



А.П. Корнеев
Белорусско-Российский университет

**ПРИМЕНЕНИЕ MATLAB ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Представлены передаточные функции для системы с распределенными параметрами. Выявлены сложности для моделирования систем с распределенными параметрами в общем виде. Указан способ аппроксимации систем с распределенными параметрами для решения этой проблемы. Представлены модели в среде MATLAB, позволяющие выполнить математическое моделирование электромеханической системы с распределенными параметрами.

Математическое моделирование, система с распределенными параметрами, аппроксимация, MATLAB.

Многочисленные объекты различных областей техники представляют собой системы с распределенными параметрами. К ним относятся длинные линии электропередач, трубопроводы для перекачки воды и нефти, объекты, включающие длинные стержни, например: в бурении – колонна труб, в глубинно-насосных установках – штанга, в грузоподъемных механизмах – трос и канат, и т.д. [1].

Упругие деформации звеньев механических передач являются одним из факторов, препятствующих повышению эффективности управления электромеханическими объектами управления [2].

Увеличение быстродействия современных машин при одновременном возрастании пространственных размеров, повышение требований к точности перемещений, появление принципиально новых конструкций определяет условия, при которых невозможно создание высококачественных систем управления машин и механизмов без учета свойств механической части электропривода. Многие установки являются нестационарными электромеханическими системами с распределенными параметрами [3].

Передаточная функция движущего усилия к скорости перемещения, для любого сечения известна:

$$W(x,p) = \frac{ch(\tilde{p} \cdot \tilde{x}) \cdot sh(\tilde{p})}{2 \cdot a \cdot (sh^2(\tilde{p}) + \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \tilde{p}^2 \cdot [ch^2(\tilde{p}) - ch^2(\tilde{p} \cdot \tilde{x})] + (\mu_1 + \mu_2) \cdot \tilde{p} \cdot sh(\tilde{p}) \cdot ch(\tilde{p}))}, \quad (1)$$

где x – текущее расстояние между центром массы 1 и грузом, m ; L – расстояние между центрами масс, m ; $\tilde{x} = 1 - \frac{x}{L}$ – относительная координата выходной точки; $\mu_i = M_i/M_k$ – i -ая относительная масса; a – скорость волны распространения колебаний, m/c , $\tilde{p} = p \frac{L}{a}$ – нормированный оператор Лапласа.

Передаточная функция движущего усилия к скорости вала двигателя:

$$W_i(x,p) = \frac{ch(\tilde{p} \cdot \tilde{x}) \cdot sh(\tilde{p}) + \mu_2 \cdot \tilde{p} \cdot (ch^2(\tilde{p}) - ch^2(\tilde{p} \cdot \tilde{x}))}{2 \cdot a \cdot (sh^2(\tilde{p}) + \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \tilde{p}^2 \cdot [ch^2(\tilde{p}) - ch^2(\tilde{p} \cdot \tilde{x})] + (\mu_1 + \mu_2) \cdot \tilde{p} \cdot sh(\tilde{p}) \cdot ch(\tilde{p}))}. \quad (2)$$

Основными характеристиками линейных распределенных колебательных систем являются собственные частоты (собственные значения) и собственные формы (собственные функции). Знание собственных частот необходимо для исследования устойчивости состояния равновесия системы.

Моделирование систем с распределенными параметрами (СРП) в общем виде во временной области затруднительно, так как передаточная функция СРП содержит гиперболические функции, а существующие математические программы используют численный расчет. Но при работе установок постоянно меняются собственные резонансные частоты. Вследствие этого, необходимо не только постоянно рассчитывать резонансные частоты, но и выполнять другие вспомогательные вычисления в зависимости от метода аппроксимации, например вычеты. Расчет на каждом шаге моделирования приведет к резкому увеличению мощности ПК при увеличении времени моделирования [4].

