

Обробка інформації в складних технічних системах

УДК 681.2-5

Бакер Альравашдех, М.П. Сергиенко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В работе рассмотрена возможность использования адаптивного алгоритма идентификации импульсных характеристик измерительных преобразователей, моделируемых динамическими звеньями апериодического и колебательного типов, на базе многослойной искусственной нейронной сети. Описан порядок обучения и применения нейронной сети, рассмотрены достоинства и недостатки предложенного метода идентификации. Приведены примеры идентификации импульсных характеристик измерительных преобразователей.

Ключевые слова: измерительный преобразователь, динамическое звено, динамическая характеристика, импульсная характеристика, искусственная нейронная сеть

Введение

Динамические характеристики измерительных преобразователей (ИП), применяемых при сертификационных испытаниях автотранспортных средств, таких, как датчики вибрации и удара, в том числе ударных акселерометров, пороговых ИП ударного ускорения, ударной скорости, деформации [1], относятся к их основным метрологическим характеристикам. Поэтому идентификация, состоящая в установлении структуры и параметров ДХ таких ИП на основании полученных экспериментально данных, является неотъемлемым этапом их метрологического обеспечения.

Для датчиков вибрации и удара экспериментально определяемыми ДХ являются амплитудно-частотная и импульсная характеристики [2], последняя из которых относится к полным ДХ ИП [3]. В качестве стандартного метода калибровки акселерометров применяется калибровка ударом с использованием баллистического метода измерений [4], результатом которой является значение коэффициента преобразования акселерометра в ударном режиме, полученное путем пересчета импульсной характеристики (ИХ). Однако в ряде случаев для решения метрологических задач, таких как исследование погрешности (неопределенности) ИП, корректировка ДХ, этого результата недостаточно и возникает необходимость метрологической идентификации полученной экспериментально импульсной характеристики.

Еще одним фактором, требующим внимания, является появление методической погрешности при пересчете ИХ [5]. Кроме того, ИХ рассматриваемых ИП являются нелинейными, что делает затруднительным применение к ним регрессионных методов обработки данных.

В настоящее время для решения многих метрологических задач находят применение искусственные нейронные сети (ИНС), способные к обучению на основе имеющихся данных [6–8].

Целью данной работы является применение адаптивного алгоритма на базе ИНС для идентификации ИХ ИП, моделируемых динамическими звеньями апериодического и колебательного типов.

1. Алгоритм идентификации импульсной характеристики измерительных преобразователей

Для реализации адаптивного алгоритма идентификации ИХ $g(t)$ применяется многослойная рекуррентная ИНС (рис. 1). Первый слой ИНС представляет собой адаптивно обучаемую сеть, состоящую из m нейронов, на вход каждого из которых подается обучающее воздействие в виде нормированной ИХ $g_i(y_k)$ [5], которая для ИП, моделируемого апериодическим звеном первого порядка, задается выражением

