

ОЦЕНИВАНИЕ СТАНДАРТНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ИМПУЛЬСНОГО ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ

Карпинский В.В., Куц Ю.В., Лысенко Ю.Ю., Протасов А.Г.

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського»,
y.kuts@ukr.net*

Концепция неопределенности измерений [1] активно используется в метрологической практике для количественного оценивания показателей точности результатов измерений физических величин. Однако ее применению в ряде технических приложений еще не уделяется должного внимания. Это касается и области неразрушающего контроля материалов и изделий. Одной из причин такого положения является недостаточное количество методик и примеров расчета неопределенностей для различных предметных областей измерений.

В докладе рассмотрен вопрос оценивания стандартной неопределенности результатов измерения декремента и частоты собственных колебаний вихретокового преобразователя в импульсном режиме в задачах контроля электропроводящих материалов и изделий [2]. Анализируемые сигналы имеют вид затухающих гармонических колебаний, т.е. $s(t) = S_0 e^{-\alpha t} \cos(2\pi f t)$, частота f и декремент α которых зависят от электрических и механических параметров системы «объект контроля – вихретоковый преобразователь».

Методика измерения предполагает экспериментальное определение сигнала $s(t)$ на интервале времени $[0, T]$, вычисление его гильбер-образа $\hat{s}(t)$, определение амплитудной $S(t) = \sqrt{s(t)^2 + \hat{s}(t)^2}$ и фазовой $\Phi(t) = \arctg \frac{\hat{s}(t)}{s(t)} + L[s(t), \hat{s}(t)]$ характеристик сигнала, где $L[\cdot]$ – ступенчатая функция, устраняющая разрывы фазовой характеристики [3].

Собственная частота и декремент колебаний определяются соответственно выражениями

$$f = \frac{\Phi(t_2) - \Phi(t_1)}{2\pi(t_2 - t_1)} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{2\pi\Delta T}, \quad \Delta T \in [0, T], \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \ln \frac{S(t_1)}{S(t_2)} = \frac{1}{\Delta T} \ln \frac{S_1}{S_2}. \quad (2)$$

где ΔT – время анализа характеристик сигнала.

С учетом того, что: 1) погрешность определения временного интервала ΔT определяется только стабильностью генератора тактовых

импульсов и может быть сведена к пренебрежимо малой величине, 2) отсутствует грубая погрешность определения фазовой характеристики, откуда следует, что ступенчатая функция $L[\cdot]$ определяется без погрешности, получены стандартные неопределенности результатов измерения параметров f и α

$$u_f = \frac{u}{2\pi\Delta T} \sqrt{S_1^{-2} + S_2^{-2}} = \frac{u}{2\pi\Delta TS_1} \sqrt{1 + e^{2\alpha\Delta T}}, \quad (3)$$

$$u_\alpha = \frac{u}{\Delta T} \sqrt{S_1^{-2} + S_2^{-2}} = \frac{u}{\Delta TS_1} \sqrt{1 + e^{2\alpha\Delta T}}. \quad (4)$$

где u – стандартная неопределенность оценок значений сигналов $s(t)$, $\hat{s}(t)$

При выводе формул (3), (4) учтено, что сигнал и его гильберт-образ в совпадающие моменты времени некоррелированы.

Анализ полученных трансцендентных уравнений (3), (4) показал, что функции $u_f(\Delta T)$ и $u_\alpha(\Delta T)$ имеют минимумы для значения $\alpha\Delta T \approx 1,10886$. С учетом этого определены достижимые минимальные значения стандартных неопределенностей

$$u_{f,\min} \approx \frac{u}{2\Delta TS_1}, \quad (5)$$

$$u_{\alpha,\min} \approx \frac{\pi u}{\Delta TS_1}. \quad (6)$$

Выполненный анализ и полученные формулы могут быть использованы для инженерного расчета численных значений неопределенностей измерения параметров затухающих гармонических колебаний и обоснования рекомендаций по выбору длительности интервалов их наблюдения.

Список литературы

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. – Geneva: ISO, 1993. – 101 p.
2. Lysenko I. Improvement of the Eddy Current Method of Non-Destructive Testing with Pulsed Mode Excitation [Electronic resource] / I. Lysenko, Y. Kuts, O. Dugin, A. Protasov // The e-Journal of Nondestructive Testing. – 2016. – № 7, Vol. 21. – Access mode: <http://www.ndt.net/article/wcndt2016/papers/p91.pdf> (last access: 05.07.17).
3. Лысенко Ю. Ю. Применение преобразования Гильберта для анализа сигналов вихретоковой дефектоскопии / Ю. Ю. Лысенко, Ю. В. Куц // «Научные известия на НТСМ». – Созополь, Болгария, 2011. – №121. – С. 22–24.