

К.Я. Охрименко, к.т.н., почётный профессор, А.В. Манзюра
(Черкасский государственный технологический университет, Украина)
Eichhorn K.K., PhD (Fraunhofer Institute for Non-Destructive Testing, Germany)
Л.М. Покидько, ведущий инженер
(Национальный авиационный университет, Украина)

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ВИБРАТОРОВ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассматривается принцип расширения функциональных возможностей нагрузочных характеристик электродинамических вибрационных стендов, алгоритм работы универсального генератора электродинамического вибратора для любого статистического закона распределения случайных величин.

Повышение надёжности авиационной техники в условиях интенсивных динамических нагрузок при эксплуатации требует проведения вибрационных исследований, связанных с виброустойчивостью и вибропрочностью конструкций.

Современный анализ вибрационных процессов и диагностику невозможно рассматривать без использования теории случайных процессов. Большинство вибрационных сигналов имеют случайный характер, которые могут быть оценены статистическими методами обработки.

В рамках информационных технологий на современном этапе используются аналитические и экспериментальные методы исследования, связанные с моделированием идентификацией и диагностикой вибрационных процессов.

Для решения данной задачи на основании разработанных математических моделей функционирования электродинамических вибраторов (ЭДВ), управляемых генераторами напряжений или тока, предпочтением являются возбуждение подвижной катушки в поле постоянного магнита генератором тока, который, обеспечивает постоянство силы тока, в значительной мере упрощает преобразования входного сигнала и обеспечивает устойчивый режим работы.

Режим возбуждения вибровозбудителя от генератора напряжения характеризуется зависимостью тока подвижной катушки ЭДВ от параметров цепи и обобщённой скорости её перемещения. Постоянство тока в цепи катушки при её возбуждении от генератора тока является преимуществом этого способа возбуждения и характеризуется как режим заданного тока.

Наличие в обычных конструкциях электродинамических возбудителей механической системы и эклектических цепей переменного и постоянного возбуждения, а так же гидравлической подсистемы усиления в конструкциях электродинамических гидроимитаторов нагрузки для составления математических моделей наиболее приемлемым является использование уравнений Лагранжа-Максвелла [1]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} &= Q_j + \frac{\partial L^e}{\partial q_j}; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L^*}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} &= E_j + V_z^j, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $L = T - \Pi$; $L^e = W_m - W_e$ - функции Лагранжа и Максвелла соответственно;
 $W_m = 0,5 \int_v \frac{1}{\mu} B^2 dV$ - магнитная энергия; $B(x, y, z, i_1, i_2) = \sum_{j=1} B_j(x, y, z) i_j$ - магнитная индукция;
 μ - магнитная проницаемость среды; Q_j ; Q_j^e - обобщённые силы; E_j - источник напряжения.

Математическая модель ЭДВ с возбуждением от генератора тока, представленного в работе [1], согласно уравнения Лагранжа-Максвелла для электромеханических систем описывается дифференциальными уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + c_1(y_1 - y_2) + h_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) &= B \cdot \ell \cdot i_2; \\ m_2 \ddot{y}_2 + c_2 y_2 + h_2 \dot{y}_2 &= h_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + c_1(y_1 - y_2); \\ \frac{U}{R} + \Gamma_2(\psi_2 + \psi) &= \frac{E_2(t)}{R_2}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

которые с учётом нулевых начальных условий в операторной форме имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} (m_1 p^2 + h_1 p + c_1) \cdot y_1 - (h_1 p + c_1) \cdot y_2 &= B \cdot \ell \cdot i_2, \\ (m_2 p^2 + h_2 p + c_2) \cdot y_2 &= (h_1 p + c_1) \cdot (y_1 - y_2). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Частотные передаточные функции, получаемые на основании этих уравнений с использованием методов теории САУ, позволяют построить структурные схемы работы нагруженных и ненагруженных ЭДВ. А так же исследовать АФЧХ, переходные процессы ЭДВ с генераторами, построенными как на основе известных алгоритмов, так и для случая расширения функциональных возможностей генераторов.

Расширение функциональных возможностей системы управления вибрационных стендов и получение сигналов различной формы, в отличие от существующих генераторов вибрационных стендов, которые воспроизводят сигналы треугольной, прямоугольной формы, синусоиды и широкополосного сигнала, может быть достигнуто изменением тока в цепи катушки возбуждения при использовании генератора тока, воспроизводящего различные статистические законы распределения случайных сигналов на основе специально разработанного алгоритма и программного обеспечения, используя компьютер в системе управления.

