

Применение корреляционного метода в идентификации электромеханической системы стабилизации видеокамеры

В.Н. Таран¹, Е.Ю. Кисловский²

¹*Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове*

²*Азовский оптико-механический завод*

Аннотация: В данной статье содержится краткое описание корреляционного метода идентификации систем в приложении к исследованию электромеханической системы стабилизации видеокамеры, а также экспериментальное подтверждение результатов проведенных расчетов. На основании полученных результатов предложена имитационная модель исследуемого устройства.

Ключевые слова: идентификация, задача о "черном ящике", ряд Вольтерра-Винера, импульсная переходная характеристика, имитационное моделирование.

Введение

Модель, достаточно точно описывающая поведение какой-либо технической системы, дает инженеру-разработчику обширную информацию, анализ которой позволяет на этапе проектирования скорректировать параметры изделия с целью достижения требуемых характеристик, что в свою очередь, обеспечит сокращение расходов, связанных с изготовлением и испытанием опытных образцов. При этом необходимо отметить, что в ходе синтеза модели не всегда получается предусмотреть все возможные эффекты, обусловленные особенностями предполагаемой конструкции, разбросом параметров отдельных узлов и компонентов, которые могут повлиять на качественные характеристики проектируемой системы. Таким образом, с изготовлением первых опытных образцов становится актуальной проблема идентификации систем [1,2].

Один из возможных путей решения этой проблемы заключается в анализе переходной характеристики, полученной при воздействии тестового сигнала. Среди всех используемых тестовых сигналов следует выделить дельта-импульс [3,4]. Данный сигнал обладает равномерным спектром с единичной амплитудой на всем диапазоне частот. Проверка сложных

механических систем таким сигналом, позволяет выявить собственные частоты конструкции. Однако применение такого метода сопряжено с некоторыми трудностями. В реальных условиях практически невозможно получить требуемые характеристики тестового импульса, кроме того для самой исследуемой системы такой сигнал может быть недопустимым с точки зрения режима работы. В данной работе приведено краткое описание корреляционного метода, позволяющего построить импульсную переходную характеристику без подачи на вход системы дельта-импульса, а также пример практического применения такого подхода в исследовании электромеханической системы стабилизации видеокамеры.

Постановка задачи

Корреляционный метод позволяет исследовать систему как "черный ящик". Выход такой системы может быть представлен в виде ряда Вольтерра-Винера:

$$y(t) = \int_0^{\infty} h_1(t-\tau)x_1(\tau)d\tau + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} h_2(t-\tau_1, t-\tau_2)x_1(\tau_1)x_1(\tau_2)d\tau_1d\tau_2 + \dots \quad (1)$$

где $x(t)$ - вход системы, $y(t)$ - выход системы, $h_n(t)$ - весовая функция n -го порядка τ, τ_1, τ_2 - интервалы корреляции.

Если в выражении (1) пренебречь слагаемыми, которые описывают нелинейный характер устройства, то выход системы можно записать в виде:

$$y(t) = \int_0^{\infty} h(t-\tau)x(\tau)d\tau \quad (2)$$

Искомую весовую функцию можно определить из условия минимума функционала невязки. Функционал невязки представляет собой среднеквадратическую ошибку, минимум которой определяется на основании функциональной производной вида [5]:

$$\frac{\delta\Phi[h(\tau)]}{\delta h(\tau)} = M[y(t) - \int_0^t h(t-\tau)x(\tau)d\tau]^2 = 0 \quad (3)$$

Таким образом, для (2) получим:

$$-2K_{xy}(\tau') + 2\int_0^t h(\tau)K_x(\tau - \tau')d\tau = 0 \quad (4)$$

где $K_{xy}(\tau)$ - корреляция входной $x(t)$ и выходной $y(t)$ функций, $K_x(\tau - \tau')$ - автокорреляция функции $x(t)$.

