



И.А. Прошин, С.В. Селезнева, В.В. Бурков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ВИБРОСТЕНДА

(ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия»)

Основа исследования и проектирования систем управления электродинамическими вибростендами (ЭДВС), предназначенными для испытания различных элементов конструкций – математическое моделирование их динамики. При использовании двух каналов управления с непосредственными преобразователями электроэнергии (НПЭ) электродинамический вибростенд описывается моделью, включающей в себя дифференциальные уравнения Кирхгофа для обмоток возбуждения длиной l и подмагничивания с активными сопротивлениями R_B , R_{II} и индуктивностями L_B, L_{II} , на которые поданы управляемые от НПЭ с помощью переключающих функций $H_B^2 t$ и $H_{II}^2 t$ напряжения возбуждения U_B и подмагничивания U_{II} , изменяющиеся во времени t , выражения для зависимостей силы F от тока возбуждения I_B и магнитной индукции B от тока подмагничивания I_{II} .

Дифференциальные уравнения механической части (рис. 1) описывают трёхмассовую систему с коэффициентами жёсткости c_1, c_2, c_3 и демпфирования h_1, h_2, h_3 , составленные на основе уравнений Лагранжа с перемещениями x_1, x_2, x_3 , скоростями v_1, v_2, v_3 для масс катушки m_1 , стола m_2 , испытываемого объекта m_3 [1].

$$\begin{aligned} \frac{dI_B}{dt} &= \left[U_m \sin \omega_1 t - H_B^2 t - R_B \cdot I_B - B \cdot l \cdot v_1 \right] / L_B; \\ \frac{dI_{II}}{dt} &= \left[U_m \sin \omega_1 t - H_{II}^2 t - R_{II} \cdot I_{II} \right] / L_{II}; \\ F &= B \cdot l \cdot I_B; \quad B = \psi I_{II}; \\ \frac{dv_1}{dt} &= \left[F + h_1 \cdot v_2 - v_1 + c_1 \cdot x_2 - x_1 \right] / m_1; \quad \frac{dx_1}{dt} = v_1; \\ \frac{dv_2}{dt} &= \left[h_1 \cdot v_1 + c_1 \cdot x_1 + h_3 \cdot v_3 + c_3 \cdot x_3 - \right. \\ &\quad \left. - h_1 + h_2 + h_3 \cdot v_2 - c_1 + c_2 + c_3 \cdot x_2 \right] / m_2; \quad \frac{dx_2}{dt} = v_2; \\ \frac{dv_3}{dt} &= \frac{1}{m_3} \left[h_3 \cdot v_2 - v_3 + c_3 \cdot x_2 - x_3 \right]; \quad \frac{dx_3}{dt} = v_3 \end{aligned}$$

Составленная система уравнений описывает динамические процессы ЭДВС и может быть использована при моделировании, как статики, так и динамики систем управления виброиспытаниями. При этом математическая модель ЭДВС оказывается нелинейной, что усложняет исследование.

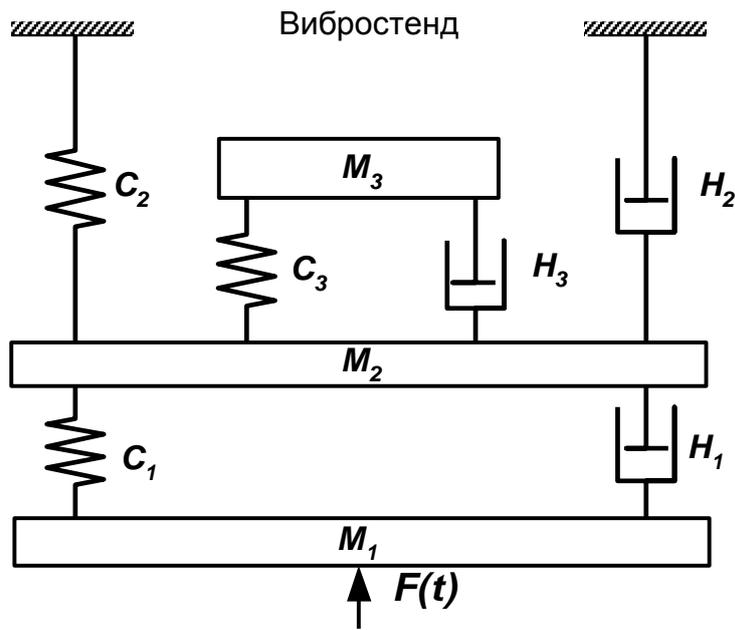


Рис. 1. Механическая часть электродинамического вибростенда

Уравнение состояния механической части ЭДВС представим в матричной форме [2]:

$$\begin{bmatrix} v_1' \\ v_2' \\ v_3' \\ v_4' \\ v_5' \\ v_6' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{h_1}{m_1} & -\frac{c_1}{m_1} & \frac{h_1}{m_1} & \frac{c_1}{m_1} & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{h_1}{m_2} & \frac{c_1}{m_2} & -\frac{h_1+h_2+h_3}{m_2} & -\frac{c_1+c_2+c_3}{m_2} & \frac{h_3}{m_2} & \frac{c_3}{m_2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{h_3}{m_3} & \frac{c_3}{m_3} & -\frac{h_3}{m_3} & -\frac{c_3}{m_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{m_1} \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot F$$

При испытании электронных блоков, датчиков и других объектов, разработке и исследовании систем управления ЭДВС наряду с информацией о перемещении и скорости испытуемого объекта необходима информация об его ускорении. Поэтому в качестве выходных координат в уравнении выхода примем ускорение x_1 , скорости x_2 и перемещения испытуемого объекта x_3

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{h_3}{m_3} & \frac{c_3}{m_3} & -\frac{h_3}{m_3} & -\frac{c_3}{m_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \end{bmatrix}$$

Разработанная модель механической части ЭДВС является основой для



математического моделирования как режимов испытаний и характеристик вибростенда, так и для анализа и синтеза систем управления с обратными связями по ускорению, силе, произведению силы на ускорение.

Литература

1. Прошина Р.Д. Интегрированный комплекс компьютерно-имитационного моделирования систем управления в виртуально-физической среде: автореф. дис. канд. тех. наук. – Пенза, 2011. – 26 с.

2. Прошина Р.Д. Математическое моделирование технических систем в нормальной форме пространства состояний. // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук, 2011. – №1. – с. 613 – 616