

А.П. Корнеев, В.Н. Абабурко  
(г. Могилев, Белорусско-Российский университет)  
A.P. Korneev, V.N. Ababurko (Mogilev, Belarusian-Russian University)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ С УЧЕТОМ ДИССИПАЦИИ**

### **MODELING IN SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS TAKING INTO ACCOUNT DISSIPATION**

*Представлен способ моделирования систем с распределенными параметрами с учетом диссипации. Для моделирования использован способ замены непосредственных вычислений резонансных частот интерполяцией значений. Разработаны модели в MATLAB в Simulink. Получены и проведено сравнение ЛАЧХ и временной характеристики, полученной в моделях без учета диссипации и с учетом диссипации при резонансной частоте.*

*A method for modeling systems with distributed parameters, taking into account dissipation, is presented. For the modeling, we used the method of replacing the direct calculations of resonant frequencies by interpolating the values. Models are developed in MATLAB in Simulink. LAFC was obtained and compared with the time characteristic obtained in models without dissipation and taking into account dissipation at a resonant frequency.*

*Ключевые слова: моделирование, системы с распределенными параметрами, резонанс, аппроксимация, гиперболическая тригонометрическая функции.*

*Keywords: modeling, systems with distributed parameters, resonance, approximation, hyperbolic trigonometric function.*

Многочисленные объекты различных областей техники представляют собой системы с распределенными параметрами (СПП). К ним относятся длинные линии электропередач, трубопроводы для перекачки воды и нефти, объекты, включающие длинные стержни (как, например, в бурении — колонна труб, в глубинно-насосных установках — штанга, в подъемных механизмах — трос и канат) и т. д. Недостаточно точное математическое описание такого оборудования приводит к большим погрешностям при анализе и синтезе систем управления, к уменьшению точности их работы, а в наиболее неблагоприятных случаях — к потере устойчивости электропривода и возникновению незатухающих колебаний, а в наиболее неблагоприятных случаях к разрушению установки [1, 2].

Растущие требования к точности и быстродействию систем автоматизированного электропривода (АЭП) обуславливают необходимость более полного учёта всей совокупности свойств, в первую очередь, конечной

жёсткости её кинематических звеньев, что приводит к необходимости рассмотрения механической части электропривода как СРП [2].

Увеличение быстродействия современных машин при одновременном возрастании пространственных размеров, повышение требований к степени точности перемещений, появление принципиально новых конструкций определяет условия, при которых невозможно создание высококачественных систем управления машин и механизмов без учета их реальных механических свойств [1].

Для решения этой проблемы разработан способ аппроксимации СРП при разложении на произведения  $(p^2 + \omega^2)$  [3]. При определении передаточной функции методом функциональных преобразований знаменатель передаточной функции дискретного преобразования получается в виде разложения по  $p^2 + \omega_k^2$ ,  $\omega_k$  – собственная частота, которое потом приводится к гиперболическим функциям.

Моделирование СРП в общем виде во временной области затруднительно, так как передаточная функция СРП содержат гиперболические функции, а существующие математические программы используют численный расчет. Эта проблема решается при аппроксимации передаточной функции любым известным способом. Но при работе постоянно меняются собственные резонансные частоты. Вследствие этого, необходимо постоянно рассчитывать не только резонансные частоты, но 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].

При такой аппроксимации не требуются дополнительные вспомогательные вычисления, что значительно упрощает и ускоряет процесс моделирования СРП. Для еще большего упрощения и ускорения процесс 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.

В связи с тем, что в электроприводе гашение механических колебаний объекта регулирования осуществляется в основном электрической частью системы, СРП можно рассматривать как звено без затухания. Для учета затухания колебаний в объекте с РП необходимо видоизменить вид функции с  $(p^2 + \omega^2)$  на  $(p^2 + \mu p \omega + \omega^2)$ , однако определение коэффициентов затухания колебаний  $\mu$  для каждой собственной частоты СРП затруднителен.

Математические модели механической части СРП получены в среде MATLAB/Simulink [5]. Результаты их аппроксимации и моделирования представлены ниже.

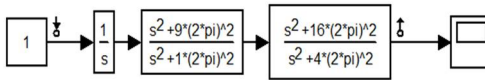


Рис.1. Модель аппроксимированной СРП в виде произведения  $p^2 + \omega^2$  в среде MATLAB/Simulink для построения ЛАЧХ

