

КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ЧМ ДАЛЬНОМЕРА

Паршин В.С., Давыдочкин В.М., Гусев В.С.

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

Реферат - Рассмотрены вопросы влияния мешающих отражений на погрешность измерения расстояния ЧМ дальномером. Предложен алгоритм точного вычисления расстояния.

В различных системах управления технологическими процессами часто необходимо измерять расстояния с погрешностью нескольких миллиметров. Такие задачи могут решаться, в частности, с помощью радиоволновых дальномеров с непрерывным частотно-модулированным излучением и определением дальности по разности частот между излучаемым и отраженным сигналами. В отсутствие помех многие способы обработки сигнала разностной частоты (сигнал биений) позволяют достаточно точно измерять частоту биений и, соответственно, достаточно точно измерять дальность. Для получения необходимой точности измерений часто используется высоколинейный пилообразный закон изменения частоты и обработка сигнала в спектральной области. В этом случае отфильтрованный сигнал биений на входе схемы обработки сигнала может быть записан в виде

$$S(t) = S_0 \cdot \cos(\dot{u}_0 t_3 + 2 \cdot \ddot{A}u \cdot t_3 \frac{t}{T_M}),$$

где \dot{u}_0 - минимальное значение частоты передатчика, $2 \cdot \ddot{A}u$ - удвоенное значение девиации частоты, T_M - период модуляции, t_3 - расстояние до измеряемой поверхности.

Измерение частоты биений сигнала $S(t)$ в ЧМ дальномерх повышенной точности часто осуществляется в спектральной области. С целью экономии вычислительных затрат определение спектра сигнала биений $S(t)$ вычисляется в два этапа. В начале вычисляется спектр мощности $G_1(\dot{u}_l)$, ($\dot{u}_l = 2 \cdot \delta \cdot \frac{l}{N}$, $l = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}$, N - число отсчетов сигнала $S(t)$, включая нулевые, добавляемые для лучшей интерполяции) с помощью алгоритма БПФ. Затем, с помощью алгоритма ДПФ с шагом $\ddot{A}u$, определяемым точностью измерений, вычисляются спектральные составляющие $G(\omega_j)$, ($\omega_j = 2 \cdot \pi \cdot \frac{j}{N_1}$; $j = 1, \dots, m$; N_1 - число отсчетов сигнала $S(t)$, определяемое величиной $\ddot{A}u$). Искомая частота биений определится, например, частотой, на которой находится максимум спектра $G(\omega)$.

На практике на вход приемника поступают несколько отраженных сигналов, которые могут существенно увеличивать погрешность измерения дальности. Сигнал биений $F(t)$ на входе схемы обработки сигналов в этом случае можно представить в виде

$$F(t) = S(t) + \sum_{m=1}^M S_m \cdot \cos(\dot{u}_1 \cdot t_{3m} + 2 \cdot \ddot{A}u \cdot t_{3m} \cdot \frac{t}{T_M}),$$

где t_{3m} и S_m - задержка и амплитуда сигнала, отраженного от m - го мешающего отражателя. Наличие мешающих отражений приводит к искажению формы спектра и существенному снижению точности измерения дальности.

В том случае, когда спектры полезного и мешающего сигналов не разрешаются по частоте (что характерно для мешающих отражений, вызванных неоднородностями антенно-волноводного тракта ЧМ - дальномер), спектр сигнала биений остается одномодальным. Оценку частоты сигнала биений предлагается проводить с помощью спектральных моментов [1, 2, 3].

Частота сигнала биений определится как

$$\dot{u}_\sigma^* = \sum_{i=1}^m \dot{u}_i \cdot F(\dot{u}_i),$$

где $F(\dot{u}_i)$ – главный лепесток спектра $G(\omega)$, пронормированный таким образом, что

$$\sum_{i=1}^m F(\dot{u}_i) = 1.$$

При искажении формы спектра $G(\omega)$ измеренная средневзвешенная частота \dot{u}_6^* будет смещенной. Для компенсации ошибки необходимо вычислить второй и третий центральные спектральные моменты

$$\dot{i}_k = \sum_{i=1}^m (\dot{u}_i - \dot{u}_a^*)^k \cdot F(\dot{u}_i), \quad k = 2, 3.$$

Нормированный коэффициент асимметрии $\hat{a} = \frac{\dot{i}_3}{\dot{i}_2^3}$ характеризует искажения спектра

$G(\omega)$.

