

О возможности использования узкополосного приемного тракта для обработки сигналов при радиолокационном дистанционном зондировании

А.Н.Титов, А.А. Разин

*ОАО «Научно-исследовательский институт приборостроения им. В.В. Тихомирова»
140180, Московская обл., г. Жуковский, ул. Гагарина, д.3, E-mail: niip@niip.ru*

Предложен и проанализирован способ радиолокационного зондирования земной поверхности с высоким разрешением по дальности для бортовой РЛС. Рассмотрен вариант гомодинного приема сигнала для реализации предложенного способа. Способ основан на принципе программируемого управления параметрами зондирующего сигнала и методе его обработки.

Proposed and analyzed a method of radar probing of the Earth's surface with a high range resolution for onboard radar. A variant of homodyne reception for realization of the proposed method is examined. The method is based on the principle of a programmable control of the probing signal parameters and on the way of signal processing.

Введение

Качество радиолокационной информации определяется разрешающими способностями по измеряемым в данной РЛС координатам отражателя. Такими координатами обычно являются дальность до отражателя и пеленг (направление на отражатель). Разрешающая способность по направлению (по углу) легко пересчитывается в разрешающую способность по поперечной линейной координате. Как известно, в радиолокации достижимое разрешение по продольной координате (дальности) обратно пропорционально ширине спектра радиолокационных сигналов, а разрешение по поперечной координате обратно пропорционально размеру антенны РЛС. При этом разрешение по дальности на 1 ... 2 порядка лучше разрешения по поперечной координате.

В РЛС с синтезированной апертурой антенны (РЛС СА) разрешение по поперечной координате прямо пропорционально размеру антенны РЛС. В этих случаях, как правило, разрешение по дальности оказывается на 1 ... 2 порядка хуже разрешения по поперечной координате. С учетом современных требований на разрешающую способность (0,1 ... 1 м) для желательного выравнивания разрешающей способности по линейным координатам необходимы полосы радиолокационных сигналов и соответственно полосы в аналоговых и цифровых частях приемных каналов порядка 1 ГГц, что связано с серьёзными техническими проблемами.

Вышеизложенное делает целесообразным поиск возможных решений этой проблемы. Некоторые результаты, полученные в НИИП им. В.В. Тихомирова, представлены в данном докладе.

1. Гомодинный принцип построения радиолокационного канала

Гомодинный принцип известен с первых этапов развития радиолокации и иллюстрируется на рисунке 1[1-3]. Принцип состоит в том, что в РЛС используется единственный генератор высокочастотного сигнала, работающий в непрерывном режиме. Этот генератор одновременно является генератором зондирующих сигналов (передатчиком) и гетеродином приемника. В РЛС используется общая приемопередающая антенна. В настоящее время для грубого разделения зондирующего и отраженного сигнала используется ферритовый циркулятор. Такая РЛС при монохроматическом сигнале генератора позволяет обнаруживать цель и измерять её радиальную скорость. В режиме ЛЧМ-модуляции генератора возможно измерение

дальности, так как оказывается, что частота сигнала промежуточной частоты пропорциональна дальности до цели.

