

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет

А.П. ГАЛКИН

ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Владимир 2004

УДК 621.396

Г16

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент, проректор
по учебной работе Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Г.И. Смирнов

Доктор технических наук, профессор кафедры глобальных
инфокоммуникационных сетей и систем Санкт-Петербургского государст-
венного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

В.С. Эмдин

Доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники и радиосистем
Владимирского государственного университета

А.К. Бернюков

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Галкин А.П.

Г16 Основы радиотехнических систем: Учеб. пособие / Владим. гос. ун-т.
Владимир, 2004. 108 с. ISBN 5-89368-481-8

Приведены основные методы радиолокации и радионавигации. Даны методики расчетов основных структур радиотехнических систем. Рассмотрены основные формы уравнения дальности, а также структуры наиболее применяемых радиосистем. Учебное пособие поможет студенту в изучении и проектировании систем радиолокации, радионавигации, радиоуправления и оптической локации.

Предназначено для студентов всех форм обучения специальностей 200700, 071500 при изучении дисциплины «Основы радиотехнических систем», 075600 и 201800, а также может быть использовано при курсовом и дипломном проектировании.

Ил. 87. Табл. 1. Библиогр.: 51 назв.

УДК 621.396

ISBN 5-89368-481-8

© Владимирский государственный
университет, 2004

Список принятых сокращений и обозначений

АД – амплитудный детектор
АМ (ЧМ, ФМ) – амплитудная (частотная, фазовая) модуляция
АП – антенный переключатель
АС – автоматическое сопровождение
АСД – АС по дальности
АСН – АС по направлению
АФУ – антенно-фидерное устройство
ВД – видеодетектор, временной дискриминатор
ВУ – видеоусилитель
ВЧ – высокая частота
Г – гетеродин
ГВЧ – генератор высокой частоты
ГИ – генератор импульсов
ГШ – генератор шума
Д – детектор
ДК – декодер
ДМ – дельта-модуляция
ДЧ – деление частоты
ДШ – дешифратор
И – интегратор, индикатор
ИМ – импульсный модулятор
К – кодер
КГ – когерентный гетеродин
КЗ – контролируемая зона
КНД – коэффициент направленного действия
КС – каскад совпадения
М – модулятор
НЧ – низкая частота
ППП – переключатель прием-передача
ПП – пассивные помехи
ПС – промежуточная станция
ПРД – передающее устройство
ПРМ – приемное устройство
РПУ – (см. ПРД)
РПрУ – (см. ПРМ)

РЛ – радиолокация
РЛС – радиолокационная станция
РН – радионавигация
РНС – радионавигационные системы
РП – радиопротиводействие
РРЛ – радиорелейная линия
РУ – разделяющее устройство
РЭС – радиоэлектронные средства (радиоэлектронная система)
СД – сельсин-датчик, селектор дальности
СДЦ – селекция движущихся целей
СИ – синхронизирующие импульсы
СМ – смеситель
СОЛ – система оптической локации
СП – сельсин-приемник
СС – схема сравнения
ФВ – фазовращатель
ФД – фазовый детектор
ФИ – формирователь импульсов
ФМ – фазометр
ФНЧ – фильтр нижних частот
ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь
ЦС (ОС, УС) – центральная (оконечная узловая) станция
ЧД – частотный детектор
ЧМ – частотомер, частотная модуляция

Условные обозначения

А – эффективная площадь антенны
Д – дальность
Е – напряженность электрического поля
Н – напряженность магнитного поля
G – коэффициент усиления
K_п – коэффициент подавления
Р – мощность
П – поток мощности
ПИП – полностью известные параметры

Предмет курса «Основы радиосистем» – изучение методов и систем, направленных на определение местоположения, траекторий и других физических параметров различных объектов путем использования радиоволн и радиоэлектронных методов.

Системы радиолокации, радионавигации и радиоуправления (РЛ, РН и РУ), содержащие в себе различные устройства (передатчик, приемник, антенно-фидерные устройства, усилители и другие) и выполняющие одну или несколько совместных задач, называют радиотехническими системами (РТС).

Все РТС с информационной точки зрения можно разделить на системы:

- извлечения информации (РЛ, РН, телевидение и др.);
- передачи информации (системы связи);
- разрушения информации (системы радиопротиводействия).

В этом учебном пособии основное внимание уделено методам измерения координат, дальности и направления, энергетическим (обнаружению сигнала, уравнениям дальности радиолокации).

Рассмотрены основные принципы построения структур систем и их особенности для различных применений.

В тех случаях, когда имеются особенности, например для радионавигационных систем, они рассматриваются применительно ко всем случаям.

Системы радиоуправления считаются наиболее сложным видом радиотехнических систем.

Системы оптической локации рассмотрены в развитии радиолокационных систем. Тем не менее большое внимание уделено уравнению дальности оптической локации.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РТС

Системы радиолокации (РЛ) предназначены для обнаружения и измерения РТ-путем различных координат объектов (дальность, азимут, угол места, радиальная и путевая скорости и других).

Радионавигацией (РН) называется отрасль радиоэлектроники (РЭ), занимающаяся изучением методов и средств навигации различных объектов РТ-путем (судо-, самолетовождения, космическая РН).

Радиолокация (РЛ) использует явления излучения и отражения радиоволн, РН использует явления создания различных линий положения РТ-путем.

Системы радиоуправления (РУ) – системы, которые предназначены для управления различными объектами на расстоянии с использованием радиоканалов.

Будем изучать в основном системы наведения (в частности летательных аппаратов).

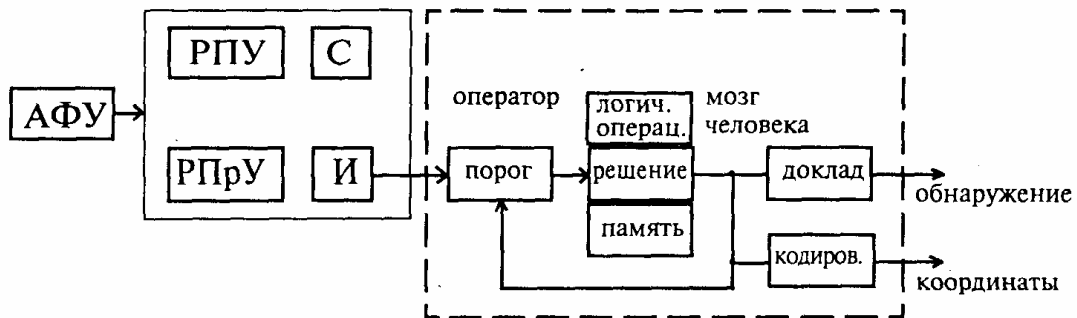
Современная техника излучает мощность в мегаваттах, а принимающая принимает 10^{-12-23} ватт, нс-импульсы обеспечивают дальность от нескольких метров до миллионов километров с разрешением порядка десятка сантиметров.

1.1. Структурная схема РЛС

Обобщенная структурная схема системы, пригодной для всех случаев, приведена на рисунке, на котором обозначены:

АФУ – антенно-фидерное устройство;

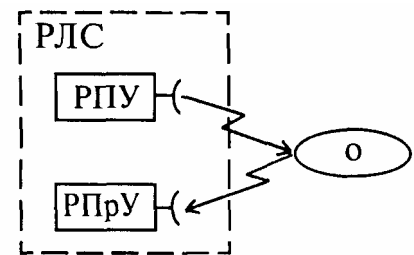
РПУ – радиопередающее устройство;
 РПрУ – радиоприемное устройство;
 С – устройство синхронизации (одно);
 И – устройство индикации.



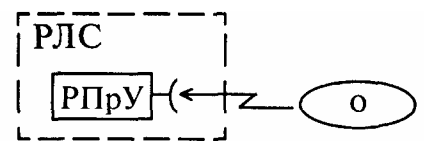
1.2. Классификация РЛС по функциональному расположению аппаратуры

По принципу расположения аппаратуры, излучения и приема радиоволн различают следующие виды РЛС.

Активные: информация о координатах объекта получается путем приема отраженного сигнала от объекта при соответствующем излучении передающего устройства РЛС, характеризуются близким расположением РПУ и РПрУ.

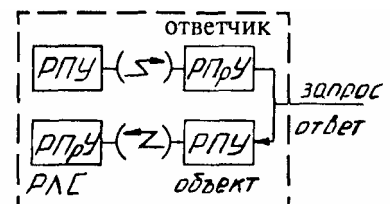


Пассивные РЛС характеризуются тем, что координаты и другие физические величины объекта определяются по собственному излучению объекта.

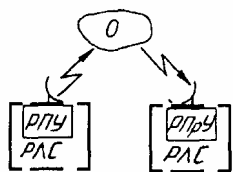


Отличие: не имеют возможности измерять дальность до объекта из одной точки.

Активные с активным ответом характеризуются тем, что координаты цели получаются путем подачи запросного сигнала от РЛС к объекту и получения от объекта при соответствующих условиях ответного сигнала.



Полуактивные характеризуются тем, что в данном случае информация о координатах цели дается при приеме от объекта



отраженного сигнала; по территории РПУ и РПрУ могут быть разнесены от 100 м до 100 км. Это делается с целью маскировки РПрУ, используемого для улучшения энергетических соотношений.

Цель – физический объект, координаты которого нам необходимо определить.

Зондирующим сигналом (радиоволной) будем называть излучаемый сигнал.

Отраженной радиоволной (сигналом) будем называть всякий сигнал, принятый от объекта при излучении РПДУ РЛС.

1.3. Тактико-технические параметры РЛС

Перечислим основные параметры РЛС.

1. Зона действия – участок пространства, ограниченный максимально возможными и минимально возможными координатами, измеряемыми данной РЛС.

Зона действия для РНС – участок, в котором возможно определение положения.

2. Время обзора – время, которое необходимо для обнаружения одной или нескольких целей с определенной точностью и другими тактико-техническими параметрами в заданной зоне действия или ее части.

3. Разрешающая способность – минимальное различие между двумя целями по определенной координате при условии, что остальные координаты этих двух целей одинаковы и они еще воспринимаются раздельно.

4. Разрешаемый объем – условная часть пространства, ограниченная разрешающими координатами. Сколько бы целей ни находилось внутри разрешаемого объема, данная РЛС будет рассматривать их как одну.

5. Точность (аналогично точности в метрологическом понятии) – степень соответствия действительной координаты и измеренной.

6. Помехоустойчивость – возможность РЛС работать в условиях естественных и искусственных мешающих факторов.

7. Надежность РЛС зависит: а) от аппаратной надежности; б) свойства обнаруживать и измерять координаты.

8. Экономичность – удельные затраты на определение координат с заданными тактико-техническими параметрами для одной цели.

9. Стоимость – комплекс (стоимость, габаритные размеры, масса).

1.4. РТ-методы определения координат в пространстве

Поверхность положения – геометрическое место точек, имеющих одну и ту же координату, относительно опорного пункта.

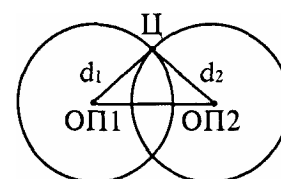
Линией положения будем называть пересечение двух поверхностей положения.

РТ-путем могут быть определены (только): дальность, разность дальностей, угловое направление, скорость, ускорение.

РТ-методы определения координат:

1. Дальномерный.
2. Угломерный (пеленгационный).
3. Разностно-дальномерный.
4. Угломерно-дальномерный (комбинированный).

1. *Дальномерный* характеризуется тем, что каким-либо путем из опорных пунктов 1 и 2 определяются линии положения соответственно с радиусами d_1 и d_2 , на которых находится цель. При знании координат положение цели будет соответствовать пересечению линий положения.



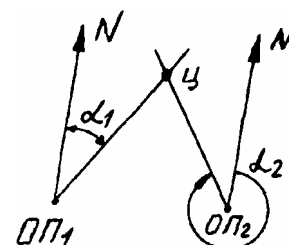
Расстояние между двумя опорными пунктами называется **базой**.

Необходимо вводить либо 3-й опорный пункт, либо иметь хотя бы на одном из них устройство определения направления с ограниченной точностью. 3-й опорный пункт должен не лежать в плоскости двух опорных пунктов и цели.

Достоинства: а) возможность точного определения дальности; б) нет необходимости в использовании остронаправленных антенн.

Недостаток: принципиальная неоднозначность отсчета.

2. *Угломерный* сводится к тому, что из двух опорных пунктов, разнесенных на определенное расстояние друг от друга, определяют угловое направление на цель относительно какого-то начального направления.

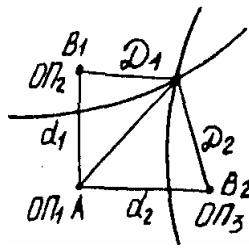


Необходим 3-й опорный пункт, не лежащий в плоскости двух опорных пунктов и цели.

Достоинства: а) при определении координат нет необходимости знать дальность до цели; б) метод принципиально однозначен.

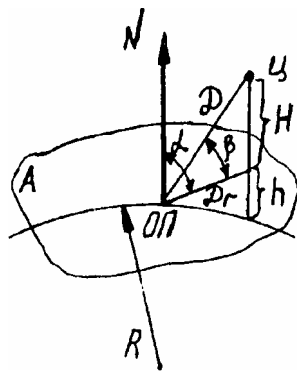
Недостаток: ограничение точности. Приводит к использованию остронаправленных антенн.

3. *Разностно-дальномерный*: имеется одна ведущая станция и две ведомые.



Достоинства: а) неограниченная пропускная способность; б) высокая точность и простота практической реализации.

Недостаток: разобщенность аппаратуры или наличие нескольких опорных пунктов, что приводит к трудностям определения координат.



4. *Угломерно-дальномерный* (комбинированный) характеризуется тем, что не имеет недостатков, присущих первым трем методам. Цель не находится в плоскости А. Расстояние между опорным пунктом и целью характеризуется наклонной дальностью D . Угол α находится в плоскости А, α -азимутальный угол (азимут).

Направление на цель из опорного пункта в плоскости, взаимно перпендикулярной плоскости А, определяется как угол между плоскостью А и наклонной дальностью D или угол между направлениями $DГ$ и D -угол места β . Этот угол не принадлежит плоскости А. Наклонную дальность, азимут и угол места можно определить из опорного пункта непосредственно.

$DГ$ – посредством вычислений, зная D и $\cos\beta$. $DГ = D \cos\beta$. $H = D \sin\beta$.

h – высота цели от подстилающей поверхности, РТ-путем не определяется. Можно определить как функцию радиуса подстилающей поверхности, наклонной дальности и угла места.

Достоинство: все измерения производятся из одного опорного пункта.

Недостаток: точность измерения зависит от точности угловых измерений; в условиях кривизны подстилающей поверхности трудно точно измерить высоту H .

Для определения координаты цели в пространстве необходимо определять дальность и направление. Первые три метода имеют основное применение в РН, 4-й метод в основном применяется в РЛ.

1.5. Методы измерения дальности до цели

Любой из методов предполагает измерение времени задержки. Электромагнитные волны в пространстве распространяются прямолинейно, и скорость всегда постоянна. $C = 299793$ км/с.

$$tg = \frac{2D}{C}; D = \frac{tg}{2} \cdot C; dD = \frac{\partial D}{\partial tg} dtg + \frac{\partial D}{\partial C} dC,$$



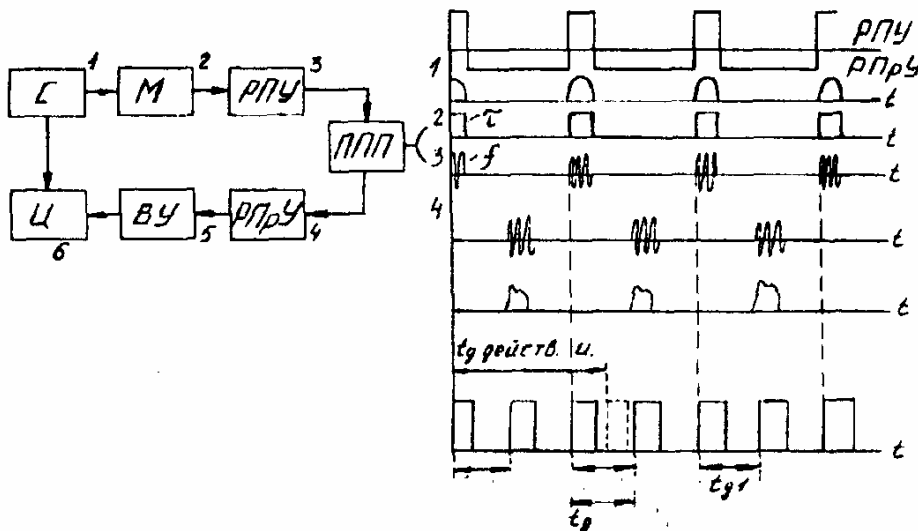
где dtg – погрешность, связанная с методом измерения, с аппаратными измерениями (можно бороться за ее улучшение, т.е. уменьшать);

dC от нас не зависит и равна $10^{-4} \dots 10^{-5}$ км/с. На каждые 100 км дальности имеем погрешность 5 м.

Существуют следующие методы измерения дальности:

1. Прямой (импульсный) метод измерения дальности.
2. Фазовый.
3. Частотный.

Ниже приведена схема импульсного метода, на которой обозначены: М – модулятор; ППП – переключатель прием-передача; ВУ – видеоусилитель; С – синхронизатор: вырабатывает последовательность импульсов с постоянным или изменяющимся законом.



В модуляторе импульсы приобретают длительность T с определенными крутизной фронтов и энергией.

Частота заполнения f может быть постоянна или меняться.

Такие импульсы через ППП излучаются в пространство. При отражении от цели часть энергии поступает в РПрУ, усиливается и поступает на индикатор, на котором мы измеряем время tg между импульсами.

1.6. Тактико-технические параметры дальномера

Перечислим названные параметры.

1. Импульсная мощность $P_{и} = P_{ср}$; $Q = \frac{P_{ср}}{\tau} Q = \frac{T}{\tau}$;

$P_{и}$ может изменяться от нескольких единиц киловатт до десятков мегаватт, $P_{ср}$ – от нескольких единиц ватт до десятков киловатт.

2. Минимальная частота повторения $F_{min} = l / T_{max}$.

Если РЛС имеет в качестве окончного устройства автоматическое устройство или не имеет электронно-лучевой индикатор, то требований накладывать не нужно. При использовании электронно-лучевого индикатора, надо чтобы $F_{min} \geq 40...50$ Гц. Это связано со зрением человека.

3. Максимальная частота повторений $F_{max} = l / T_{min}$.

Надо обеспечить, чтобы $T_{max} \geq tg_{max} = 2D_{max} / C$.

С учетом обратного хода луча $T_{min} \geq 2D_{max} / C (0,8...0,9)$.

Это и есть условие однозначности отсчета. $F_{max} = 10...12$ кГц.

4. Длительность импульса с точки зрения повышения отношения сигнал/шум выгодно увеличивать, а с точки зрения разрешающей способности надо уменьшать. $\tau = 0,5...5$ мкс.

5. Точность измерения определяется перечисленными погрешностями:

а) погрешность из-за синхронизации $\Delta D_c = C \cdot \Delta t_c / 2$.

Она связана с конечными фронтами импульсов, несовершенством цепей формирования;

б) погрешность из-за задержки в цепях радиодальномера.

$$\Delta D = C \cdot \Delta t_3 / 2 \text{ (меняется мало);}$$

в) погрешность в измерении дальности из-за ошибок индикации (объективная и субъективная).

Используя автоматические системы и устройства, можно значительно снизить погрешность.

6. *Разрешающей способностью по дальности* называют минимальное расстояние между целями, имеющими одни и те же азимут и угол места и воспринимаемыми раздельно:

$$\delta D \geq \tau C / 2 \text{ (расстояние между целями),}$$

$$\delta D = (\tau + t_{\text{устан.перех.проц}} + (\text{диаметр луча/скорость развёртки}))C / 2.$$

7. *Минимальная измеряемая дальность* (мертвая зона).

Так как для передачи и приема используется одна антенна, то невозможно производить прием во время излучения импульса:

$$D_{\min} = (\tau + t_{\text{восст}})C / 2 \text{ (сотни метров).}$$

8. *Максимальная измеряемая дальность.* Определяется энергетическими показателями РЛС, в частности, средней мощностью передатчика, чувствительностью приемника, коэффициентом усиления антенны, а также условиями распространения радиоволн и свойствами отражающей поверхности цели.

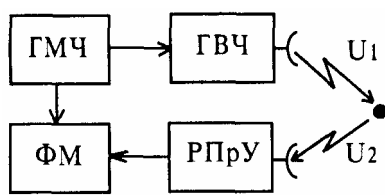
Достоинства импульсной дальнометрии.

1. Возможность разрешения и селекции целей по дальности.
2. Число селектируемых по дальности целей ограничено только пропускной способностью оконечного устройства.

Недостатки:

1. Ограниченная точность измерений (трудность в измерении временного промежутка между импульсами при электронно-лучевом индикаторе).
2. Большое значение мертвой зоны.
3. Нельзя одновременно измерить дальность и скорость точно (противоречия).

1.7. Фазовый метод измерения дальности



Приведена схема фазового дальнометра, где
 ГМЧ-генератор масштабной частоты;
 ГВЧ-генератор высокой частоты;
 ФМ-фазометр.

$$U_1 = U_{m1} \cos(\omega t - \varphi_0),$$

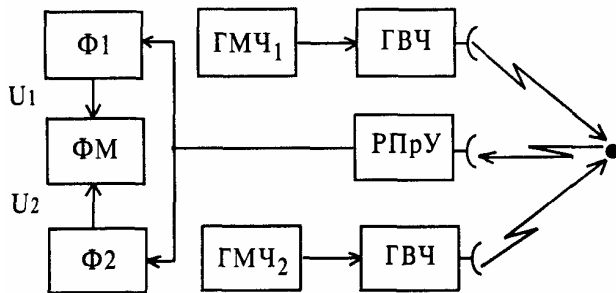
$$U_2 = U_{m2} \cos[\omega(t - t_D) - \varphi_D - \varphi_{отр} - \varphi_0],$$

где t_D – время задержки (дальности);

φ_D – фазовый набег в цепях дальнометра;

$\varphi_{отр}$ – изменение фазы из-за отражения.

Для еще большего увеличения измеряемой дальности используют фазовый дальномер с двумя масштабными частотами.



$$U_1 = U_{m1} \cos[\omega_1(t - t_D) - \varphi_1],$$

$$U_2 = U_{m2} \cos[\omega_2(t - t_D) - \varphi_2],$$

$$\varphi_{рез} = \omega_1(t - t_D) - \varphi_1 - \omega_2(t - t_D) + \varphi_2.$$

Φ_1, Φ_2 – узкополосные фильтры.

Когда $\omega_1 \approx \omega_2$ (т.е. частоты близки друг к другу), то $\varphi_1 \approx \varphi_2$, и тогда можно говорить, что результирующая фаза будет равна

$$\varphi_{рез} = 2D(\omega_1 - \omega_2) / C - \text{частота биения} = 2D\omega_\delta / C,$$

$$D = \varphi_p C / 2\omega_\delta \quad (\omega_\delta \downarrow, \text{ то } D \uparrow).$$

Достоинства:

1. Высокая точность измерения дальности, которая ограничена точностью фазометра.

2. Малое значение мертвой зоны, которое ограничивается только чувствительностью фазометра.

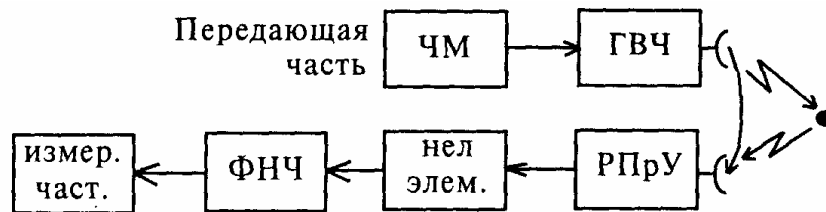
Недостатки:

1. Без применения специальных мер метод не обеспечивает селекции по целям и дальности.

2. Малое значение измеряемой максимальной дальности. Фазовый метод используется только с модуляцией и манипуляцией.

1.8. Частотный метод измерения дальности

Ниже приведена схема частотного дальнометра.



В приемную антенну приходят два колебания: излучаемое и отраженное принимаемое.

Возможны два рассмотрения ЧМ: 1) с линейной модуляцией; 2) реального вида модуляцией.

Рассмотрим *линейную модуляцию*

При условии, что цель неподвижна и расстояние до цели не меняется, то f_2 изменяется тоже по линейному закону

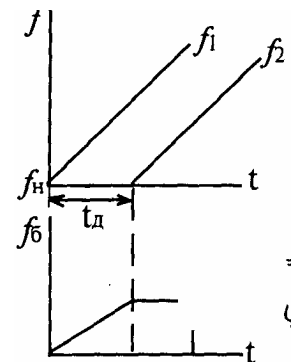
$$f_1 = f_H + \frac{\partial f}{\partial t} t, \quad \text{где } \frac{\partial f}{\partial t} \text{ — скорость изменения}$$

частоты

$$\Phi_1 = 2\pi \int_0^t (f_H + \frac{\partial f}{\partial t} t) dt = 2\pi f_H t + 2\pi \frac{\partial f}{\partial t} \frac{t^2}{2},$$

Φ_1 характеризует излучаемое колебание,

Φ_2 — принимаемое.



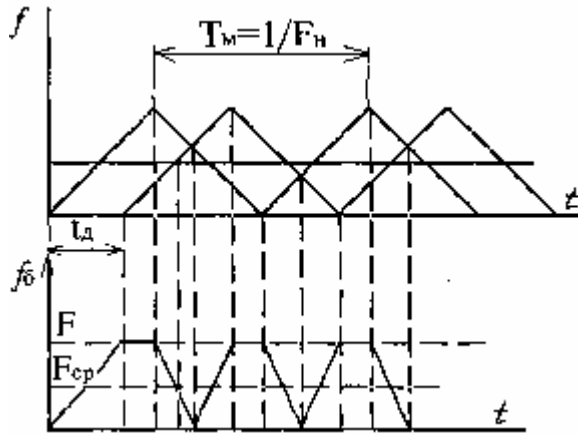
$$\Phi_2 = 2\pi \int_0^{t-t_D} (f_H + \frac{\partial f}{\partial t} t) dt = 2\pi f_H t - 2\pi f_H t_D + 2\pi \frac{\partial f}{\partial t} \frac{t^2}{2} + 2\pi \frac{\partial f}{\partial t} \frac{t_D^2}{2} - 2\pi \frac{\partial f}{\partial t} t \cdot t_D,$$

$$\Phi_p = \Phi_1 - \Phi_2 = 2\pi \frac{\partial f}{\partial t} t \cdot t_D - 2\pi \frac{\partial f}{\partial t} \frac{t_D^2}{2} + 2\pi f_H t_D.$$

Чтобы найти частоты, надо $\Omega_p = \frac{\partial \Phi_p}{\partial t} = 2\pi \frac{\partial f}{\partial t} t_D$.

Частота биений:
$$F_6 = \frac{\partial f}{\partial t} t_D = \frac{\partial f}{\partial t} \frac{2D}{C} \Rightarrow D = \frac{F_6 C}{2 \frac{\partial f}{\partial t}}; D \sim F_6.$$

Линейная модуляция практически не реализуема, реально говорят о треугольной модуляции.



$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{f_\delta}{T_M/2} = 2f_\delta F_M,$$

$$f_\delta \gg F_M, t_D \ll T_M,$$

$$D = \frac{FC}{4f_\delta F_M},$$

где f_δ – частота девиации;

F_M – частота модуляции;

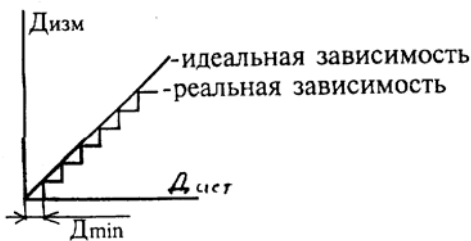
F – частота биений.

$$F = \frac{4Df_\delta F_M}{C}.$$

Для измерения дальности необходима F , а измеряется частотомером $F_{ср}$:

$$F_{ср} = \frac{4Df_\delta F_M}{C} \left(\frac{T_M - t_D}{T_M} \right),$$

$$t_D \ll T_M \Rightarrow F_{ср} \approx F.$$



Зависимость измеренной дальности от истинного значения:

$$\Delta D = D_{\min} = \frac{\lambda_\delta}{4} = \frac{C}{4f_\delta},$$

где λ_δ – модулированная длина волны.

Точность измерения: $\Delta D_{\text{изм}} \geq \Delta D.$

В радиовысотомерах используется частотный метод.

Достоинства:

1. Высокая точность измерения. Точность измерения зависит от f девиации.

2. Легко осуществить многомасштабные методы измерения для усиления высокой точности измерений и однозначности.

Недостатки:

1. Явно выраженная дискретность.

2. Без специальных мер невозможно проводить измерение дальности и селекцию нескольких целей.

