

Проблема шумов и нелинейности модуляционной характеристики передатчика в прецизионных промышленных системах ближней частотной радиолокации

Б.А. Атаянц, В.В. Езерский, С.М. Смольский, Б.И. Шахтарин

Рассмотрены особенности работы прецизионных частотных дальномеров на фоне шумов и нелинейности модуляционной характеристики передатчика. Выполнена оценка шумовой составляющей погрешности измерения малых и сверхмалых расстояний в приборах, предназначенных для промышленных систем автоматического управления технологическими процессами. Анализ проведен для трех групп таких приборов, различающихся по точности измерения расстояния и сложности реализации. Показана возможность выполнения минимизации погрешности измерения при наличии шума, позволяющая существенно повысить точность измерения. Проведен анализ ухудшения точности измерения при нелинейной модуляционной характеристике для простых приборов малой точности. Рассмотрены методы снижения погрешности путем компенсации нелинейности введением адаптивных предискажений в модулирующее напряжение для приборов средней точности. Показана возможность устранения влияния нелинейности в приборах высокой точности.

Введение

В [1] рассмотрены принципы построения прецизионных частотно-модулированных (ЧМ) дальномеров малых и сверхмалых расстояний и выделены три группы таких дальномеров, представленные соответственно традиционным счетным методом оценки разностной частоты со сшиванием фазы сигнала разностной частоты (СРЧ) для приборов малой точности, весового усреднения разностной частоты для приборов средней точности и спектральной оценкой разностной частоты для приборов высокой точности. Приведены выражения для методической погрешности измерения расстояния у приборов всех трех групп и изложены методы минимизации этой составляющей погрешности измерения.

Подобные измерительные системы строят, исходя из требований достижения наивысшей точности измерения. Поэтому отношение сигнал/шум при проектировании стараются обеспечить достаточно большим. Однако именно уровень шума во многих случаях является фактором, ограничивающим достижимую погрешность измерения расстояния, поэтому в данной работе рассмотрим влияние шума на погрешность трех указанных групп приборов.

Другой существенной причиной возникновения погрешности измерения расстояния является нелинейность модуляционной характеристики генератора. В данной работе рассмотрим влияние этого фактора на погрешность и методы снижения погрешности измерения. При этом учтем, что приборы первой группы с малой точностью измерения реализуют, исходя из требования наибольшей простоты и дешевизны. В них нецелесообразно

использовать сложные методы обработки, позволяющие устранить нелинейность или учесть ее при обработке сигнала разностной частоты (СРЧ). Вследствие этого для них имеет смысл просто оценить ухудшение точности при реально существующих видах нелинейности. Для двух других групп приборов целесообразно рассмотреть методы снижения погрешности измерения.

1. Работа прецизионного частотного дальномера на фоне шума

1.1. Приборы на основе счетного метода оценки разностной частоты

Прежде чем оценить влияние шума, необходимо оговорить процедуру обработки сигнала. Считаем, что используется описанный в [1] адаптивный алгоритм управления частотной модуляцией со «сшиванием» фазы СРЧ. Этот алгоритм заключается в таком управлении моментами изменения знака производной модулирующего пилообразного напряжения, при котором они совпадали бы с ближайшими экстремумами СРЧ, находящимися за пределами заданного минимального диапазона перестройки несущей частоты. При этом СРЧ приобретает вид непрерывной синусоиды без разрыва фазы. В соответствии с изложенным в [1] будем считать, что на первом этапе обработки с помощью узкополосного следящего фильтра производится фильтрация смеси сигнала $u(t)$ с нормальным белым шумом $\xi(t)$, имеющим нулевое математическое ожидание и энергетический спектр $F(\omega) = 2N_0$:

