**Структурные схемы вторичных моноимпульсных обзорных радиолокаторов**

вторичный модуль радиолокатор

Характерной особенностью всех современных вторичных моноимпульсных ОРЛ, используемых в качестве источника информации о воздушной обстановке в системах УВД, является наличие трех каналов: суммарного Σ, разностного Δ и ненаправленного канала подавления сигналов боковых лепестков Ω. В этом отношении структурные схемы всех моноимпульсных радиолокаторов похожи друг на друга. В то же время между структурными схемами радиолокаторов различных фирм-производителей есть и существенные различия. Для примера рассмотрим структурные схемы некоторых наиболее распространённых моноимпульсных радиолокаторов.

Радиолокатор Condor 2 MSSR фирмы Raytheon имеет несколько модификаций. Наибольший интерес представляет вариант Condor Мк 2S, обеспечивающий работу в режиме S второго уровня ICAO с возможностью передачи удлинённых сообщений ELM (Extended Length Message). Радиолокатор может работать как в обычном режиме RBS, так и в режиме S и смешанном режиме RBS+S. Для этого в состав его аппаратуры включены два генератора режимов (RBS и S), которые связаны между собой и управляются от единого блока управления и контроля.

С генераторов режимов импульсы Р1, Р2, Р3, Р4, Р5 и Р6 поступают на возбудитель передатчика, в котором генерируется синусоидальное напряжение частоты 1030 МГц. Приходящие с генераторов режимов импульсы модулируют несущую частоту 1030 МГц, а в случае использования режима S радиочастотный импульс Р6 модулируется ещё и по фазе. Относительная фазовая модуляция импульса Р6 используется при передач сообщений по линии «земля – борт». Необходимая для этого информация поступает на генератор режимов S через блок управления и контроля по каналам связи, связывающим радиолокатор с центром УВД и наземными пунктами передачи данных (НППД).

После возбудителя модулированные сигналы подаются на выходные усилители мощности, выполненные на СВЧ – транзисторах. В режиме RBS один из усилителей предназначен для передачи запросных сигналов Р1 и Р3, а другой – для передачи сигналов Р2, предназначенных для подавления сигналов боковых лепестков ДНА по запросу. В режиме S по каналу Σ передаются сигналы Р1, Р2 и Р6, а по каналу подавления Ω – сигналы Р5. В смешанном режиме по каналу Σ передаются все запросные сигналы, а по каналу Ω – все сигналы подавления.

После усилителей сигналы через устройство сопряжения, выполняющее функцию антенного переключателя, поступают на антенну, формирующую три ДН: суммарную Σ, разностную Δ и ненаправленную Ω. Запросные сигналы излучаются с помощью суммарной ДН, а сигналы подавления – с помощью ненаправленной. Ответные сигналы, приходящие на несущей частоте 1090 МГц, принимаются той же антенной и по трём каналам через устройство сопряжения поступают на три приёмные устройства. Приёмные устройства, кроме обычных функций селекции сигналов по частоте, преобразования на промежуточную частоту fпр= 60 МГц, усиления и амплитудного детектирования, выполняют дополнительные функции логарифмирования, фазового сравнения сигналов разностного и суммарного каналов, определения угловой поправки положения цели по азимуту и подавления ложных сигналов, принимаемых боковыми лепестками суммарной ДНА. Азимутальная поправка определяется с помощью амплитудного углового дискриминатора, а знак поправки – с помощью ФД, на который подаются сигналы суммарного и разностного каналов. В процессе обработки радиочастотных сигналов принимают участие отдельные устройства, расположенные в интерфейсе приёмников и блоке видеосигналов. Окончательная обработка сигналов производится в дешифраторах ответов отдельно для режимов RBS и S, а также в экстракторе, аппаратура которого включает в себя специально разработанные для этих целей сверхбольшие интегральные схемы (СБИС).

Обработка сигналов в экстракторе производится, в основном, программным способом. При этом весь процесс обработки может быть представлен в виде трёх этапов:

– первичная обработка импульсных сигналов и декодирование ответов;

– корреляция ответных сигналов в пределах одного обзора пространства;

– межпериодная обработка ответов.

На первом этапе решаются следующие задачи;

– выделение фронтов принимаемых импульсов;

– декодирование ответных сигналов;

– устранение «фантомов», т.е. сигналов ложных целей;

– управление коэффициентом усиления приемников для выравнивания динамического диапазона сигналов в зависимости от дальности до цели;

– разделение на группы «наложенных» кодов (до четырёх наложений);

– генерация для каждого принимаемого импульса признака его достоверности.