1.9. Методы определения направления

В любом методе определяется зависимость $U_{\text{ВЫХ}}$ устройства от угла прихода радиоволн. Следовательно, можно ввести пеленгационную характеристику $\Pi(\alpha)$:

$$\Pi(\alpha) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(\alpha)}{U_0}$$

Крутизна пеленгационной характеристики: $S(\alpha) = \left| \frac{\partial \Pi(\alpha)}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=\alpha_{\text{ц}}}$,

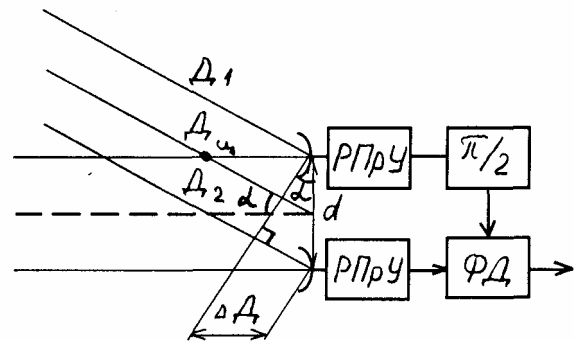
где $\alpha_{\text{ц}}$ – направление на цель.

Рассмотрим фазовый, амплитудный и амплитудно-фазовый методы.

Фазовый метод

Точность характеризуется пеленгационной характеристикой: $\frac{\pi}{2}$ – фазовращатель; ФД – фазовый детектор; d – база.

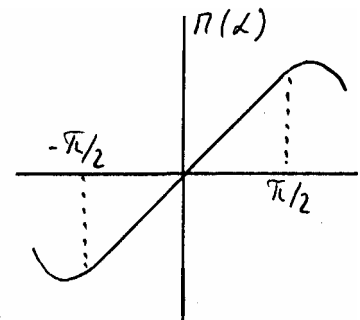
На рисунке представлена упрощенная структура фазового угломера.



$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \omega t_{\text{Д}_1} \\ \varphi_2 &= \omega t_{\text{Д}_2} \end{aligned} \right\} \text{ – фазы напряжений;}$$

$$\varphi_{\text{разн}} = \varphi_2 - \varphi_1 = \omega t_{\text{Д}_2} - \omega t_{\text{Д}_1} = \frac{\omega}{C} \Delta D;$$

$$\varphi_{\text{разн}} = \frac{\omega}{C} d \sin \alpha = 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin \alpha.$$



Пеленгационная характеристика угломера представлена ниже.

На выходе ФД:

$$U_{\text{ВЫХ}}(\alpha) = U_0 \cos\left(-\frac{\pi}{2} + 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin \alpha\right) = U_0 \sin\left(2\pi \frac{d}{\lambda} \sin \alpha\right);$$

$$\Delta\varphi_{\text{однозн}} = \frac{2\pi d}{\alpha} \sin \alpha = \pi;$$

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta\varphi}{2\pi \frac{d}{\lambda} \cos \alpha},$$

где $\Delta\varphi$ – точность измерения фазы;

$\Delta\alpha$ – точность измерения угла.

Достоинства:

1. Высокая точность, которая практически ограничивается точностью фазометра, так как $\frac{d}{\lambda}$ может быть любой.

2. Не задается требований к направлению антенн.

3. Минимальное значение измеряемого угла ограничивается только порогом чувствительности фазометра.

Недостаток: наличие противоречия между требованиями на точность измерения и на диапазон однозначного измерения.

Амплитудные методы

Известны следующие разновидности амплитудного метода:

1. Метод максимума (max).

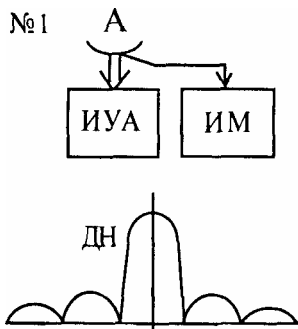
2. Метод минимума (min).

3. Метод сравнения.

4. Равносигнальный метод.

В РЛ применяют 1-й и 4-й методы, в РН – 2-й и 3-й.

№ 1



Метод максимума

Приведенные рисунки иллюстрируют применение названного метода. Обозначения:

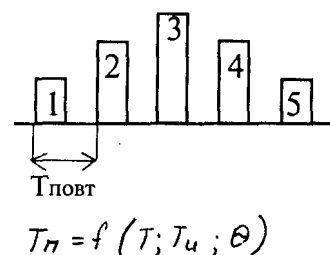
А – направленная антенна;

ИУА – индикатор угла антенны;

ИМ – индикатор max.

Измерение сводится к тому, что при угловом перемещении антенны направление на цель принимается тогда, когда получается тах-сигнал.

Ширина пачки будет функцией от периода следования импульсов, периода сканирования импульсов, ширины ДН.



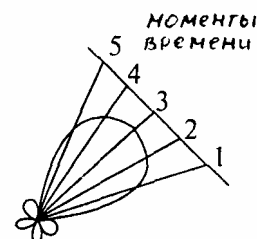
Сканирование – изменение в угловом направлении ДН.

Достоинство: энергетически самый выгодный.

Недостатки:

1. Плохая точность измерения, так как измерения проводятся в области наихудшей пеленгационной характеристики.

2. Разрешающая способность в определении тах зависит от ширины ДН и в идеале будет не лучше значения удвоенной ширины ДН.



Метод минимума

Вместо ИМ используется индикатор min.

Принцип измерения сводится к измерению min ДН (сигнала).

Достоинство: высокая точность измерения. Измерения проводятся в зоне наибольшей крутизны пеленгационной характеристики.

Недостаток: энергетически не выгоден. Используется, когда цель очень близка и метод тах из-за ограниченного динамического диапазона неприменим.

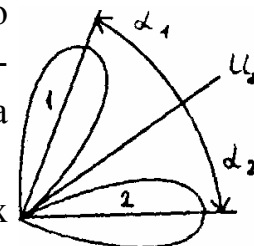
Метод сравнения

Характеризуется тем, что в пространстве создаются две одинаковые по свойствам ДН, отличающиеся по угловому положению. Причем эти ДН могут создаваться одновременно либо последовательно во времени (см. рисунок).

Действие метода сводится к сравнению сигналов 1-го и 2-го каналов, и считается, что цель находится в направлении биссектрисы угла, образованного тах ДН тогда, когда сигналы с выходов обоих каналов одинаковы.

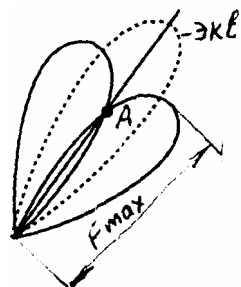
Сигналы двух каналов сравниваются, но совместно их обработка не проводится.

Метод частично приобретает достоинства методов тах и min.



Равносигнальный метод

Характеризуется тем, что в пространстве одновременно или последовательно во времени создаются как минимум две ДН таким образом, что можно говорить о получении эквивалентной ДН, максимум которой совпадает с равносигнальным направлением (см. рисунок).

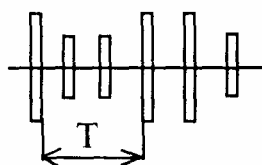
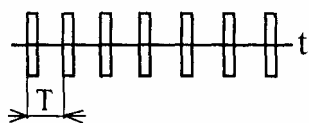


Допускает перекрытия ДН обязательно в отличие от метода сравнения. $A = (0,3 - 0,8) F_{\max}$.

Чем ближе пересечение к максимуму, тем выгоднее система в энергетическом отношении и хуже показатель по точности. По точности этот метод лучше метода max, по энергетике – хуже метода min. Метод нашел широкое применение в РЛ.

Если используется импульсный метод при равносигнальной углометрии, то отклонение цели от равносигнального направления будет характеризоваться появлением АМ импульсов с периодом сканирования. Если цель совпадает, то импульсы одинаковы по амплитуде (см. рисунки).

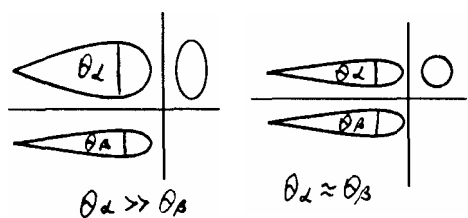
Глубина модуляции: $m = k\psi$.



1.10. Методы обзора пространства

В случае поиска цели мы производим обзор пространства – подачу зондирующего сигнала в каждый разрешаемый объем данного пространства. Поиск сводится к получению информации о том, имеется ли отражение. Сколько бы целей ни находилось в разрешаемом объеме, они принимаются как одна.

Обзор бывает последовательным, параллельным, по дальности, по направлению и по скорости.



Возможны два вида ДН: иглообразная и веерообразная (см. рисунки).

Достоинство иглообразной ДН: для определения требуется одна антенна.

Для получения азимута и угла места требуются две веерообразные системы:

$$t_{\text{обз}} = t_{\text{д max}} + (N-1)T_{\text{повт}},$$

$$t_{\text{обз}} = ND_{\text{max}} / C,$$

$$t_{\text{обз}} = t_{\text{обз}} l \varphi / \theta,$$

где N – число импульсов в пачке;

φ – телесный угол обзора;

θ – телесная ширина ДН антенны

Чаще всего $\varphi \gg \theta$, тогда параллельный обзор будет иметь преимущество:

$$t_{\text{обз}} = t_{\text{обз}} l.$$

В случае движения цели по траектории и учитывая дискретный характер обзора, необходимо задавать период обзора:

$$T_{\text{обз}} = 1/2F_{\text{max}},$$

где F_{max} – максимальная частота спектра.

Практически очень часто величину $T_{\text{обз}}$ задают, учитывая периодичность информации (как часто нужна).

Информационная способность РЛ-обзора

Понимают максимальное число целей, обнаруживаемых в единицу времени.

$$I = n / T,$$

где n – максимальное число целей;

T – время обзора;

I – информационная способность РЛ-обзора.

$$n_1 = \frac{D_{\text{max}}}{\tau_{\text{и}} c / 2} = \frac{D_{\text{max}}}{\delta D}; \quad t_{D_{\text{max}}} = 2D / c; \quad D = \frac{c}{2} t_{\text{Д}}; \quad \delta D = \frac{c}{2} \tau_{\text{и}},$$

где n_1 – число целей в одном луче, или число заданных объемов.

$$n = n_1 \frac{\varphi}{\theta} = \frac{2D_{\text{max}}}{\tau_{\text{и}} c}, \quad I = 1 / N \tau_{\text{и}} \quad (\text{последовательный обзор}).$$

Информативная способность параллельного обзора $I = \frac{\varphi}{N \tau_{\text{и}} \theta}$ про-

порционально числу каналов.

$N = 10$; $\tau_{\text{и}} = 1$ мкс ; $T_{\text{а}} = 10$ с (время обращения антенны).

$I = 1000000$ ц/с (целей в секунду) завышено.

Предположим 300 целей в обзоре, тогда в 1 с наблюдаем 30 целей при $T_{\text{а}} = 10$ с. Учитывая, что у нас 30 целей в секунду, можно говорить, что емкость канала связи $C_{\text{к}} = n_{\text{с}} I_0 = 30 \cdot 20 = 600$ дв. ед. (бит).

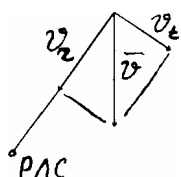
$$C_k = \Delta f_{\text{идеал}} \log_2(1 + P_c/P_{\text{ш}}), \quad \text{примем } P_c/P_{\text{ш}} = 10.$$

$\Delta f_{\text{идеал}} = 600/\log_2 11 \approx 170 \div 180$ Гц (полоса идеального канала связи для передачи информации).

$$\Delta f = \frac{1}{\tau} = 1/100 = 1 \text{ МГц}.$$

Ширину полосы частот для пропускания выбирают исходя из информационной способности.

Определение скоростей движения целей



В радиолокационном смысле о движении цели можно говорить отдельно по радиальной или тангенциальной (угловой) составляющим (см. рисунок).

Радиальная скорость может быть измерена двумя путями: дифференцированием траектории и измерение по методу Доплера: $F_d = 2f_0 v / c$.

Тангенциальную скорость можно измерить дифференцированием и нельзя доплеровским методом.

Измерение ускорений

Ускорение определяется либо дифференцированием скорости, либо двойным дифференцированием траектории.

Запись траекторий (изображения) движения целей

Методы записи траекторий:

1. Использование длительного послесвечения электронных индикаторов.
2. Графическая запись: с помощью электромеханических и осциллографических устройств или чернильных самописцев. Ограничивается плохой динамикой.
3. Использование потенциалоскопов. Применяются для записи траектории со временем запоминания десятков секунд. Шумы потенциалоскопов ограничивают использование этого метода.
4. Использование памяти цифровых машин. Не имеет ограничения по динамике, по длительности траектории и наиболее удобен при вторичной обработке РЛ-информации.

ОБНАРУЖЕНИЕ РЛ-СИГНАЛА. РАССЕЙВАЮЩИЕ ИЛИ ОТРАЖАЮЩИЕ СВОЙСТВА РЛ-ЦЕЛЕЙ

При облучении любого объекта радиоволнами, он становится источником вторичного излучения. В диэлектриках возникают токи смещения, в проводниках – токи проводимости.

Часть энергии вторичного излучения попадает в РПрУ антенну РЛС. Можно предположить, что вторичное излучение будет изотропным.

Сложные цели: могут быть **сосредоточенными и распределенными**.

1. Сосредоточенные имеют геометрические размеры порядка и немного меньше разрешаемого объема. Могут быть групповыми и одиночными.

Одиночная точечная цель – цель, геометрические размеры которой намного меньше разрешаемого объема. Практически точечных целей нет.

2. Распределенными могут быть такие цели, у которых геометрические размеры больше размеров разрешаемого объема. Бывают поверхностные и объемные.

Эффективной отражающей площадью (поверхность), или эффективной поверхностью рассеяния называется площадь идеально отражающей металлической площадки, установленной нормально к (распространению) падающей волне, отражающей изотропно, которая, будучи помещена в месте расположения цели, создает у антенны РЛС тот же самый поток мощности, что и реальная цель.

$S_{эф}$ – условная, или эквивалентная, величина.

$$P_{ц} = P_{п} / 4\pi D^2,$$

где $P_{ц}$ – вторичная мощность,

D – расстояние между целью и РЛС.

$$P_{ц} = \Pi_{рлс/ц} S_{эф},$$

где $\Pi_{рлс/ц}$ – поток мощности от РЛС в зоне действия цели.

Поток мощности от цели в зоне действия РЛС:

$$\Pi_{ц/рлс} = \frac{\Pi_{ц/рлс} S_{эф}}{4D^2 \pi}, \quad S_{эф} = 4D^2 \pi \frac{\Pi_{ц}}{\Pi_{рлс/ц}}.$$

Представим, что цель – идеальная антенна: $A(\alpha; \beta)$ – эффективная поверхность антенны, $\upsilon'(\alpha; \beta)$ – КНД. $\eta_{ц}(\alpha; \beta)$ – КПД.

Тогда $P_{ц} = \Pi_{рлс/ц}$; $A(\alpha; \beta)$ – мощность вторичного излучения.

$$\Pi_{ц/рлс} = \frac{P_{ц} \upsilon'(\alpha; \beta)_{ц} \eta(\alpha; \beta)_{ц}}{4D^2 \pi}$$

с учетом определения: $S_{эф} = A_{ц}(\alpha; \beta) \upsilon'_{ц}(\alpha; \beta) \eta(\alpha; \beta)_{ц}$ – теоретическая $S_{эф}$.

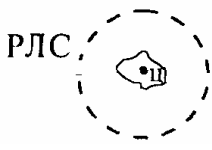
Практически идут по другому пути: $\Pi = E \cdot H$, где Π – поток мощности; E и H – напряженности электрического и магнитного полей:

$$H = \frac{E}{\rho_0}, \quad \rho_0 = \sqrt{\frac{E_0}{\mu_0}} = 120\pi, \quad S_{эф} = 4\pi D^2 \frac{E_{ц/рлс}^2}{E_{рсл/ц}}.$$

То же самое можно написать и для напряженности магнитного поля.

Диаграмма направленности обратного рассеяния: $S_{эф.х} = S_{эт} (E_x^2 / E_{эт}^2)$.

$S_{эф}$ резко меняется в зависимости от площади отражающей поверхности.



Метод диаграмм обратного рассеяния хорош тем, что можно его рассматривать на моделях. Если размеры уменьшить в n раз, то длина волны должна уменьшиться в n раз.

2.1. Понятие о противорадиолокационных покрытиях

Для уменьшения отражения от цели необходимо добиваться, чтобы коэффициент Френеля (отражения) k стремился к нулю. Это происходит тогда, когда $\dot{E} = \dot{\mu}$.

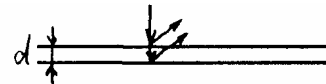
$$K = \frac{1 - \sqrt{E/\mu}}{1 + \sqrt{E/\mu}}$$

Сделать это очень сложно. Чтобы получить $\mu = 1$, надо сделать поверхность пористой, неровной, что очень трудно. Тогда необходимы:

1. Создание покрытий спецформы с многократным отражением радиоволн (широкодиапазонные).

2. Использование интерференционных покрытий:

$$d = \frac{\lambda}{4} \sqrt{E/\mu}$$



Эти покрытия узкодиапазонные, так как налагаются требования к длине волны. Теоретически можно создать неотражающее покрытие или теоретически – РЛ-покрытие против отражения радиоволн.

2.2. Эффективная отражающая площадь реальной цели

В любой точке будут создаваться токи, одинаковые по амплитуде, и они будут складываться. В этом случае поверхность можно считать синфазной.

$$\text{Коэффициент усиления } G = \frac{4\pi S_{\text{ц}}}{\lambda^2}$$

$$\text{Поток мощности у РЛС } \Pi_{\text{ц/рлс}} = \frac{S_{\text{ц}} \Pi_{\text{рлс/ц}}}{4\pi D^2} G$$

$$S_{\text{эф}} = 4\pi D^2 \frac{\Pi_{\text{ц/рлс}}}{\Pi_{\text{рлс/ц}}}; \Pi_{\text{ц/рлс}} = \frac{S_{\text{ц}}^2 \Pi_{\text{рлп/ц}}}{D^2 \lambda^2} \Rightarrow \frac{\Pi_{\text{ц/рлс}}}{\Pi_{\text{рлс/ц}}} = \frac{S_{\text{ц}}^2}{\lambda^2 D^2}$$

$S_{\text{эф}} = 4\pi \frac{S_{\text{ц}}^2}{\lambda^2}$ – эффективная площадь плоской идеально отражающей пластины.

С увеличением $S_{\text{ц}}$ возрастает мощность вторичного излучения и одновременно улучшаются направленные свойства. $S_{\text{эф}} \equiv S_{\text{ц}}^2$ Может быть: $S_{\text{эф}} \gg S_{\text{ц}}$.

Для полуволнового вибратора $S_{\text{эф}} = 0,11 \lambda^2$.

При рассмотрении удельной эффективной отражающей площади для распределенной цели имеет смысл принимать во внимание удельную эффективную отражающую поверхность.

Если эффективная отражающая площадь равномерно распределена, то $S_{\text{уд.эф}} = \frac{S_{\text{эф}}}{S_{\text{ц}}} \left[\frac{\text{м}^2}{\text{м}^2} \right]$, а если распределена неравномерно, то $S_{\text{уд.эф}} = \frac{dS_{\text{эф}}}{dS_{\text{ц}}}$.

Эта величина показывает, сколько на данный квадратный метр поверхности приходится эффективной отражающей площади.

θ – угол падения, или угол между лучем прихода радиоволны к нормали.

Для объемного равномерного распределения $S_{\text{уд.эф}}(\theta) = \frac{S_{\text{эф}}}{S_{\text{ц}}} \left[\frac{\text{м}^2}{\text{м}^2} \right]$.

2.3. Среднее значение эффективной отражающей площади цели

Значение эффективной площади сильно меняется в зависимости от поверхности, отражающих свойств, угла прихода радиоволны, длины волны.

Установлено, что распределение амплитуды сигнала на входе приемника от реальной цели хорошо совпадает с законом Релея:

$$W(U_m) = \frac{U_m}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{U_m^2}{2\sigma^2}\right),$$

где U_m – амплитуда сигнала на входе приемника;

σ^2 – дисперсия амплитуд на входе приемника.

Мощность на входе приемника связана с амплитудой сигнала:

$$P = \frac{U_m^2}{2R_{\text{вх}}}. \text{ Примем входное сопротивление } R_{\text{вх}} = 1. \text{ Тогда } P = \frac{U_m^2}{2}.$$

Для перехода от распределения амплитуд к распределению мощностей на входе приемника, которое пропорционально эффективным отражающим площадям, воспользуемся функциональным преобразованием распределений:

$$W(P) = W[U_m(P)] \left| \frac{dU_m(P)}{dP} \right|, \quad U_m = \sqrt{2P}.$$

Дисперсия амплитуды напряжения сигнала есть средняя мощность:

$\delta^2 = \bar{P}$. Тогда

$$W[U_m(P)] = \frac{\sqrt{2\bar{P}}}{\bar{P}} \exp\left(-\frac{P}{\bar{P}}\right); \left|\frac{dU_m(P)}{dP}\right| = \frac{1}{\sqrt{2\bar{P}}}.$$

Тогда плотность распределения мощности на входе:

$$W(P) = \frac{1}{\bar{P}} \exp\left(-\frac{P}{\bar{P}}\right); W(S_{\text{эф}}) = \frac{1}{S_{\text{эф}}} \exp\left(-\frac{S_{\text{эф}}}{S_{\text{эф}}}\right).$$

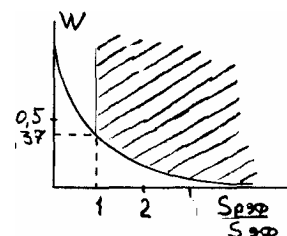
Важно рассмотреть вероятность того, что эффективное текущее значение будет не меньше расчетной эффективной площади:

$$W(S_{\text{эф}} \gg S_{\text{рас.эф}}) = \exp(-S_{\text{рас.эф}} / S_{\text{эф}}).$$

Пределы: $S_{\text{рас.эф}} \div \infty$.

Изобразим графически:

В 37 % случаев эффективное значение будет превышать среднее значение. Наиболее вероятна будет эффективная отражающая поверхность, равная нулю.



В дальнейшем для простоты будем говорить о среднем значении эффективной поверхности. Черточку и слово «средняя» будем опускать, так как будем пользоваться только средним значением.

2.4. Средняя эффективная поверхность наиболее распространенных целей

Перечислим несколько наиболее распространенных целей и обозначим их эффективные поверхности, м²:

Тяжелый крейсер, океанский лайнер – 14000.

Тяжелый транспортный самолет – 50.

Истребитель-бомбардировщик – 3 – 5.

Бомбардировщик-ракетоносец – 10.

Подводная лодка: в надводном положении – 140;

в подводном – 1.

Головка межконтинентальной баллистической ракеты – 0,1 – 0,2.

Человек – 0,8.

2.5. Эффективная отражающая поверхность распределенной цели

Отраженные сигналы от различных участков целей независимы ни по амплитуде, ни по фазе. Тогда суммарная мощность $P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_i$, где N – количество элементарных участков, или количество целей разрешённого объема.

$$P_{\Sigma} = kS_{\text{эф}\Sigma} \quad P_i = kS_{\text{эф}i}.$$

$$S_{\text{эф}\Sigma} = \sum_{i=1}^N S_{\text{эф}i} \text{ – из условия независимости амплитуд и фаз.}$$

Удобно пользоваться удельной эффективной поверхностью цели.

2.6. Основное уравнение дальности РЛ

Основное уравнение дальности для случая свободного пространства без учета влияния подстилающей поверхности связывает все основные значения РЛС и цели.

Имеем РЛС и цель с расстоянием между ними D . Поток мощности от РЛС к цели с учетом ненаправленных свойств антенны:

$$\Pi'_{\text{рлс/ц}} = \frac{P_{\text{изл}}}{4D^2\pi} \quad \text{РЛС} \bullet \xrightarrow{D} \bullet \text{ц} \quad G' = \text{КНД.}$$

$$\text{С учетом направленных свойств антенны: } \Pi'_{\text{рлс/ц}} = \frac{P_{\text{изл}}}{4D^2\pi} G'.$$

$$P_{\text{изл}} = P_{\text{п}}\eta_A \Rightarrow \Pi'_{\text{рлс/ц}} = \frac{P_{\text{п}}G}{4D^2\pi}, \text{ где } P_{\text{п}} \text{ – мощность на входе передатчика.}$$

Поток мощности Π от цели к РЛС:

$$\Pi_{\text{ц/рлс}} = \frac{\Pi'_{\text{рлс/ц}} S'_{\text{эф}}}{4D^2\pi}.$$

Мощность на входе приемника РЛС:

$$P_{\text{пр}} = \Pi_{\text{ц/рлс}} A, \quad P_{\text{пр}} = \frac{GAP_{\text{п}}S_{\text{эф}}}{16D^4\pi^2},$$

где A – эффективная площадь антенны.

Для перехода от D к D_{\max} надо перейти к чувствительности:

$$D_{\max} = 4 \sqrt{\frac{G A P_{\Pi} S_{\text{эф}}}{16 P_{\text{пр min}} \pi^2}}.$$

Эта формула справедлива для импульсных и для непрерывных излучений, для одноантенных и двухантенных РЛС.

$$G = \frac{4A\pi}{\lambda^2} \text{ (КНД), тогда } D_{\max} = 4 \sqrt{\frac{P_{\Pi} G^2 S_{\text{эф}} \lambda^2}{64 P_{\text{пр min}} \pi^3}} \text{ — для одноантенной РЛС.}$$

$$A = \frac{G\lambda^2}{4\pi}; \quad D_{\max} = 4 \sqrt{\frac{A^2 P_{\Pi} S_{\text{эф}}}{4 P_{\text{пр min}} \lambda^2}}.$$

Очень часто в РЛ-расчетах о чувствительности приемника говорят относительно и вводят относительную чувствительность приемника в децибелах, как отношение мощности 1 мВт к чувствительности приемника.

$$R = 10 \lg(10^{-3} / P_{\text{пр min}}),$$

$$10^{-3} / P_{\text{пр min}} = 10^{R/10}; \quad P_{\text{пр min}} = 10^{-3} / 10^{R/10} = 10^{-3 R/10}.$$

Считая при прочих равных условиях, если

$$\frac{D_2}{D_1} = 4 \sqrt{\frac{P_{\text{пр min 1}}}{P_{\text{пр min 2}}}} = 4 \sqrt{\frac{10^{-3-R_1/10}}{10^{-3-R_2/10}}} = 10^{0,025(R_2-R_1)} \text{ — относительная}$$

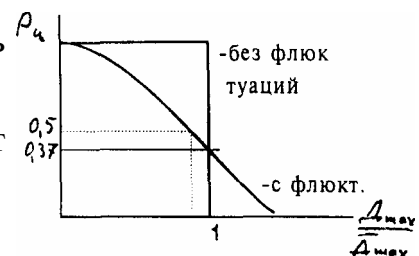
чувствительность, то видно, что дальность — очень слабая функция мощности передатчика:

$$\frac{D_2}{D_1} = 4 \sqrt{\frac{P_{\Pi 2}}{P_{\Pi 1}}}.$$

Рассмотрим влияние флуктуации эффективной отражающей поверхности цели на дальность действия РЛС (см. рисунок).

Вероятность того, что значение $S_{\text{эф}}$ превысит $S_{\text{эф.сред}}$

$$P_{\Pi} = \exp(-S_{\text{эф}} / S_{\text{эф}}^-). \text{ Если } \frac{D_{\max}}{D_{\max}^-} = 4 \sqrt{S_{\text{эф}} / S_{\text{эф}}^-},$$



то вероятность обнаружения цели:

$$P_{ц} = \exp\left(-\frac{D_{\max}}{\bar{D}_{\max}}\right)^4.$$

Для $P_{ц}=50\%$, надо чтобы $D_{\max} = 0,9\bar{D}_{\max}$.

Не надо путать вероятность обнаружения цели в данном рассмотрении с вероятностью правильного обнаружения, где учитываются шумы и т.д.

Чувствительность приемника

Чувствительность приемника – минимальное значение входной мощности приемника, при которой при заданных отношениях сигнал/шум и при учете характеристик обнаружения (вероятность правильного обнаружения и вероятность ложной тревоги) для данного оконечного устройства и оператора обеспечивается правильное обнаружение.

Коэффициент различимости: $P_{\text{пр min}} = k_p P_{\text{ш}}$.

Под **коэффициентом различимости** будем понимать отношение мощности сигнала на входе приемника к средней мощности шумов, пересчитанных ко входу приемника, при котором соблюдается для данного оператора и оконечного устройства заданная вероятность правильного обнаружения и ложной тревоги.

