

УДК 620.179.16

Е.В. Монченко, Е.С. Мельник

Национальный авиационный университет, Киев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ

В статье рассмотрен способ уменьшения методической погрешности при определении дискретных характеристик сигналов ультразвукового контроля с помощью использования оконной обработки.

Ключевые слова: методическая погрешность, фазовая характеристика сигнала, оконная обработка.

Введение

В связи с возникновением новых конструктивных материалов возникает необходимость прецизионного измерения их толщины. Существуют различные группы факторов, влияющих на результаты исследований процесса ультразвукового измерения толщины изделий [1]. В частности, к таким факторам относятся параметры исследуемых сигналов (продолжительность и форма импульсов, частота несущей, и другие) и режимов сбора информации (тип и продолжительность окна, время дискретизации, время анализа, период квантования и другие). Для уменьшения влияния этих факторов на точность измерения необходимо согласовать данные параметры между собой.

Постановка задачи

В общем виде во время анализа сигналов, особенно со сложными амплитудно-частотными характеристиками (АЧХ) и фазочастотными характеристиками (ФЧХ), методическая погрешность может быть уменьшена за счет использования оконной обработки сигналов. Однако, такое использование оконной обработки не охватывает всех возможных способов уменьшения методической погрешности. Для гармонических и полигармонических сигналов, которые используются в задачах исследования широкого класса физических явлений и процессов, существует возможность существенного уменьшения методической погрешности за счет согласования периодов сигналов (T) и дискретизации (T_D).

Решение поставленной задачи

Рассмотрим способ уменьшения методической погрешности на примере модельного гармонического сигнала с частотой $f = 1$ Гц

$$u(t) = \sin(2\pi ft), \quad t \in [0, 3] \text{ с}, \quad (1)$$

время наблюдения которого больше периода сигнала ($T_C \gg T$).

На конечном интервале времени исследуется гармонический сигнал вида (1). Интервал времени

наблюдения рассчитывается так, чтобы на каждый период сигнала T приходилось одинаковое количество отсчетов. Исследование проводится для трех разных значений общего количества отсчетов N на времени наблюдения T_C

$$N = T \cdot T_D^{-1}. \quad (2)$$

Фазовая характеристика $\Phi_0(t)$ для данного сигнала $u(t)$ известна: $\Phi_0(t) = 2\pi ft$, $t \in [0, 3]$ с. Измеренная фазовая характеристика сигнала (ФХС) [2] вводится на основе преобразования Гильберта (ПГ) [3]:

$$\hat{x}(t) = \mathbf{H}[x(t)] = \text{v.p.} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{\pi(\tau - t)} d\tau$$

и гильберт-образе сигнала $\hat{u}(t) = \mathbf{H}[u(t)]$ для разных N .

Следующим шагом является расчет методической погрешности определения ФХС для разных значений N по формуле:

$$\Delta\phi(t) = \Phi(t) - \Phi_0(t), \quad t \in [t_{\Pi}, t_K]$$

и ее анализа согласно из формулы:

$$K(t) = \Delta\phi_{\Pi}(t), \quad t \in [t_{\Pi}, t_K],$$

где $\Delta\phi_{\Pi}(t)$ – методическая погрешность определения ФХС произведения исходящего сигнала с прямоугольным окном.

Для проверки полученных соотношений было проведено моделирование в системе Matlab.

Параметры моделирования следующие: амплитуда сигнала $U = 1$ В, $f = 1$ Гц, $\phi = 0$, $T_C = 3$ с, $T_D = 10^{-2}$ с, при $N_1=300/3$, $N_2 = 299/3$, $N_3 = 301/3$.

Примеры графиков функций $\Delta\phi(t)$ изображены на рис. 1.

По результатам анализа полученных данных установлено, что в случае целочисленного значения N методическая погрешность практически исчезает, например, для $N = 100$ эта погрешность не превышала бы 10^{-15} .

