

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Захаров И.П., Сергиенко М.П.
newzip@ukr.net

ХНУРЭ, кафедра метрологии и измерительной техники, г. Харьков

Задача измерения динамических характеристик (ДХ) средств измерительной техники (СИТ), как и задачи измерения других зависимостей (например, градуировочных характеристик), относится в метрологии к области совместных измерений, поскольку предполагает одновременное нахождение искомого параметра и времени или частоты для определения зависимости между ними. На практике наиболее часто измеряют временные характеристики (переходную, импульсную), поскольку они определяются за время установления переходного процесса, а, кроме того, наиболее удобны для преобразования в другие полные характеристики, а также для анализа динамических погрешностей [1]. При метрологической идентификации временных ДХ традиционное применение метода наименьших квадратов затруднительно, поскольку исходная система уравнений описывается экспоненциальными и тригонометрическими функциями. Так, при метрологической идентификации переходной характеристики (ПХ) апериодического СИТ, измеренной в N дискретных точках, в общем случае имеем следующую систему уравнений:

$$h(t_i) = 1 + \sum_{j=1}^m A_j \exp(t_i / \tau_j), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

Коэффициенты A_j для конкретной модели переходной характеристики выражается через постоянные времени τ_j , значения которых и определяют в процессе идентификации. Это в два раза уменьшает число идентифицируемых параметров, однако увеличивает нелинейность модели. Поэтому для идентификации τ_j применяют специальные методы [2-4].

В процессе идентификации ДХ возникает необходимость оценивания ее точности. При этом следует решать две задачи: прямая задача – оценивание влияния неопределенности входных данных и применяемых алгоритмов на точность оценок параметров модели ДХ СИТ [2-4]; обратная задача – исследование влияния неопределенности оценок параметров модели на точность аппроксимации ДХ СИТ.

В настоящем докладе остановимся на решении обратной задачи. При этом мы рассматриваем случай, когда погрешность из-за неадекватности модели отсутствует. При решении этой задачи следует учитывать как нелинейность функции преобразования, так и возможную корреляцию оценок параметров модели передаточной функции, которые получены на основе общих входных данных.

В качестве примера рассмотрим модель апериодического СИТ второго порядка, параметры которой определены методом моментов [2]. ПХ такого СИТ имеет вид:

$$h(t) = 1 - \frac{\tau_1}{\tau_1 - \tau_2} \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) - \frac{\tau_2}{\tau_2 - \tau_1} \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right).$$

В этом случае коэффициенты чувствительности будут равны

$$C_{1,2}(t) = \frac{\partial h(t)}{\partial \tau_{1,2}} = \frac{\tau_{2,1}}{(\tau_{1,2} - \tau_{2,1})^2} \left(\exp\left(-\frac{t}{\tau_{1,2}}\right) - \exp\left(-\frac{t}{\tau_{2,1}}\right) \right) - \frac{t}{\tau_{1,2}(\tau_{1,2} - \tau_{2,1})} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{1,2}}\right).$$

Неопределенность идентификации переходной характеристики в любой точке t будет определяться общим выражением

$$u[h(t)] = \sqrt{C_1^2(t)u^2(\tau_1) + C_2^2(t)u^2(\tau_2) + 2C_1(t)C_2(t)u(\tau_1)u(\tau_2)r(\tau_1, \tau_2)}, \quad (1)$$

в котором $u(\tau_{1,2})$ - стандартные неопределенности оценок постоянных времени; $r(\tau_1, \tau_2)$ - коэффициент корреляции между ними.

Изучение методом Монте-Карло статистики оценок постоянных времени, получаемых методом моментов [5], показывает, что коэффициент корреляции между ним равен -1 (рис. 1).

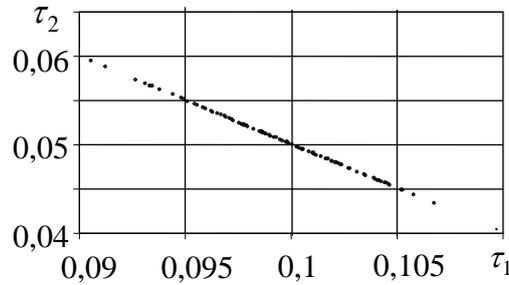


Рисунок 1. Корреляция между оценками постоянных времени

В этом случае выражение (1) упростится:

$$u[h(t)] = |C_1(t)u(\tau_1) - C_2(t)u(\tau_2)|.$$

На рис. 2 приведены значения неопределенности идентификации ПХ для значений постоянных времени 0,01 с и 0,05 с и стандартного отклонения аддитивного шума 0,001. Рисунок показывает, что учет корреляции между постоянными времени может завязать оценку неопределенности идентификации в 4 раза.