В условиях реального эксперимента результаты измерения входного и выходного сигналов дискретные. Для решения выражения (4) в дискретной форме составляется система линейных уравнений:

$$\begin{cases} b_0 + \sum_{i=1}^n x_i A_{i0} = 0, \\ b_1 + \sum_{i=1}^n x_i A_{i1} = 0, \\ \dots \\ b_n + \sum_{i=1}^n x_i A_{in} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

В матричной форме (6), вектор b и матрица A содержат коэффициенты $b_n = K_{xy}(n\Delta t)$ и $A_{in} = K_x((i-n)\Delta t)$ соответственно, а вектор x - значения переходной функции.

$$x = A^{-1} * b \quad (6)$$

Описание эксперимента и верификация результатов

В качестве примера практического использования корреляционного метода рассмотрим электромеханическую систему стабилизации видеокамеры с разомкнутой петлей обратной связи. Структурная схема исследуемой системы представлена на «рис.1». Система состоит из: усилителя мощности (УМ), датчика момента (ДМ) и датчика угловой скорости (ДУС). УМ, на вход которого подается случайный сигнал, необходим для согласования источника сигнала и нагрузки. ДМ представляет собой электродвигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных

магнитов. На роторе ДМ закреплена некоторая масса с установленным ДУС, который обеспечивает формирование выходного сигнала.

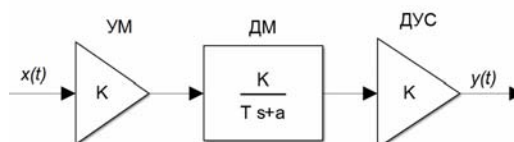


Рис. 1. – Структурная схема электромеханической системы стабилизации видеокамеры

В качестве тестового воздействия целесообразно использовать белый гауссовский шум (БГШ) [6,7]. Для синхронного съема значений входного и выходного сигнала использовался цифровой осциллограф обеспечивающий частоту сбора данных равную частоте дискретизации входного сигнала.

Полученные в результате эксперимента векторы значений входного и выходного сигналов при расчете K_{xy} и K_x , следует рассматривать как стационарные случайные функции [8]. Подстановка результатов расчета K_{xy}, K_x в (6) позволяет определить вектор значений импульсной переходной функции. На «рис.2» приведено решение этого матричного уравнения.

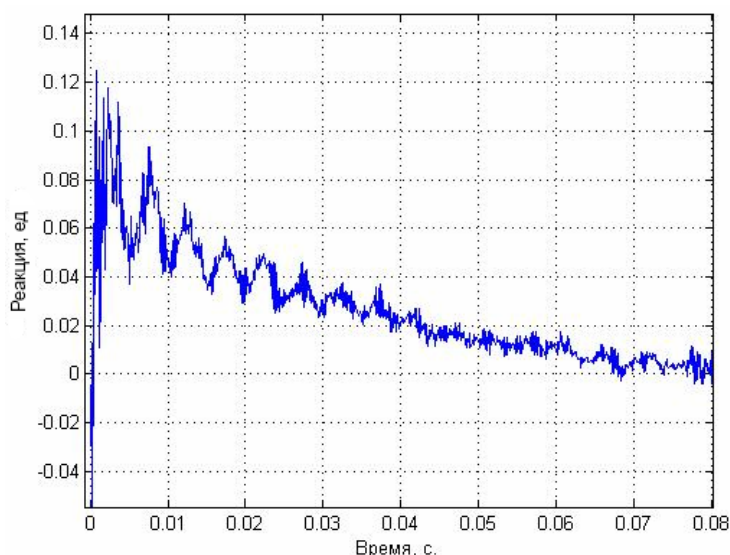


Рис. 2. – Решение корреляционным методом

Полученная импульсная переходная характеристика $h(t)$ имеет колебательный характер переходного процесса. Частота затухающих

колебаний близка к 200 Гц. Для учета данной особенности в структурной схеме блок ДМ следует представить, как сумму апериодического и колебательного звена [9]. Вид скорректированной структурной схемы представлен на «рис.3».

