

УДК 621.396, 621.391

СИНТЕЗ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ И СИСТЕМНЫЙ РАСЧЕТ АППАРАТУРЫ АВАРИЙНОГО ПОИСКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

И.И. ЗАБЕНЬКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 19 декабря 2011

Предлагается один из вариантов построения цифровой радиомаячной системы аварийного поиска беспилотного летательного аппарата. Проводится структурный синтез передатчика радиомаяка, приемного устройства радиопеленгатора и обосновывается выбор их антенн.

Ключевые слова: цифровая радиосистема, проектирование, приемник, передатчик, антенна, пеленгатор.

Введение

Одним из обязательных элементов комплекса радиоаппаратуры беспилотного летательного аппарата (БЛА) является система его аварийного поиска. К ней предъявляются требования скрытности сигнала, излучаемого радиомаяком БЛА, малый вес и габариты радиомаяка, малая излучаемая мощность и ток потребления, широкие функциональные возможности радиопеленгационного устройства [1]. Реализация этих требований осуществляется использованием широкополосного псевдослучайного сигнала, амплитудного метода пеленгации излучаемого радиосигнала и применением малогабаритных антенн.

Выбор антенн передатчика и пеленгатора

Замечания к проблеме выбора типа углового пеленгатора

Выбор схемы моноимпульсного дискриминатора в значительной степени зависит от схемы построения приемника радиопеленгатора. Поскольку приемник широкополосной системы связи должен работать с малым отношением сигнал/шум на входе, а моноимпульсный дискриминатор фазового типа требует определенного, не ниже порогового, отношения сигнал/шум на входе фазового детектора, то можно утверждать, что он более чувствителен к энергетическим характеристикам сигнала и системы в целом.

В этом отношении амплитудный дискриминатор, который может работать по выходному сигналу приемника, меньше зависит от отношения сигнал/шум на входе приемника и способа обработки сигнала.

Общий подход к выбору типа передающей и приемной антенн

Краткий анализ возможных типов антенн, которые могут быть применены в приемнике, показывает следующее [2, 3].

Основные требования, предъявляемые к антенне:

- антенна должна быть направленной, рабочий угловой диапазон – передняя полуплоскость (полусфера);
- антенна должна иметь минимальные размеры как в плоскости апертуры, так и по толщине (продольный размер). Конструктивно антенна должна быть плоской, например, панельного типа.

Анализ показывает, что наиболее приемлемыми типами антенн для рассматриваемого применения являются:

- разновидности электрических вибраторных антенн с рефлектором, в том числе печатные антенны типа «патч» [2];
- щелевые (магнитные) антенны на базе щелевых печатных и волноводных излучателей;
- магнитные рамочные антенны.

Кратко рассмотрим возможности применения и особенности каждого из перечисленных выше типов «плоских» антенн.

1. Антенны на базе электрического вибратора.

В последнее время получили широкое распространение печатные «патч» антенны панельного типа. По принципу работы они относятся к антеннам типа электрического вибратора с рефлектором, поскольку активным элементом таких антенн является полосковый, круглый, прямоугольный и других сложных конфигураций печатный резонатор-излучатель («патч»), расположенный на диэлектрическом материале над экраном. Преимуществом этих антенн является малый продольный размер. Недостатками – сложность согласования с источником сигнала и узкополосность. Максимальный линейный размер элементарного излучателя такой антенны в большинстве случаев – половина или четверть волноводной длины волны полосковой структуры с учетом диэлектрика. Полоса пропускания «патч»-антенн прямо пропорциональна толщине диэлектрика (высоте «патча» над экраном) и обратно пропорциональна корню квадратному из ϵ_r – диэлектрической постоянной диэлектрика. На рис. 1, а, б приведены типовые конфигурации «патч»-излучателей с запиткой микрополосковой и коаксиальной линией.

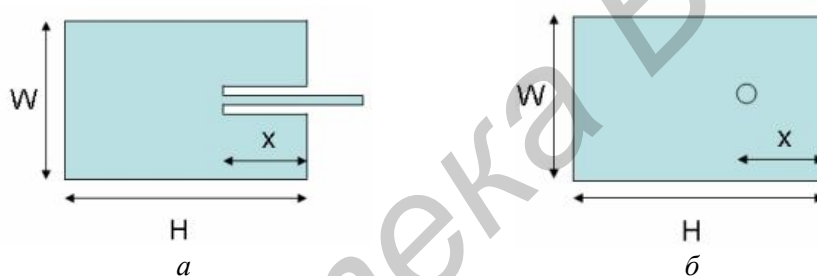


Рис. 1. Типовые конфигурации «патч»-излучателей: с запиткой микрополосковой линией (а); с запиткой коаксиальной линией (б) где W – ширина, H – высота, X – точка запитки

2. Щелевые (магнитные) антенны на базе щелевых излучателей.

