

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азизов Э.А., Тажибаева В.С. Казахский материаловедческий токамак КТМ и вопросы термоядерного синтеза. – Алматы, 2006. – 236 с.
2. Павлов В.М., Байструков К.И., Сьянов А.А. Программное обеспечение системы управления источниками питания обмоток магнитного поля установок типа ТОКАМАК // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2007. – № 7. – С. 15–19.
3. Немцев Г.А., Ефремов Л.Г. Энергетическая электроника. – М.: Пресс-сервис, 1994. – С. 85–87.
4. Беркович Е.И., Ковалев В.Н., Ковалев Ф.И. и др. Полупроводниковые выпрямители. – М.: Энергия, 1978. – 448 с., ил.

Поступила 30.03.2009 г.

УДК 681.5

ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ УЗЛОВ ИНТЕРПОЛИРОВАНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И СИНТЕЗА САУ ВЕЩЕСТВЕННЫМ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ

С.В. Замятин, Д.А. Плотников, А.С. Алексеев

Томский политехнический университет
E-mail: zamsv@tpu.ru, plotdm@gmail.com

Рассмотрены результаты работы алгоритмов автоматической настройки коэффициентов регулятора САУ на основе вещественного интерполяционного метода. Показано влияние положения узлов на основные показатели качества системы управления, получаемой в результате синтеза. Приведены оценки точности получаемых решений.

Ключевые слова:

Идентификация, автоматическая настройка, вещественный интерполяционный метод.

В современной теории управления одной из важных задач является задача управления объектом в условиях изменения его параметров. Данная задача характерна для всех реальных систем автоматического управления. Изменение параметров объекта может происходить по разным причинам: влияние внешних воздействий, старение оборудования, также это может являться особенностью объекта, как, например, изменение массы груза и длины тросов в подъемных механизмах.

В настоящее время существует два основных пути решения подобных задач. Первый путь – это поиск такого стационарного закона управления, который обеспечил бы функционирование системы или даже гарантировал некоторое качество ее работы при любых возможных изменениях параметров объекта. Такой подход называется робастным [1]. Его преимущества заключаются в простоте аппаратной реализации и, как следствие, надежности. Хотя поиск такого закона управления достаточно трудоемок. Недостатком данного подхода является то, что величина области изменения параметров объекта значительно зависит от требований, предъявляемых к качеству работы системы.

Второй путь, позволяющий решать подобные задачи – создание самонастраивающейся системы управления, закон управления которой изменяется в зависимости от изменения параметров объекта [2–4]. Основным преимуществом данного подхода является возможность обеспечить желаемое качество работы системы при значительных изменениях параметров объекта. Под желаемым качеством

здесь понимается функционирование системы с требуемыми прямыми показателями качества переходных процессов. Подобное свойство становится еще более важным, если речь идет о многоконтурных системах. В таком случае сохранение формы переходных процессов, а значит и математической модели, внутренних контуров позволяет использовать стационарные регуляторы внешних контуров.

Вещественный интерполяционный метод

Разработанные алгоритмы опираются на вещественный интерполяционный метод [1], включающий совокупность подходов, приемов и алгоритмов расчета и исследования динамических систем. Метод базируется на вещественном интегральном преобразовании, которое определено формулой прямого перехода

$$F(\delta) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-\delta t} dt, \quad \delta \in [C, \infty], \quad C \geq 0,$$

в которой функции-оригиналу $f(t)$ ставится в соответствие изображение $F(\delta)$

Соотношение имеет смысл прямого преобразования и получило название δ -преобразования.

Для выполнения математических преобразований вещественных функций с помощью вычислительной техники необходимо осуществить переход от непрерывных функций-изображений $F(\delta)$ к их дискретным аналогам. Дискретной формой вещественных функций-изображений является численная характеристика (ЧХ). Она определена как со-

вокупность значений функции $F(\delta)$ в узлах δ_i , $i=1,2,\dots,\eta$:

$$\{F(\delta)\}_\eta = \{F(\delta_1), \dots, F(\delta_\eta)\}.$$

Здесь параметр η определяет размерность ЧХ, то есть число ее элементов. Понятно, что при переходе к дискретной форме описания информация об описываемой системе сохраняется не полностью. Размерность ЧХ и расположение узлов δ обуславливает адекватность описания рассматриваемого объекта, что в свою очередь естественным образом влияет на качество получаемых результатов [2].