$P_{\text{ш}} = k_{\text{ш}} T K \Delta f_{\text{пр}}$ – T – шумовая температура;

$K=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – K – постоянная Больцмана;

$$D_{\max} = 4 \sqrt{\frac{G A P_{\text{п}} S_{\text{эф}}}{16 K T \Delta f_{\text{пр}} k_{\text{ш}} K_p \pi^2}} - \Delta f_{\text{пр}} - \text{полоса пропускания приемника.}$$

Для случая импульсной РЛС: $\tau = 1/\Delta f_{\text{пр}}$, тогда для одноантенной РЛС:

$$D_{\max} = 4 \sqrt{\frac{P_{\text{п}} S_{\text{эф}} \tau_{\text{ц}} A^2}{4 K T k_{\text{ш}} K_p \pi \lambda^2}}.$$

Влияние подстилающей поверхности

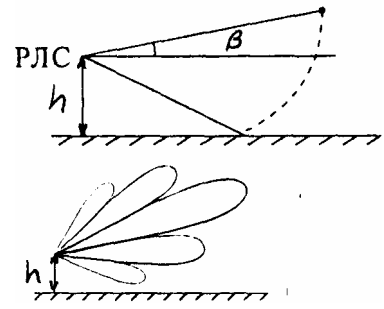
Влияние подстилающей поверхности на распространение радиоволн иллюстрируют рисунки.

$$D_{\max \text{ пп}} = D_{\max} F(\beta) F_3(\beta).$$

$$D_{\max \text{ пп}} = 2D_{\max} \left| \sin\left(2 \frac{h\pi}{\lambda} \sin \beta\right) \right|.$$

$$\text{Если } \beta \rightarrow 0, \text{ то } D_{\max \text{ пп}} = 2D_{\max} \left| \sin 2 \frac{h\pi}{\lambda} \beta \right|.$$

$$\text{Если } h\beta \ll \lambda, \text{ то } D_{\max \text{ пп}} = 2D_{\max} 2 \frac{h\pi\beta}{\lambda}.$$



$D_{\text{Н}}$ с учетом подстилающей поверхности называется многовеерной диаграммой направленности.

Влияние условий распространения

Это влияние тяжело учитывать аналитически.

$$D_{\max \text{ р}} = D_{\max} f \left[h; \beta; \lambda; \sigma(D_{\max}; \lambda; A_{\text{ТМ}}) \right], \text{ где } \sigma - \text{затухание.}$$

2.7. Дальность действия РЛС с активным ответом

Имеем: $P_{\text{запр}}; G_{\text{запр}}; P_{\text{пр.запр}}; A_{\text{запр}}$.

Дальность запроса и ответа – независимые величины.

$$P_{\text{пр.запр}} = \frac{P_3 G_3 \lambda_3}{4 D_3^2 \pi}, \quad A = \frac{G\lambda}{4\pi},$$

$$D_{\max \text{ запр}} = \sqrt{\frac{P_3 G_3 A_3}{4 P_{\text{пр.з. min}}}} = \sqrt{\frac{P_3 G_3 G_{\text{запр}} \lambda^2}{16 P_{\text{пр.запр. min}} \pi^2}},$$

$$D_{\max \text{ о}} = \sqrt{\frac{P_0 G_0 G_{\text{опр}} \lambda^2}{16 P_{\text{пр.о. min}} \pi^2}}. \quad D_{\max \text{ запр}} = D_{\max \text{ о}} \text{ (обязательно !!!).}$$

Работа ведётся по меньшей дальности.

$$\frac{P_3 G_3 G_{\text{пр}} \lambda_3^2}{16 \pi^2 P_{\text{пр.запр. min}}} = \frac{P_0 G_0 G_{\text{запр}} \lambda_0^2}{16 \pi^2 P_{\text{пр.о. min}}}. \text{ Если } \lambda_3 = \lambda_0 \text{ практически всегда вы-}$$

полняется при использовании одной антенны при приеме и при передаче, то

$$G_3 G_{\text{з.пр}} = G_0 G_{\text{опр}} \text{ (именно произведение).}$$

$$\underbrace{P_3 / P_{\text{пр.пр.мин}}}_{\text{запрос}} = \underbrace{P_0 / P_{\text{пр.о.мин}}}_{\text{ответ}}$$

Отношения потенциалов по каналу запроса и ответа равны.

$$\underbrace{P_3 P_{\text{пр.о.мин}}}_{\text{характеризует РЛС}} = \underbrace{P_0 P_{\text{пр.запр.мин}}}_{\text{характеризует цель}}$$

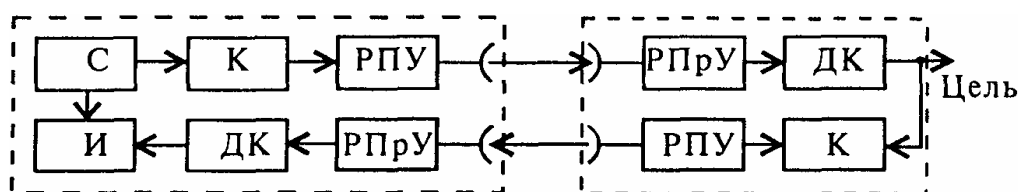
При увеличении мощности ПРД необходимо во столько же раз увеличить чувствительность ПРМ, во столько же раз увеличится дальность.

Дальность систем с активным ответом с учетом реальных условий

В реальных условиях дальность рассчитывается аналогично дальности РЛС с отражением, т.е. необходимо учитывать влияние подстилающей поверхности, т.е. многолепестковость ДН и затухание в среде распространения. Так как распространение сигнала происходит в одну сторону, в результате ту же дальность в РЛС можно получить с меньшими энергетическими затратами, чем дальность с отражением.

Исходя из этого системы с активным ответом находят широкое применение в случаях, когда эффективная отражающая поверхность цели очень мала или значительно убывает с дальностью.

Ниже представлена структурная схема системы опознавания.



На рисунке обозначены: С – синтезатор; И – индикатор; К – кодирующее устройство; ДК – декодирующее устройство.

В РЛС вырабатывается последовательность импульсов с определенным кодом и передается вместе с зондирующим сигналом. РПру цели принимает зондирующие сигналы, и если код зондирующего сигнала аналогичен коду цели, то сигнал поступает на К, в котором в другой код записывается сигнал и ответ проводится по коду этого сигнала. Ответный сигнал декодируется. Если коды совпадают, то на индикаторе появляется отметка.

Есть определенная трудность: код должен быть единым во всей стране.

2.8. Обнаружение РЛ-сигнала как статистическая задача

На входе обнаружителя сигнал вида:

$U(t)$ – сигнал полностью известный;

$n(t)$ – помеха;

a – неизвестное сообщение;

a_0 – цели нет; a_1 – цель есть.

На выходе обнаружителя: A_0 – сигнала нет; A_1 – сигнал есть.

Если точка попадает в подпространство X_0 , то сигнала нет. Если в X_1, \dots , то сигнал есть.

Перечислим критерии обнаружения.

1. Вероятность правильного обнаружения (сигнал есть при обнаружении цели).

$$P_{\text{п.о}}(A_1/a_1).$$

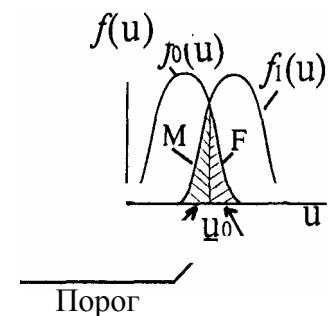
2. Вероятность пропуска цели, когда сигнала нет при наличии цели (см. рисунок).

$P_{\text{пц}}(A_0/a_1) = M$ – ошибка первого рода.

3. Вероятность правильного необнаружения, когда сигнала нет при отсутствии цели: $P_{\text{пн}}(A_0/a_0)$.

4. Ложная тревога: сигнал есть при отсутствии цели:

$P_{\text{лт}}(A_1/a_0) = F$ – ошибка второго рода.



$$P_{\text{п.о}} + P_{\text{пц}} = 1; P_{\text{пн}} + P_{\text{лт}} = 1.$$

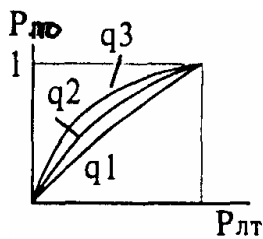
Рассмотрим распределение амплитуд сигнала и шума:

$$P_{\text{пц}}(A_0/a_1) = \int_0^{u_0} f_1(u) \text{ (вероятность пропуска цели):}$$

$$P_{\text{лт}}(A_1/a_0) = \int_{U_0}^{\infty} f_0(u) du.$$

Последовательность выполнения оптимального обнаружения:

1. Выбор и обоснование критерия оптимальности.
2. Выбор математического решения критерия оптимальности.
3. Техническая реализация полученного критерия оптимальности.
4. Сравнение оптимального обнаружителя с реальным.



Характеристика обнаружения (см. рисунок) показывает отношение средней мощности сигнала к средней мощности шума. Вероятность правильного обнаружения, равную 1, получить нельзя.

$$q_3 > q_2 > q_1$$

Критерии оптимальности

Назовем критерии оптимальности:

1. Критерий минимума среднего риска:

$$\bar{R} = R_{лт} P(a_0) + R_{пц} P(a_1) P_{пц} \rightarrow \min.$$

$R_{пц}$ и $R_{лт}$ характеризуют риск или плату за ситуацию ложной тревоги и пропуска цели.

2. Критерий минимума взвешанной ошибки: $R = a P_{лт} + b P_{пц}$, где a и b – весовые коэффициенты.

3. Критерий минимума полной ошибки: $R = P(a_0) P_{лт} + P(a_1) P_{пц}$, где $P(a_0)$ и $P(a_1)$ – априорные вероятности отсутствия цели и наличия цели.

4. $P_{лт} = \text{const}$, $P_{пц} = \min$.

Для задач РЛ 1-3-й критерии сложно применять, так как априорные вероятности неизвестны. Поэтому в РЛ широкое применение нашел 4-й критерий – Неймана-Пирсона.

Критерий 2-й наиболее общий: $a/b = \lambda_0$, $R = \lambda_0 P_{лт} + P_{пц}$.

При отсутствии цели:

$$P_{лт} = \int \dots \int P(x_1; x_2; \dots; x_n | a_0) dx_1 dx_2 \dots dx_n, \text{ где } X_1 \text{ – подпространство.}$$

$$P_{пц} = 1 - P_{по} = 1 - \int \dots \int P(x_1; x_2; \dots; x_n | a_1) dx_1 dx_2 \dots dx_n.$$

В одномерном случае: $P_{лт} = T(A_1 / a_0)$; $P_{по} = T(A_1 / a_0)$,

$$R = 1 - \int \dots \int [P(x_1; x_2; \dots; x_n | a_1) - \lambda_0 P(x_1; x_2; \dots; x_n | a_0)] dx_1 \dots dx_n.$$

Необходимо максимизировать интеграл, когда подынтегральное выражение будет больше нуля

$$\lambda(x) = \frac{P(x_1; x_2; \dots; x_n | a_1)}{P(x_1; x_2; \dots; x_n | a_0)} = \frac{\lambda_1(x)}{\lambda_2(x)} \text{ – отношение правдоподобия.}$$

$\lambda_0 = a/b$ – для 2-го критерия;

$\lambda_0 = r_{лт}T(a_0)/r_{пц}T(a_1)$ – для 1-го критерия.

Когда $\lambda(x) > \lambda_0$, цель есть, $\lambda(x) < \lambda_0$ – цели нет.

Обнаружение сигнала с полными известными параметрами

Предполагаем, что известны амплитуда и фаза в каждый момент времени.

Может сигнал принимать два значения: a_1 – сигнал есть, a_0 – сигнала нет.

Можем установить отношение правдоподобия в предположении, что энергия, равна E , а спектральная мощность – N_0 при разложении. Получим для отношения правдоподобия:

$$\lambda(x) = \exp \left[\frac{E}{N_0} + Z(T) \right],$$

где $Z(T)$ – корреляционный интеграл, $Z(T) = \int_0^T x(t)u(t)dt$.

Оптимальный обнаружитель строят на основе корреляционного интеграла.

Если $Z(T) > Z_0$, цель есть,

Если $Z(T) < Z_0$, цели нет.

Переход от отношения функций правдоподобия к корреляционному интегралу позволяет упростить техническую реализацию.

Структурная схема оптимального обнаружителя для сигнала с полностью известными параметрами

Корреляционный интеграл для

помехи:
$$Z_{п} = \int_0^T u(t)n(t)dt.$$

Корреляционный интеграл для

смеси:
$$Z_{пс} = \int_0^T \{u(t) + n(t)\}U(t)dt.$$

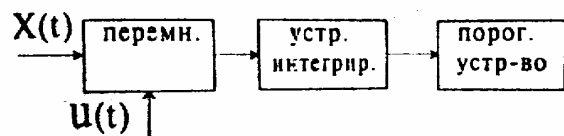
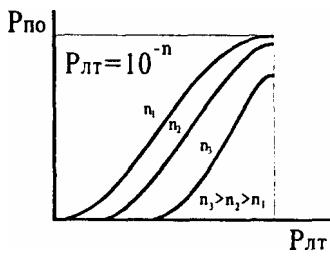
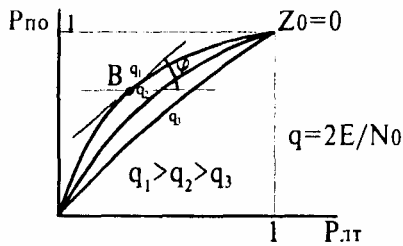
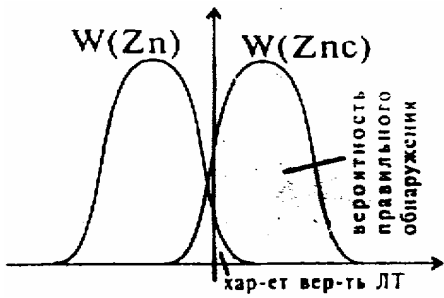


График функций плотности вероятностей (см. рисунок слева).



Рабочие характеристики оптимального обнаружителя (см. рисунок справа). По заданному значению вероятности ложной тревоги выбирается определенное отношение сигнал/шум, и касательная в этой рабочей точке \$B\$ под углом \$\varphi\$ будет характеризовать нам порог \$\lambda_0 = \text{tg}\varphi\$.

Вероятность правильного обнаружения может быть равна 1, если \$P_{лт} = 1\$ при любых отношениях сигнал/шум. Если выбирать рабочую точку в \$Z_0 = 0\$, то мы приходим к \$P_{лт}\$ и \$P_{по} = 1\$, а если в \$Z_0 = \infty\$, то \$P_{лт}\$ и \$P_{по} = 0\$. Оба случая нежелательны.

Наряду с рабочими характеристиками используются характеристики обнаружения (см. рисунок).

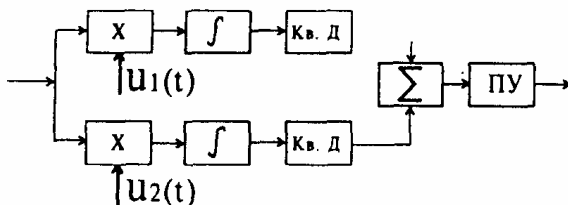
Для постоянного значения ложной тревоги мы по заданному значению правильного обнаружения находим отношение сигнал/шум.

Определяются из свойств корреляционного интеграла обе характеристики: \$P_{по} = 0,99 - 0,996\$, \$P_{лт} = 10^{-3} \div 10^{-6}\$.

Обнаружение сигнала с флюктуирующей фазой

$$W(p) = \frac{1}{2\pi}, \text{ где } [0; 2\pi] \text{ – распределение фаз.}$$

Амплитуда неизвестна: \$\sin^2 \beta + \cos^2 \beta = 1\$.



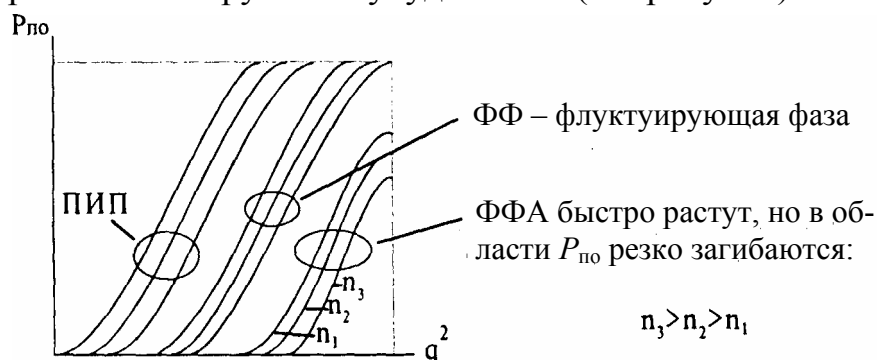
Сложный корреляционный интеграл: \$Z(T) = \sqrt{Z_1^2(T) + Z_2^2(T)}\$.

Тогда функциональная схема будет выглядеть следующим образом:

$$u_1 = A \cos \theta,$$

$$u_2 = A \sin \theta.$$

Устройство инвариантно к изменению фазы. При случайном изменении амплитуды структура оптимального приемника остается той же, но характеристики обнаружения ухудшаются (см. рисунок).



Обнаружение пачки импульсов

- a_i – амплитуда импульса;
- f_i – частота заполнения;
- τ_i – длительность импульса в пачке;
- t_i – время положения импульса в пачке;
- φ_i – фаза.

Если параметры не постоянны, но закон их изменения полностью известен, то такая пачка называется когерентной. Если закон изменения хотя бы одного импульса не известен, то – некогерентной.

Если мы проводим обнаружение когерентной пачки импульсов, то энергия всей пачки определяется суммой энергий одиночных импульсов. В этом смысле мы можем рассматривать обнаружение пачки импульсов аналогично определению одиночного импульса с полностью известными параметрами. Поскольку $E = \sum E_i$, то для когерентной пачки характеристики обнаружения могут быть лучше, чем для одиночного импульса (в E/E_i раз).

Обнаружение некогерентной пачки радиоимпульсов

Можно указать три класса некогерентных пачек, которые применяются в РЛС.

1. Пачки, в которых импульсы изменяют свои параметры коррелировано от импульса к импульсу, – пачки с флуктуирующими импульсами.

2. Пачки с отсутствием коррелированности от импульса к импульсу, т.е. все названные параметры импульсов флюктуируют независимо от следующих импульсов.

3. Пачки с промежуточным состоянием между первым и вторым классами.

Структурная схема обнаружения для некогерентной пачки та же, что и для сигнала ФФ с тем изменением, что в качестве сигнала на перемножитель подаются пачки РИ. Нельзя утверждать, что характеристики улучшаются в E/E_i раз. Обнаружитель может считаться накопителем, причем накопление происходит на последней части пачки.

Все рассмотренные схемы обнаружителей могут работать только на одной фиксированной дальности. Дальность цели, как правило, неизвестна, в оптимальном обнаружителе должно быть определенное число каналов для того, чтобы с заданной разрешающей способностью δD обеспечить обнаружение целей в пределах $\Delta D = D_n - D_1$.

Перемножители идентичны, но на каждый подается копия, сдвинутая на разные τ . Такой метод называется еще корреляционным методом измерения дальности.

Принцип неопределенности

Принцип неопределенности рассматривает разрешающую способность по дальности и по скорости.

Если на вход СФ подается сигнал $U(t)$, то на выходе получаем отклик в виде:

$$R(\tau) = \frac{1}{E} \int_0^{\infty} u(t)u(t-\tau)dt, \quad R(0)=1.$$

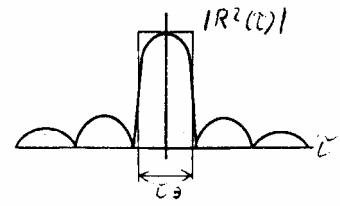
Если на фильтр, согласованный с $U_{2(t)}$ подаем сигнал $U_{m(t)}$, то на выходе получаем отклик в виде:

$$R_{m2}(\tau) = \frac{1}{E} \int_0^{\infty} u_2(t)u_m(t-\tau)dt, \quad \delta D = \frac{c}{2} \tau.$$

$$\Delta^2(\tau) = \frac{1}{E} \int_0^{\infty} |u(t)u(t-\tau)|^2 dt = \frac{1}{E} \int_0^{\infty} u^2(t)dt - \frac{2}{E} \int_0^{\infty} u(t)u(t-\tau)dt + \frac{1}{E} \int_0^{\infty} u^2(t-\tau)dt = 2[1 - R(\tau)].$$

Различие между двумя импульсами во времени может характеризовать нормированная автокорреляционная функция $R(\tau)$. На практике вводится понятие эквивалентного времени корреляции (см. рисунок):

$$\tau_3 = \int_{-\infty}^{\infty} R^2(\tau) d\tau.$$



Разрешение по скорости

Названное разрешение имеет смысл, когда обе цели находятся в одном разрешающем объеме.

Считаем, что дальности и направления двух целей одинаковы. Различие только по скорости:

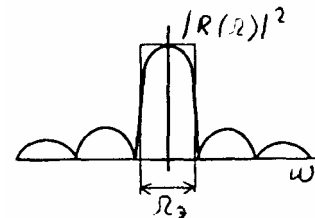
$$F_{\text{доплер}} = \frac{2v_r}{c} f_0; v_{\text{radial}} = \frac{F_{\text{д}} c}{2f_0} = \frac{\Omega_{\text{д}} c}{2\omega_0} \text{ — для круговой частоты,}$$

где f_0 — несущая частота ПРД; $\delta v_r = \frac{\delta \Omega_{\text{д}} c}{2\omega_0}$.

Считаем, что спектр первой цели характеризуется $\dot{q}(\omega)$, второй цели — $\dot{q}(\omega - \Omega)$ (см. рисунок).

Введем эквивалент частоты корреляции:

$$\Omega_3 = \int_{-\infty}^{\infty} |R(\Omega)|^2 d\Omega.$$



Тогда $\delta v_r = \frac{\Omega_3 c}{2\omega_0}$.

Частотный спектр — всегда комплексная величина.

Рассмотрим два процесса:

$$\dot{S}(t) = \dot{A}(t) \exp j\omega t \text{ — первая цель;}$$

$$\dot{S}(t - \tau) = \dot{A}(t - \tau) \exp j(\omega - \Omega)(t - \tau) \text{ — вторая цель;}$$

$$\Delta^2(\tau; \Omega) = \frac{1}{2\pi E} \int_{-\infty}^{\infty} [\dot{S}(t) - \dot{S}(t - \tau)]^2 dt \text{ — критерий различия до задержки;}$$

$$\Delta^2(\tau; \Omega) = 2\left[1 - \frac{1}{2\pi E} \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{A}(t) \dot{A}(t - \tau) \exp j(\omega - \Omega)(t - \tau) dt\right] - \text{критерий}$$

различия после задержки;

$$R(\tau; \Omega) = \frac{1}{2\pi E} \int_{-\infty}^{\infty} u(t)u(t - \tau) \exp j\Omega t dt - \text{двумерная автокорреляцион-}$$

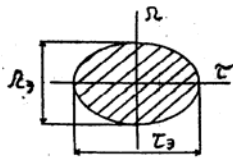
ная функция;

$$R(0; \Omega) = R(\Omega) - \text{различие по частоте;}$$

$$R(\tau; 0) = R(\tau) - \text{различие по времени.}$$

Введём τ_3 и Ω_3 . Образуется цилиндр единичной высоты и объема.

Сечение цилиндра:



$$\delta_3(\tau_3, \Omega_3) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |R(\tau, \Omega)| d\tau d\Omega$$

Основное свойство тела неопределенности: если мы будем сжимать цилиндр по одной оси, он будет расширяться с другой стороны, т.е. если мы хотим улучшить разрешение по скорости, то мы проигрываем в разрешении по дальности, и наоборот.

В одном разрешаемом объеме цели различаются только скоростью и дальностью.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ РЛС

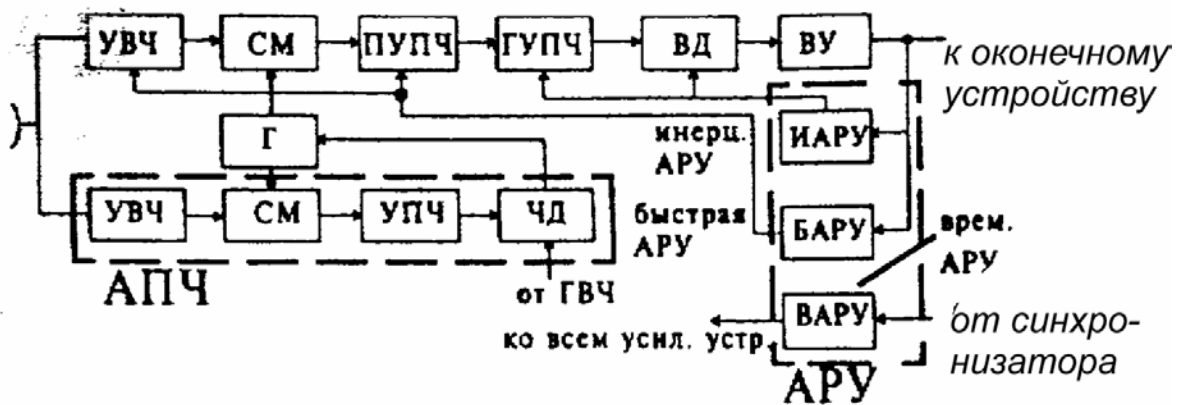
Рассмотрим основные узлы РЛС: ПДУ, ПРУ, АФУ, ИУ.

3.1. Приемные устройства

Основные особенности: широкополосность 1 МГц – 100 МГц (до нескольких сотен мегагерц), наряду с широкополосностью должны обеспечивать коэффициент усиления до 100 – 150 дБ.

В крупных РЛС УПЧ конструктивно подразделяют на предварительные и главные. Предварительные УПЧ используются для согласования низковольтного сопротивления кабеля с высоким сопротивлением смесителя.

В РЛС основное применение нашли приемники, выполненные по супергетеродинной схеме.



Упрощенная структурная схема РЛС приемника:

АПЧ в РЛС необходима. АПЧ можно проводить от Г к ГВЧ или наоборот.

По скорости действия АПЧ подразделяется на быструю и медленную, которая используется для тактических измерений. Быстрая АПЧ компенсирует нестабильность элементов РЛС.

Как правило, в сложных РЛС используются отдельно канал АПЧ и АРУ.

ИАРУ имеет постоянную времени, в несколько раз большую ширины пачки РЛ сигнала, для того чтобы не исказить пачку. Предназначен для борьбы с флюктуациями сигнала.

БАРУ имеет постоянную времени, близкую к длительности импульса. БАРУ более задержен, чем ИАРУ. БАРУ предназначен для борьбы с мощными помехами.

ВАРУ совершенно не зависит от уровня принимаемого сигнала; определяется временными соотношениями периода повторения, т.е. запирающее напряжение ВАРУ изменяется по логарифмическому закону.

Для обеспечения динамических характеристик приемника РЛС используется УПЧ с логарифмической импульсной характеристикой. Создают искажения пачки радиоимпульса (особенно для СДЦ систем).

«Вздергивание» усиления проводится, когда необходимо обеспечить логарифмическую характеристику, а на маленьком участке необходимо линейное усиление. Говорят, что на линейном участке проводят «вздергивание».

В УВЧ с диапазоном 10 – 100 МГц применение нашли металлокерамические лампы, транзисторы, с диапазоном 100 – 1000 МГц – ЛБВ, которые обладают высокой широкополосностью и малым уровнем собственных шумов. В перспективе их заменят туннельные диоды и транзисторы (полевые). В УВЧ с диапазоном 1000 – 10000 МГц используются параметрические усилители. В качестве резонаторов применяют те же элементы, что и для ПРД.

СМ. Во всех диапазонах волн используется кристаллический детектор (диод).

В Г с диапазоном 10 – 100 МГц применяются маячковые и металлокерамические лампы, с диапазоном 100 – 1000 МГц – отражающие клистроны, транзисторы.

В УПЧ используются маячковые лампы. В перспективе применение УПЧ на транзисторах и микросхемах.

ВД выполняется на полупроводниковых диодах.

ВУ ранее выполнялись на электролампах, сейчас – на транзисторах и микросхемах.

3.2. Особенности антенно-фидерных устройств

Эти устройства состоят из антенны с отражателем и облучателем, вращающегося сочленения, устройства канализации энергии, антенного переключателя.

В диапазоне 10 – 100 МГц применяют антенны типа «волновой канал», которые обеспечивают ширину ДН от 1 до десятков градусов.

В диапазоне 100 – 1000 МГц используются параболические отражатели, рупорные, линзовые, щелевые, спиральные. Для обеспечения высокого КУ необходимы большие габариты, поэтому отражатели выполняются сетчатыми, имеют площади от 1 до десятков квадратных метров.

Широкое применение нашли решетчатые антенны с электронным сканированием.

В устройствах канализации энергии в диапазоне 10 – 100 МГц используются ассиметричные кабели, а в диапазоне 1000 МГц – волноводы.

В качестве антенных переключателей находят применение ферритовые переключатели, а в перспективе – тиристорные.

3.3. Особенности оконечных устройств РЛС

Под оконечными устройствами РЛС понимают все элементы, которые воспринимают видеосигнал с уже принятым решением о его наличии с заданной вероятностью правильного обнаружения и ложной тревоги, и вырабатывающие информацию для человека.

Оконечные устройства бывают объективные (автоматические) и субъективные (неавтоматические), где принятие решения дано человеку.

Автоматические оконечные устройства: устройства сравнения с заданным порогом; в зависимости от характеристик, от выбранного порога будут меняться вероятность правильного обнаружения и ложной тревоги. Устройство будет работать более точно, когда имеется несколько порогов, и целесообразно выполнять его в цифровой форме.

