Тема: Основы радиолокации

Учебные вопросы:

1. Общие сведения о радиолокации;

2. Принципы радиолокационного обнаружения целей;

. Методы измерения координат и скорости движения целей;

. Основные тактико-технические данные радиолокационных станций (РЛС);

. Типы бортовых РЛС, их назначение и краткая характеристика.

Литература:

1. П.И. Дудник, Ю.И. Чересов. Авиационные радиолокационные устройства, - ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1986 г., 538 стр.;

2. В.В. Васин и др. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения), М.: Сов. Радио, 1970 г., 680 стр.;

. Г.С. Кондратенков, А.Ю. Фролов. Радиовидение. РЛС дистанционного зондирования земли, М.: Радиотехника, 2005 г., 370 стр.

Вопрос 1

Радиолокация - область радиоэлектроники, занимающаяся применением радиоволн для обнаружения, определения координат и измерения параметров движения различных объектов. Все объекты наблюдения в радиолокации называются целями. К ним относятся, например, корабли, самолёты, танки и др. Операции, выполняемые в радиолокации для обнаружения целей, измерения их координат и параметров движения, называются радиолокационным наблюдением.

Радиолокация как наука основана на использовании ряда физических законов, связанных с распространением и рассеянием электромагнитных волн (ЭМВ). Важнейшим для радиолокации свойством электромагнитных волн является их рассеяние при падении на объекты. Это позволяет, принимая рассеянные объектом волны и измеряя их параметры, судить о наличии и свойствах объекта. В общем случае объект рассеивает волны во все стороны, в том числе и в сторону, обратную направлению прихода падающей волны. Таким образом, облучая объект, можно принимать отражённую волну в том же месте, откуда распространяется волна облучения.

Закон о прямолинейности распространения электромагнитных волн в однородной среде используется для определения угловых координат объекта путём измерения направления прихода волны как вектора, перпендикулярного фазовому фронту волны.

Постоянство скорости распространения электромагнитных волн позволяет определять дальность до объекта путём измерения задержки волны при распространении её от объекта до радиолокатора.

Важным свойством электромагнитных волн является их малое затухание при распространении в атмосфере и космосе, что позволяет получать большие дальности обнаружения объектов практически в любых метеоусловиях. Затухание в атмосфере значительно ограничивает дальность распространения электромагнитных волн, особенно в дожде.

Электромагнитные волны, рассеянные движущимся объектом, имеют другую длину волны по сравнению с волной облучения (доплеровское смещение частоты). Этот эффект позволяет выделять движущиеся объекты и определять их скорость путём измерения величины смещения частоты.

Часто к радиолокации относят также два других направления науки и техники, связанные с излучением и приёмом радиоволн, приходящих от объектов.

Первое направление - радиометрия, или теплорадиолокация, использует для изучения объектов их собственное излучение как нагретого тела в радиодиапазоне частот, которое принимается и анализируется широкополосным приёмником. Иногда этот метод называют пассивной радиолокацией.

Второе направление - радиолокация с активным ответом. Характерным примером этого направления является система государственного опознавания, в которой объект оснащён активным ответчиком, излучающим электромагнитную волну в ответ на запросную (облучающую) волну радиолокатора.

Задачи радиолокационных наблюдений решаются радиолокационными устройствами. Совокупность функционально связанных радиолокационных устройств, предназначенных для решения какой-либо боевой задачи (обеспечение перехвата воздушных целей, прицеливание при действии по наземным целям и т.п.), называется радиолокационной системой. Техническая реализация радиолокационной системы в виде совокупности блоков или узлов обычно называется радиолокационной станцией (РЛС). РЛС функционирует в рамках более широкого понятия - радиолокационного канала. Рассмотрим более подробно его структуру и составные части.

Структура радиолокационного канала. Она включает в себя собственно РЛС (3), носитель РЛС (6), среду распространения радиоволн (2), группу объектов (1), систему навигации (4) и систему индикации и управления каналом (5) (рис. 1.1). Все эти элементы структуры участвуют в процессе обнаружения и определения характеристик заданных объектов.

. Группа объектов состоит из заданных объектов (целей), вспомогательных объектов (ориентиров), сопутствующих объектов (фона), объектов излучающих или переизлучающих помеховые сигналы (источников помех).

Цели - заданные объекты, т.е. объекты нашего интереса, могут иметь различную физическую природу: воздушные цели (самолёты, ракеты, облака, дождь, турбулентности атмосферы и т.п.), наземные цели (скопление войск и отдельные виды техники, взлётные полосы аэродромов и сельскохозяйственные угодья, инженерные сооружения и дороги и т.п.), морские цели (корабли, ледовые поля, морская поверхность).

Ориентиры - вспомогательные объекты, которые помогают решать основную задачу обнаружения и определения характеристик целей. Так, например, ориентир - объект с известными координатами - используется для высокоточного определения координат целей, расположенных вблизи от этого объекта.

Фон - сопутствующие объекты, которые обычно препятствуют обнаружению целей. Так, если малоразмерная цель наблюдается на фоне подстилающей (земной) поверхности, то фон маскирует цель. Сигнал от фона намного превышает сигнал от цели, что требует особой системы обработки сигналов для подавления сигнала фона и выделения сигнала цели.



Рисунок 1.1. Структура радиолокационного канала.

Активные и пассивные источники помех являются объектами, которые излучают или переизлучают сигналы, мешающие обнаружению сигналов цели. Помехи обычно используются в процессе радиоэлектронной борьбы, однако они могут быть и непреднамеренными (естественными), например в виде излучения других радиопередающих устройств. Пассивные помехи создаются специальными отражателями (облака диполей, аэрозолей и других образований), отражения от которых маскируют сигналы целей.

