

## МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ УРОВНЯ ПРОДУКТА В РЕЗЕРВУАРЕ ЧАСТОТНЫМ РАДИОДАЛЬНОМЕРОМ

*С.В. Поваляев*

## SIGNAL PROCESSING METHODS AT TANK GAGING BY FREQUENCY DISTANCE MEASURING EQUIPMENT

*S.V. Povalyaev*

Приведен обзор методов обработки сигналов. Показано, что высокую точность измерения расстояния можно обеспечить, используя при обработке нули сигнала разностной частоты. Указаны методы, которые могут использоваться для создания приборов, обеспечивающих погрешность измерения расстояния в несколько миллиметров и менее.

*Ключевые слова:* обработка сигналов, точность измерения, сигнал разностной частоты.

The survey of signal processing methods is given in the article. It is shown that high accuracy of distance measuring is obtained by the use of signal zeros of difference frequency at processing. Methods, which can be used to design devices providing errors in distance measurement of a few millimeters and less, are given.

*Keywords:* signal processing, measurement accuracy, difference frequency signal.

Разнообразие практических задач, для решения которых могут использоваться радиолокационные измерители уровня жидкости, а также широкий разброс предъявляемых к ним требований приводят к необходимости применения различных методов обработки сигналов.

Наиболее изученным и широко распространенным методом обработки сигналов является счетный метод измерения разностной частоты. В этом методе измерение частоты производится путем подсчета числа нулей сигнала разностной частоты за время, равное периоду модуляции [1]. Полученное значение разностной частоты используется для вычисления расстояния.

Структурная схема радиодальномера, реализующего счетный метод измерения разностной частоты, приведена на рис. 1. Непрерывный высокочастотный сигнал модулируется по частоте и излучается в направлении объекта, расстояние до которого необходимо измерить. Спустя время распространения электромагнитной волны до объекта и обратно отраженный сигнал и часть мощности излучаемого сигнала поступают в смеситель. На выходе смесителя формируется сигнал разностной частоты, который подается на усилитель-ограничитель. Ограничитель, стоящий на выходе

усилителя, преобразует сигнал разностной частоты в меандр. Далее меандр дифференцируется. Полученные короткие импульсы подаются на счетчик, который вырабатывает напряжение, пропорциональное количеству импульсов за период модуляции [1]. Это напряжение пропорционально измеряемой дальности.

Характерной особенностью счетного метода является ограниченный объем выборки, по которой производится оценка частоты. На малых дальностях в течение одного периода модуляции может сформироваться всего 4–6 периодов сигнала разностной частоты. Это затрудняет получение высокой точности измерения.

Счетному методу измерения разностной частоты присуща ошибка дискретности. Уменьшить величину этой ошибки можно только при увеличении девиации частоты. Однако такой подход имеет физическое ограничение и не позволяет достичь высокой точности измерения расстояния. В связи с этим во многих случаях используются различные методы снижения ошибки дискретности.

Одним из эффективных методов снижения ошибки дискретности является метод «сшивания» фазы сигнала разностной частоты. Сущность этого метода обработки сигналов заключается в сле-

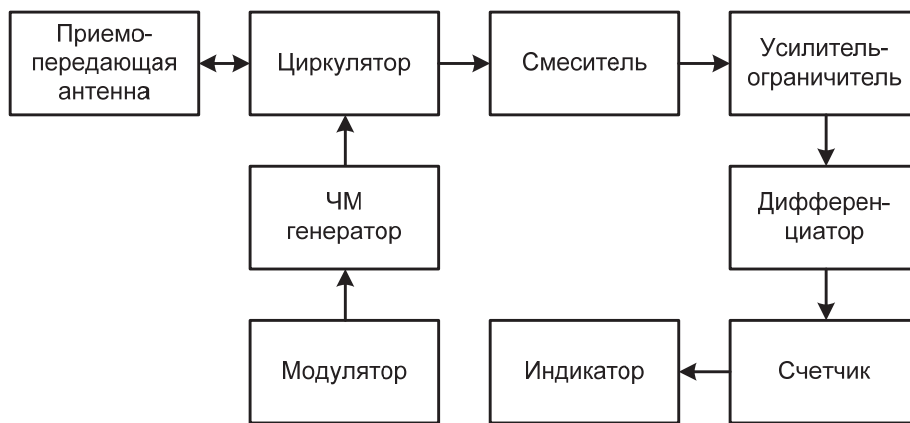
дующем. Периодичность закона модуляции зондирующего сигнала приводит к тому, что в сигнале разностной частоты возникают скачки фазы на границах полупериодов модуляции [2]. Величина скачка фазы зависит от измеряемого расстояния и может изменяться в пределах от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .

