

## Когерентная сверхкороткоимпульсная радиолокационная станция с последовательной квадратурной обработкой сигналов

М.В. Головачев, А.В. Кочетов, О.С. Миронов, П.С. Панфилов, В.А. Сарычев, И.М. Хомяков

ОАО «НПП «Радар ммс», Санкт-Петербург, Новосельковская, 37, radar@radar-mms.com.

*Приведено описание сверхкороткоимпульсной когерентной РЛС с последовательной квадратурной обработкой радиолокационных сигналов. Квадратурная обработка радиолокационной информации проводится одноканальным приемником череспериодным вычитанием и накоплением принимаемой информации.*

*The description of coherent UWB radar with signal sequential quadrature processing is given. Radar data quadrature processing is carried by single-channel receiver data period to period subtraction and accumulation.*

Радиолокация с использованием сверхширокополосных (СШП) радиосигналов удовлетворяет всем основным современным требованиям: высокое пространственное разрешение цели вплоть до получения ее радиолокационной картинки; высокая скрытность процесса радиолокации; предельно достижимая помехозащищенность; нейтрализация новейших технологий «радиолокационной невидимости» типа «Стелс».

В данной статье приведено описание когерентной сверхкороткоимпульсной (СКИ) радиолокационной станции (РЛС) дециметрового диапазона длин волн (ДМВ), с последовательной квадратурной обработкой принимаемого сигнала. В СКИ РЛС возможно выполнить как параллельную квадратурную обработку сигналов, так и последовательную [1]. Параллельная квадратурная обработка сигналов с одной стороны увеличивает быстродействие, но с другой – ведет к усложнению приемного тракта СКИ РЛС, квадратурные каналы которого должны быть идентичными и иметь стабильные во времени характеристики. Не менее сложно выполнять калибровку квадратурных каналов и периодический контроль параметров в процессе эксплуатации. Последовательный прием квадратурных составляющих позволяет ограничиться одним приемным каналом.

Возможность последовательного приема квадратурных компонент зондирующих сигналов СКИ РЛС заложена в механизме формирования и излучения антенной сверхкороткоимпульсного сигнала, взаимная фаза спектральных компонент которого не меняется от момента формирования, а меняется только их начальная фаза. В [1] была предложена схема последовательного излучения СКИ, момент формирования и излучения которых управляется прецизионным устройством регулируемой временной задержки. Этим устройством и определяется точность формирования квадратурных компонент сигнала на прием.

Еще один способ приема квадратурных компонент сигнала заключается в специальном выборе частот первого и второго гетеродинов, тактовой частоты АЦП и частоты повторения зондирующих импульсов. При правильном выборе указанных частот после каждого излучения зондирующего импульса в буферную память АЦП последовательно записываются квадратурные компоненты сигналов. Причем записываются полные квадратурные компоненты:  $0$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $3\pi/2$ . При последующей обработке производится череспериодное вычитание квадратурных компонент с противоположным знаком, вычисляется модуль и фаза принятого сигнала.

Структурная схема СКИ РЛС приведена на рис. 1. СКИ РЛС содержит антенную систему для излучения и приема СКИ сигналов, антенный переключатель прием-

передача, передатчик СКИ, приемник, аналого-цифровой преобразователь, устройство управления и обработки, компьютер для вывода радиолокационной информации.

Приемник СКИ РЛС построен по инфрадинной схеме с двойным преобразованием частоты. К фазе опорного генератора привязаны фазы двух гетеродинов, которые обеспечивают инфрадинный перенос частот, фаза генератора частоты дискретизации АЦП и фаза генератора зондирующих импульсов РЛС.

Аналого-цифровой преобразователь работает на тактовой частоте до 250 МГц, имеет буферную память на 40 Мб и обеспечивает преобразование аналогового сигнала с выхода приемника в 12-разрядный цифровой код.

Зондирующие импульсы СКИ РЛС формируются устройством управления и обработки под управлением тактовой частоты, подаваемой на вход АЦП.

Схема инфрадинного преобразования СКИ сигнала в приемном устройстве приведена на рис. 2.

