

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-ТРАКТОВ*И. К. БОНДАРЕНКО, д-р техн. наук, Ю. Б. ГИМПЕЛЕВИЧ, канд. техн. наук***НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ СВЧ-ДИАПАЗОНА**

Номенклатура средств автоматического измерения параметров СВЧ-устройств достаточно широка. Рассмотрим некоторые тенденции развития автоматических средств измерения модулей и фаз коэффициентов отражения и передачи, которые применяются в различных областях науки и техники. С момента появления генераторов качающейся частоты СВЧ-диапазона (60-е гг.) эти средства непрерывно совершенствовались, пройдя путь от простейших анализаторов цепей аналогового типа до автоматических компьютерных систем или автоматических анализаторов цепей (ААЦ).

Проанализировать тенденции развития средств измерения можно, разбив их на группы по некоторым общим признакам. Однако не существует единого всеобъемлющего критерия классификации для столь широкого и непрерывно развивающегося класса приборов. Выделим наиболее важный, на наш взгляд, признак, на основе которого проведем укрупненную классификацию, проследим тенденции развития и область применения. В соответствии с этим признаком все приборы разобьем на три класса: приборы общего назначения; приборы для научных исследований; приборы для встроенного контроля и диагностики.

Приборы общего назначения. Эти приборы широко используются различными предприятиями при организации массового либо серийного выпуска продукции, а также конструкторскими подразделениями для проведения опытных работ. Рабочий диапазон частот этих приборов составляет от мегагерц до десятков гигагерц. Выпуск такой аппаратуры налажен у нас в стране и за рубежом в виде больших серий. В нашей стране выпускаются группы приборов Р2(РК2) (измерители КСВ и ослабления панорамные), Р4(РК4) (измерители комплексных коэффициентов передачи), Р5 (измерители неоднородностей линий передачи). В приборах первых двух групп используется рефлектометрический метод измерения, основанный на выделении падающей, отраженной и прошедшей волн с помощью направленных ответвителей либо мостовых схем. В приборах Р5 используется принцип локации тракта короткими импульсами или перепадом напряжения с последующим приемом отраженных сигналов. Приборы группы Р2 (РК2) по существу являются скалярными анализаторами частотных характеристик, Р4(РК4) — векторными анализаторами частотных

характеристик (измерители S-параметров), а приборы группы P5 следует отнести к временным анализаторам цепей (временные импульсные рефлектометры). Особенность этого типа приборов — возможность различать близкорасположенные нерегулярности (разрешение по расстоянию).

Для измерения комплексных параметров СВЧ-узлов можно использовать приборы группы ФК (измерители разности фаз комбинированные), которые по существу являются измерителями векторных отклонений. Приборы этой группы работают в диапазоне частот 0,11—12,4 ГГц. К ним относятся широкополосные фазометры ФК2-18 (0,11—12,4 ГГц) и ФК2-12 (0,1—1 ГГц), а также относительно узкополосные ФК2-20—ФК2-26, перекрывающие диапазон не более октавы [1]. Для проведения измерений S-параметров необходима докомплектация этих приборов рефлектометром и генератором качающейся частоты (ГКЧ).

Основные требования, предъявляемые к приборам общего назначения, следующие: высокая производительность измерений; возможность оперативной настройки исследуемого СВЧ-узла с одновременным наблюдением результатов настройки, т. е. работа в реальном масштабе времени; минимальный набор образцовых мер, необходимых для калибровки; средний уровень точности (по отношению к достигнутому); умеренная цена.