Все остальные устройства неавтоматические: различные индикаторы, сигнал которых влияет на какие-либо органы чувств человека, например оптический индикатор, световой индикатор, электронно-лучевой индикатор.

Электронно-лучевые индикаторы бывают с амплитудной отметкой (АО) и яркостной отметкой (ЯО).

Достоинства индикатора с АО: наглядность, проще использовать электро-статическое отклонение.

Недостаток: на одном индикаторе можно получить информацию об одной координате.

В индикаторе с АО можно производить селекцию движущихся целей без череспериодного компенсирующего устройства (ЧПК).

В индикаторе с ЯО цель высвечивается не в виде импульса, а в виде яркостного пятна, причем модуляция яркости по пятну соответствует амплитуде импульса.

Достоинство: на одном индикаторе можно получать информацию о двух координатах.

Линейная развертка (АО), кольцевая развертка (АО), радиально-круговая развертка (ЯО), растровая развертка (ЯО) – основные виды разверток.

Трубки с электростатическим отклонением (достоинство: меньшая энергия на модуляцию; недостатки: линейность развертки хуже, особенно на краях; толщина луча больше, чем с электромагнитным отклонением) и с электромагнитным отклонением применяются в индикаторах.

В качестве индикаторов РЛС применяют дисплеи.

Сейчас используют понятие вторичной и третичной РЛ-информации. Особенно актуальна третичная обработка в условиях высоких скоростей. Третичная обработка – обработка с нескольких РЛС.

Для трансляции РЛ-информации может использоваться обычный радиоканал или графekon.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О РАДИОПРОТИВОДЕЙСТВИИ (РП)

Под РП понимают мероприятия, направленные на срыв работы РТС или хотя бы на снижение ее эффективности или уничтожение РС (физическое).

РП начинается с разведки. Разведка бывает:

1. Оперативная – анализ открытых и закрытых источников, а также агентурная информация.

2. Техническая – получение информации с помощью радиосредств о частотах, местонахождении и так далее. РТС. Техразведка проводится с помощью разведприемников. С целью получения информации о системе необходимо одновременное соблюдение событий:

а) ДН разведываемой РС должна быть направлена в сторону разведприемника;

б) ДН разведприемника должна быть направлена в сторону разведываемой РС;

в) разведприемник работает на излучения разведываемой РС.

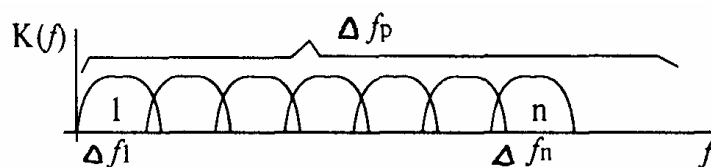
Легко увидеть, что время действия современной РС мало (велика скважность), частота излучения неизвестна (легко меняется в широком пределе).

По принципу построения выделяют приемники: параллельного и последовательного действия, многоканальные и одноканальные.

Требования к приемникам: быстрота поиска по частоте (медленный и быстрый).

Быстрый поиск – просмотр всего диапазона частот за время, равное пачке РЛС, чтобы получить информацию хотя бы об одном импульсе.

Медленный – за период повторения получить информацию об одной пачке импульсов (легче если известна РЛС). Практически используется комбинированный поиск. Весь разведываемый диапазон разбивают на Δf_n . Моментаально получают информацию о всей пачке, если количество импульсов в пачке не более нескольких десятков, а диапазон Δf_p широкий. Следовательно, получается неполная информация и уменьшается чувствительность. Поэтому используют и параллельный, и последовательный методы или несколько приемников с последовательным поиском.



4.1. Основные мероприятия радиопротиводействия

Основными мероприятиями радиопротиводействия являются:

1. Постановка помех.
2. Радиодезинформация.
3. Уничтожение радиосистем.
4. Радиомаскировка.

4.2. Постановка помех

Помехи разделяют на активные и пассивные. Будем подразумевать под активными помехами любые помехи, мешающие работе системы и созданные с помощью источника излучения, исключая саму подавляемую систему. Под пассивными понимают такие, которые возникают от самого излучения РС от переотражений (от естественных и искусственных отражателей, кроме цели).

Активные и пассивные бывают естественными – помехи, которые возникают вокруг нас объективно и не предназначены для подавления данной системы; и искусственными, созданными специально для подавления данной системы.

Активные помехи могут быть поставлены любому ряду систем. Пассивные помехи могут быть поставлены только РС, работающим с отраженным сигналом.

Активные радиопомехи (АП).

АП могут быть шумовые (ШП), импульсные (ИП) и синусоидальные (П).

4.3. Шумовые постановщики

Под заградительной помехой понимают помеху, создаваемую источником помех со спектром, ширина которого иногда во много раз превышает полосу РПр подавляемой РЛС:

$$\Delta f_{\text{ип}} \gg \Delta f_{\text{РПр}}.$$

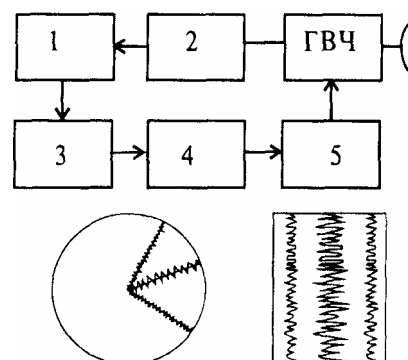
Прицельная помеха создается источником помех со спектром

$$\Delta f_{\text{ип}} \leq \Delta f_{\text{РПр}}.$$

Если прицельная помеха полностью соответствует полосе подавляемой РЛС, она намного эффективнее заградительной за счет того, что энергию источника помех можно использовать более эффективно. Технически проще сделать заградительную помеху, так как нет необходимости знать частоту.

ШП чаще бывают заградительными и создаются источником помех по структурной схеме, на которой обозначены:

- 1 – радиоразведывательный приемник;
- 2 – устройство запоминания частоты;
- 3 – устройство анализа;
- 4 – генератор шума;
- 5 – модулятор.



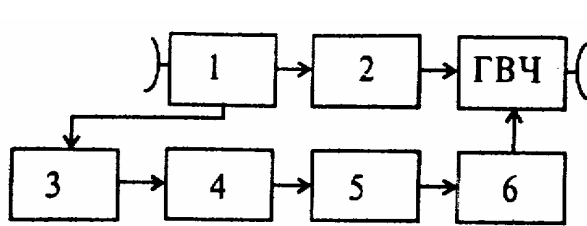
ШП создает уменьшение видимости цели, когда координаты цели совпадают с засветкой, когда вступает в действие автоматическое усиление устройства.

Методы борьбы: 1) перестройка частоты подавляемой РЛС; 2) уничтожение постановщика помех (наведение только с помощью метода трех точек).

4.4. Импульсная помеха (ИП)

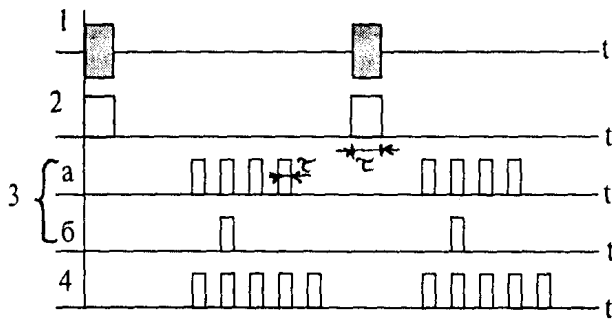
Как правило, прицельные ИП могут быть имитирующими (ИИП) и уводящими по дальности или по углу. ИП сильно воздействуют на систе-

мы с автосопровождением. ИП можно создать по схеме, в состав которой входят следующие элементы:



- 1 – разведывательное РПрУ;
- 2 – устройство запоминания частоты;
- 3 – анализатор импульса;
- 4 – устройство задержки импульсов;
- 5 – видеоусилитель;
- 6 – модулятор.

Временные соотношения показаны на приведенной временной диаграмме.



Методы борьбы с ИИП: создание спецустройств в системе автосопровождения, а также методы, приведенные выше (см. с. 37).

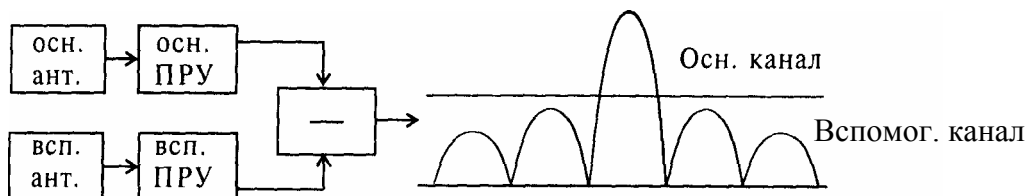
ИП уводящие по дальности или по углу могут быть также

имитирующими.

4.5. Активные помехи по углу многократные и уводящие

Из-за того что реальная ДН имеет много лепестков при подаче мощного излучения от источника в силу ограниченного динамического диапазона приемника, возможен прием не только по основному лепестку, но и по боковым.

Аналогично уводящей помехе по дальности вырабатывается помеха по углу. Используется метод двуканального приема с использованием основного и вспомогательного каналов.



Синусоидальная (прицельная) – это такая помеха, спектр пропускания которой уже полосы пропускания приемника. Воздействует на ВЦ РПУ, ее уровень значительно превышает уровень сигнала.

Методы борьбы с многократными и уведящими: перестройка частоты; применение УПЧ с логарифмической характеристикой.

Мерцающая помеха то появляется, то исчезает в случайные или периодические промежутки времени. Основное воздействие – психологическое, метод борьбы – перестройка частоты.

Эффективность действия шумовой помехи

Можно характеризовать минимальной дальностью противодействия и максимальной дальностью обнаружения. Можно рассмотреть два случая: когда цель и источник помехи совмещены и когда не совмещены.

1. Цель и помеха совмещены. Под максимальной дальностью обнаружения будем понимать ту дальность, на которой цель уверенно обнаруживается на фоне помех. Под минимальной дальностью противодействия $D_{\min\text{РПД}}$, на которой цель полностью подавляется помехой. По абсолютной величине они будут одинаковы. Введем коэффициент подавления R_{Π} .

Под коэффициентом подавления будем понимать отношение мощности помехи на входе приемника к мощности сигнала на входе приемника при полном подавлении.

$$R_{\Pi} = \frac{P_{\Pi}}{P_c}; \quad P_c = \frac{P_{\text{РЛС}} G_{\text{РЛС}} S_{\text{ЭФ}} S_{\text{ПР}}}{16\pi^2 D^4}$$

$$P_{\Pi} = \frac{P_{\text{ПП}} G_{\text{ПП}} S_{\text{ПР}} \gamma \Delta f_{\text{РЛС}}}{4\pi D^2 \Delta f_{\text{ПП}}},$$

где $\frac{\Delta f_{\text{РЛС}}}{\Delta f_{\text{ПП}}}$ может быть равна 1,

γ - коэффициент деполяризации .

$$R_{\Pi} = \frac{P_{\text{ПП}} G_{\text{ПП}} S_{\text{ПР}} \gamma \Delta f_{\text{РЛС}} 4\pi^2 D^4}{(4\pi D)^2 \Delta f_{\text{ПП}} P_{\text{РЛС}} G_{\text{РЛС}} S_{\text{ЭФ}} S_{\text{ПР}}},$$

$$R_{\Pi} = \frac{P_{\text{ПП}} G_{\text{ПП}} \gamma \Delta f_{\text{РЛС}} 4\pi D^2}{\Delta f_{\text{ПП}} P_{\text{РЛС}} G_{\text{РЛС}} S_{\text{ЭФ}}},$$

$$D_{\max} = D_{\min \text{ РПД}} = \sqrt{\frac{\Delta f_{\text{ПП}} P_{\text{РЛС}} G_{\text{РЛС}} S_{\text{ЭФ}} R_{\text{П}}}{P_{\text{ПП}} G_{\text{ПП}} \gamma \Delta f_{\text{РЛС}} 4\pi}}$$

4.6. Радиодезинформация

Понимаются всякие действия, направленные на переключение внимания подавляемой РТС на заранее введенные ложные цели или сигналы.

В-52 имеет 4 спецракеты, которые при выпуске ничем не отличаются от самого самолета на экране (яркость свечения пятна, $S_{\text{эф}}$, скорость). Полет ракет длится несколько десятков секунд.

4.7. Понятие о контррадиопротиводействии

Понимаются все мероприятия, направленные на уменьшение эффективного действия:

1. Создание сигналов сложной формы, трудно поддающихся быстрому анализу (шумоподобных).
2. Прием сигналов на несколько РПУ, разнесенных по частоте и в пространстве и с таким расчетом, чтобы информация, поступающая на один РПУ, была недостаточна для полной информации о цели.

ПАССИВНЫЕ ПОМЕХИ И БОРЬБА С НИМИ. СИСТЕМЫ СДЦ

ПП бывают естественные и искусственные. Под искусственными помехами понимают специально поставленные отражающие предметы.

$$\text{Коэффициент подавления: } K_{\text{п}} = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{о}}} = \frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{ц}}} = \frac{nS_{\text{полуволн.дип}}}{S_{\text{ц}}},$$

n – число полуволновых диполей.

$$S_{\text{п.д}} = 0,11\lambda^2, \quad n = \frac{K_{\text{п}}S_{\text{ц}}}{S_{\text{п.д}}}$$

$$\text{Пример: } K_{\text{п}} = 5; S_{\text{ц}} = 10 \text{ м}^2; \lambda = 10 \text{ см}; n = \frac{5 \cdot 10}{0,11 \cdot 10^{-2}} = 50 \text{ 000}.$$

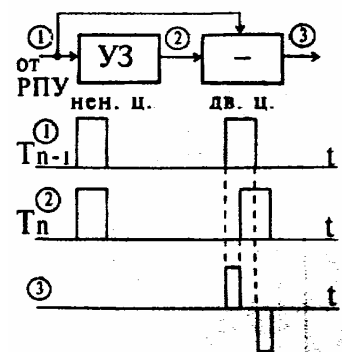
Лучше всего позволяет выделить сигналы движущихся целей относительно неподвижных и малоподвижных целей система селекции движущихся целей (СДЦ).

Различие (селекция) основана на разности скоростей, при равных скоростях СДЦ пользоваться нельзя.

5.1. Основные положения

СДЦ может быть когерентной и некогерентной. Некогерентные системы основаны на выявлении различия в скоростях непосредственно.

Недостаток этой системы в том, что она имеет слишком малый диапазон рабочих скоростей и для обеспечения нормального сравнения иногда бывает



мало задержки на период повторения. Этот главный недостаток усугубляется при большом количестве целей.

Достоинство: простота.

Когерентные системы подразделяют на непрерывные и импульсные.

Когерентные – такие системы, в которых обеспечивается когерентность при передаче и приеме. Когерентная система основана на эффекте Доплера, т.е. при движении объекта появляется частота Доплера, которая

определяется:
$$F_d = \pm \frac{2v_r}{c} f_0,$$

где v_r – радиальная частота;

f_0 – частота излучения.

Когерентная система чувствительна только к изменению радиальной скорости.

Непрерывная когерентная РЛС характеризуется тем, что излучается сигнал с постоянной частотой, а на РПрУ попадают сигналы, излучаемые и отраженные от целей. Если цель движется, то излучаемый и отраженный сигналы будут иметь разницу во времени.

Так как импульсная РЛ имеет много достоинств, то потребовалось создание систем СДЦ для импульсных РЛС. По принципу создания импульсного напряжения различают 4 вида когерентно-импульсных способов выделения отметки цели.

1. Создание непрерывных эталонных колебаний, частота и фаза которых полностью соответствуют частоте и фазе ВЧ-заполнения излучаемого импульса. Причем эта когерентность обеспечивается на любом промежутке времени. Существуют прямые и косвенные методы измерения когерентности. Применяются косвенные методы. Этот способ называется истинно-когерентным.

2. Создание ВЧ-колебаний, частота и фаза которых в момент излучения импульса соответствует ВЧ-заполнению импульса. Поэтому реально обеспечить когерентность на данный или несколько лежащих рядом периодов повторения РЛС.

3. Этот способ характеризуется тем, что в качестве эталонных напряжений используется непосредственно сам излучаемый импульс, задержанный на определенную (заданную) длительность.

Все рассмотренные системы можно считать с внутренней когерентностью.

4. В качестве эталонных колебаний используются отражения от различных местных предметов, находящихся в данном разрешающем объеме, там, где и находится цель. Эта система называется системой с внешней когерентностью.

Последние три называют псевдокогерентными.

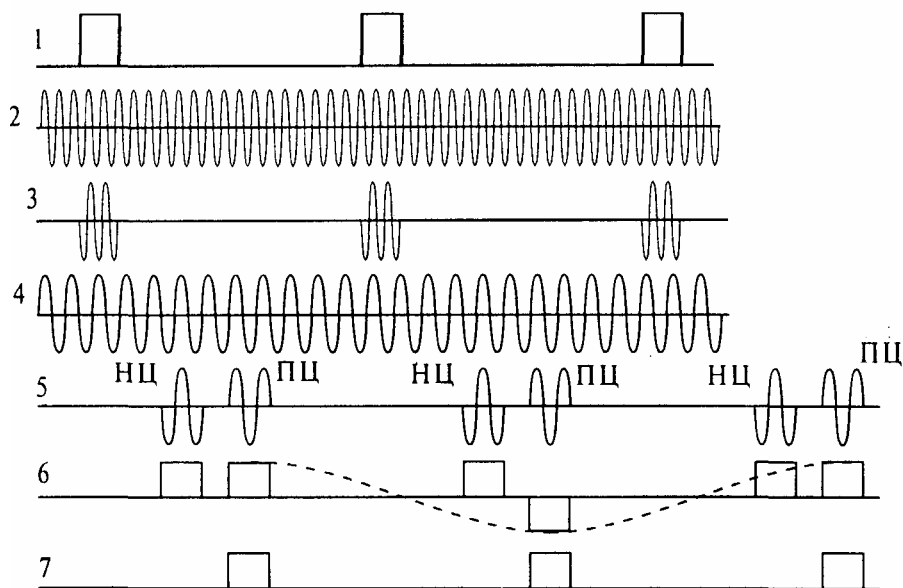
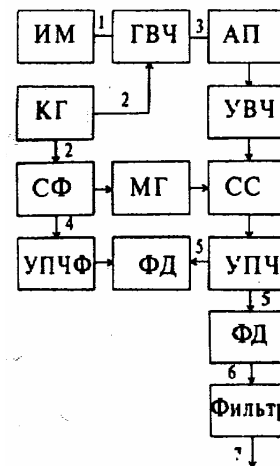
Система первого вида представлена на рисунке: ИМ – импульсный модулятор; КГ – когерентный гетеродин; СФ – смеситель фазирующих сигналов; СС – смеситель сигналов цели.

Ниже приведена поясняющая диаграмма.

Достоинство: когерентность обеспечивается на любой момент времени.

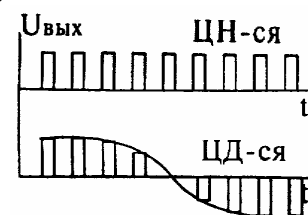
Недостаток: трудность в обеспечении стабильной фазы и частоты ГВЧ, КПД 20 – 30 %.

Используются только в особо точных РРС на небольших дальностях, где трудно использовать магнетроны, у которых наиболее высокий КПД.



5.2. Фазочувствительное приемное устройство (ФПУ)

Если цель неподвижна, то на выходе имеем импульсы одинаковой амплитуды. Если же цель движется, то на выходе ФПУ появляется амплитудная модуляция (см. рисунок).



Стробоскопический эффект характеризуется тем, что нельзя больше чем в 2 раза увеличить частоту.

$$F_D = F_{\text{повт}}, F_{\text{У слепая}} = \frac{nF_{\text{повт}}\lambda}{2} = \frac{n\lambda}{2} \frac{1}{T_{\text{повт}}}$$



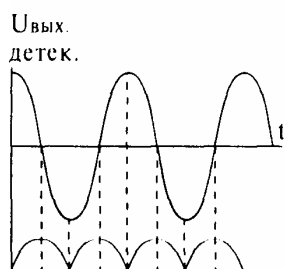
Слепой называется такая скорость движения цели, при которой цель за период повторения проходит расстояние, кратное числу полуволн. Цель будет невидима, так как она будет казаться неподвижной.

Эффект слепых скоростей определяется только дискретностью РЛС.

5.3. Эффект слепых фаз

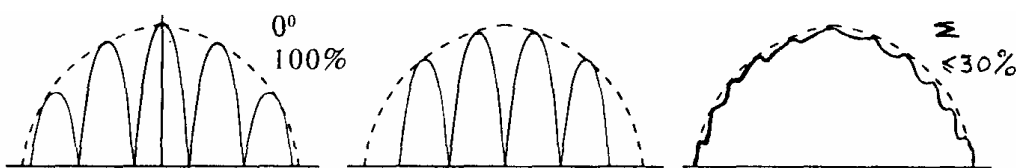
Выходное напряжение зависит от разности фаз двух напряжений.

$$K_{\Gamma} = \left| \frac{\partial U_{\text{ВЫХ}}}{\partial \varphi} \right|$$

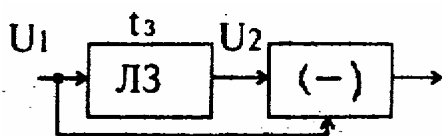


Слепые фазы зависят от свойств фазосравнивающих устройств.

Эффект слепых фаз (может быть и в непрерывных системах, где есть фазосравнивающее устройство) проявляется 100%-ной амплитудной модуляцией пачки радиоимпульсов или выпаданием импульса из пачки, что приводит к уменьшению ее энергии и искажению формы (см. рисунок).



С выхода фазочувствительного устройства сигнал от движущейся цели имеет АМ, а от неподвижной – импульс имеет постоянную амплитуду. Можно поставить индикатор с амплитудной отметкой. Так как в РЛС используется индикатор с амплитудной отметкой, то применяют СДЦ и требуется через периодное компенсирующее устройство.



Для неподвижных целей надо: $U_1 - U_2 = 0$.

Применяем операторное преобразование.

$$u_1(t) \rightarrow F_1(p); u_2(t) \rightarrow F_2(p),$$

$$F_1(p) = \int_0^{\infty} u_1(t) e^{-pt} dt; F_2(p) = \int_0^{\infty} u_2(t) e^{-pt} dt,$$

$$F_2(p) = \int_0^{\infty} u_1(t - t_3) e^{-pt} dt; F_1(p) \text{ и } F_2(p) - \text{изображение прямого и за-}$$

держанного сигналов.

$$F_2(p) = \int_0^{\infty} u_1(t - t_3) e^{-pt} dt = \int_0^{\infty} u_1(\xi) e^{-p(\xi + t_3)} d\xi = e^{-pt_3} \int_0^{\infty} u_1(t) e^{-pt} dt = e^{-pt_3} F_1(p),$$

$$\xi = t - t_3; t = \xi + t_3; F_2(p) = e^{-pt_3} F_1(p) - \text{теорема запаздывания.}$$

$$\text{Коэффициент передачи } K(p) = \frac{F_1(p) - F_2(p)}{F_1(p)} = 1 - e^{-pt_3}.$$

$$\text{Перейдём } p \rightarrow j\omega, K(p) = K(j\omega) = 1 - e^{-j\omega t_3}.$$

Перейдем к тригонометрической форме:

$$K(j\omega) = 1 - \cos \omega t_3 + j \sin \omega t_3; K(\omega) = |K(j\omega)|,$$

$$K(\omega) = \sqrt{(1 - \cos \omega t_3)^2 + \sin^2 \omega t_3} = \sqrt{2} \sqrt{1 - \cos \omega t_3},$$

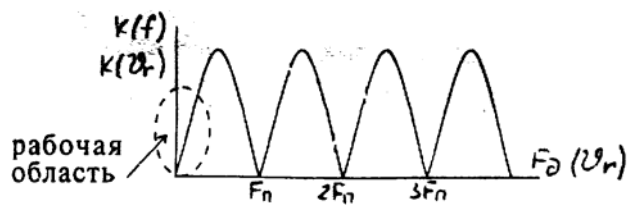
$$K(\omega) = 2 \left| \sin \frac{\omega t_3}{2} \right|,$$

$$K(f) = 2 \left| \sin \frac{2\pi f t_3}{2} \right| = 2 \left| \sin \pi f t_3 \right| = 2 \left| \sin \pi F_{\text{д}} t_3 \right|.$$

Так как у нас имеются импульсы, промодулированные частотой Доплера, то имеется частота биений, и зная, что частота Доплера $F_D = \frac{2v_r}{\lambda}$, получаем при $t_3 = T_n$.

$$K(f) = 2 \left| \sin \pi \frac{2v_r}{\lambda} t_3 \right| = 2 \left| \sin \pi \frac{2v_r}{\lambda} T_n \right|.$$

Значение "слепой скорости" $v_{r \text{ сл}} = n \frac{\lambda}{2} F_n = n \frac{\lambda}{2} \frac{1}{T_n}$.

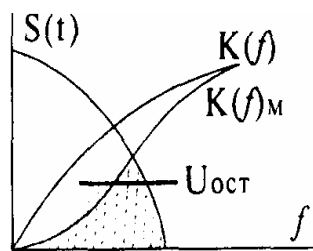


В итоге получим $K(f)_{v_r=v_{rcc}} = 2 |\sin \pi n| = 0$.

5.4. Уменьшение уровня остаточного сигнала

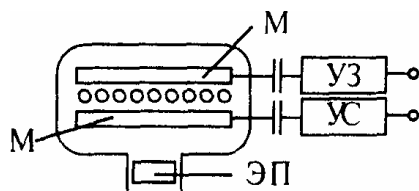
Помеха имеет $S(f)$ спектр значения в несколько десятков герц.

Уровень остаточного напряжения определяется площадью перекрытия. Значит, выгодно скорректировать, получаем: $K(f)_M = K''(f)$, т.е. необходимо включить последовательно несколько череспериодных компенсаторов.



В качестве устройств задержки используют сосредоточенные ЛЗ, потенциалоскопы. Они должны поддерживать широкий спектр частот (1 – 10 МГц), большое время задержки (до 100 мкс), большую точность задержки. Все это обеспечивает автоматическая подстройка длительности.

Используют звуковые (с ртутным звуководом) линии, магнестрикционные.



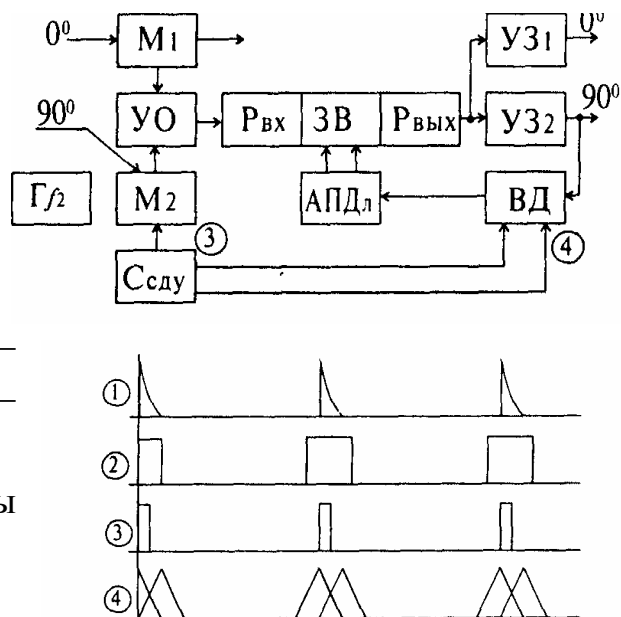
Потенциалоскоп – прибор электровакуумный, схема его приведена на рисунке: М – мишень; ЭП – электропрожектор; УЗ – усилитель записи; УС – усилитель считывания.

Через УЗ мишень, которой является металлическая сигнальная пластина с чувствительным эмиссионным слоем, облучается электронным пучком, который разворачивается ЭП. Если уровень сигнала более положительный, то этим участком мишени поглотится большее число электронов. В установленном режиме на М образуется потенциальный рельеф и записывается изображение сигнала. В следующий период снова происходит развертывание луча и снова записывается. Через УС снимают разность сигналов задержки на период повторения, т.е. происходят и задержка, и вычитание, причем не вносятся затухания. Высокая стабильность определяется стабильностью устройств развертки. Они имеют малый вес, габаритные размеры, стоимость. Недостаток: большой уровень собственных шумов.

5.5. Упрощенная структурная схема линии задержки с автоподстройкой длительности

Названная схема (см. рисунок) состоит из следующих элементов: ЛЗ – ультразвуковая; УО – устройство объединения; ЗВ – звуковод; Γf_1 , Γf_2 – генераторы поднесущих частот; М – модулятор; $C_{сдц}$ – синхронизатор СДЦ; ВД – временной дискриминатор; УЗ 1,2 – усилители задержки сигналов.

Основные соотношения приведены на временной диаграмме.

