

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.396.961.1

ВОЗМОЖНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОСИСТЕМ

ИММОРЕЕВ И.Я.

Рассматривается использование сверхширокополосных (СШП) сигналов в радиолокации и радиосвязи. Систематизированы преимущества СШП радиосистем перед традиционными узкополосными системами, решающими аналогичные задачи. Проанализированы причины, которые вызывают значительные отличия в характере процессов, протекающих в одинаковых по назначению звеньях сверхширокополосных и узкополосных радиосистем. Показаны особенности построения СШП радиосистем, вызванные этими отличиями, а также необычность научных и технических проблем, встающих перед разработчиками таких систем при их проектировании. Приведены некоторые системные и технические решения, применяемые в СШП радиосистемах. В статье использованы материалы недавних публикаций в журналах и трудах международных конференций, посвященных этому направлению техники.

Use of superwideband (SWB) signals in radars and radio communication is considered. Advantages of the SWB radio systems over the traditional narrowband ones dealing with similar problems are systematized. The reasons which cause significant differences in the character of processes proceeding in sections of the superwideband and narrowband radio systems, the same in their designated purpose, are analyzed. Details of constructing the SWB radio systems resulting from the said differences as well singularity of scientific and technical problems arising before developers of such systems in the time of their design are shown. Some system and technical solutions in the SWB radio systems are provided. The paper uses materials of recent publications in journals and proceedings of the international conferences devoted to this trend of engineering development.

Введение

Традиционные радиотехнические системы работают в узкой полосе частот и используют в качестве несущего колебания для передачи информации гармонические (синусоидальные) сигналы. Так сложилось исторически, поскольку LC контур являлся самой простой электрической колебательной системой, которая позволяла легко выполнять частотную селекцию необходимых сигналов, а синусоида являлась собственным колебанием этого контура. С тех пор частотная селекция остается основным способом разделения радиоканалов, а большинство радиотехнических систем работает в полосе частот, которая намного меньше, чем их несущая частота. Вся теория и практика современной радиотехники опирается на эту особенность.

Однако узкая полоса частот ограничивает информативность радиотехнических систем, поскольку количество информации, передаваемой в единицу времени, прямо пропорционально этой полосе. Для повышения информационных возможностей системы необходимо расширить ее полосу частот. Альтернативой может явиться только увеличение времени передачи информации.

Особенно актуальна эта проблема для современного общества, в котором происходит стремительный рост информационных потоков. Обычные радиосистемы с полосой частот, не превышающей 10% от несущей частоты, практически исчерпали свои возможности по передаче информации. Поэтому одним из путей дальнейшего развития информационных систем

является переход к сигналам с широкой и сверхширокой полосой частот.

Понятие «сверхширокополосный» применительно к сигналам и системам введено в 1990 году Комиссией Управления перспективных военных НИОКР министерства обороны США (DARPA) [1]. К сверхширокополосным отнесены системы и сигналы, для которых относительная полоса частот

$$\eta = (f_{\text{верх}} - f_{\text{нижн}}) / (f_{\text{верх}} + f_{\text{нижн}})$$

лежит в пределах $0,25 < \eta \leq 1$. Это определение в настоящее время используется весьма широко. Однако анализ работ, связанных с построением СШП систем показывает, что далеко не все сигналы, подпадающие под указанное определение, обладают свойствами сверхширокополосных. В то же время эти свойства проявляются всегда, когда пространственная протяженность сигнала $c\tau$ (c – скорость света, $\tau = 1/\Delta f$ – длительность простого сигнала или ширина его автокорреляционной функции, Δf – ширина спектра сигнала) становится намного меньше L – размера излучающей (приемной) апертуры или размера объекта отражающего сигнал. Поэтому выполнение условия $L \gg c\tau$ позволяет более обоснованно отнести сигнал и системы к классу сверхширокополосных.

Различные аспекты построения и применения СШП радиосистем рассмотрены в литературе [2-9]. Однако систематизированной информации в этой области пока недостаточно. Причина достаточно объективна. Процесс передачи информации с помощью СШП сигналов значительно отличается от аналогичного процесса при использовании традиционных уз-

кополосных сигналов. Эти отличия затрудняют, а иногда делают невозможным, использование известных методов для расчета радиосистем и их элементов. Изучение этих отличий позволяет понять, когда традиционная теория может быть использована при проектировании СШП радиосистем, а когда этой теорией пользоваться нельзя и необходима разработка или применение новых методов.

