# ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА

# Характер излучения

Выбор вида излучения зависит от тактических задач, решаемых РЛС, от количества информации, которую должен нести отраженный сигнал, от требований к разрешающей способности и помехоустойчивости.

**Непрерывные немодулированные** сигналы находят применение в системах:

- самонаведения;

- дистанционного подрыва боевой части ракет и снарядов;

- обнаружения низколетящих целей;

- навигационных доплеровских;

- траекторных измерений;

- ближней радиолокации;

- фазовой дальнометрии и некоторых других.

Непрерывные немодулированные сигналы не обладают разрешающей способностью по дальности, однако являются наилучшими для измерения скорости объектов.

**Непрерывные частотно-модулированные** (ЧМ) сигналы применяются в системах:

- измерения высоты полета летательных аппаратов (бортовые радиовысотомеры);

- дистанционного подрыва боевой части ракет и снарядов;

- измерения дальности.

Такой характер зондирующего сигнала позволяет построить простую и надежную аппаратуру при работе по одиночному объекту. Непрерывный ЧМ-сигнал обладает разрешающей способностью по скорости и по дальности.

Непрерывные шумоподобные сигналы еще не нашли широкого применения в радиолокации, однако привлекают к себе все большее внимание благодаря скрытности работы по сравнению с другими сигналами и потенциально хорошему одновременному разрешению по дальности и скорости. Однако эти качества реализуются лишь при очень больших базах сигнала, и для их обработки требуется весьма сложная и дорогая аппаратура.

Основным недостатком непрерывных сигналов является трудность развязки работы приемника и передатчика. Из-за высоких требований к развязке в большинстве случаев приходится использовать раздельные передающую и приемную антенны, а зачастую и разносить их на относительно большие расстояния.

**Импульсные** сигналы находят более широкое применение в радиотехнических системах, чем непрерывные, так как обладают целым рядом положительных особенностей. В зависимости от соотношения между эффективной длительностью импульса и шириной его спектра импульсные сигналы делят на два класса – простые и сложные. Сложные сигналы в отличие от простых имеют внутриимпульсную модуляцию (или манипуляцию) фазы или частоты, что существенно расширяет спектр сигнала. Применение сложных сигналов позволяет разрешить часто возникающее противоречие между требованием большой дальности действия РЛС и высокой разрешающей способностью по дальности (при физических ограничениях на максимальное значение пиковой мощности излучения). Это следует из того, что при согласованной фильтрации сложного сигнала значительной длительности в приемнике сигнал «сжимается» по дальности, обеспечивая высокую разрешающую способность по дальности. Благодаря этому свойству сложные сигналы используются, в частности, в РЛС дальнего обнаружения.

**Частота излучения**

К выбору и обоснованию частоты излучения  или диапазона используемых частот нужно подходить особенно внимательно, т.к. этот технический показатель РЛС связан почти со всеми тактическими и техническими характеристиками. Рациональный выбор  может быть сделан только после всестороннего анализа влияния  на заданные тактические характеристики радиосистемы. При этом необходимо также учитывать рекомендации международных организаций по использованию диапазонов радиоволн (МСЭ – Международный союз электросвязи, ICAO – Международная организация гражданской авиации).

**Диапазон** 20…300 МГц  сильно перегружен электромагнитными излучениями и поэтому не находит широкого применения в РЛС, однако составляющие его частоты применяются в мощных РЛС дальнего обнаружения с большими антенными полотнами и большой излучаемой мощностью. В РЛС этого диапазона не бывает помех в виде отражений от метеообразований.

**Диапазон** 300…2000 МГц  удобен при создании надежных РЛС для наблюдения за воздушным пространством с большой дальностью действия, не зависящей от погодных условий. В этом диапазоне успешно применяются методы селекции сигналов от движущихся целей. Однако применение данного диапазона ограничено тем, что широкий участок его спектра выделен для телевидения.

**Диапазон** 2000…4000 МГц  используется в РЛС обзора, обеспечивающих хорошее угловое разрешение, высокую точность измерения дальности, однако влияние метеоусловий на работу РЛС в этом диапазоне начинает заметно сказываться.

**Диапазон** 4000…8000 МГц  также используется в обзорных РЛС главным образом со средней дальностью действия, а также в навигационных судовых РЛС. На этих частотах работают и РЛС точного сопровождения ракет, РЛС наведения и управления оружием.

**Диапазон** 8000…12000 МГц  широко используются в радиолокации. В этом диапазоне работает большинство РЛС наведения и управления оружием, гражданские морские, авиационные всепогодные и доплеровские навигационные РЛС. РЛС этого диапазона отличаются малыми весогабаритными показателями. В этом диапазоне широко могут быть использованы сложные сигналы и короткие зондирующие импульсы, а также сформированы узкие диаграммы направленности антенн со сравнительно небольшими геометрическими размерами. Поглощение радиоволн этого диапазона в метеообразованиях значительно.