$$g_i(T_k) = \frac{1}{T_k} \exp\left(-\frac{i\Delta t}{T_k}\right), \quad (1)$$

для ИП, моделируемого колебательным звеном, – выражением

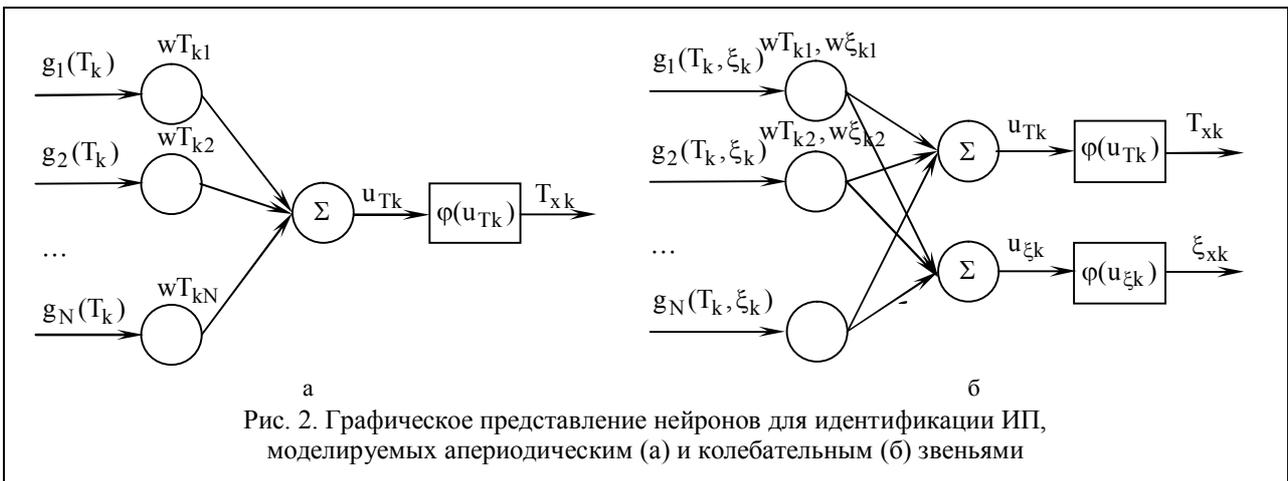
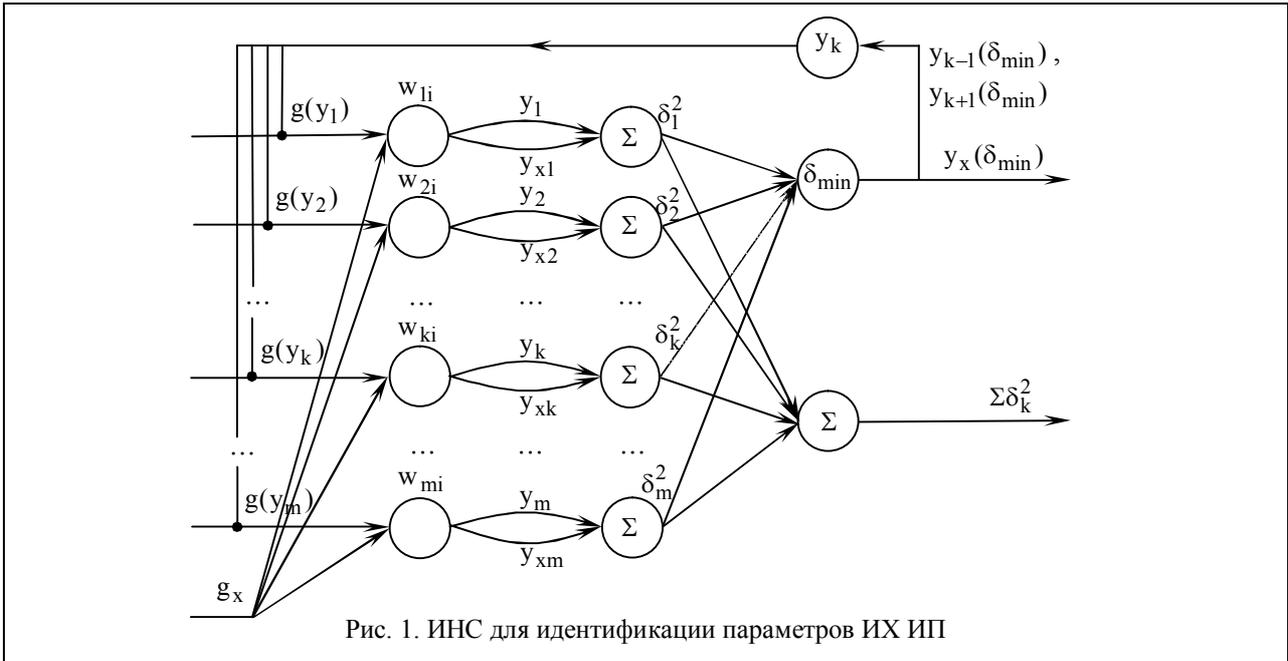
$$g_i(T_k, \xi_k) = \frac{1}{T_k \sqrt{1 - \xi_k^2}} \exp\left(-\frac{\xi_k}{T_k} i \Delta t\right) \sin\left(\frac{\sqrt{1 - \xi_k^2}}{T_k} i \Delta t\right), \quad (2)$$

где T_k – заданные значения постоянных времени;
 ξ_k – заданные значения коэффициента затухания;

Δt – период дискретизации идентифицируемой ИХ g_{xi} ; $i = 1 \dots N$,

N – количество дискретных отсчетов импульсной характеристики.