. Среда распространения радиоволн - пространство между РЛС и объектом. Обычно считается, что электромагнитная волна от объекта до РЛС распространяется прямолинейно и с постоянной скоростью. Наличие неоднородности среды (коэффициента преломления) вносит ошибки в процесс измерения характеристик цели, а потери энергии вследствие поглощения в среде приводят к уменьшению дальности обнаружения целей. Поэтому при решении радиолокационных задач требуется учитывать характеристики среды распространения.

. РЛС - включает в себя собственно аппаратуру РЛС («железо») и программное обеспечение (ПО) работы РЛС. Аппаратура РЛС включает в себя следующие основные блоки:

антенные и приёмо-передающие модули. Антенно-фидерные устройства модулей обеспечивают направленное излучение и приём радиоволн с учётом их поляризации. Передающие модули обеспечивают усиление, амплитудную и фазовую модуляцию радиочастотных колебаний. Приёмные модули обеспечивают малошумящее усиление и преобразование частоты принимаемых радиочастотных колебаний;

синтезатор сигналов, который генерирует колебания заданной радиочастоты, частот модуляции и преобразования для приёмопередающих модулей;

процессор обработки сигналов, выполняющий с помощью аналоговых и цифровых устройств заданный алгоритм обработки принимаемых колебаний (синтезирования апертуры);

БЦВМ управления и обработки данных, обеспечивающая согласование работы и режимов всех устройств РЛС и носителя РЛС в соответствии с решаемой задачей, а также обработку данных с выхода сигнального процессора.

Кроме перечисленных составных частей РЛС, в неё также входят устройства технической диагностики, источники питания, сеть распределения сигналов и коммутационные устройства (на рисунке не показаны).

. Система навигации снабжает необходимой информацией системы обработки сигналов управления.

. Система индикации и управления обеспечивает связь между оператором и РЛС с использованием устройств отображения информации интеллектуальных систем управления, реализуемых с помощью ЭВМ.

. Носитель РЛС выполняет не только транспортные функции, но и обеспечивает заданное пространственное положение РЛС (траекторию), исходя из задачи формирования требуемого пространственно-временного траекторного сигнала.

Функционирование радиолокационного канала начинается с задания оператором тактической задачи, исходя из которой система управления через БЦВМ управления формирует структуру канала и его режимы работы. Коммутационные устройства обеспечивают реконфигурацию (изменение структуры) РЛС путём переключения приёмопередающих модулей и вычислительных модулей процессоров и изменения способов объединения сигналов и данных с помощью сети распределения (шины), соединяющей все модули. Кроме того, система управления изменяет состав модулей программного обеспечения процессоров и БЦВМ для выполнения заданных алгоритмов управления, обработки сигналов и индикации. Сложные задачи реконфигурации аппаратуры РЛС и программного обеспечения требуют большой интеллектуальной поддержки оператора РЛС соответствующим программным обеспечением ЭВМ системы управления, которое высвобождает мышление оператора (лётчика) для решения тактических задач.

В соответствии с заданным режимом работы синтезатор сигналов вырабатывает высокочастотные колебания несущей частоты зондирующего сигнала, а также частоты преобразования и модуляции сигналов.

Излучённая электромагнитная волна, пройдя среду распространения от РЛС до объекта, формирует поле облучения объекта. В зависимости от свойств объекта и параметров поля облучения, характеризуемых функцией отражения объекта, формируется рассеянная объектом ЭМВ, распространяющаяся в сторону РЛС.

Отражённая от объекта ЭМВ, пройдя среду распространения от объекта до РЛС, возбуждает поле на апертуре приёмных антенных модулей.

Процессор обработки сигналов и БЦВМ выполняют заданные алгоритмы синтезирования апертуры, обнаружения, определения координат и распознавания цели, обеспечения помехозащищённости и другие алгоритмы. Полученные данные используются оператором и подаются в другие системы (разведка, оружие, оборона и т.п.).

Дополнительные каналы (обычно другой физической природы) обеспечивают необходимой информацией процессоры обработки и БЦВМ управления. Это, прежде всего, система навигации, которая совместно с носителем обеспечивает требуемую траекторию перемещения антенных модулей РЛС, исходя из необходимости решения заданной тактической задачи. Так, при использовании РЛС в качестве информационной системы для наведения носителя РЛС на малоразмерную наземную цель управление траекторией предусматривает получение высокой разрешающей способности и выдерживание заданного вектора путевой скорости относительно объекта.

Вопрос 2

Объектом радиолокационного наблюдения, или целью может быть любое тело или группа тел с электрическими или магнитными свойствами, отличными от свойств среды, в которой распространяются радиоволны; целью может быть также и тело, характеризующееся собственным излучением радиоволн.

Обнаружение целей состоит в фиксации поступающих на вход приёмного устройства РЛС радиолокационных сигналов. Наличие такого сигнала свидетельствует о существовании цели, а при его отсутствии следует полагать, что цели нет.

Измерение координат обнаруженных целей основано на определении значений параметров радиолокационных сигналов, несущих информацию об этих целях. При этом используются следующие физические свойства радиоволн:

) скорость распространения радиоволн в свободном пространстве (с) имеет конечное приблизительно постоянное значение (3∙108м/с);

) траектории распространения радиоволн можно считать прямыми линиями;

) частота принимаемых электромагнитных колебаний отличается от частоты излучённых колебаний в том случае, если цель перемещается относительно РЛС (эффект Доплера).

Постоянство скорости и прямолинейность распространения радиоволн позволяют определить дальность цели. Время распространения радиоволн от РЛС до цели и обратно tD связано с дальностью цели соотношением



и, следовательно,

 (2.1)

Таким образом, для определения дальности цели при использовании метода активной радиолокации необходимо измерить время распространения радиоволн между РЛС и целью в обе стороны; обычно величину tD называют временем запаздывания отражённого сигнала.

