

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

АВТОНОМНАЯ МИКРОЭЛЕКТРОННАЯ РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА



Б. Войнич,
О. Позднякова,
А. Сосновский,
В. Борисов

Неуклонный рост авиакатастроф в последнее десятилетие настоятельно требует создания эффективных систем предупреждения столкновений воздушных судов. Значительно повысить безопасность полетов может бортовая автономная радиолокационная система, разработанная специалистами Московского авиационного института, которая способна обнаруживать встречные воздушные суда на дальностях до 20 км и азимутальных углах ± 90 в плоскости полета. Масса системы, выполненной на отечественной элементной базе, не превышает 10 кг. Систему можно устанавливать как на новых, так и эксплуатируемых судах.

Опубликованные официальные данные об авиакатастрофах последних лет в СССР и СНГ говорят о неуклонном росте числа погибавших в них людей (табл. [1]).

В 1997 году, по данным Федеральной авиационной службы, показатели авиационной безопасности в СНГ еще более ухудшились. Не лучшим образом обстоит дело и в США: согласно данным Национального управления безопасности на транспорте, в 1996 году там на авиалиниях погибло 444 пассажира, что явилось вторым показателем в рейтинге смертности после рекордного в 1985 году, когда погибло 526 человек. Не следует забывать, что это — всего лишь официальные сведения!

Основные причины повышения частоты авиакатастроф известны:

- высокая интенсивность воздушного движения, т.е. большая загруженность воздушного пространства самолетов и вертолетов различных классов от больших авиалайнеров до маломестных летательных аппаратов;

Состояние аварийности на воздушном транспорте СССР и СНГ в 1987–1996 гг.

Годы	Число авиакатастроф	Число погибших
1987	13	47
1988	17	120
1989	24	107
1990	28	203
1991	35	249
1992	33	253
1993	17	349
1994	19	321
1995	18	246
1996	20	292

- нахождение в воздушном пространстве устаревших и неисправных летательных аппаратов;
- износ наземной и бортовой радиоэлектронной аппаратуры. В настоящее время безопасность полетов обеспечивается системой управления воздушным движением (УВД), физический и моральный износ которой составляет 60–70%. Без принятия кардинальных мер это может привести в ближайшие 5–10 лет к еще большему росту вероятности авиакатастроф;
- ошибки персонала служб УВД и экипажей;
- неблагоприятные погодные условия;
- столкновение летательных аппаратов друг с другом в воздухе, а также с летательными аппаратами и транспортными средствами, находящимися на взлетно-посадочной полосе. Серьезную причину катастроф представляет столкновение воздушных судов, выполняющих полеты на малых высотах, с препятствиями, в частности с проводами линий электропередач;
- отсутствие на борту автономных систем предотвращения столкновений.

Последние две причины вызывают наибольшее количество катастроф, поэтому очень важна количественная оценка безопасности полета допустимым риском столкновений воздушных судов [2]. Риск столкновений Q зависит от вероятности правильного определения местоположения летательного аппарата с помощью навигационной аппаратуры $P_{НАВ}$ и вероятности правильного контроля за полетом системой УВД $P_{УВД}$:

$$Q = (1 - P_{НАВ})^2 (1 - P_{УВД})^2.$$

Однако даже с помощью высокоэффективных и высоконадежных систем УВД невозможно обеспечить необходимую безопасность полета. Дело в том, что до сих пор часть земной поверхности не охвачена зоной действия систем УВД, а кроме того, существующие системы УВД не позволяют надежно контролировать полеты на малых высотах и в труднодоступных для наблюдения районах земного шара (горы, тундры, полюса, океанские просторы). Поэтому еще в 1977 году была обоснована техническая и экономическая необходимость установки на летательных аппаратах специальных автономных систем предупреждения столкновений (СПС). Эти системы должны независимо от систем УВД обеспечивать предупреждение экипажа воздушного судна (ВС) об опасности столкновения с дру-

гим летательным аппаратом или наземным препятствием. При наличии на борту СПС риск столкновений резко снижается, становясь равным

$$Q = (1 - P_{НАВ})^2 (1 - P_{УВД})^2 (1 - P_{СПС})^2,$$

где $P_{СПС}$ – вероятность правильного решения задачи предупреждения столкновений бортовой СПС.

СОВРЕМЕННЫЕ БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ

Существующие сегодня системы предупреждения столкновений относятся к классу взаимодействующих и представляют собой классические радиолокационные системы с активным ответом и командные радиолнии наземного и космического базирования. В России эксплуатируются отечественная система предупреждения столкновений "Эшелон" [3] и американская система TCAS фирмы Honeywell (с 1996 г. на фирме "ИЛ-Сервис"), принятая во многих странах [4].

