

УДК 621.356

МНОГОПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ПАНОРАМНЫЙ РАДИОМЕТР-СКАТТЕРОМЕТР

К.С. МОСОЯН, Р.В. ВОСКАНЯН, Г.Я. АРУТЮНЯН

Научно-производственный институт "Комета"

(Поступила в редакцию 13 октября 2003 г.)

Приведены описание и принцип работы совмещенного панорамного радиометра-скаттерометра с многополяризационным выходом, позволяющего регистрировать одновременно с одной и той же площадки рассеянный сигнал с четырьмя видами поляризации излучения и приема и две ортогональные компоненты радиояркой температуры. Приведены результаты предварительной обработки экспериментальных исследований характеристик собственного излучения и рассеяния радиоволн от морской поверхности.

В настоящее время ведутся интенсивные работы по исследованию метеорологических и ресурсных задач радиофизическими методами. Решение этих задач требует детального изучения характеристик радиоизлучения и рассеяния подстилающих поверхностей: их зависимость от гидрофизических параметров, силы и направления ветра, степени поляризации, температуры и т.п.

В силу сложности задач необходимо расширение функциональных возможностей измерительного прибора, связанных с дополнительным наращиванием информативных каналов регистрации. Одним из методов существенного повышения эффективности средств дистанционного зондирования, наряду с совмещением активных и пассивных каналов [1], является обеспечение одновременного приема различных поляризационных компонент рассеянного и собственно-излучаемого сигналов. Это позволяет приблизиться к более точному определению характеристик рассеяния и излучения подстилающих поверхностей и однозначному определению характера возникших слабоконтрастных аномалий [1,2].

Ниже описывается разработанный бортовой панорамный радиометр-скаттерометр, обеспечивающий функциональное совмещение в одном приборе пассивных и активных средств дистанционного зондирования и позволяющий одновременно регистрировать сигнал рассеяния на четырех видах поляризации излучения и приема и две ортогональные компоненты собственного излучения. Структурная схема предлагаемого многополяризационного радиометра-скаттерометра приведена на рис.1. Прибор объединяет в себе модуляционный радиометр и импульсный радиолокатор (скаттерометр). Обе

системы работают на одну антенну с использованием для обоих каналов одних и тех же входных СВЧ-узлов.

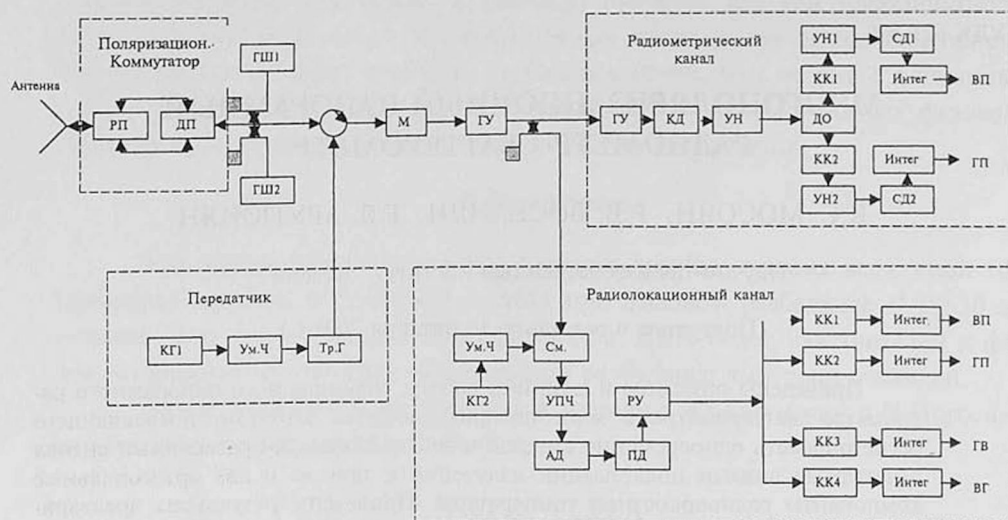


Рис.1. Многополяризационный радиометр-скаттерометр.

Совмещение работы радиометра с радиолокатором и обеспечение одновременного приема поляризационных компонент рассеянного и собственного излучения основывается на временном методе работы и селекции сигналов. На рис.1,2 показаны структурная схема и временная диаграмма работы радиометра-скаттерометра.

Передающее устройство радиолокатора состоит из задающего генератора (КГ1) и умножителей частоты (УЧ). В качестве оконечного каскада для формирования выходной мощности сигнала передатчика используется транзисторный генератор, работающий в режиме внешней синхронизации. На такой же основе построен и гетеродинный тракт.