На втором этапе обработки ответных сигналов решаются следующие задачи:

– подавление сигналов несинхронных ответов;

– выделение и маркировка ответов, которые с определённой степенью вероятности вызваны переотражениями сигналов от местных предметов;

– создание «матрицы доверия» ко всем принимаемым кодовым сигналам;

– определение точного азимутального положения цели методами, принятыми в моноимпульсной радиолокации;

– определение точной дальности для всех целей;

– выделение истинных целей среди всех целей, сигналы которых получены при многопутном распространении радиоволн.

Третий период обработки сигналов предусматривает траекторную обработку получаемой информации за несколько периодов обзора пространства. Дополнительными функциями на этом этапе являются:

– сглаживание траекторий;

– устранение расщепления отметок целей;

– режекция многократно повторяющихся несинхронных ложных ответов;

– формирование окончательного сообщения о цели и передача его в каналы связи;

– передача команд и сообщений о состоянии всех элементов аппаратуры радиолокатора.

Как уже указывалось выше, радиолокатор может работать в режимах RBS, S и в смешанном режиме. В последнем случае запрос самолётных ответчиков производится в два этапа.

Сначала посылаются запросы RBS и запросные сигналы режима S общего вызова (All – Call). На это отводится приблизительно 138 мкс в начале каждого периода повторения импульсов TП. Затем станция переходит в режим ожидания ответов общего вызова. Этот период, обозначенный на рисунке ТАС, длится приблизительно 3 мс. За это время все самолёты, оснащённые дискретно-адресными ответчиками, передают на землю свои адреса, а самолётные ответчики, работающие в режиме RBS, сообщают свои индивидуальные номера. После этого передатчики радиолокатора генерируют запросные сигналы режима S адресного наблюдения (Roll – Call). На этот процесс отводится приблизительно 140 мкс. После окончания этого времени и до конца периода повторения импульсов ТП радиолокатор переходит в режим ожидания ответных сигналов режима S. Этот период, обозначенный на рисунке ТRC, длится приблизительно 6 мс. В качестве дескриптора запросных сигналов в этом случае принимается UF = 4 или UF = 5, а в качестве дескрипторов ответных сигналов DF = 4 или DF =5. Наклонная дальность до цели определяется по моменту прихода на землю ответного сигнала, азимут цели определяется обычным моноимпульсным методом. Дополнительная информация в блоке данных ответа содержит статус полёта, сведения о наличии на борту сообщений, ожидающих передачи по линии связи «борт – земля», тип сообщения, идентификатор запросчика, зарезервированного для связи, и данные об абсолютной барометрической высоте, передаваемой или в футах, или в метрах. В случае использование дескриптора DF = 5 на землю, кроме всего прочего, может передаваться индивидуальный номер ВС, присваиваемый ему в случае необходимости в соответствии с правилами, определяемыми режимом А RBS.

Вариант соответствует случаю, когда запросы адресуются ответчиком, способным работать в режимах RBS. По линии «борт – земля» в этом случае передаются индивидуальные номера и абсолютные барометрические высоты ВС. Вариант б предполагает общий вызов всех самолётов, оснащённых дискретно-адресными ответчиками, а также всех самолётов, способных ответить на запросы RBS. В этом случае в импульсе Р6 используется дескриптор DF = 11, а поле адреса АР содержит единицы на всех двадцати четырёх битах, отведённых для сообщения об адресе ВС. Ответный сигнал, содержащий дескриптор DF = 11, несёт в себе информацию об адресе ВС (24 бита), но только в том случае, если ответчик не обнаружил сигналы общего вызова в режимах А/С RBS (импульсы Р1 и Р3). Вариант в аналогичен варианту б с той лишь разницей, что короткий импульс Р4 (τИ= 0,8 мкс), следующий за запросным импульсом Р3, блокирует ответы дискретно-адресных ответчиков на запросы радиолокаторов, работающих в режиме RBS. Вариант г предполагает общий вызов всех ВС, способных отвечать на запросы А/С RBS, кроме бортов, оснащённых дискретно-адресными ответчиками. При использовании варианта д длинный импульс Р4 (τИ= 1,6 мкс) снимает это ограничение.

Совмещение комбинированных запросов общего вызова и запросов адресного наблюдения в пределах каждого периода повторения импульсов TП возможно при большой дальности действия радиолокатора только в том случае, если период повторения импульсов достаточно большой, т.е. составляет несколько миллисекунд. В рассматриваемом нами радиолокаторе это стало возможным благодаря использованию режима S и моноимпульсного способа определения азимутального положения целей. Для радиолокатора Condor Мk 2 S типичными значениями периода повторения импульсов TП при скорости вращения антенны 5; 12 и 15 об./мин. являются, соответственно, 12; 8 и 6,9 мс.