Система предупреждения столкновений "Эшелон" – асинхронная бортовая СПС импульсного типа – предназначена для выявления угрозы столкновения и выработки рекомендаций скоординированных маневров ВС в вертикальной плоскости, необходимых для безопасного разделения движения самолетов. В соответствии с принципом работы СПС "Эшелон" воздушное пространство вблизи ВС разделено на три зоны: опасную, границы которой расположены на расстоянии ($h \pm 160$) м, где h – высота полета ВС; нижнюю и

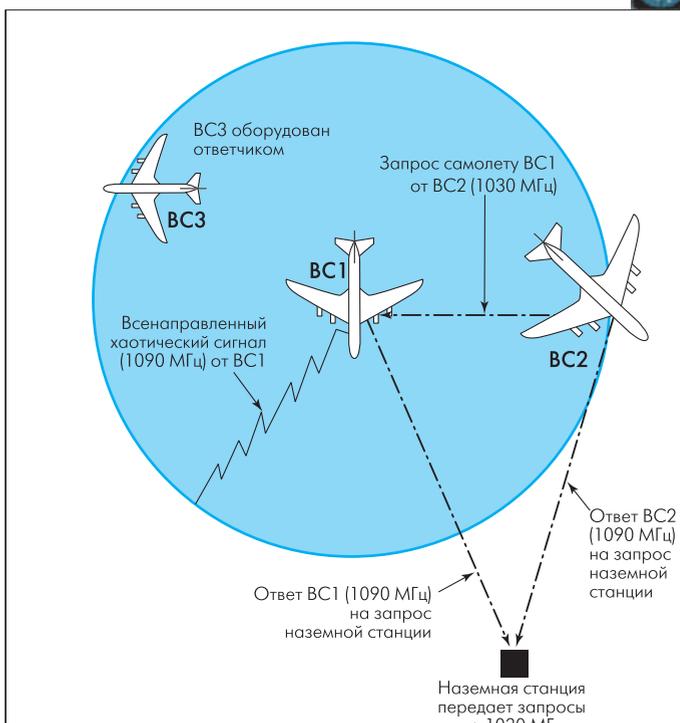


Рис.2. Типичная схема действия системы TCAS

верхнюю зоны предупреждения с границами от ($h-160$) до ($h-660$) м и от ($h+160$) до ($h+660$) м, соответственно. Каждое ВС излучает кодированный сигнал запроса, содержащий информацию о высоте полета. На ВС, принявшем сигнал запроса, вычисляется разность между собственной высотой и высотой полета запрашивающего ВС. Если эта разность высот соответствует опасной зоне, то ответчик системы вторичной радиолокации передает в наземные пункты УВД сообщения об обнаружении конфликтной ситуации. После обработки информации на запрашивающий самолет подается команда, рекомендуемая маневр. Через самолетное переговорное устройство звуковой прерывистый сигнал оповещает экипаж об угрозе столкновения.

Данная система требует установки соответствующей аппаратуры на ВС и наличия ответчиков на встречных ВС и поэтому не позволяет предупреждать экипажи о наземных препятствиях и о летательных аппаратах, не оборудованных ответчиками. Кроме того, при использовании указанной СПС все маневры ВС выполняются только по командам диспетчера наземных служб УВД.

Система TCAS предназначена для оповещения экипажа ВС об угрозе потенциальных столкновений с другими самолетами внутри защищаемой области радиусом около 20 км. Бортовая аппаратура системы состоит из компонентов, представленных на рис.1. Всенаправленная нижняя и направленная верхняя антенны позволяют определять азимут и высоту полета самолета, отвечающего на запросы приемопередающего устройства TCAS. Два ответчика содержат по две антенны и пульт управления.

Поясним принцип действия системы TCAS (рис.2). Оборудованный этой системой самолет (BC1) регулярно передает через всенаправленную антенну хаотический сигнал на частоте 1090 МГц. Данный сигнал, идентифицирующий BC1, осуществляет текущий контроль пространства, определяемого мощностью передачи и чувствительностью приемопередатчика TCAS. В случае возникновения в защищаемой области опасности в виде конфликтующего самолета (BC2), также оборудованного TCAS, самолет BC2, приняв хаотический сигнал, регистрирует его и, в свою очередь, запрашивает BC1