Графическое представление k -го нейрона искусственной нейронной сети для идентификации импульсной характеристики измерительных преобразователей, моделируемых выражениями (1) и (2) показано на рис. 2.



Первоначально m значений y_k (в зависимости от используемой модели y_k соответствует T_k и/или ξ_k , $k = 1 \dots m$) задаются произвольно с равномерным интервалом

$$y_k = y_{\min} + k \frac{y_{\max} - y_{\min}}{m}. \quad (3)$$

Обучение основано на минимизации среднеквадратических ошибок сети

$$Q = \sum_{k=1}^m \delta_k^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (y_k - \varphi_k)^2, \quad (4)$$

где функция активации φ_k вследствие нелинейности $g(y_k)$ описывается логистической функцией

$$\begin{aligned} \phi_k &= \phi(u_{y_k}) = \\ &= \frac{1}{1 + \exp(-wy_k^T g(y_k))}, \end{aligned} \quad (5)$$

где wy_k^T – k -ая строка транспонированной матрицы синаптических весов, определяемых как функция минимума ошибки сети

$$wy_{ki} = f(Q_{\min}). \quad (6)$$

Таким образом, результатом обучения ИНС является получение матрицы синаптических весов wy_{ki} , соответствующих минимуму Q .

После обучения сети на ее вход подаются дискретные значения нормированной идентифицируемой ИХ $g_{xi} = \frac{g_{xi \text{ изм}}}{K}$, где $g_{xi \text{ изм}}$ – измеренные значения ИХ; K – статический коэффициент преобразования ИП и вырабатываются выходные сигналы сети

$$y_{xk} = \phi_{xk} = \frac{1}{1 + \exp(-wy_k^T g_x)}. \quad (7)$$

Рассчитывается среднеквадратическая ошибка сети по формуле

$$Q = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (y_k - y_{xk})^2 \quad (8)$$

и определяется значение задаваемого параметра y_k , при котором наблюдается минимальная ошибка δ_{\min} .

В данной работе при поиске минимума среднеквадратической ошибки сети использовался метод уменьшения интервала [9], когда при каждой итерации выбирается интервал заданных значений от y_{j-1} до y_{j+1} для y_j , соответствующего δ_{\min} . Могут быть использованы и другие методы поиска минимума функции.

После нахождения минимума принимают

$$y_{\min} = y_{j-i};$$

$$y_{\max} = y_{j+1}$$

и повторяют вычисления по формулам (3) – (8).

Вычисления продолжаются до тех пор, пока не наступит условие

$$Q \leq Q_0,$$

где Q_0 – заданный уровень ошибки сети.

Следует отметить, что увеличение Q на промежуточных этапах идентификации может свидетельствовать о неправильном обучении сети, поэтому в таких случаях следует вернуться к предыдущей итерации и увеличить интервал заданных значений y_k .

2. Применение адаптивного алгоритма для идентификации импульсной характеристики измерительных преобразователей

В проведенных численных экспериментах использовались $m = 5$ обучающих ИХ по $N = 100$ дискретных значений в каждой.

1. Аперриодическое звено.

В качестве измерительного преобразователя, ИХ которого подлежит идентификации, использовался ИП с постоянной времени $T = 8$ мс и средним квадратическим отклонением (СКО) дискретных значений σ_x .

Результаты идентификации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Идентификация импульсной характеристики аперриодического измерительного преобразователя

σ_x	$\delta T, \%$	$\overline{\Delta g}$	$\sigma(\overline{\Delta g})$
0	0	0,003	0,2
0,001	0	0,005	0,2
0,01	0,11	0,05	0,6
0,1	-5,4	0,16	1,4
1,0	1,6	-0,5	1,6

В табл. 1 обозначено:

$\delta T = \frac{\Delta T}{T} 100 = \frac{T_x - T}{T} 100$ – погрешность идентификации постоянной времени T ;

$\overline{\Delta g} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (g_i(T_x) - g_{xi})$ – среднее арифметическое погрешности аппроксимации ИХ;

$\sigma(\overline{\Delta g})$ – СКО \overline{g} .