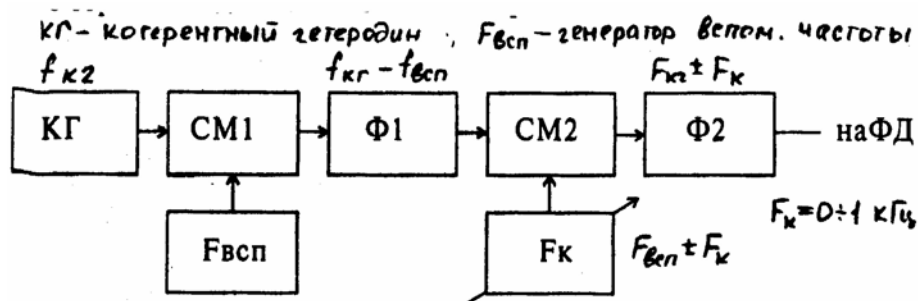


5.6. Компенсация движения помехи и собственного движения РЛС

При движении помехи со скоростью $V_{пг}$ появляется $F_{дп}$. Надо сканировать $F_{дп}$, чтобы она была равна нулю. Надо ввести фазовый набег $\Delta\varphi_{п}$ перед ФД. $\Delta\varphi_{п}$ можно ввести прямо и косвенно, изменяя частоту когерент-

ного гетеродина. Чаще используется второй метод, так как технически реализуется значительно проще. Изменение частоты происходит в пределах.

Устройство для косвенного измерения представлено ниже.



5.7. Требования к узлам системы СДЦ

Если при череспериодной компенсации, т.е. при сравнении через период T_{Π} , получается набег $\Delta\varphi$, то он определяется $\Delta\omega$ и t_d :

$$\Delta\varphi = \Delta\omega t_d, \text{ где } \Delta\omega - \text{частотная нестабильность.}$$

Пусть $\Delta\omega = \frac{\partial\omega}{\partial t} T_{\Pi}$ (частота изменяется плавно).

Отсюда $\Delta\varphi = \frac{\partial\omega}{\partial t} T_{\Pi} t_d$.

Выходное напряжение биений с ФД:

$$U_{\delta} = U_{\text{КГ}} (1 + m \cos \varphi); \quad U_c \leq U_{\text{КГ}} \quad (U_c \text{ равна напряжению сигнала})$$

$$m = \frac{U_c}{U_{\text{КГ}}}.$$

Продифференцируем по фазе $\frac{\partial U_{\delta}}{\partial \varphi} = |U_c \sin \varphi|$.

$\frac{\Delta U_{\delta}}{U_{\delta 0}} \approx \sin \varphi \cdot \Delta\varphi$ – остаточный уровень сигнала, который остается

на входе ФД при неподвижной цели.

Худший случай, когда $\sin \varphi \rightarrow 1$. Тогда $\frac{\Delta U_{\delta}}{U_{\delta 0}} \approx \Delta\varphi$.

Считается, что видность целей на экране РЛС, когда выполняется соотношение $\frac{\Delta U_{\phi}}{U_{\phi 0}} \leq 0,05 - 0,06$.

Такое же требование накладывается на $\Delta\phi$.

$$2\pi \frac{\partial f}{\partial t} T_{\Pi} t_{\text{Д}} = 0,06; \quad T_{\Pi} = 1000 \text{ мкс}; \quad t_{\text{Д}} = 1000 \text{ мкс}.$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{0,06}{2 \cdot 3,14} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} = 10 \text{ кГц/с}; \quad \Delta f = 10 \text{ Гц}.$$

Стабильность частоты легко обеспечить для когерентного гетеродина и сложно обеспечить для местного. Требуется устройство для поддержания частоты.

5.8. Требования к ГВЧ (импульсный)

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{0,06}{2\pi} \tau t_{\text{Д}} = \frac{0,06}{2\pi} \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3} = 10 \text{ МГц/с} - \text{ скорость ухода,}$$

$$\tau = 1 \text{ мкс},$$

$$\Delta f = \partial f \cdot \tau / \partial t = 10^7 \cdot 10^{-6} = 10 \text{ Гц}.$$

Условия по стабильности лучше, чем у местного гетеродина, так как занимает меньше времени.

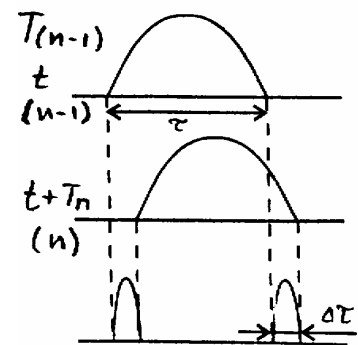
5.9. Требования к стабильности устройств задержки

Требования поясняются следующими соотношениями и рисунком.

$$\Delta\tau \ll \tau,$$

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{2\Delta\tau}{\tau} \leq 0,05 \div 0,06 - \text{ относительный уровень остатка.}$$

$$\frac{\Delta\tau}{\tau} \leq 0,03 \Rightarrow \Delta\tau \approx 0,03 \text{ мкс}.$$

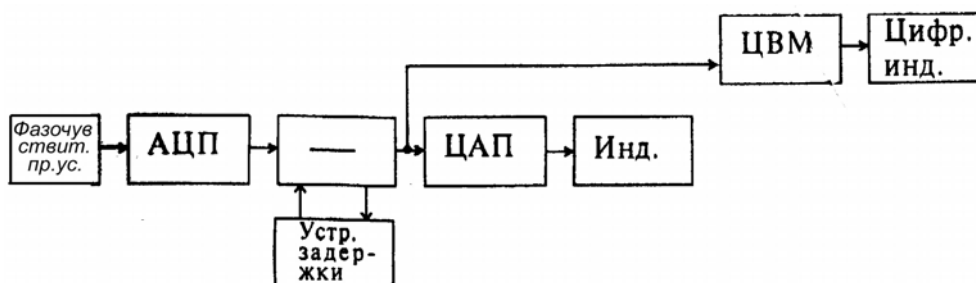


5.10. Понятия о цифровых системах СДЦ

СДЦ с помощью цифровой обработки можно проводить двумя путями:
1. Использование ЦВМ для определения и фиксации координат (см. п. 8.3).

2. Использование когерентно-импульсных систем.

Иллюстрация принципа цифровой обработки с череспериодным компенсирующим устройством:



На выходе ФЧПрУ получаем последовательность импульсов, отраженных от целей. От неподвижных целей они постоянны по амплитуде, а от движущихся целей промодулированы по амплитуде. В АЦП каждый импульс получает определенный код. Код импульса каждой цели поступает в устройство вычитания и в устройство задержки, и с помощью их последовательности происходит вычитание через период или через n периодов. После этого код (разность их) поступает на ЦАП, в котором проводится обратная операция. В результате получаем импульсы только движущихся целей.

СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

Указанные системы характеризуются диапазоном в $10^{12} - 10^{17}$ Гц.

Особенности СОЛ:

1. Возможность генерации очень коротких импульсов.
2. Возможность генерации очень мощных импульсов простыми средствами от единиц до десятков мегаватт.
3. Из-за уменьшения длины волны размеры излучающих систем становятся очень маленькими. Поэтому легко можно получить разрешение и точность в определении координат.
4. В оптическом диапазоне очень маленькое затухание получается при распространении в водной среде.

Трудности эксплуатации СОЛ:

1. Из-за узкого луча, который увеличивает помехозащищенность, возникают трудности в юстировке и направлении излучающих систем.
2. Большое затухание в атмосфере при наличии гидрометеора и сильное влияние солнца и обратного рассеяния.

6.1. Приемники оптического излучения

Бывают приемники инфракрасного, или теплового, излучения (терморезисторы, термодиоды, болометры), внешнего фотоэффекта (фотоэлектронные умножители) и внутреннего излучения (фоторезисторы, фотодиоды).

6.2. Передатчики СОЛ

Существует несколько видов передатчиков СОЛ: мазеры (для инфракрасного спектра) и лазеры (для оптического и видимого спектра), полупроводниковые.

Полупроводниковые лазеры используют в импульсных СОЛ.

В оптическом диапазоне можно проводить амплитудную и угловую модуляции.

Все известные методы определения координат могут быть использованы в СОЛ для дальности и направления. Только точность определения координат в амплитудном методе можно получить такую же, как и в фазовом.

6.3. Обнаружение оптического сигнала. Основное уравнение дальности СОЛ

Если $P_{\text{Ш}} \rightarrow 0$, то $P_{C \text{ min}} \rightarrow 0$. В оптическом диапазоне такой подход неправомерен.

Если $P_{\text{Ш}} \rightarrow 0$, то $P_{\text{min min}} \rightarrow \frac{h\nu B}{\alpha}$, где h – постоянная Планка; $h = 6,66 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; B – полоса частот излучения; ν – частота излучения; α – квантовая эффективность.

Если $P_{\text{Ш}} \neq 0$, то $P_{\text{min min}} = \frac{h\nu B}{\alpha} m_{\text{ср}}$, где $m_{\text{ср}}$ – количество квантов, необходимых для обнаружения с заданными вероятностями правильного обнаружения и ложной тревоги.

6.4. Точечная цель

Размеры цели меньше сечения луча. Поток мощности у цели:

$$P_{\text{ц}} = \frac{P_{\text{Л}} G_{\text{Л}}}{4\pi D^2}.$$

Цель излучает вторичную мощность: $P_{\text{ц}} = P_{\text{ц}} S_{\text{эф}}$.

Мощность на входе приемника: $P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{ц}}}{4\pi D^2} S_{\text{пр}} K_{\text{А}}$,

где $K_{\text{А}}$ – коэффициент усиления мощности антенны.

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{Л}} G_{\text{Л}} S_{\text{эф}} S_{\text{пр}} K_{\text{А}}}{16\pi^2 D^4}; \quad D_{\text{max}} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{Л}} G_{\text{Л}} S_{\text{эф}} S_{\text{пр}} K_{\text{А}} \alpha}{16\pi^2 h\nu B m_{\text{ср}}}} \quad (\text{для точечной цели}).$$

Пример

$$\lambda = 0,694 \text{ мкм}; \quad G_{\text{Л}} = 10^6; \quad m_{\text{ср}} = 18; \quad B = 10^8 \text{ Гц}; \quad \alpha = 3,5 \cdot 10^{-2}; \quad S_{\text{эф}} = 2 \text{ м}^2,$$

$$S_{\text{пр}} = 10^{-2} \text{ м}^2; K_A = 50; h\nu = 3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, D_{\text{max}} = 0,8 \cdot \sqrt[4]{P_{\text{Л}}[\text{Вт}]}, \text{ км.}$$

Если $P_{\text{Л}} = 10 \text{ кВт}$, то $D_{\text{max}} = 8 \text{ км}$.

$$P_{\text{Л}} = 1 \text{ МВт}, \text{ то } D_{\text{max}} = 25 \text{ км.}$$

Для радиолокации: $P_{\text{пр min}} = kTBk_P k_{\text{Ш}} = 2 \cdot 10^{-11} \text{ Вт}$.

Та же самая антенна при $\lambda = 3 \text{ см}$: $D_{\text{max}} = 0,17 \cdot \sqrt[4]{P_{\text{прд}}[\text{Вт}]}, \text{ км.}$

$$\theta_{0 \text{ рлс}} = 1,22 \frac{\lambda}{d} = 0,4 \text{ рад},$$

$$\theta_{0 \text{ ол}} = 10^{-5} \text{ рад.}$$

РЛС и СОЛ с одинаковыми размерами антенн имеют примерно одинаковые значения по дальности, однако разрешающая способность у СОЛ намного больше, чем у РЛС. Если сделать разрешающую способность РЛС такую же, как и СОЛ, то такая РЛС будет существенно больше, чем СОЛ.

2. Размеры цели больше сечения луча.

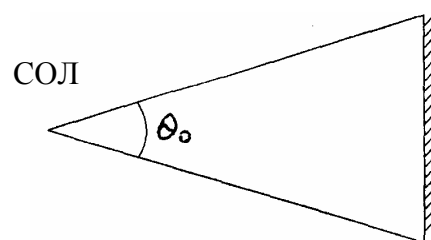
Это только для СОЛ.

$$S_{\text{эф}} = SrG_{\text{ц}}.$$

Площадь освещения: $S = (D\theta_0/2)^2 \pi$.

Коэффициент отражения: $r = (0,1 \div 0,5)$.

Направленные свойства цели: $G_{\text{ц}} = \cos\theta; \theta \rightarrow 0; G_{\text{ц}} = 1$.



$$S_{\text{эф}} = \frac{D^2 \theta_0^2 \pi}{4} r; D_{\text{max} 2} = \sqrt{\frac{P_{\text{Л}} G_{\text{Л}} S_{\text{пр}} K_A \alpha \theta_0^2}{64 \pi h \nu B m_{\text{ср}}}},$$

$$D_{\text{max}} = 0,5 \sqrt{P_{\text{Л}}[\text{Вт}]}, \text{ км.}$$

Если $P_{\text{Л}} = 10 \text{ кВт}$, то $D_{\text{max}} = 50 \text{ км}$.

Если $P_{\text{Л}} = 1 \text{ МВт}$, то $D_{\text{max}} = 500 \text{ км}$.

6.5. Учет влияния среды распространения

Необходимо учитывать в СОЛ затухания в атмосфере, как и в РЛ, и влияние обратного рассеяния, а также засветку внешнего фона, который ограничивают дальность.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАДИОСИСТЕМ

Под системами ближней радиолокации понимают системы радиолокации, дальности действия которых соизмеримы с геометрическими размерами взаимодействующих объектов и с ошибками выдачи исполнительных команд.

7.1. Особенности систем ближней радиолокации (СБРЛ)

В отличие от других радиосистем управления, основная задача которых – управление полетом объектов, СБРЛ работают на конечных участках траекторий столь незначительной протяженности, что изменения траектории полета здесь, как правило, уже не происходит. Главной задачей на этих участках становится управление механизмом самого объекта для достижения конечной цели, стоящей перед ним – запуска исполнительных механизмов, стыковочных устройств, выдачи команд в систему телеметрии, запуска тормозных двигателей, взрывателей и т. д. Для решения этих задач работа СБРЛ приобретает совершенно особый функциональный характер, существенно отличающий их от обычных РЛС.

Так, время, отводимое на обработку сигналов и выдачу выходной информации, уменьшается, как правило, примерно пропорционально диапазону изменения дальности СБРЛ, т.е. примерно в 10000 раз. В соответствии с этим при постоянстве энергии принимаемого сигнала (определяющего потенциальные возможности системы) пороговая чувствительность приемников по мощности ухудшается во столько же раз; с другой стороны, с уменьшением дальности уменьшается требуемый потенциал системы (соотношение излучаемой и принимаемой мощностей).

Если на предельно больших дальностях главной проблемой является, как правило, вопрос чувствительности системы, то на предельно малых – проблема «мертвой зоны».

Функциональное построение СБРЛ не отличается в принципе от построения активных РЛС. Однако есть особенности, касающиеся всех основных сторон работы системы: характера отраженного сигнала, энергетических, временных характеристик, содержания выходных команд и т.п.

В обычных условиях «дальней» радиолокации отражающий объект может рассматриваться как отражающая точка; изменение интенсивности отраженного сигнала рассматривается как флуктуации сигнала от точечного отражателя. В условиях СБРЛ отражение приобретает множественный характер. Это значительно усложняет структуру отраженного сигнала, в образовании которого решающее значение приобретают не только амплитудные, но и фазовые соотношения между отражениями от различных элементов объекта.

Из уравнения дальности радиолокации можно получить энергетический потенциал системы:

$$\Pi = \frac{P_{\text{И}}}{P_{\text{ПР.МИН}}} = \frac{64\pi^3 D_{\text{МАХ}}^4}{G_{\text{РПДУ}} G_{\text{РПРУ}} \lambda^2 S_{\text{ЭФ}}},$$

где $P_{\text{И}}$ – мощность излучения; $P_{\text{пр.мин}}$ – номинальная чувствительность приемника; $G_{\text{РПДУ}}$, $G_{\text{РПРУ}}$ – КНД приемной и передающей антенн; λ – длина волны; $S_{\text{Э}}$ – эффективная отражающая поверхность.

Уменьшается энергетический требуемый потенциал системы (от D_{max}), несмотря на то что КНД у СБРЛ обычно меньше, чем «дальней» РЛ.

Разница в потенциалах Π у СБРЛ и РЛС достигает нескольких порядков. Возрастает также абсолютная величина $P_{\text{пр}}$ – мощность сигнала на входе приемника СБРЛ, несмотря на уменьшение $P_{\text{и}}$, вследствие конструктивных соображений.

В СБРЛ изменяются временные характеристики, так как расстояния в несколько десятков метров подвижными объектами проходятся в $10^{-1} - 10^{-3}$ с. Ограничивается время обработки сигнала, энергия которого, несмотря на увеличение мощности, остается такого же порядка, как в «дальних» РЛС.

Для СБРЛ повышаются требования по быстродействию. В условиях применения систем временной и пространственной селекции проблемой становится метровая зона по дальности.

7.2. Особенности импульсных СБРЛ. Принцип действия

Обычно в РЛС $\Delta P_{\text{пр}} \gg P_{\text{пр.min}}$, где $\Delta P_{\text{пр}}$ – просачивающаяся мощность с РПДУ на РПрУ. Существующая при этом «мертвая» зона (вследствие введения стробирования приемника):

$$R_{\text{min}} \geq \frac{t_{\text{и}}}{2c},$$

т.е. при $R_{\text{min}}=15$, $t_{\text{и}} < 0,1$ мкс, что технически сложно реализовать для ограниченных массы и габаритных размеров. В СБРЛ (часто) имеет место соотношение, обратное

$$\Delta P_{\text{пр}} < P_{\text{пр.min}}.$$

Чувствительность приемника мала, отпадает необходимость в стробировании входа приемной антенны, таким образом, $t_{\text{и}}$ может быть любой длительности, диктуемой техническими соображениями. Это одна из важнейших особенностей аппаратуры СБРЛ.

Частота повторения импульсов запуска определяется требуемым числом импульсов для нормальной работы накопителя $N_{\text{и}}$ за время пролета объектом расстояния ΔL , не превышающего некоторого значения:

$$N_{\text{и}} T_n < \Delta T = \frac{\Delta L}{V},$$

откуда $F_N > \frac{N_{\text{и}} V}{\Delta L}$.

Для импульсных СБРЛ повышается устойчивость в отношении двух видов шумов:

- 1) тепловых;
- 2) вибрационных,

вследствие, во-первых, закругления ($P_{\text{пр.min}}$ выше) порогового уровня, и, во-вторых, спектр импульсных сигналов лежит выше спектра частот вибраций.

7.3. Особенности функционального и структурного построения СБРЛ

Функциональные построения активных СБРЛ различаются по степени автономности трактов передачи и приема, поэтому существуют:

- 1) некогерентные системы с полностью независимыми трактами передачи и приема;
- 2) когерентные системы, РПДУ и РПрУ связаны трактом опорного сигнала;
- 3) совмещение антенных систем в некогерентных, чаще когерентных системах;
- 4) совмещение передающего и приемного трактов при применении автодинов.

Для СБРЛ автодины больше всего соответствуют жестким конструктивным требованиям на массу и габаритные размеры. Часто при этом используется построение РПрУ по схеме прямого усиления, так как $P_{\text{пр.мин}}$ велико.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ

К системам автоматического сопровождения относятся системы, которые позволяют следить за целью по определенной координате и обеспечивающие при этом, как правило информацию о данной координате.

САС используются как для селекции целей по определенным координатам, так и для получения информации для систем самонаведения, радиоуправления.

САС обычно подразделяют на системы АСД (дальности) и АСН (направления) – угловых координат.

САС могут быть замкнутые, разомкнутые, цифровые или аналоговые. Способ излучения – импульсный и непрерывный. Чаще используют в САС импульсный метод излучения.

8.1. САС дальности

Простейшая система АСД одиночной цели

Ниже представлены упрощенная схема АСД одиночной цепи и ее временная диаграмма.

На схеме обозначены:

ВД – временной дискриминатор;

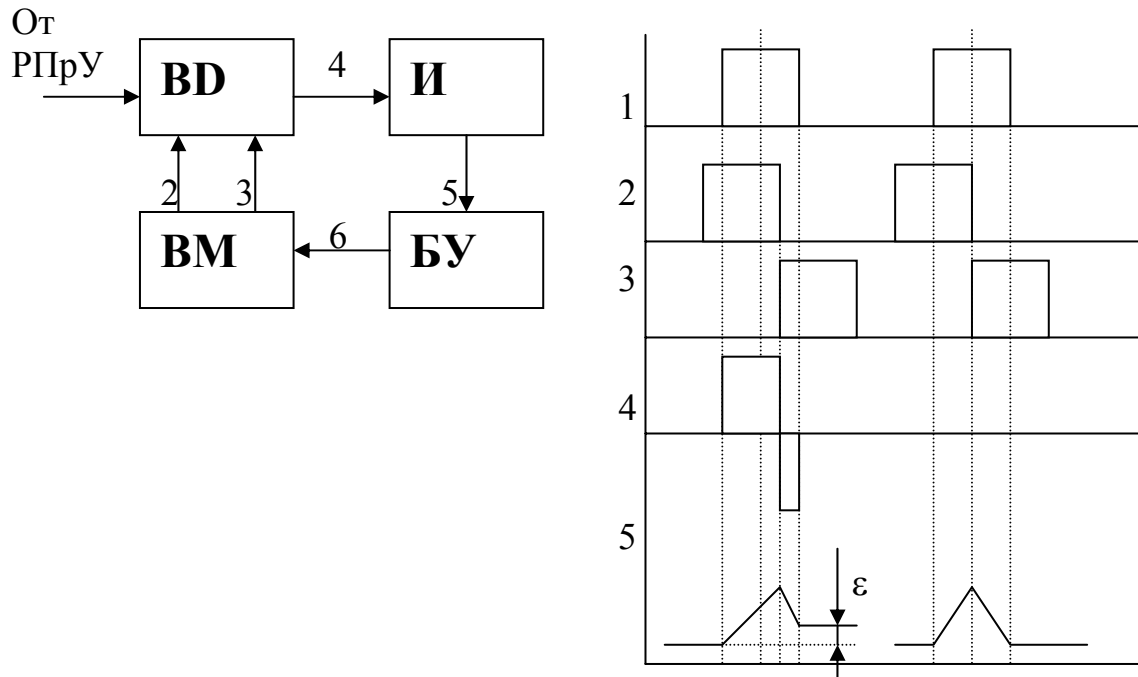
ВМ – временной модулятор;

И – интегратор;

БУ – блок управления.

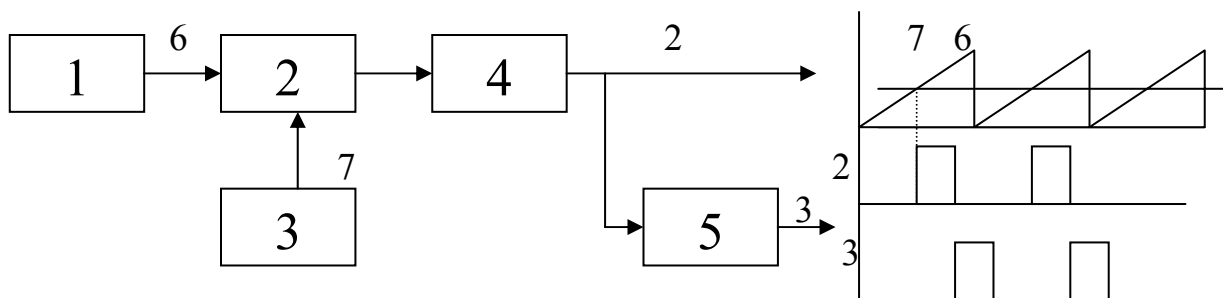
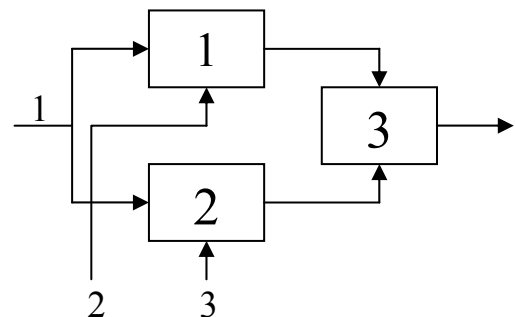
Если центр импульса не совпадает с пересечением селекторных стробов, то на выходе И нарастает сигнал ошибки, эта ошибка обрабатывается:

сдвигаются селекторные импульсы до пересечения с центром отраженного сигнала. По положению стробов судят о дальности цели.



Обратимся к схеме временного дискриминатора (ВД): 1, 2 – каскады совпадения; 3 – объединяющее устройство.

Схема временного модулятора (ВМ) и его временная диаграмма выглядят следующим образом:



На схеме обозначены: 1 – генератор пилообразного напряжения; 2 – компаратор; 3 – источник управляющего напряжения (ошибка); 4 – БГ

(блокинг, формирователь); 5 – ЛЗ (может быть тоже формирователем).

Такая САСД – замкнутая, импульсная – стремится отработать к „0” ошибку по положению (дальности), называется системой АСД с астатизмом первого порядка. Имеет ошибку по скорости и ускорению цели. Для ликвидации этих ошибок астатизм системы повышают, вводят еще интеграторы. Если не будет системой обрабатываться динамика движения цели, то может произойти срыв слежения.

Следовательно, в системах АСД необходимо иметь возможность найти цель, т.е. обеспечить вначале поиск цели, захват, затем – сопровождение, слежение.

АСД (по дальности и скорости)

Упрощенная структурная схема названных АСД (см. рисунок) состоит из следующих элементов:

А – антенна;

С – синхронизатор;

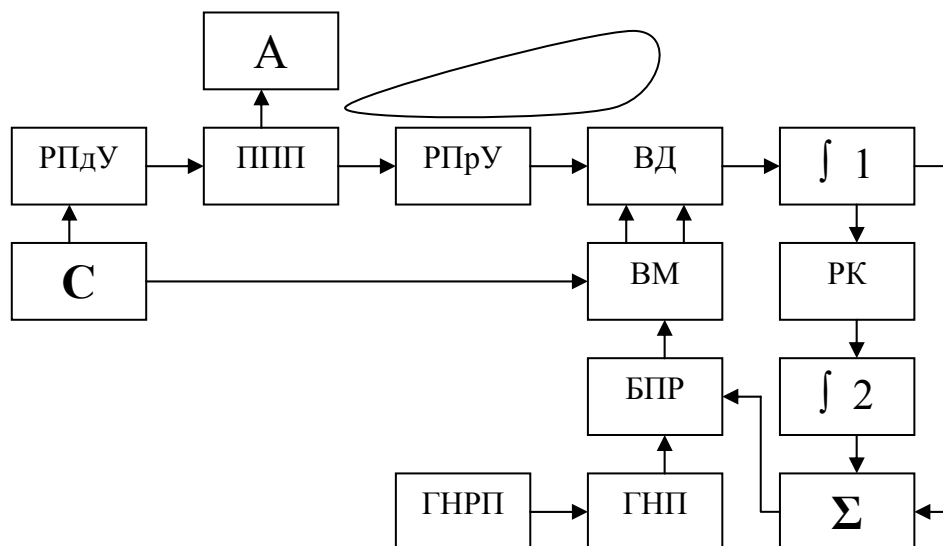
БПР – блок переключения режимов «поиск – сложение»;

ППП – переключение «прием – передача»;

ГНРП – генератор напряжения ручного поиска;

РК – разделительный каскад;

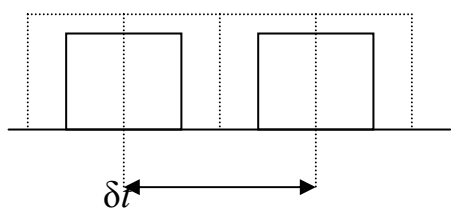
ГНП – генератор напряжения поиска.



Определим длительность стробов в режиме сложения (узких стробов), что позволит узнать разрешающую способность автосопровождения по дальности.

Разрешающая способность автосопровождения по дальности

Временное соотношение показано на диаграмме.



$$\delta D_{\text{АСД}} \geq \frac{c}{2} 2t_C = ct_C,$$

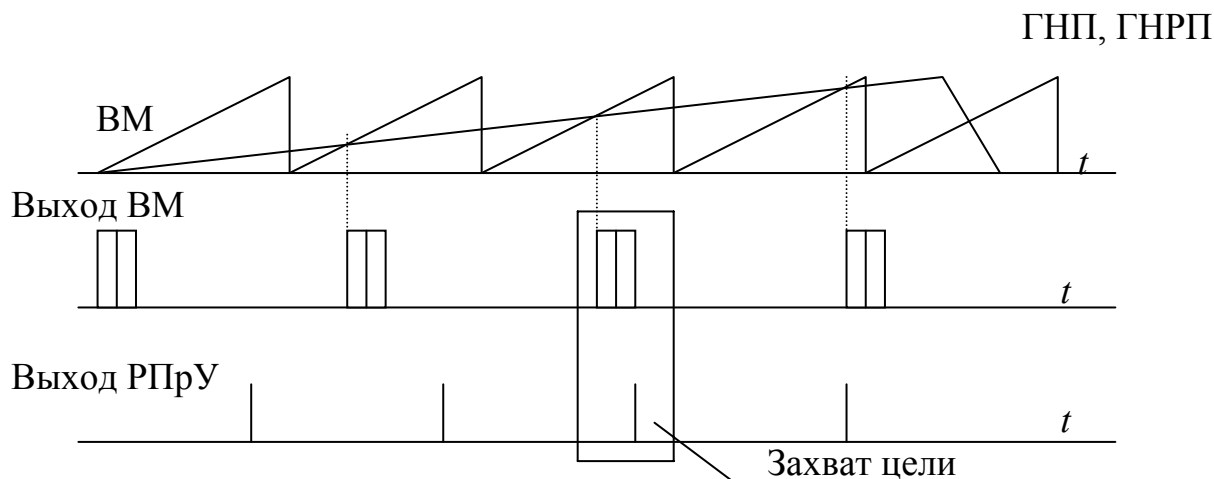
$$\delta D_{\text{АСД}} = \frac{c}{2} (t_{\text{И}} + 2t_C).$$

В РЛС без АСД $\delta D_{\text{МИН}} \geq \frac{ct_{\text{И}}}{2}$, т.е. разрешающая способность САСД ухудшается. Длительность стробов должна быть больше длительности импульса из практических соображений.