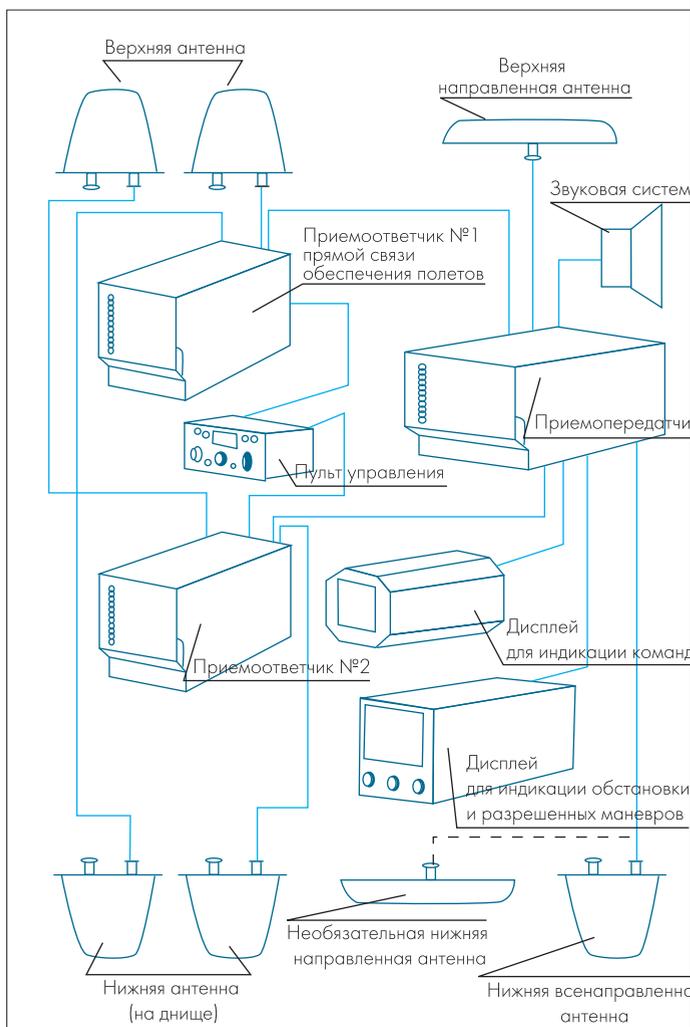


Рис.1. Блок-схема бортовой части системы TCAS

на частоте 1030 МГц. В результате радиообмена информацией, в котором также участвует наземная станция, определяется расстояние между конфликтующими ВС, их радиальная скорость и высота, на основании чего вырабатываются команды по взаимно скоординированным маневрам, необходимым для предотвращения столкновения.

Самолет ВС1 может также принимать сигналы от ВС, оборудованных только ответчиками TCAS (ВС3), и тем самым координировать свой курс и избегать столкновений, тогда как последние не могут участвовать в радиообмене информацией.

Эксплуатация на отечественных самолетах системы TCAS в полной мере не решает проблемы безопасности полетов, поскольку требует наличия соответствующей аппаратуры на каждом ВС. А необходимость установки на борт блоков согласования американского оборудования с российским делает использование TCAS не всегда целесообразным. Кроме того, американские специалисты при подписании итогового протокола заявили [5], что для выдачи самолету ИЛ-96Т сертификата по американским нормам FAR-25 предстоит проделать существенную работу, а именно изменить индикацию в кабине пилотов с метрической на американскую систему единиц; адекватно перевести эксплуатационно-техническую документацию (а это десятки томов!) на английский язык; внести изменения, которые позволят довести число членов экипажа самолета ИЛ-96Т до двух человек (сейчас их трое). Последнее требование приведет к необходимости выполнения полета без штурмана. В этом случае летчики должны выполнять все маневры только по командам, которые они видят на дисплее. Поэтому любые неполадки в наземных средствах УВД и радиоэлектронных устройствах других (встречных) самолетов неизбежно будут сопровождаться ростом числа авиакатастроф.

СПС "Эшелон" и TCAS не являются автономными, а установка соответствующей аппаратуры на каждом ВС не всегда возможна, особенно на малых самолетах деловой и спортивной авиации, из-за ограничений на массогабаритные характеристики оборудования этих ВС и высокой стоимости аппаратуры СПС.

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ВАРИАНТ ПОСТРОЕНИЯ СПС

Нами предложен нетрадиционный принцип построения автономной бортовой системы предупреждения столкновения воздушных судов, которая обеспечит надежное обнаружение препятствий или встречных ВС и предупредит об этом экипаж защищаемого ВС независимо от наличия на конфликтующем ВС соответствующей аппаратуры [6]. Зона действия СПС имеет дальность до 20 км и азимутальные углы $\pm 90^\circ$ в плоскости полета.

Новая СПС состоит из 15 полупроводниковых приемопередающих блоков, каждый из которых обеспечивает обнаружение объектов неподвижным лучом в секторе шириной 12° , блока обработки сигналов и блока индикации. Каждый из 15 каналов работает на своей независимой частоте, что обеспечивает их развязку друг от друга.