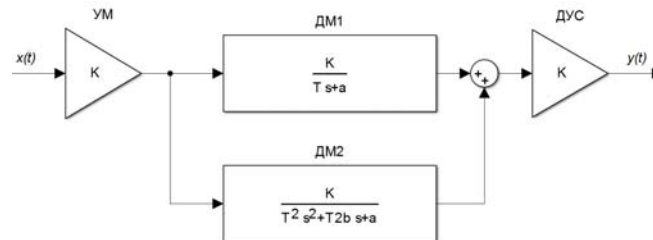


Рис. 3. – Скорректированная структурная схема системы

Также необходимо обратить внимание на резонанс с частотой 5кГц наложенный на затухающие колебания, который может быть вызван вычислительной неустойчивостью. Для получения более гладкого решения заменим выражение (6) на близкое ему [10]:

$$x = (A + \alpha E)^{-1} * b \quad (7)$$

Здесь α - числовой параметр, E – единичный оператор. Результат решения уравнения (7) показан на «рис.4».

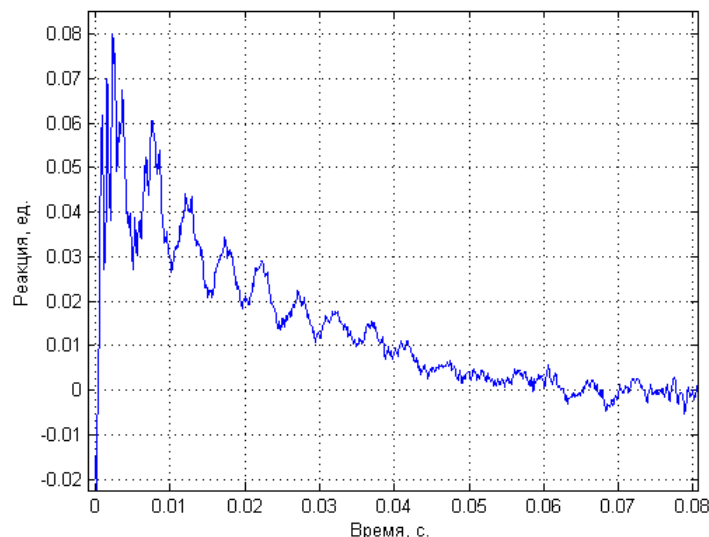


Рис. 4. – Приближенное решение

Полученное решение показало, что структура исследуемой системы не обладает таким резонансом. Поскольку в приближенном решении постоянная

времени аperiodической составляющей стала меньше, в дальнейшем будем рассматривать результаты решения (6) пренебрегая резонансом 5кГц.

Для верификации полученной переходной характеристики исследуемая система была проверена δ -подобным импульсом. На рисунке 5 показаны: результаты расчета корреляционным методом, отклик на δ -подобный импульс, а также результаты имитационного моделирования в среде Simulink, системы полученной при параметрической идентификации на основании полученных ранее результатов. Для проведения сравнительного анализа все результаты приведены к одному масштабу и смещены друг относительно друга.

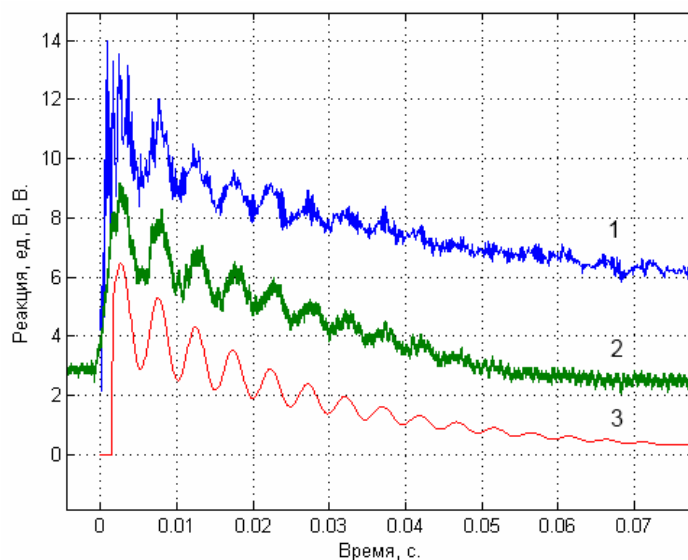


Рис. 5. – Переходные характеристики: результат расчета корреляционным методом – кривая 1, отклик на воздействие короткого импульса – кривая 2, результат имитационного моделирования – кривая 3