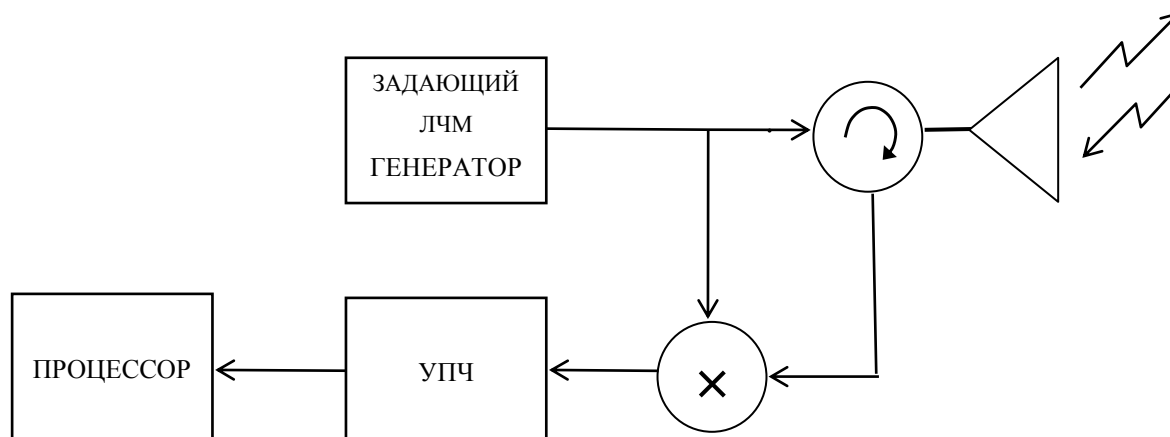


Рис.1. Структурная схема РЛС непрерывного излучения с гомодинным приемом отраженных сигналов.

Существенным и принципиальным недостатком такой РЛС является необходимость резкого ограничения мощности генератора из-за низкой развязки между приемным и передающим каналами даже в том случае, когда используются отдельные антенны на прием и передачу. Как следствие, подобные системы могут использоваться на малых и сверхмалых дальностях: в неконтактных радиовзрывателях, автомобильных РЛС, полицейских радарх. Варианты, связанные с автоматической компенсацией проникающего сигнала при больших мощностях генератора, отличаются нестабильностью и критичностью настройки [4]. Положение не спасает и переход на использование различных антенн на передачу и прием, так как развязка между близко расположенными антеннами является недостаточной и зависит от переотражений излучаемого сигнала на окружающих предметах.

Вышеописанный недостаток гомодинного метода предполагается кардинально устранить следующей модификацией метода [5,6]. При сохранении непрерывного режима работы генератора и общей для приема и передачи антенны осуществляется переход к импульсному режиму при излучении зондирующего сигнала и приеме отраженных сигналов. Для этого в структурную схему РЛС вводятся два синхронно переключаемых ключа, как это показано на рисунке 2.

Задающий генератор вырабатывает непрерывное колебание с периодической линейной частотной модуляцией. В режиме излучения зондирующего сигнала, который начинается в момент начала цикла ЛЧМ-модуляции, ключ К1 замкнут, а ключ К2 разомкнут.

В момент включения режима приема ключ К1 размыкается, ключ К2 замыкается. Непрерывно работающий задающий генератор служит источником гетеродинного сигнала для приемного канала на время приема отраженного сигнала. Процесс повторяется с началом нового цикла ЛЧМ-модуляции в задающем генераторе. Очевидным недостатком такого решения является наличие достаточно протяженной мертвой зоны вокруг РЛС, обусловленной тем, что приемный канал радиолокационного дальномера в течение начальной части цикла работы оказывается выключенным.