Еще недавно погрешность измерения коэффициента стоячей волны такими приборами составляла порядка 10 %, ослабления порядка 0,8 дБ, фазы коэффициента отражения и передачи порядка 10° при $K_{стВ} = 2$, $A_x = 3$ дБ, $\varphi_x = 180^\circ$ [2]. Эти приборы строились на основе аналоговых методов обработки измерительной информации. Эти приборы выпускаются и сейчас, однако нашей промышленностью освоен выпуск микропроцессорных панорамных анализаторов общего назначения типов P2-73—P2-78, P4-36, P4-37, P4-38 [2]. Наличие встроенного микропроцессора придало приборам общего назначения ряд следующих сервисных функций: более высокий уровень автоматизации, автокалибровка, самодиагностика, цифровой отсчет частоты и измеряемых параметров. В этих приборах практически без изменения массогабаритных характеристик и при сохранении (или даже увеличении) производительности получены погрешности измерения: коэффициента стоячей волны порядка 6 %, ослабления порядка 0,4 дБ, фазы коэффициента отражения порядка 5° , т. е. метрологические характеристики улучшены приблизительно в два раза. Данный уровень точности характерен и для ряда зарубежных приборов. Так фирма Хьюлетт-Паккард (США) в течение ряда лет широко реализует в промышленности векторный ААЦ модели HP8410 со встроенной микрЭВМ, работающий в диапазоне частот 45 МГц — 26,5 ГГц.

Следует ожидать улучшения метрологических характеристик приборов общего назначения в результате применения процессоров с большим быстродействием и, как следствие, возможности реализации более сложных алгоритмов коррекции погрешностей, а также за счет структурных и архитектурных особенностей (применение нескольких процессоров с разделением функций). При этом достижимы погреш-

ности коэффициента стоячей волны порядка 3 %, ослабления порядка 0,2 дБ, фазы коэффициента отражения и передачи порядка 2°. Поэтому заслуживает внимания рекламируемый фирмой Хьюлетт-Паккард новый скалярный анализатор цепей модели HP-8757A [3], предназначенный для измерений частотных характеристик модулей коэффициентов отражения и передачи в коаксиальных волноводах (10 МГц — 26,5 ГГц) и металлических прямоугольных волноводах (до 40 ГГц) в динамическом диапазоне до 76 дБ.

В области временных измерений развитие происходило в направлении улучшения разрешающей способности по расстоянию, повышения чувствительности, увеличения дальности зондирования. Промышленностью выпускаются импульсные рефлектометры общего назначения P5-8—P5-13, а также осциллограф комбинированный стробоскопический СК7-18 (с рефлектометром импульсным). Достигнуты следующие характеристики: длительность зондирующего импульса порядка 50 пс, что соответствует разрешающей способности по расстоянию до 1 см (СК7-18); чувствительность по коэффициенту отражения — около 0,001 (P5-11), погрешность измерения коэффициентов отражения — порядка $\pm 2\%$ (P5-11, СК7-18), дальность зондирования — до 300 км (P5-10) [24]. Примерно такими же характеристиками обладают зарубежные время-импульсные рефлектометры моделей 1501 фирмы Тектроникс (США) 1815/В фирмы Хьюлетт-Паккард [5]. В результате совершенствования генераторов зондирующих сигналов и уменьшения фронта в 2—3 раза, а также увеличения широкополосности стробоскопических преобразователей до 20 — 25 ГГц разрешающая способность по расстоянию может составить доли сантиметра. Это подтверждается последними сообщениями по разработке прибора P5-15 [6].

Сейчас можно отметить некоторое повышение интереса к так называемым радиоимпульсным рефлектометрам, в которых в качестве зондирующего сигнала используется радиоимпульс наносекундной длительности либо радиоперепад с наносекундной длительностью фронта [7]. Эти приборы позволяют не только разрешать по расстоянию неоднородности, но также измерить модуль и фазу коэффициента отражения на несущей частоте зондирующего сигнала. Приборы этого типа могут стать незаменимым инструментом для настройки протяженных трактов с ограниченной полосой пропускания, например, на полых волноводах. Однако серийно такие приборы у нас в стране не выпускаются, хотя научные разработки ведутся. Из зарубежных радиоимпульсных рефлектометров отметим прибор модели РТТ-D 23 (ФРГ) [5], в котором длительность зондирующего радиоимпульса составляет 5—10 нс, диапазон несущих частот 1 — 18 ГГц, динамический диапазон 40 дБ.

