

# ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ МЕТОДОМ СРАВНЕНИЯ СИГНАЛОВ И СПЕКТРОВ С ЭТАЛОНАМИ

Давыдочкин В.М., Мирошин С.В.

ООО «Контакт-1»

390010, г. Рязань, пр. Шабулина, 18. Тел.: (0912) 53-33-24, факс: (0912) 21-42-18

Измерители уровня различных технологических резервуаров, основанные на принципах радиолокации, несмотря на относительно высокую стоимость, находят очень широкое применение. Это обусловлено рядом преимуществ перед уровнемерами, которые основаны на других принципах измерений. Широкое применение находят, в частности, измерители расстояния с непрерывным частотно-модулированным (ЧМ) излучением и спектральной обработкой сигналов.

Измеренное расстояние  $R$  до зондируемой поверхности определяется временем распространения  $\Phi$  зондирующих и эхо – радиоволн. Получаемый на выходе приемника сигнал разностной частоты (СРЧ) между зондирующими и эхо – радиоволнами при треугольном законе модуляции на восходящей ветви может быть представлен в виде:

$$u(t) = U_c \cos(\omega_o \tau_c + 2\Delta\omega \frac{\tau_c}{T} t - \varphi_c) + \sum_{m=1}^M U_m (\omega_o \tau_m + 2\Delta\omega \frac{\tau_m}{T} t - \varphi_m) + \xi(t)$$

где  $U_c, \varphi_c$  - амплитуда и фаза полезного сигнала,  $\omega_o$  - нижняя частота зондирующих волн,  $\tau_c, \tau_m$  - суммарные времена распространения зондирующих и эхо волн, соответствующие расстоянию до зондируемой поверхности  $R_c$  и до  $m$ -го помехового отражателя  $R_m$ ,  $\Delta\omega$  - диапазон частотной модуляции,  $T$  - период модуляции,  $U_m, \varphi_m$  - амплитуда и фаза помехи,  $\xi(t)$  - белый нормальный шум.

Частота СРЧ  $\Omega_c$ , связанная с задержкой сигнала  $\tau_c$  и с расстоянием соотношением

$\Omega_c = 2\Delta\omega \tau_c / T = 4\Delta\omega R_c / cT$ , (где  $c$  - скорость света), может быть определена точно только при отсутствии помех, шума и величине диапазона девиации, обеспечивающей получение на выходе приемника по меньшей мере нескольких периодов измеряемой частоты [1]. На малых расстояниях, а также при наличии помех и шумов точность измерения снижается. Цифровой синтез зондирующих сигналов обеспечивает структуру СРЧ зачастую соответствующую возможности использования методов сравнения [2] и вычислительных процедур типа динамического программирования, двухэтапных алгоритмов синтеза, модельных функций Прони, и др. [3-6] для нахождения частот компонент СРЧ. Эти методы основаны на сравнении изучаемого сигнала с эталоном (моделью сигнала) параметры которого известны или задаются. При этом один из возможных критериев оценки точности совпадения основан на определении величины  $\rho$  называемой мерой различия [2], которая при изменении параметров эталона является функцией различия. За измеряемое расстояние принимается расстояние заданное в эталоне при минимуме функции различия.

Если СРЧ соответствует множеству отражателей целесообразно анализировать функцию различия в спектральной области в интересующем частотном интервале (и соответствующем интервале дальностей), включающем основной лепесток и иногда ближайšie боковые лепестки спектра СРЧ анализируемой цели. Наиболее информативными являются функции различия быстро изменяющиеся с изменением оцениваемых параметров [2]. Для анализа в спектральной области такими функциями являются [6,7].

$$\rho = \sqrt{\sum_{i=n1}^{n2} [|S_{эм}(j\Omega_i) - S_{срч}(j\Omega_i)|]^2}; \quad \rho = \sum_{i=n1}^{n2} |S_{эм}(j\Omega_i) - S_{срч}(j\Omega_i)|$$