Устройством, непосредственно определяющим режимы работы радиолокатора и временную расстановку запросных сигналов, является блок управления и контроля, связанный с генераторами режимов RBS и S. Команды на переключение режимов могут вырабатываться местным или удалённым пультами управления, входящими в состав оборудования радиолокатора. При наличии авиационной автоматической сети связи такие команды могут поступать на радиолокатор от наземного процессора передачи данных.

Рассмотрим структурную схему ещё одного моноимпульсного вторичного радиолокатора, который получил широкое распространение во всём мире и в котором также используется амплитудный способ выделения информации об азимутальном положении цели. Таким радиолокатором является радиолокатор SIR-M и одна из его модификаций SIR-M/I, разработанная фирмой AMS (Alenia Marconi Systems). Модификация SIR-M/I отличается от SIR-M тем, что в ней предусмотрена возможность работы в режиме S.

Структурная схема вторичного моноимпульсного радиолокатора SIR-Mприведена на рис. 4.

Антенна LVA типа ALE-9 устанавливается обычно над антеннами G-33 диапазона S или антеннами G-7 и G-14 диапазона L первичных радиолокаторов, разработанных компанией Selenia. Возможен также вариант автономной установки антенны. После фильтров, настроенных на 1030 и 1090 МГц, принятые ВЧ – сигналы Σ, Δ и Ω через трёхканальный вращающийся переход, расположенный в ОПУ, поступают на автоматический коммутатор, переключающий основной (А) и резервный (В) комплекты оборудования радиолокатора. После коммутатора сигналыразностного канала антенны поступают непосредственно в приёмник Δ, а сигналы суммарного и ненаправленного каналов – в приёмники Σ и Ω через направленные ответвители и антенные переключатели, выполненные на циркуляторах типа Y.

Направленные ответвители предназначены для отвода части мощности сигналов в систему автоматического встроенного контроля параметров радиолокатора. В ОПУ кроме трёхканального вращающегося ВЧ-перехода, двигателя и редуктора, расположен 12-разрядный датчик углового положения антенны, выдающий «малые азимутальные импульсы» (МАИ) и сигналы «Север». Эти сигналы подаются на экстракторы, где из них с помощью сигналов точного азимута ΔφЦ, получаемых за счёт использования моноимпульсного метода вторичной радиолокации, формируются сигналы азимутального положения цели.

Вращающийся переход выполнен по упрощённой схеме, которая не требует высокой стабильности фазовых характеристик суммарного и разностного каналов, так как в радиолокаторе SIR-M использован амплитудный, а не фазовый метод определения азимута цели.

Коммутатор комплектов оборудования может управляться вручную или автоматически. Через него проходят не только ВЧ-сигналы, но и все видеосигналы, запускающие импульсы для контрольных индикаторов и других блоков. Для автоматического переключения коммутатора используются сигналы встроенной системы контроля параметров радиолокатора.

В режиме запроса необходимая несущая частота 1030 МГц генерируется кварцевым гетеродином. Далее сигналы этой частоты поступают в программированный передатчик. Модуляция радиочастоты 1030 МГц осуществляется в возбудителе, для чего на него из экстрактора, который обрабатывает сигналы и управляет отдельными устройствами, поступают модулирующие импульсы Р1, Р2 и Р3. Временной интервал между импульсами, их чередование и частота повторения определяются выбранным режимом работы радиолокатора. Возможны шесть режимов работы: 1; 2; 3/А; В; С; D и три варианта их непрерывного чередования: единичный (х, х, х…), двойной (ху, ху, ху…), тройной (xyz, xyz, xyz…), где x, y и z – один из выбранных режимов работы. Возможно изменение чередования режимов от сканирования к сканированию.

Сигналы частоты 1030 МГц из возбудителя поступают также на генератор тестов и на смесители суммарного, разностного и ненаправленного каналов приёмника. В генераторе тестов формируются контрольные сигналы частоты 1090 МГц, имитирующие сигналы бортовых ответчиков. Тестовыми сигналами контролируется работоспособность и настраиваются приёмники и экстракторы основного и резервного комплектов радиолокатора.