Отметим ряд новых практических задач. Для обеспечения массового производства СВЧ-элементов (например, элементов ФАР) необходимо создать приборы общего назначения с возможностью допускового контроля и отбраковки изделий по виду АЧХ и ФЧХ. В связи с этим в приборах должны быть предусмотрены память с возможностью записи в нее эталонной частотной характеристики

и устройство компарирования. Чтобы разработать функциональные узлы с малыми потерями (фильтры, трансформаторы, переходы, изгибы и др.), в приборах общего назначения следует повысить разрешающую способность и точность до уровня 0,03 — 0,05 дБ при измерении малых ослаблений 0,1 — 0,3 дБ во всей полосе частот. Очевидно, такая задача может быть решена применением нормализаторов [1] и специальных схем измерения отношения напряжений, работающих в панорамном режиме [8].

Приборы для научных исследований. К этим приборам следует отнести прецизионные измерительные комплексы, используемые для физических исследований, а также в лабораториях национальных метрологических служб, в частности в органах Госстандарта СССР, в качестве образцовых панорамных средств измерения. Как правило, такие системы изготавливаются в единичных экземплярах заинтересованными организациями либо в виде небольших серий. Основным требованием, предъявляемым к этим приборам, является высокая точность измерений. В ряде случаев это предельная точность, которую возможно получить на данном этапе. Кроме того, измерительный комплекс должен предусматривать возможность переоснастки его более совершенными средствами, а также возможность изменения алгоритма обработки информации для реализации новых методов коррекции погрешностей или при смене комплекта образцовых мер, по которым проводится калибровка. В таких системах используется статистическая обработка результатов измерений в целях уменьшения случайной составляющей погрешности.

Измерительный комплекс обычно агрегируется из наиболее совершенных приборов и включает в себя синтезатор частоты, измеритель векторных или скалярных отношений, СВЧ-преобразовательный блок, интерфейсный блок. Все приборы, входящие в комплекс, через канал общего пользования (КОП) связаны с центральной ЭВМ.

Повышение точности измерительной системой достигается использованием широкого набора образцовых мер [9]. Это приводит к тому, что продолжительность калибровки данных приборов существенно больше, чем у приборов общего назначения. Алгоритмы обработки измерительной информации значительно усложняются, поэтому время, затрачиваемое на измерение в дискретной точке частотного диапазона даже при применении быстродействующих ЭВМ, остается существенным (до нескольких секунд). В итоге приборы этой группы не обеспечивают работу в реальном масштабе времени.

Применение универсальной или специализированной ЭВМ в составе системы в сочетании с дорогостоящим оборудованием, а также большие затраты по математическому обеспечению решаемых задач приводят к высокой стоимости таких анализаторов.

В качестве примера можно привести разработанный в нашей стране ААЦ типа РК4-17 [10], который обеспечивает измерение S-параметров четырехполюсников в диапазоне частот 0,1—12 ГГц с погрешностью порядка 1 % по модулю и 1° по фазе. В состав комплекса входит синтезатор частот, двухканальный стробоскопический преобразователь частоты, СВЧ-блок коммутируемых рефлектометров,

измеритель векторных отношений ФК2-18, интерфейсное оборудование и специализированная мини-ЭВМ. Фирма Хьюлетт-Паккард предлагает ААЦ повышенной точности с широким кругом возможностей модели HP8510 [3], а также модернизированный вариант [11]. Этот анализатор работает в диапазоне частот 45 МГц — 26,5 ГГц и обеспечивает измерение S -параметров четырехполюсников в динамическом диапазоне 80—100 дБ с разрешающей способностью по модулю 0,001 дБ, по фазе 0,01°.

На основе этого анализатора фирмой Хагес (США) создана система для измерения S -параметров в миллиметровом диапазоне волн модели 4781 \times Н с рабочей полосой частот 18 ÷ 110 ГГц, что достигнуто путем применения переносчика частоты в рабочий диапазон HP8510.