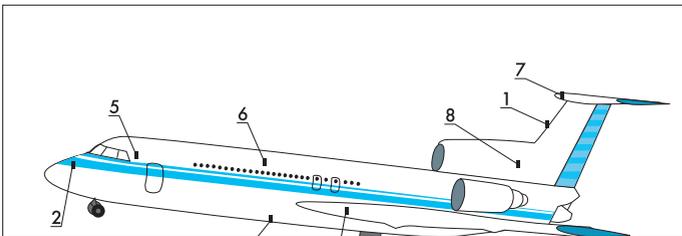


Рис.3. Возможное размещение микрорадиолокаторов (1–8) на транспортном самолете

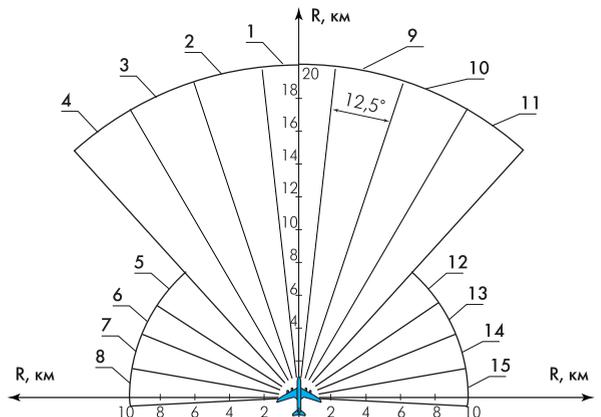


Рис.4. Секторы обнаружения препятствий или других ВС в горизонтальной плоскости (R – дальность действия СПС)

В состав каждого приемопередающего (ПП) блока входят несколько универсальных микроэлектронных модулей миллиметрового диапазона волн и микроэлектронная активная фазированная антенная решетка (МАФАР). Модули ПП-блока конструктивно выполнены на одной подложке с МАФАР, образуя активный микрорадиолокатор [7]. Микрорадиолокаторы размещают на фюзеляже, крыльях, лобовой и хвостовой частях ВС таким образом, чтобы направление максимума диаграмм направленности всех МАФАР в вертикальной плоскости совпадало с плоскостью полета, а диаграммы направленности в горизонтальной плоскости были соответственно развернуты для просмотра передней полусферы защищаемого ВС. Такое размещение микрорадиолокаторов на поверхности ВС обеспечивает обнаружение препятствия по отраженному от него сигналу, а также определение углового положения препятствия и дальности до него в горизонтальной плоскости. Все это позволяет экипажу ВС своевременно выполнять необходимые маневры.

Места установки микрорадиолокаторов выбирают из условий наименьшей кривизны профиля обшивки и отсутствия элементов конструкций. Возникающие при этом искажения фазового фронта излучаемых и принимаемых сигналов компенсируют сигналами, подаваемыми на фазовращатели, при использовании существующих алгоритмов автоматического диаграммоформирования. В качестве примера на рис.3 показано размещение микрорадиолокаторов на транспортном самолете со стороны левого борта, а на рис.4 изображены секторы обнаружения для всех микрорадиолокаторов, симметрично расположенных по обе стороны самолета, с обозначениями левой части цифрами, соответствующими размещению на рис.4.

При полете самолета СПС осуществляет контроль пространства вокруг ВС, и при появлении на пути самолета конфликтующего ВС сигнал, отраженный от него, поступает на соответствующий ПП-блок и затем на блок обработки, который осуществляет определение углового положения конфликтующего ВС и дальности до него. Эта информация поступает на индикатор пилота, где загорается светодиод, соответствующий сектору обнаружения и дальности до препятствия (показан на рис.5).

При наличии у встречного самолета (ВС2) такой же системы предупреждения столкновений, как и у защищаемого ВС1, зондирующий сигнал ВС1 может быть использован не только в качестве эхо-сигнала, но и быть принятым приемником ВС2 напрямую как дополнительная информация. Принятый сигнал сравнительно просто войдет в общий поток информации о наличии встречных ВС.

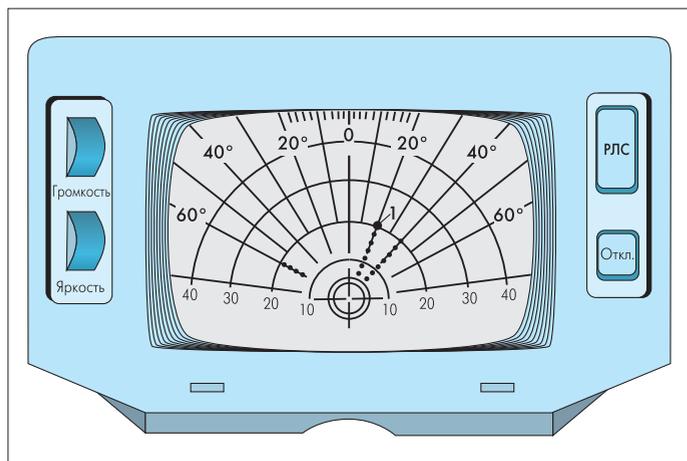


Рис.5. Передняя панель индикатора СПС. Светодиод (1) соответствует угловому положению 20° и дальности 20 км