Для решения этой проблемы разработан способ аппроксимации СРП при разложении на произведения $(p^2 + \omega^2)$, подробно описанный в [5]. При такой аппроксимации не требуются дополнительные вспомогательные вычисления, что значительно упрощает и ускоряет процесс моделирования СРП. Для еще большего упрощения и ускорения процесса моделирования СРП использован способ замены непосредственных вычислений резонансных частот интерполяцией значений, рассчитанных в некоторых промежуточных точках. Метод интерполяции сплайном. Данный метод является достаточно простым и точным для инженерных расчетов.

Для выполнения этих вычислений разработаны модели вычислителя резонансных частот. Теоретическое обоснование в [6]. Модель вычислителя представлена на рисунке 1.

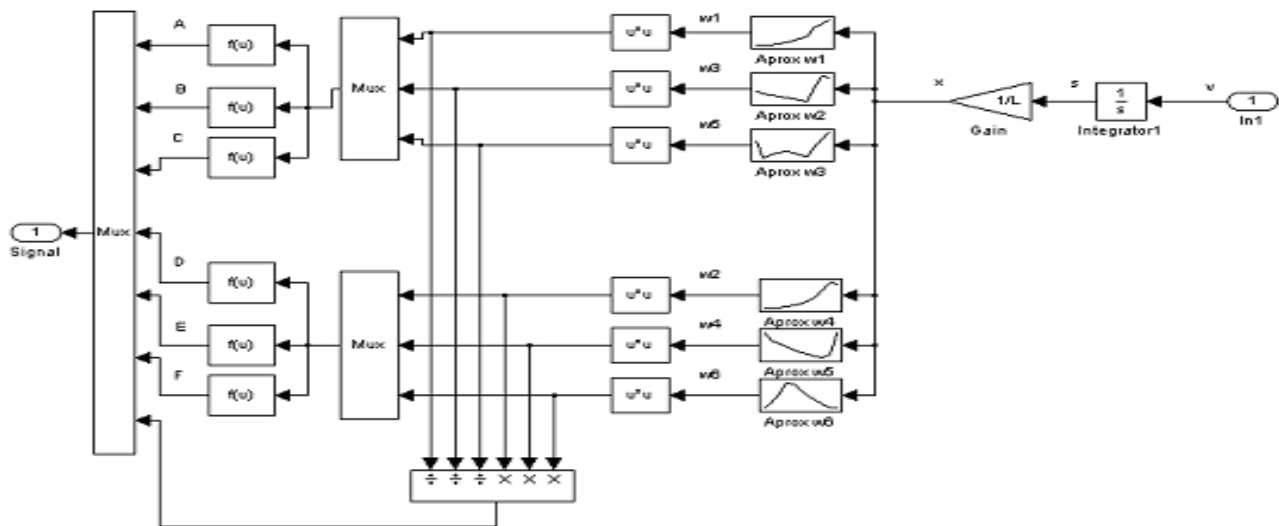


Рис. 1. Модель вычислителя резонансных частот

