ISSN 2079-8490

Электронное научное издание
«Ученые заметки ТОГУ»
2013, Том 4, № 4, С. 834 – 840

Свидетельство
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010
http://ejournal.khstu.ru/
ejournal@khstu.ru

УДК 620.179.16

© 2013 г. **В. Д. Епанешников,**
Е. В. Перловский
(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Статья посвящена проблеме идентификации непрерывных систем автоматического управления. В связи с развитием информационных технологий, средств дистанционных измерений и передачи данных, вопросы идентификации параметров непрерывных систем автоматического регулирования выходят на новый уровень.
***Ключевые слова*:** непрерывные системы управления, идентификация параметров

V. D. Epaneshnikov, E. V. Perlovskiy

PARAMETRIC IDENTIFICATION OF CONTINUOUS SYSTEMS AUTOMATIC CONTROL

The article is devoted to the problem of identification of continuous systems auto-political control. In connection with the development of information technologies, means of remote sensing and transmission of data, identification of their parameters continuous automatic control systems take on a new level.
***Keywords*:** continuous management systems, identification of parameters.

Синтез моделей по результатам наблюдения за исследуемым объектом – это одна из основных задач любой научной работы [1]. Обычно исследователь работает методом проб и ошибок, через синтез гипотез (моделей) и их экспериментальную проверку.

Опираясь на последние достижения технической кибернетики, во многих случаях можно автоматизировать процедуру синтеза компьютерной модели исследуемого объекта и тем самым облегчить задачу исследователя. При этом исследователю-прикладнику остается решить две очень важные задачи: первая – задача трансформации компьютерной модели к виду, удобному в его предметной области, и вторая – задача правильной интерпретации параметров трансформированной модели. Проблемы, возникающие в процессе автоматизированного синтеза достаточно точной компьютерной (математической) модели, составляют предмет теории идентификации. Постепенно, по мере развития теории идентификации и расширения ее возможностей, она должна приобретать статус общенаучной методологии.

Вопросами идентификации динамических объектов и параметров систем автоматического регулирования, занимались многие ученые. Приведем примеры работ некоторых авторов, посвященные данной проблеме.

Так, например, Иванов А.И. предлагает использовать для синтеза моделей нелинейных динамических объектов – одномерные ортогональные динамические ряды, являющиеся аналогами ряда Вольтера [1].

Бурлаем И.В. и Титовым М.А. на основе концепции обратных задач динамики с использованием регуляризирующих процедур решена задача идентификации параметров нелинейных объектов с использованием априорной информации о вероятностных характеристиках шумов измерений и возмущениях [2]. Предлагаемый алгоритм устойчив к погрешностям входных данных и приемлем для современных средств вычислительной техники.

Из приведенного обзора литературы, посвященного данной проблеме, видно различие подходов авторов к задачам идентификации параметров динамических объектов.

Идентификация динамических характеристик исследуемого объекта в частотной области

При тестовых воздействиях произвольной формы определить импульсную переходную функцию динамического объекта во временной области трудно. Однако если перейти из временной области в частотную область, данная задача упрощается и становится вполне доступной для любого исследователя. Последнее обусловлено тем, что уравнение свертки, описывающее динамический объект во временной области, отображается в частотной области как обычное алгебраическое уравнение.

Идентификация динамических параметров при синусоидальных тестовых воздействиях

Синусоидальные сигналы обладают уникальным свойством проходить сквозь исследуемый линейный динамический объект, не меняя своей формы. Для входных тестовых воздействий:

$$x(t) = X(\omega)\cdot\cos(\omega t - \varphi_x), \qquad (1)$$

где $X(\omega)$ - амплитуда колебаний, ω - угловая частота колебаний входного сигнала, φ_x - фаза колебаний. Отклик динамического объекта будет описываться аналогичным уравнением:

$$y(t) = Y(\omega)\cdot\cos(\omega t - \varphi_y) \qquad (2)$$

Как мы видим уравнения (1), (2), отличаются только своими амплитудами и фазами.

В связи с этим, динамические свойства исследуемого объекта можно характеризовать, используя отношение амплитуд входного и выходного синусоидальных сигналов и разность их фаз.

$$H(\omega) = Y(\omega) / X(\omega) \qquad (3)$$

$$\varphi(\omega) = \varphi_y - \varphi_x \qquad (4)$$

Характеристика $H(\omega)$ получила название амплитудно-частотного коэффициента передачи. Она является только функцией частоты и не зависит от амплитуд входного и выходного сигналов.

Функция $\varphi(\omega)$ получила название фазо-частотной характеристики линейного динамического объекта.

Амплитудно-частотный коэффициент передачи может быть вычислен путем использования тестовых синусоидальных воздействий различной частоты. Фазо-частотная характеристика может быть непосредственно измерена фазометром при тех же условиях.