Структурная схема СПС. Анализ технических задач, решаемых СПС, показывает, что для измерения дальности наиболее целесообразно использовать частотный метод, позволяющий сравнительно простыми средствами и при минимальной излучаемой мощности получить как требуемое разрешение целей по дальности, так и приемлемую точность измерения расстояний до целей. Следовательно, структурная схема СПС воздушного судна может быть построена по принципу частотного радиодальномера. На рис.6 представлена в упрощенном виде структурная схема одного канала, содержащая только принципиально необходимые для работы СПС элементы. Графики, характеризующие изменение частоты в отдельных точках схемы, приведены на рис.7.

Частотно-модулированный генератор (ЧМГ) формирует зондирующий сигнал с несущей частотой f_0 и несимметричным линейным пилообразным законом изменения частоты, характеризуемый девиацией частоты Δf_D и периодом модуляции T_M (при модуляции частота сигнала отклоняется от несущей на $\pm \Delta f_D$). Источником модулирующего сигнала служит генератор пилообразного напряжения (ГПН). Зондирующий сигнал через направленный ответвитель (НО) поступает на передающую антенну МАФАР 1 (A1).

Отраженный от препятствия сигнал принимается антенной МАФАР 2 (A2) и подается на балансный смеситель (БС), куда в качестве гетеродинного сигнала поступает часть зондирующего сиг-

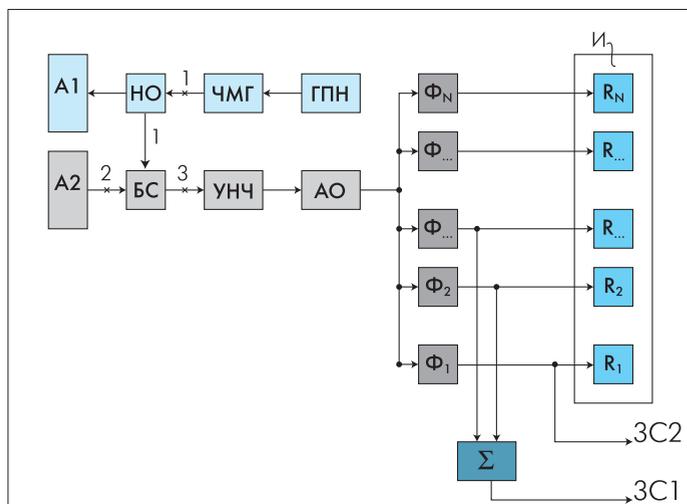


Рис.6. Структурная схема одного канала автономной микроэлектронной СПС ВС

нала через направленный ответвитель. Преобразованный в балансном смесителе сигнал поступает на усилитель низкой частоты (УНЧ), в котором осуществляется также его предварительная фильтрация. В результате фильтрации устраняется сигнал с частотой биений F_B^* , соответствующей обратному ходу пилообразного сигнала, и все сигналы с частотами, лежащими вне рабочего диапазона частот биений F_B . Усиленный сигнал с частотой F_B проходит ограничение по амплитуде в амплитудном ограничителе (АО), устраняющем паразитную амплитудную модуляцию, и поступает в блок обработки. Этот блок представляет собой спектроанализатор, состоящий из N фильтров (Φ) и сумматора (Σ). Число фильтров определяется заданным значением разрешающей способности по дальности. Каждый фильтр выделяет сигнал с частотой, соответствующей определенному интервалу дальности R . Выходы фильтров соединены с соответствующими входами блока индикации (И), состоящего из N индикаторов дальности (R), указывающих расстояния до отражающего объекта-препятствия, а также с входами первого и второго звуковых сигнализаторов (ЗС1 и ЗС2).

С фильтра сигнал тревоги, соответствующий минимальному опасному расстоянию до препятствия, поступает на второй звуковой сигнализатор, срабатывание которого свидетельствует о необходи-

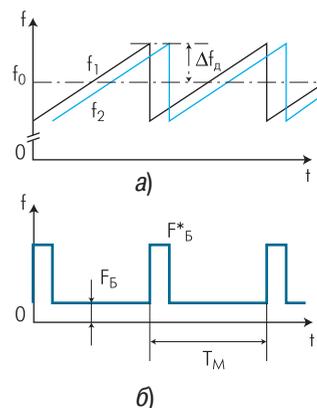


Рис.7. Изменение частоты колебаний в различных точках структурной схемы СПС:

- а) излучаемые колебания f_1 (в точке 1) и отраженные колебания f_2 (в точке 2)**
- б) изменение частоты биений (в точке 3)**

мости выполнения маневра (значение минимального расстояния до препятствия определяется способностью ВС к маневрированию). Сигнал на выходе сумматора возникает при поступлении на его входы сигналов с выходов нескольких фильтров, число которых определяет заданную дальность предупреждения об опасности. Этот сигнал подается на вход первого звукового сигнализатора, выдающего сигнал предупреждения о наличии препятствия. Получив указанные сигналы и информацию о дальности до препятствия и его углового положения, экипаж ВС может принять решение о совершении маневра с целью избежать столкновение с препятствием.