Для связи компьютера с вибростендом, прежде всего, может быть использована звуковая пятиканальная карта ввода и вывода информации, которая управляется стандартным программным обеспечением и позволяет организовать обратную связь по сигналу управления от сбора информации о состоянии объекта испытания [2]. Стандартные технические характеристики звуковых карт охватывают диапазон частот колебаний 20-20000 Гц, глубину дискретизации сигнала 8 или 16 бит, стандартные частоты дискретизации сигнала 44100, 22050, 11025 Гц.

Разработанное программное обеспечение, например для зубчатых редукторов, обеспечивает отображение следующих законов статистического распределения случайных величин: закона равной вероятности; нормального закона распределения и бета-распределения с разными параметрами U и V [3].

Основной принцип, заложенный в реализацию генераторов такого типа, выражается известной зависимостью, которая показывает: если известна плотность вероятности $f(x)$, то величина

$$F(b) = \int_a^b f(x) dx \quad (4)$$

может быть распределена равномерно в интервале $[0,1]$. Если задать $F(b)$ в виде равномерной последовательности в интервале $[0,1]$ и разрешить (4) относительно b , то

получим последовательность случайных чисел с необходимой плотностью вероятности распределения $f(x)$ соответствующих закону распределения. Так как определение интеграла аналитически не всегда возможно, то для реализации данной зависимости был использован численный метод, алгоритм которого представлен на рис 1.

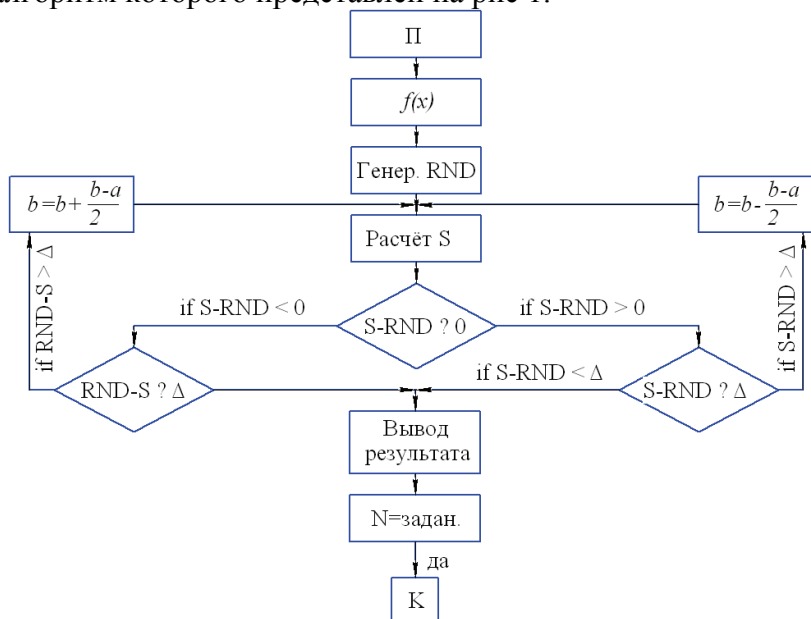


Рис. 1 – Алгоритм реализации генератора случайных чисел заданным законом распределения

Аналогично работает алгоритм и для других законов распределения, задав необходимую функцию плотности вероятности.

После разработки математической модели и управляющих программ в виде генераторов законов распределения случайных величин для расширения функциональных возможностей была разработана функциональная схема синтеза и управление ЭДВ, рис.2.