Если цель динамическая, движется с высокими скоростями, то при коротких стробах она может выйти из их зоны и сопровождение будет сорвано. Поэтому в режиме поиска (ручного и автоматического) стробы делаются вначале широкими, затем узкими.

Рассмотрим режим поиска на экранах сигналов по вышеприведенной схеме.

Процессы поиска иллюстрирует следующая диаграмма.



Стробы с выхода ВМ движутся по времени в пределах периода запуска РЛС. В случае попадания отраженного сигнала в строб БПР подключит к ВМ выход сумматора (сигнал ошибки), тем самым система окажется замкнутой в АСД.

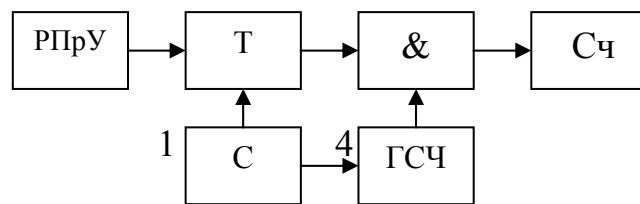
Режим ручного сопровождения отличается от режима поиска тем, что оператор с помощью ГНРП производит перемещение стробов по вре-

менной оси, пока они не совместятся с отраженным сигналом, что контролируется на экране РЛС. Ручное сопровождение используется тогда, когда автоматика бессильна. В случае ручного сопровождения АСД «замкнута», но в контуре системы находится ненадежное звено – человек.

Последовательность перехода с режима на режим: 1) режим ручного сопровождения; 2) режим широких стробов; 3) режим узких стробов.

Обычно ручной подстраховывает автоматический при потере цели.

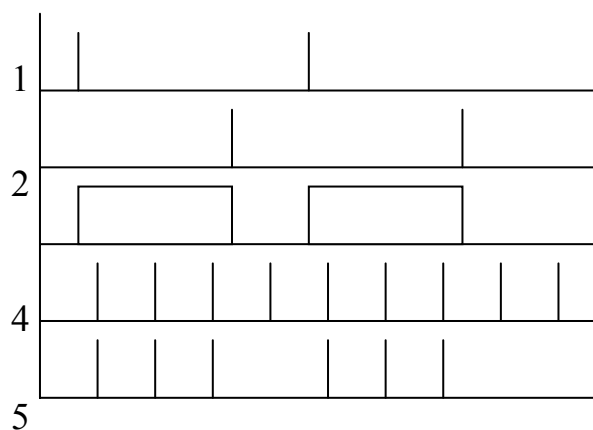
САСД со счетом импульсов



На рисунке представлена схема САД со счетчиком импульсов: Т – триггер; ГСЧ – генератор счетных импульсов; С – синхронизатор; Сч – счетчик.

Период счетных импульсов ГСЧ задает дискретность измерения дальности. В такой системе автосопровождение по дальности сводится к счету импульсов, число которых пропорционально дальности до цели.

Временные соотношения иллюстрирует диаграмма.



Очевидно, что

$$t_D = NT_{\text{СЧ}} = \frac{2D}{C},$$

$$D = \frac{cNT_{\text{СЧ}}}{2} = \frac{cN}{2F_{\text{СЧ}}}.$$

При этом методе автосопровождения по дальности снимается объективная информация о дальности цели; АСД при этом разомкнута.

Достоинства: 1) система безынерционна в смысле авторегулирования; 2) простая по структуре, но имеет недостатки:

а) цель только одна – ближайшая;

б) любая помеха вызывает ошибочное измерение, так как срабатывает триггер Т.

Для устранения этих недостатков требуется усложнить систему и стратегию поиска, сопровождения цели.

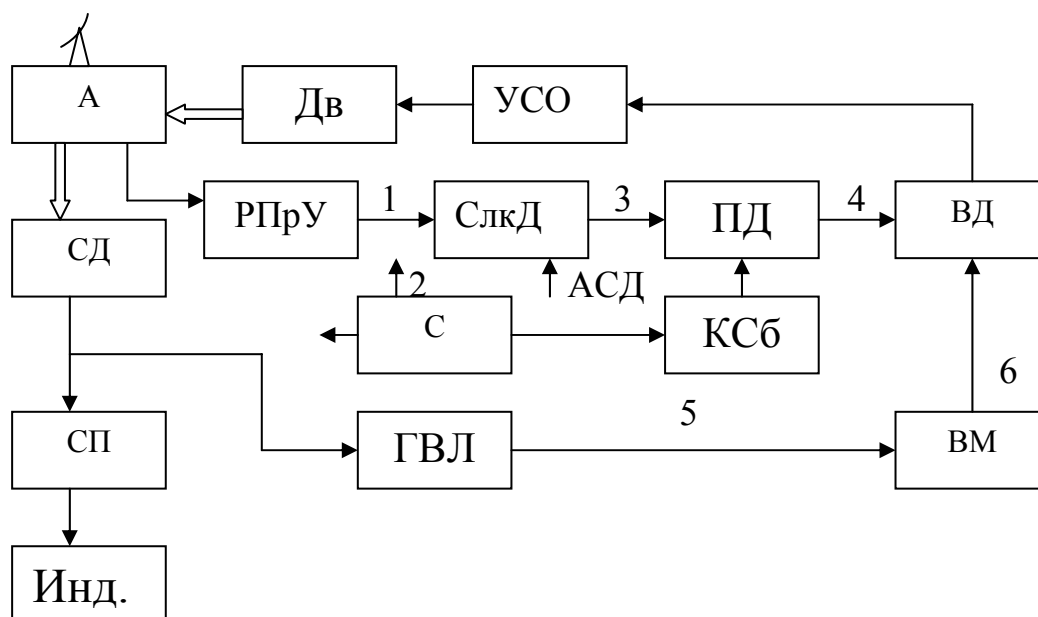
8.2. Системы автосопровождения по направлению

Чаще всего используются АСН по методу максимума, с коническим сканированием и моноимпульсные методы сопровождения.

Автосопровождение по направлению с использованием метода максимума

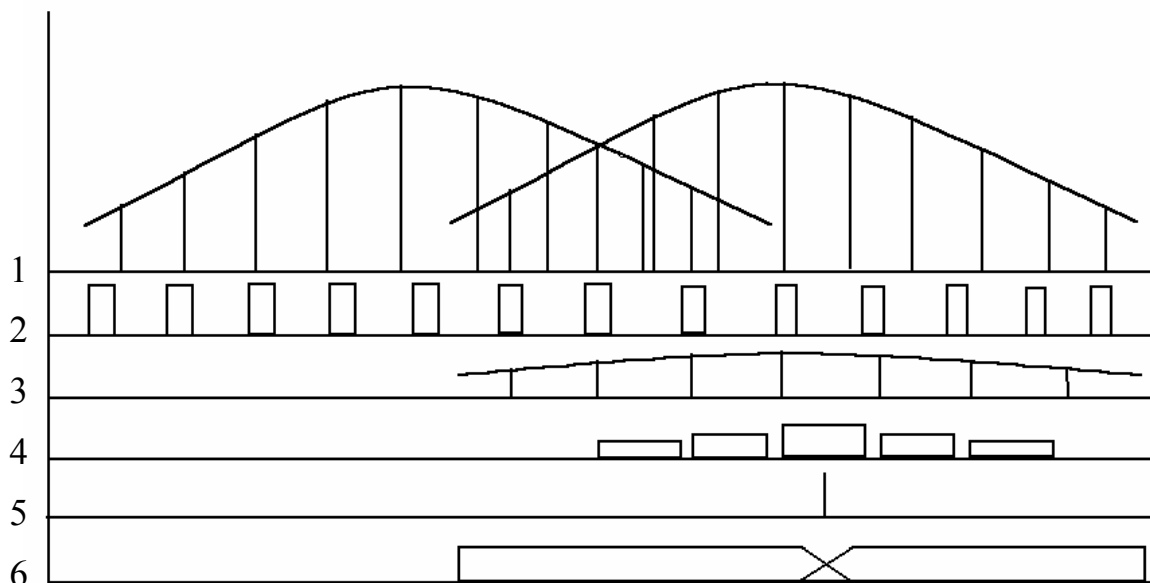
В таких системах из-за конечной ширины ДНА вводят селекцию по дальности. При этом из нескольких пачек от целей с приблизительно одинаковым направлением выбирается одна.

Ниже приведены упрощенная схема и временные диаграммы.



Условные обозначения, использованные в схеме: А – антенна; Дв – двигатель; УСО – усилитель сигнала ошибки с коррекцией; СлкД – селектор данных; ПД – пик-детектор; ВД – временной дискриминатор; КСб – каскад сброса; ВМ – временной модулятор; ГВЛ – генератор визирной линии; СД, СП – сельсин- датчик, сельсин-приемник; Инд. – индикатор.

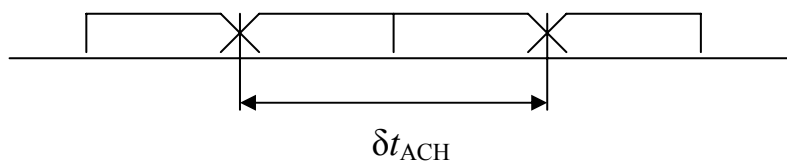
Поскольку скважность импульсов в РЛС может достигать тысяч, то для устойчивой работы временного дискриминатора пачку импульсов расширяют. При этом центр тяжести импульсной пачки сдвигается примерно на $T_n/2$. По этой же причине сдвигается и визирная линия, которая определяет пересечение стробов. В остальном принцип системы аналогичен АСД.



Перед приходом следующего импульса пачки сигнал с ПД сбрасывается. С временного модулятора идут импульсы стробов, положение которых устанавливается по импульсу с генератора визирной линии, положение которого отвечает центру тяжести огибающей пачки отраженных сигналов с учетом поправки на $T_n/2$.

Для того чтобы компенсировать смещение центра тяжести пачки на $T_n/2$, в УСО вводят коррекцию. Двигатель перемещает антенну в положение, при котором импульс с ГВЛ соответствует по положению центру тяжести пачки отраженных сигналов от цели.

В САСН ширина пачки велика, два строба определяют разрешающую способность по направлению (см. рисунок).



$$2\delta\theta_{АСН} \geq 2\theta_{ДНА}, \quad \delta\theta_{АСН} \geq \theta_{ДНА}, \quad \text{где } \theta_{ДНА} \text{ – ширина ДНА.}$$

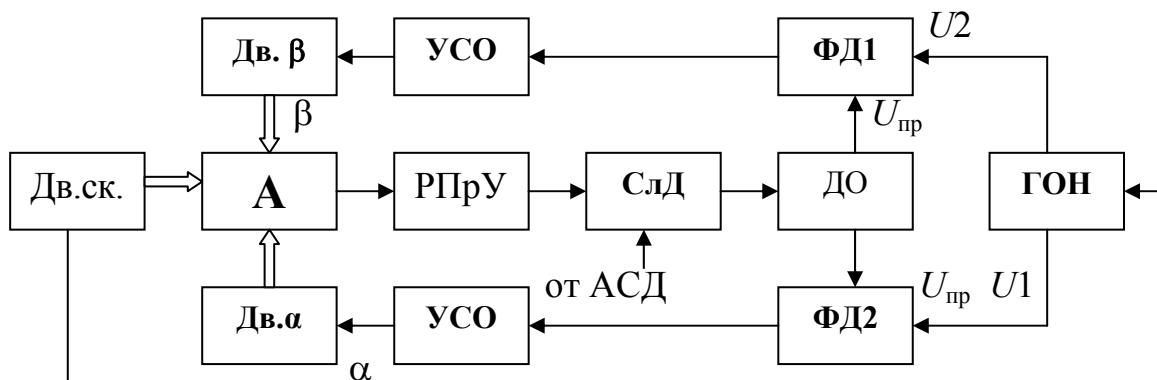
Интегратором в этой системе является двигатель, угол поворота которого есть интегратор от скорости вращения, от напряжения, на него подаваемого. Эта система замкнутая.

Система автосопровождения по направлению с коническим сканированием

Работа этой САСН основана на равносигнальном методе. Антенна РЛС формирует луч, отклоненный от оси антенной системы на угол γ . При вращении (отклонении) луча образуется равносигнальная ось, совпадающая с осью антенны. При отклонении оси антенны от направления на объект амплитуда принимаемого сигнала будет изменяться в зависимости от мгновенного положения ДНА приблизительно по гармоническому закону с частотой вращения диаграммы $\Omega_{ск}$. Глубина модуляции, амплитуды отраженных радиоимпульсов в пределах небольших отклонений пропорциональна величине рассогласования сигнального направления и направления на объект, а фаза огибающей модуляции зависит от направления отклонения.

При малых углах Ψ можно считать, что глубина модуляции $m = \psi\Pi(\theta)$, где $\Pi(\theta)$ – пеленгационная характеристика антенны, точнее сказать, крутизна пеленгационной характеристики. ($\Pi_{\theta} = \frac{\partial F_{\theta}}{\partial \theta}$)

Рассмотрим структурную схему САСН с коническим сканированием.



Такая САСН позволяет осуществить независимое автосопровождение А по азимуту α и углу места β . В схеме: УСО – усилитель сигнала ошибки; СлД – селектор дальности; ГОН – генератор опорного напряжения; Дв. α , β – двигатель по α и β ; Дв.ск. – двигатель сканирования; ДО – детектор огибающей; ФД – фазовый детектор.

Так как антенна САСН сканирует пространство так, что максимум ДНА описывает образующую конуса относительно равносигнального направления, то при отклонении цели относительно этого равносигнального направления отраженные от цели импульсы будут промодулированы по амплитуде с периодом, равным $T_{\text{СК}}$.

Поясним вышестоящую структурную схему САСН и докажем, что система осуществляет по α и β независимые управления.

С ГОН (генератора опорного напряжения) на ФД (фазовые детекторы) поступает напряжение

$$U_1 = U_M \cos \Omega_{\text{СК}} t \text{ и } U_2 = U_M \sin \Omega_{\text{СК}} t,$$

U_1 и U_2 – в квадратуре, т.е. сдвинуты по фазе на $\pi/2$,

$\Omega_{\text{СК}}$ – угловая частота сканирования.

С выхода детектора огибающей на них подается напряжение:

$$U_{\text{ДО}} = U_{\text{М.НП}} \cos(\Omega_{\text{СК}} t - \varphi).$$

В ФД происходит перемножение сигналов $U_{\text{ДО}}$ и U_1, U_2 . В результате фильтрации НЧ составляющей

$$\begin{cases} U_{\text{ФД}\beta} = U_{\text{ОШ.М}} \sin \varphi, \\ U_{\text{ФД}\alpha} = U_{\text{ОШ.М}} \cos \varphi. \end{cases}$$

С учетом того, что для малых ψ можно считать $U_{\text{ОШ.М}} = k\psi$, а

$$\begin{cases} \cos \varphi = \frac{\text{tg} \alpha}{\text{tg} \psi} \approx \frac{\alpha}{\psi}, \\ \sin \varphi = \frac{\text{tg} \beta}{\text{tg} \psi} \approx \frac{\beta}{\psi}, \end{cases} \quad k - \text{коэффициент масштаба, учитывающий крутизну пе-}$$

ленгационной характеристики. Поскольку α и β – углы также малые.

Окончательно можно записать:

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{ФД}\alpha} &= k\psi \frac{\alpha}{\psi} = k\alpha = U_{\alpha}, \\ U_{\text{ФД}\beta} &= k\psi \frac{\beta}{\psi} = k\beta = U_{\beta}. \end{aligned} \right\} \text{управляющие сигналы.}$$

Такой равносигнальный метод выгодно отличается от метода тах, поскольку:

- 1) нужна только одна антенная система;

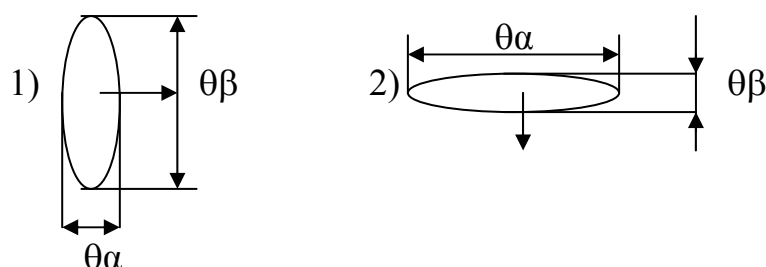
2) конструктивно проще.

Разрешающая способность по методу \max : $\delta_\alpha \geq 2\theta$.

Разрешающая способность метода конического сканирования: $\theta \leq (\delta_\alpha, \delta_\beta) \leq 2\theta$. Чем меньше уровень пересечения, тем ближе к θ разрешающая способность, но проигрываем по энергетическим показателям. Когда пересечения, ДН антенны сольются, разрешающая способность становится равной 2θ (метод \max). Недостаток: обзор узкий. В методе \max можно взять антенные системы со специальной фазной ДНА и использовать их при раздельном сканировании:

1) по азимуту;

2) углу места (см. рисунок).



Для того чтобы улучшить скрытность действия таких РЛС, используют сканирование только при приеме, а при передаче все излучатели (вверх – вправо – вниз – влево) работают синфазно и формируют результирующую ДНА, ось которой совпадает с осью антенной системы.

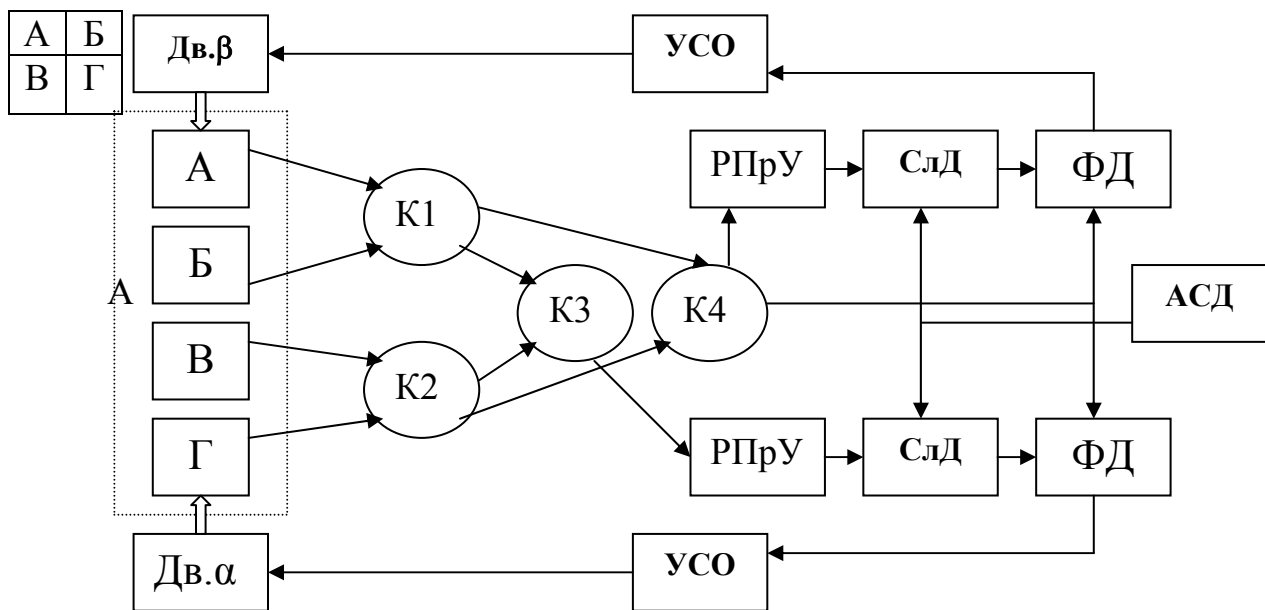
Моноимпульсные системы АСН

Моноимпульсные системы АСН бывают амплитудные и фазовые. Моноимпульсными они называются, так как позволяют получать информацию об угловом положении цели из каждого принятого импульса. Ясно, что при этом частота поступления информации об угловом положении цели значительно выше, чем по методу \max или при коническом сканировании.

В обоих видах моноимпульсных САСН структура построения одинакова. В любой моноимпульсной системе используются угловые датчики (антенная система), устройство обработки и сравнения (угловой дискриминатор), которое может быть амплитудным или фазовым.

Моноимпульсная амплитудная РЛС, обеспечивающая сопровождение цели в двух плоскостях

Антенная система САСН состоит из четырех облучателей и параболического отражателя, причем облучатели расположены друг от друга на расстоянии $a < \lambda$. При этом каждый из четырех облучателей принимает энергию, пропорциональную относительному положению цели в луче. Все 4 облучателя формируют перекрывающиеся ДН, которые создают суммарную диаграмму направленности. Сигналы на выходах облучателей одинаковы по фазе ВЧ ($a < \lambda$) и отличаются только по амплитуде.



Система состоит:

- 1) из углового датчика – А и четырех облучателей;
- 2) устройства обработки – 4 кольцевых волноводных моста (КВМ – К1, К2, К3, К4);
- 3) углового дискриминатора – устройства сравнения ФД.

В КВМ сигналы складываются и вычитаются на ВЧ. В каналах разностного сигнала по азимуту и углу места формируются сигналы $U_{\Delta\alpha}$ и $U_{\Delta\beta}$:

$$\begin{cases} U_{\Delta\alpha} = U_A + U_B - (U_B + U_\Gamma), \\ U_{\Delta\beta} = U_A + U_B - (U_B + U_\Gamma), \end{cases}'$$

а также опорный сигнал $U_\Sigma = U_A + U_B + U_B + U_\Gamma$.

В СЛД выделяются сигналы нужной дальности (по команде от АСД) и поступают на фазовые детекторы, где U_{Σ} используется в качестве опорного сигнала. ФД выполняет операцию вычисления отношений двух сигналов ($U_{\Delta\alpha}$, $U_{\Delta\beta}$):

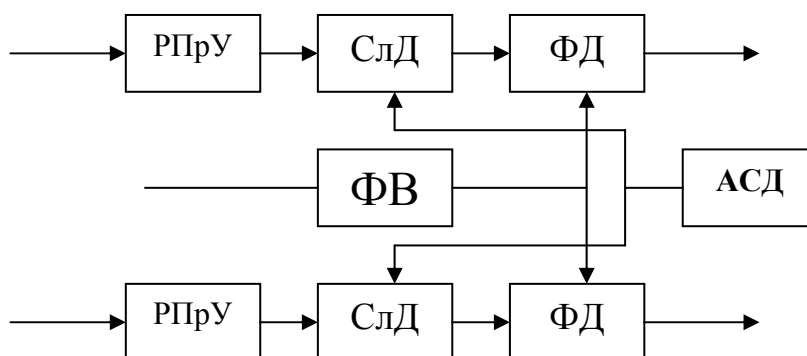
$\frac{U_{\Delta\alpha}}{U_{\Sigma}}$ – в угломестном канале;

$\frac{U_{\Delta\alpha}}{U_{\Sigma}}$ – в азимутальном канале в отличие от амплитудного детектора.

Выходное напряжение ФД подается на усилитель ошибки, а потом на двигатель, поворачивающий антенну в соответствующей плоскости до ликвидации ошибки по координате. U_{Σ} можно использовать для определения дальности.

Моноимпульсная САСН с фазовым сравнением

Отличие названной системы (см. рисунок) от систем с амплитудным сравнением состоит в том, что антенная система состоит из четырех рефлекторов и четырех облучателей, разнесенных на расстояние $a > \lambda$ (отличие углового датчика). В результате можно утверждать, что в дальней зоне сигналы равны по амплитуде, а отличаются лишь фазой.



Отличие от амплитудного дискриминатора состоит в наличии ФВ на $\frac{\pi}{2}$:

1) U_C поступает со сдвигом на $\frac{\pi}{2}$, для того чтобы при малых углах рассогласования был линейный рабочий участок углового дискриминатора;

2) можно использовать РПрУ логарифмические или с АРУ, т.е. уменьшение помехи, так как информация заложена только в фазе.

Для амплитудной моноимпульсной системы разрешающая способность:

$$\delta\alpha_{АСН} \approx 2\theta_{ДНА} < \delta\alpha_{\max}.$$

Для фазовой системы: $\delta\alpha \approx \theta_{ДНА}$.

Достоинства:

- 1) направление получаем по одному импульсу;
- 2) используется один передатчик с четырьмя антеннами (или одной);
- 3) высокое быстродействие, точность.

Недостатки:

- 1) необходимы два РПрУ;
- 2) антенная система сложная;
- 3) ширина сектора обзора определяется организацией сканирования.

САСН считаются перспективными. Работают обычно в диапазоне ДМ,- СМ-волн.

8.3. Сопровождение многих целей

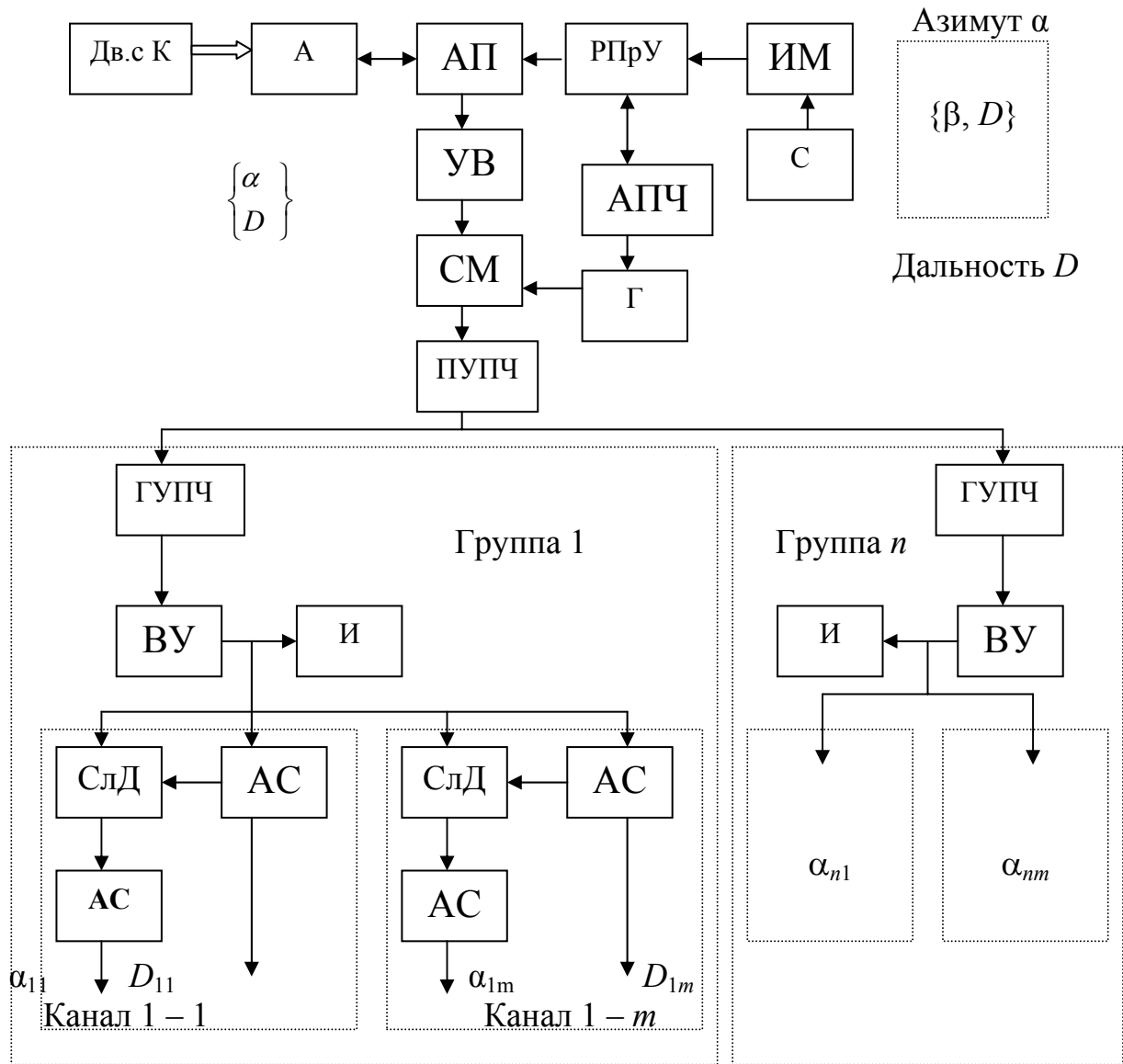
Возможно использование РЛС для АС многих целей. Методы построения систем автосопровождения многих целей (САСМЦ) подразделяются:

- 1) на многоканальные;
- 2) с использованием ЦВМ.