Параметры дальномеров. Как известно, информативным параметром в частотном радиодальномере служит частота преобразованного в балансном смесителе приемного тракта сигнала, то есть частота биений F_B . При этом основное соотношение параметров дальномеров имеет вид:

$$R = c \cdot T_M \cdot F_B / 4 \Delta f_D = M F_B$$

где R – дальность цели, M – масштабный коэффициент, равный $c \cdot T_M / 4 \Delta f_D$, c – скорость распространения радиоволн в свободном пространстве ($3 \cdot 10^8$ м/с).

Из приведенного соотношения следует:

– каждой цели (R_i) соответствует своя частота биений F_B , выделив которую, можно различить цели, находящиеся на различных

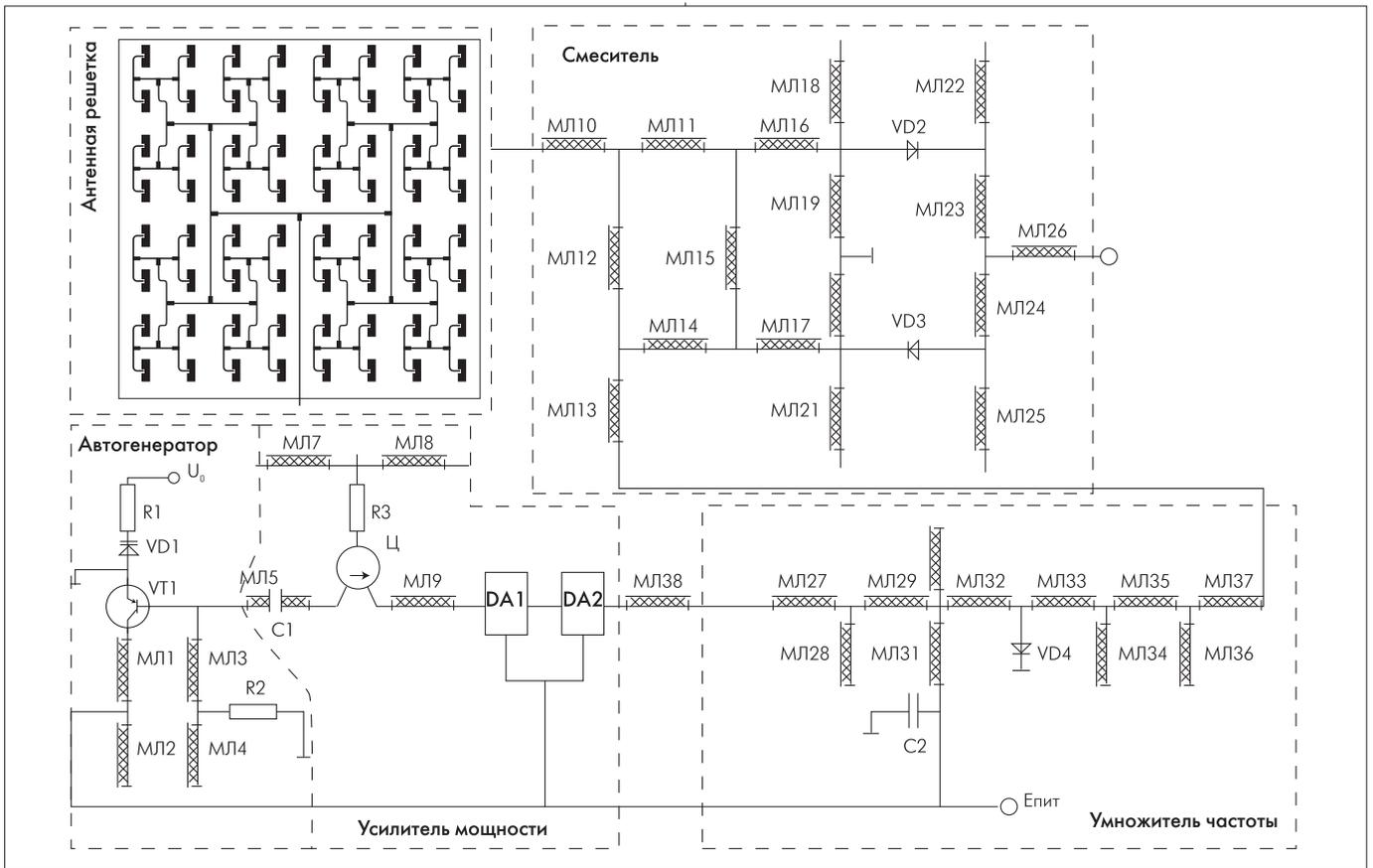


Рис.8. Электрическая принципиальная схема ВЧ-части ПП-блока СПС

дальностях. Этот вывод составляет основу для разрешения целей по дальности с помощью спектроанализатора параллельного или последовательного типа. В новой системе предложено включить на выходе обычного для частотных радиодальномеров приемного тракта параллельный спектроанализатор, содержащий 5–10 фильтров с полосой пропускания, определяемой шириной спектра преобразованного сигнала от одиночной цели. Сигнал с каждого из фильтров поступает на соответствующий индикаторный диод, характеризующий дальность цели. Заметим, что устройство фильтрации можно построить на цифровых фильтрах и использовать быстрое преобразование Фурье, что позволит заменить фильтрующее устройство специализированным микропроцессором;

— если частота биений измерена с погрешностью ΔF , то при постоянном масштабном коэффициенте M погрешность измерения дальности будет $\Delta R = M \Delta F$. Отсюда следует, что для повышения точности дальнометрии необходимо поддерживать постоянный масштабный коэффициент.

Девиацию частоты Δf_d рекомендуется выбирать из условий обеспечения заданной разрешающей способности и повышения точности путем уменьшения масштабного коэффициента. Верхнее значение девиации частоты ограничивается паразитной амплитудной модуляцией в СВЧ-элементах дальномера. При разрешающей способности по дальности $R_0 = 2$ км девиация частоты будет $\Delta f_d = c/2R_0 = 3 \cdot 10^8 / 2 \cdot 2 \cdot 10^3 = 75$ кГц.

Период и частоту модуляции выбирают из компромиссных соображений. Сокращение периода T_m приводит к уменьшению масштабного коэффициента M и, следовательно, погрешности измерения дальности. Однако, поскольку при этом возрастает частота модуляции F_m , полоса пропускания фильтров спектроанализатора

