и второй 8 балансные смесители, первый 9 и второй 10 ферритовые вентиля, первый 11, второй 12, третий 13 и четвертый 14 балансные модуляторы, измерительно-вычислительный блок 15, генератор модулирующего напряжения 16, электронный коммутатор 17, а также исследуемая микроволновая цепь 18.

При этом микроволновый генератор 1 соединен с входом первого 2 делителя мощности 3-дБ, к первому выходу которого подключен вход второго 3 делителя мощности 3-дБ, а ко второму выходу - вход третьего 4 делителя мощности 3-дБ. Выходы второго 3 и третьего 4 делителей мощности 3-дБ соединены со входами соответственно первого 11 и четвертого 14 балансных модуляторов, а со вторыми выходами второго 3 и третьего 4 делителей мощности 3-дБ соединены входы соответственно первого 7 и второго 8 балансных смесителей. Выходы первого 11 и четвертого 14 балансных модуляторов соединены со входами четвертого 5 и пятого 6 делителей мощности 3-дБ, а к выходам четвертого 5 и пятого 6 делителей мощности 3-дБ подключена исследуемая микроволновая цепь 18. Входы первого 7 и второго 8 балансных смесителей соединены с входами соответственно первого 9 и второго 10 ферритовых вентилях. Далее выходы первого 9 и второго 10 ферритовых вентилях соединены с выходами соответственно второго 12 и третьего 13 балансных модуляторов, а входы второго 12 и третьего 13 балансных модуляторов соединены с выходами соответственно четвертого 5 и пятого 6 делителей мощности 3-дБ. И далее выходы промежуточной частоты первого 7 и второго 8 балансных смесителей подключены к первому и второму измерительным выходам измерительно-вычислительного блока 15, а первый и второй выходы генератора модулирующего напряжения 16 соединены с модулирующими входами соответственно второго 12 и третьего 13 балансных модуляторов, причем генератор модулирующего напряжения 16 и измерительно-вычислительный блок 15 соединены со входами электронного коммутатора 17. И наконец, сигнальные входы первого 11 и четвертого 14 балансных модуляторов соединены с выходами электронного коммутатора 17, причем информационные вход и выход измерительно-вычислительного блока 15 подключены к выходу и входу генератора модулирующего напряжения 16, а управляющий выход и вход блока 15 соединен с управляющими входом и выходом микроволнового генератора 1.

Измеритель работает следующим образом. С помощью первого 2 делителя мощности 3-дБ выходной сигнал микроволнового генератора 1 подается через второй 3 и третий 4 делители мощности 3-дБ на входы первого 7 и второго 8 балансных смесителей и первого 11 и четвертого 14 балансных модуляторов и далее через четвертый 5 и пятый 6 делители мощности 3-дБ обеспечивает канализацию в исследуемую микроволновую цепь 1. Таким

образом, видно, что исключена необходимость создания автономного опорного канала с соответствующими микроволновыми узлами и организации связи плеч кольцевого измерительного канала с опорным через направленные ответвители (измерительные мосты), что было характерно для прототипа [2].

Далее видим, что есть еще и второй 12 и третий 13 балансные модуляторы. С одной стороны, по-прежнему балансные модуляторы 12 и 13 выполняют функции для прохождения микроволновых сигналов с частотой модулирующего напряжения F , которое подается на модулирующие входы модуляторов от генератора модулирующего напряжения 16. С другой стороны, балансные модуляторы 11 и 14 должны защищать исследуемую цепь 18 от всех S -параметров. Поэтому балансные модуляторы 11 и 14 запитываются поочередно. Из блока 16 поступает постоянное напряжение положительной (или отрицательной) полярности, открывающее поочередно модуляторы 11 или 14 электронным коммутатором 17 (в соответствии с принципом его работы это имеет место, когда один из диодов модулятора открыт под воздействием постоянного напряжения соответствующей полярности). Если открыт модулятор 11 (~6 дБ), а модулятор 14 закрыт - ничего не подается (~40 дБ), то микроволновый сигнал через цепь 18 (или через $|S|$) поступает в прямом направлении S_{21} и отраженный сигнал от входа S_{11} поступает в делители мощности 6, 4, 2 и 3. Благодаря гибридным свойствам делителей мощности обеспечивается практически полная развязка плеч кольцевого тракта измерителя по сравнению с прототипом [2]. Если открыт модулятор 14, а модулятор 11 закрыт, то будет наоборот (S_{22} и S_{12}).

