

Калениченко С.П., Сокольников В.А.

## **ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ СО СЛОЖНЫМ СИГНАЛОМ.**

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

В [1,2] рассмотрена радиолокационная система, работа которой основана на нетрадиционном представлении РЛС в виде системы с положительной обратной связью через пространство и цель. В отличие от классической когерентной РЛС выход одноканального корреляционного приемника через дополнительный модулятор подключен к входу передатчика с большим динамическим диапазоном. В отсутствие цели шумы первого каскада приемника усиливаются и излучаются в пространство. При наличии цели с достаточно высокой эффективной площадью рассеяния (ЭПР) возникает положительная обратная связь через пространство и цель, что приводит к нарастанию амплитуды возникающих колебаний в системе. Решение о наличии цели в данном элементе дистанции получается при превышении порогового уровня амплитуды этих колебаний. Недостатком системы является большое время наблюдения всех элементов дистанции, которое может достигать величины  $m = 500 - 1000$ . При времени наблюдения каждого элемента 10 - 20 мс время одного элемента разрешаемого по угловым координатам при последовательном обзоре элементов дистанции достигает 10 – 20 с.

В работах [3,4] изложены предложения по построению различных систем с положительной обратной связью со сложными сигналами и многоканальным по дистанции обзором, что может сократить время обзора одного угла до единиц миллисекунд. Однако при использовании сложных сигналов большой длительности при отсутствии цели возникает эффект возрастания шума на передающем выходе системы, если сигналы одной частоты перекрываются во времени.

В [2] показано, что при значении коэффициента усиления по мощности в разомкнутой системе с положительной обратной связью (цели нет) возникают колебания, если

$$k = K_p G > 1, \quad (1)$$

где  $K_p$  – коэффициент усиления радиолокационной системы с обратной связью;  $G$  – коэффициент ослабления поля по мощности в пространстве.

При выполнении (1) колебания в системе могут возникнуть при задержке

$$\tau = \tau_R + \tau_S = 2R/c + \tau_S \quad (2)$$

где  $\tau_R, \tau_S$  – задержка в пространстве и в системе соответственно,  $R$  – дальность до цели,  $c$  – скорость света. При наличии цели система становится неустойчивой и возникают колебания на частоте[2]

$$\omega = \xi / (\tau_R + \tau_S) = \xi / \tau; \quad (3),$$

где  $\xi = 2\pi k$  при сохранении фазы колебаний в системе на выходе, по сравнению со входом и  $\xi = \pi(2k + 1)$  при изменении фазы на  $\pi$ .

В [2] утверждается, что дальность действия системы обнаружения целей с положительной обратной связью не зависит от чувствительности приемника, а уменьшение мощности шума приемника приводит к увеличению скрытности системы. В работе рассмотрены физические модели РЛС с положительной обратной связью (РЛС с ПОС) в режиме обнаружения цели. На основе решения дифференциальных уравнений второго порядка для разомкнутой и замкнутой систем с запаздывающим аргументом проведен анализ работы для разомкнутой (цели нет) и замкнутой (цель есть) систем. В обоих случаях определены импульсные характеристики, найдены условия возбуждения колебаний для разных коэффициентов усиления в цепи обратной связи.

В предложенной радиолокационной системе с ПОС [3,4] использована цифровая согласованная фильтрация для сжатия сигналов от целей и модуляционный фильтр, формирующий сложный сигнал. Для запоминания и формирования когерентного колебания применяют контур выделения принимаемого от цели сигнала или шума приемника, запоминающий амплитуду и фазу принятой реализации.

Рассмотрим работу одноканальной и многоканальной по дальности системы с разными видами сложных сигналов. На рис. 1 изображена РЛС с ПОС и цифровой обработкой сигнала (аналого-цифровое и цифро –аналоговое преобразования не показаны). Обозначения на рисунке следующие: ГШ – генератор шума, МУ – малозумящий усилитель,

А1, А2 – приемная и передающая антенны, ГШ – генератор шума, ФСж 1 ÷ ФСж N – согласованные с формой сигнала фильтры сжатия для каждого элемента дистанции, СК – стробкаскады, УФ – узкополосные фильтры, ФФ 1 ÷ ФФ N – фильтры формирования сложного сигнала, УМ – усилитель мощности. На рис. 2 показаны эпюры напряжений в

схеме с сложным сигналом пачечной структуры, длительностью  $M$  квантов, повторяемый периодически.