Щелевые антенны, которые для уменьшения продольного размера также часто изготавливаются печатными, имеют много общего с микрополосковыми «патч»-антеннами. Если в предыдущем случае поле излучения формируется токами на печатных проводниках, то в щелевой антенне поле излучения формируется токами смещения, ориентированными по E поперек щели. На рис. 2 показана типовая конфигурация печатной щелевой антенны. Сравнивая характеристики обоих типов печатных антенн, можно отметить большую широкополосность и лучшие параметры по согласованию щелевых антенн.

Физически это можно объяснить тем, что в «патч»-антеннах поле сосредоточено главным образом между полосковой структурой и экраном, и излучение происходит за счет краевых эффектов. В щелевых антеннах поле сосредоточено в зазоре между микрополосковыми проводниками, токи смещения протекают в плоскости излучения, естественным образом формируя диаграмму излучения антенны.

3. Магнитные рамочные антенны могут конструктивно быть реализованы также в виде замкнутых печатных проводников, но могут включать в себя для уменьшения размеров и многовитковые катушки.

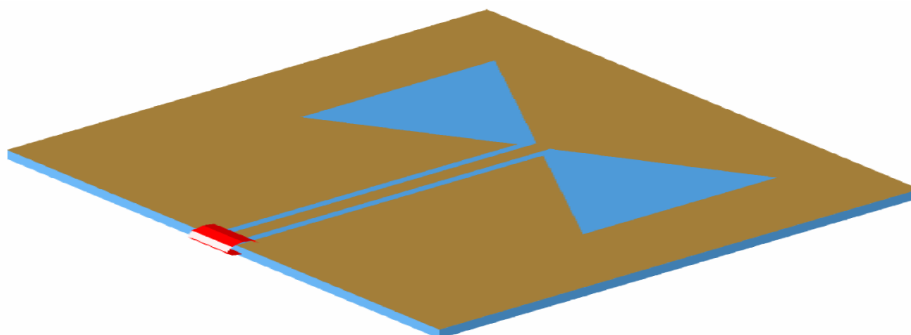


Рис. 2. Типовая конфигурация печатной щелевой антенны

В части соотношения физических размеров и основных технических характеристик (полоса пропускания, коэффициент усиления) все перечисленные виды антенн подчиняются одним фундаментальным соотношениям и не имеют существенных преимуществ одна перед другой. Так, сопротивление излучения и эффективная длина всех коротких антенн связаны соотношением [1]:

$$R_{\text{изл}} = 800(h_{\text{д}}/\lambda)^2. \quad (1)$$

Эта же формула справедлива для магнитных антенн с той разницей, что действующая длина магнитной антенны вычисляется иначе, чем действующая длина вибраторной антенны. А именно, она пропорциональна числу витков катушки, площади витка и обратно пропорциональна длине волны. Анализ показывает, что быстрое уменьшение действующей длины магнитной антенны с уменьшением линейных размеров может быть скомпенсировано увеличением числа витков катушки. При этом возрастает индуктивная составляющая входного сопротивления, которая при компенсации емкостью приводит к сужению полосы согласования антенны, т.е. к результату, аналогичному для электрических антенн.

Формула (1) показывает, что при укорочении антенн наблюдается общая тенденция уменьшения входного сопротивления антенн, т.е. ухудшения условий согласования. Результатом этого, как правило, является сужение полосы пропускания коротких антенн.

Приемная антенна

С учетом проведенного обзора вариантов выполнения малогабаритных антенн можно предложить следующие принципы построения приемной антенны.

1. Антенна представляет собой плоскую решетку панельного типа из двух печатных излучателей, на базе которых будет реализован моноимпульсный азимутальный пеленгатор.
2. Антенна должна иметь близкую к кардиоидной диаграмму направленности в горизонтальной (азимутальной) плоскости с шириной диаграммы направленности на уровне первого нуля вблизи 180 град.
3. Для облегчения условий согласования с антенной длина излучателя (электрического или магнитного) должна быть близка к $\lambda/2$.