Кроме того, осуществляется поочередная коммутация каналов измерительно-вычислительного блока 15 к первому и второму измерительным выходам. Все это эквивалентно поочередному распространению измерительного микроволнового сигнала через исследуемую цепь 18 в противоположных направлениях и последовательному сбору информации о значениях всех S -параметров. Цикл сбора измерительной информации занимает по времени два периода качания частоты микроволнового генератора 1 при управлении этим процессом из измерительно-вычислительного блока 15 (функциональная связь между управляющим выходом блока и управляющим входом микроволнового генератора).

Во время первого периода качания частоты генератора 1 модулирующее напряжение частоты F подается из блока 16 на модулирующие входы балансных модуляторов 12 и 13. Первый канал измерительно-вычислительного блока 15, селектирующий напряжение частоты F , подключен к первому измерительному входу его, т.е. фактически к выходу промежуточной частоты первого 7 балансного смесителя. Второй канал измерительно-вычислительного блока 15, селектирующий напряжение частоты F , подключается ко второму измерительному входу его, т.е. фактически к выходу промежуточной частоты второго 8 балансного смесителя.

Сигнал, отраженный от входа цепи 18, пропорционален по определению S_{11} . Все составляющие этого сигнала, возвращаясь ко входу второго 12 балансного модулятора, подвергаются амплитудной балансной модуляции в блоке 16 и далее поступают на вход первого 7 балансного смесителя. Он интерферирует с опорным сигналом 3-дБ делителя мощности 3. В результате имеет место преобразование частоты. Дальнейший процесс формирования и усиления сигнала промежуточной частоты аналогичен прототипу [2]. Именно поэтому первый канал измерительно-вычислительного блока 15 должен, во-первых, селектировать напряжение частоты F , а во-вторых, подключаться на время первого периода качания частоты генератора 1 к первому измерительному входу блока 15, т.е. фактически к выходу промежуточной частоты первого 7 балансного смесителя. В результате мы образуем, по аналогии с прототипом [2], первый исходный измерительный сигнал с информацией о значениях и частотных характеристиках $|S_{11}|$ и ϕ_{11} .

Сигнал, прошедший в прямом направлении через цепь 18 во время первого периода качания частоты генератора 1, пропорционален по определению S_{21} . Он, как отмечалось

ВУ 19773 С1 2016.02.28

выше, проходит далее через 3-дБ делитель мощности 6 и поступает на вход третьего 13 балансного модулятора и подвергается амплитудной балансной модуляции в блоке 16, и далее поступает на вход второго 8 балансного смесителя. Поэтому второй канал измерительно-вычислительного блока 15 должен селективировать напряжение частоты F и подключаться на время первого периода качания частоты генератора 1 ко второму измерительному входу блока 15, т.е. фактически к выходу промежуточной частоты второго 8 балансного смесителя. Мы образуем в результате второй исходный измерительный сигнал с информацией о значениях и частотных характеристиках $|S_{11}|$ и φ_{21} .

Напоминаем, что балансные модуляторы 11 и 14 должны защищать исследуемую цепь 18 со стороны ее выхода (S_{21} и S_{22}) и со стороны ее входа (S_{11} и S_{12}). Если со стороны выхода S_{21} и входа S_{11} , то исходные состояния балансных модуляторов 11 (открыт) и 14 (закрит), а также выбранный алгоритм коммутации каналов измерительно-вычислительного блока 15 позволили собрать за время первого периода качания частоты генератора 1 информацию о значениях и частотных характеристиках $|S_{11}|$, $|S_{21}|$, φ_{11} и φ_{21} .

Во время второго периода качания частоты генератора 1 исходные состояния балансных модуляторов 11 и 14 должны быть перекоммутированы. Процесс сбора измерительной информации за время второго периода качания частоты генератора полностью аналогичен рассмотренному выше. В результате этого сбора третий исходный измерительный сигнал (на выходе первого канала измерительно-вычислительного блока) будет содержать информацию о значениях и частотных характеристиках $|S_{22}|$ и φ_{22} , а четвертый исходный измерительный сигнал (на выходе второго канала измерительно-вычислительного блока) - информацию о значениях и частотных характеристиках $|S_{12}|$ и φ_{12} .

И последнее. Во время первого периода качания отсутствует модуляция со стороны выхода S_{21} и входа S_{11} - есть только непрерывный сигнал от генератора 1. Если во время второго периода качания перекоммутировать балансные модуляторы 11 (закрит) и 14 (открыт), то со стороны выхода S_{22} и входа S_{12} тоже отсутствовала модуляция, то теперь - и в гомодинных измерителях, которые проще гетеродинных.

Источники информации:

1. Каталог фирмы Hewlett-Packard (ежегодный).
2. Векторный анализатор цепей типа MC5-9121. Рекламный проспект. Техническое описание и руководство по применению.