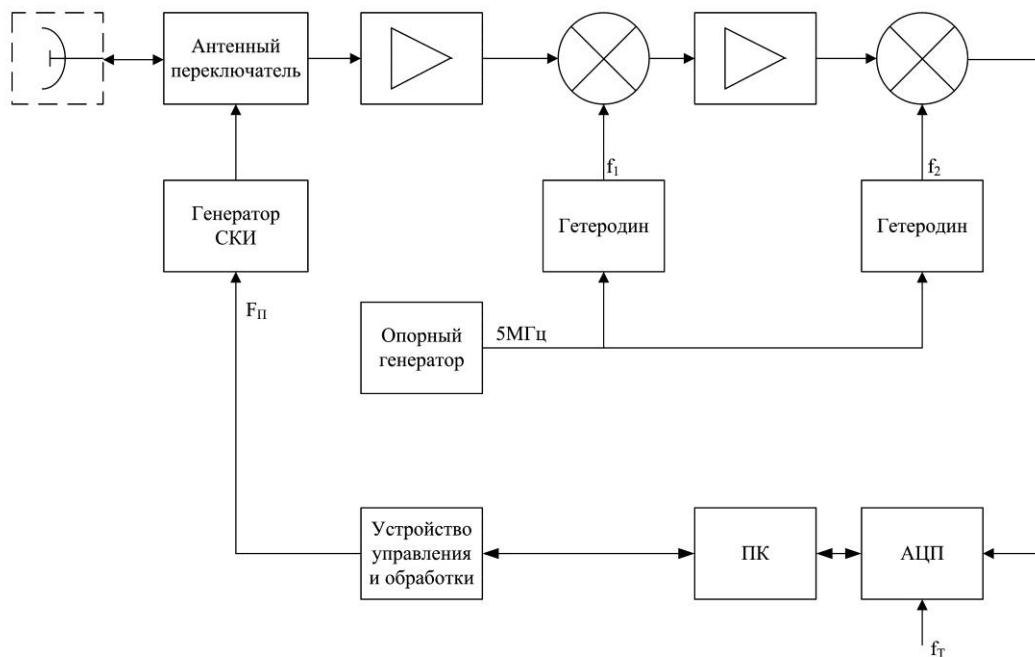
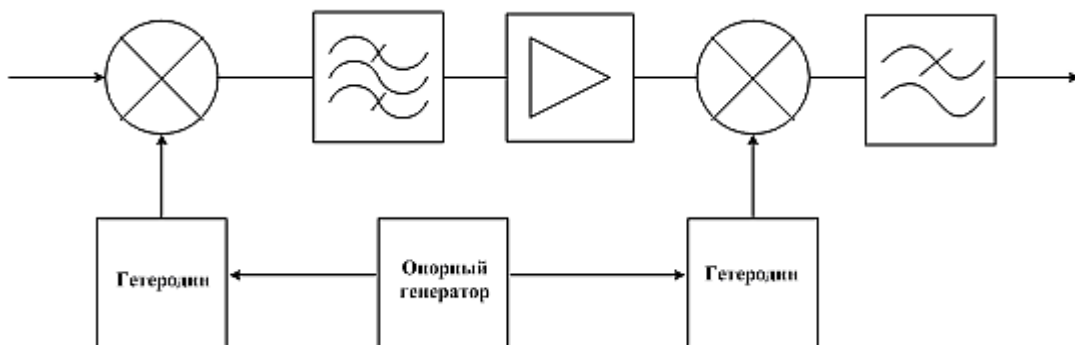
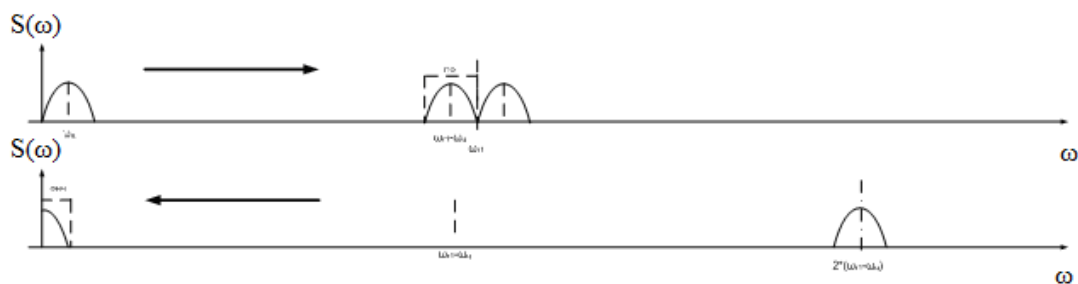


Рис. 1. Структурная схема СКИ РЛС.



а) структурная схема приемного устройства



б) перенос спектров частот при инфрадинном преобразовании

Рис. 2. Приемное устройство СКИ РЛС.

При инфрадинном преобразовании СКИ сигналов важно обеспечить обратный перенос спектра сигнала СКИ в нуль частот. Для этого частота второго гетеродина выбирается не равной частоте первого. В результате на выходе приемного устройства появится видеоимпульсный сигнал. Видеоимпульсный сигнал с выхода приемника получается знакопеременным и соответствует одной из квадратур комплексного сигнала, отраженного целью. Для получения второй квадратуры фаза сигнала второго гетеродина может быть сдвинута на угол  $\pi/2$ .