Определение угловых координат (пеленгация) целей основывается на прямолинейности распространения радиоволн. Для этого используются антенные устройства направленного действия.

Вопрос 3

Измерениям подлежат дальность, угловые координаты и скорость.

Методы измерения дальности

Определение дальности целей основано на измерении времени запаздывания tD радиолокационных сигналов. Классификация методов измерения дальности связана с параметрами сигнала, которые играют основную роль при измерении времени запаздывания. В соответствии с этим метод измерения может быть амплитудным, частотным или фазовым.

Амплитудный метод.

При амплитудном методе измерения определяется время запаздывания характерного изменения амплитуды принимаемого радиолокационного сигнала. Из различных видов модуляции излучаемых колебаний наиболее употребительной является импульсная (рис. 3.1 и 3.2а).



Рисунок 3.1. Функциональная схема импульсного измерителя дальности (а), изображение сигналов на экране электроннолучевого индикатора (б).

Передатчик станции генерирует радиоимпульсы длительностью τи с периодом повторения Ти (напряжение и2 на рис 3.2).



Рисунок. 3.2. Эпюры напряжений в точках 1-5 схемы импульсного дальномера (рис.3.1,а).

Антенный переключатель (АП) подсоединяет антенну к передатчику на генерации (τи) и к приёмнику на всё остальное время. Отражённые импульсные сигналы запаздывают на время tD; на вход приёмника поступают и колебания передатчика, и отражённые сигналы (и3). Одним из наиболее употребительных приборов для измерения времени запаздывания является электроннолучевая трубка. На рис.3.1,а показана трубка с электростатическим управлением. К вертикально отклоняющим пластинам трубки подводятся импульсы напряжения с выхода приёмника и4; к горизонтально отклоняющим пластинам от специальной схемы подводится пилообразное отклоняющее напряжение и5 ( рис 3.2). Передатчик и схема создания пилообразного напряжения запускаются одновременно импульсами синхронизирующего устройство и1, поэтому одновременно с излучением импульса передатчика начинается горизонтальное перемещение пятна по экрану трубки.

Картина, наблюдаемая на индикаторе, иллюстрируется рис.3.1,б: пятно воспроизводит огибающие излучённого и отражённого импульсов, расстояние между которыми l пропорционально дальности обнаруженной цели:

, (2.2)

где  - скорость движения пятна по экрану индикатора, откуда

. (2.3)

По положению отражённого сигнала на экране можно отсчитывать дальность целей. К достоинствам импульсных дальномеров следует отнести: возможность построения РЛС с одной антенной; простоту индикаторного устройства; удобство одновременного измерения дальности многих целей; простоту разделения излучаемых импульсов, длящихся очень малое время τи, и принимаемых сигналов.

Основными недостатками импульсного метода являются: необходимость использования больших импульсных мощностей передатчиков; невозможность измерения малых дальностей; большая минимальная дальность станции (определяющаяся дальностью излучаемых импульсов и временем протекания переходных процессов в антенном переключателе), которая составляет сотни или даже тысячи метров.

Частотный метод.

Частотный метод определения дальности основан на использовании частотной модуляции излучаемых непрерывных колебаний; время запаздывания определяется путём измерения разности частот излучённых колебаний и отражённого сигнала. Функциональная схема РЛС с частотной модуляцией изображена на рис 3.3.



Рисунок 3.3. Функциональная схема измерителя дальности с частотной модуляцией.

Генератор высокой частоты, управляемый модулятором, вырабатывает колебания с частотой, изменяющейся по периодическому закону (рис. 3.4, сплошная линия). Частота сигнала, отражённого от неподвижной цели, будет изменяться по такому же закону, но только со сдвигом по временной оси на время запаздывания tD. На рис. 3.4,а частота отражённых колебаний показана штриховой линией. Отражённые сигналы и колебания генератора подводятся к смесителю. Образующаяся на выходе смесителя разностная частота (рис. 3.4,б) (частота биений) пропорциональна дальности цели.

На рис.3.4,в показано изменение разностной частоты



Рисунок 3.4. Изменение частоты излучаемых и принимаемых колебаний: а - частоты излучённого и принятого сигналов; б - преобразованный сигнал (биения); в - изменение частоты преобразованного сигнала.

Для измерения разностных частот используются фильтры или счётчики импульсов. При использовании фильтров возможны два варианта: применяется группа фильтров, настроенных на фиксированные частоты, или один фильтр с переменной настройкой. Попадание сигнала разностной частоты в тот или иной фильтр (на что укажет соответствующий индикатор, например неоновая лампочка) позволит определить дальность цели. Дальномеры рассмотренного типа позволяют измерять очень малые дальности и использовать передатчики с малой мощностью излучения.

Недостатки дальномеров с частотной модуляцией:

необходимость использования либо двух антенн, либо сложного устройства для разделения излучаемых и принимаемых колебаний;

ухудшение чувствительности приёмника вследствие просачивания в приёмный тракт через антенну излучения передатчика, подверженного случайным изменениям;

высокие требования к линейности изменения частоты.

Устройства с большим числом анализирующих фильтров характеризуются также сложностью и громоздкостью анализатора. Если использовать один перестраиваемый фильтр, с помощью которого последовательно просматриваются различные участки дальности, то анализирующее устройство упрощается, но зато резко увеличивается время обзора заданной области.

Фазовые методы.

Фазовые методы основаны на измерении разности фаз излучённых синусоидальных колебаний и принятых радиосигналов.