Кроме импульсов Р1, Р2 и Р3 также из экстрактора на программированный передатчик поступают управляющие сигналы. Управляющие сигналы вырабатываются в так называемой «карте мощности», которая расположена в экстракторе. Карта представляет собой запоминающее устройство, разделённое на 128 секторов, каждый из которых соответствует определённому азимутальному сектору контролируемого пространства. Управляющие сигналы позволяют оперативно изменять выходную мощность передатчика для любого из 128 азимутальных секторов в пределах 0…1,6 кВт ступенями с затуханием 0; 3; 6; 12 и ∞ дБ. Выбор затухания определяется помеховой ситуацией в каждом азимутальном секторе.

Программированный передатчик выполнен на полупроводниковой элементной базе. Для развязки выходных цепей программированного передатчика и фидерной системы использован Y-циркулятор. После циркулятора включён быстродействующий переключатель, направляющий импульсы запросов Р1 и Р3 в суммарный канал АФУ, а импульс Р2 – в ненаправленный канал, предназначенный для подавления сигналов боковых лепестков ДНА по запросу.

Трёхканальный приёмник радиолокатора кроме обычных функций логарифмирует сигналы и детектирует фазу сигналов суммарного и разностного каналов. Последняя операция необходима для определения знака азимутальной поправки угла отклонения цели от электрической оси ДНА. Сигналы промежуточной частоты суммарного и разностного каналов используются также для образования сигнала log Δ/Σ с информацией об абсолютном значении отклонения азимутального положения цели от равносигнального направления оси ДНА. Сигнал log Δ/Σ получается вычитанием предварительно скорректированных по фазе сигналов log Σ из сигналов log Δ.

Функциональная схема радиочастотной части приёмника радиолокатора приведена на рис. 4.

Сигналы каналов Σ, Δ, Ω и соответствующие тестовые сигналы поступают в преселекторы, настроенные на среднюю частоту 1090 МГц.

Для предупреждения выгорания малошумящих СВЧ-усилителей в случае больших входных сигналов предусмотрены цепи активной и пассивной защиты, выполненные на p-i-n диодах. Для активной защиты СВЧ-усилителей в момент излучения сигналов запроса на устройство защиты подаются бланкирующие импульсы.

Тестовые сигналы формируются в генераторе контрольных сигналов, который состоит из генератора непрерывных колебаний 1090 МГц и модулятора, на который из экстрактора на нерабочем участке периода повторение импульсов подаются тестовые видеосигналы.

Предусмотрена возможность имитации двух целей в каждом периоде повторения импульсов. Имитированные цели могут передвигаться в пространстве по определённым траекториям.

После СВЧ-усилителя с коэффициентом шума не хуже 5 дБ принятые сигналы в диапазоне 1090 МГц с помощью сигнала гетеродина с частотой 1030 МГц, поступающего из возбудителя передатчика, преобразуются в смесителях на промежуточную частоту 60 Мгц. Сигнал промежуточной частоты усиливается с одновременным логарифмированием и последующим амплитудным детектированием. До амплитудного детектирования сигналы промежуточной частоты поступают на фазовый детектор (ФД), в котором определяется знак отклонения цели от азимутального положения электрической оси суммарной ДНА.

Поскольку точность определения азимута цели амплитудным угловым дискриминатором зависит от идентичности амплитудных характеристик суммарного и разностного каналов приёмников, в них предусмотрено автоматическая коррекция параметров усилителей. Это осуществляется с помощью устройства управление амплитудой и фазой принятых сигналов. Устройство обеспечивает автоматическое выравнивание коэффициентов передачи каналов в границах разности между каналами ± 3 дБ. Краткосрочная и долгосрочная стабильность усиления при любых условиях не выходит за пределы ± 0,5 дБ.

Управление усилением каналов осуществляется с помощью контрольных импульсов, которые в каждом новом периоде приёма ответных сигналов перед началом рабочего участка периода подаются в суммарный и разностный каналы на частоте 1090 МГц. Контрольные импульсы вводятся в преселекторы, проходят весь приёмный тракт и после амплитудного детектирования поступают на схемы сравнения. Контрольный импульс суммарного канала сравнивается с эталонным сигналом. Полученный сигнал рассогласования управляет усилением приёмника суммарного канала.

Для управления коэффициентом усиления разностного канала используется сигнал рассогласования, полученный после вычитания контрольных видеоимпульсов на выходах суммарного и разностного каналов.

Так осуществляется не только стабилизация коэффициентов усиления обоих каналов, но и точная подстройка коэффициентов усиления каналов между собой, что очень важно для моноимпульсного метода определения азимуту цели амплитудным угловым дискриминатором.