В настоящей статье рассматриваются новые информационные возможности, которые дает радиосистемам переход к СШП сигналам, а также делается попытка анализа основных особенностей СШП радиосистем, использующих такие сигналы, и приводятся некоторые технические решения, позволяющие реализовать СШП радиосистемы.

1. Информационные возможности сверхширокополосных радиосистем

В СШП радиолокации повышение информативности происходит благодаря уменьшению импульсного объема РЛС по дальности. Так, при изменении длительности зондирующего импульса от 1 мкс до 1 нс глубина импульсного объема уменьшается от 300 м до 30 см. Можно сказать, что инструмент, который исследует пространство, становится значительно более тонким и чувствительным.

Уменьшение длительности сигнала в СШП радиолокаторе позволяет [10,11]:

- повысить точность измерения расстояния до цели и разрешающую способность по дальности; в результате повышается разрешающая способность по дальности; в результате повышается разрешающая способность радиолокатора по всем координатам, поскольку разрешение целей по одной координате не требует их разрешения по другим координатам;

- уменьшить «мертвую зону» радиолокатора;

- произвести распознавание класса и типа цели, а также получить радиоизображение цели, поскольку принятый сигнал несет информацию не только о цели в целом, но и об ее отдельных элементах;

- повысить устойчивость радиолокатора к воздействию всех видов пассивных помех – дождя, тумана, аэрозолей, металлизированных полос, поскольку эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) помех в малом импульсном объеме становится соизмеримой с ЭПР цели;

- повысить устойчивость радара к воздействию внешних электромагнитных излучений и помех;

- повысить вероятность обнаружения и устойчивость сопровождения цели за счет увеличения ЭПР цели;

- повысить вероятность обнаружения и устойчивость сопровождения цели за счет устранения лепестковой структуры вторичных ДН облучаемых целей, так как колебания, отраженные от отдельных частей цели, не интерферируют;

- повысить устойчивость сопровождения цели под низким углом места за счет устранения интерференционных провалов в диаграмме направленности (ДН) антенны, поскольку сигнал, отраженный от цели, и сигнал, переотраженный от земли, разделяются во времени, что позволяет произвести их селекцию;

- изменить характеристики излучения (ширину и форму диаграммы направленности), изменяя параметры излучаемого сигнала; в том числе получить сверхузкую ДН;

- повысить скрытность работы радара.

В СШП радиосвязи время передачи единичного символа уменьшается до 1 нс и менее. Уменьшение длительности сигнала позволяет:

- получить высокую скорость передачи информации, исчисляемую десятками и сотнями мегабит в секунду;

- обеспечить низкую среднюю излучаемую мощность; плотность потока мощности при работе такими сигналами, как правило, лежит ниже ограничений санитарных норм и правил;

- обеспечить скрытную работу линии связи благодаря низкой плотности мощности на единицу полосы частот; обеспечить ее электромагнитную совместимость с узкополосными системами, работающими в той же полосе частот;

- использовать многолучевое распространение волн для повышения качества связи за счет временного разделения прямых и переотраженных сигналов и их последующего накопления;

- получить простоту конструкции благодаря отсутствию радиочастотных цепей в приемнике и передатчике.

СШП сигналы позволяют совместно работать нескольким каналам связи в одной и той же полосе частот. Для этого в каждом канале информационный сигнал смешивается с псевдослучайным СШП сигналом и излучается в эфир. С помощью N ортогональных СШП сигналов формируется N каналов связи, существующих в полосе частот СШП сигнала без взаимных помех. На приемной стороне информационный сигнал выделяется из СШП сигнала и передается потребителю информации.

Перейдем к анализу основных особенностей работы различных составных частей СШП радиосистем.

2. Особенности передачи и приема сигналов в СШП радиосистемах

Узкополосные сигналы обладают уникальным свойством. При таких широко используемых преобразованиях, как сложение, вычитание, дифференцирование и интегрирование, их форма, определяемая гармоническим законом исходного несущего колебания, практически не изменяется. Преобразованные сигналы отличаются только амплитудой и сдвигом во времени (фазой). У сверхширокополосных сигналов при указанных (и других) преобразованиях, происходящих в процессе излучения и приема, изменяются не только параметры, но и форма [12].

Рассмотрим эти изменения на примере СШП радиолокатора. Положим, что в передающем устройстве сформирован сигнал S_1 (рис.1), который в виде импульса тока передается в антенну.

Первое изменение его формы – дифференцирование – происходит при излучении (S_2 на рис.1), поскольку поле, излучаемое большинством антенн, изменяется пропорционально производной тока в антенне.