Методы измерения угловых координат

Для определения угловых координат целей используются угломерные, или пеленгационные радиолокационные устройства.

Угломерное устройство включает антенну (антенную систему), приёмник для обработки принятых радиолокационных сигналов и измерительное устройство. Одной из основных характеристик угломерного устройства является его пеленгационная характеристика, представляющая собой зависимость выходного напряжения приёмника от направления прихода радиоволны Uвых(φ). В зависимости от того, какой параметр сигнала - амплитуда, частота или фаза - оказывает основное влияние на формирование пеленгационной характеристики, методы измерения угловых координат можно подразделять на амплитудные, частотные или фазовые. Практически находят применение амплитудные и фазовые методы.

Амплитудные методы.

В настоящее время известны и широко используются несколько амплитудных методов: максимума; минимума; сравнения; равносигнальный.

Рассмотрим их существо и принципы технической реализации.

При пеленгации по методу максимума плавно изменяется угловое положение антенны, и она в течение некоторого времени принимает сигналы цели; отсчёт угловой координаты цели производится в тот момент, когда амплитуда сигнала на выходе приёмника достигает наибольшего значения. Функциональная схема соответствующего угломерного устройства показана на рис. 3.5.



Рисунок 3.5. Функциональная схема угломерного устройства с отсчётом по максимуму.

радиолокация цель станция бортовой

Механизм поворота вращает антенну; одновременно приводится в действие указатель поворота, по шкале которого отсчитывается направление оси антенны. Когда цель окажется в пределах диаграммы направленности антенны F(φ), в приёмник начнут поступать сигналы. Амплитуда сигналов зависит от углового положения антенны по отношению к цели. При вращении антенны выходное напряжение приёмника Uвых повторяет форму диаграммы направленности антенны (рис. 3.6).



Рисунок 3.6. Пеленгационная характеристика при пеленгации по максимуму.

Это и будет пеленгационная характеристика угломерного устройства

Uвых(φ) = k F(φ), (2.4)

где k - коэффициент пропорциональности.

Когда ось антенны совпадает с направлением на цель, выходное напряжение приёмника достигнет максимума; в этот момент указатель поворота антенны покажет пеленг цели φц.

Достоинствами метода являются простота его технической реализации и получение наибольшей (при прочих равных условиях) амплитуды принимаемого сигнала в момент пеленгации. Основной недостаток метода состоит в относительно низкой точности измерений угловой координаты.

Точность измерения угла характеризуется пеленгационной чувствительностью, представляющей собой крутизну пеленгационной характеристики вблизи направления на цель:

. (2.5)

Чем больше пеленгационная чувствительность, тем выше точность измерения угловой координаты.

При пеленгации по максимуму для диаграмм направленности любого типа пеленгационная чувствительность очень мала (при точном пеленге ), поэтому и точность измерения координат относительно низка.

Метод пеленгации по минимуму отличается тем, что отсчёт угловой координаты производится в момент уменьшения до минимума выходного напряжения приёмника.



Рисунок 3.7. Диаграмма направленности антенного устройства (а) и пеленгационная характеристика при пеленгации по минимуму (б).

Диаграмма направленности антенны пеленгатора должна иметь в средней части провал до нуля. Этого можно добиться, например, если использовать две антенны, повёрнутые в пространстве одна относительно другой на угол, равный ширине диаграммы направленности по нулевому уровню (рис 3.7,а). Функциональная схема пеленгационного устройства такая же, как и при пеленгации по максимуму (см. рис. 3.5). Изменения амплитуды сигнала на выходе приёмника при повороте антенны характеризуются графиком рис. 3.7,б; аналогичный вид имеет и пеленгационная характеристика Uвых(φ) = k F(φ), где функция F(φ) - результирующая диаграмма направленности.

При пеленгации по минимуму может быть получена высокая точность измерения угловой координаты, так как пеленгационная чувствительность велика. Но амплитуда сигнала вблизи направления пеленга мала; при точном пеленге она становится равной нулю.

Практически по методу минимума можно пеленговать только источники мощного собственного излучения. Поэтому метод пеленгации по минимуму, получивший широкое применение в радионавигации, в радиолокации не используется.

Метод сравнения характеризуется тем, что пеленг цели определяется по соотношению амплитуд сигналов, принятых одновременно двумя антеннами. Функциональная схема пеленгационного устройства, в котором использован метод сравнения, приведена на рис. 3.8.



Рисунок 3.8. Функциональная схема пеленгатора, в котором используется метод сравнения.

Основным достоинством метода сравнения является возможность мгновенного определения направления на цель в пределах относительно широкого сектора при неподвижной антенной системе. Наиболее существенным недостатком является относительно низкая точность измерения, существенно меняющаяся в зависимости от вида и взаимного расположения диаграмм направленности антенн, а также от прихода волны.

Частным случаем метода сравнения является равносигнальный метод пеленгации. Он также основан на сравнении амплитуд сигналов, принимаемых двумя антеннами, но для отсчёта углового положения добиваются равенства сигналов. При пеленгации цели по равносигнальному методу антенное устройство поворачивают до тех пор, пока выходное напряжение не окажется равным нулю. В этот момент угловая координата цели определяется по положению антенны.

Равносигнальный метод характеризуется высокой точностью, так как при измерении используется небольшой участок диаграмм направленности (вблизи равносигнального направления) с относительно большой крутизной. Этот метод часто используют для автоматического слежения за целью по угловым координатам.

Равносигнальный метод может быть реализован при использовании одной антенны, диаграмма направленности которой периодически изменяет своё положение в пространстве. В этом случае сравнению подлежат сигналы, принятые в различные моменты времени при разных положениях диаграммы направленности.

Фазовые методы.