Наличие мощных вычислительных средств в панорамных анализаторах для научных исследований позволяет осуществить алгоритмический переход из частотной области во временную [12]. Это дает возможность на основе частотных характеристик получить временное (пространственное) разрешение, т. е. совместить функции панорамного анализатора частотных характеристик и временного импульсного рефлектометра. Интерес представляет и подход, в соответствии с которым после проведения прямого дискретного преобразования Фурье (ДПФ) получают пространственную характеристику. Затем, используя «временное окно», исключают влияние переотражений от присоединительных разъемов и других паразитных неоднородностей, а после этого проводят обратное ДПФ, получая уточненные частотные характеристики измеряемого объекта. При этом достигается повышение точности без предъявления высоких требований к соединителям, а также упрощается процедура калибровки. Для проведения ДПФ обычно используются различные алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ), однако есть и другие варианты. Например, если требуется получить информацию не на всем интервале времени, а только в узком временном интервале, то предпочтительным оказывается так называемое ЛЧМ- Z -преобразование [13].

Рассмотренные приборы для научных исследований построены на рефлектометрическом принципе измерения. В ААЦ шире стали использовать так называемый метод 12-полюсника [14]. Это объясняется тем, что информацию о векторных значениях получают путем измерения четырех скалярных величин (мощностей на выходах четырех плечей линейного 12-полюсника). При этом к двум другим плечам 12-полюсника подсоединены генератор и измеряемая нагрузка. Отсутствие преобразователей частоты резко упрощает высокочастотную часть таких ААЦ и позволяет создать приборы в области очень высоких частот. Так, использование квазиоптического 12-полюсного рефлектометра позволило расширить частотный диапазон до 390 ГГц (субмиллиметровые волны) [15]. Применение двух 12-полюсников (на входе и выходе) позволяет решить задачу определения модулей и фаз всех S -параметров четырехполюсника [16]. Калибровка реального 12-полюсного рефлектометра сводится к определению его собственных параметров. Как отмечается в работе [17], реализация

идеальной модели 12-полюсника в широкой полосе частот вряд ли возможна, поэтому в приборах общего назначения этот метод пока не реализован из-за сложности калибровки и как следствие невозможности работы в реальном масштабе времени. Все большая часть ААЦ для научных исследований строится на основе этого метода, в частности ААЦ для измерения параметров многополюсных СВЧ-узлов [18; 19]. В НБС США разрабатывается ААЦ на основе сдвоенного 12-полюсника, который будет использоваться в качестве образцового измерителя S -параметров четырехполюсников и одновременно как образцовый измеритель мощности [20]. Планируется работа в частотном диапазоне от 10 кГц до 100 ГГц при разрешающей способности по модулю $2 \cdot 10^{-5}$, фазе $0,003^\circ$ и погрешности измерения модуля коэффициента отражения порядка $0,2\%$ фазы $0,3^\circ$.

Модификация этого метода заключается в том, что вместо измерений мощности осуществляется измерение сдвига фаз между соответствующими выходами 12-полюсника [21]. Наряду с 12-полюсными анализаторами исследуются варианты с большим и меньшим количеством плеч [22].

В практике научных исследований все шире используются автоматизированные импульсно-рефлектометрические системы, включающие в свой состав генератор зондирующих сигналов, стробоскопический преобразователь, стробоскопический осциллограф, интерфейс, ЭВМ и устройство отображения информации [5]. Основное достоинство таких систем — возможность интерпретации результатов импульсного зондирования в частотной области путем проведения обратного ДПФ. Это позволяет совместить функции временного и частотного анализаторов в единой системе. Как видим, частотный и временной подходы позволяют решить одни и те же задачи, но только на основе различных исходных данных. Частотный подход, очевидно, имеет потенциально большую точность; однако, учитывая сложность реализации системы, а также высокую трудоемкость калибровок, следует отдать предпочтение временному подходу. Планируется серийный выпуск первой отечественной автоматизированной импульсно-рефлектометрической установки, предназначенной для поверки мер КСВН 2-го класса с погрешностью $\pm 2\%$ в диапазоне частот $0,3 - 4$ ГГц [23].

