

УДК 62.519

Д.Л. Сингх, студент гр. ВВ-71мп, к.т.н., доц. Шведова В.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАТРОННОГО АЭРОМАЯТНИКА

Анотация. Предложен методическое обеспечение тренажера для измерения динамических характеристик мехатронного аэромаятника, которое предполагает исследование его динамических и статистических параметров.

Ключевые слова: динамические характеристики, дифференциальное уравнение, статические характеристики, аэромаятник, учебный тренажер, дистанционное управление.

ВСТУП

В настоящий момент использование тренажеров в учебном процессе позволяет повысить эффективность учебного процесса, за счет предварительной отработки навыков работы с системами управления.

Их эффективное применение в учебном процессе значительно уменьшает число ошибок, сокращает время на обучение, позволяет более адекватно оценить уровень полученных знаний и полученных навыков, увеличивает скорость манипуляций и индивидуализирует обучение [1]. Востребованность в тренажерах появилась из-за достаточно высокой стоимости оборудования, их недостаточным количеством, затратами на использование и сложности в эксплуатации реального оборудования.

ОСМОТР ПРЕДЫДУЩИХ РАБОТ

Основой для построения тренажера для измерения динамических характеристик мехатронного аэромаятника есть макет, созданный Университетом Аризоны и описан в статье *Mechatronic Aeropendulum: Demonstration of Linear and Nonlinear Feedback Control Principles With MATLAB/Simulink Real-Time Windows Target* [2].

Установка состоит из маленького электронного двигателя, подсоединенного к одному концу стержня. Двигатель вращает 2 пропеллера и приводит к раскачиванию стержень. Угловое положение измеряется потенциометром, прикрепленном к пилот-точке. Специально разработанная монтажная плата создает управляемый по напряжению входной сигнал, идущий к двигателю. Целевая плата находится под напряжением и связана с персональным компьютером через USB-порт с использованием виртуального RS-232 интерфейса. Простой модуль Matlab/Simulink создан для считывания угла поворота маятника и подачи сигнала управления на двигатель. Модуль основан на программном обеспечении Real-Time Windows Target, который позволяет получать выборку с частотой до 200 Гц.

Таким образом в функционировании установки важную роль выполняют следующие компоненты:[2]

- Персональный компьютер
- Программный продукт Matlab/Simulink Real-Time Windows Target
- Виртуальный RS-232 интерфейс

- Пластиковый стенд
- Монтажная плата (с микроконтроллером)
- Двигатель
- Двулопастный пропеллер
- Углеродный стержень
- Потенциометр

Целью предлагаемого тренажера является создание методического и программного обеспечения для использования макета аэромаятника для обеспечения изучения базовых понятий систем управления и метрологического обеспечения по специализации «Метрология и измерительная техника».

Целью работы с макетом является получение опыта нахождения статических и динамических параметров динамической системы путем проведения экспериментальных исследований и применения аналитических преобразований. При выполнении работы студенты обучаются находить статические параметры системы (коэффициент передачи, зона нечувствительности) и динамические характеристики, а также их параметра (передаточную функцию, коэффициент демпфирования, собственную частоту системы, время установления).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методическое обеспечение тренажера предполагает следующие исследования:

Исследование устойчивого состояния маятника.

Нелинейная динамическая модель маятника представляется выражением [3]:

$$mL^2 \ddot{\theta} = -mgL \sin \theta - c \dot{\theta} + TL, \quad (1.1)$$

где θ - угол поворота стержня, $\dot{\theta}$ - первая производная от угла поворота стержня, $\ddot{\theta}$ - вторая производная от угла поворота стержня, mg - вес двигателя, L - длина маятника, c - коэффициент трения, T - сила тяжести маятника.