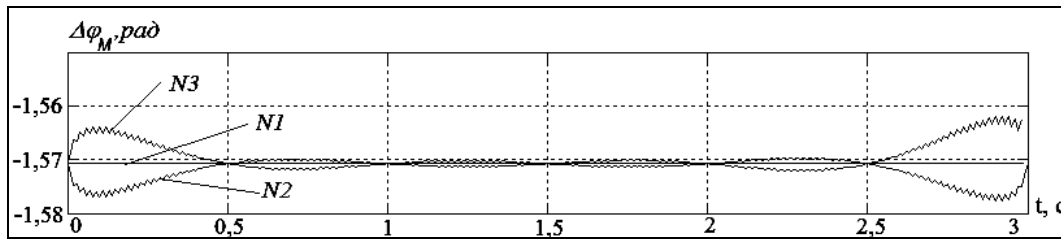


Рис. 1. График функции $\Delta\phi_M(t)$

То есть, если N принадлежит натуральному ряду чисел, точность определения ФХС ограничивается только точностью полученных значений отчетов сигналов, которая определяется разрядностью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и его аппаратными погрешностями, а при увеличении или уменьшении N хотя бы на 1 точность определения ФХС значительно уменьшается. То есть при наложении на сигнал прямоугольных окон согласованной со значением T продолжительности методическая погрешность уменьшается.

Аналогичные результаты наблюдаются при увеличении частоты сигнала до десятков МГц и при увеличении времени наблюдения сигнала.

Такой же эффект наблюдается и при наложении скользящего окна на исследуемый сигнал. При согласовании длительности окна, параметров его движения и времени дискретизации существует возможность минимизировать методическую погрешность определения ФХС.

Однако во время проведения реальных физических экспериментов поддержание целочисленного отношения между T/T_D является проблематичным в результате дрейфа частот сигналов и неконтролируемых случайных изменений режимов сбора информации.

Ниже приведены результаты сравнительного анализа данных измерений ФХС для гармонического сигнала со скользящей оконной обработкой и без оконной обработки.

Для гармонического сигнала вида

$$u(t) = \begin{cases} U(t)\cos(2\pi ft + \phi), & t \in [t_{\Pi}, t_K], \\ 0, & t \notin [t_{\Pi}, t_K], \end{cases}$$

заданы следующие параметры: $N = 2000$, $T_D = 0,01$ с, $U = 1$ В, $f = 4$ Гц, $\phi = 0$, график сигнала показан на рис. 2.

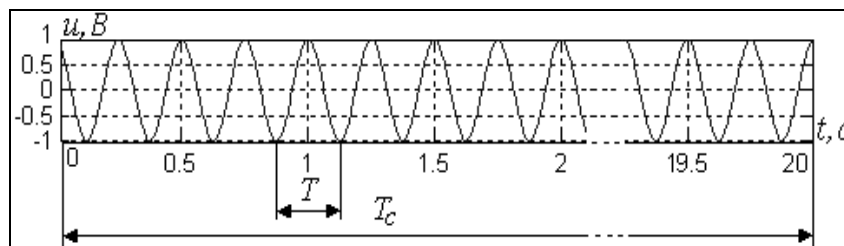


Рис. 2. График исследуемого сигнала

Используем окно Чебышева с параметрами:

$$M = 200,$$

$$\beta = 90,$$

продолжительность окна

$$T_W = MT_D \gg T.$$

Для уменьшения методической погрешности для каждого положительного окна, как более достоверный результат выбираем значение с центральной части окна длительностью $st = 10$.

Величина st определяется по формуле:

$$u[j] = U \cos(2\pi f T_D j + \phi),$$

$$j = \overline{1, n}, \quad n T_D = T_C.$$

На рис. 3, а изображен график дробной части фазы исследуемого сигнала $\Phi[j](\text{mod } 2\pi)$ и развернутой фазы $\Phi[j]$ (рис. 3, б).

График $\Phi[j]$ получен из $\Phi[j](\text{mod } 2\pi)$ с помощью ступенчатой числовой функции $L[j]2\pi$, которая определяется по результатам анализа скачков этой функции.

Зависимость методической погрешности определения ФХС от st приведена на рис. 4.

Величиной st можно в определенных границах корректировать значение $\Delta\phi_M[j]$ и задавать ее допустимый уровень.

Следует заметить, что согласование параметров сигналов и режимов сбора данных можно совершать двумя путями: по количеству отсчетов и по числу периодов.

В первом случае согласовывается количество отсчетов в выборке исследуемого сигнала с длительностью окна в отсчетах, во втором случае согласовывается количество периодов в исследуемом сигнале и длительность окна в периодах.