Для устранения мешающего воздействия гетеродина на радиометрический канал, а также во избежание возможности насыщения усилителя промежуточной частоты (УПЧ) сигналом передатчика, гетеродинирование осуществляется в импульсном режиме, т.е. мощность гетеродина подается на смеситель только в диапазоне вероятного интервала времени прихода рассеянного сигнала. Радиолокационный прием в каждом тактовом периоде ограничивается интервалом $t=30$ мкс.

В качестве устройства формирования соответствующих поляризационных компонент зондирующего и приемных сигналов используется быстродействующий поляризационный коммутатор. Он обеспечивает поочередное зондирование сигнала передатчика на вертикальной и горизонтальной поляризациях (ВП и ГП) и соответствующий прием ортогональных кроссполяризованных (КП) компонент рассеянного сигнала. При этом между импульсами

зондирования и приема радиолокационных сигналов происходит прием радиотепловых сигналов поочередно на двух ортогональных поляризациях в соответствии с тактовой частотой работы радиолокатора.

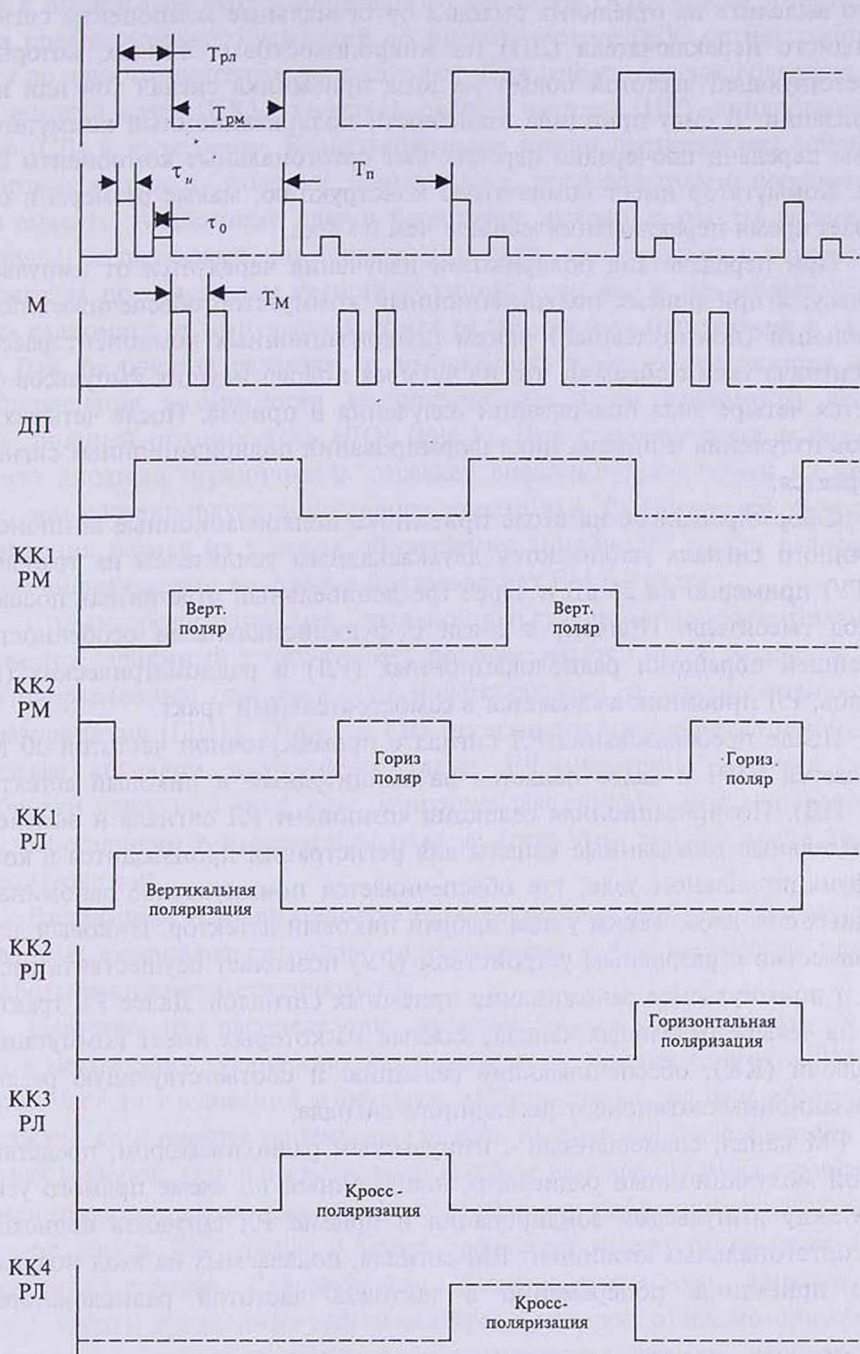


Рис.2. Временная диаграмма работы и управления на ключевых точках схемы.