Собственно, вторая квадратура может быть получена в одноканальном приемнике, как сдвигом фазы второго гетеродина, так и сдвигом фазы первого, а также может быть получена временным сдвигом момента запуска генератора СКИ на величину  $\Delta t$ .

Манипуляции со сдвигом фазы гетеродинов и момента запуска генератора СКИ может осуществляться устройством управления и обработки, в котором необходимо предусмотреть соответствующие драйверы. Однако, введение дополнительных элементов управления временным положением импульсов запуска передатчика или фазой гетеродинов, может привести к дополнительным ошибкам в вычислении квадратур. Кроме того, возможны временные нестабильности положения импульса запуска передатчика в зависимости от температуры окружающей среды, напряжения питания и др.

Оптимальным для получения квадратурных компонент комплексного сигнала в одноканальном приемнике будет такое решение, когда квадратуры комплексного сигнала, отраженные целью записываются в буферную память АЦП друг за другом.

Таким образом, фазы гетеродинов сдвигаются автоматически на требуемую величину в зависимости от расстановки частот собственно гетеродинов, частоты зондирующих импульсов и тактовой частоты АЦП.

Для того, чтобы при каждом последующем зондировании фаза сигнала менялась на  $\pi/2$ , должно выполняться условие:

$$T_3 = \left( n \pm \frac{1}{4} \right) \cdot T_T, \quad (1)$$

где  $T_3$  - период следования зондирующих импульсов,

$T_T$  - период частоты гетеродина,

$n$  - любое целое число.

С учетом того, что  $n + \frac{1}{4} = \left( n + \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{4}$ , выражение (1) можно переписать в другом

виде:

$$T_3 = \left( \frac{n}{2} + \frac{1}{4} \right) \cdot T_G$$

Или:

$$\frac{4T_3}{T_G} = 2n + 1, \quad (2)$$

где  $n$  - целое число.

Если в качестве гетеродина используется синтезатор частот с шагом  $\Delta F_G$ , а период зондирующих импульсов может меняться с шагом  $\Delta T_3$ , то

$$T_G = \frac{1}{K \cdot \Delta F_G} \quad (3)$$

$$T_3 = M \cdot \Delta T_3, \quad (4)$$

где  $K$ ,  $N$  - целые числа.

Подставляя выражения (3) и (4) в (2) получим:

$$M \cdot K = \frac{2n + 1}{4 \cdot \Delta T_3 \cdot \Delta F_G} \quad (5)$$

Например, если в качестве гетеродина используется синтезатор частот РЧ6-03, для которого  $\Delta F_G = 20$  кГц, а в качестве устройства обработки – модуль АЦП с тактовой частотой до 250 МГц, для которого  $\Delta T_3 = \frac{20}{f_{\max}}$ , тогда получим:

$$M \cdot K = (2n + 1) \cdot \frac{f_{\max}}{4 \cdot 20 \cdot \Delta F_G} \quad (6)$$

При  $f_{\max} = 248$  МГц получим:

$$M \cdot K = 155 \cdot (2n + 1) \quad (7)$$

Чтобы условие (7) выполнялось, необходимо, чтобы произведение  $M \cdot K$  было кратно 155. Отсюда получаем следующие соотношения (где  $m, k$  - целые числа):

Таблица 1.

$M$	$K$	$T_3$ , мс	$F_G$ , МГц
$M = 2m + 1$	$K = 155 \cdot (2k + 1)$	$\frac{2m + 1}{12400}$	$3,1 \cdot (2k + 1)$
$M = 5 \cdot (2m + 1)$	$K = 31 \cdot (2k + 1)$	$\frac{2m + 1}{2480}$	$0,62 \cdot (2k + 1)$
$M = 31 \cdot (2m + 1)$	$K = 5 \cdot (2k + 1)$	$\frac{2m + 1}{400}$	$0,1 \cdot (2k + 1)$
$M = 155 \cdot (2m + 1)$	$K = (2k + 1)$	$\frac{2m + 1}{80}$	$0,02 \cdot (2k + 1)$

Предложенный метод последовательной квадратурной обработки радиолокационной информации позволяет существенно упростить приемно-

передающий тракт СКИ РЛС. В буферную память АЦП последовательно записываются реализации полной квадратуры комплексного радиолокационного сигнала СКИ РЛС, отраженного от фоно-целевой обстановки на местности.

### **Литература**

1. М.В. Головачев, А.В. Кочетов, О.С. Миронов, П.С. Панфилов, В.А. Сарычев, И.М. Хомяков Структура экспериментального образца сверхширокополосного короткоимпульсного радиолокатора // II Всероссийские Армандовские чтения “Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред”, Муром, 2012.