Величина коэффициента \hat{a} зависит, в основном, от разнеса частот полезного и мешающего сигналов, в меньшей степени от числа мешающих отражений и соотношения их амплитуд. Кривая поправок $\dot{A}\dot{u} = f(\beta)$, хранящаяся в памяти ЧМ дальномера, использована для коррекции измерения частоты биений. Результаты моделирования на ЭВМ показали, что при разнесе частот основного сигнала и мешающих на величину, не превосходящую 50-60 Гц (при девиации частоты 250 МГц и периоде модуляции $5 \cdot 10^{-3}$ сек), что характерно для неоднородностей в антенно-волноводном тракте, использование кривой поправок $\dot{A}\dot{u}$ позволило резко уменьшить погрешность измерений.

В том случае, когда мешающие отражения достаточно хорошо разрешаются по частоте друг от друга и от полезного сигнала, применяется их компенсация во временной области. С помощью алгоритмов БПФ и ДПФ ищется спектр мощности сигнала биений.

Так как местоположение мешающих отражателей известно, то достаточно определить амплитуду, частоту и фазу каждого мешающего сигнала. Амплитуда и частота определяется по спектру мощности. Фазу можно определить по минимуму функции

$$E^2 = \sum_{i=1}^N (F^2(t_i) - S_{kj}^2(t_i)), \quad j = 0, 1, \dots, L,$$

где $S_k(t)$ - отсчеты компенсирующего сигнала, L - число отсчетов на одном периоде сигнала $S_k(t)$. Полагая мешающие отражатели точечными, компенсация осуществляется следующим образом

$$S^*(t) = F(t_i) - \sum_{k=1}^K S_k(t_i), \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Расчеты и моделирование на ЭВМ показали, что подавить мешающие отражения можно на величину 10-40 дБ в зависимости от точности определения частоты, фазы и амплитуды сигналов, соответствующих мешающим отражениям.

Литература

1. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника, М., «Советское радио», 1982
2. С.Л. Марпл мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения, М., Мир 1990.
3. АС СССР №1022188, М.кл. G06 K9/46. Б.И. №23, 1983. Атаянц Б.А., Паршин В.С. Устройство для распознавания импульсных случайных сигналов.

COMPENSATION OF THE INFLUENCE OF INTERFERING REFLECTIONS ON THE ACCURACY OF FM LEVEL GAUGE

Parshin V., Davydochkin V., Gusev V.

ООО "Kontakt - 1"
390010, Ryazan, pr. Shabulina, 18
Ph.: (0912) 53-33-24; Fax.: 21-42-18

The abstract – We consider the influence of interfering reflections on the error of frequency-modulated microwave distance meter and offer an algorithm of the exact distance calculation.

Industrial control systems frequently require the measurement of the distances with an error not exceeding a few millimeters. An RF measuring unit that radiates continuously frequency-modulated wave and determines the distance from a difference between the radiated and reflected frequencies can accomplish that. Highly linear sawtooth-like modulation law and frequency-domain signal processing provide for the necessary measurement accuracy.

In practice, several reflected signals arrive to the receiver, significantly increasing the measurement error. The presence of interfering reflections distorts the spectrum and considerably reduces the accuracy. If the useful signal and interfering signals are not frequency-resolved, the spectrum of the pulsations remains monomodal. We offer to estimate the frequency with the help of spectral moments. If a spectrum is distorted, the measured average weighted frequency will be displaced. To compensate the error, we offer to calculate the second and the third central spectral moments, as well as the normalized asymmetry factor, characterizing the distortions of a spectrum. The magnitude of the asymmetry factor depends mainly upon the separation of frequencies of the useful and interfering signals, and to a lesser degree upon the number of interfering reflections and the ratio of their amplitudes. The curve of the corrections of the measured frequency is used for correcting the measurements of the frequency of pulsations. Computer simulations have shown that the use of the corrections curve allowed the sharp reduction of the measurement error when the separation of frequencies of the main signal and interfering signals did not exceed 50-60 Hz.

When the interfering frequencies were sufficiently well-separated from one another and from the main signal we employed the time-domain compensation.

Since the location of the interfering reflectors is known, we need only to determine the amplitude, frequency and the phase of every interfering signal. The computer modeling showed that it is possible to suppress the interfering frequencies by 10-40 dB, depending on the precision of the recovery of the frequency, phase and amplitude of the signals corresponding to the interfering reflections.