Поляризационный коммутатор представляет собой быстродействующий диодный переключатель плоскости поляризации, состоящий из разделителя поляризации (РП) на волноводе с квадратным сечением, позволяющего выделить на отдельных выходах ортогональные компоненты сигнала, и диодного переключателя (ДП) на микрополосковых линиях, который с соответствующей частотой подает на вход приемника сигнал той или иной поляризации. В силу принципа взаимности поляризационный коммутатор в режиме передачи поочередно переключает ортогональные компоненты в антенне. Коммутатор имеет компактную конструкцию, малые размеры и обеспечивает время переключения меньше чем 0.5 мкс.

При передаче вид поляризации излучения чередуется от импульса к импульсу, а при приеме поляризационный коммутатор обеспечивает последовательный (поимпульсный) прием поляризационных компонент рассеянного сигнала таким образом, что из четырех подряд идущих импульсов формируется четыре вида поляризации излучения и приема. После четырех импульсов излучения и приема цикл формирования поляризационных сигналов повторяется.

Сформированные на входе приемника поляризационные компоненты рассеянного сигнала усиливаются двухкаскадным услителем на транзисторах (ТУ) примерно на 25 дБ и через трехдецибелный ответвитель подаются на вход смесителя. Причем, в связи с функциональными особенностями дальнейшей обработки радиолокационных (РЛ) и радиометрических (РМ) сигналов, РЛ приемник выделяется в самостоятельный тракт.

После преобразования РЛ сигнал с промежуточной частотой 30 МГц усиливается УПЧ и далее подается на амплитудный и пиковый детекторы (АД и ПД). Поляризационная селекция компонент РЛ сигнала и выделение их в отдельные развязанные каналы для регистрации производится в конечном функциональном узле, где обеспечивается поимпульсное запоминание приемных сигналов. Таким узлом выбран пиковый детектор. Пиковый детектор совместно с разрядным устройством (РУ) позволяет осуществить расширение и поимпульсное запоминание приемных сигналов. Далее РЛ тракт делится на четыре отдельных канала, каждый из которых имеет коммутационные ключи (КК), обеспечивающие селекцию и соответствующую развязку поляризационных компонент рассеянного сигнала.

РМ канал, совмещенный с импульсным радиолокатором, представляет собой модуляционный радиометр, построенный по схеме прямого усиления. Между импульсами зондирования и приема РЛ сигналов происходит прием ортогональных компонент РМ сигнала, подаваемых на вход модуляционного приемника попеременно с тактовой частотой радиолокатора в 1 кГц.

Модуляция РМ сигнала осуществляется модулятором (М), установленным на выходе приемника (частота модуляции 10 кГц), одновременно выполняющим и функцию антенного переключателя для радиолокатора, обес-

печивая при этом совместно с входным циркулятором развязку прием-передача (60 дБ).

Амплитудно-модулированный шумовой сигнал усиливается ТУ на 50 дБ и подается на вход квадратичного детектора (КД). После детектирования и предварительного усиления по низкой частоте (НУ) сигнал распределяется по двум самостоятельным каналам. Каждый из каналов содержит коммутационный ключ (КК), усилитель низкой частоты (НУ), синхронный детектор (СД) и интегратор. Коммутационные ключи представляют собой три аналоговых ключа на полевых транзисторах, последовательно соединенных через емкость. Аналоговые ключи блокируют выходные тракты радиометра (см. рис.2) и позволяют, во-первых, разделить ортогональные компоненты РМ сигнала по отдельным регистрирующим выходам, и, во-вторых, блокировать радиометр от импульсных помех радиолокатора (передатчик и гетеродин). Для увеличения развязки от импульсных помех радиолокатора и для предотвращения возможности насыщения НЧ части радиометра используется диодный ограничитель (ДО) (рис.1). Порог ограничения выбирается так, что диодный ограничитель отсекает видеоимпульсы помех на уровне выше, чем уровень флуктуации шумов приемника. Выбирают такой уровень ограничения исходя из условия обеспечения линейности тракта радиометра во всем динамическом диапазоне принимаемых РМ сигналов.

