

УДК 620.179.16

А.В. Попов, Е.А. Кондранин, В.Э. Жумай

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

При реализации методов акустической эмиссии (АЭ) в задачах оценки прочности конструкций информативную роль играют параметры и характеристики сигналов датчика.

В качестве последних используют случайные интервалы времени между импульсными сигналами датчика, их интенсивность и другие параметры [1-4]. Одним из часто применяемых датчиков являются датчики, основанные на пьезо-эффекте.

Необходимо отметить, что процессы формирования сигналов датчиков весьма сложны, носят случайный характер, и физика возникновения сигналов АЭ недостаточно изучена. При этом процессы измерения сопровождаются неизбежными шумами.

В этих условиях для построения алгоритмов обработки весьма актуальной является проблема построения математической модели сигналов датчика АЭ.

В силу вышеуказанного такая модель может быть только феноменологической. Современные компьютерные программы, например [5], позволяют на основе анализа «тонкой структуры» сигналов датчика АЭ с привлечением физических интерпретаций построить модель таких сигналов, в достаточной степени адекватную для использования в алгоритмах обработки.

В основу процесса построения феноменологической модели сигналов пьезодатчика GT300 (ООО «ГлобалТест», г.Саров) с основными характеристиками, представленными в таблице и на рис.1, полученными системой сбора данных на основе ПЭВМ типа Pentium IV и 16 разрядной быстродействующей платы АЦП ЛА-н150-14РС1 (ЗАО «Руднев-Шиляев», г.Москва) на частоте 2 МГц, положены результаты применения программы Mathcad 2001.

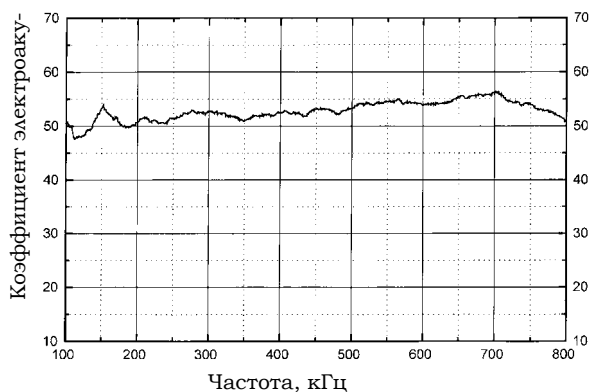


Рис.1 Основные характеристики, полученные системой сбора данных на основе ПЭВМ типа Pentium IV и 16 разрядной быстродействующей платы АЦП ЛА-н150-14РС1

Многочисленные эксперименты показывают, что форма сигналов датчика АЭ существенно меняется даже в течение одного эксперимента. Различие форм временных диаграмм сигналов можно объяснить различием начальных условий для реакции динамической системы датчика, обусловленным незатухающей реак-

цией на предыдущие импульсы АЭ, а также различием их форм. Наиболее типичными являются сигналы, приведенные на рис. 2, 3, 4, где кривая 1 – сигнал получаемый с пьезодатчика, кривая 2 – огибающая сигнала.

Формирование модели сигналов датчика, ориентируясь на временные диаграммы 2,3,4, будет производиться, исходя из следующих соображений. Форму воздействия импульса АЭ на пьезокристалл положим в следующем виде

$$F(t) = F_0 \cdot t \cdot e^{-t/\tau}, \quad (1)$$

где F_0 – амплитуда импульса; τ – постоянная, от которой зависит скорость нарастания и спада импульса. График, соответствующий (1), имеет вид кривой 2 на рис.2.

Таблица

Основные характеристики

Наименование	Размерность	GT300
Тип	-	широкополосный
Коэффициент электроакустического преобразования	дБ отн. 1В/м/с	> 50
Рабочая частота	кГц	280
Полоса пропускания	кГц	100 ÷ 800
Электрическая ёмкость	пФ	400 ... 500
Сопротивление изоляции	МОм	> 100
Температурный диапазон	°С	- 40 ... + 150
Материал корпуса	-	титановый сплав
Длина кабеля	м	1 ^{*1}
Масса (без кабеля)	г	15
Тип соединителя	-	BNC (CP-50-74ФВ) ^{*1}

В некоторых публикациях считают форму импульса АЭ экспоненциальной (рис.3).

Форма (1) в большей степени соответствует реальным импульсам АЭ, так как бесконечно крутых фронтов на практике не существует по общеизвестным причинам.

Поскольку пластина пьезокристалла подключается к усилителю с некоторым значительным, но не бесконечным входным сопротивлением, напряжение на входе усилителя можно считать приблизительно пропорциональной производной от $F(t)$, на которую накладываются затухающие собственные колебания пластины пьезокристалла.