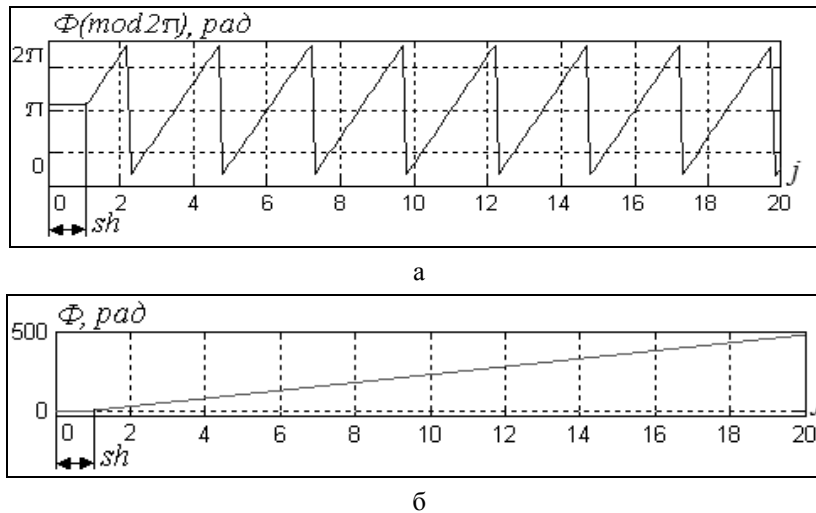


Рис. 3. Графики фазової характеристики сигналу досліджуваного сигналу:
а – дробна частина ФХС; б – розвернута ФХС

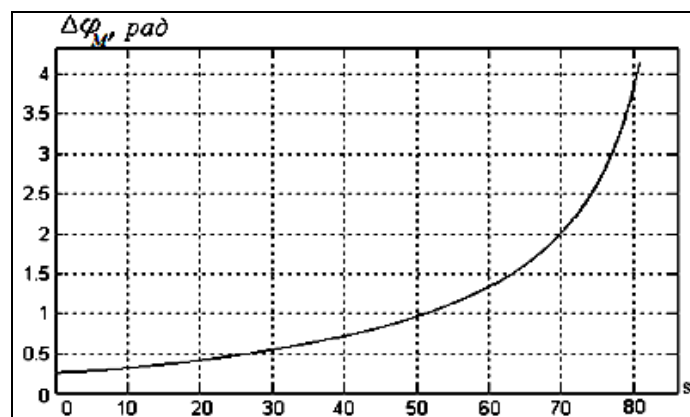


Рис.4. Зависимость $\Delta\varphi_M [j]$ от величины st для $T_W = 200$

Выводы

В работе рассмотрен способ уменьшения методической погрешности за счет согласования периодов сигналов и дискретизации на примере гармонического сигнала. Для проверки полученных соотношений было проведено моделирование в системе Matlab. В работе представлены результаты сравнительного анализа данных измерений ФХС для гармонического сигнала со скользящей оконной обработкой (окном Чебышева) и без оконной обработки. Полученные результаты могут быть использованы для разработки прецизионной аппаратуры для ультразвуковой толщинометрии.

Список литературы

1. *Незрушаючий контроль і діагностика : справочник* / В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др.; под ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с
2. Куц Ю.В. *Статистична фазометрія* / Ю.В. Куц, Л.М. Щербак. – Тернопіль: В-во Терноп. технологіч. ун-ту, 2009. – 383 с.
3. Бендат Дж. *Прикладний аналіз випадкових даних: пер. с англ.* / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1989. – 540 с.

Поступила в редколлегию 21.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук проф. Ю.В. Куц, Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев.

ВИЗНАЧЕННЯ ДИСКРЕТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ

О.В. Монченко, О.С. Мельник

У статті розглянутий спосіб зменшення методичної погрешності при визначенні дискретних характеристик сигналів ультразвукового контролю за допомогою використання віконної обробки.

Ключові слова: методична погрешність, фазова характеристика сигналу, віконна обробка.

DETERMINATION OF THE DISCRETE CHARACTERISTICS OF ULTRASONIC TESTING SIGNALS

O.V. Monchenko, O.S. Melnyk

The article describes the method of reducing the systematic error in the determination of the discrete characteristics of ultrasonic testing signals by using window treatment.

Keywords: systematic error, the phase characteristics of the signal, the window treatment.