расширяется, а значит, растет мощность шума. Частоту модуляции следует выбирать из соотношения

$$F_m \in c/4R_{\text{МАКС}},$$

где $R_{\text{МАКС}}$ — максимальная дальность обнаружения, т.е. $F_m \in 3,75$ кГц.

Выбранные значения: $F_m = 1$ кГц и $T_m = 10$ с; минимальное значение частоты биений $F_{\text{БМИН}} = 1$ кГц; максимальное значение частоты биений $F_{\text{БМАКС}} = 10$ кГц. При указанных значениях масштабный коэффициент $M = 2$.

ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ СПС

Обоснование выбора миллиметрового диапазона радиоволн. Анализ требований к конструкции и условий размещения автономной микроволновой радиолокационной СПС на воздушном судне показал, что для ее реализации целесообразно использовать волны миллиметрового диапазона, т.е. диапазон крайне высоких частот (КВЧ).

Аппаратура, работающая в миллиметровом диапазоне, имеет ряд преимуществ перед радиолокационной аппаратурой, традиционно использующей сантиметровые волны. Одно из главных ее достоинств — использование существующих в атмосфере "окон прозрачности" и "окон повышенного затухания" при распространении колебаний данного диапазона. Это позволяет проектировать радиолокационные системы с требуемой дальностью действия, но с малым влиянием аппаратуры одного воздушного судна на аппаратуру другого. К преимуществам миллиметровых радиоволн следует отнести также:

- возможность работы вблизи земной и водной поверхностей;
- широкую полосу излучаемых и принимаемых сигналов;



- высокие направленные свойства антенных систем;
- малые габариты всей системы;
- высокую виброустойчивость конструкции.

Энергетический расчет. При выполнении энергетического расчета были приняты следующие основные значения используемых параметров системы:

- длина рабочей волны – 8 мм;
- коэффициент затухания в атмосфере – 0,1 дБ/км;
- эффективная площадь рассеяния большого самолета – 150 м²;
- требуемая дальность действия системы – 20 км;
- время накопления сигналов – 1 с;
- требуемое значение отношения сигнал/шум – 20;
- суммарные потери в приемном тракте (определялись экспериментально на работающих макетах блоков) – 17 дБ.

Результаты энергетических расчетов показали, что для нормального функционирования СПС излучаемая в одном канале мощность не должна превышать 0,5 Вт. Это свидетельствует о возможности реализации системы на современной полупроводниковой элементной базе без применения принудительного охлаждения.