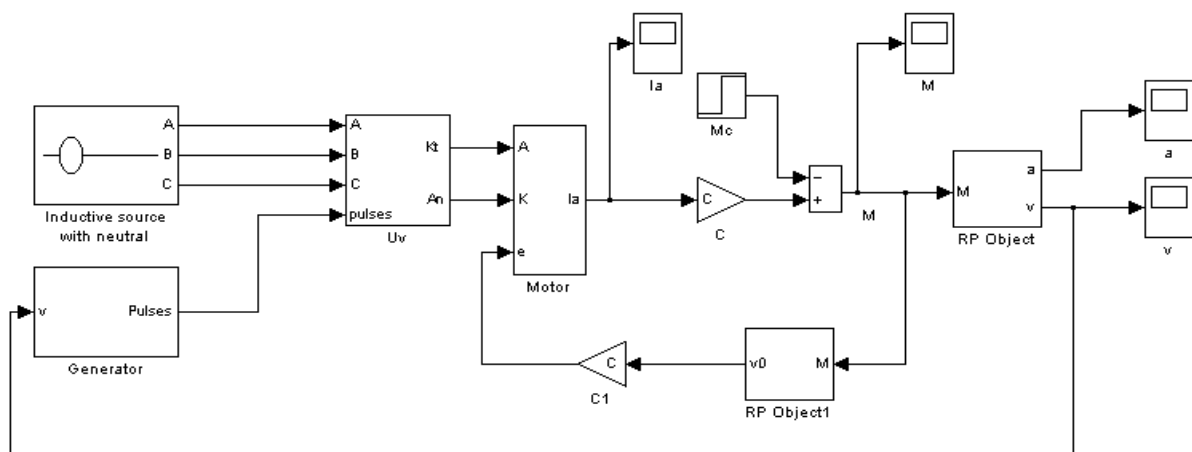


Рис. 2. Модель системы с распределенными параметрами

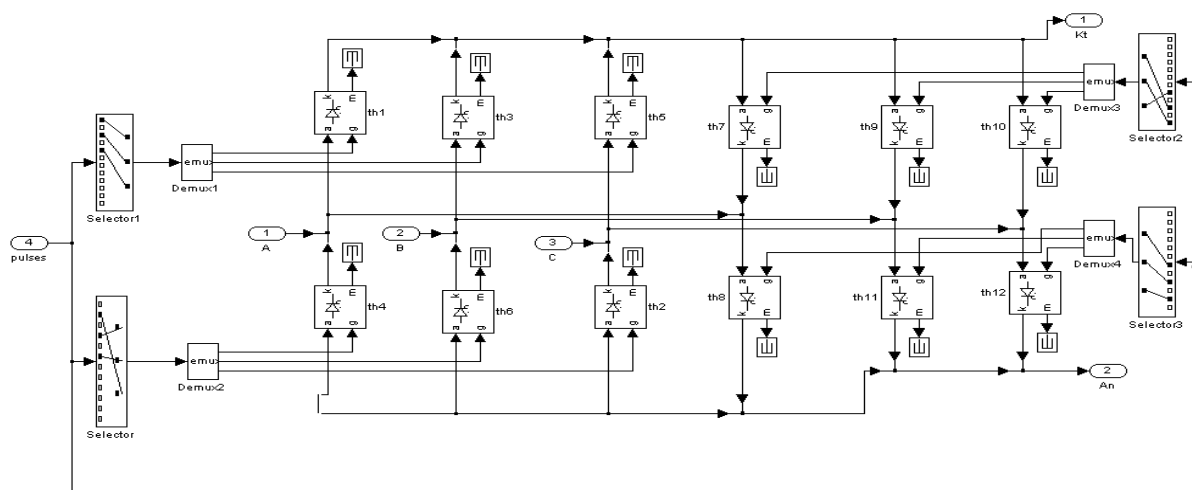


Рис. 3. Модель тиристорного преобразователя

Для учета изменения парциальных параметров необходимо изменить коэффициенты в блоках Aprox w1 – Aprox w6. Разработанная математическая модель электромеханической системы с распределенными параметрами представлена на рисунке 2. Математическая модель построена в MATLAB/Simulink с применением элементов библиотеки Power System Blockset.

Полученная модель может применяться для расчета и исследования как частотных, так и энергетических характеристик.

На рисунке 3 представлена модель тиристорного преобразователя, реализованная при помощи моделей тиристоров для получения данных о мгновенных значениях напряжения и тока для каждого тиристора и всего преобразователя.