2. Колебательное звено.

В качестве измерительного преобразователя, моделируемого колебательным динамическим звеном, использовался измерительный преобразователь с постоянной времени $T = 8$ мс и коэффициентом затухания $\xi = 0,6$.

Результаты идентификации приведены в табл. 2.

Заключение

В работе был рассмотрен алгоритм идентификации импульсной характеристики измерительных преобразователей, моделируемых динамическими звеньями аперриодического и колебательного типов.

Таблиця 2

Идентификация ИХ колебательного ИП

σ_x	$\delta T, \%$	$\delta \xi, \%$	$\overline{\Delta g}$	$\sigma(\overline{\Delta g})$
0	-1,3	4,8	-0,003	0,647
0,0001	-1,1	5,7	-0,008	2,2
0,001	-1,8	4,8	-0,004	0,67
0,01	0,4	-1,5	0,001	0,213
0,1	-0,26	-1,2	-0,002	0,269
1,0	-1,7	1,2	0,16	1,05

Недостатком предложенного метода является использование большого объема данных, что увеличивает временные затраты на обработку данных.

Однако, полученные результаты указывают на перспективность разработки алгоритмов идентификации динамических характеристик измерительных преобразователей на базе искусственных нейронных сетей, что обусловлено их адаптивными свойствами, в том числе способностью к непрерывному обучению, гибкостью в решении различных технических задач и возможностью управлять точностью идентификации.

Список литературы

1. ГОСТ 8.127-74 ГСИ. Измерения параметров ударного движения. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 15 с.
2. ГОСТ ИСО 5347-0-95 Вибрация. Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 0. Общие положения. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 32 с.

3. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 38 с.

4. ГОСТ ИСО 5347-2-97 Вибрация. Калибровка датчиков вибрации и удара. Ч. 2. Первичная калибровка акселерометров ударом с использованием баллистического метода измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 8 с.

5. Захаров И.П. Метрологическая идентификация динамических характеристик средств измерительной техники: учебное пособие / И.П. Захаров, М.П. Сергиенко. – Х.: Компания СМИТ, 2012. – 232 с.

6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание: Пер. с англ. / С. Хайкин. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

7. Водотыка С.В. Использование искусственных нейронных сетей при построении калибровочной зависимости средства измерения [Текст] / С.В. Водотыка // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2011. – Вып. 1 (91). – С. 24 – 27.

8. Дегтярьов А.В. Адаптивная система компенсации нелинейности функции преобразования измерительных устройств на базе трехслойного перцептрона [Текст] / А.В. Дегтярьов, О.В. Запорожець, Т.А. Овчарова // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – № 6. – С. 235 – 241.

9. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа : учебн. пос. / Г.М. Фихтенгольц. – М.: Наука, 1968. – Т. 1: – 440 с.

Поступила в редколлегию 27.03.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМУ ИДЕНТИФІКАЦІЇ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА БАЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Бакер Альравашдех, М.П. Сергієнко

В роботі розглянута можливість використання адаптивного алгоритму ідентифікації імпульсних характеристик вимірювальних перетворювачів, що моделюються динамічними ланками аперіодичного і коливального типів, на базі штучної нейронної мережі. Описано порядок навчання і застосування нейронної мережі, розглянуті достоїнства і недоліки запропонованого методу ідентифікації. Наведені приклади ідентифікації імпульсних характеристик вимірювальних перетворювачів.

Ключові слова: вимірювальний перетворювач, динамічна ланка, динамічна характеристика, імпульсна характеристика, штучна нейронна мережа

THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS BASED IDENTIFICATION ALGORITHM APPLICATION FOR MEASURING TRANSDUCERS

Baker Alravashdeh, M.P. Sergienko

In this article there is investigated a possibility of applying an adaptive identification algorithm for measuring transducers identification, which are modelled by dynamic elements of both aperiodic and periodic types, based on multi-layer artificial neural network. The ways of neural network training and applying are given, as well as merits and demerits of this identification method. Several examples of transducers measuring characteristics identification are given.

Keywords: measuring transducers, dynamic element, dynamic characteristic, pulse characteristic, artificial neural network.