Расчет показывает, что антенна по суммарной ДН будет иметь КНД около 9 дБ, ширина ДН по уровню 3 дБ около 80 град.

Передающая антенна

Наилучшим вариантом построения всенаправленной передающей антенны можно считать печатную антенну на базе штыревого четвертьволнового вибратора или симметричного полуволнового вибратора. Такая антенна обеспечивает практически изотропную в азимутальной плоскости диаграмму направленности и с небольшим угловым сектором около 40 град. низкого усиления (менее 3 дБ) вдоль оси антенны. Этот угол можно еще более сузить уменьшением эффективной длины антенны. На рис. 3 представлен один из вариантов передающей антенны.

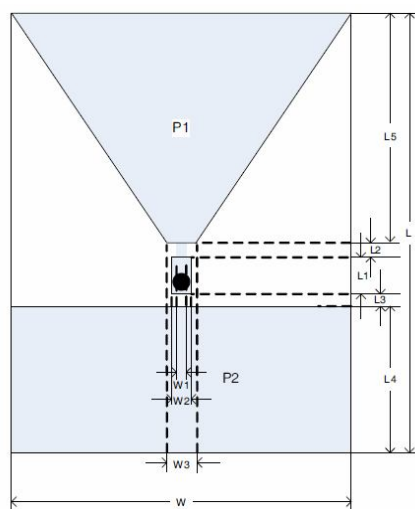


Рис. 3. Передающая антенна

Синтез структурной схемы радиомаяка

Выбор сигнала системы радиопеленгации

Для надежного функционирования системы поиска беспилотного летательного аппарата (БЛА) необходимо принять комплекс мер по защите от обнаружения излучаемых сигналов средствами радиоразведки, т.е. обеспечить скрытность сигналов.

Для системы радиопеленгации (РП) приоритетное значение имеет энергетическая скрытность, под которой понимается способность энергетического обнаружения сигналов на фоне помех. Один из путей решения этой задачи – уменьшение мощности передатчика системы РП и, следовательно, понижение уровня на входе разведывательного приемника. Однако при этом сокращается дальность радиопеленгации, что не всегда приемлемо. С другой стороны, снижение вероятности энергетического обнаружения радиосигнала обеспечивается за счет уменьшения его спектральной плотности мощности в точке приема, т.е. при неизменной мощности передатчика системы РП необходимо использовать широкополосные сигналы с базой $B = \Delta f \cdot T$ (где Δf и T – ширина спектра и длительность сигнала соответственно). Известно, что при согласованной фильтрации отношение сигнал/шум на выходе избирательной системы в момент окончания сигнала достигает максимального значения $(q_{\text{ВВХ}})^2 = 2 (q_{\text{ВХ}})^2 B$, где $q_{\text{ВХ}}$ – отношение сигнал/шум на входе. Поэтому при увеличении базы сигнала B можно получить то же отношение сигнал/шум на выходе фильтра (такую же вероятность правильного приема сигнала) при меньшем в B раз отношении сигнал/шум на входе, т.е. при более высокой скрытности радиосигнала в эфире.

В разрабатываемой радиомаячной системе используется ШПС с базой $B \geq 255$. При этом повышается не только энергетическая, но и информационная и структурная скрытность работы системы РП.

Синтез структурной схемы радиомаяка

Радиомаяк (РМ) входит в состав бортового радиоэлектронного оборудования БЛА и предназначен для автоматической аварийной передачи радиосигнала при невозврате БЛА в запланированное место посадки. Кроме радиосигнала РМ должен излучать акустический и световой сигналы, которые ускорят поиск БЛА на близком расстоянии (10–50м). Структурная схема РМ представлена на рис. 4 и состоит из следующих основных блоков, которые будут объединены конструктивно на одной плате: передатчика (ПРД), блока управления радиомаяка (БУР), блока сигнализации (БС), коммутатора питания (КП), источника питания РМ (ИПР). К периферийным устройствам РМ относятся антенна РМ (АРМ) с ВЧ-кабелем, оптический излучатель (ОИ), акустический излучатель (АИ) с линиями питания.

Передатчик предназначен для формирования шумоподобного сигнала (ШПС), представляющего собой фазоманипулированный сигнал, модулированный псевдослучайной после-

довательностью (ПСП). Вид ПСП определяется кодом ПСП и является идентификационным признаком РМ (или его номером).

