

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА ЧМ ДАЛЬНОМЕРА С ВЕСОВЫМ СГЛАЖИВАНИЕМ ДИСКРЕТНОЙ ОШИБКИ

Езерский В.В., Болонин В.А., Баранов И.В.

ООО "Контакт-1"
390010, г. Рязань, ГСП, пр. Шабулина, 18
Тел.: (0912) 53-33-24; Факс.: 21-42-18

Реферат - Рассмотрены вопросы цифровой реализации ЧМ дальномера с весовым методом сглаживания дискретной ошибки и учетом нелинейности модуляционной характеристики СВЧ генератора.

Частотный метод [1] заключается в измерении частоты сигнала на выходе смесителя приёмника дальномера (называемого сигналом разностной частоты), пропорциональной измеряемой дальности, при частотной модуляции передатчика и расчёте расстояния по известной формуле.

При этом возникает дискретная ошибка ΔR :

$$\Delta R = \frac{c}{4\Delta F},$$

где: c - скорость света; $\Delta F = F_{\max} - F_{\min}$ - диапазон перестройки частоты передатчика, а F_{\max} и F_{\min} - соответственно, максимальная и минимальная частота излучения. С учётом реально достижимых значений ΔF величина этой ошибки может быть достаточно большой (десятки сантиметров). Поэтому для её уменьшения используют различные методы сглаживания.

В [2] предложен метод весового сглаживания ошибки. Измеряемое расстояние R определяется как:

$$R = \frac{cS}{2K_{\text{вм}}\Delta F}, \quad (1)$$

где: $K_{\text{вм}}$ - коэффициент, зависящий от формы весовой функции и модулирующей функции, а

$$S = \sum_{i=1}^N a\left(\frac{2\pi t_i}{T_{\text{во}}}\right), \quad (2)$$

где $a(t)$ - весовая функция; t_i - моменты перехода сигнала разностной частоты через ноль (нули сигнала); N - количество нулей сигнала разностной частоты на интервале $T_{\text{во}}$; $T_{\text{во}}$ - интервал весовой обработки (ИВО) сигнала разностной частоты.

В [3,4] показано, что использование весового метода сглаживания уменьшает дискретную ошибку в 10-1000 раз при $N > 6$. Конкретное значение выигрыша зависит от выбранной весовой функции.

Численное моделирование весового сглаживания дискретной ошибки показало, что при отличии модулирующей функции от заданной погрешность измерения существенно возрастает. Это вызвано изменением положения нулей сигнала разностной частоты относительно друг друга и относительно моментов начала и конца ИВО.

Уменьшить данную ошибку можно путём учета нелинейности модуляционной характеристики (МХ) при расчете расстояния. Учёт нелинейности заключается в равномерной расстановке нулей сигнала разностной частоты на ИВО и коррекции самого интервала весовой обработки, основанной на определении новых положений моментов его начала и конца внутри соответствующих равномерных периодов.

Численное моделирование указанной процедуры показывает, что таким образом можно снизить влияние изменения нелинейности МХ генератора СВЧ при воздействии различных дестабилизирующих факторов до приемлемых значений.

Реализация описанной процедуры производилась по рекомендациям, сформулированным в [3], с помощью схемы, показанной на рис 1.

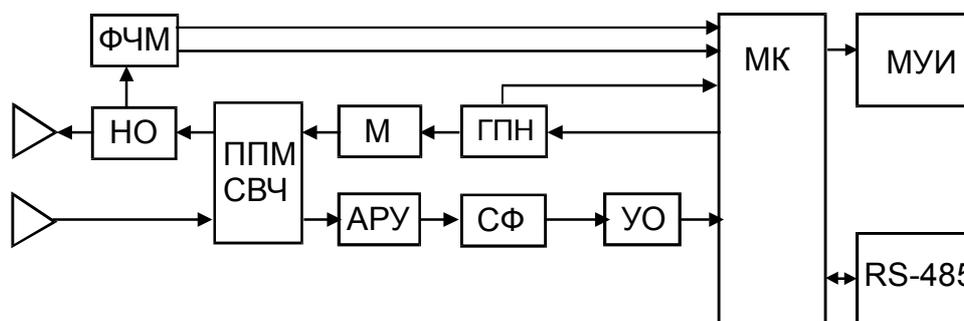


Рис. 1

Схема содержит аналоговые узлы, формирующие излучаемый сигнал (генератор пилообразного напряжения (ГПН), модулятор (М), приёмно-передающий модуль (ППМ СВЧ), направленный ответвитель (НО) и передающую антенну), формирующие частотные метки (ФЧМ) начала и окончания ИВО сигнала разностной частоты, а также узлы, обеспечивающие приём, предварительную аналоговую обработку и выдачу нулей сигнала (приёмную антенну, усилитель с автоматической регулировкой усиления (АРУ), следящий фильтр (СФ) и усилитель-ограничитель (УО)). Микропроцессор (МК) осуществляет цифровую обработку и выдачу результата измерения на модуль управления и индикации (МУИ) и блок интерфейса RS-485.