С целью реализации максимальной флуктуационной чувствительности радиометра, приемный тракт с входа подшумливается путем подачи в тракт через направленный ответвитель шумового сигнала от полупроводникового генератора шума (ГШ1). Этим же ГШ производится калибровка приемника. Шумовым сигналом калибруется также РЛ приемник, причем сигнал калибровки известной величины, имитируя рассеянный сигнал, подается от ГШ2, работающего в импульсном режиме (при этом зондирование сигнала не производится).

Рассмотрим условия одновременности приема основных и кроссполяризованных компонент сигналов, определяющие выбор временной диаграммы работы радиометра-скаттерометра.

Известно, что распределение времени работы каналами приема приводит к некоторому ухудшению флуктуационной чувствительности РМ приемника. Частота следования импульсов выбирается из условия обеспечения для каждой компоненты приемного сигнала максимального количества независимых выборок. Однако увеличение частоты повторения импульсов зондирования приводит к уменьшению скважности, что неблагоприятно влияет на чувствительность РМ канала, а также затрудняет защиту радиометра от импульса радиолокатора. Следовательно, выбирая временную диаграмму совместной работы радиометра-радиолокатора, в котором отдельно принимаются основные и кроссполяризованные компоненты сигнала, необходимо в каждом конкретном случае применения принимать компромиссное решение при распределении времени работы между пассивным и активным каналами.

Ниже приведены основные реализованные параметры радиометра-скаттерометра 4-х см диапазона, предназначенного для многополяризационного приема рассеянного и собственно-излучаемого сигналов.

Скаттерометр

Мощность передатчика, Вт.	2
Чувствительность приемника по каждому каналу приема ($\tau=1\text{с}$), дБ/Вт.	-152
Частота следования импульсов зондирования, кГц.	1
Длительность импульса зондирования, мкс.	1.5, 2
Поляризационная развязка между каналами, дБ.	25
Постоянная времени интегрирования выходных сигналов, с.	0.1, 0.5, 1.0
Частота переключения плоскости поляризации, кГц.	0.5
Время переключения плоскости поляризации, мкс.	0.5

Радиометр

Флуктуационная чувствительность в каждом канале ($\tau=1\text{с}$), К.	0.15
Поляризационная развязка между ортогональными каналами, дБ.	23
Постоянная времени интегрирования выходных сигналов, с.	0.1, 0.5, 1.0

Нами проведена предварительная обработка экспериментальных исследований характеристик собственного излучения и рассеяния морской поверхности (МП) с помощью 8-милучевой, 8-миканальной совмещенной активно-пассивной многополяризационной панорамной системы 4-х см диапазона волн с борта самолета.

Система обеспечивала контрастную чувствительность 0,1-0,2 дБ и флуктуационную чувствительность 0,15 К на элементе разрешения 100×100 м [1].

Исследования МП показали, что наблюдаемый разброс удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) по поляризационным компонентам может достигать 15 дБ. Зависимость среднего значения УЭПР от волнения МП приведена на рис.3 (угол наблюдения 50°). С увеличением волнения при скорости ветра 5-8 м/с кривая величины УЭПР при вертикальной поляризации вначале быстро возрастает, а затем попадает в область плато. Аналогичная зависимость для кроссполяризованной компоненты ближе к линейной.

Зависимость УЭПР от угла наблюдения приведена на рис.4 (волнение моря 2.5 балла). При возрастании угла наблюдения с 400 до 600 величина УЭПР уменьшается, градиент уменьшения составляет 0.5-0.7 дБ/гр при вертикальной и горизонтальной поляризациях и 0.3-0.4 дБ/гр при кроссполяризации. Такой характер изменения УЭПР объясняется тем, что указанный диапазон углов наблюдения приходится почти на середину области диффузного рассеяния [3].

Обычно при слабом волнении (менее 0.5 балла) и порывистом ветре (4-6 м/с) на поверхности моря образуются полосы ветровой ряби шириной

100-500 м, фиксируемые радиолокатором как аномалии с высокой положительной контрастностью. Регистрограммы поляризационных компонент РЛ-РМ сигналов одного канала, полученные при этих условиях, представлены на рис.5. Радиолокационный контраст может достичь 13-15 дБ. В основном контрастные образования проявляются в виде пространственной гармоники с периодом 100-200 м. Подобного рода аномалии, зафиксированные при различных поляризациях, отличаются только величиной контрастов. Например, контраст при вертикальной поляризации на 2 дБ выше, чем при кроссполяризации.



Рис.3. Зависимость УЭПР от волнения МП.

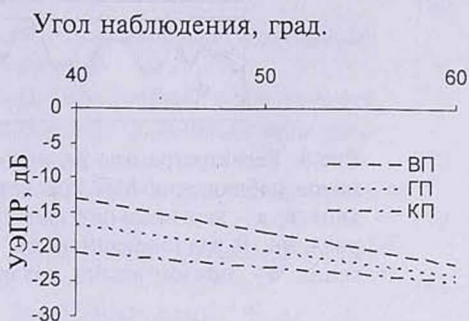


Рис.4. Зависимость УЭПР от угла наблюдения.

На регистрограммах (рис.5) представлены также РМ измерения, полученные при двух ортогональных поляризациях. Из рисунка видно, что горизонтальная компонента РМ сигнала чувствительна к тонким поверхностным эффектам, обусловленным ветровой рябью, в то время как сигнал при вертикальной поляризации не так чувствителен к ним. Отсутствие реакции на рябь при вертикальной поляризации обусловлено близостью угла наблюдения к критическому (57°), при котором мелкомасштабная рябь не влияет на излучательную способность МП [4].

Принципы и методы реализаций, заложенные в схему построения радиометра-скаттерометра, позволили эффективно решать вопросы электромагнитной совместимости активных и пассивных средств радиолокации при комбинировании их в единую аппаратную систему с привлечением многополяризационных методов регистрации.

Предлагаемая схема реализации комбинированной аппаратуры, позволяющей одновременно как во времени, так и в пространстве осуществлять измерения ортогональных и кроссполяризационных компонент сигнала обратного рассеяния и радиотеплового излучения отличается простотой построения, малыми габаритами и массой. По своим техническим параметрам комбинированная аппаратура не уступает подобным приборам, составленным из самостоятельно действующих радиометров и скаттерометров.

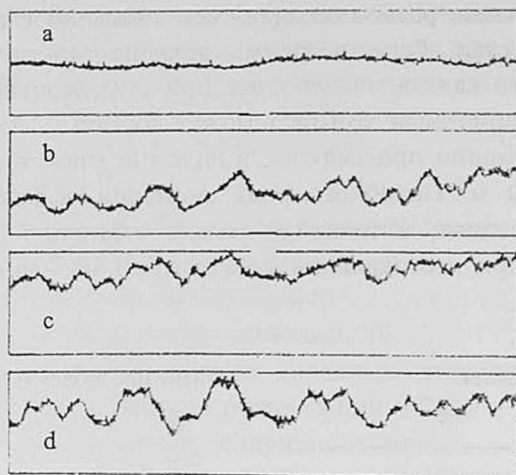


Рис.5. Регистрограммы радиолокационно-радиометрических сигналов наблюдения МП при ветровой ряби. В радиометрическом канале: а – вертикальная поляризация; б – горизонтальная поляризация. В радиолокационном канале: с – вертикальная поляризация; д – горизонтальная поляризация.

Экспериментальные результаты поляризационных исследований МП показали высокую корреляцию ортогональных и кроссполяризованных компонент радиолокационных сигналов. Степень корреляции ортогональных компонент собственного излучения, в общем, зависит от состояния МП и в среднем составляет 0.2.

Использование созданной многополяризационной совмещенной активно-пассивной системы будет способствовать более точному определению характеристик рассеяния и собственного излучения и характера слабokon-трастных образований подстилающих поверхностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. К.С.Мосоян, Г.И.Мариносян. Изв. НАН Армении, Физика, **38**, 342 (2003).
2. Г.Г.Бахсян, Г.И.Мариносян, К.С.Мосоян. Изв. вузов, Радиофизика, **34**, 630 (1991).
3. А.И.Калмыков, А.С.Курейкин и др. Препринт №40 ИРЭ АН СССР, Харьков (1974).
4. М.А.Антипычев, А.М.Шутко. Радиотехника и электроника, **11**, 2291 (1981).

MULTIPOLARIZATION PANORAMIC RADIOMETER-SCATTEROMETER

K.S. MOSOYAN, R.V. VOSKANYAN, G.Y. HAROUTYUNYAN

We present the description and principle of operation of combined panoramic radiometer-scatterometer with multipolarization output that allows one to register simultaneously a scattered signal with four types of beam and reception polarizations and two orthogonal components of radiobrightness temperature. The processing effect of experimental investigations of characteristics of the self-radiation and radio scattering of the sea surface are presented.