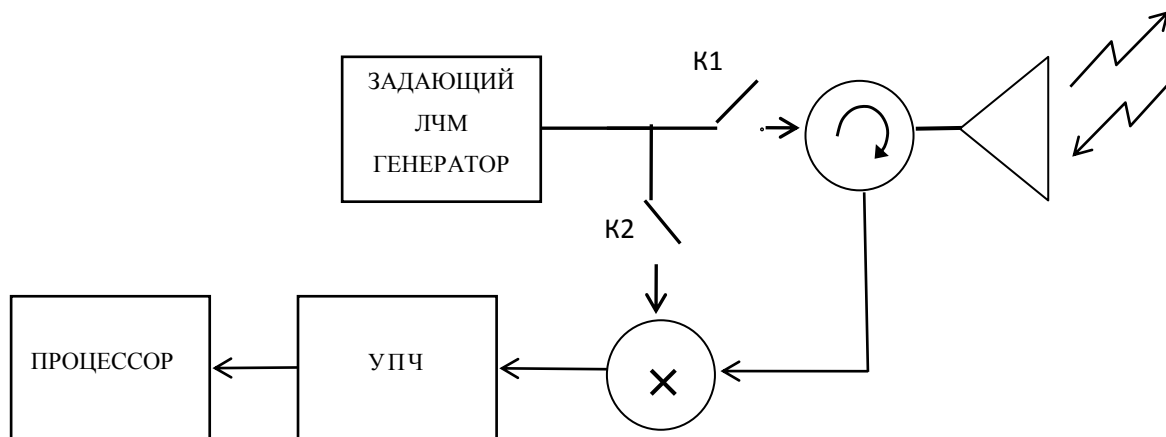


Рис. 2. Структурная схема РЛС с коммутацией режимов излучения и приема сигналов.

В связи с этим следует заметить, что для многих типов РЛС, входящих в состав современных радиолокационных комплексов, именно радиолокационная информация, получаемая со средних и больших дальностей, имеет первостепенное значение. В качестве примера таких систем можно привести РЛС систем противовоздушной и противокосмической обороны и трассовых РЛС систем УВД (управления воздушным движением). Особенно это относится к спутниковым РЛС дистанционного зондирования Земли, где вся полезная информация измеряется для узкого диапазона дальностей, близкой к высоте полета ИСЗ.

В данном методе используется особенность гомодинного приема при использовании ЛЧМ-модуляции сигнала задающего генератора, состоящая в том, что для точечного отражателя с задержкой, обусловленной расстоянием от РЛС до этого отражателя, и лежащей в пределах $\tau_{и}$ до $T_{л} - \tau_{и}$, на выходе смесителя может быть выделен импульс разностной частоты длительностью $\tau_{и}$, причем эта частота, называемая гомодинной частотой $F_{г}$, постоянна и прямо пропорциональна расстоянию до отражателя. Естественно, что множество точечных отражателей приводит к появлению в канале промежуточной частоты множества импульсов одинаковой длительности с различными, но постоянными для каждого отражателя, частотами заполнения. Поэтому в техническом отношении дальнометрия точечных отражателей сводится к спектральному анализу сигналов на выходе УПЧ. Как известно, такой анализ может быть последовательным или параллельным и может реализовываться на принципах как аналоговой, так и цифровой обработки сигналов.

2. Основы проектирования импульсной гомодинной РЛС дистанционного зондирования Земли

При проектировании РЛС удобно задаваться следующими исходными параметрами (см. рис.3):

- расчетной высотой полета ИСЗ, H ;
- перепадами высот, обусловленными рельефом поверхности Земли, ΔH ;
- крутизной частотной модуляции генератора РЛС $k = \frac{df_{ген}}{dt}$.

В инженерной практике величину k удобно выразить в $\frac{МГц}{мкс}$.

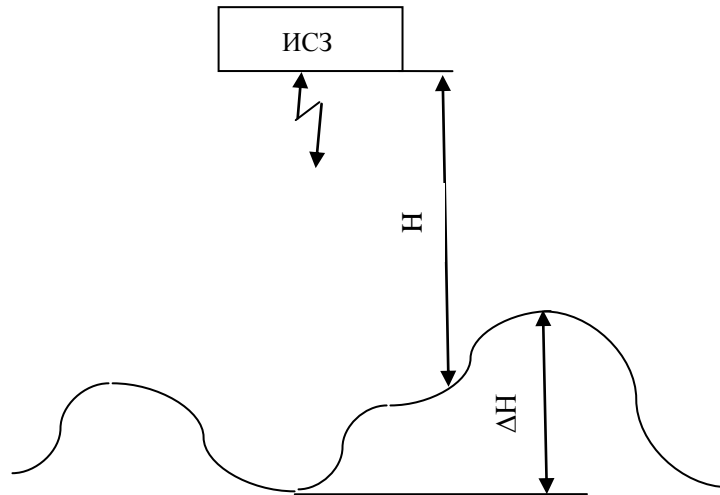


Рис. 3. Схема работы РЛС при зондировании земной поверхности.