**Диапазон** 12…40 ГГц  используется для РЛС ближнего действия с высоким угловым разрешением при малых размерах антенн и с высоким разрешением по дальности, однако получить большие мощности излучения в этом диапазоне трудно. Для этого диапазона характерно значительное затухание радиоволн в атмосфере и метеообразованиях, более высокий уровень внешних шумов и меньшая чувствительность приемников. В этом же диапазоне лежит частота интенсивного поглощения радиоволн водяным паром (22,2 ГГц), не рекомендованная к применению.

**Факторы, влияющие на выбор длины волны**

**1. *Энергетическая дальность РЛС.***

Учитывая большое влияние поглощения радиоволн в атмосфере на дальность действия РЛС, необходимо так выбрать λ, чтобы обеспечить максимальную дальность действия при минимальной излучаемой мощности. При этом в качестве исходных необходимо принять наихудшие метеоусловия, оговоренные ТЗ.

**2. *Отражения от метеообразований.***

Для выбора λ может быть использована табл. 1, дающая качественное представление зависимости предельной длины волны λпр, при которой обнаруживаются метеообразования, от характера метеообразований.

Табл. 1

|  |  |
| --- | --- |
| **Метеообразования** | **λпр, см** |
| Грозовые и кучевые облака | 25 |
| Сильный дождь (16 мм/ч) | 10 |
| Туман с горизонтальной видимостью 30 м | 10 |
| Дождь средней силы (4 мм/ч) | 5 |
| Туман с горизонтальной видимостью 120 м | 4 |
| Сильный дождь (1 мм/ч) | 3 |
| Моросящий дождь (0,25 мм/ч) | 1,8 |
| Туман с горизонтальной видимостью 600 м | 1 |

Удельная ЭПР метеообразований в виде дождя и снега может быть определена по формулам:

для дождя

 м2/м3,

для снега

 м2/м3,

где α – интенсивность осадков в мм/ч.

**3. *Геометрические размеры антенны, разрешающая способность по угловым координатам и точность угловых измерений.***

Геометрическая площадь раскрыва зеркальной антенны непосредственно связана с длиной волны соотношением

, (1)

где *G* – коэффициент усиления антенны, равный произведению ее КНД на КПД;

 - коэффициент использования раскрыва антенны.

Разрешающие способности по азимуту  и углу места  связаны с длиной волны выражениями

, , (2)

где  и  - геометрические размеры раскрыва антенны в плоскостях азимута и угла места, а  и  выражаются в градусах;

 - коэффициент ухудшения разрешающей способности, зависящий в основном от разрешающей способности оконечного устройства (индикатора).

Выбор длины волны ограничивается также допустимыми среднеквадратическими погрешностями измерения угловых координат  :

, , (3)

где *q* – отношение сигнал/шум на входе измерителя;

 - коэффициент ухудшения потенциальной точности.

Пользуясь формулами (1) – (3), следует выбирать минимальное из полученных значений λ.

**4. *Положение нижнего лепестка диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости.***

Оно влияет на дальность обнаружения надводных и низколетящих целей и связано с длиной волны соотношением

, (4)

где  - угол места направления максимума *n*-го лепестка диаграммы направленности;

 - высота установки антенны.

Число лепестков диаграммы направленности РЛС с учетом влияния Земли определяется:

.

**5. *Допустимая минимальная длительность зондирующего импульса.***

Она связана с возможностями генераторов СВЧ-колебаний.

В триодных генераторах сантиметрового диапазона волн время установления колебаний составляет величину около 50…100 периодов высокочастотных колебаний, т.е. должно выполняться условие , откуда

. (5)

Для магнетронных передатчиков нарастание колебаний происходит за 100…200 периодов высокочастотных колебаний, поэтому

. (6)

Для амплитронов и ЛБВ полоса усиливаемых частот с учетом ограничений, создаваемых антенно-фидерными устройствами, часто не превышает . Это соответствует длительности фронта нарастания импульса , поэтому

. (7)

У клистрона, обладающего значительной добротностью, нарастание колебаний происходит за 600…1000 периодов высокочастотных колебаний, поэтому

. (8)

Длительность импульса, входящая в выражения (5) – (8), определяет разрешающую способность по дальности

 (9)

и среднеквадратическую погрешность измерения дальности

, (10)

где  - коэффициент сжатия сигнала при согласованном приеме широкополосного зондирующего сигнала (при простом сигнале );

 - коэффициенты ухудшения разрешающей способности по дальности и точности измерения дальности.

Пользуясь выражениями (5) – (10) при заданных  и , можно определить длину волны λ.

**6. *Разрешающая способность по радиальной скорости, среднеквадратическая погрешность ее измерения и диапазон однозначно измеряемых скоростей.***

Они связаны с длиной волны следующими соотношениями:

, (11)

, (12)

, (13)

где  - время облучения цели за один цикл обзора;

 - коэффициенты ухудшения разрешающей способности по скорости и точности ее измерения.

При выборе длины волны по формулам (1) – (13) используют, как правило, не все, а только те из них, которые учитывают ограничения, накладываемые техническим заданием. Ряд ограничений может выявится в процессе дальнейших расчетов характеристик РЛС и уточнения величин, входящих в формулы (1) – (13). В этом случае необходимо скорректировать длину волны и соответственно пересчитать все связанные с ней характеристики РЛС.

