
РАДИОТЕХНИКА

УДК 621.396.967 (075.2)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ОТ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ

РУСТАМОВ АСАД

Рассматриваются вопросы повышения эффективности защиты радиолокационной станции от пассивных помех. На основании проведенных анализов с учетом скорости распространения и поляризации радиоволн, а также траектории и амплитудных разностей принятых радиолокационных сигналов предлагается схема компенсации импульсных помех.

Ключевые слова: пассивные помехи, импульсные помехи, радиолокация, эффективная защита, фазовые флуктуации.

Введение

Секретность современной армейской операции требует в период тактической подготовки и в ходе практической деятельности сохранения всех мероприятий штаба в секрете от врага.

Основная проблема в разработке эффективных схем защиты связана с правильным выбором параметра или группы параметров с наибольшим отклонением между сигналом и помехой. При выборе параметров учитывается пространственно-временная или угловая скорость, линейная скорость, поляризация, траектория и амплитудные разности [1].

Статистические свойства полезного сигнала и пассивных помех в радиолокационных станциях

Как известно, помехозащищенность радиолокационных станций – это способность выполнения ими заданных функций при воздействии непреднамеренных и специально организованных помех. Помехозащищенность определяется скрытностью работы системы и ее помехоустойчивостью. Под скрытностью системы понимают показатель, характеризующий трудность обнаружения ее работы и определения параметров используемых сигналов, а следовательно, и создания при необходимости специально организованных (прицельных) помех. Скрытность обеспечивается применением остронаправленного и по возможности кратковременного излучения сигнала в каждом направлении, использованием шумоподобных широкополосных сигналов с низким

уровнем мощности, изменением основных параметров сигнала во времени.

В последние годы интенсивно осваивался миллиметровый диапазон радиоволн для решения различных радиолокационных задач. Примером может служить радиолокационная станция миллиметрового диапазона для измерения кинематических характеристик артиллерийского снаряда на начальном этапе полета. Радиолокационная станция работает в когерентном режиме с использованием метода Допплера в интерферометрическом (фазовом) варианте.

В настоящее время основное внимание уделяется скорости (частоте) ориентации сигнала от пассивной помехи и пространственно-временной разности. Другие методы обладают малыми возможностями и по мере необходимости могут использоваться дополнительно. В случае отсутствия разности фаз для выделения сигнала на фоне помех используется метод выбора частоты. Выявление сигналов и пассивных помех основывается на различии их свойств. Основное отличие заключается в разности их скоростей перемещения [2]. В результате этого доплеровское частотное смещение сигнала объекта оказывается намного больше доплеровского частотного смещения помехи, что дает возможность выявления сигнала на фоне помех.

Полезные сигналы и пассивные помехи по статистическим свойствам могут отличаться. Основными причинами флуктуации пассивных помех могут быть движение элементарных отражателей, вращение антенны и нестабильность частоты посылаемых импульсов.

Оптимальное устройство выявления в общем случае является сложным и требует априорной информации о статистических свойствах помехи, которая как правило не бывает известной. Поэтому на практике при выборе движущегося объекта используется оптимоподобное устройство под названием когерентно-импульсная система.

В импульсно-доплеровских радиолокационных станциях малая часть мощности генератора, заменяющего гетеродин, подается непрерывно приемнику. Этот сигнал является когерентно-опорным. Здесь под когерентностью подразумевается стабильность фазы сигнала, посылаемого в опорном сигнале. Наличие опорного сигнала является отличительной чертой когерентно-импульсной

радиолокационной станции. Основу принципа действия когерентно-импульсной системы составляет использование изменения фазы отраженных сигналов от объекта.