Фазовые методы основаны на измерении разности фаз электромагнитных колебаний, принимаемых различными антеннами. Метод характеризуется относительно высокой точностью измерения; он может быть использован для автоматического слежения за целями по угловым координатам. Существенными недостатками фазового метода являются неоднозначность отсчёта и отсутствие разрешения целей.

Методы измерения радиальной скорости

Измерение радиальной скорости основано на определении доплеровского сдвига частоты отражённого сигнала. Схема простейшей станции, обеспечивающей измерение доплеровской частоты сигналов, приведена на рис. 3.9.



Рисунок 3.9. Функциональная схема измерителя доплеровской частоты.

Генератор высокой частоты (f0) создаёт незатухающие колебания, излучаемые в пространство. Частота сигнала, отражённого от движущейся цели, будет отличаться от f0 на доплеровский сдвиг Fд; отражённый сигнал можно записать таким образом:

.

Принятые колебания смешиваются с колебаниями генератора . На выходе смесителя образуются колебания с частотой Доплера. Огибающая высокочастотных колебаний (частота биений) выделяется с помощью амплитудного детектора. Далее колебания на частоте Fд усиливаются и подводятся к измерителю частоты. Шкала измерителя градуируется прямо в единицах радиальной скорости цели

. (2.6)

Рассмотренному радиолокационному устройству присущи все достоинства и недостатки станций с непрерывным излучением.

К специфическим достоинствам самого метода измерения следует отнести: простоту устройства станции; нечувствительность к медленным уходам частоты генератора.

Наиболее существенные недостатки метода: высокие требования к кратковременной стабильности частоты генератора (за время распространения радиоволн до цели и обратно); влияние любой паразитной модуляции колебаний генератора на работоспособность устройства; возникновение помех работе станции при наличии нескольких целей (на выходе детектора будут образовываться комбинации доплеровских частот и их гармоник ).

Вопрос 4

Возможности решения поставленной задачи с помощью РЛС характеризуются тактическими данными аппаратуры. К тактическим данным РЛС обычно относят:

размеры области пространства, в пределах которой осуществляется наблюдение целей, - зону обзора;

время, требующееся для осмотра заданной области, или период обзора Тобз;

измеряемые координаты;

точность измерения координат и скорости целей;

разрешающую способность;

надёжность;

помехозащищённость.

Зона обзора ограничивается максимальной (Dмакс) и минимальной (Dмин) дальностью действия и секторами обзора в горизонтальной (Фаз) и вертикальной (Фум) плоскостях (рис. 4.1).



Рисунок 4.1. Зона обзора РЛС.

При оценке точности измерений, осуществляемых с помощью РЛС, принимают во внимание лишь случайные составляющие ошибок измерений; предполагается, что систематические составляющие ошибок могут быть определены и учтены. В подавляющем большинстве случаев, представляющих практический интерес, случайные ошибки радиолокационных измерений распределены по нормальному закону, и для характеристики точности работы РЛС указывают среднеквадратическое значение или дисперсию ошибки измерения. Среднеквадратические значения ошибок измерения будем обозначать: дальности - , угловой координаты - , скорости - .

Разрешающая способность РЛС характеризует возможность раздельного наблюдения целей, которые отличаются либо значением одной из координат, либо скоростью движения. Разрешающая способность по дальности  определяется минимальным расстоянием между двумя целями, имеющими одинаковые угловые координаты и скорости, при котором эти цели наблюдаются раздельно. Если расстояние между целями станет меньше , то РЛС будет воспринимать их как одну цель.

Разрешающая способность по угловой координате  определяется минимальным углом между направлениями на две цели, характеризующиеся одинаковыми дальностями и скоростями движения, при котором возможно раздельное наблюдение целей.

Разрешающая способность по скорости  определяется минимальным различием скоростей двух целей, наблюдаемых раздельно, при условии равенства их дальностей и угловых координат.

Под надёжностью понимают свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Имеет четыре составляющие: работоспособность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость. Обычно работоспособность характеризуют вероятностью безотказной работы станции в течение заданного промежутка времени или средним временем безотказной работы.

Помехозащищённостью называется способность радиолокационного устройства сохранять свои основные тактические показатели при воздействии помех того или иного вида. Для оценки помехозащищённости не выработано числовых показателей. Можно только сказать, что из двух РЛС та будет обладать более высокой помехозащищённостью, у которой при прочих равных условиях воздействие помехи вызовет меньшее ухудшение тактических данных (дальности действия, точности и разрешающей способности).

К тактическим данным относят иногда и те условия, в которых должна работать станция (характеристики целей, условия погоды, место размещения и т.д.).

Тактические данные РЛС определяются её техническими характеристиками. К техническим характеристикам относятся:

принцип построения РЛС (метод получения радиолокационных сигналов, вид излучаемых колебаний, способ обработки сигналов в приёмнике);

несущая частота излучаемых колебаний f или длина волны λ;

закон модуляции излучаемых колебаний;

средняя Рср и пиковая Ри мощности излучения;

форма и ширина диаграммы направленности антенны θаз, θум;

чувствительность приёмного устройства по мощности (Рпр мин) или энергии (Епр мин);

тип выходного устройства.

Вопрос 5

Все виды самолётной радиолокационной аппаратуры условно можно разделить на две большие группы. В первую входят РЛС класса «воздух - воздух». Основной их задачей являются обнаружение и измерение координат и параметров движения воздушных целей. К таким РЛС относятся, например, радиолокационные станции перехвата и прицеливания (обзорно-прицельные РЛС), устанавливаемые на истребителях, или РЛС дальнего радиолокационного обнаружения воздушных целей.