Приборы для встроенного контроля и диагностики. Встроенный контроль и диагностика комплексных параметров СВЧ-трактов реальных радиотехнических систем при настройке, регламентных работах, а также в режиме эксплуатации — эффективный метод повышения надежности и качества работы всего радиотехнического комплекса. Усложнение структуры радиотехнических систем привело к созданию так называемых автоматических систем контроля и диагностики их состояния (АСК), которые строятся на основе встроенных функциональных преобразователей. СВЧ-тракт оказался наименее обеспеченным средствами контроля. Это объясняется сложностью первичного преобразования и вторичной обработки измерительной информации, что приводит к громоздкости аппаратурной реализации. Выпускаемые серийно приборы общего назначения не могут быть

использованы для встроенного контроля из-за значительных габаритных размеров, а также из-за того, что эти приборы предназначены для работы со стандартными генераторами, работающими на малых уровнях мощности.

Основные требования, предъявляемые к приборам встроенного контроля и диагностики, следующие: малые габаритные размеры и масса, позволяющие устанавливать необходимое количество преобразователей в различных участках тракта; автоматизация процесса измерения, обеспечивающая автономную работу прибора в течение длительного времени; устойчивость к климатическим и механическим воздействиям, что дает возможность эксплуатировать прибор в сложных условиях — под воздействием широкого диапазона температур, вибраций, ударов, радиации и др. факторов; высокая точность измерения, обуславливающая достоверность контроля; широкополосность, обеспечивающая работу прибора в диапазоне возможной перестройки системы.

Укрупненная функциональная схема системы встроенного контроля и диагностики СВЧ-тракта представлена на рис. 1 [24]. Она построена на базе встроенных первичных преобразователей (ВПП), выходные сигналы которых несут информацию о параметрах объектов контроля и диагностики (ОК). Эти сигналы поступают в блок вторичной обработки информации. Блок обеспечивает определение параметров контролируемых объектов. Результаты измерений анализируются в блоке выдачи данных и принятия решения, обеспечивающем выдачу информации на внешние устройства, индикацию требуемых параметров, определение места неисправности, а также принимающая решение о дальнейшем функционировании объекта контроля в соответствии с определенным критерием. В этом блоке реализуются алгоритм определения параметров отдельных контролируемых объектов на основе результатов измерений и определенная методика локализации отказов.

Первая проблема, которая стоит перед разработчиками встроенной аппаратуры, — выбор типа датчика ВПП. Многоэлементные датчики наиболее полно удовлетворяют сформулированным требованиям [25]. В работе [26] обоснован коммутационный способ формирования измерительного сигнала, в соответствии с которым ВПП строится на основе многоэлементного датчика с коммутацией выходных сигналов элементов связи на один преобразовательный элемент (СВЧ-детектор). Это обеспечивает высокую стабильность и точность измерений при работе в жестких условиях эксплуатации.

Вторичную обработку измерительной информации можно провести по различным алгоритмам. В условиях автономной работы, когда оператор отсутствует (например, оперативный контроль бортового тракта), а аппаратура обработки должна иметь минимальные габаритные размеры и массу, обычно реализуются упрощенные алгоритмы обработки. Ранее разработан спектральный способ обработки информации, снимаемой с многоэлементного преобразователя [27]. Структурная схема встроенного измерителя модуля и фазы коэффициента отражения, основанного на этом способе, представлена на рис. 2.

Анализ распределения поля в первичном тракте осуществляется с помощью элементов связи 1—4, выходные сигналы с которых периодически коммутируются СВЧ-коммутатором в общий канал. После детектирования периодическая видеоимпульсная последовательность поступает на фильтр нижних частот и полссовой фильтр первой гар-