Результирующая сила тяги по модели является линейной функцией от прилагаемого напряжения u :

$$T = Ku, \quad (1.2)$$

Результирующая модифицированная модель имеет вид:

$$mL^2 \ddot{\theta}(t) = -mgL \sin \theta(t) - c \dot{\theta}(t) + KLu(t), \quad (1.3)$$

Для исследования устойчивого положения состояния маятника необходимо задаться некоторым постоянным воздействием на систему $u_{ss} = const$ и постоянным значением угла отклонения стержня $\theta_{ss} = const$ и найти выражение для статического режима работы маятника.

2. Исследование параметров статической модели маятника

Статическая модель, полученная в предыдущем исследовании, связывает два параметра: напряжение, подаваемое на двигатель (управляющее воздействие) и угол отклонения аэромаятника (результатирующая величина на выходе системы).

Для проведения исследования параметров статической модели нужно последовательно задавать входные значения желаемого угла и снимать с графика значения напряжения, подаваемого на двигатель, а также угол отклонения стержня маятника с графика макета.

При этом нужно учитывать следующие особенности:

Статическая функция аэромаятника имеет зону нечувствительности.

В виду наличия переходных процессов результат снимается с графика по истечению 60 сек.

В связи с этим рекомендуется экспериментальным путем найти предельное значение зоны нечувствительности. Для этого нужно изменять значение входного угла от 0 до некоторого значения с малым шагом до тех пор, пока появятся видимые изменения поведения маятника.

После этого необходимо исследовать весь диапазон возможных значений задаваемого угла (от 0 до 90) с шагом 5 градусов и заполнить таблицу вида:

Таблица 1.

Задаваемый угол (задается в программной модели Matlab Simulink)	Управляющее воздействие (PWM Pulse), в битах		Выходная величина объекта управления (Pendulum I/O) – угол, в градусах	sin выходной величины
	в битах	В Вольтах		
5				
10				
15				
...				
85				
90				

Примечание: Для расчета $\sin \theta$ необходимо учитывать, что угол результирующего отклонения отображается в градусах, поэтому при расчете $\sin \theta$ с использованием различных программных пакетов может возникнуть необходимость перехода в радианы.

Такой переход осуществляется следующим образом:

$$\theta[\text{rad}] = \theta[^\circ] \frac{\pi}{180^\circ},$$

где $\theta[^\circ]$ - выходная величина объекта управления в градусах;

$\theta[\text{rad}]$ - выходная величина объекта управления в радианах.

Управляющее воздействие (PWM Pulse) отображается в битах. Максимальное значение управляющего воздействия, получаемое макетом 127 бит, а минимальное – 127 бит. Учитывая тот факт, что целевая плата позволяет

генерировать напряжение в диапазоне от 5В до -5 В, то управляющее воздействие в Вольтах рассчитывается:

$$u[bit] = u[V] \frac{5}{127}.$$

3. Исследование параметров переходной характеристики аэромаятника в динамическом режиме

Необходимо выразить собственную частоту колебаний маятника ω_n^2 и коэффициент демпфирования ζ .

$$\omega_n^2 = \frac{K}{mL} \quad \text{и} \quad 2\zeta\omega_n = \frac{c}{mL^2}.$$

Для нахождения частоты собственных колебаний нужно установить задаваемый угол на уровне 90 градусов и зафиксировать изменение результирующего угла с помощью макета и программы **AeropendulumSOFT.mdl**. [4]

ВЫВОДЫ

Разработанное методическое обеспечение позволяет использовать недорогую экспериментальную установку для решения учебных задач в рамках дисциплин системы автоматического управления и метрологическое обеспечение средств измерительной техники специализации «Метрология и измерительная техника»

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интерактивные тренажеры и их значение в учебном процессе . — Режим доступа: <https://novainfo.ru/article/4403> — 10.02.2016
2. Advanced Micro and Nano Systems Laboratory, Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Arizona . — Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/260587270>
3. Eniko T. Enikov, Member IEEE, and Giampiero Campa, Member, IEEE/ Mechatronic Aeropendulum: Demonstration of Linear and Nonlinear Feedback Control Principles With MATLAB/Simulink Real-Time Windows Target
4. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления. 2016 г.

Науч. руководитель – к.т.н., доц. Шведова В.В.