Многоканальные АС

Метод состоит в том, что для каждой цели используется свой канал сопровождения по соответствующей координате, при этом некоторые цели для каналов используют как общие. Это, как правило, высокочастотные цепи РЛС. Разделение на каналы проводят либо на промежуточной частоте, либо по видеосигналу. Часто для повышения надежности АС при большом числе целей каналы группируются. Это разделение чаще всего проводят по ПЧ. Структурная схема показана ниже: УВЧ – усилитель высокой частоты; АП – антенный переключатель; ИМ – импульсный модулятор; АПЧ – автоподстройка частоты; СМ – смеситель; ПУПЧ – предварительный УПЧ; ГУПЧ – главный УПЧ; ВУ – видеоусилитель; И – индикатор.

В данной системе АС подразумевается импульсный аналоговый метод АСД и метод максимума при АСН. В таких РЛС использование ПУПЧ необходимо для согласования высокого выходного сопротивления смесителя с низким входным сопротивлением РК, идущего к главным УПЧ. В такой САС из n -группы и m -каналов в каждой группе возможно сопровождение $N=nm$ целей.

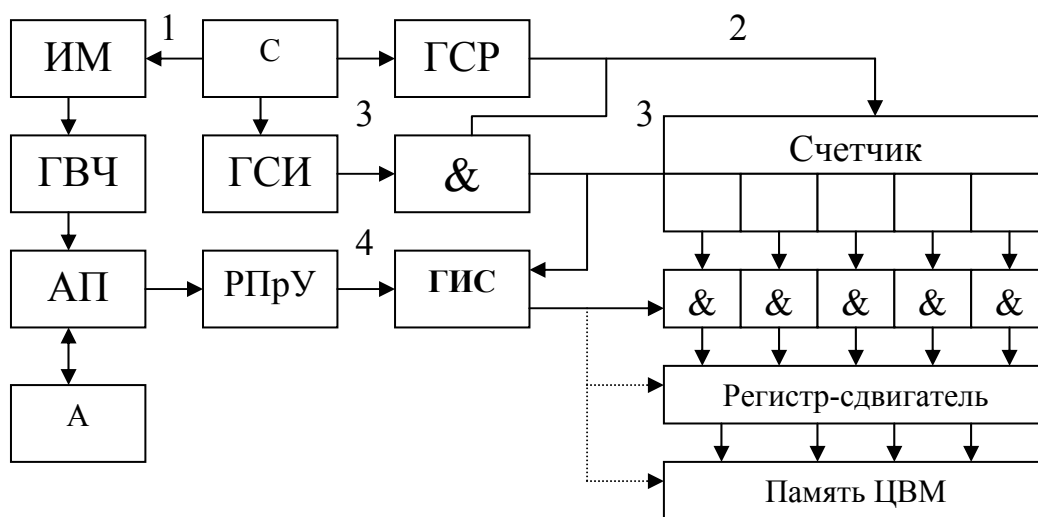


Для получения информации по углу места β и АС используют принципиально такую же систему, но с соответствующей антенной. Конструктивно САСД и САСН β располагается рядом, но отличается рабочей частотой. С ростом числа сопровождаемых целей возрастают масса, габаритные

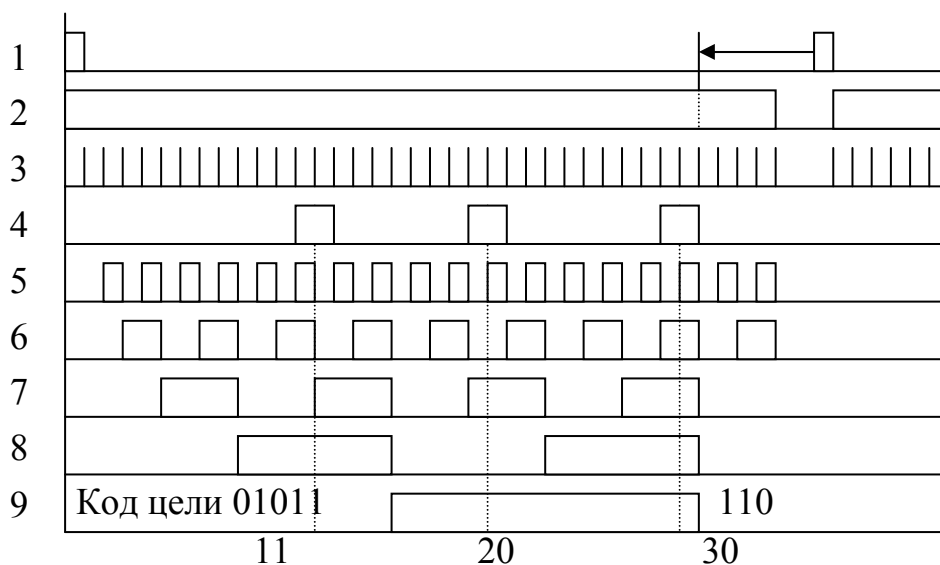
размеры, стоимость РЛС. Поэтому $N_{\text{теор}} \leq 10 - 20$, в противном случае такой метод построения САС невыгоден.

Система автосопровождения по дальности с использованием ЦВМ

Структурная схема и временные диаграммы выглядят следующим образом.



Обозначения: ИМ – импульсный модулятор; ГВЧ – генератор высокой частоты; ГСР – генератор стробов разрешения; ГСИ – генератор счетных импульсов; ГИС – генератор импульсов считывания; АП – антенный переключатель; А – антенна.



Недостатки системы с цифровым отсчетом: ведется отслеживание ближайшей цели, одиночной. Плохая помехоустойчивость.

В данной системе САСД отличается тем, что отсчитывания импульсов в двоичном счетчике происходит все время, пока на него поступает строб разрешения счета, длительность которого равна времени открытого приемника. Отсчет дальности и запись в память ЭВМ происходит в момент прихода отраженных сигналов 4. Счет при этом не прекращается. Повторение кода цели не будет, если за время строба разрешения счета примерно равно T_N не завершится полный цикл работы двоичного счетчика:

$$(2^M - 1)T_{ГСИ} > T_N, \text{ иначе } 2^M > \frac{T_N}{T_{ГСИ}} \approx \frac{D_{\max}}{\delta D}.$$

Для повышения разрешающей способности надо увеличивать m . Для записи или анализа траектории движения цели распределитель-сдвигатель должен каждый период повторения (или через другой промежуток времени) подключать другую ячейку памяти ЦВМ.

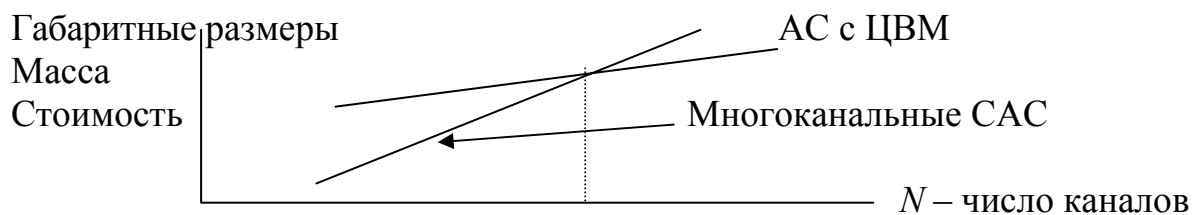
Количество сопровождаемых целей ограничивается только объемом памяти, т.е. сравнительно легко получить АСД по десяткам и сотням целей. При этом значительно проще производить вторичную обработку РЛ-информации, экстраполяцию и интерполяцию координат.

Для АСН многих целей используется принципиально такой же подход с дополнением устройством для преобразования угла поворота антенны или сканера в двоичный код (чаще код Грея). Число разрядов регистра в этом случае определяется из соотношения $2^N \geq \frac{\varphi_{\max}}{\Delta\varphi}$, где φ_{\max} – величина сектора обзора; $\Delta\varphi$ – дискретность (точность) определения направления. Причем для АСД и АСН может использоваться одна и та же ЦВМ.

Сравнение САС

Сравнение лучше всего проводить по обобщенному параметру стоимость – габариты, масса в зависимости от числа каналов (целей) (см. рисунок).

А) Габаритные размеры, масса, стоимость:

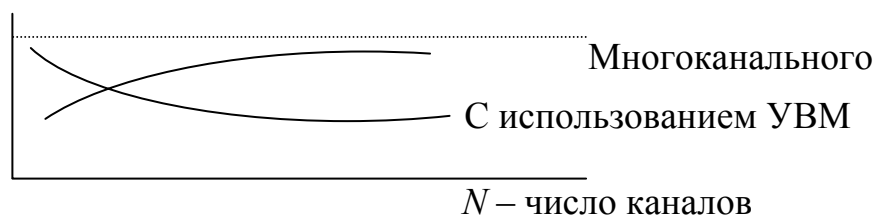


Пример. САС многих целей для 10 целей, выполненная на электронных лампах и транзисторах, занимает площадь 150 м^2 (в многоканальном исполнении). Та же система с использованием ЦВМ – 100 м^2 , для 100 целей площадь многоканальной системы – 1500 м^2 , для ЦВМ – 300 м^2 .

Б) надежность сопровождения одной цели:

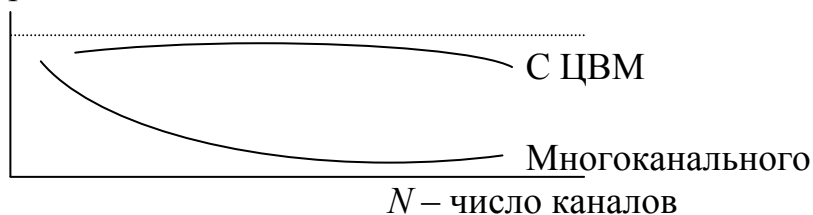
Надежность АС.

Аппаратурная надежность



В) надежность АС многих целей:

Аппаратурная надежность



СИСТЕМЫ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ (СР)

Радиоуправлением называется управление различными объектами и процессами с помощью радиосредств.

Будем рассматривать лишь СР для летательных аппаратов, считая, что в управлении такими аппаратами в наибольшей мере проявляется взаимодействие различных радиосредств между собой и с остальными звеньями системы управления. СР летательными аппаратами еще называют системами наведения (СН) на цели (объекты). СР в этом смысле могут быть одноступенчатыми и многоступенчатыми:

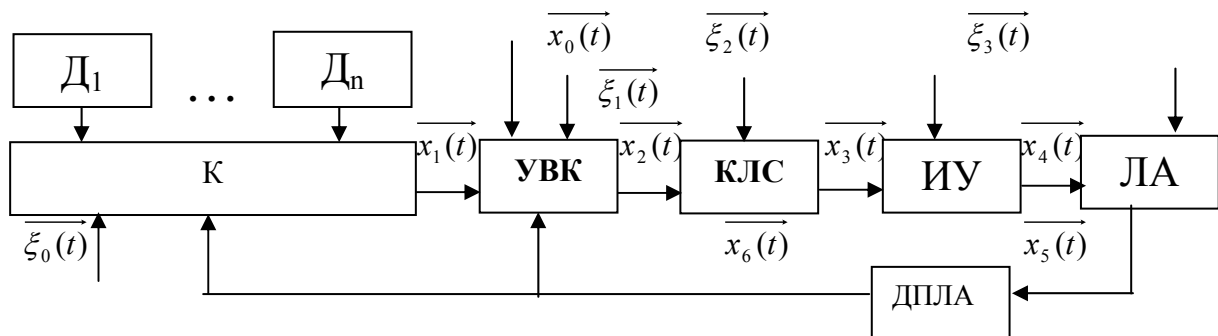
- 1) система посадки (РЛ), стыковки;
- 2) системы управления искусственными спутниками (вывод на орбиту, полет, приземление).

Однопунктные и многопунктные системы ПУ:

- 1) система РЛ посадки (с одного пункта);
- 2) система управления полетом космической станции (с нескольких пунктов).

Радиоуправление может быть одноступенчатым и многоступенчатым (иерархическим).

Обобщенная схема радиоуправления представлена ниже.



На схеме обозначены: К – координатор (информационно-измерительное устройство); $D_1 - D_n$ – измерители координат цели; УВК – устройство выработки команд; КЛС – командная линия связи; ИУ – исполнительное устройство; ЛА – летательный аппарат; ДПЛА – датчики положения летательного аппарата; $\vec{x}_1(t)$ – информация с координатора; $\vec{x}_0(t)$ – вектор задания исходной информации; $\vec{\xi}_0(t) - \vec{\xi}_3(t)$ – помехи в системе (в векторной форме); $\vec{x}_2(t)$ – вектор управления, направленного на уменьшение рассогласования; $\vec{x}_3(t)$ – сигнал с выхода КЛС; $\vec{x}_4(t)$ – управляющее воздействие на ЛА; $\vec{x}_5(t)$ – отклик ЛА на управляющее воздействие; $\vec{x}_6(t)$ – обратная связь с ЛА.

Команды управления УВК вырабатываются по алгоритму \vec{B} :

$$\vec{x}_2(t) = \vec{B}\{\vec{x}_1(t); \vec{x}_0(t); \vec{\xi}_1(t)\}.$$

Внутри системной связи системы РУ делятся на функциональные, конструктивные и динамические. Функциональные – связи между узлами и блоками СР, направленные на выполнение задачи радиоуправления. Конструктивные – связи, которые определяют принцип их взаимодействия. Динамические – связи между различными преобразователями, в которых проявляется инерционность системы РУ.

Координатор – устройство, предназначенное для определения нужного количества координат объекта, либо объекта и ЧЛА, либо разности координат «объект – ЛА».

Координатор и ЦВК-устройство выработки команд являются основными в СР.

Для целей наведения СР по принципам извлечения информации, расположения аппаратуры и по применяемым алгоритмам делятся:

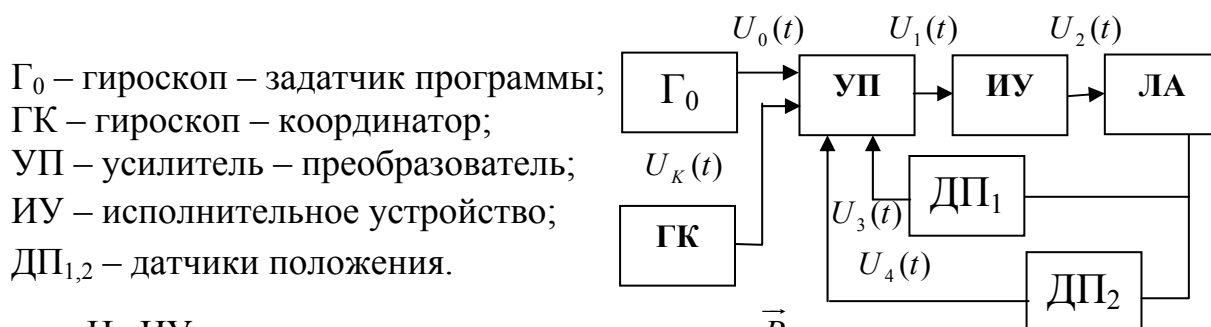
- 1) на автономные;
- 2) радиотеленаведения;
- 3) радиотелеуправления;
- 4) самонаведения.

9.1. Системы автономного управления

Системы автономного управления различаются по признаку автономности. Если она не имеет контакта с пультом управления (ПУ), объектом и

с подстилающей поверхностью, то такая система информационно автономна. Такие системы могут быть выполнены только на основе гироскопов. В аппаратурно-автономных системах имеется лишь контакт с подстилающей поверхностью.

Приведем структурную схему информационно-автономной системы. В качестве датчиков используются гироскопы.



На ИУ поступают команды по алгоритму \vec{B} :

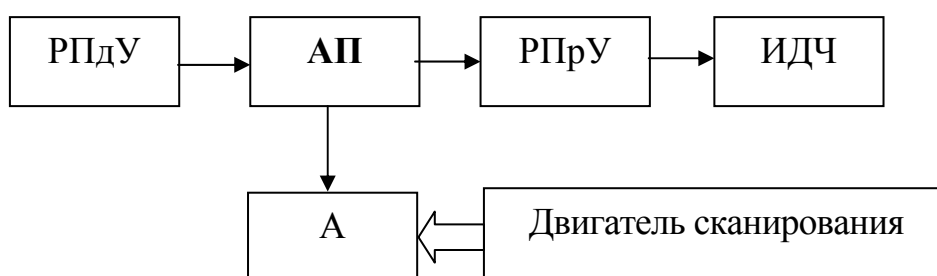
$$U_1(t) = \vec{B}\{U_0(t), U_K(t), U_4(t), U_3(t)\}.$$

Такие системы могут использоваться для наведения только на неподвижные объекты или на цели, координаты которых известны до запуска ЛА («земля – земля», «воздух – земля», в том числе и баллистические ракеты). Достоинство таких систем в том, что им нельзя поставить помех. Они абсолютно помехоустойчивы. Единственная им помеха – уничтожение системы.

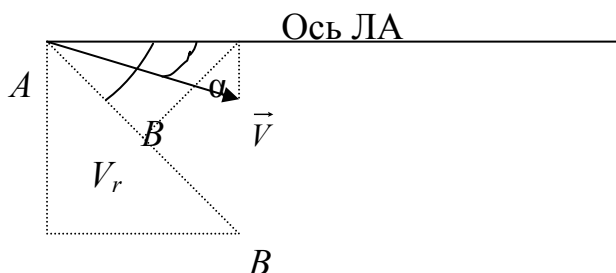
Примеры аппаратурно-автономных систем

К таким системам относятся обычно доплеровские измерители путевой скорости и угла сноса (ДИСС) и радиовертиканты.

ДИСС размещаются на борту ЛА, что позволяет измерить скорость и угол сноса ЛА (в том числе самолета) (см. рисунок: ИДЧ – измеритель доплеровской частоты).



Принцип его работы поясним рисунком



Доплеровская частота F_d равна

$$F_d = f_1 - f_2 = f_1 \frac{2V_r}{c}, \text{ где } V_r - \text{ проекция } \vec{V} \text{ на } AB \text{ (направление излучения);}$$

$$V_R = V \cos \alpha \cos \beta. \text{ Итак, } F_d = 2f_1 \frac{v}{c} \cos \alpha \cos \beta.$$

Угол α (угол сноса) определяют при сканировании антенны вокруг вертикальной оси. В тот момент, когда $F_d = F_{d\max}$, $\alpha = \alpha_{\text{сноса}}$. В такой системе возможно определение и вертикальной составляющей скорости. ДИСС может использоваться для счисления пути (с операцией интегрирования скорости). ДИСС работают сравнительно точно. Скорость могут определять до 0,5 %, углы – до десятых долей градуса, но систему надо делать многолучевой (2 – 4 луча).

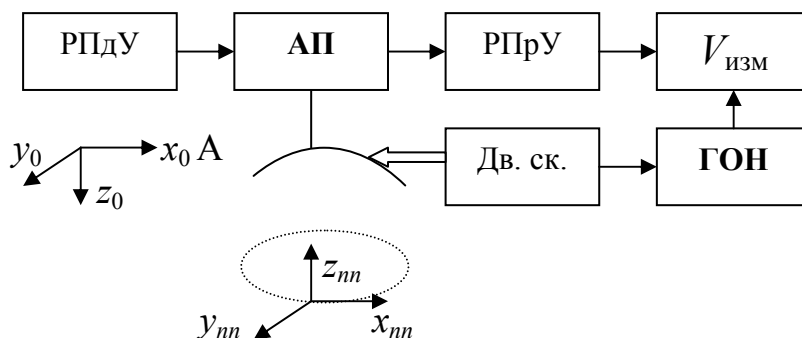
Радиовертиканты

Радиовертиканты (РВ) – это приборы, предназначенные для определения положения местной вертикали к подстилающей поверхности относительно местной вертикали объекта.

Такая задача может возникать при посадке космических аппаратов на планеты, при стыковке космических аппаратов. В том случае, когда сила тяжести невелика (или отсутствует вовсе, например в невесомости), определить вертикаль к подстилающей поверхности сложно и возможно только при использовании радиотехнических средств.

Местная вертикаль понимается как направление под определенным углом (в координатах объекта) к плоскости, касательной к подстилающей поверхности в определенной точке.

Рассмотрим структурную схему системы, основанной на равноимпульсном методе.



На рисунке обозначены: $U_{ЗМ}$ – измеритель; ГОН – генератор опорного напряжения; Дв.ск. – двигатель сканирования; $(x, y, z)_{nn}$ – система координат связанная с подстилающей поверхностью; $(x, y, z)_0$ – система координат, связанная с объектом. Считается, что z_0 совпадает с z_{nn} в случае отсутствия амплитудной модуляции луча при коническом сканировании антенны.

Для использования в РВ подходит любой метод измерения направления (дальности). Моноимпульсный метод можно использовать при трех облучателях как минимум.

Метод тах в данном случае не следует применять, так как надо использовать три системы.

Для определения местной вертикали может быть использованы и фазовые методы определения направления. Когда используется частотный метод, надо три измерителя.

Система РВ обеспечивает точность совпадения вертикалей нескольких процессов. Равносигнальный метод с коническим сканированием позволяет менять точность определения вертикали в зависимости от приближения объекта к подстилающей поверхности. В случае увеличения удаления можно взять больший уровень пересечения ДНА. В случае приближения к ПП можно взять малый уровень пересечения. Из всех амплитудных методов равносигнальный является наиболее точным.

Достоинства и недостатки аппаратурно-автономных систем

Достоинства:

1. Нет контакта с пунктом управления, т.е. дальность действия не ограничена. РВ и ДИСС критичны к качеству подстилающей поверхности и,

исходя из заданного рельефа и свойств ПП надо выбирать ширину ДН и диапазон рабочих частот. Тенденция к уменьшению и, как следствие, $-\lambda_{\text{раб}}$ узкая ДНА, но такая ДН чувствительна к качеству ПП, и может быть неверная информация о ПП.

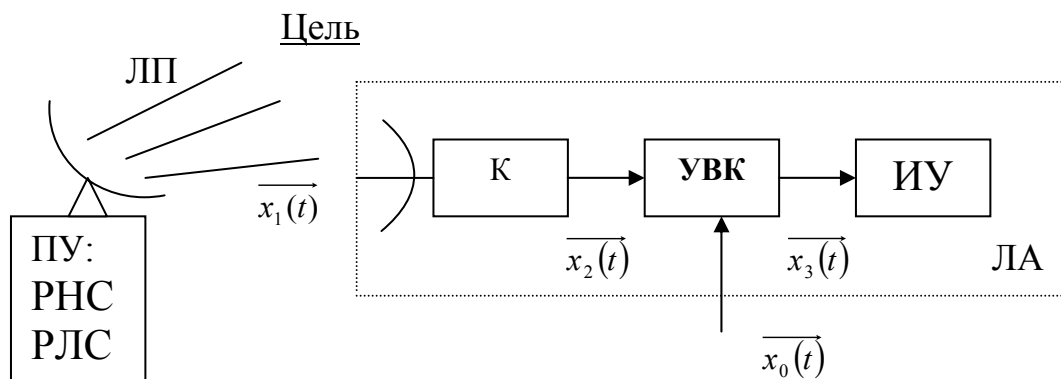
2. Применяется несколько масштабов ДН и частот. В РВ целесообразно использовать лазеры и γ -излучение (рентгеновское).

Недостаток: наличие собственного излучения, в результате чего этой системе могут быть поставлены радиопомехи.

9.2. Системы радиотеленавещения

К таким системам РУ относятся системы РУ ЛА, в которых с помощью радионавигационных систем (наземных или другого базирования) создаются линии положения, а на ЛА измеряется рассогласование и вырабатываются команды управления с целью наведения на объект. Отклонение от линии положения ЛА при этом служит рассогласованием в системе.

На структурной схеме покажем принцип действия и устройство системы радиотеленавещения.



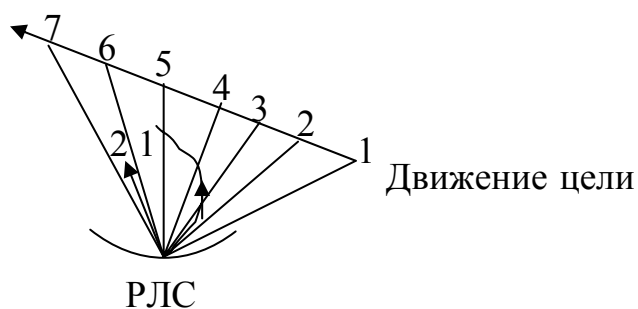
На схеме обозначены: ПУ – пункт управления; ЛП – линии положения; К – координатор (измеряет рассогласования между положением ЛА и линией положения, создаваемой из пункта управления); ИУ – исполнительное устройство; $\vec{x}_1(t)$ зависит от координат цели и динамических характеристик цели и ЛА; $\vec{x}_0(t)$ – начальная программа; $\vec{x}_3(t)$ – команды, направленные на устранение рассогласования, отличающиеся от ЛП.

В таких системах имеется контакт ПУ-цель и ПУ-ЛА. Рассмотрим основные принципы наведения, т.е. траектории движения ЛА. Наведение осуществляется:

- 1) по кривой погони;
- 2) методом наведения с упреждением.

Наведение по кривой погони (собачьей кривой). В каждый данный момент времени вектор скорости ЛА \vec{V}_p направлен на цель.

В каждый данный момент времени ПУ-ЛА-Ц находятся на одной прямой. У собаки мало интеллекта, и она бежит за зайцем не по оптимальному пути – по кривой, а надо бы с упреждением. Время наведения по 2-й кривой меньше, чем по 1-й.



Метод наведения с упреждением характеризуется тем, что вектор скорости \vec{V} ЛА направлен не по прямой, соединяющей ПУ и Ц, а под углом упреждения к этому направлению.

Если взять полный угол упреждения (кривая 2), то возможно максимально увеличить скорость наведения, без уменьшения вероятности встречи ЛА с целью, если экстраполяция траектории цели проведена безошибочно.

Из кривой погони вытекает стрельба “вдогон” – это в том случае, когда РЛС-ЛА-Ц находятся на одной прямой и векторы ЛА и Ц скоростей близки по направлению.

Компромиссным решением, позволяющим увеличить скорость и уменьшить вероятность срыва наведения, является метод половинного упреждения.

Угол упреждения при этом принимается равным $1/2$ полного угла упреждения. Кривая наведения в этом случае 3-я.

Итак, существует метод наведения по трем точкам, существует метод наведения с упреждением, все остальные методы в основе своей имеют эти два.

Особенности аппаратуры ЛА в СРТН

Как правило, антенная система таких ЛА (ракет) находится в хвостовой части. Для уменьшения влияния на ДН и поляризацию от истекающих газов принимают круговую поляризацию. При этом ширина ДНА должна выбираться из возможного угла рыскания.

Модификация – сканирование антенной системы с целью устранения эффекта рыскания. С целью предотвращения увеличения уровней колебаний в устройства выработки команд вводят компенсирующие цепи, в которых значение команд ограничено по определенному алгоритму.

Достоинства:

- 1) нет контакта ЛА – цель;
- 2) радиоскрытность ЛА близка к информационно-автономным системам, так как сама не излучает.

Недостатки:

- 1) дальность действия ограничена возможностью создания ЛП, т.е. обязательна радиовидимость ПУ – цель;
- 2) часть координатора находится на борту;
- 3) скорости наведения и траектории наведения могут быть ограничены не только динамикой ЛА, но и динамикой к диапазонам РЛС.

Системы РТН следует отличать от СРТУ и систем самонаведения, при этом следует помнить, что рассогласование положения ЛА относительно ЛП измеряется на борту ЛА в отличие от систем телеуправления или самонаведения, в том числе сам ЛА не излучает и не имеет контакта с целью. Большая часть координатора находится на ПУ.

9.3. Системы радиотеленаведения (командного управления) (СРТУ)

Названные системы отличаются от СРТН тем, что в них команды управления вырабатываются на пункте управления.