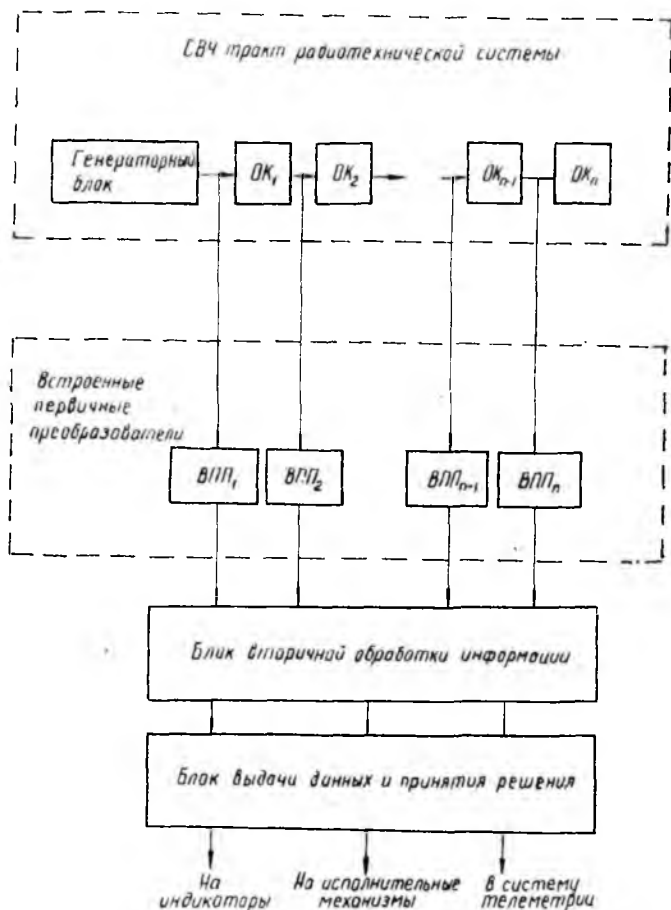


Рис. 1

моники коммутирующего сигнала. В дальнейшем осуществляется измерение амплитуды и начальной фазы первой гармоники, которые пропорциональны модулю и фазе комплексного коэффициента отражения. Для исключения влияния уровня мощности и мультипликативной погрешности ВПП на результаты измерения применен измеритель отношения.

Так как ВПП является элементом антенно-фидерного тракта радиотехнической системы, монтируемым в тракт при его сборке, возникает вопрос о целесообразности использования ВПП в заводских

условиях при настройке, приемо-сдаточных и контрольных испытаниях системы. В связи с этим наметилась тенденция создания ААЦ на основе ВПП. Применение средств вычислительной техники позволило реализовать более сложные алгоритмы обработки информации, повысить точность и широкополосность измерений [28]. Поскольку в конечном итоге качество и надежность работы радиотехнической систе-

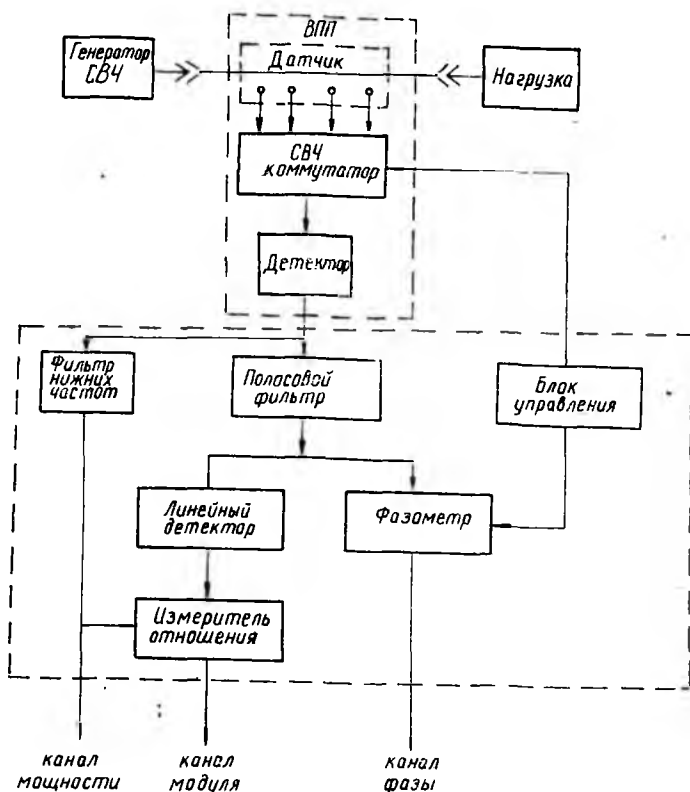


Рис. 2

мы в реальных условиях эксплуатации является конечной целью, данная тенденция в ближайшие годы может существенно повлиять на развитие в области СВЧ-измерений. Следует ожидать повышения спроса на приборы встроенного контроля и диагностики, что, в свою очередь, приведет к решению задач агрегатирования таких приборов со средствами обработки информации.