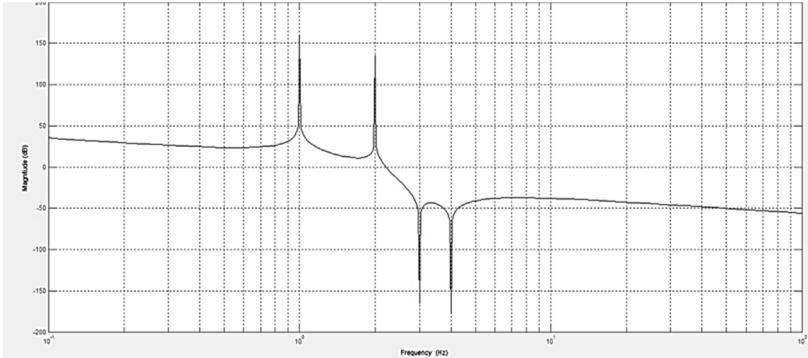


Рис.2. ЛАЧХ передаточной функции модели, представленной на рис.1

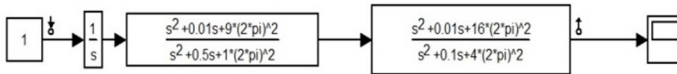


Рис.3. Модель аппроксимированной СРП в виде произведения  $p^2 + \mu\omega + \omega^2$  в среде MATLAB/Simulink для построения ЛАЧХ

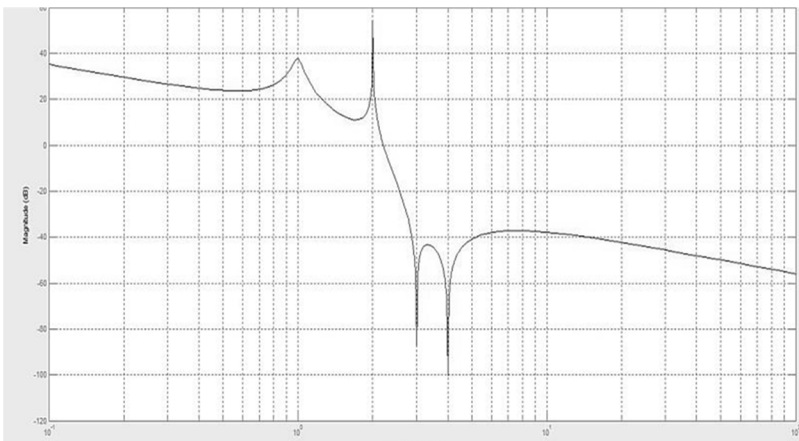


Рис.4. ЛАЧХ передаточной функции модели, представленной на рис.3

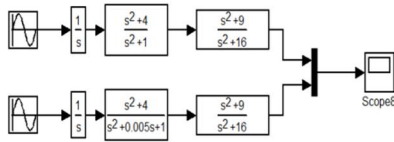


Рис.5. Модель без учета диссипации и с учетом диссипации для сравнения временных характеристик

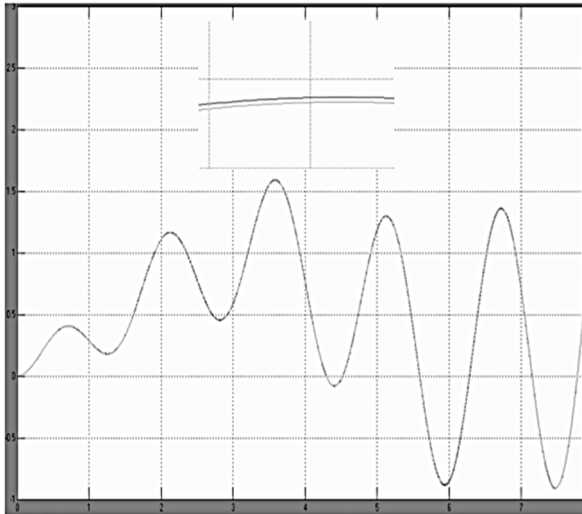


Рис.6. Временная характеристика, полученный в моделях без учета диссипации и с учетом диссипации при резонансной частоте

### Список литературы

1. Киселев, Н.В. Электроприводы с распределенными параметрами/ Н.В. Киселев, В.Н. Мядель, Л.Н. Рассудов. – Л.: Судостроение, 1985. – 220 с.
2. Рассудов, Л.Н. Расчет электроприводов с распределенными параметрами с помощью цепных дробей / Л. Н. Рассудов, В. Н. Мядель // Системы управления технологическими процессами: Кн.– Новочеркасск, 1981.– С. 108-116.
3. Корнеев, А.П. Новый способ аппроксимации механической части нестационарной электромеханической системы с распределенными параметрами // Наука настоящего и будущего: сб. материалов V науч.-практ. конф. с междунар. участием (Санкт-Петербург, 17-18 марта 2017 г.). – Санкт-Петербург: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. – С. 168–170.
4. Программа «Расчет распределения резонансных частот при различном положении и различной массе груза» зарегистрирован в Национальном центре интеллектуальной собственности Республики Беларусь / А.П. Корнеев, Г.С. Ленеvский; заявка С20150095 от 02.10.2015, свидетельство № 827.
5. Корнеев, А.П. Применение пакета MATLAB для исследования частотных характеристик в объектах с распределенными параметрами/ А.П. Корнеев, Г.С. Ленеvский // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого.– 2005.– №3.– С. 55-59.

Материал поступил в редколлегию 06.10.19.