Во вторую группу входят РЛС класса «воздух - поверхность». Основной задачей таких РЛС является получение информации о поверхности земли или о наземных целях. К таким РЛС относят РЛС обзора поверхности земли, которые обеспечивают получение радиолокационного изображения поверхности земли и наземных целей, или РЛС обеспечения безопасного полёта самолёта на малых и сверхмалых высотах. В эту же группу входят РЛС радиолокационной разведки наземных целей.

Некоторые типы РЛС относятся к так называемым многофункциональным РЛС, которые решают как задачи систем «воздух - воздух», так и «воздух - поверхность».

1. Бортовой комплекс перехвата воздушных целей.

На рисунке 5.1 приведена упрощённая структурная схема возможного радиоэлектронного комплекса управления вооружением истребителя-перехватчика.



Рисунок 5.1

В комплексе основным информационным блоком является бортовая РЛС, обеспечивающая решение главных задач на этапе бортового наведения, прицеливания и пуска ракет. Бортовая ЭВМ решает задачи сближения с целью (самонаведение) по одному из методов наведения (метод погони, пропорциональной навигации). На индикаторах отображается воздушная обстановка и выдаются команды управления.

Бортовая РЛС обеспечивает выполнение следующих операций:

обнаружение и опознавание целей;

захват цели на автоматическое сопровождение;

бортовое наведение;

прицеливание (атака цели).



Рисунок 5.2

Основные тактические параметры:

дальность обнаружения целей;

сектор поиска по азимуту и углу места;

разрешающая способность;

помехозащищённость.

Используемые принципы построения:

некогерентная импульсная РЛС;

когерентно-импульсная РЛС с СДЦ;

импульсно-доплеровские РЛС.

Некогерентная импульсная РЛС комплекса перехвата.

Структурная схема РЛС комплекса перехвата включает все основные элементы, определяющие особенность такой РЛС для обеспечения обнаружения и сопровождения воздушных целей. Упрощенная структурная схема приведена на рисунке 5.3. В РЛС имеются устройства, относящиеся к радиолокационному каналу, в который входят синтезатор, передатчик, антенный переключатель, антенна, приёмник и индикатор поиска целей. Для управления антенной при обзоре пространства применяется специальная схема управления поиском. Для выделения сигнала, отраженного от цели, выбранной для атаки, и для точного определения координат применяются устройства селекции по дальности и скорости, дальномерное и угломерное устройства сопровождения цели. В РЛС с относительно малой дальностью обнаружения цели до 30-40 км обычно применяют простые импульсные сигналы с малой длительностью 0,5-2,0 мкс, которая выбирается в соответствии с требуемой разрешающей способностью по дальности. Для обеспечения большей дальности могут применяться сложные сигналы в виде импульсов с ЛЧМ.



Рисунок 5.3.

Селектор целей по дальности и дальномерное устройство в РЛС решают задачу выделения импульса цели, точное измерение расстояния до цели и скорости сближения с целью. Угломерное устройство предназначено для точного измерения угловых координат. Система стабилизации антенны по крену и тангажу на рис. 5.3 входит в устройство управления антенной.

Для решения задачи бортового наведения и прицеливания важнейшим узлом РЛС является вычислительное устройство (бортовая ЭВМ), на которое поступает вся необходимая для выработки сигналов управления информация. Существенным не достатком некогерентных РЛС является невозможность выделения сигналов, отраженных от целей, на фоне мешающих отражений от поверхности земли и пассивных помех.

Когерентно-импульсные РЛС с СДЦ и импульсно-доплеровские РЛС.

Применение РЛС с СДЦ и импульсно-доплеровских РЛС в самолетных комплексах перехвата обусловлено главным образом необходимостью обнаружения низколетящих целей на фоне отражений от поверхности земли.

2. РЛС авиационных комплексов радиолокационного дозора и наблюдения.

Увеличение скорости полета современных самолетов, использование малых и предельно малых высот, введение методов существенного уменьшения ЭПО целей привели к тому, что наземные РЛС обнаружения и наведения уже не могут эффективно обеспечивать обнаружение воздушных целей на достаточном расстоянии от защищаемых объектов и организацию их перехвата. Из-за кривизны земной поверхности обнаружить воздушные цели, летящие на малых высотах, наземными РЛС удается на дальности не более 30 - 40 км. Применение противником крылатых ракет авиационного базирования, которые могут быть запущены с больших расстояний, приводит к тому, что обнаружить и перехватить как самолеты-носители крылатых ракет, так и сами крылатые ракеты становится достаточно трудной задачей. Один из способов решения проблемы обнаружения целей заключается в том, что РЛС дальнего обнаружения должна быть поднята на сравнительно большую высоту над поверхностью земли. Реализация указанной идеи привела к созданию авиационных комплексов радиолокационного дозора и наведения (РЛДН). Из рис. 5.4 следует, что РЛС на самолете авиационного комплекса РЛДН обеспечивает наблюдение воздушных целей на значительно большем расстоянии, чем наземные РЛС. Особенно важным является преимущество РЛДН при обнаружении целей при полете на малых и предельно малых высотах.



Рисунок 5.4.

Кроме задачи обнаружения целей на авиационные комплексы РЛДН может быть возложена задача и наведения своих истребителей перехвата на воздушные цели. Возможности РЛДН целесообразно использовать и при управлении боевыми действиями ударных самолетов и вертолетов в оперативно-тактической глубине обороны противника. В качестве воздушных командных пунктов авиационный комплекс РЛДН может быть использован для наведения своих ударных самолетов и вертолетов на важные наземные - подвижные и неподвижные - цели, для наведения вертолетных групп десантирования или спасания экипажей, для предупреждения своих войск и ударных самолетов о действиях истребительной авиации противника. Важной задачей комплексов РЛДН может быть обнаружение надводных морских целей и наведение на них своих ударных самолетов. Могут быть разработаны и другие возможные варианты применения комплексов РЛДН, исходя из их основного преимущества перед наземными системами: большая зона наблюдения целей, обусловленная расположением РЛС на большой высоте над поверхностью земли.