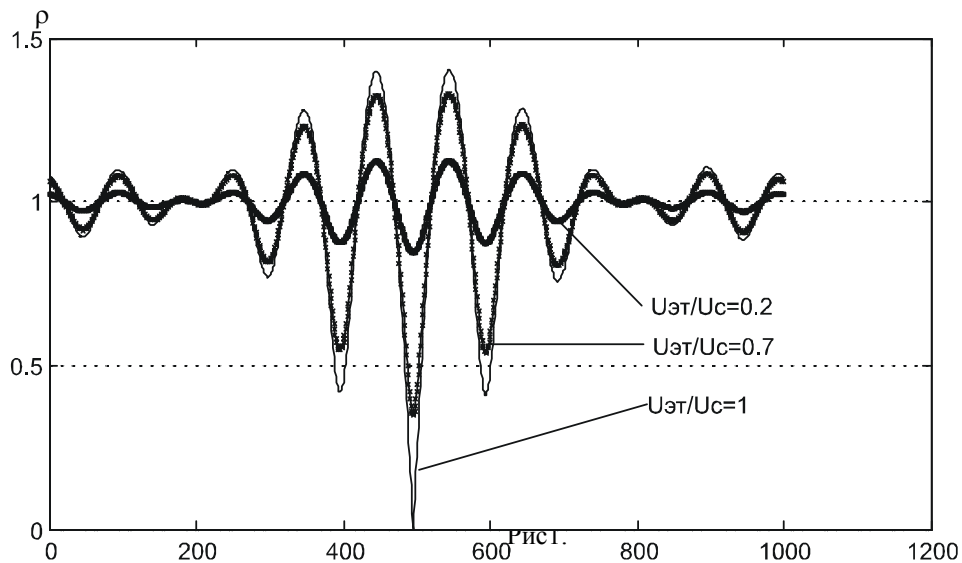
где  $n1$  и  $n2$  – соответственно верхняя и нижняя границы номеров обрабатываемых отсчетов, в пределах которых осуществляется сравнение спектра СРЧ  $S_{срч}(j\Omega_i)$  со спектром суммы эталонных сигналов  $S_{эм}(j\Omega_i)$ .

Функция различия многоэкстремальная. Число экстремумов пропорционально ширине спектра лепестка СРЧ, количеству слагаемых СРЧ, количеству параметров в каждом из слагаемых (амплитуда, фаза, частота). При этом в наиболее интересных для практики случаях априорной информации о параметрах помех нет. Таковыми являются, например, измерение уровней радиопрозрачных слоев различных жидкостей, когда параметры СРЧ (амплитуды, фазы, частоты) всех слагаемых неизвестны.

Для ускорения отыскания глобального экстремума целесообразно исследовать поведение функции различия при одном и нескольких слагаемых СРЧ от изменения эталонных сигналов.

Анализ и компьютерное моделирование выявляют следующие свойства функции различия однокомпонентного СРЧ (рис. 1). Функция различия имеет глобальный минимум и периодическую последовательность локальных минимумов следующих через равные промежутки по  $\tau$ , соответствующие половине длины волны зондирующего сигнала. В системе координат  $\rho(U, \varphi)$  функция различия имеет вид оврагов параллельных оси амплитуд. Глобальный минимум и все локальные расположены над осью  $\varphi$ .

При погрешности определения  $\varphi$  происходит линейный сдвиг положения минимумов  $\rho(U, t_c)$ , однако  $\rho_{\min} = 0$  только при условии  $\varphi_c = \varphi_{эм}$ ,  $\tau_c = \tau_{эм}$ ,  $U_c = U_{эм}$ . Слабая зависимость глубины минимумов от фаз волн отраженных мешающими отражателями позволяет на первом этапе оценки параметров уменьшить число варьируемых параметров.