Сигнал несущей частоты вырабатывается синтезатором частот, в котором происходит его фазовая манипуляция (0/180 град.). Усилитель мощности (УМ) имеет регулировку усиления, что позволяет регулировать мощность ПРД. Выходной каскад УМ работает в экономичном ключевом режиме; образующиеся при этом гармоники несущей частоты задерживаются полосовым фильтром.

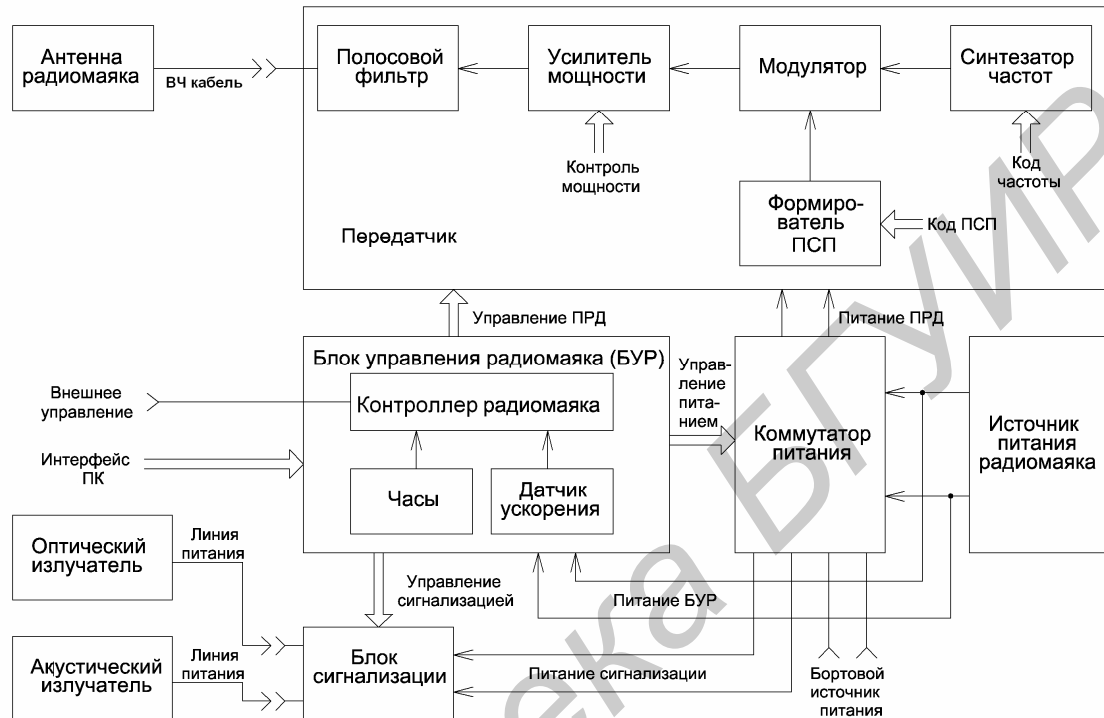


Рис. 4. Структурная схема радиомаяка

ПРД включается сигналом с КП. При этом усилитель мощности должен быть выключен внутренним сигналом «Контроль мощности». Далее следует загрузка кода частоты, кода ПСП и кода мощности, после чего устанавливается требуемая мощность ПРД. БУР предназначен для включения РМ по сигналу «пуск», в качестве которого может быть использован внешний сигнал управления или внутренние – от датчика ускорения или таймера, управления питания и режимом работы блока сигнализации (световым и акустическим сигналами). Питание блока управления осуществляется от отдельного автономного источника питания радиомаяка. В состав БУР входит контроллер радиомаяка, где хранится программа управления всех блоков РМ, микросхема часов и датчик ускорения. Контроллер радиомаяка может включать РМ от внешнего сигнала управления, от собственного датчика ускорения (в момент перегрузки при приземлении БЛА) или по таймеру (например, после двух часов после запуска БЛА).

Коммутатор питания (КП) обеспечивает подачу питания на ПРД и БС от бортового источника питания (БИП) или источника питания радиомаяка. Блок сигнализации (БС) вырабатывает прерывистые сигналы соответствующей мощности, подаваемые на ОИ и АИ после поступления соответствующего сигнала с БУР. Акустическую и оптическую сигнализации следует включать по таймеру после включения радиосигнала передатчика через интервал времени Δt .