Понятие вещественных функций-изображений $F(\delta)$ распространяется на сигналы входа и выхода линейной динамической системы и уравнений «вход-выход». Если передаточная функция системы имеет вид рациональной дроби, а $x(t)$ и $y(t)$, соответственно, входной и выходной сигналы объекта управления, имеющие изображения $X(\delta)$ и $Y(\delta)$, то передаточная функция объекта примет вид

$$W(\delta) = \frac{Y(\delta)}{X(\delta)} = \frac{b_m \delta^m + b_{m-1} \delta^{m-1} + \dots + b_1 \delta + b_0}{a_n \delta^n + a_{n-1} \delta^{n-1} + \dots + a_1 \delta + 1}, \quad n \geq m.$$

Такая передаточная функция получила название вещественной передаточной функции.

Можно выделить следующие основные шаги работы алгоритма самонастройки САУ:

- на объект управления подается пробный входной сигнал и снимаются значения выходного;
- по полученным данным проводится идентификация объекта управления;
- задаются желаемая форма переходного процесса системы, по которой формируется ее передаточная функция;
- по имеющимся моделям желаемой системы и объекта управления вычисляется передаточная функция регулятора.

Далее проводится анализ корректности работы процедур идентификации и поиска настроек регулятора системы. За входные данные принимается массив значений переходного процесса объекта управления. В качестве оценок используются:

- максимальная абсолютная ошибка идентификации;
- максимальная абсолютная разность кривых переходных характеристик желаемой и полученной системы;
- перерегулирование синтезированной системы;
- время регулирования синтезированной системы в зависимости от расположения узлов интерполирования.

Результаты работы алгоритма идентификации

На рис. 1 представлен график переходной характеристики объекта, полученный экспериментальным путем, и его модели, полученный путем идентификации.

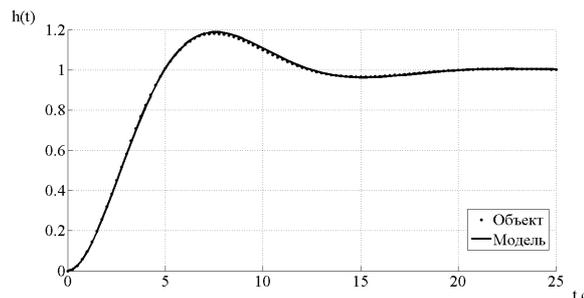


Рис. 1. Переходные характеристики объекта и его модели

В качестве экспериментальных данных были использованы 100 значений переходной характеристики звена с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{1}{p^3 + 4p^2 + 2p + 1}.$$

Вещественный интерполяционный метод позволяет решать задачу только параметрической идентификации. Структура объекта определяется заранее, что позволяет аппроксимировать передаточные функции звеньев высокого порядка передаточными функциями низких порядков.

Структура модели звена была выбрана в виде

$$W_m(p) = \frac{b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + 1}.$$

В результате идентификации получены следующие коэффициенты передаточной функции модели объекта

$$\begin{aligned} b_0 &= 0,9997, \\ a_2 &= 4,535, \\ a_1 &= 1,991. \end{aligned}$$

В соответствии с [1] точность идентификации зависит от выбора расположения узлов интерполирования δ_i , $i=1,2,\dots$. В качестве оценки адекватности найденной модели выберем максимальную абсолютную ошибку идентификации, которая вычисляется как максимум разности кривых переходных характеристик исходного объекта и его модели.

На рис. 2 представлен график зависимости максимальной абсолютной ошибки идентификации в области времени (ошибки идентификации) от расположения первого узла интерполирования при идентификации. Максимальная абсолютная ошибка вычисляется по формуле

$$\varepsilon(\delta) = \max(|h_o(t) - h_m(t)|) \Big|_{\delta_1 = \delta},$$

где $h_o(t)$ и $h_m(t)$ — мгновенное значение переходной характеристики рассматриваемого объекта и его модели, δ_1 — значение первого узла интерполирования, использованное при идентификации.

Как видно из рис. 2, при правильном выборе узла интерполирования ошибка идентификации может быть незначительной.