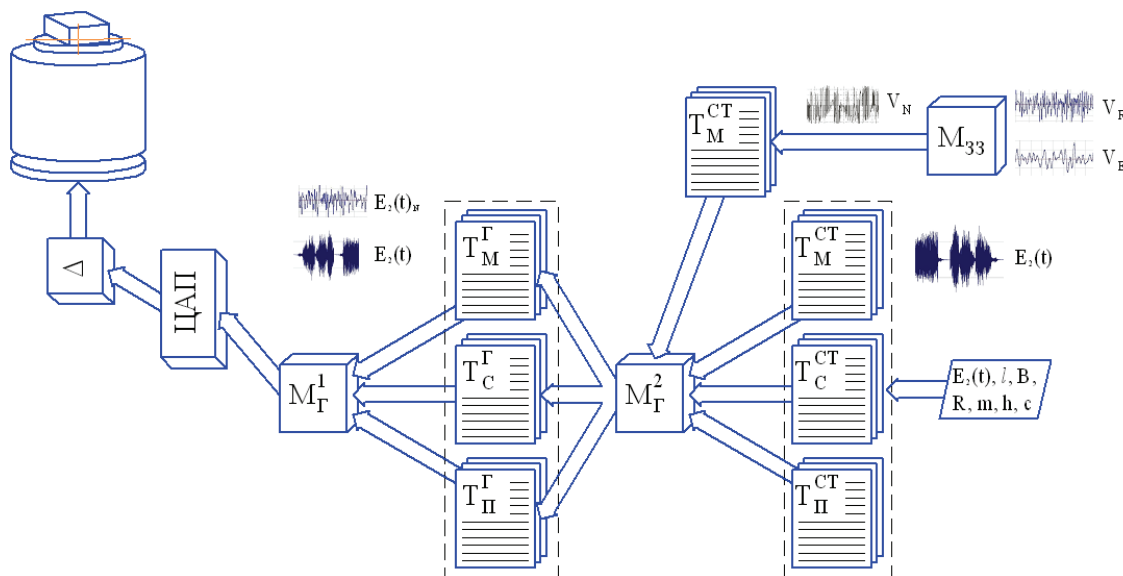


Рис. 2 – Функциональная схема синтеза и управления ЭДВ

Согласно рисунка 2: T_M^{CT} - данные моделирования сигнала (амплитуда, частота и ссылки на параметры других составляющих структуры); T_C^{CT} - сценарий описания последовательности действий в процессе испытаний (вход в резонанс, окончание заданного промежутка времени, достижение конкретного выходного сигнала); $T_П^{CT}$ - перечень действий

возможных при исследовании, на которые необходимо реагировать в системе представленных сервером базы данных при формировании структуры исследования; T_{CT} - блок описания структуры и перемен изменения при исследовании за счёт действия корректирующих сигналов обратной связи. Процессом создания сигнала управляет модель генерации сигнала $M_{Г}$, которая включает блок сравнения и коррекции $M_{Г}^2$ и блок генерации $M_{Г}^1$, который преобразует структурированный сигнал в сигнал для звуковой карты, а так же блок формирования сигнала обратной связи $M_{ЗЗ}$. Такая двухступенчатая обработка даёт возможность гибко формировать и корригировать сигнал, который подаётся к вибратору, учитывая сигнал коррекции от схемы обработки выходного сигнала поступающего на T_{CT} . Для оперативного управления процессом виброиспытаний при обработке сигналов от датчиков цепи обратной связи эффективно использование быстрых дискретных преобразований типа Уолша- Адамара, Пели и Качмажа.

Функциональная схема включает два потока информации - на входе и выходе сигнала с вибростенда. Поток входного сигнала на вибростенд включает типы данных: входные постоянные и переменные параметры вибростенда; описание закона нагружения, сценария нагружения с текстовым описанием каждого этапа и перехода; закон нагружения с учётом коррекции обратной связи, выходной набор числовых значений сигналов, которые преобразуются в ЦАП звуковой карты в аналоговый сигнал для предусилителя.

Выводы

Таким образом, математическая модель электродинамического вибростенда, используя методы теории САУ, позволяет оценить амплитудно фазо-частотные характеристики стенда в зависимости от разного вида возбуждений посредством генератора напряжений или генератора токов, отдавая предпочтение последним.

Развитие функциональных возможностей электродинамических вибростендов на основании предложенной структуры, разработанного программного обеспечения формирования законов распределения случайных величин на примере анализа динамики работы зубчатых передач позволяет проводить исследования вибрационных процессов работы машин в условиях максимально приближенных к реальным.

Расширение функциональных возможностей аналогично может быть распространено и на нагрузочные характеристики электродинамического гидроиммитатора нагрузки [4].

Список литературы

1. Методы проектирования электромеханических возбудителей / Божко А.Е., Пермяков В.И., Пушня В.А. Отв. ред. *А.Н. Подгорный*; АН УССР. Институт проблем машиностроения. – К.: Нак. думка, 1989. – 208 с.
2. *Охріменко К.Я.* Розширення функціональних можливостей систем управління вібраційних стендів / *Охріменко К.Я., Лапай А.К.* // Черкаси. Вісник ЧІТІ №1, 1998. – С 86-88.
3. *Лапай А.К.* Генератор різних неперервних статистичних законів розподілу як елемент системи управління при автоматизованому випробуванні машин та механізмів / *Лапай А.К., Охріменко К.Я.* // Черкаси. Вісник ЧІТІ №1, 1998. – С 3-8.
4. *Охрименко К.Я.* Нагрузочные характеристики электродинамического гидроиммитатора нагрузки в схеме испытательной установки / *Охрименко К.Я.* // Черкаси. Вісник ЧІТІ №2, 2001. – С 105-113.