Описание структурной схемы радиопеленгатора

Структурная схема двухканального радиопеленгатора показана на рис. 5. Она состоит из аналоговой и цифровой частей. Антенная система представлена двумя антеннами, фазовые центры которых сдвинуты на $\lambda/2$, а диаграммы направленности на $\theta/2$, где θ – ширина диаграммы направленности одной антенны. Такая антенная система позволяет реализовать как амплитудный, так и фазовый методы радиопеленгации.

Аналоговые радиотракты имеют одинаковую структуру и состоят из полосового фильтра радиочастоты ПФ-РЧ-1, смесителя, полосового фильтра промежуточной частоты ПФ-

ПЧ-1, усилителя промежуточной частоты с регулируемым усилением УПЧ-1, малоразрядного аналого-цифрового преобразователя АЦП-1.

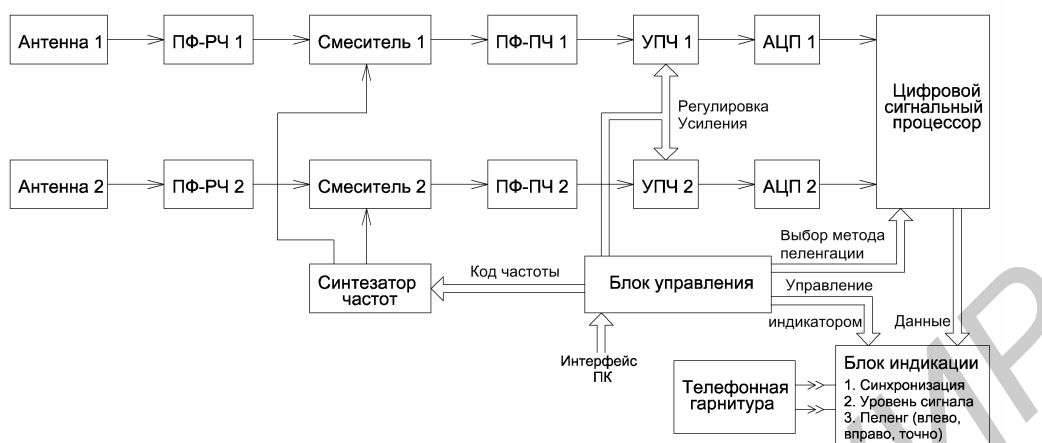


Рис. 5. Структурная схема радиопеленгатора

Цифровая обработка принятого сигнала осуществляется в цифровом сигнальном процессоре (ЦСП). Основные его функции: 1) поиск ШПС по задержке и частоте; 2) синхронизация (слежение за задержкой и частотой); 3) измерение уровней сигналов в каналах; 4) решение пеленгационной задачи – вычисление угла пеленга на радиомаяк; 5) формирование сигналов индикации (данных) для блока индикации.

Блок управления (БУ) содержит контроллер с ПЗУ и формирует код частоты синтезатора частот, вырабатывающего колебания гетеродинов для смесителей, сигналы управления для ЦСП и блока индикации. Блок индикации (БИ) содержит индикатор синхронизации, индикатор уровня сигнала, который может быть проградуирован в единицах расстояния до РМ, аналоговый индикатор пеленга (точно, влево, вправо) и цифровой индикатор пеленга относительно направления движения. Кроме того, целесообразно иметь в БИ магнитный компас, чтобы определять пеленг относительно северного направления.

Заключение

В статье представлены результаты работ по выбору антенны радиомаяка, описаны принцип его работы и все функциональные узлы. Синтезирована и описана структурная схема передающего тракта радиомаяка и приемного тракта радиопеленгатора.

DESIGNING ILS OF THE EMERGENCY UAV SEARCH

I.I. ZABENKOV

Abstract

One way to construct a digital ILS emergency search UAV is carried out. A structural synthesis of the transmitter beacon receiver and direction finder substantiate the choice of antenna is given.

Список литературы

1. Рембовский А.Н., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг – задачи, методы, средства. М., 2010.
2. Лось В.Ф. Микрополосковые и диэлектрические резонаторные антенны. М., 2002.
3. Панченко Б.А., Князев С.Т., Нечаев Ю.Б. Электродинамический расчет характеристик микрополосковых антенн. М., 2002.