Из «рис.5» видно, что все переходные характеристики имеют примерно одинаковые постоянные времени $\tau_1 = 0.013$ с, $\tau_2 = 0.0126$ с, $\tau_3 = 0.0131$ с, аperiodической составляющей, отличающиеся не более чем на 5%. Собственная частота 200Гц, выявленная при расчете корреляционным методом присутствует и на кривой отклика, вызванного коротким импульсом.

Выводы

В данном примере, полученная информация и скорректированная имитационная модель, позволяют выработать ряд мероприятий по исключению нежелательных резонансных явлений и при необходимости оптимизировать скорость отработки системы стабилизации.

Для более глубокого анализа систем, кроме линейных слагаемых ряда Вольтерра-Винера, необходимо определять квадратурные слагаемые.

Литература

1. Маршаков Д.В., Цветкова О.Л., Айдинян А.Р. Нейросетевая идентификация динамики манипулятора // Инженерный вестник Дона, 2011, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/504.
 2. Браганец С.А., Гольцов А.С., Савчиц А.В. Идентификация математической модели главного золотника для системы диагностики и адаптивного управления открытием направляющего аппарата // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1906.
 3. Гельфанд И.М., Шилов Г.Е. Обобщенные функции и действия над ними. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. С. 13-18.
 4. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния. - М: Мир, 1975. С. 479-483.
 5. Таран В.Н., Сухомлинов А.Н. Идентификация системных функций. Задача о "черном ящике" // Труды РГУПС - 2016, №2(35). С. 67-71.
 6. G.D. Mitsis, The Volterra-Wiener approach in neuronal modeling // 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS. Boston, Massachusetts USA, 2011. pp 5912–5915.
 7. P.Z. Marmarelis, K.-I. Naka, White-noise analysis of a neuron chain: An application of the wiener theory // Science, vol.175, №4027, 1972. pp. 1276–1278.
 8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука. 1969. С. 419-427.
-



9. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Спб.: Профессия, 2003. С 91-95.

10. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука. 1979. 49 с.

References

1. Marshakov D.V., Cvetkova O.L., Ajdinjan A.R. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/504

2. Braganec S.A., Gol'cov A.S., Savchic A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1906

3. Gel'fand I.M., SHilov G.E. Obobshchennye funkicii i dejstvija nad nimi [Generalized functions and operation on them]. M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 1959. pp. 13-18.

4. Jejkhoff P. Osnovy identifikacii sistem upravlenija. Ocenivanie parametrov i sostojanija. [Systems identification. Parameter and state estimation]. M.: Mir, 1975. pp. 479-483.

5. Taran V.N., Suhomlinov A.N. Trudy RGUPS, 2016, №2 (35). pp. 67-71.

6. G.D. Mitsis, 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS. Boston, Massachusetts USA, 2011. pp 5912-5915.

7. P.Z. Marmarelis, K.-I. Naka, Science, vol.175, №4027, 1972. pp. 1276-1278.

8. Ventcel' E.S. Teorija veroyatnostej [Theory of chance]. M.: Nauka. 1969. pp. 419-427.

9. Besekerskij V.A., Popov E.P. Teorija sistem avtomaticheskogo upravlenija [Theory of automatic control systems]. Spb.: Professija, 2003. pp. 91-95

10. Tihonov A.N., Arsenin V.YA. Metody reshenija nekorrektnyh zadach [Methods for solving ill-posed problems]. M.: Nauka. 1979. 49 p.