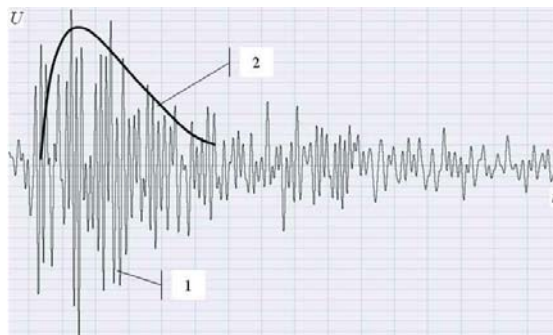


Рис.2. Временная диаграмма сигналов

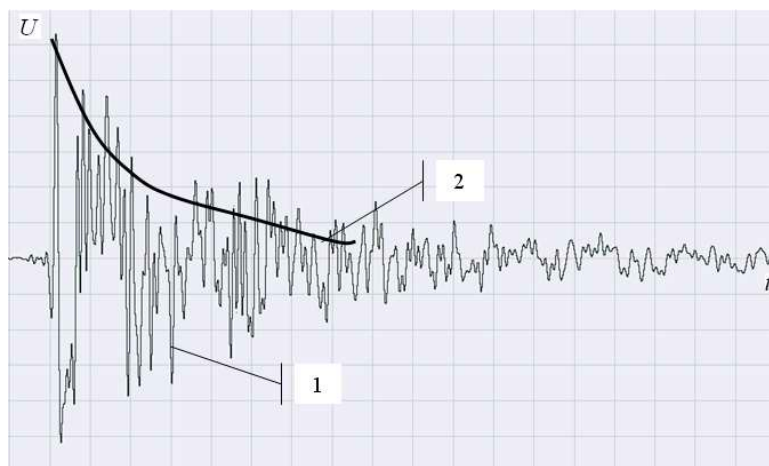


Рис.3. Временная диаграмма сигналов

Вышеприведенные соображения можно формализовать следующим соотношением

$$u_{ex}(t) = BF_0 e^{-t/\tau} \left(1 - \frac{at}{\tau}\right) + A e^{-t/\tau} \sin \omega_0 t. \quad (2)$$

В выражении (2) первое слагаемое соответствует производной формулы (1), в которую введен множитель a для увеличения возможности варьирования формой $u_{ex}(t)$, коэффициенты A и ω_0 определяют соответственно амплитуду и круговую частоту собственных колебаний пьезодатчика.

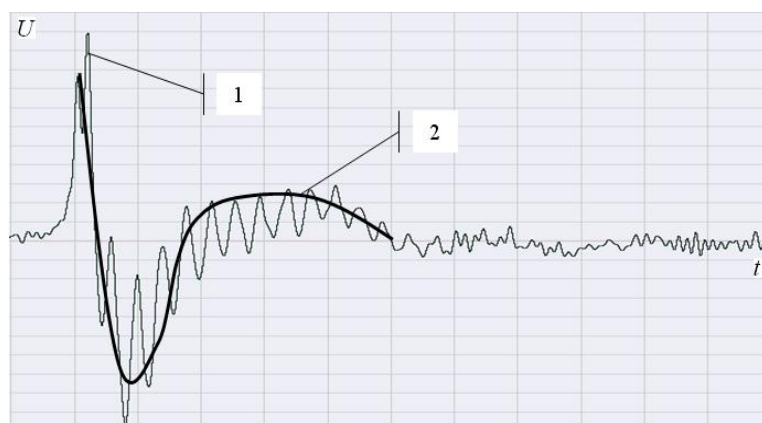


Рис. 4. Временная диаграмма сигналов

Постоянная времени τ характеризует скорость затухания собственных колебаний датчика. B – коэффициент, выравнивающий размерности.

Полагаем, что выход усилителя пропорционален $u_{ex}(t)$.

Соотношение (2) позволяет описывать форму реакций пьезодатчика на импульсы АЭ, изменяющуюся в широких пределах и дает основание сделать ряд существенных для дальнейшей обработки заключений относительно свойств сигналов датчика.

Как правило, используется операция детектирования сигналов датчика. Это значит, что необходимо определить параметры, определяющие инерционность детектора. Постоянная времени детектора должна в несколько раз превышать значение $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$. Круговая частота ω определяется приближенно из графика сигнала датчика.

Далее, измерив, среднеквадратическое значение шума при проведении эксперимента при нагружении образцов, по выражению (2) можно оценить уровень зоны нечувствительности при обработке сигналов датчика АЭ.

Кроме того, форма сигнала датчика, определяемая (2), позволяет оценить его спектральные свойства, что крайне важно для построения обеспечивающих высокое отношение сигнал/шум фильтров, согласованных по спектру.

Рассмотрим спектральные характеристики модели (2). Проще всего это сделать, используя преобразование Лапласа-Карсона [6]

$$L[u_{ex}(t)] = BF \bar{L} \left[e^{-t/\tau} \left(1 - \frac{at}{\tau} \right) \right] + A \bar{L} \left[e^{-t/\tau} \div \sin \omega_0 t \right]. \quad (3)$$

Здесь $\bar{L}[\cdot]$ – символ преобразования Лапласа-Карсона.