Напряжения генератора непрерывных сигналов и опорного сигнала определяются соответственно формулами:

$$\begin{aligned} U_0 &= U_{m1} \cdot \sin 2\pi \cdot f_0 \cdot t; \\ U_{on} &= U_{m2} \cdot \sin 2\pi \cdot f_0 \cdot t. \end{aligned} \quad (1)$$

Напряжение сигнала, отраженного доплеровским частотным смещением, определяется как:

$$U_{omp} = U_{m3} \cdot \sin \left[2\pi \cdot (f_0 \pm F_{dop}) \cdot t + 2\pi \cdot f_0 \cdot \frac{2D}{C} \right]. \quad (2)$$

В этой формуле полезными являются только низкочастотные составляющие разности отраженного и опорного сигналов. На выходе смесителя получается разностное напряжение, определяемое по формуле:

$$\Delta U = U_m \cdot \sin \left(2\pi \cdot F_{dop} \cdot t + \frac{4\pi \cdot f_0 \cdot D}{C} \right). \quad (3)$$

На экране индикатора с линейной разверткой для неподвижных объектов получается, что

$$D = \text{const}, \quad F_{don} = \frac{2V_r}{C} \cdot f = \frac{2V_r}{\lambda} = 0$$

и амплитуда сигнала остается неизменной. В случае движения объекта $F_{don} \neq 0$ и фазовый сдвиг определяются следующим образом:

$$\Delta \varphi = \frac{2V_r}{C} \cdot 2\pi \cdot f_0 \cdot t.$$

В этом случае сигналы на выходе приемного устройства получаются в виде последовательных видеоимпульсов, модулированных по амплитуде доплеровским частотным смещением. В результате этого на экране индикатора неподвижные цели создадут неподвижные знаки, а движущиеся цели создадут пульсирующие знаки.

В некоторых радиолокационных станциях в целях выявления сигналов на фоне помехи, отраженных от метеорологических преобразований, в качестве метода дополнительной защиты применяется поляризационная селекция. В общем случае повышение на требуемый уровень защиты от пассивных помех перспективных радиолокационных

станций возможно только при помощи мероприятий, применяемых в ходе обработки и приводящих к уменьшению мощности помехи на входе приемника и сужению спектра флуктуации помехи [3]. Несмотря на применение многочисленных методов и средств, уменьшение уровня помех на сегодняшний день является актуальной проблемой. В радиоэлектронной борьбе считаются более опасными импульсные помехи с большой амплитудой и широким спектром.

Помехоустойчивость приемника импульсным помехам может быть достаточно увеличена. Это связано с тем, что частотные и фазовые спектры полезного сигнала и импульсной помехи на частоте сигнала и других частотах тесно взаимосвязаны. С учетом этого свойства в целях ослабления помех, поступающих с разных сторон в приемный пункт, в том числе со стороны полезного сигнала, разработаны различные методы и средства. Известные методы ослабления импульсных помех обычно осуществляются или в последдетекторном тракте, или же в тракте радиочастоты. Рассмотрим общие вопросы ослабления импульсных помех на конкретных примерах.

Компенсация импульсной помехи в последдетекторной части рассмотрим по схеме рис. 1.

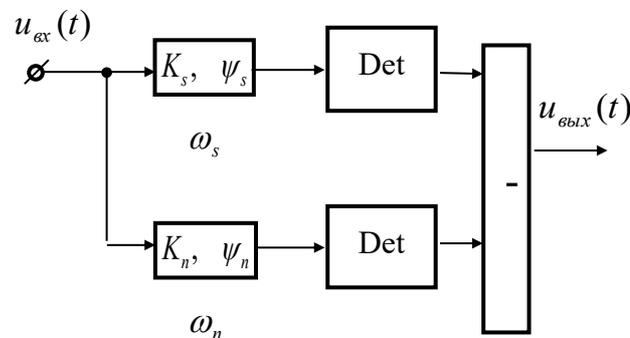


Рис. 1. Структурная схема ослабления импульсной помехи в последдетекторной части

Полезный сигнал и импульсная помеха выделяются соответственно на частотах ω_s и ω_n . Ясно, что по сигнальному каналу проходит смесь сигнала и помехи, а по каналу помехи проходит только помеха. Результаты детектирования подаются на входы устройства вычитания [4].