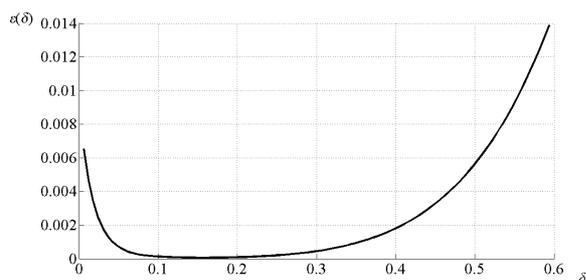


Рис. 2. Ошибка идентификации объекта

Результаты работы алгоритма синтеза

Под задачей синтеза регулятора будем понимать определение его передаточной функции, которая позволит сформировать заданные желаемые характеристики всей системы. При синтезе САУ вещественный интерполяционный метод позволяет определять коэффициенты регулятора только заранее заданной структуры. Поэтому решением задачи синтеза является набор коэффициентов регулятора, обеспечивающего требуемые параметры качества регулирования САУ. Исходными данными для нахождения регулятора являются:

- значения переходной характеристики объекта управления;
- требуемые величины показателей качества управления (время регулирования, установившееся значение, перерегулирование);
- порядок числителя и знаменателя искомого регулятора.

В результате идентификации была получена модель объекта управления с передаточной функцией

$$W_m(p) = \frac{1}{4,535p^2 + 1,991p + 1}.$$

Для желаемой переходной характеристики синтезируемой системы заданы следующие показатели качества регулирования:

$$t_{рег} = 2с, h_{уст} = 1, \sigma = 10\%.$$

Была выбрана следующая структура регулятора:

$$W_p(p) = \frac{k_4 p^2 + k_3 p + k_2}{k_1 p^2 + k_0 p + 1}.$$

Как описано в [1], правильность нахождения коэффициентов регулятора зависит от выбора расположения узлов интерполирования при решении задачи синтеза. Выбор узлов интерполирования производится итерационным способом. В случае, если показатели качества синтезированной системы не соответствуют заданным, происходит переопределение узлов интерполирования. Процедура продолжается до тех пор, пока не будет найдено решение с минимальной абсолютной ошибкой.

Для заданного объекта управления при наилучшем расположении узлов интерполирования по критерию абсолютной ошибки был получен регулятор с передаточной функцией

$$W_p(p) = \frac{49,185 p^2 + 65,23 p + 32,9}{0,188 p^2 + 6,255 p + 1}.$$

На рис. 3 представлены переходные процессы исходного объекта управления, эталонной модели и синтезированной системы.

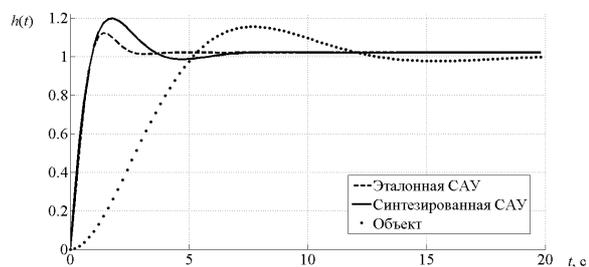


Рис. 3. Переходные процессы исходного объекта, эталонной модели и синтезированной системы

На рис. 4–6 показаны зависимости различных характеристик от ошибки δ . Значения характеристик при $\delta < 0,6$ не рассматриваются, потому что принимают недопустимые значения.

На рис. 4 показана зависимость максимальной абсолютной ошибки от расположения узлов интерполирования.

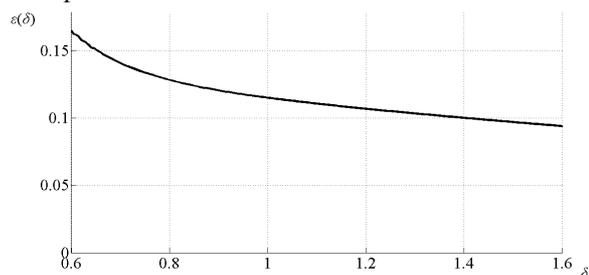


Рис. 4. Зависимость максимальной абсолютной ошибки от δ

Максимальная абсолютная ошибка в данном случае вычисляется по формуле

$$\varepsilon(\delta) = \max(|h_s(t) - h_c(t)|)_{\delta_1=\delta},$$

где $h_s(t)$ и $h_c(t)$ – мгновенное значение переходной характеристики эталонной и синтезированной САУ.

На рис. 5 представлена зависимость изменения перерегулирования синтезированной САУ от положения узлов интерполирования.