Работа прибора разбита на два этапа. На первом, соответствующем половине периода модуляции, производится измерение моментов времени, необходимых для расчёта расстояния с учётом нелинейности МХ. С этой целью в память МК записываются значения моментов прихода нулей сигнала разностной частоты, а также значения моментов начала и конца ИВО этого сигнала, которые соответствуют моментам совпадения частоты излучения с одной из двух эталонных частот, задаваемых с помощью диэлектрических резонаторов или стабильных генераторов, расположенных в ФЧМ. С этой целью в начале полупериода модуляции происходит запуск шестнадцатиразрядного внутреннего счетчика МК, а в конце - его останов. В моменты прихода нулей сигнала разностной частоты генерируется прерывание и вызывается соответствующая подпрограмма обработки, в которой происходит сохранение значения счетчика в ячейке памяти. Таким же образом, но по другому прерыванию, сохраняются значения моментов времени, соответствующих началу и окончанию ИВО.

После измерения начинается этап расчета расстояния. Он может продолжаться в течение нескольких периодов модуляции. Предварительно находятся два крайних нуля сигнала, один из которых непосредственно предшествует моменту начала ИВО, а другой находится сразу после окончания этого интервала. Затем определяется общее число нулей, попавших в ИВО, и производится расчет среднего периода сигнала разностной частоты. С помощью формул интерполяции определяется относительное положение моментов начала и конца ИВО внутри соответствующих полупериодов сигнала разностной частоты. При расчёте можно использовать линейную интерполяцию, но моделирование показывает, что лучшие результаты дает квадратичная. Далее, с использованием начального относительного положения нулей внутри ИВО с шагом, равным рассчитанному среднему периоду, расставляются новые моменты прихода нулей сигнала разностной частоты и по формуле (2) производится весовое суммирование.

Для ускорения вычислений заранее рассчитанные отчеты весовой функции в двухбайтном формате хранятся в памяти МК. Количество таких отчетов определяется заданной погрешностью измерения. Адрес используемого в данный момент отсчёта определяется относительным положением нового момента прихода нуля в ИВО. После накопления значений отсчётов, соответствующих всем нулям сигнала разностной частоты, по формуле (1) производится пересчет полученного значения в расстояние. Так как входящее в (1) значение ΔF неизвестно, то при настройке прибора производится его калибровка, когда по двум заранее заданным значениям расстояния определяются два постоянных коэффициента, учитывающих реальное значение ΔF и положение нуля шкалы дальности.

С использованием данного алгоритма был создан макет ЧМ дальномера с весовым сглаживанием дискретной ошибки, на котором полученная экспериментальным путем основная погрешность измерения составила 5 миллиметров.

Литература

1. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Ширмана Я.Д. Учебное пособие для вузов. М., "Советское радио", 1970, 560 с.
2. Заявка 30-1591 Японии, МКИ G01S 13/14. Способ измерения дальности при помощи частотно-модулированного сигнала и радиолокационная станция с частотной модуляцией // Изобретения стран мира. 1985 г. 15. с.29.
3. Езерский В.В. Весовая обработка сигналов частотного дальномера повышенной точности // Межвуз. Сб. научн. Трудов "Обработка сложных сигналов с применением цифровых устройств и функциональной электроники". РГРТА, 1996. с 56.
4. Езерский В.В., Баранов И.В. Анализ точности датчика расстояния на базе ЧМ-дальномера с весовым сглаживанием дискретной ошибки // Датчики и системы: Сборник докладов международной конференции. Том 3. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. с22



DIGITAL PROCESSING OF A SIGNAL OF FM OF A LEVEL GAUGE WITH WEIGHT BY SMOOTHING OF A DISCRETE ERROR

Ezerski V., Bolonin V., Baranov I.

Ltd "Kontakt-1".
390010, Ryazan, Shabulina, 18.
Тел.: (0912) 53-3324; The Fax: 21-4218

Abstract – We consider the issues of the digital implementation of an FM level gauge with a weight method of smoothing of a discrete error and accounting for the nonlinearity of a drive characteristic of an UHF generator.

We consider an implementation of the digital processing of the measurements of an FM level gauge with weight smoothing of a discrete error on the basis of the circuit containing the blocks of analogue creation of a probing signal, of preliminary analogue processing of the received signal and of the digital calculation of distance taking into account the nonlinearity of a drive characteristic of an UHF generator. The weight processing of a difference frequency signal allows the reduction of the discrete error 10 - 1000 fold, depending on the kind of the weight function,. However the improvement is sharply reduced in case of nonlinear drive characteristic.

It is possible to reduce the negative influence of nonlinearity of a drive characteristic on the results of measurement by computation. The accounting for nonlinearity consists in uniform arranging of a difference frequency signal's zeros in software and correcting the duration of an interval of weight processing (IWP), based on definition of a relative position of the moments of its beginning and the end within the appropriate periods of a difference frequency signal with the help of the interpolation formulas.

The operation of the instrument consists of two stages. During the first half of modulation period the measurement of instants necessary for calculation of distance in view of nonlinearity is performed. The times of arrival of zeros of a difference frequency signal and the moments of coincidence of frequency of a radiated signal with any one of the two reference frequencies are written into the RAM. The determination of these moments is performed with the help of the internal counter of the microprocessor on interrupts triggered by the zeros of a signal and the frequency markers. On these interrupts the contents of the counter are saved in RAM.

At the second stage, lasting for the several modulation periods, we find the two nearest zeros outside the IWP, determine the total number of the zeros within this interval and calculate the average value of period of a difference frequency signal. Then we determine the relative position of the beginning and the end of IWP within the appropriate half cycles of a difference frequency signal. At this point we employ the interpolation formulas. Next, taking into account the relative position of zeros inside the IWP, the computed times of arrival of zeros are fixed and the weight accumulation is performed. The value thus obtained is used to calculate the distance.