

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАЗИТНОЙ АМПЛИТУДНОЙ И ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ПРОНИ

Паршин В.С., Багдадюлян А.А.

Рязанская государственная радиотехническая академия

В различных системах управления и контроля часто необходимо измерять малые расстояния с высокой точностью. Такие задачи могут успешно решаться с помощью радиоволновых дальномеров с непрерывным частотно модулированным излучением (ЧМ дальномеров).

В реальной ситуации, что характерно для измерения расстояния с помощью ЧМ дальномеров в замкнутых объёмах (например, в резервуарах с жидким или сыпучим материалом), измерять частоту заполнения радиоимпульсов ω_p , несущую информацию о дальности, приходится при наличии помеховых сигналов. Источниками этих сигналов являются отражения от элементов конструкций резервуара. Кроме того, в сигнале разностной частоты (СРЧ), снимаемой с выхода смесителя приёмника, присутствует аддитивный шум, паразитная амплитудная и фазовая модуляция. Выходной сигнал приёмника ЧМ дальномера при треугольном законе изменения частоты передатчика может быть представлен на интервале времени $0 \leq t \leq T/2$ в виде

$$s(t) = s_c(t) + s_m(t) + \xi(t) = S_c \cos\left(\omega_0 \tau_c + \omega_\partial \tau_c \left(\frac{2t - \tau_c}{T} - 1\right) + \varphi_c\right) + \sum_{m=1}^M S_m \cos\left(\omega_0 \tau_{zm} + \omega_\partial \tau_{zm} \left(\frac{2t - \tau_{zm}}{T} - 1\right) + \varphi_m\right) + \xi(t), \quad (1)$$

где ω_0 – частота передатчика, ω_∂ – девиация частоты, T – период модуляции, S_c , φ_c , – амплитуда и фаза сигнала, τ_c – задержка сигнала соответствующая расстоянию, S_m , φ_m – амплитуда и фаза m -ого мешающего отражения, τ_{zm} – задержка сигнала соответствующая расстоянию до места возникновения m -ого мешающего отражения, $\xi(t)$ – белый нормальный шум.

Для оценки расстояния используем спектральное преобразование сигнала (1), полученного на половине периода модуляции.

Точность измерения частоты (дальности) в спектральной области при использовании базиса Фурье ограничена разрешающей способностью, равной величине, обратной длительности сигнала. Наложение боковых лепестков спектров сигналов также будет приводить к дополнительному смещению спектральных пиков. Поэтому целесообразно использовать параметрические алгоритмы спектрального анализа, которые позволяют преодолевать указанные недостатки классических методов. Существует достаточно много параметрических алгоритмов спектрального оценивания- Писаренко, MUSIC, EV, Прони и др.[1]. В данной работе оценка частоты сигнала осуществляется с помощью метода наименьших квадратов Прони, который вкратце можно описать в виде трех этапов:

- Входные отсчеты сигнала используются как коэффициенты для формирования системы уравнений. Данная система имеет избыточное количество уравнений (то есть система уравнений переопределена) и для нахождения решения, наиболее точно удовлетворяющего данной системе, используется метод наименьших квадратов, основанный на QR- разложении [2] (решается задача наименьших квадратов неполного ранга методом QR– разложения с выбором главного столбца).

- Вычисленное решение системы уравнений на первом этапе является коэффициентами полинома. Формируется полином из полученных коэффициентов и приравнивая его к нулю, получаем уравнение, корни которого необходимо найти. Вычисление корней производится с помощью решения нелинейной задачи на собственные значения, которая описана в [2]. Этот метод вычисления корней, хоть он и дорог, считается в настоящее время одним из самых надежных. Далее используя найденные корни можно определить коэффициенты затухания и частоту синусоиды [1].

- Вычислив корни на втором этапе, формируется система уравнений определенной структуры [1] и находится её решение. Полученное решение системы используется для нахождения амплитуды и начальной фазы [1].

При измерении дальности с помощью ЧМ дальномера искажения сигнала, полученного с выхода смесителя приёмника дальномера, вызванные воздействием паразитной амплитудной и внутриимпульсной фазовой модуляцией, приводят к увеличению погрешности измерения дальности. Рассмотрим влияние указанных негативных факторов на точность измерения дальности для алгоритма оценки дальности, отождествляющей искомую дальность с частотой максимальной спектральной составляющей. Измерение дальности производится по спектру сигнала, полученного на основе метода наименьших квадратов Прони. Моделирование проводилось при следующих параметрах СРЧ: $\omega_0 = 10$ ГГц, $\omega_\partial = 500$ МГц, $T = 20$ мс, $S_c = 1$ В, $\varphi_c = 0$, задержка τ_c сигнала соответствовала расстоянию 5м.