Электрическая принципиальная схема ВЧ-части экспериментального макета ПП-блока. Экспериментальный макет приемопередающего блока СПС выполнен на отечественной элементной базе. Принципиальная схема его ВЧ-части приведена на рис.8. Приемная и передающая антенны состоят из нескольких модулей антенных решеток (МАФАР). Каждый модуль МАФАР содержит 64 излучателя, работающих на частоте около 34 ГГц, которые расположены на поликорковой подложке. Размеры модуля 40·40·0,25 мм, масса – не более 5 г. Технология его изготовления хорошо отработана и рассчитана на серийное производство [7].

Балансный смеситель изготовлен в виде микросборки с микрополосковыми линиями (МЛ), обладающей высокой стабильностью работы на высоких частотах, а также малыми размерами (1,2·1 мм) и массой, что хорошо согласуется с антенной решеткой и другими элементами приемопередающего блока. Микрополосковый балансный смеситель при работе на прием выполняет функции модулятора. Отрезки микрополосковых линий МЛ12–МЛ15 составляют квадратурный четвертьволновый мост, а МЛ18 и МЛ21 служат для согласования диодов VD2 и VD3 с МЛ. Короткозамкнутые отрезки МЛ19 и МЛ20 обеспечивают нужный режим работы по постоянному току: поскольку их длина составляет четверть волны, входные сопротивления для КВЧ-сигнала равны бесконечности, а для сигнала промежуточной частоты эти же отрезки МЛ представляют короткое замыкание, что не дает ему распространяться в сторону сигнального и гетеродинного входов. Отрезки МЛ22 и МЛ23 служат для того, чтобы сигнал с частотой гетеродина не проникал в цепи промежуточной частоты.

Умножитель частоты с коэффициентом умножения 2 выполнен на варакторе VD4 (KA601). Отрезки МЛ28 и МЛ29 компенсируют реактивную составляющую полного сопротивления диода на входной частоте, а МЛ35 и МЛ36 – на выходной.

Автогенератор построен на арсенидгаллиевом полевом транзисторе ЗП604А-2 (VT1). Система четвертьволновых отрезков МЛ1–МЛ4 образует колебательный контур генератора. Варактор VD1, включенный в колебательный контур, служит для перестройки рабочей частоты генератора с помощью управляющего напряжения (U_0). В автогенераторе использованы пластинчатые металлодиэлектрические резисторы. Рабочая частота генератора – 18 ГГц, выходная мощность – 0,2 Вт, коэффициент усиления по

мощности – 3, КПД – 20%. Этот генератор КВЧ выступает также в роли гетеродина. Автогенератор и умножитель частоты объединены в общем герметичном корпусе размерами 30·24·15 мм. Соединение со смесителем осуществлено с помощью коаксиально-полоскового перехода.

Усилитель мощности выполнен на микросборках DA1–DA2. Для того чтобы часть СВЧ-мощности, отражающаяся от входа DA1 из-за неизбежных рассогласований в тракте, не влияла на работу генератора высоких частот, в схему включен ферритовый трехплечевой циркулятор (Ц), пропускающий прямой сигнал от генератора к DA1, а отраженный – от входа DA1 в поглощающую нагрузку R3. Четвертьволновые разомкнутые шлейфы МЛ7 и МЛ8 служат для короткого замыкания на рабочей частоте.

Генератор НЧ, используемый в блоке как источник пилообразного напряжения с частотой 1кГц, построен на микросхеме КР1533 ЛАЗ, обладающей улучшенными характеристиками по сравнению с другими сериями ТТЛ.

В качестве приемно-усилительного тракта применен операционный усилитель НЧ К50-15, собранный на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита. Его размеры 100·40·15 мм, номинальная выходная мощность – не менее 0,1 Вт.

Инженерные расчеты и испытания экспериментального макета ПП-блока показали, что конструкция блока выдерживает длительные перегрузки, превышающие 10g, а средняя наработка на отказ составляет 10 000 ч. Оценочная масса всей СПС не превышает 10 кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авиатранспортное обозрение, 1997, № 4.
 2. Бычков С. Н., Пахолков Г. А., Яковлев В. Н. Радиотехнические системы предупреждения столкновений самолетов. – М.: Сов. Радио, 1977.
 3. Анодина Т. Г., Кузнецов А. А., Маркович Е. Д. Автоматизация управления воздушным движением. – М.: Транспорт, 1992.
 4. Rockwell International Instruction Guide "What is TCAS?"
 5. Авиатранспортное обозрение, 1998, сентябрь–октябрь.
 6. Патент РФ №2150752 (приоритет от 10.06.00).
 7. Высоцкий Б. Ф., Войнич Б. А. "Разумная обшивка." – Электроника: НТБ, 1998, № 3–4.
- Контактные телефоны: (095) 158-6810, 158-4104