С выходов приёмников после амплитудного детектирования в суммарном Σ, ненаправленном Ω и дифференциальном Δ/Σ каналах, а также после фазового детектора сигналы log Σ, log Δ/Σ, log Ω и «Знак» поступают в экстрактор для дальнейшей обработки.

Экстрактор представляет собой разработанный компанией Alenia быстродействующий компьютер VERA, используемый в радиолокаторе как процессор обработки сигналов и контроллер управления параметрами и процессами основных узлов оборудования. Быстродействие процессора – 5 млн. операций в секунду. Часть операций выполняется аппаратным методом, часть – встроенными программами.

Экстрактор выполняет такие основные функции:

* квантует и фильтрует необработанные видеосигналы;
* форматирует сообщения, предназначенные для использования в аппаратуре самого процессора;
* генерирует сигналы синхронизации;
* вычисляет координаты отметок целей;
* форматирует сообщения, предназначенные для использования внешними потребителями радиолокационной информации;
* управляет системой встроенного контроля;
* управляет автоматическим переключателем комплектов радиолокатора.

Структурная схема экстрактора приведена на рис. 5.

Экстрактор содержит два процессора:

– процессор сигналов, работающий в реальном времени;

– процессор обработки сигналов отметок целей, управления и синхронизация.

Оба процессора связаны между собою шиной высокой производительности. К этой шине подключены формирователь сигналов сообщений, генератор программ обслуживания процессора реального времени и отдельных адаптивных устройств радиолокатора, интерфейс пользователя, через который передаются сформированные сообщения о целях, сигналы управления и контроля, а также шинный интерфейс панели управления экстрактором.

На вход экстрактора поступают из основного оборудования радиолокатора видеосигналы log Σ, log Δ/Σ, log Ω и «Знак», а также вспомогательные сигналы «Север», малые азимутальные импульсы (МАИ) и синхронизирующие импульсы внешнего запуска.

Через интерфейс пользователя от основных узлов рабочего и резервного комплектов радиолокатора поступают контрольные сигналы с информацией о состоянии этих узлов и их параметры. На этот интерфейс поступают также сигналы дистанционного управления. Сигналы местного управления радиолокатором непосредственно подключены к шинному интерфейсу.

Основным назначением процессора сигналов реального времени является обнаружение импульсов ответа и формирование начального сообщения о параметрах ответного сигнала. Это сообщение содержит в себе следующую информацию:

* тип фронтов импульсов ответа (передний фронт или задний срез);
* положение фронта импульса ответа;
* азимутальная поправка положения фронта импульса;
* знак азимутальной поправки положения фронта импульса;
* признак принадлежности фронта импульса к сигналу бокового лепестка ДНА.

Функциональная схема устройства обнаружения импульсов ответа, работающего в реальном масштабе времени, приведена на рис. 6.

Видеосигналы суммарного канала logΣ поступают на обнаружитель переднего (L) и заднего (T) фронтов ответных импульсов. Обнаружение фронтов осуществляется традиционно: ограничение, дифференцирование и униполяризация принятых сигналов. Одновременно идёт подтверждение существования самого импульса достаточно большой амплитуды. Порог срабатывания этой схемы регулируется напряжением временного автоматического регулирования чувствительности STC (Sensitivy Time Control), поступающим из генератора программ экстрактора. Принцип получения управляющего напряжения в системе STC аналогичный формированию напряжения в системе временного автоматического регулирования усиления GTS (Gain Time Control). Однако исполняющим устройством регулирования параметров этой системы является не регулятор усиления, а пороговое устройство, которое определяет границу срабатывания системы для сигналов бортовых ответчиков ВС, расположенных на разных расстояниях от радиолокатора. Использование этой системы позволяет существенно увеличить допустимые границы динамического диапазона амплитуд принимаемых сигналов. Кроме того, автоматическое регулирование уровня срабатывание обнаружителя – MTL (Minimum Trigger Level) стабилизирует вероятность ложных тревог.

Управляющее напряжение для системы STC формируется в генераторе программ экстрактора. Это напряжение имеет две составляющие:

* регулярное управляющее напряжение STC, повторяющееся при каждом новом запросе;
* управляющее напряжение STC, стробированное по дальности и азимуту RAG STC (Range-Azimuth Gated Sensitivity Time Control).

От начала запуска запросчика и ко времени t0, соответствующего формированию импульса запроса Р3 + 3 мкс, постоянным управляющим напряжением STC (рис. 7) устанавливается постоянное значение порога Bmax до 80 дБ. Затем к моменту времени tmax порог уменьшается по логарифмическому закону со спадом 6 дБ на октаву (20 дБ на декаду). После момента времени tmax порог остаётся постоянным Bmin. Закон изменения управляющего напряжения аппроксимируется ступенчатой функцией с перепадом напряжения между ступенями 1 дБ. Интервал времени между t0 и tmax соответствует дальности действия радиолокатора (приблизительно 465 км). Этот интервал разбит на определённое количество дискретов во времени, каждый последующий дискрет больше предшествующего в 1,22 раза:

Управляющее напряжение системы STC, стробированное по дальности и азимуту, формируется «картой RAG STC» в генераторе программ экстрактора. Карта RAG STC – это запоминающее устройство, каждая ячейка которого соответствует определённому участку контролируемого пространства. Всё пространство разбито на 256 азимутальных секторов и 64 дискрета по дальности. В любую из 16 384 ячеек памяти карты записываются значения дополнительного порога в диапазоне –14…+14 дБ. Общий порог срабатывания системы будет определяться суммой порогов регулярной составляющей STC и RAG STC. Использование подобной «географической» системы управления порогом особенно эффективно в случаях, когда на некоторых участках контролируемого пространства обнаруживаются помехи слишком высокого уровня, вызванные переотражением от местных предметов или многопутным распространением радиоволн.

Приведенные количественные параметры карты RAG STC относятся к вторичному моноимпульсному радиолокатору SIR-S. Для модификации этого радиолокатора SIR-M параметры карты выбраны несколько иными: 40 дискретов по дальности, 128 азимутальных секторов, а величина напряжения для каждого дополнительного порога устанавливается в пределах ±10 дБ с градациями по 0,5 дБ.

После пороговой схемы и обнаружителя сигналы признака наличия импульсов и фронтов этих импульсов (см. рис. 6) поступают на определитель фронтов, который устанавливает тип фронта (передний L или задний T). Это необходимо для того, чтобы в дальнейшем при наложении ответных сигналов можно было бы восстанавливать передние фронты импульсов по задним и с большей достоверностью разделять переплетённые, пересечённые и сближенные коды ответа. В определителе фронтов все входные сигналы разбиваются во времени на отдельные дискреты CP (Clock Pulse). Продолжительность любого дискрета равна 50 нс, то есть длина импульсов ответа в соответствии с рекомендациями ІСАО будет соответствовать приблизительно 16 временным дискретам (0,8 мкс), а продолжительность фронта импульса занимает лишь один временной дискрет. Распределение фронтов на передние и задние осуществляется по правилу, проиллюстрированному рис. 8. Если при t1 L = 1 и P = 1, а при (t1+CP) P = 1 и L = 0, то это означает обнаружение переднего фронта импульса (L). Если при t2 P = 0 и T = 1, а при (t2 – CP) T = 0 и P = 1, то это означает обнаружение заднего фронта импульса (T).

После определения типа фронтов сигналы поступают на интервальный фильтр, определяющий разность появления во времени соответствующих передних и задних фронтов импульсов. Если разность составляет приблизительно 16 СР, то такие сигналы принимаются как достоверные и подлежат дальнейшей обработке в реальном масштабе времени.

Обработка заключается в уточнении координат целей, от которых получено очередное информационное сообщение, и подтверждение того, что сообщения получены по основному лепестку ДНА радиолокатора. Для этого на определитель фронтов и интервальный фильтр подаются дополнительные сигналы:

* сигнал логарифма отношения Δ/Σ, предварительно преобразованный в цифровую форму 8-разрядным АЦП;
* сигнал «Знак» с информацией об отклонении цели вправо или влево от мгновенного равносигнального положения оси ДНА;
* логарифм отношения сигналов суммарной Σ и ненаправленной Ω ДНА после порогового устройства системы подавления сигналов боковых лепестков ДНА по ответу.

В результате обработки этих сигналов на выходе определителя типа фронтов и интервального фильтра формируется сообщение о типе каждого фронта и его положении по дальности, азимутальной поправке положения цели относительно мгновенного положения оси антенны ΔφЦ, знака этой поправки и признака подавления сигналов боковых лепестков ДНА. На этом обработка ответных сигналов в реальном масштабе времени заканчивается и начинается обработка со сравнением сигналов, принятых в разные моменты времени, так называемая отсроченная обработка (differed time processing).

Отсроченная обработка предусматривает сравнение сигналов, принятых в пределах одного периода повторения приёма ответа (sweep correlation), и сравнение сигналов в пределах нескольких периодов приёма за всё время облучения цели (dwell time correlation).