Исследовалось влияние двух типов паразитной амплитудной модуляции (ПАМ), характерных для ЧМ дальномера. В первом случае моделировалось ПАМ, которая может быть представлена в следующем виде

$$s(t) = \cos(\Omega t) \cdot s_c(t), \quad (2)$$

где $0 < \Omega < \Omega_{\max}$, $\Omega_{\max} = 140$ Гц; $\Omega_{\max} \leq \frac{2}{T}$.

В этом случае огибающая сигнала является монотонной функцией.

Во втором случае моделировалось ПАМ следующего вида

$$s(t) = (1 + A \cdot |\sin(\Omega_1 t)|) \cdot s_c(t), \quad (3)$$

где $\Omega_1 = 1000$ Гц, $0 < A < A_{\max}$, $A_{\max} = 1$ В.

Параметры модулирующего сигнала подбирались так чтобы получить радиоимпульс с огибающей гребенчатой формы [3].

Важным при изучении влияния ПАМ является оценка характера поведения ошибки измерения дальности от следующих факторов: изменения коэффициента глубины ПАМ, отношения сигнал-шум и типа ПАМ. Для ПАМ СРЧ, полученного в соответствии с (2), погрешность измерения в зависимости от коэффициента глубины ПАМ при различных значениях отношения сигнал-шум приведена на рис.1.

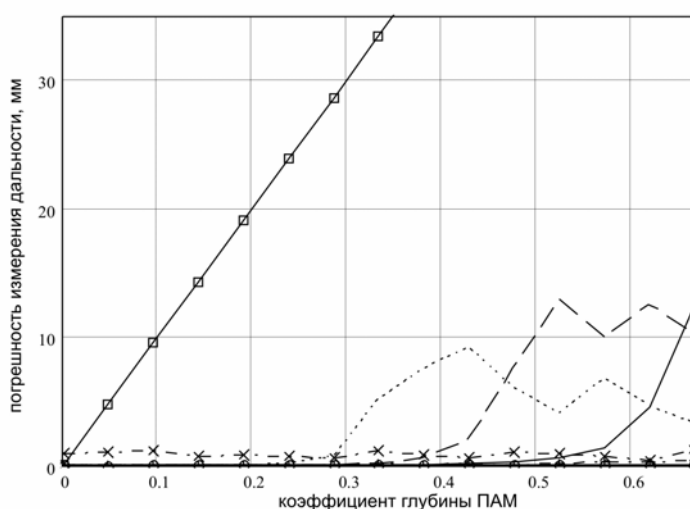


Рис. 1. Погрешность измерения дальности

—□—□— при отсутствии шумов, --- с/ш=60дБ, — — с/ш=50дБ,
— — с/ш=40дБ, -+-+- с/ш=30дБ, -○-○- с/ш=20дБ, -x-x- с/ш=10дБ

Из рис.1 видно, что с увеличением коэффициента глубины ПАМ погрешность измерения дальности возрастает. Так же введение шумов, до определенного порогового значения отношения сигнал-шум, приводит к уменьшению погрешности измерения дальности. Данный результат объясняется тем, что введение шумов уменьшает число обусловленности матриц, которые используются при вычислениях на трех этапах метода Прони. То есть решаемые задачи становятся более хорошо обусловленными [4]. При отсутствии ПАМ уменьшение отношения сигнал-шум приводит к тому, что погрешность измерения дальности увеличивается монотонно [5]. На рис.2 представлен график зависимости погрешности измерения дальности от коэффициента глубины ПАМ СРЧ, полученной в соответствии с (3) для различных значений отношения сигнал-шум.