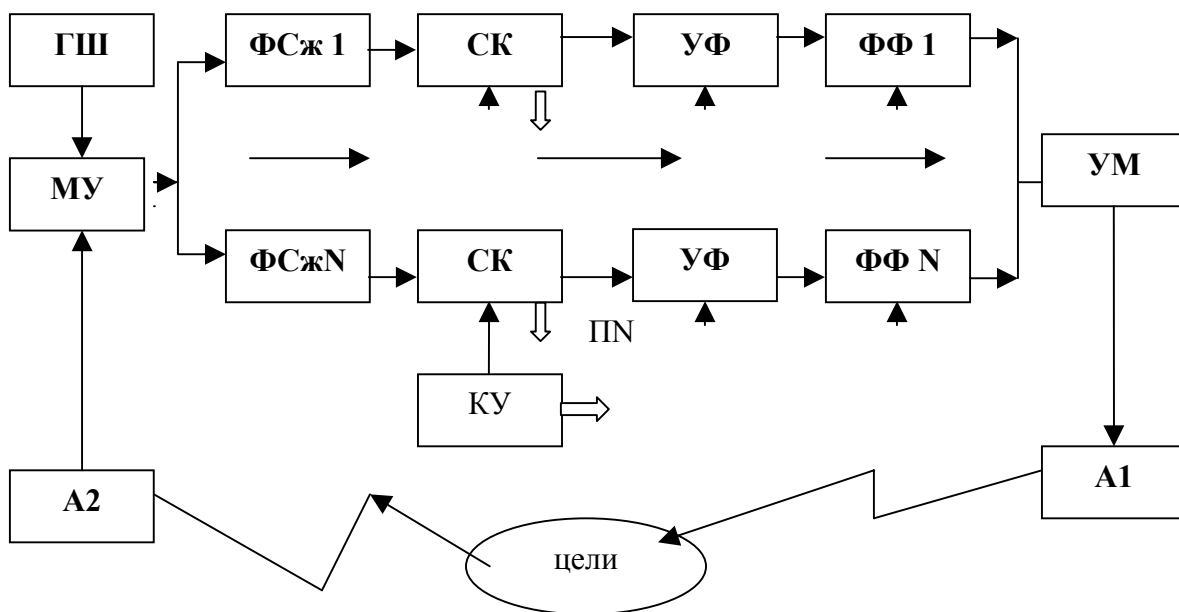


Рис. 1 – Упрощенная схема многоканальной по дальности РЛС с ПОС

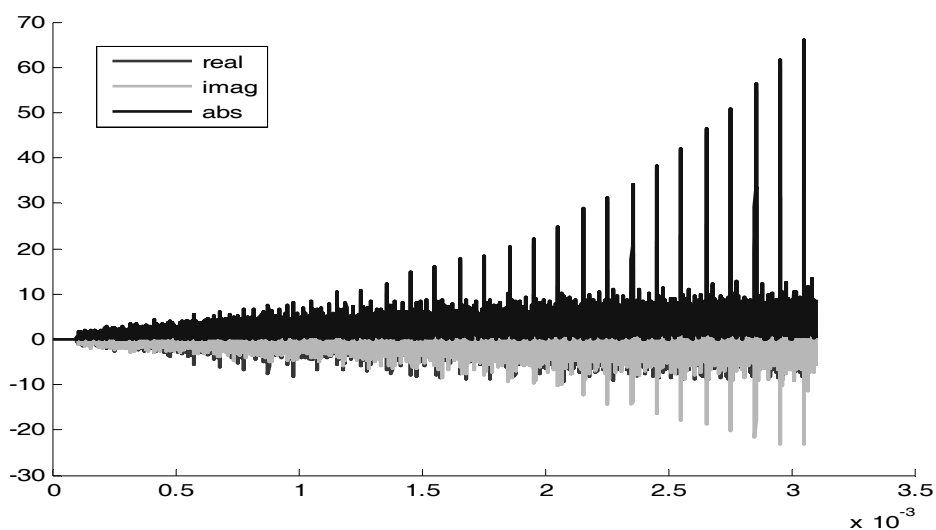


Рис. 2 – Отклик системы (фазовая модуляция на  $0, \pi$ , код Баркера, 13 символов, пачечная структура сигнала) на выходе стробкадамов СК. Задержка сигналов по горизонтальной оси в мкс.

При моделировании принято, что несущая частота РЛС – 10 ГГц. Имеется цель с задержкой в 50 мкс в одном из квантов, которая дает циркуляции выходного сигнала. Число циркуляций – 30, коэффициент усиления в системе – 5, аппаратная задержка – 300 мкс, длительность кванта сигнала – 1 мкс, максимальна задержка сигнала – 500 мкс.

Дифференциальное уравнение для каждого канала обработки и при наличии одной неподвижной цели можно записать следующим образом [2]:

$$d^2 y/dt^2 + 2\alpha_1 dy/dt + \omega_0^2 y = 2\alpha_1 k dy(t-T)/dt + n(t) \quad (4)$$

где  $n(t)$  – спектральная плотность мощности шума,  $T$  – задержка до цели,  $\alpha_1, \omega_0, k$  – параметры системы. При отсутствии цели уравнение (4) приобретает вид:

$$d^2 y/dt^2 + 2\alpha_1 dy/dt + \omega_0^2 y = n(t) \quad (5)$$

При наличии  $N$  целей в пределах видимости РЛС шумовое напряжение возрастает за счет действия боковых выбросов сжатого сигнала. Вследствие того, что на выходе ФФ 1 ÷ ФФ  $N$  вновь сформированные сигналы могут перекрываться во времени, боковые выбросы на выходах ФСЖ 1 ÷ ФСЖ  $N$  также перекрываются. В тех элементах дистанции, где имеются цели собственное напряжение шумов и дополнительные напряжения боковых выбросов суммируются, увеличивая шум на выходе передатчика (УМ) в антенне А2. На выходе строб каскадов системы (П1 ÷ П $N$ ) выделяются сжатые импульсы от целей и шумы (показаны контурными стрелками). На каждом канале возникают импульсы от цели, боковые выбросы от других целей и шумы. Если боковые выбросы малы по амплитуде, то на превышение порога они не оказывают влияния. Если РЛС с ПОС работает по морской поверхности, то шумы не достигают значительного уровня.

Для оценки шумов и помех рассмотрим элемент разрешения по дистанции. Мощность шума приемника в полосе пропускания, согласованной со спектром сигнала  $\Delta W$ , при  $F_i$  – коэффициенте шума приемника, будет равна:

$$P_{ш} = kT_0 \Delta W F_{ш} \quad (6)$$

и при пороговом отношении сигнал/шум  $\nu$ , в случае согласованной обработки получим пороговую мощность

$$P_{пор} = \nu P_{ш} \quad (7)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  $k = 1,3710^{-23}$  Дж/град,  $T_0 = 300^0$  К – температура Кельвина

В случае действия пассивной помехи шумовая температура возрастает:

$$\hat{P}_{пор} = P_{пор} + P_{ин} \quad (8)$$

где  $P_{ин}$  – некоррелированная помеха из-за действия боковых лепестков. Если выполняется соотношение ослабления выбросов боковых лепестков (при  $P_{пор} \gg P_{ин}$ ), то при обнаружении, для вычисления порогового сигнала, используют формулу (7).

При формировании сложного сигнала в каждом дальностном канале, где возникают циркуляции, формируется сложный сигнал с амплитудой и фазой, соответственно определенной в строб каскаде. Тогда в начале процесса, на первой и последующих

циркуляциях, напряжение шумов и помех возрастает, по сравнению с исходным уровнем шумов, вычисляемых по формуле (6). Будем считать, что коэффициент усиления системы больше 1, а сигналы имеют псевдошумовой характер. На каждом элементе задержки добавляется уровень сигнала, попадающий от соседних элементов, где имеются другие сигналы от других целей. Будем полагать, что используемый сложный сигнал имеет пачечную структуру и на каждой циркуляции укладывается одна пачка, меньшая, чем число квантов дистанции, т.е.  $m = \tau_s / \tau_0$  и  $m > Q$ , где  $\tau_0$  – элемент разрешения по дальности. Тогда на первых циркуляциях в элементах дистанции, где имеются сигналы от  $N$  целей, на выходе передатчика возникают добавленные уровни напряжений, вычисляемые по формуле:

$$s_{nep} = \sum_{i=0}^N s_i(t) u_{ui}(t - \tau_i) \quad (9)$$

Здесь первый множитель под знаком суммы будет закон модуляции импульса сложного сигнала, а второй шумовая несущая, определяемая генератором шума ГШ на входе приемника.