В заключение отметим, что основные тенденции развития приборов общего назначения связаны с широким использованием встроенных микропроцессорных вычислителей, реализующих алгоритмы измерения в реальном масштабе времени.

В ближайшее время не следует ожидать существенного улучшения характеристик направленных датчиков, поэтому улучшение метро-

логических характеристик приборов общего назначения будет достигаться в основном за счет реализации более эффективных алгоритмов коррекции погрешностей. Применение многопроцессорных систем с разделением функций открывает дополнительные возможности в плане повышения точности и расширения сервисных возможностей приборов общего назначения. Заслуживает внимания возможность комплектации процессорных измерителей набором мер полных сопротивлений с широким диапазоном изменения значения модуля и фазы, что позволяет повысить точность самокалибровки приборов. Развитие научного приборостроения в области СВЧ-измерений будет и в дальнейшем идти по пути создания все более совершенных автоматических измерительных систем. Очевидно, скоро измерители, основанные на принципе преобразования частоты, будут вытеснены многополюсными рефлектометрами, которые потенциально более широкополосны и при реализации соответствующих процедур калибровки могут обеспечить более высокие точности измерения при меньших аппаратных затратах. Объединение функций временного и частотного анализаторов в единой системе путем реализации алгоритмов БПФ существенно расширяет возможности таких систем и круг решаемых задач. Уменьшение стоимости таких систем может привести к существенному увеличению спроса на них.

Создание простых преобразователей, пригодных для встраивания в тракты радиотехнических систем, и агрегатирование этих преобразователей со средствами обработки информации, которые обеспечивают все преимущества ААЦ, является перспективным направлением развития измерительной техники СВЧ-диапазона.

В связи с этим актуальны задачи поиска новых принципов построения первичных преобразователей, разработки алгоритмов обработки информации, ориентированных на применение в условиях автономного функционирования и агрегатирования. Новыми задачами являются диагностические задачи, связанные с разработкой алгоритмов поиска и локализации отказавших узлов.

Список литературы: 1. Абубакиров Б. А., Гудков К. Г., Нечаев Э. В. Измерение параметров радиотехнических цепей. М., 1984. 248 с. 2. *Изделия промышленности средств связи* / Каталог ЦООНТИ «ЭКОС». М., 1983. 160 с. 3. *Scalar-Netzwerk-Analysator* von Hewlett — Packard // *Microwellen Mag.* 1985. 11. № 2. P. 164. 4. *Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов* / Глебович Г. В., Андрианов А. В., Введенский Ю. В. и др. М., 1984. 256 с. 5. *Горлов Н. И.* Современное состояние и область применения импульсной (временной) рефлектометрии // *Зарубеж. радиоэлектроника.* 1986. № 4. С. 57 — 67. 6. *Половников В. А., Голуб И. А.* Новый импульсный рефлектометр пикосекундного диапазона P5-15 // *Тез. док. Регион. науч.-техн. конф. «Радиоизмерения».* Новосибирск, 1986. С. 49 — 50. 7. *Сухоробрев В. Г., Введенский Ю. В., Слюваткин В. С.* Измерение местоположения и величины неоднородностей волноводных трактов методом радиоимпульсной рефлектометрии // *Метрология в радиоэлектронике: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. М., 1981. С. 224 — 226.* 8. *Жилинскас Р. П.-П.* Измерители отношения и их применение в радиоизмерительной технике. М., 1975. 319 с. 9. *Каменецкий М. И., Кондаков Ю. В.* Особенности метрологического обеспечения автоматических анализаторов цепей / *Исследования в области радиотехнических измерений: Сб. науч. тр. Всесоюз. НИИ метрологии. Л., 1984. С. 85 — 90.* 10. *Андреев И. Л.* Анализ основных источников погрешности измерения параметров