Для РЛС дистанционного зондирования Земли в качестве оценочных величин можно принять $H=500$ км и $\Delta H=10$ км [7]. Поэтому нижеследующие формулы написаны с учетом того, что $\Delta H \ll H$.

Тогда:

длительность зондирующего импульса

$$\tau_{\text{И}} = \frac{2H}{c}, \quad (1)$$

спектр частот зондирующего сигнала равен

$$\Delta f_{\text{зонд}} = k \cdot \frac{2 \cdot H}{c}, \quad (2)$$

база зондирующего сигнала

$$B_{\text{зонд}} = \Delta f_{\text{зонд}} \cdot \tau_{\text{И}} = \frac{4 \cdot k \cdot H^2}{c^2}, \quad (3)$$

период повторения

$$T_{\text{П}} \geq \frac{4H}{c}, \quad (4)$$

среднее значение промежуточной (гомодинной) частоты

$$F_{\text{пром}} = k \cdot \frac{2 \cdot H}{c}, \quad (5)$$

полоса гомодинных частот

$$\Delta f_{\text{ПЧ}} = k \cdot \frac{2 \cdot \Delta H}{c}, \quad (6)$$

разрешающая способность по дальности (высоте)

$$\delta r = \frac{c^2}{4k \cdot H}. \quad (7)$$

В таблице 1 приведены численные значения величин, рассчитанных по формулам (1) - (7) для случая, когда высота орбиты ИСЗ $H=500$ км, диапазон перепада измеряемых высот $\Delta H=10$ км, а крутизна частотной модуляции генератора $k = 1 \frac{\text{МГц}}{\text{мкс}}$.

Таблица 1

№ п/п	Наименование параметра	Размерность	Значение	Формула
1	Длительность зондирующего импульса	мкс	3300	(1)
2	Ширина спектра зондирующего импульса	МГц	3300	(2)
3	База зондирующего импульса	-	10^7	(3)
4	Период повторения	мс	6,6	(4)
5	Частота повторения	Имп/сек	150	
6	Среднее значение гомодинной частоты	МГц	3300	(5)
7	Полоса гомодинных частот	МГц	65	(6)
8	База сигнала на выходе УПЧ	-	1	
9	Разрешающая способность по высоте	м	$4,5 \cdot 10^{-2}$	(7)

Заключение

Изложенный в докладе принцип радиолокационной дальнометрии в максимальной степени отвечает особенностям и задачам радиолокационного зондирования Земли и поверхности небесных тел. Его отличает возможность получения высокого разрешения по дальности при весьма узкой полосе канала обработки отраженных сигналов, простота алгоритмов обработки этих сигналов, а также возможность получения необходимого уровня энергии отраженных сигналов за счет необычно большой длительности зондирующего импульса, а не за счет повышения импульсной мощности в передающем канале РЛС.

Литература

1. Я.Д. Ширман. Радиозлектронные системы. М. «Радиотехника», 2007, гл. 19
2. Е.И. Кошуринов. Известия вузов, серия Радиотехника, т. 48, № 10-11, стр. 869-875.
3. <http://www.microradar.ru>
4. Е.И. Кошуринов, Ю.В. Смородин. О возможности создания радиолокатора с АФАР и непрерывным зондирующим сигналом. Сб. докладов XVIII НТК ОАО «НИИП» им. Тихомирова, г. Жуковский, 2005 г., стр. 150-164
5. Титов А.Н., Разин А.А. Заявка на патент «Метод программируемого управления разрешающей способностью по дальности», приоритетный № 2013138139 от 14.08.2013 г.
6. Разин А.А., Титов А.Н. О возможности получения высокого разрешения РЛС по дальности при узкополосном приемном тракте. // Сборник докладов XX межд. науч.-технич. конф. «Радиолокация, навигация и связь», том 3. Воронеж, 2014.
7. Б.А. Дворкин, С.А. Дудкин. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования. «Геоматика», № 2, 2013 г, стр. 16-36.