Исследования показывают, что отсутствие скачков фазы сигнала разностной частоты на границах полупериодов модуляции соответствует наличию экстремумов сигнала разностной частоты в этих точках. Выполнение этого условия можно добиться, если управлять моментом окончания полупериода модуляции таким образом, чтобы он совпадал с одним из экстремумов [3]. Поскольку экстремумов на полупериоде модуляции может быть много, то необходимо наложить ограничение на минимальную величину девиации частоты. Для ограничения девиации частоты можно контролировать граничные частоты минимально допустимой девиации частоты с помощью эталонных частот.

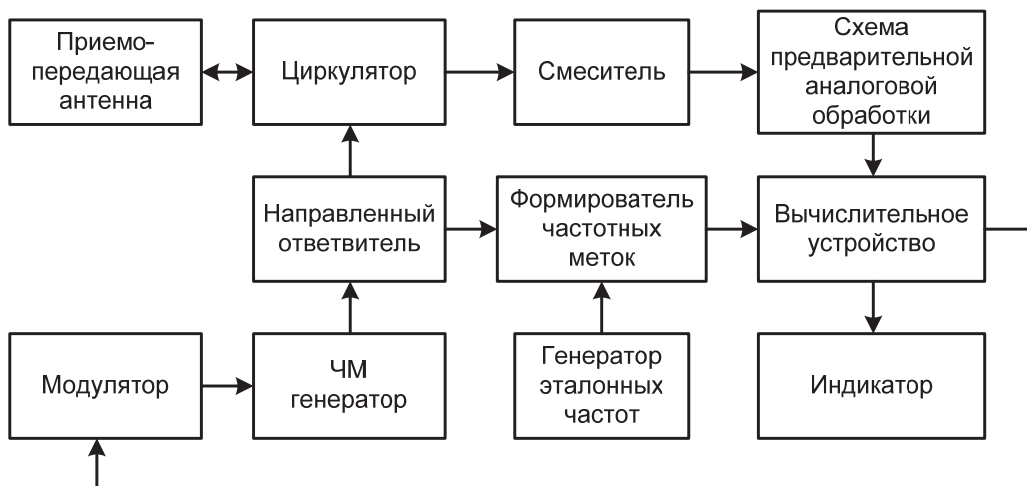
Прерывать полупериод модуляции необходи-

мо в момент появления экстремума сигнала разностной частоты после достижения частотой зондирующего сигнала одной из граничных частот [3]. В результате выполнения данной процедуры из сигнала разностной частоты исчезнут скачки фазы и он примет вид непрерывного гармонического колебания. Следовательно, появляется возможность увеличения интервала анализа сигнала при измерении разностной частоты до величины, обеспечивающей приемлемое значение ошибки измерения.

Структурная схема радиодальномера, реализующего метод «сшивания» фазы сигнала разностной частоты, представлена на рис. 2. Непрерывный высокочастотный сигнал модулируется по частоте и излучается в направлении исследуемого объекта. Часть излучаемого сигнала выделяется в направленном ответвителе и поступает на формируемые частотных меток, на выходе которого формируются импульсные сигналы в момент совпадения частоты зондирующего сигнала с одной из эталонных частот.