Отмеченные свойства функции различия позволяют использовать градиентные алгоритмы для поиска любого из локальных экстремумов, определять величину, направление и количество шагов до глобального экстремума. Подбор параметров эталонного сигнала следует начинать с  $\tau$  т.к. в рассмотренном случае положения экстремумов почти не зависят от соотношения амплитуд эталонного и измеряемого сигналов. На втором этапе подбирается амплитуда эталонного сигнала. Проверку правильности подбора фазы эталонного сигнала при поиске глобального экстремума можно осуществить изменением  $\omega_o$ . При точном равенстве фаз измеряемого СРЧ и сформированного эталона положение глобального минимума не смещается при изменении  $\omega$ , а положение локальных минимумов зависит от  $\omega_o$ .

Предложенный алгоритм определения точного значения частот слагаемых СРЧ может быть заключительным в трехэтапной процедуре. На первых двух этапах используется быстрое или дискретное преобразование Фурье и в выделенном диапазоне дальностей один из методов высокого разрешения, например, Прони, который позволяет с погрешностью оценить количество и параметры слагаемых.

К ошибкам сравнения спектра СРЧ с эталонным, превышающим контрольный уровень, применим стандартный анализ и полученные при этом значения состава ошибок могут комбинироваться с определенными ранее компонентами.

Компьютерное моделирование показало, что погрешность оценки расстояния с использованием предложенного алгоритма, существенно меньше, чем с использованием методов спектрального оценивания и метода Прони. Существенно также, что по сравнению с методом динамического программирования, рассмотренный алгоритм имеет преимущество по точности и скорости вычислений, причем при отсутствии помех погрешность измерения расстояния  $\delta R$  отнесенная к ширине основного лепестка спектральной плотности СРЧ,  $\Delta R$  не превышает величины  $10^{-4}$  вплоть до расстояний соответствующих одному полупериоду колебаний СРЧ рис 2.

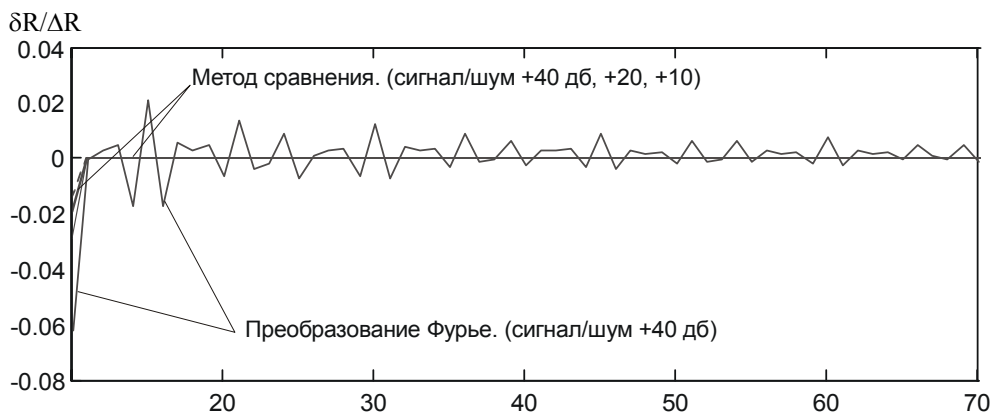


Рис 2.

### Л и т е р а т у р а

1. Езерский В.В. Методическая погрешность датчика расстояния на базе частотно-модулированного дальномера с весовым сглаживанием погрешности дискретности // Измерительная техника. 2003, №9. С.22.
2. Березин Л.В., Вейцель В.А. Теория и проектирование радиосистем. М.: Советское радио, 1977. 448 с.
3. Беллман Р. Динамическое программирование. М.: Иностранная литература, 1960. 400 с.
4. Маторин А.В., Смирнов А.А. Двухэтапный численный метод решения задач синтеза многоэлементных тонкопроволочных антенн и устройств СВЧ // Вестник РГРТА, вып.2, 1997. С. 85.
5. Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. 584 с.
6. Крот А.М., Минервина Е.Б. Быстрые алгоритмы и программы цифровой спектральной обработки сигналов и изображений. Минск: Наука и техника, 1995.
7. Атаянц Б.А., Давыдочкин В.М., Езерский В.В., Нагорный Д.Я. Способ измерения расстояния. Заявка на выдачу патента РФ на изобретение № 2003105993 от 04.03.2003.