Коэффициенты ухудшения , принятые при выборе длины волны ориентировочно, в последующих вычислениях должны быть уточнены в соответствии с расчетов характеристик тех функциональных или структурных узлов РЛС, от которых они зависят.

**Длительность зондирующего импульса**

При выборе длительности  приходится учитывать целый ряд противоречивых факторов. С уменьшением длительности импульса улучшается разрешающая способность по дальности (9), увеличивается точность измерения дальности (10), сокращается минимальная измеряемая дальность

, (14)

уменьшается мешающее действие протяженных пассивных помех (гидрометеоров, дипольных отражателей, ложных целей и т.д.) вследствие уменьшения разрешаемого объема

, (15)

где значения  и  подставляются в радианах.

Наряду с этим уменьшение длительности импульса при неизменной импульсной мощности приводит к уменьшению дальности действия РЛС. Стремление сохранить среднюю мощность при уменьшении  может привести к недопустимо большим пиковым мощностям, при которых нарушается электрическая прочность генераторных приборов и элементов антенно-волноводного тракта передатчиков РЛС. В современных РЛС значение пиковой излучаемой мощности достигает приблизительно 1…5 МВт.

Ограничение длительности импульса, связанное с переходными процессами в генераторе, учитывается формулами (5) – (8).

Итак, выбор длительности импульса необходимо производить по формулам (9), (10) и (14), используя то значение, которое удовлетворяет всем трем условиям, а затем следует осуществить проверку на удовлетворение указанным выше ограничениям.

**Внутриимпульсная модуляция**

Внутриимпульсная модуляция (манипуляция) по частоте и фазе применяется с целью расширения спектра зондирующего сигнала, что при соответствующей согласованной обработке в приемнике позволяет получить сжатый по времени сигнал. Коэффициент сжатия  при этом равен базе зондирующего сигнала , где  - эффективная ширина спектра сигнала,  - эффективная длительность сигнала.

Если обработка сигнала в приемнике отличается от оптимальной, то

, (16)

где ξ - коэффициент потерь, учитывающий неоптимальность обработки сигнала в приемнике.

Наибольшее распространение в настоящее время получила внутриимпульсная линейная частотная модуляция (ЛЧМ). При базе сигнала  и прямоугольной форме импульса можно считать эффективную ширину спектра  примерно равной девиации частоты ЛЧМ .

Предпочтение, отдаваемое иногда ЛЧМ-сигналам, объясняется относительной простотой схем их формирования и обработки. Недостатками ЛЧМ-сигналов являются невозможность одновременного измерения дальности и скорости при работе с одной импульсной посылкой и относительно высокий уровень боковых лепестков сжатого сигнала на выходе согласованного фильтра. При пачечном ЛЧМ-сигнале появляется возможность определения скорости по частоте огибающей пачки импульсов на выходе когерентного детектора.

Значительный интерес представляют частотно- или фазоманипулированные сигналы, находящие в настоящее время все большее распространение в радиолокации.

Выбирая закон и параметры внутриимпульсной модуляции, нужно стремиться к получению автокорреляционной функции сложного сигнала, обладающей узким центральным пиком и малым уровнем боковых лепестков.

Реально используемые сложные сигналы в РЛС дальнего действия имеют базу, значение которой достигает нескольких тысяч.

Целесообразность применения сложных сигналов должна быть строго обоснована как с технической, так и с экономической точек зрения, поскольку формирование и обработка таких сигналов требуют значительного усложнения радиотехнической системы.

**Период повторения зондирующих импульсов**

Период повторения зондирующих импульсов *T* связан с большим числом тактических и технических характеристик РЛС.

Прежде всего, период повторения должен обеспечить необходимый диапазон однозначного измерения дальности. Для этого необходимо, чтобы

,

где *с* – скорость распространения электромагнитных волн.

Учитывая время, необходимое для завершения переходных процессов в оконечном устройстве к моменту излучения очередного зондирующего импульса, рекомендуется выбрать

, (17)

где  - коэффициент запаса.

Другим ограничением периода повторения снизу является максимально допустимая средняя мощность излучения  выбранного генераторного прибора СВЧ при рассчитанной импульсной мощности :

. (18)

С другой стороны, период повторения должен быть не больше определенного значения, определяющего:

- максимальное значение однозначно измеряемой радиальной скорости 

; (19)

- число импульсов в пачке *M* должно удовлетворять неравенству , поэтому

, (20)

где  - ширина диаграммы направленности антенны;

 - угловая скорость сканирования.

Пользуясь формулами (17) – (20), выбирают значение *T*, удовлетворяющее всем требованиям ТЗ. При этом из диапазона возможных значений *T* выбирают наименьшее, что обеспечивает наилучшие тактические характеристики РЛС.

Если не получается получить единого значения *T*, удовлетворяющего всем требованиям ТЗ, следует пересчитать некоторые ранее выбранные характеристики (,, *M*, λ, , ) с целью их более гармоничного сочетания или использовать несколько периодов повторения импульсов с разделением соответствующих сигналов в приемном устройстве по каким-либо признакам (частоте, длительности, форме).