**Рис. 1. Структурная схема радиодальномера со счетчиком числа нулей сигнала разностной частоты**



**Рис. 2. Структурная схема радиодальномера со «сшиванием» фазы сигнала разностной частоты**

Спустя время распространения электромагнитной волны до объекта и обратно отраженный сигнал и часть мощности излучаемого сигнала поступают в смеситель. На выходе смесителя формируется сигнал разностной частоты, который поступает на схему предварительной аналоговой обработки. Эта схема формирует импульсные сигналы в моменты пересечения сигналом разностной частоты нулевого уровня, а также в моменты достижения им экстремумов. Выходные сигналы схемы предварительной аналоговой обработки и формирователя частотных меток подаются на соответствующие входы вычислительного устройства. Сигналы, соответствующие нулям сигнала разностной частоты, используются вычислительным устройством для измерения разностной частоты и вычисления расстояния. Вычислительное устройство формирует также управляющий сигнал, который поступает на вход модулятора для управления моментом окончания текущего полупериода модуляции.

Перспективным методом обработки сигналов, обеспечивающим высокую точность измерения, является метод весового усреднения разностной частоты. Общая идея метода заключается в накоплении весовых коэффициентов, приписываемых нулям сигнала разностной частоты [2, 4]. Причем разным нулям при обработке приписывается разный вес. Нулям, расположенным в непосредственной близости от границ полупериода модуляции, приписываются близкие к нулю весовые коэффициенты. По мере удаления нулей от границ полупериода модуляции происходит нарастание значений весовых коэффициентов. Плавное удаление нулей от границ полупериода модуляции приводит к плавному изменению результата измерения.

Метод весового усреднения разностной частоты обеспечивает высокую точность измерения расстояния и хорошо приспособлен для реализации с помощью цифровых устройств обработки сигналов. Однако необходимо отметить, что для точного определения положения нулей сигнала разностной частоты необходимо, чтобы в этом сигнале отсутствовали скачки фазы [2]. Это приводит к необходимости использовать метод весового усреднения разностной частоты совместно с рассмотренным выше методом «сшивания» фазы

сигнала разностной частоты. В связи с этим структурная схема радиодальномера с весовым усреднением разностной частоты практически не отличается от схемы, приведенной на рис. 2. Единственное отличие заключается в алгоритме работы вычислительного устройства.

Проведенный обзор методов обработки сигналов показывает, что высокую точность измерения расстояния можно обеспечить, используя при обработке нули сигнала разностной частоты. Классический счетный метод в настоящее время еще не исчерпал всех своих возможностей и может с успехом применяться при создании измерительных приборов малой точности с погрешностью измерения расстояния в несколько сантиметров. Метод «сшивания» фазы сигнала разностной частоты и метод весового усреднения разностной частоты являются перспективными для достижения высокой точности измерения и могут использоваться для создания приборов, обеспечивающих погрешность измерения расстояния в несколько миллиметров и менее.

#### Литература

1. Комаров, И.В. Основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний / И.В. Комаров, С.М. Смольский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 392 с.
2. Прецизионные промышленные системы ЧМ-радиолокации ближнего действия. Методическая погрешность измерения и ее минимизация / Б.А. Атаянц, В.В. Езерский, С.М. Смольский, Б.И. Шахтарин // Успехи современной радиоэлектроники. – 2008. – № 2. – С. 3–23.
3. Пат. 2159923 Российская Федерация, МПК G 01 F 23/284. Радиолокационный уровнемер / Б.А. Атаянц, В.В. Езерский А.И. Смутов. – № 99104759/28; заявл. 04.03.1999; опубл. 27.11.2000, Бюл. № 33. – 4 с.
4. Езерский, В.В. Методическая погрешность датчика расстояния на базе частотно-модулированного дальномера с весовым сглаживанием погрешности дискретности / В.В. Езерский // Измерительная техника. – 2004. – № 9. – С. 22–25.

Поступила в редакцию 29 мая 2012 г.