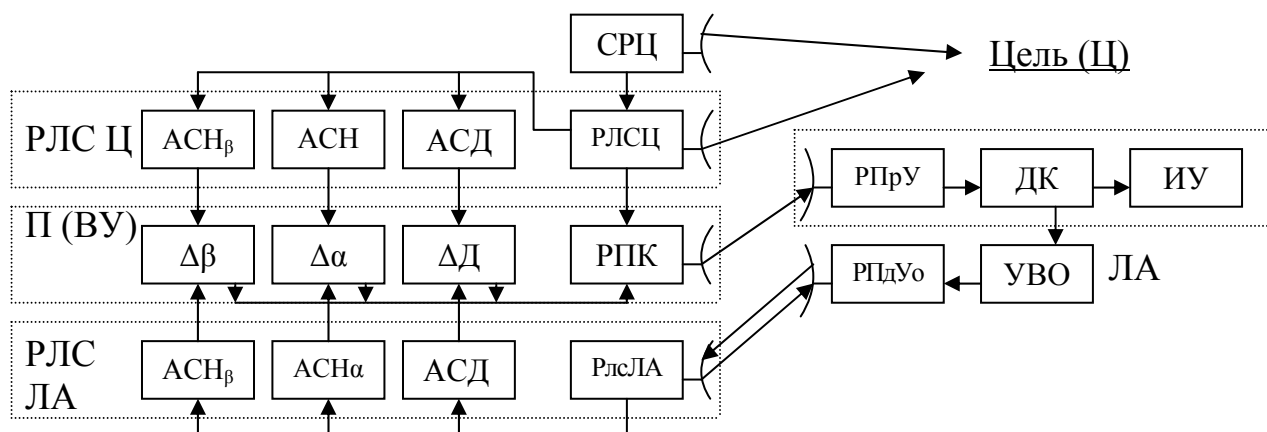
Системы РТУ подразделяются на два подкласса:

- 1) системы РТУ, в которых координаты цели определяются относительно пункта управления;
- 2) системы РТУ, в которых координаты цели определяются относительно ЛА.

Эти два подкласса существенно отличаются. Их объединяет лишь то, что и в той и в другой системе команды управления вырабатываются на пункте управления.

Системы 1-го подкласса

Рассмотрим первый подкласс: с определением координат цели относительно пункта управления. Ниже представлена упрощенная схема названной структуры.



Использованы следующие обозначения: СРЦ – система раннего целеуказания; П (ВУ) – преобразователь (вычислительное устройство); РПК – радиопередатчик команд; ДК – декодирующее устройство; ИУ – исполнительное устройство; УВО – устройство выработки ответов; РПДУо – РПДУ ответа; РЛС ЛА – РЛС летательного аппарата.

В целом систему телеуправления можно подразделить на подсистемы: РЛС цели, РЛС ЛА, П (ВУ) и РПК.

Рассмотрим эти системы.

Принцип действия. Со станции раннего целеуказания СРЦ поступает информация о наличии цели в определенном секторе. После захода цели в зону действия системы наведения с помощью РЛС цели производится ее захват и сопровождение.

При достижении определенного положения цели, координатах которой через некоторое время начинает поступать информация, производится пуск ЛА. В зависимости от разности координат между целью и ЛА, а также в зависимости от выбранного метода наведения в П(ВУ) вырабатываются команды, причем разности угловых координат представляют собой непосредственные команды, а разность дальностей – косвенную команду. В целом на ЛА воздействует комплекс команд по всем трем координатам в зависимости от всех трех разностей.

Определяются три координаты, сопровождается также три координаты, а команды вырабатываются только две (угловые).

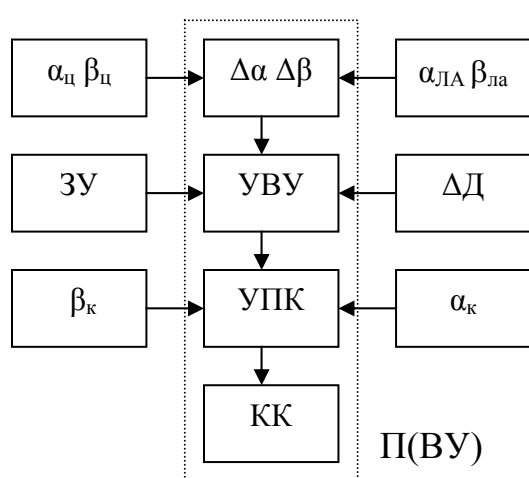
Необходимо отметить, что поскольку ЛА имеет, как правило, малую эффективную отражающую поверхность, а по отношению к РЛС наведения он находится, как правило, своей хвостовой частью, опять-таки с незначительной эффективной отражающей площадью, то есть смысл РЛС ЛА выполнить по схеме с активным ответом.

$$S_{\text{эф.цели}} = 1 - 50 \text{ м}^2 \text{ в ПВО};$$

$$S_{\text{эф.ЛА}} = \text{десятыи доли квадратного метра.}$$

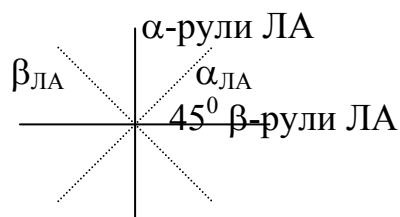
Как правило, РЛС ЛА выполняют с активным ответом, при этом ответ на ЛА вырабатывается по команде РПК.

Структура преобразователя представлена ниже:



(УВУ – устройство выработки команд упреждения; ЗУ – блок задания упреждения; КК – кодер каналов).

Разность координат целей и ЛА подается на УВУ, на которое также подаются сигнал по заданному упреждению и информация о разности дальностей. От УВУ команда поступает на устройство поворота координат УПК. От УПК команда кодируется и передается на ЛА. Кодирование происходит в КК, где команды ограничиваются по уровню с целью соблюдения динамики ЛА.



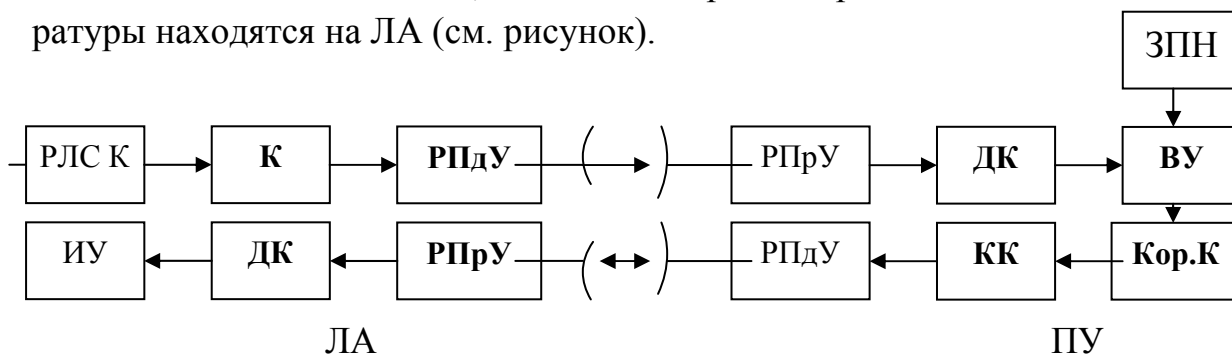
Чтобы повернуть ЛА по курсу, надо работать обеими парами рулей, т.е. УПК, и необходимо, чтобы учесть конструктивное исполнение управления. Кодирование команд, как правило, временное, которое легче согласуется с импульсным способом работы РЛС с учетом того, что ограничение по числу каналов в таких системах не бывает. Несколько каналов нужно для ЛА. Кодирование необходимо для повышения помехоустойчивости каналов РПК – ЛА, ЛА – РЛС_{сопр.ЛА}.

94

Итак, системы 1-го подкласса характеризуются тем, что объем аппаратуры на ЛА очень мал, поэтому они выгодно отличаются от всех других тем, что стоимость, габаритные размеры и масса аппаратуры ЛА очень малы.

Системы 2-го подкласса

Эти системы характеризуются тем, что в них координаты цели определяются относительно ЛА, т.е. часть координатора и большая часть аппаратуры находятся на ЛА (см. рисунок).



На рисунке обозначены: РЛС(К) – датчик, который определяет координаты цели; К – устройство кодирования сигналов; ДК – декодер; ЗПН – блок задания программы наведения; Кор.К – корректор команд; КК – кодирование команд; ИУ – исполнительное устройство.

Команды здесь формируются относительно координат (цель – ЛА). Бортовая аппаратура сложнее, чем аппаратура первого подкласса.

Различия 1-го и 2-го подклассов:

Дальность действия 2-го зависит от дальности действия радиоканала «цель – ЛА и ЛА – ПУ», тогда как в 1-м дальность ограничивается дальностью радионаблюдения одновременно по цели и ЛА. Во 2-м подклассе нет необходимости наблюдать цель с ПУ.

1-й используется для наведения «земля – воздух»;

2-й – для наведения «земля – земля», «воздух – земля».

Управление же производится по командам с ПУ в обоих подклассах.

9.4. Системы самонаведения (ССН)

ССН характеризуются тем, что наведение производится по командам, выработанным с помощью координатора, находящегося на борту ЛА.

В системах СН обязательно есть контакт цель – ЛА и может не быть контакта ПУ – цель. ССН делятся по принципу исполнения координатора (РТ, акустический, оптический, инфракрасный, звуковой).

Рассмотрим РТ-координатор. Различают координаторы активные, полуактивные, пассивные.

Активные характеризуются тем, что зондирующий радиосигнал вырабатывается на борту ЛА.

Полуактивные характеризуются тем, что зондирующий сигнал вырабатывается на ПУ, а на ЛА только воспринимается сигнал, отраженный от цели. Выигрыш в этом случае от уменьшения стоимости ЛА (нет РПДУ) и за счет маскировки ЛА.

Пассивные характеризуются тем, что координаты цели могут быть определены только за счет самоизлучения цели.

Из всех трех видов наиболее универсален 1-й.

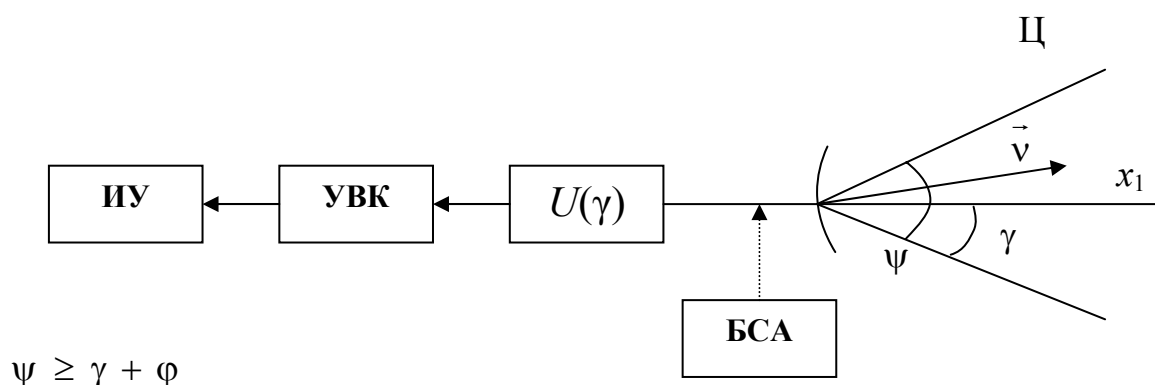
Функциональное деление ССН

Есть ССН со следящим и неследящим угломером.

ССН с неследящим угломером используют для наведения на неподвижную цель, со следящим угломером – на движущуюся цель.

ССН отличаются от систем РТН и РТУ своим значительно большим объемом аппаратуры.

Рассмотрим принцип действия ССН.



Координатор $U(\gamma)$ определяет координаты цели: « x_1 – продольная ось ЛА», \vec{V} – вектор скорости. Снос не только за счет атмосферы, но и за счет динамики ЛА. Координатор определяет угол γ , т.е. различие в направлении «цель – x_1 ». Для выработки команд нужна зависимость θ , для чего на координатор подается компенсирующее напряжение сноса $U(\theta)$ (постоянное или переменное, в зависимости от задачи); γ – угол рыскания; УВК – устройство выработки команд, на которое подаются по заданной программе углы упреждения (УУ).

Для следящих ССН добавляется блок сканирования антенны, сканирование должно быть с углом $\psi \geq (\gamma + \varphi)_{\max}$.

Системы СН наиболее употребимы в случае воздух – земля, воздух – воздух, земля – воздух.

Сканирование при наведении по недвижущейся цели уменьшает ширину ДНА и увеличивает точность.

В таблице приведены сравнительные характеристики систем наведения.

Класс систем		Контакт ЛА			Нахождение координатора	Контакт ПУ – Ц	Условная стоимость*		Класс ЛА
		С ПУ	С Ц	сПП			УС ₁	УС _{1/100}	
Автономное	Автономно-информационные	Нет	Нет	Нет	ЛА	-	10 ⁶	≈ 10 ⁶	Земля-земля
	Аппаратурно-автономные	Нет	Нет	Есть	ЛА	-	2 · 10 ⁵	≈ 2 · 10 ⁵	Воздух-земля
Радио-Теле-наведения		Есть	Нет	Нет	ПУ	Есть	25 · 10 ⁵	5 · 10 ⁴	Земля-воздух
РТУ	Ту 1	Есть	Нет	Нет	ПУ	Есть	5 · 10 ⁶	2 · 10 ⁴	Земля-воздух
	Ту 2	Есть	Есть	Нет	ПУ, ЛА	Нет	2 · 10 ⁶	10 ⁵	Воздух-воздух, воздух-земля, Земля-земля
ССН		Нет	Есть	Нет	ЛА	Нет	10 ⁵	≈ 10 ⁵	Воздух-воздух, воздух-земля, земля-воздух

*УС_{1/100} – условная стоимость первого пуска, при условии, что в данной системе может быть 100 пусков; УС₁ – стоимость пуска, если в системе он один.

Условная стоимость – затраты и стоимость не только самого ЛА, но и всего задействованного комплекса.

9.5. Контактные устройства – радиовзрыватели

К контактными устройствам относятся системы, выдающие информацию о приближении к цели на определенное расстояние или о достижении ЛА определенной разности координат относительно цели.

К этим устройствам можно относить различные системы включения стыковочных узлов, автоматическая система выпуска шасси, включения тормозных двигателей мягкой посадки и радиовзрыватели.

К радиовзрывателям относятся устройства, обеспечивающие подрыв боевой части ЛА при определенной разности координат относительно цели.

Радиовзрыватели (РВЗ) необходимы, поскольку вероятность прямого попадания снаряда в малоразмерную быстро движущуюся цель очень мала. Чтобы эту вероятность повысить, используют РВЗ радиотелеметрической системы разового действия. РВЗ выделяются из всего класса взрывателей магнитного, акустического, оптического и других принципов действия тем, что меньше зависят от климатических, погодных условий и свойств цели.

Различают две основные группы РВЗ:

1. РВЗ, работающие по сигналам самой бортовой аппаратуры.
2. РВЗ, работающие по командам с ПУ.

РВЗ первой группы с точки зрения РЛ делятся на активные, полуактивные, пассивные.

Активные РВЗ имеют свой источник излучения.

Полуактивные используют излучение либо на ПУ, либо вне ЛА.

Пассивные РВЗ работают по сигналу самоизлучения цели.

Первый вид является наиболее распространенным. РВЗ этого вида может быть гетеродинным и автодинным. РВЗ относятся к системам ближней радиолокации, поэтому все особенности систем БРЛ относятся и к ним.

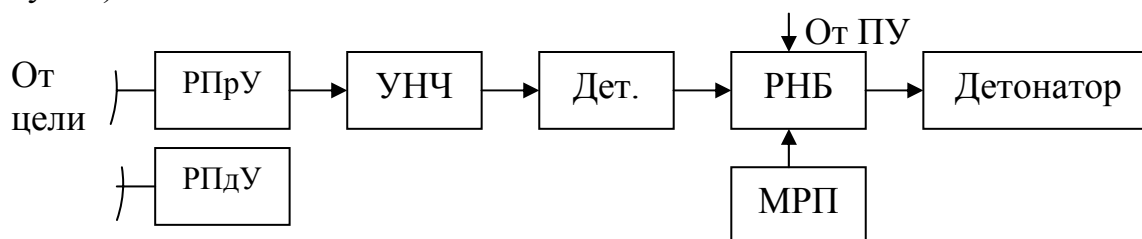
К гетеродинным относятся системы, в которых нет функциональной связи между передатчиком и приемником либо она существует с целью достижения когерентности в когерентных системах, к автодинным – все те системы, в которых невозможно функционально подразделить большую часть связей с передатчиком и приемником.

Те и другие системы могут быть амплитудными (импульсными) или частотными.

Частотные системы РВЗ пользуются большим распространением, так как в них слабее на точности сказываются свойства и геометрия целей и расстояния Ц – ЛА (близость).

Информация в частотных РВЗ находится в разности частот излучаемой и принимаемой.

По мере приближения ЛА к траверзу цели F_d уменьшается, а амплитуда сигнала низкой частоты на выходе детектора приемника возрастает. Сигнал попадает в полосу фильтра НЧ и приводит в действие РВЗ (см. рисунок).



На схеме обозначены: РНБ – реле нулевых биений; Дет. – детектор; УНЧ – усилитель низкой частоты; Детонатор – подрывное устройство РВЗ; МРП – местное разрешение подрыва.

МРП используется для того, чтобы исключить подрыв снаряда на старте. МРП срабатывает при определенной высоте или через определенное время после старта.

Сигнал на подрыв может поступить и от ПУ, может быть выдан по истечении времени полета ЛА, в случае неисправности в полете и промаха.

Сигнал подрыва на детонатор уходит в случае срабатывания МРП и разрешения на подрыв от ПУ. Влияние НЧ-шумов в таком РВЗ можно уменьшить, если ввести гетеродинирование и усиление проводить на ПЧ.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Методы определения координат в пространстве.
2. Что такое поверхность положения?
3. Что такое линия положения?
4. Классы радиосистем с информационной точки зрения.
5. Методы определения дальности.
6. Методы определения направления.
7. Структурная схема импульсного метода измерения дальности.
8. Тактико-технические параметры импульсного дальномера.
9. Фазовый метод измерения дальности.
10. Частотный метод измерения дальности.
11. Амплитудные методы измерения направления.
12. Фазовые методы измерения направления.
13. Уравнение дальности активных систем локации.
14. Уравнение дальности систем с активным ответом.
15. Классы систем наведения летательных аппаратов.
16. Обобщенная структурная схема системы наведения.
17. Основные понятия радиопротиводействия и контррадиопротиводействия.
18. Основные мероприятия радиопротиводействия.
19. Радиоразведка.
20. Постановка активных помех.
21. Радиодезинформация.
22. Радиомаскировка.
23. Уничтожение радиосистем.
24. Пассивные помехи и борьба с ними.
25. Системы селекции движущихся целей.
26. Некогерентные системы.
27. Когерентно-импульсные системы.
28. Особенности систем ближней радиолокации.
29. Радиовзрыватели.
30. Особенности систем радионавигации.
31. Фазочувствительное приемное устройство.
32. Череспериодное компенсирующее устройство.
33. Системы оптической локации.
34. Уравнение дальности системы оптической локации.
35. Системы автосопровождения многих целей.
36. Цифровые системы селекции движущихся целей.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радиолокационные и радионавигационные системы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1994. – 296 с.
2. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
3. Коростелев А.А. Пространственно-временная теория радиосистем: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.
4. Радиотехнические системы / Под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Высш. шк, 1990. – 496 с.
5. Веницкий А.С. Автономные радиосистемы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1986. – 336 с.
6. Баскаков А.И., Лукашенко Ю.И., Щернакова Л.А. Зондирующие радиолокационные сигналы: Учеб. пособие. – М.: МЭИ, 1990. – 79 с.
7. Баскаков А.И., Щернакова Л.А. Энергетические соотношения в радиолокации: В 2 ч. Учеб. пособие. Ч.1. Радиолокационные цели и их основные характеристики. – М.: изд-во МЭИ(ТУ), 1993. – 90 с.
8. Баскаков А.И., Жутяева Т.С. Энергетические соотношения в радиолокации: В 2 ч. Учеб. пособие. Ч. 2. Методика расчета дальности действия радиолокационных систем. – М.: изд-во МЭИ(ТУ), 1999. – 64 с.
9. Жуковский А.П., Оноприенко Е.И., Чижов В.И. Теоретические основы радиовысотометрии / Под ред. А.П. Жуковского. – М.: Совет. Радио, 1979. – 320 с.
10. Томпсон Р., Моран Дж., Свенсон Дж.. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии. – М.: Мир, 1989. – 567 с.
11. Караваев В.В., Сазонов В.В. Статистическая теория пассивной локации. – М.: Радио и связь, 1987. – 240 с.
12. Троицкий И.Н. Статистическая теория томографии. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
13. Радиолокационные методы исследования Земли / Под ред. Ю.А. Мельника. – М.: Совет. Радио, 1980. – 264 с.
14. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / Под ред. В.Т. Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.

15. Неронский Л.В., Михайлов В.Ф., Брагин И.В. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПб ГАП, 1999. – 220 с.

16. Лукашенко Ю.И. Космические радиолокаторы с синтезированным раскрывом антенны: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МЭИ(ТУ), 1992. – 60 с.

17. Баскаков А.И. Прецизионный океанографический радиовысотомер космического базирования: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МЭИ(ТУ), 1994. – 75 с.

18. Пашков Б.А. Радиолокационные исследования планеты Венера: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МЭИ(ТУ), 1998. – 68 с.

19. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии. – М.: Радио и связь, 1987. – 189 с.

20. Губанов В.С., Финкельштейн А.М., Фридман П.А. Введение в радиоастрометрию. – М.: Наука, 1983. – 384 с.

21. Башаринов А.Е. Устройства пассивного зондирования в СВЧ- и ИК-диапазонах: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МЭИ (ТУ), 1985. – 44 с.

22. Кисляков А.Г., Разин В.А., Цейтлин Н.М. Введение в радиоастрометрию: В 2 ч. Ч. 1. Основы радиоастрометрии. – М.: Изд. Физматлит, 1995. – 212 с.

23. Он же. Введение в радиоастрометрию: В 2 ч. Ч. 2. Техника радиоастрономии. – М.: Изд-во Физматлит, 1996. – 196 с.

24. Островитянов Р.В., Басалов Ф.А. Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.

25. Красюк Н.П., Коблов В.Л., Красюк В.Н. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС. – М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.

26. Финкельштейн М.И., Мендельсон В.Л., Кутев В.А. Радиолокация слоистых земных покровов / Под ред. М.И. Финкельштейна. – М.: Совет. Радио, 1977. – 176 с.

27. Радиосистемы межпланетных космических аппаратов / Под ред. А.С. Веницкого. – М.: Радио и связь, 1993. – 328 с.

28. Важенин А.С., Волковский С.А. Математические модели радиосигналов в бортовых автономных радиотехнических измерителях. – М.: Изд-во МАИ (ТУ), 1988. – 48 с.

29. Елизаветин И.В., Ксенофонтов Е.А. Результаты экспериментального исследования возможности прецизионного измерения рельефа Земли интерференционным методом по данным космического РСА // Исследование Земли из космоса. – 1996. – №1. – С. 75 – 90.

30. Методы дистанционного зондирования Земли, программы исследований на станции "Мир" с использованием модуля "Природа", Институт Радиотехники и Электроники РАН, 1996, Ресурсы Интернет, <http://www/ire/rssi/ru>.

31. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.П. Радиотелескопы и радиометры. – М.: Наука, 1973. – 146 с.

32. Воскресенский Д.И., Воронин Е.Н., Каминский Р.П. Применения томографии в микроволновой технике. (Обзор) // Изв. вузов, 1989. – Т.32. – С. 4 – 16.

33. Элементы цифровых радиосистем: Метод. указания к лаб. работам / Сост. А.П. Галкин, Е.В. Логинов; Владим. политехн. ун-т. – Владимир, 1988.

34. Бернюков А.К. Устройство импульсных РЛС: Мет. Указания / ВПИ. Владимир, 1975. – 118 с.

35. Системы радиолокации и радионавигации / Сост.: А.Д. Бурков, А.П. Галкин; Владим. политехн. ин-т. – Владимир, 1977. – 44 с.

36. Техника радиолокации: Метод. указания / Сост. А.П. Галкин Владим. политехн. ин-т. – Владимир, 1979. – 32 с.

37. Борисов Ю.П. Математическое моделирование радиосистем. – М.: Совет. радио, 1976. – 296 с.

38. Моделирование в радиолокации / А.И. Леонов, В.Н. Васенев, Ю.И. Гайдуков и др.; Под ред. А.И. Леонова. – М.: Совет. радио, 1976. – 264 с.

39. Основы моделирования сложных систем / Под ред. И.В. Кузьмина. – Киев.: Вища шк., 1981. – 360 с.

40. Радиотехнические системы передачи информации: Учеб. пособие / Под ред. Калмыкова. – М.: Радио и связь, 1990. – 303 с.

41. Гольдберг Л.М. и др. Цифровая обработка сигналов. - М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.

42. Рабинер Л., Гоулд Д. Теория применения цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 848 с.

43. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: Связь, 1979. – 416 с.
44. Дымова А.И., Альбац М.Е., Бонч - Бруевич А.М. Радиотехнические системы. – М.: Совет. Радио, 1975. – 464 с.
45. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с
46. Пенин П.И., Филиппов Л.И. Радиотехнические системы передачи информации. – М.: Радио и связь, 1983. – 496 с.
47. Васин В.В., Степанов М.И. Справочник-задачник по радиолокации. – М.: Совет. радио, 1977. – 276 с.
48. Бернюков А.К. Устройства импульсных РЛС / Владим. политехн. ин-т. – Владимир, 1975. – 117 с.
49. Галкин А.П., Лапин А.Н. Структура радиосистем. – Владимир, 1986. – 29 с.
50. Бернюков А.К., Галкин А.П. Обоснование цифровых структур радиосистем / Владим. политехн. ин-т. – Владимир, 1985. – 80 с.
51. Системы радиосвязи: Учеб. для вузов / Н.И. Калашников и др. – М.: Связь, 1985. – 387 с.

Оглавление

Введение.....	5
1. Краткая характеристика РТС	6
1.1. Структурная схема РЛС	6
1.2. Классификация РЛС по функциональному расположению аппаратуры	7
1.3. Тактико-технические параметры РЛС.....	8
1.4. РТ методы определения координат в пространстве.....	9
1.5. Методы измерения дальности до цели	11
1.6. Тактико-технические параметры дальномера.....	12
1.7. Фазовый метод измерения дальности.....	14
1.8. Частотный метод измерения дальности	15
1.9. Методы определения направления	17
1.10. Методы обзора пространства.....	20
2. Обнаружение РЛ сигнала. Рассеивающие или отражающие свойства РЛ целей	23
2.1. Понятие о противо-РЛ покрытиях	24
2.2. Эффективная отражающая площадь реальной цели	25
2.3. Среднее значение эффективной отражающей площади цели	26
2.4. Средняя эффективная поверхность наиболее распространенных целей.....	27
2.5. Эффективная отражающая поверхность распределенной цели.....	28
2.6. Основное уравнение дальности РЛ.....	28
2.7. Дальность действия РЛС с активным ответом	31
2.8. Обнаружение РЛ сигнала как статистическая задача	33
3. Конструктивные особенности основных узлов РЛС.....	41
3.1. Приемные устройства.....	41
3.2. Особенности антенно-фидерных устройств.....	43
3.3. Особенности оконечных устройств РЛС.....	43

4. Основные понятия о радиопротиводействии (РП)	45
4.1. Основные мероприятия радиопротиводействия	46
4.2. Постановка помех	46
4.3. Шумовые постановщики	47
4.4. Импульсная помеха (ИП)	47
4.5. Активные помехи по углу многократные и уводящие	48
4.6. Радиодезинформация	50
4.7. Понятие о контррадиопротиводействии	50
5. Пассивные помехи и борьба с ними. Системы СДЦ	51
5.1. Фазочувствительное приемное устройство	51
5.2. Эффект слепых фаз	53
5.3. Уменьшение уровня остаточного сигнала	54
5.4. Упрощенная структурная схема линии задержки с автоподстройкой длительности	56
5.5. Компенсация движения помехи и собственного движения РЛС	57
5.6. Требования к узлам системы СДЦ	57
5.7. Требования к ГВЧ (импульсный)	58
5.8. Требования к стабильности ПЧ	59
5.9. Требования к стабильности устройств задержки	59
5.10. Понятия о цифровых системах СДЦ	59
6. Системы оптической локации (СОЛ)	61
6.1. Приемники оптического излучения	61
6.2. Передатчики СОЛ	61
6.3. Обнаружение оптического сигнала. Основное уравнение дальности ОЛ	62
6.4. Точечная цель (первый случай)	62
6.5. Учет влияния среды распространения	63
7. Основные виды радиосистем	64
7.1. Особенности систем ближней радиолокации (СБРЛ)	64
7.2. Особенности импульсных СБРЛ. Принцип действия	66
7.3. Особенности функционального и структурного построения СБРЛ	67

8. Системы автоматического сопровождения (САС)	68
8.1. Простейшая система АСД одиночной цели	68
8.2. Системы автосопровождения по направлению	73
8.3. Сопровождение многих целей	80
9. Системы радиуправления (СР)	85
9.1. Системы автономного управления.....	86
9.2. Системы радиотеленавещения.....	90
9.3. Системы радиотеленавещения (командного управления) (СРТУ).....	92
9.4. Системы самонавещения (ССН).....	95
9.5. Контактные устройства – радиовзрыватели.....	98
Контрольные вопросы	100
Список рекомендуемой литературы.....	101

Учебное издание

ГАЛКИН Александр Павлович

ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Редактор Р.С. Кузина

Корректор В.В. Гурова

Компьютерная верстка Е.Г. Радченко

ЛР № 020275. Подписано в печать 15.06.04.

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать на ризографе. Усл. печ. л. 6,28. Уч.-изд. л. 6,48. Тираж 200 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.