Последовательность операций обработки сигналов в границах одного периода приёма ответа и содержание этапов обработки приведены на рис. 9.

Сообщение о фронтах импульсов сигналов ответа вместе с дополнительной информацией с выхода процессора реального времени поступает в устройство преобразования фронтов импульсов непосредственно в импульсы. Восстановленный таким образом сигнал будет иметь большую достоверность, чем на входе процессора реального времени, поскольку при восстановлении используется дополнительная информация об этих импульсах и импульсы предварительно отфильтрованы по длительности.

На следующем этапе в ответных сигналах обнаруживают координатные импульсы F1 и F2 (Bracket Pulse). Критерием выделения этих импульсов служит кодовый интервал между ними в (20,3 ± 0,1) мкс.

После обнаружения координатных импульсов для каждого из 12 информационных импульсов A1, A2, A4, B1, B2, B4, C1, C2, C4, D1, D2, D4, а также импульсов F1 и F2 определяется код доверия к факту существования этих импульсов (Confidence Code). Устанавливаются два кода доверия: код высокой доверительности и код низкой доверительности. Каждый из них принимает значение единицы или нуля. Сначала все принятые импульсы сортируют по принадлежности их к одному азимуту. Если импульс F1 не искажён, то за эталонный азимут ответа принимается азимут этого импульса. В противном случае за азимут ответа принимается азимут импульса F2. После этого для всех импульсов одного и того же азимута оценивается их положение относительно импульсов F1 и F2, то есть оценивается корреляция между настоящим положением импульса и одним из его возможных положений в соответствии с требованиями ІСАО. Если ответ неискажённый и существует полная корреляция по дальности и азимуту, то коду высокой доверительности присваивается значение единицы. Если ответ искажён, но имеет место корреляция по дальности, то коду низкой доверительности присваивается значение нуля. Если и дальше корреляция по дальности будет сохраняться для большого количества обработанных ответов, то коду низкой доверительности присваивается значение единицы.

После определения кода доверительности для каждого импульса одного ответа уточняется азимутальное положение цели. Для этого определяется угловая азимутальная поправка для каждого импульса ΔφЦи и по заданному алгоритму, учитывающему корреляцию азимутальных поправок, вычисляют усреднённое значение азимутальной поправки ΔφЦ для каждой группы ответных сигналов.

На следующем этапе обнаруживают и устраняют сигналы ложных целей, получивших название фантомов (Phantom). Фантомы появляются в тех случаях, когда в совокупности принятых ответных сигналов появляются пары каких-то импульсов, интервал между которыми соответствует интервалу между координатными импульсами F1 и F2, то есть 20,3 мкс.

Наиболее вероятными случаями возникновения фантомов являются:

* появление ложной цели при включении сигнала опознавание SPI (Special Position Indication), так как интервал между этим импульсом и информационным импульсом С2 составляет точно 20,3 мкс;
* одновременный приём ответов от нескольких целей, расположенных одна от одной на близких расстояниях, как по азимуту, так и по дальности, когда интервал 20,3 мкс может появиться между любыми импульсами ответных сигналов;
* приём нескольких ответных сигналов от одного ВС за счёт многопутного распространения радиоволн.

В качестве критериев обнаружения фантомов в этих случаях используют наличие или отсутствие сигнала опознавания SPI, принадлежность обрабатываемых импульсов к одному азимуту, время появления сигналов с одинаковой координатной и дополнительной информацией. В последнем случае за правильную отметку цели принимается та, которая на экране индикатора ближе всего расположена по отношению к радиолокационной позиции.

После устранения фантомов начинается сравнение ответов, полученных за несколько периодов запросов на протяжении всего времени облучения цели. Используемые алгоритмы характерны для вторичной обработки радиолокационной информации. Параметры алгоритмов адаптируются к условиям окружающей среды и помеховой ситуации. Заканчивается вторичная обработка формированием сообщения об отметке цели и передачей его пользователям.

Структурные схемы моноимпульсных вторичных радиолокаторов с фазовыми полуугловыми дискриминаторами, например, самых распространённых радиолокаторов типа RSM-970 или IRS-20MP/L, мало чем отличаются от рассмотренной выше. Основные отличия касаются функциональных схем приёмников и угловых дискриминаторов, а также некоторых особенностей технической реализации отдельных узлов приёмников, в основу построения которых положено требование стабилизации фазовых характеристик суммарного и разностного каналов.