Будет ли влиять суммарный сигнал на систему обнаружения? Ответ на этот вопрос зависит от уровня помех корреляционного качества сложного сигнала. При не очень большом количестве целей и убыванием сигналов от расстояния уровень шума будет незначительно увеличивать шумы передатчика, что показывает проведенное моделирование системы. поэтому эти помехи не будут ухудшать обнаружение цели.

Моделирование радиолокационной системы с ПОС, показало возможность работы по морской поверхности при решении гидрографических задач

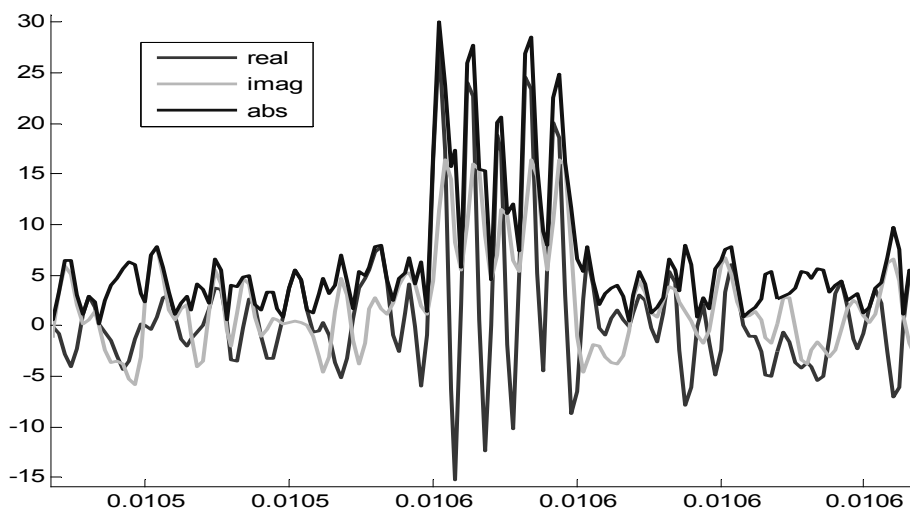


Рис. 3 – результаты расчетов пяти близкорасположенных целей сжатого пачечного сложного сигнала, модулированного кодом Баркера по фазе.

При моделировании были взяты пять целей с различными сдвигами начальной фазы, расположенных рядом друг с другом и вычислены циркуляции в системе. Шумы вне элемента корреляции возросли в 2,23 раза (по напряжению) по сравнению с шумом в области, где нет сигнала.

Несмотря на то, что шумы от подстилающей поверхности могут увеличить выходной шумовой сигнал радиолокационной системы, она может быть с успехом использована при радиолокационном мониторинге окружающей среды с обеспечением электромагнитной совместимости более высокого уровня, чем традиционная РЛС.

#### Литература

1. Морская радиолокация. Под редакцией проф. В.И. Винокурова. Судостроение. 1986. С. – 256.
2. Попов В.Н. Вопросы обнаружения и разрешения целей радиолокационной станцией с обратной связью через пространство-цель. Кандидатская диссертация. ЛЭТИ им. В.И. Ульянова /Ленина/. 1978.
3. Калениченко С.П. Сокольников В.А. Результаты исследования радиолокационной системы с положительной обратной связью через пространство и цель./ Всероссийские радиофизические научные чтения-конференции памяти Н.А. Арманды, Сб. докладов III Feedback Through Target. Proceedings of International Radar Symposium, Leipzig, Germany, September 7-9, 2011, pages 815-820. Всероссийской научной конференции (Муром, 28 июня –1 июля 2010 г.). – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВГУ, 2010. С. 82-287
4. Kalenichenko S.P. and Sokolnikov V.A. Analysis Results of Radar System with Positive Feedback through Target. Proceedings of International Radar Symposium, Leipzig, Germany, September 7-9, 2011, pages 815-820.

Авторы:

Калениченко Сергей Петрович – кандидат технических наук (1977), ведущий научный сотрудник кафедры «Радиотехнические системы» СПбГЭТУ, имеет более 150 трудов и 15 изобретений, специалист по разработке РЛС со сложными сигналами, формированию и обработке сигналов.

Сокольников Владислав Александрович – аспирант кафедры «Радиотехнические системы» СПбГЭТУ, имеет 6 трудов и 2 изобретения по РЛС со сложными сигналами, специалист по разработке РЛС со сложными сигналами, формированию и обработке сигналов.