Этот метод обеспечивает полную компенсацию импульсной помехи при отсутствии полезного сигнала с частотой ω_s . При появлении полезного сигнала результат компенсации будет зависеть от

величины фазового сдвига между несущей частотой полезного сигнала и свободными колебаниями, возникающими при воздействии импульсной помехи системы. Так как момент возникновения импульсной помехи носит случайный характер, в сигнальном канале результат суммирования помехи с полезным сигналом тоже будет носить случайный характер.

Мощность пассивных помех на входе приемного устройства равна сумме мощностей, отраженных от отражателей при заданном объеме различения. Естественно, чем меньше объем различия, тем меньше мощность пассивных помех. При этом в случае, когда размеры цели меньше, чем объем различения, тогда уровень мощности полезного сигнала считается постоянным. Поэтому увеличение разрешающей способности по соответствующим координатам, то есть по угловым координатам и зоны действия, является действенным средством для усиления степени защиты от пассивных помех. Если в радиолокационных станциях увеличение разрешающей способности по азимуту сводится к минимуму, то для увеличения способности различения по расстоянию и угла местности остается еще много возможностей.

В радиолокационных станциях ближнего действия для обеспечения высокой способности различения рекомендуется применять короткие «гладкие» импульсы, потому что их формирование и обработка несложны. Кроме того, на выходе согласующего фильтра дополнительные максимумы не создаются. В радиолокационных станциях дальнего действия с большим уровнем потребляемой энергии (короткие импульсы не обеспечивают требуемую дальность) способность различения составляет около 10 метров. В них в качестве полосового согласующего фильтра возможно использовать длинный широкополосный сигнал.

В других случаях энергетический спектр в полосовом согласующем фильтре пассивной помехи когерентный период, как и спектр сигнала, равен частоте повторения импульса F_i и имеет гребенчатую структуру (рис. 2).

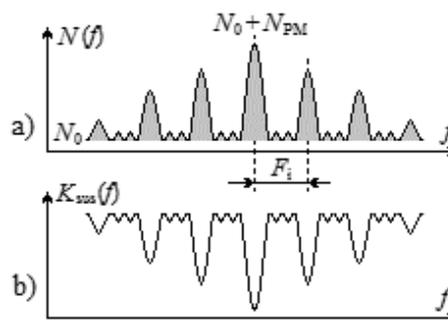


Рис. 2. Особенности пассивной помехи и канала обработки: а – суммарный спектр пассивной помехи и внутренних шумов; б – АЧХ фильтра молчания пассивной помехи

Минимально возможная ширина одного гребня определяется временем пачки:

$$\Delta f_{q\text{эб min}} = 1/NT_i.$$

На самом деле ширина спектра гребня получается большей. В таком случае от воздействия шумов взаимно-хаотическое перемещение отражателей в объеме импульса приводит к случайным изменениям амплитуды и фазы этой помехи между периодами, тем самым расширяя спектр. Кроме того, амплитудные и фазовые флуктуации помех от вращения антенны, от периода повторения полосового согласующего фильтра, от обновления некоторой части отражателей подвергаются дополнительно амплитудным и фазовым флуктуациям. Это приводит к нестабильности параметров (несущей частоты, амплитуды, времени и периода повторения полосового фильтра, частоты местного и когерентного гетеродинов приемника, коэффициента усиления приемника, параметров системы межпериодной обработки пачки) радиолокационной станции, что в свою очередь затрудняет выбор метода частоты (скорости) и выделение слабых сигналов на фоне интенсивных пассивных помех.

На основании селекции движущихся целей при отражении от них из-за деформации структуры сигнала для импульсной последовательности движущихся от радиолокационной станции целей характерны случаи: а) увеличение времени всего импульса и периода высокочастотных колебаний; б) удлинение паузы между двумя импульсами в $(1 + 2v_r/c)$ раз, где v_r – радиальная скорость цели.