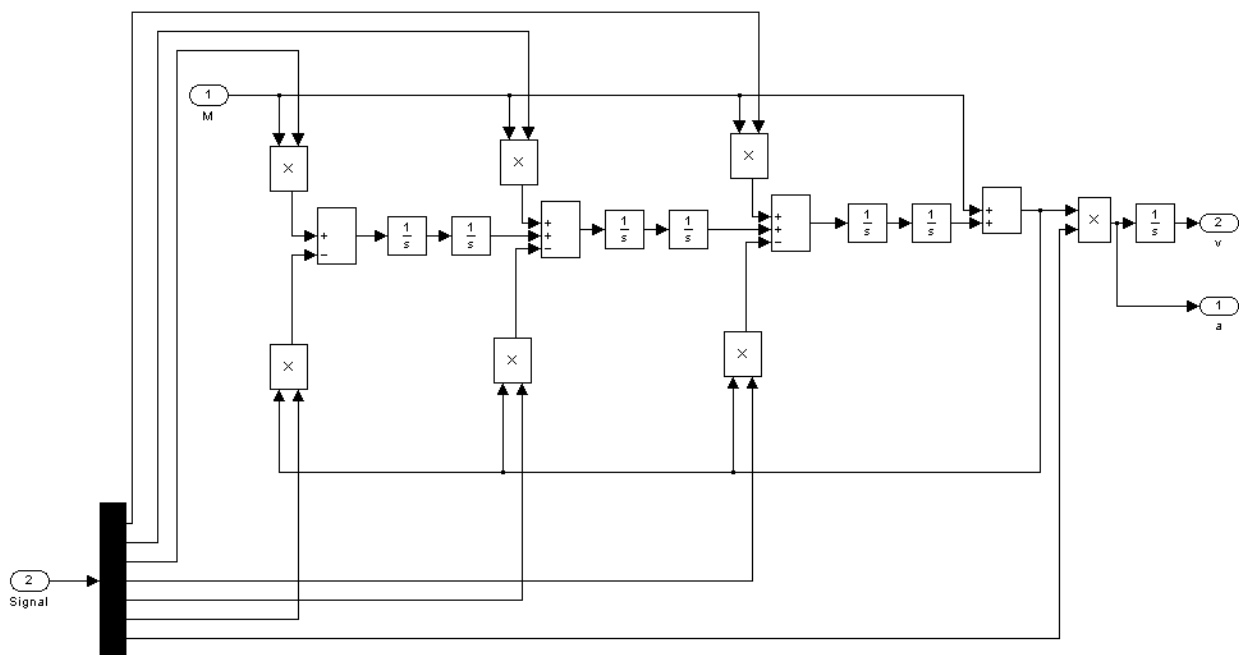


Рис. 4. Модель вычисления скорости от усилия на валу двигателя

Расчет скорости объекта на валу двигателя описывается уравнениями (1) и (2). Для этого создана модель, представленная на рисунке 4.

В пакетах MATLAB/Simulink и Power System Blockset разработаны модели для математического моделирования ЭМС СРП.

Литература

1. Рассудов, Л. Н. Электроприводы с распределенными параметрами электромеханических элементов / Л. Н. Рассудов, В. Н. Мядзель – Ленинград : Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1987. – 144 с.
2. Бутковский, А. Г. Методы управления системами с распределенными параметрами / А. Г. Бутковский. – Москва : Наука, 1975. – 230 с.
3. Кузовков, Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н. Т. Кузовков. – Москва : Машиностроение, 1976. – 184 с.

4. Корнеев, А. П. Применение пакета MATLAB для исследования частотных характеристик в объектах с распределенными параметрами / А. П. Корнеев, Г. С. Ленецкий // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2005. – № 3. – С. 55–59.

5. Корнеев, А. П. Новый способ аппроксимации механической части нестационарной электромеханической системы с распределенными параметрами / А. П. Корнеев // Наука настоящего и будущего : сборник материалов конференции V научно-практической конференции с международным участием (Санкт-Петербург, 17–18 марта 2017 г.) // СПбГЭТУ ЛЭТИ. – Санкт-Петербург, 2017. – С. 168–170.

6. Толочко, О. І. Анализ та синтез електромеханічних систем зі спостерігачами стану / Толочко О. І. – Донецк : Норд-Пресс, 2004. – 298 с.

A.P. Korneev
Belarus-Russian University

MATLAB APPLICATION FOR MATHEMATICAL MODELING OF AN ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

Transfer functions for a distributed parameter system are presented. Difficulties for modeling systems with distributed parameters in general are indicated. A method for approximating systems with distributed parameters for solving this problem is indicated. Models in MATLAB environment, which allow performing mathematical modeling of an electromechanical system with distributed parameters, are presented.

Mathematical modeling, distributed parameter system, approximation, MATLAB.