Для успешного решения авиационным комплексом РЛДН описанных выше задач необходимо, чтобы РЛС обеспечивала выполнение следующих операций: обнаружение целей на фоне мешающих отражений от поверхности земли, автоматическое сопровождение одновременно многих целей при сохранении обзора пространства, измерение высоты целей и наблюдение поверхности земли с высоким разрешением (при наведении ударных самолетов).

3. РЛС авиационных ударных комплексов.

РЛС обеспечивают выделение наземных движущихся целей. РЛС авиационных ударных комплексов позволяют решать следующие задачи:

самолетовождение при отсутствии оптической видимости, используя только радиолокационное изображение поверхности земли и наземных объектов (ориентиров);

предупреждение о метеорологической обстановке по маршруту полета;

обеспечение полета самолетов на малой высоте путем измерения радиолокационными методами ряда параметров рельефа поверхности земли;

обнаружение целей и опознавание их по характерным признакам;

выполнение прицеливания по наземной или надводной цели, определяя координаты и параметры движения цели и самолета.

Как при решении задач самолетовождения, так и при прицеливании выполняются две основные операции: определение положения ориентиров и целей на поверхности земли и управление самолетом так, чтобы вывести его в нужную точку. Такой точкой в случае навигации является промежуточный или конечный пункт маршрута полета, а при прицеливании - точка пуска ракеты, сброса бомб или груза (при использовании РЛС на самолетах военно-транспортной авиации). РЛС комплексов военно-транспортных самолетов во многом схожи с РЛС ударных комплексов.

Главной задачей РЛС ударных комплексов является получение радиолокационного изображения поверхности земли и различных объектов на ней. Поэтому данные РЛС называются РЛС обзора поверхности земли, а также панорамными РЛС. Радиолокационное изображение в определенной степени подобно карте местности и может быть использовано для большинства указанных выше задач. При самолетовождении радиолокационное изображение используется непосредственно или для коррекции полета, выполняемого по данным других навигационных систем.

4. РЛС обзора поверхности земли (моря) и наблюдение малоразмерных целей.

Получение радиолокационного изображения поверхности, или, как иногда говорят, выполнение радиолокационного картографирования поверхности является основной операцией в различных РЛС класса «воздух-поверхность», к которым относятся и РЛС ударных самолётов.

Традиционные методы радиолокационного картографирования поверхности земли некогерентными методами при круговом или секторном обзоре не позволяют решать указанную выше задачу. Разрешающая способность РЛС этого типа по угловым координатам определяется шириной диаграммы направленности, и при относительно больших расстояниях до цели линейное разрешение на поверхности земли по азимуту составляет величину от нескольких сотен метров до нескольких километров. Обнаружение малоразмерных целей в этих условиях не представляется возможным (практически исключено).

5. РЛС обеспечения безопасности полётов и применение авиационных комплексов на малых высотах.

Факторы, определяющие целесообразность полётов на малых высотах:

во-первых, дальность обнаружения и наблюдения самолетов наземными средствами ПВО ограничена условиями прямой видимости. Кроме того, дальность зависит от высоты препятствий, закрывающих углы наблюдения, близкие к горизонту. К таким препятствиям относятся, например, возвышенности, лес, строения и др. Уменьшение дальности обнаружения в свою очередь уменьшает располагаемое время на отражение атаки самолетов наземными средствами ПВО;

во-вторых, обнаружение низколетящих целей радиолокационными системами затруднено также маскировкой их отметок отражениями от местных предметов и от поверхности земли. Таким образом, даже в пределах дальности прямой видимости цель нельзя обнаружить из-за помех, создаваемых местными предметами. Развитие и применение РЛС доплеровского типа и систем селекции движущихся целей позволяют повысить вероятность обнаружения и возможность наблюдения целей, но все же дальность обнаружения при наличии помех всегда меньше, чем в случае отсутствия местных отражений;

в-третьих, наличие отражений от местных предметов и от поверхности земли уменьшает дальность и точность сопровождения низколетящих целей радиолокационными системами и снижает их эффективность как при наведении ракет, так и при применении других видов оружия.

Даже при наличии самой совершенной системы управления самолётом уменьшение высоты полёта приводит к повышению опасности столкновения с поверхностью земли или с наземными препятствиями.

Ориентировочными значениями безопасных оптимальных высот полета (по иностранным данным) для современных и перспективных самолетов, вертолетов и крылатых ракет можно считать 15 - 200 м.

Траектории полета на малых высотах

Полет самолетов на малой высоте с выполнением маневрирования с целью обеспечения их безопасности в дальнейшем будем называть профильным полетом. Различают следующие виды траекторий профильного полета с маневрированием в горизонтальной и в вертикальной плоскостях:

Полет по огибающей вершин препятствий. Полет выполняется так, чтобы высота траектории над вершинами была не менее заданной (рис. 5.5). На участках между вершинами полет выполняется по кратчайшей траектории. Какие-либо изменения рельефа между вершинами не учитываются при формировании команд управления самолетом. Такой вид полета является наиболее простым при маневрировании в вертикальной плоскости. Он является также наиболее безопасным при большой скорости полета с точки зрения столкновения с наземными препятствиями. Однако при таком полете не используются преимущества маскировки самолета в складках местности, вероятность обнаружения самолета средствами наблюдения противника повышается.



Рисунок 5.5.