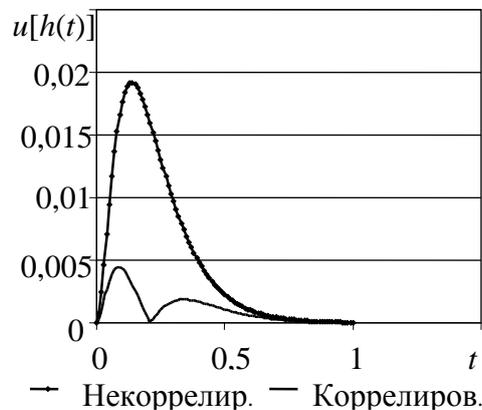


Рисунок 2. Зависимость неопределенности идентификации ПХ от времени

Расширенную неопределенность определяли методом Монте-Карло. На рис. 3 показаны зависимости границ рассеяния (расширенной неопределенности) и стандартной неопределенности идентификации ПХ от времени. Деление этих зависимостей дает постоянный коэффициент охвата во всем диапазоне времени, среднее значение которого составляет 1,97 для уровня доверия 0,95.

На рис. 4 изображены гистограммы рассеяния оценок постоянных времени. Их стандартные отклонения составили 0,0037 с, коэффициенты эксцесса равны 0,75, а коэффициенты асимметрии одинаковы по модулю и противоположны по знаку ($-0,54$ для τ_1 для и $0,54$ для τ_2). Это говорит о влиянии нелинейности функции преобразования на закон распределения постоянных времени.



Рисунок 3 – Зависимость границ рассеяния и стандартной неопределенности от времени

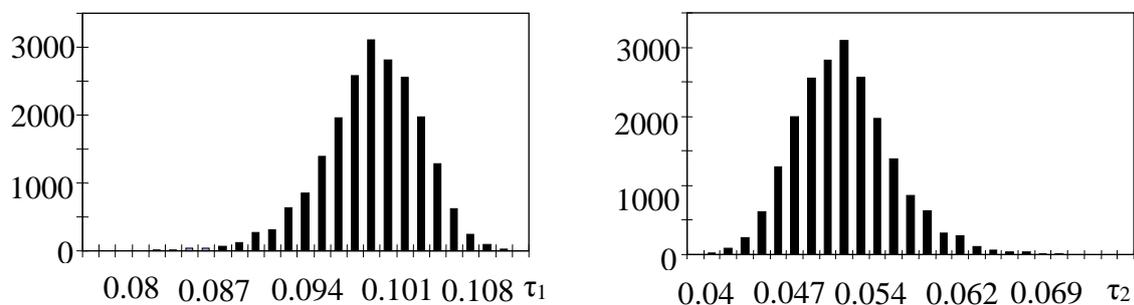


Рисунок 4 – Гистограммы оценок постоянных времени

Выводы:

1. При определении погрешности идентификации ПХ следует учитывать как нелинейность функции преобразования, так и корреляцию оценок параметров модели передаточной функции, которые получены на основе общих входных данных.
2. При малых значениях неопределенности параметров модельного уравнения можно пользоваться общим подходом к оценке стандартной неопределенности ПХ [6].

Литература

1. Грановский В.А. Динамические измерения: основы метрологического обеспечения. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 224 с.
2. Захаров И.П., Штефан Н.В. Идентификация динамических характеристик апериодических измерительных преобразователей мощности СВЧ //Радиотехника, 1997. Вып. 104. С. 47-55.
3. Захаров И.П., Сергиенко М.П. Исследование погрешностей идентификации переходных характеристик апериодических измерительных преобразователей методом Прони //Радиоэлектроника и информатика. 2004. №1. С. 44-47.
4. Захаров И.П. Сергиенко М.П. Определение параметров передаточных функций линейных систем //Системы обработки информации. 2004. №. 12. с. 73-78.
5. Захаров И.П., Сергиенко М.П. Исследование характеристик случайной погрешности определения постоянных времени апериодических измерительных преобразователей // Радиотехника. 2004. Вып. 139. С. 125-129.
6. Захаров И.П. Неопределенность измерения: Общие подходы к составлению бюджета неопределенности // Украинский метрологічний журнал. 2004. №2. С. 10-15.