Воспользовавшись известным соответствием [6]

$$e^{-at} f(t) \div \frac{p}{p+a} [\bar{f}(p+a)],$$

где p – комплексная переменная; \bar{f} – изображение по Лапласу-Карсону функции $f(t)$, из (3) получаем

$$\bar{L}[u_{ex}(t)] = BF_0 \frac{p}{p+1/\tau} \left(1 - \frac{a}{\tau} \cdot \frac{1}{p+1/\tau} \right) + A \omega_0 \frac{p}{(p+1/\tau)^2 + \omega_0^2}. \quad (4)$$

Переходя в (4) к преобразованию Лапласа, находим

$$L[u_{ex}(t)] = \frac{BF_0}{p+1/\tau} \left(1 - \frac{a}{\tau} \cdot \frac{1}{p+1/\tau} \right) + \frac{A \omega_0}{(p+1/\tau)^2 + \omega_0^2}. \quad (5)$$

Делая в (5) замену $p = j\omega$, находим спектральную плотность входного сигнала усилителя:

$$\begin{aligned} U_{ex}(j\omega) &= \frac{BF_0}{1/\tau + j\omega} \left(1 - \frac{a}{\tau} \cdot \frac{1}{1/\tau + j\omega} \right) + \frac{A \omega_0}{(1/\tau_1 + j\omega)^2 + \omega_0^2} = \\ &= BF_0 \left[\frac{\frac{1}{\tau}(1-a) + j\omega}{(1/\tau + j\omega)^2} \right] + \frac{A \omega_0}{(1/\tau_1 + j\omega)^2 + \omega_0^2} \end{aligned} \quad (6)$$

Аналитический расчет модуля выражения (6) приводит к громоздкой, плохо обзримой формуле. Поэтому более конструктивным является его расчет в среде Mathcad. Пример приведен на рис.5. В расчете приняты следующие параметры, входящие в (6): $BF_0 = 1$, $A = 1$, $a = 5$, $\tau = 1$, $\omega_0 = 4\pi$, $\tau_1 = 1$.

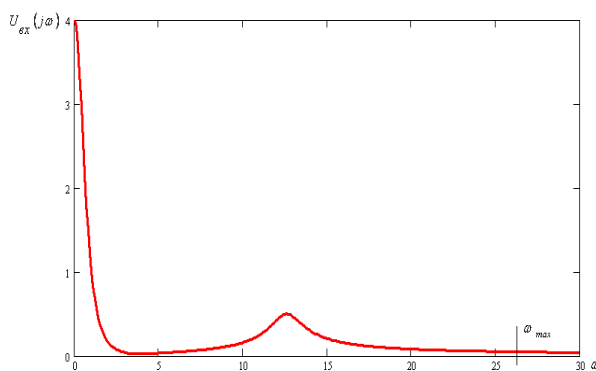


Рис.5. Расчет в среде Mathcad

На практике определяют так называемую эффективную ширину спектра, которая ограничивается значением частоты, при которой величина модуля спектральной плотности не превосходит (5÷10)% от его максимального значения.

Полученные в работе результаты позволяют более полно учитывать свойства сигналов датчика АЭ, что существенно повышает точность и достоверность результатов их обработки при решении задач оценки прочности конструкций на основе АЭ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ проект 06-08-01259а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов (ПБ 03-593-03)—СПб.: Изд-во ДЕАН, 2004.—64с.
2. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. /Под общ.ред. В.В.Клюева. Т.7: В 2 кн. Кн.1: В.И.Иванов, И.Э.Власов. Метод акустической эмиссии/ Кн.2: Ф.Я.Балицкий, А.В.Барков, Н.А.Баркова и др. Вибродиагностика. — М.: Машиностроение, 2005. — 829 с.
3. Расцепляев Ю.С., Попов А.В. Метод инвариантов в задаче исследования потоков акустической эмиссии. Дефектоскопия. —2000. —№10. —С. 79-82.
4. Попов А.В. Способ оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле. Патент РФ № 2233444. 2003, БИ № 21.
5. Дьяконов В. Mathcad 2001: специальный справочник. — СПб.: Питер, 2002. — 832с.: ил.
6. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Корн Г., Корн Т. — М.: Наука. 1984.

УДК 621.396

Д.С. Бокарев, А.Е. Ольсевич

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СТЕНД НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА СЕМЕЙСТВА MSP430

В настоящее время электронная промышленность развивается огромными темпами. Появляется все больше электронных устройств, центральным ядром которых является микроконтроллер. При этом количество фирм-производителей этих микроконтроллеров огромно, среди них можно выделить такие популярные производители на рынке полупроводниковых компонентов стран СНГ, как Altera, Analog Devices, Atmel, Cirrus Logic, Fujitsu, MagnaChip (Hynix), Intel, Motorola, National Semiconductor, Philips, ST Microelectronics и Texas Instruments. Каждая такая фирма предлагает на выбор инженеру целые семейства микроконтроллеров.