Пауза между двумя импульсами увеличивается на:

$$\Delta T = \frac{2v_r}{c} T_i.$$

Из-за скоростной деформации сигнала изменение величины паузы между двумя импульсами бывает небольшим. Например, при $v_r=150$ м/с и $c=3 \cdot 10^8$ м/с получается $T_i=10^{-9}$ с, то есть из-за скоростной деформации происходит удлинение соседних импульсов относительно друг друга и получается значение, сравнимое с периодом высокочастотных колебаний. Это означает, что деформация сигнала происходит лишь из-за изменения фазы высокочастотных колебаний. Такие изменения можно выделить при помощи фазового детектора, на вход которого подается принимаемый сигнал и опорное высокостабильное колебание.

Вывод

На основании проведенных анализов для систем наблюдения радиолокационной станции предложен метод компенсации пассивных импульсных помех, учитывающих наибольшее отличие параметра или группы параметров между сигналом и пассивной помехой. Такими параметрами могут быть временно-пространственная или угловая частота, скорость, полярное слежение, а также отличия в траектории и амплитуде.

Литература: 1. *Исаев Р.М., Рустамов А.Р., Гурбанов М. А., Бабаишов Е.Х.* Теоретические основы радиотехнического наблюдения. Баку, АВВУ им. Г.Алиева, 2020. 2. *Рустамов А.Р.* Анализ некоторых параметров радиолокационных станций в организации систем радиотехнического наблюдения. Баку, АзТУ, Материалы НТК, 2016. С. 253-263. 3. *Рустамов А.Р.* Вопросы проверки статистических гипотез при обнаружении судовых радиолокационных сигналов. Баку, АзТУ, Научные труды. 2018. № 4. С. 100 – 104. 4. *Гасанов Р.А., Эйнуллаев В.С., Рустамов А.Р., Байрамов Р.М.* Синхронная компенсация импульсных помех / Материалы 20-й МНТК «Современные телевидение и радиоэлектроника». Москва, 2012. С.77-79. 5. *Ширман Я. Д.* Теоретические основы радиолокации. Учебное пособие для вузов. М.: Советское радио, 1970. 560 с.

Transliterated bibliography:

1. *Isaev R.M., Rustamov A.R., Gurbanov M. A., Baba-shov E.H.* Teoreticheskie osnovy radiotekhnicheskogo nabljudeniya. Baku, AVVU im. G.Alieva, 2020.
2. *Rustamov A.R.* Analiz nekotoryh parametrov radiolokacionnyh stancij v organizacii sistem radiotekhnicheskogo nabljudeniya. Baku, AzTU, Materialy NTK, 2016. S. 253-263.
3. *Rustamov A.R.* Voprosy proverki statisticheskikh gipotez pri obnaruzhenii sudovyh radiolokacionnyh signalov. Baku, AzTU, Nauchnye trudy. 2018. № 4. S. 100 – 104.
4. *Gasanov R.A., Jejnullaev V.S., Rustamov A.R., Bajramov R.M.* Sinhronnaja kompensacija impul'snyh po-meh / Materialy 20-j MNTK «Sovremennye televide-nie i radiojelektronika». Moskva, 2012. S.77-79.
5. *Shirman Ja. D.* Teoreticheskie osnovy radiolokacii. Uchebnoe posobie dlja vuzov. M.: Sovetskoe radio», 1970. 560 s.

Поступила в редколлегию 02.07.2020

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Омаров М.А.

Рустамов Асад, д.ф.т.н., Азербайджанское Высшее Военное Училище имени Гейдара Алиева. Адрес: ул. Нахимова, Баку, Азербайджан, AZ1073, E-mail: asad-rustam@mail.ru

Rustamov Asad, Ph.D., Azerbaijan Higher Military School named after Heydar Aliyev. Address: Nakhimov st., Baku, Azerbaijan, AZ1073, E-mail: asad-rustam@mail.ru