цепей на СВЧ и методика их учета // Материалы науч.-техн. конф. «Радиоизмерения». Каунас, 1978. 1. С. 14 — 19. 11. *Browne Jack. R. F. engineers get a vector analyzer* // *Microwave and R. F.* 1986. 25. № 1. С. 119 — 121. 12. *Ulriksson B. A time domain reflectometer using a Semiautomatic network analyzer and the fast Fourier transform* // *IEEE Trans. MTT.* 1981. 29. № 2. P. 172—174. 13. *Ульрикссон Б.* Преобразование данных из частотной области во временную // Тр. Ин-та инж. по электротехнике и радиоэлектронике. 1986. 74. № 1. С. 84—87. 14. *Hoer C. A. The six-port coupler: a new approach to measuring voltage, current, power, impedance and phase* // *IEEE Trans. IM.* Nov. 1972. 21. P. 466—470. 15. *Юркис А. П., Штумпер У.* Национальные эталоны и аппаратура высшей точности для измерения импеданса и коэффициента отражения // Тр. Ин-та инж. по электротехнике и радиоэлектронике. 1986. 74. № 1. С. 45 — 52. 16. *Hoer C. A. A network analyzer incorporating two six-port reflektometers* // *IEEE Trans. MTT.* 1977. 25. P. 1070—1074. 17. *Чупров И. И.* Проблемы и перспективы развития техники панорамного измерения S-параметров // Материалы науч. заседания, посвящен. 25-летию Каунас. НИИ радиоизмерит. техники. С. 268 — 279. 18. *Анализ методов калибровки 12-полосного рефлектометра* / Петров В. П., Рясный Ю. В., Журавлев О. Б., Пологурдов В. П. // Измер. техника. 1985. № 10. С. 40 — 41. 19. *Никулин С. М., Петров В. В., Салов А. Н.* Измерение параметров СВЧ-цепей методом двенадцатиполосных рефлектометров // Материалы науч. заседания, посвящен. 25-летию Каунас. НИИ радиоизмерит. техники. Каунас, 1983. 2. С. 217 — 221. 20. *Келлер Р. А.* Карты точности измерений на высоких и сверхвысоких частотах // Тр. Ин-та инж. по электротехнике и радиоэлектронике. 1986. 74. № 1. С. 32 — 37. 21. *А. с. 1237994 СССР.* Способ определения комплексного коэффициента отражения СВЧ устройств / Каменецкий М. И., Конышев Н. В. // Открытия. Изобретения. 1986. № 22. С. 80. 22. *Broutervik K., Kollberg E. A new four—port automatic network analyzer. Part I. Description and Performance* // *IEEE Trans. MTT.* 1985. 33. № 7. P. 563—568. 23. *Горлов Н. И.* Установка автоматизированная импульсно-рефлектометрическая КЗ-6 // Тез. докл. Регион. науч.-техн. конф. «Радиоизмерения». Новосибирск, 1986. С. 59 — 60. 24. *Гимпилевич А. Б., Афонин И. Л.* Опыт разработки измерительных преобразователей контроля и диагностики параметров радиотехнических систем. К., 1986. 24 с. 25. *Бондаренко И. К., Дейнега Г. А., Маграчев З. В.* Автоматизация измерений параметров СВЧ-трактов. М., 1969. 304 с. 26. *Бондаренко И. К., Гимпилевич Ю. Б.* Встраиваемый волноводный измеритель комплексного коэффициента отражения // Техника средств связи. Сер. Радиоизмер. техника. 1976. Вып. 6. С. 19 — 25. 27. *А. с. 1092432 СССР.* Способ измерения модуля и фазы коэффициентов отражения и передачи СВЧ устройств // Открытия. Изобретения. 1984. № 18. С. 80. 28. *Бондаренко И. К., Гимпилевич Ю. Б., Царик Ю. И.* Автоматический анализатор цепей многоэлементного типа и методы его калибровки // Измер. техника. 1985. № 10. С. 33 — 34.

Поступила в редколлегию 20.04.87