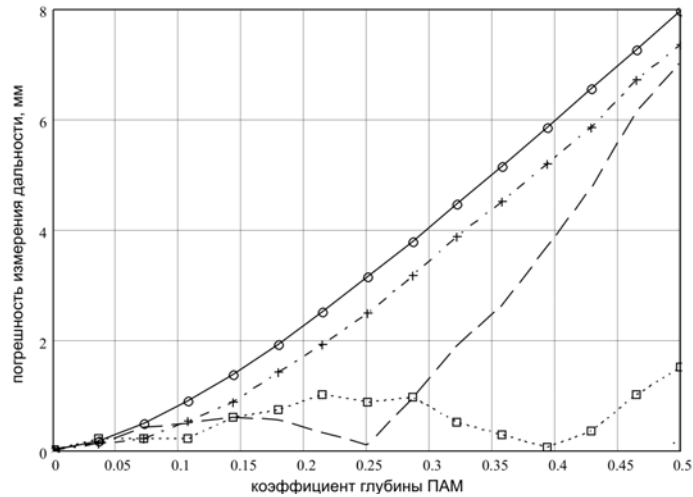


Рис. 2. Погрешность измерения дальности

—○— при отсутствии шумов, —+—+— с/ш=50дБ, —□—□— с/ш=40дБ,
— — — с/ш=30дБ

Из рис.2 видно, что с увеличением коэффициента глубины ПАМ погрешность измерения дальности возрастает. Так же введение шумов, до определенного порогового значения отношения сигнал-шум, приводит к уменьшению погрешности измерения дальности. Для данного вида ПАМ, по сравнению с предыдущим, пороговый уровень отношения сигнал-шум, при котором погрешность измерения вновь начинает возрастать, больше. Однако если сравнить рис. 1 и рис.2, то в целом погрешность измерения во втором случае намного меньше, что позволяет сделать вывод о том, что второй тип ПАМ в меньшей степени негативно влияет на точность измерения дальности при помощи алгоритма, основанного на методе наименьших квадратов Прони. Но при малых коэффициентах глубины модуляции ПАМ первого типа имеет меньшую степень влияния на точность измерения.

Анализ влияния паразитной внутриимпульсной фазовой модуляции проводился исходя из того, что причиной ее возникновения является нелинейность законов изменения частоты передатчика. Вид нелинейной модуляционной характеристики записывается следующим выражением

$$\phi(t) = \omega_{\partial} - 2\omega_{\partial} \left(1 - \frac{t}{T}\right)^n, \quad (4)$$

где величина n определяет степень нелинейности.

При $n=1$ модуляционная характеристика (4) линейна. На рис. 3. представлен график функции погрешности измерения дальности от n при различных значениях отношения сигнал-шум. Из рисунка видно, что нелинейность модуляционной характеристики приводит к резкому увеличению погрешности измерения дальности. Характер поведения ошибки с уменьшением отношения сигнал-шум аналогичен результатам, полученным для ПАМ, то есть также существует некий порог для отношения сигнал-шум, дальнейшее уменьшение относительно которого приводит к увеличению погрешности измерения. Для случая, когда $n=1$ и отношение сигнал-шум более 30дБ, погрешность измерения весьма мала. Из рисунка видно, что при увеличении отклонения от линейной модуляционной характеристики погрешность измерения дальности увеличивается.

Зависимости, приведенные на рис. 1-3, получены с помощью моделирования на ЭВМ. Объем выборки равнялся 500.

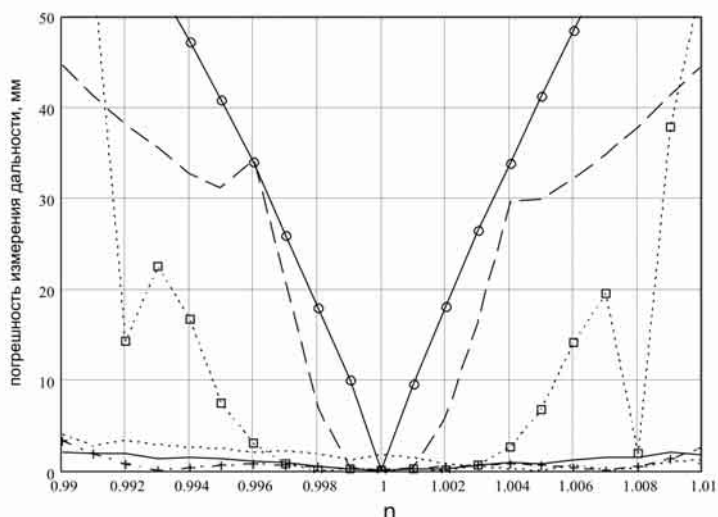


Рис. 3. Погрешность измерения дальности
—○— при отсутствии шумов, — — с/ш=50дБ, -□-□- с/ш=40дБ,
-+-+- с/ш=30дБ, — с/ш=20дБ, - - - с/ш=10дБ

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что наличие ПАМ и нелинейного закона изменения частоты передатчика приводят к существенному увеличению погрешности измерения дальности. Поэтому при моделировании алгоритмов измерения частоты в ЧМ дальномерам необходимо учитывать влияние дестабилизирующих факторов, которые могут заметно ухудшить ожидаемые характеристики.

Литература

1. Марпл. – мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584с.
2. Деммель Дж. Вычислительная линейная алгебра. Теория и приложения. Пер. с англ. – М.: Мир, 2001. – 403с.
3. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для вузов. Изд. 2-е. переработанное и дополненное. М., «Советское радио», 1971. - 672с.
4. Хорн Р., Джонсон Ч. Матричный анализ. Пер. с англ. Князева А. В., Тыртышников Е. Е.; Под ред. Икрамова Х. Д. М.: Мир, 1989. –655с.
5. Улучшение характеристик ЧМ дальномерам при наличии мешающих отражателей с помощью параметрического спектрального анализа. /Паршин В.С. Езерский В. В. Багдадюлян А. А. //Тезисы докладов 6 Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и её применение» М. - 2004г. С.