Рассмотрим в качестве примера структурную и функциональную схемы приёмного модуля радиолокатора IRS-20MP/L.

Приёмный модуль состоит из четырёх основных частей (рис. 11):

* трёх фильтров предварительной селекции;
* одной ВЧ-платы с местным гетеродином;
* трёх ПЧ-плат с логарифмическими усилителями;
* полууглового фазового дискриминатора.

Фильтры предварительной селекции (преселекторы) представляют собой электромеханические фильтры, любой из которых выполнен на четырёх объёмных резонаторах. Все они настроены на частоту принимаемых сигналов 1090 МГц. На частоте передатчика 1030 МГц и зеркальной частоте 970 МГц внесённое фильтром затухание равно 70 дБ. Полоса пропускания фильтра на уровне – 3 дБ равна 20 МГц. Для суммарного и разностного каналов характеристики фильтров согласованы по фазе.

Высокочастотная часть приёмного модуля составлена из трёх идентичных каналов: всенаправленного, суммарного и разностного. Там же помещён местный гетеродин с частотой колебаний 1030 МГц. В состав любого из трёх каналов входит малошумящий СВЧ-усилитель, фильтр зеркальной частоты и смеситель. СВЧ-усилитель имеет коэффициент усиления 16 дБ при коэффициенте шума 3,1 дБ. Фильтр зеркальной частоты не пропускает частоты 970 МГц на смесители, выполненные по балансной схеме. На выходе этих смесителей после преобразования получается сигнал промежуточной частоты 60 МГц. Для согласования фаз ПЧ-сигналов на выходах смесителей суммарного и разностного каналов сигнал гетеродина подаётся на них с одного и того же отдельного выхода гетеродина через делитель Уилкинсона (Wilkinson divider).

Местный гетеродин выполнен с элементом стабилизации частоты ПАВ (поверхностные акустические волны). Предусмотрена электрическая подстройка частоты в пределах 300 МГц. Для возбуждения передатчика и технического обслуживания сделаны отдельные ВЧ-выходы.

Сигналы Ω, Σ и Δ на частоте 60 МГц поступают на предварительные широкополосные УПЧ с коэффициентом усиления 26 дБ. Фиксированные аттенюаторы выравнивают сигналы во всех трёх каналах. Полосовые фильтры суживают полосы частот каналов до 10 МГц, обеспечивая этим необходимую избирательность приёмников. Выполнены они как LC-фильтры с семью резонансными контурами. Фильтры суммарного и разностного каналов взаимно согласованы по фазе.

После фильтров ПЧ-сигналы поступают на управляемые аттенюаторы, на которые одновременно подаются управляющие сигналы системы ВАРУ (временное автоматическое регулирование усиления). Для компенсации нелинейных характеристик аттенюаторов напряжение ВАРУ предварительно корректируется линеаризаторами, обеспечивающими линейную зависимость между коэффициентами передачи аттенюаторов и управляющим напряжением ВАРУ. Для согласования законов изменения во времени коэффициентов усиления суммарного и разностного каналов аттенюаторы этих каналов управляются напряжением, вырабатываемым одним линеаризатором. Далее сигналы всех трёх каналов поступают на входы логарифмических УПЧ. Благодаря этим усилителям динамический диапазон амплитуд приёмников расширяется до 84 дБ. Используемый принцип построения таких усилителей описан в литературе.

С логарифмических УПЧ через два делителя сигналы суммарного и разностного каналов поступают на полуугловой фазовый дискриминатор, функциональная схема которого приведена на рис. 13. Дискриминатор состоит из блока объединения сигналов, блока ограничивающих усилителей и блока фазовых детекторов. В блоке объединения сигналов формируются три сигнала: суммарный Σ и два комплексных – Σ – jΔ и Δ – jΣ.

Формирование этих сигналов осуществляется с помощью делителей, фазовращателя ±90º и подстроечных фазовращателей Δψ, которые выравнивают фазы всех трёх образованных таким образом сигналов.

В блоке ограничивающих усилителей все сигналы приводятся к одному и тому же уровню, чтобы исходные сигналы ФД зависели бы лишь от фаз входных сигналов и не зависели бы от их амплитуд. Перед усилителями установлены согласующие устройства с 50-омным входным сопротивлением, а после них – буферные каскады, которые устраняют влияние входных цепей ФД на выходные цепи ограничивающих усилителей. Ограничивающие усилители выполнены на интегральных схемах с дифференциальными входами и двусторонними симметричными ограничителями синусоидальных сигналов. Все чётные гармоники в них будут подавлены.