Облет препятствий. Полет с маневрированием в вертикальной плоскости, при котором обеспечивается наибольшее приближение траектории полета к вертикальному профилю рельефа местности, называется облетом препятствий (рис. 5.6). Иногда такой полет называют полетом со слежением или следованием за рельефом местности. Облет препятствий лучше всего соответствует задаче скрытного преодоления зон ПВО противника при маневрировании в вертикальной плоскости. Этот вид полета может быть автоматизирован и тогда будем называть такой режим автоматическим облетом препятствий. Недостатком режима облета препятствий является то, что самолет в некоторые моменты времени поднимается над вершинами и может быть обнаружен противником.



Рисунок 5.6.

Обход препятствий. Полет с маневрированием в горизонтальной плоскости, при котором самолет, используя виражи, обходит вершины и наиболее крупные препятствия без изменения высоты своего полета, называется обходом препятствий (рис. 5.7).



Рисунок 5.7.

В дополнение к режиму облета препятствий этот способ полета обеспечивает наибольшую скрытность. Облет препятствий, однако, выполнять сложнее, его трудно автоматизировать.

Основными тактическими характеристиками РЛС профильного полета являются дальность действия, секторы обзора по азимуту и углу места, точность измерения углов и дальности до элементов поверхности земли впереди самолета, разрешающая способность по измеряемым координатам, помехозащищенность и надежность. Требования к количественным значениям названных характеристик существенно зависят от следующих факторов: вида траектории полета на малой высоте, закона (алгоритма) управления самолетом и близости траектории полета к поверхности земли (заданной безопасной высоты).

6. РЛС авиационных разведывательных комплексов.

Радиолокационные средства разведки позволяют решать следующие задачи:

 обнаружение неподвижных и движущихся малоразмерных наземных целей, имеющих радиолокационный контраст (автомашин, танков и др.), в том числе при отсутствии оптической видимости;

 обнаружение указанных типов целей в полосе обзора, расположенной в боковом направлении и на большом удалении от самолета. Это позволяет вести разведку целей, не входя в зону ПВО противника;

обнаружение целей непосредственно под самолетом (при применении радиоголографических РЛС). Указанная возможность позволяет комплексировать средства радиолокационной, инфракрасной и оптической разведки, получая совместную информацию о целях;

получение высококачественного радиолокационного изображения поверхности земли с высоким разрешением деталей и объектов.

Полученное радиолокационное изображение поверхности земли может быть применено для привязки обнаруженных целей к ориентирам на местности, для точного самолетовождения, ля картографирования местности при аэротопографических работах, для решения задач применения бортового оружия по наземным целям.

7. РЛС опознавания целей.

В современной радиолокации широко используется метод радиолокации с активным ответом при обнаружении и измерении координат взаимодействующих объектов (целей), например своих самолетов, кораблей. Суть радиолокации с активным ответом состоит в том, что цель излучает в ответ на запросный сигнал РЛС специальные ответные сигналы, формируемые так называемыми радиолокационными ответчиками. Запросные сигналы формируются или непосредственно РЛС, или специальным устройством - запросчиком. Радиолокационная система с активным ответом позволяет получить ряд преимуществ по сравнению с обычными РЛС:

. Обеспечивается большая дальность обнаружения взаимодействующих объектов независимо от их эффективных площадей отражения. Обусловлено это тем, что переизлучаемый ответчиком сигнал имеет значительно большую мощность, чем соответствующий отраженный сигнал.

. Устраняются трудности подавления мешающих отражений от поверхности земли, пассивных помех, метеорологических образований. Это достигается тем, что частоты излучения передатчика РЛС и частоты ответных сигналов выбираются различными.

. Устраняется влияние на точность измерения координат флюктуаций ЭПО цели.

. Взаимодействующие объекты имеют возможность по каналу ответа передавать дополнительную информацию (например, высоту полета, индивидуальный признак и др.). Можно указать следующие области применения радиолокационной системы с активным ответом.

Самолетовождение по радиолокационным маякам, которые представляют собой наземные ответчики на запросные сигналы РЛС. Радиолокационный маяк состоит из приемника, принимающего запросные сигналы, бортовой РЛС и передатчика, который запускается сигналами с выхода приемника. Излученные передатчиком маяка-ответчика импульсы принимаются РЛС и поступают на экран индикатора. Расстояние до радиолокационного маяка и его азимутальное положение определяются, как и в обычных РЛС обзора поверхности. Для обеспечения опознавания радиолокационный маяк обычно излучает кодированные импульсы.

Управление воздушным движением. Для обеспечения высокой надежности обнаружения самолетов и контроля движения их в воздухе применяется радиолокационная система с активным ответом. Ответчики устанавливаются на борту летательных аппаратов. Иногда такая система запроса с земли и ответа специальными кодированными сигналами называется вторичной радиолокационной системой. Обычно РЛС и запросчик совмещены. Применение системы с активным ответом повышает надежность перекрытия контролируемого воздушного пространства, позволяет получать с борта самолета информацию о высоте полета.

Опознавание государственной принадлежности и индивидуальное опознавание. Обычная РЛС не обеспечивает получения достаточной информации, позволяющей опознать объект, создающий отраженные сигналы. Можно, конечно, путем выполнения условных эволюций опознать цель, но эта процедура сложна и занимает много времени. Радиолокационная система с активным ответом существенно упрощает задачу опознавания, так как возможно специальное кодирование ответных сигналов, посылаемых ответчиком.

Применение в системах радиоуправления. Для обеспечения устойчивого наведения управляемых объектов на цель необходимо знать точное местоположение этого объекта. Однако размеры таких объектов, например управляемых ракет, могут быть малыми, и они не позволяют получить достаточно мощный отраженный сигнал для работы обычной РЛС. Применение специального ответчика решает эту задачу сравнительно просто.