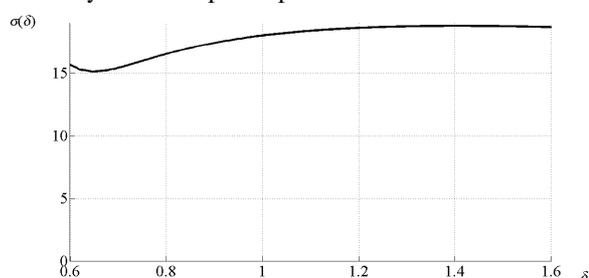


Рис. 5. Зависимость перерегулирования синтезированной САУ от δ

Как видно из рис. 5, наилучшее приближение перерегулирования синтезированной системы к заданному наблюдается при $\delta=0,65$.

На рис. 6 представлена зависимость изменения времени регулирования синтезированной САУ от положения узлов интерполирования.

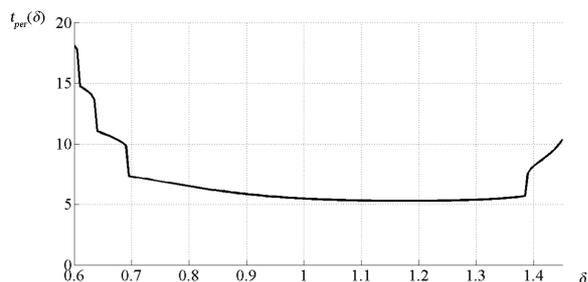


Рис. 6. Зависимость времени регулирования синтезированной САУ от δ

Наилучшее приближение времени регулирования к желаемому значению наблюдается при $\delta=1,2$.

В данном случае нет возможности полностью обеспечить выполнение заданных требований по

качеству регулирования путем подбора узлов интерполирования. Выполнение заданных требований к качеству регулирования можно обеспечить, задав другую структуру регулятора, также можно изменить исходные требования.

Заключение

Основной проблемой при синтезе систем автоматического управления на основе вещественного интерполяционного метода является выбор расположения узлов интерполирования. Это обусловлено тем, что существующие математические выражения для выбора узлов зачастую не обеспечивают желаемого результата при идентификации объектов управления и синтезе САУ.

В работе показано влияние положения узлов интерполирования на основные показатели качества синтезированной САУ. В зависимости от значимости требований к системе возможен выбор критерия для выбора узлов интерполирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Ю.М., Ефанов В.Н., Крымский В.Г., Рутковский В.Ю. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем // Известия АН СССР. Сер. Техн. кибернетика. – 1991. – № 1. – С. 11–23.
2. Гончаров В.И. Вещественный интерполяционный метод синтеза систем автоматического управления. – Томск: Изд-во ТПУ, 1995. – 108 с.
3. Гончаров В.И., Лиепиньш А.В., Рудницкий В.А. Синтез робастных регуляторов низкого порядка // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 4. – С. 36–43.
4. Гончаров В.И. Синтез электромеханических систем промышленных роботов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 100 с.

Поступила в печать 22.04.2009 г.

УДК 681.518.22

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПО ВРЕМЕННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

А.С. Алексеев, С.В. Замятин, Д.А. Плотников

Томский политехнический университет
E-mail: aleksejev@sibmail.com

На основе вещественного интерполяционного метода разработана методика определения момента инерции в электроприводе. Расчет осуществляется по временным сигналам произвольной формы с высокой точностью. Эффективность методики подтверждена на численном примере.

Ключевые слова:

Электропривод, определение момента инерции, вещественный интерполяционный метод.

Введение

Для повышения качества управления и реализации самонастраивающихся систем управления всё более важными становятся вопросы определения параметров электропривода. Применение микропроцессорных систем в современных следящих приводах позволяет решить эту задачу.

Вопросам вычисления параметров электропривода постоянного тока посвящено большое количество работ [1–4]. В [1] авторы отмечают, что из усло-

вий наблюдаемости параметры электропривода могут быть определены только в динамическом режиме. Рассматривается вопрос вычисления параметров электромеханической системы за счет изменения напряжения, приложенного к якорю двигателя. Установлены необходимые минимальные значения амплитуд гармонических составляющих выходного напряжения тиристорного преобразователя, которые позволяют определить требуемые параметры. В работе [2] отмечено, что найти параметры привода постоянного тока при наличии гармонических со-