Амплитудно-частотный коэффициент передачи и фазо-частотная характеристика взаимно дополняют друг друга. Обычно их используют совместно, объединяя в форме комплексного коэффициента передачи:

$$\begin{aligned} &H(j\omega) = H(\omega)\exp(-j\varphi(\omega)) = \\ &H(\omega)\cos\varphi(\omega) - jH(\omega)\sin\varphi(\omega) = H_c(\omega) - jH_s(\omega) \end{aligned} \qquad (5)$$

Комплексная форма записи удобна тем, что позволяет сократить выкладки и упростить вычисления, сводя их к операциям над комплексными числами. Переход к комплексной форме осуществляется путем применения к формулам (1), (2) известной теоремы о косинусе суммы двух аргументов:

$$x(t) = X(\omega)\cdot(\cos\varphi_x \cos\omega t + \sin\varphi_x \sin\omega t) \qquad (1а)$$

Введя обозначения:

$$X_c(\omega) = X(\omega)\cos\varphi_x,$$

$$X_s(\omega) = X(\omega)\sin\varphi_x,$$

получим более компактную запись этой теоремы:

$$x(t) = X_c(\omega)\cdot\cos\omega t + X_s(\omega)\cdot\sin\omega t \qquad (1б)$$

Последняя запись неудобна тем, что в ее правой части содержатся косинусная и синусная колебательные составляющие, однако мы можем выразить sin через cos в комплексной области:

$$\sin\omega t = \cos(\omega t - \pi/2) \Leftrightarrow -j\cos\omega t.$$

В комплексной области домножение на мнимую единицу соответствует фазовому сдвигу на -90°. Подставив последнее соотношение в (1), мы получим полную комплексную форму записи входного сигнала:

$$x(t) = X(j\omega)\cdot\cos(\omega t) = (X_c(\omega) - jX_s(\omega))\cdot\cos(\omega t). \qquad (1с)$$

На практике обычно используется сокращенный, символический вариант записи, в котором опущены косинусные колебательные составляющие:

$$x(t) \Leftrightarrow X(j\omega) = X_c(\omega) - jX_s(\omega). \qquad (6)$$

Этот сокращенный вариант записи отражает тот факт, что все расчеты при частотном описании динамического объекта можно проводить только с комплексными амплитудами, игнорируя по умолчанию колебательные составляющие. Последнее выражение позволяет описывать линейный динамический объект простым и компактным линейным уравнением:

$$Y(j\omega) = H(j\omega) \cdot X(j\omega) \qquad (7)$$

Рассмотрим методику диагностирования кратных параметрических дефектов в непрерывных системах автоматического регулирования (САР), как пример использования теории идентификации САР.

Методика диагностирования кратных параметрических дефектов в непрерывных системах автоматического регулирования

В рамках теории чувствительности, уравнение (7) трансформируется к следующему виду

$$\overline{C} \cdot \Delta\overline{\alpha} = \overline{P}, \qquad (8)$$

где:

$$\overline{C} = \int_{\omega_H}^{\omega_B} \overline{U}^{\mathrm{T}}(\omega) \cdot \overline{U}(\omega)\, d\omega;$$

$$\overline{P} = \int_{\omega_H}^{\omega_B} \overline{U}^{\mathrm{T}}(\omega) \cdot \Delta\overline{A}(\omega)\, d\omega.$$

В последних выражениях ω_H, ω_B, являются соответственно нижней и верхней границей контролируемого диапазона частот, а Т – символ транспонирования.

Столбцами матрицы $\overline{U}(\omega)$ являются вектор-функции чувствительности:

$$U_j = \frac{\partial A(\omega)}{\partial \alpha_j}, \;\; j = \overline{1, M}. \qquad (9)$$

Алгоритм диагностирования кратных параметрических дефектов заключается в следующем [3]. При контроле ОД определяется вектор-функция отклонений каких-либо частотных характеристик от номинальных для k контрольных точек. В нашем случае определяется вектор-функция отклонений амплитудных частотных характеристик ОД:

$$\Delta\overline{A}(\omega) = (\Delta A_1(\omega), \Delta A_2(\omega), ..., \Delta A_k(\omega))^T.$$

Предварительно определяется матрица чувствительности $\overline{U}(\omega)$, размером $K \times M$, частотной характеристики ОД (амплитудной или фазовой) к изменению прямых показателей α_i, $i = \overline{1, M}$, с элементами:

$$U_{ij} = \frac{\partial A_i(\omega)}{\partial \alpha_j}, \;\; i = \overline{1, K}, \;\; j = \overline{1, M}, \qquad (10)$$

где $A_i(\omega)$ – частотная характеристика ОД (амплитудная или фазовая), снятая в i-той контрольной точке.

Вектор отклонений прямых показателей (ПП) от номинальных значений $\Delta\overline{\alpha_i}$, по элементам которого выносится диагноз, определяется как решение векторного уравнения (8).

Для однозначного решения задачи поиска параметрических дефектов с максимальной кратностью М необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\det \overline{C} \neq 0, \qquad (11)$$

или чтобы вектор-функции (10) образовывали на интервале (ω_H, ω_B) линейно независимую систему.

На практике частотные характеристики контролируются для конечного числа n дискретных значений аргумента ω. В этом случае выражения для матриц $\overline{C}$ и $\overline{P}$ примут вид формул 12, 13.

$$\overline{C} = \sum_{i=1}^{n} \overline{U}^{\mathrm{T}}(\omega_i) \cdot \overline{U}(\omega_i), \qquad (12)$$

$$\overline{P} = \sum_{i=1}^{n} \overline{U}^{\mathrm{T}}(\omega_i) \cdot \Delta\overline{A}(\omega_i), \qquad (13)$$

а необходимое условие однозначного определения дефектов по-прежнему задаётся выражением (11).

Пример диагностирования объекта САР

Рассмотрим пример диагностирования объекта на основе блок-схемы реальной системы – двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ-НВ). Модель системы, представлена на рисунке 1.

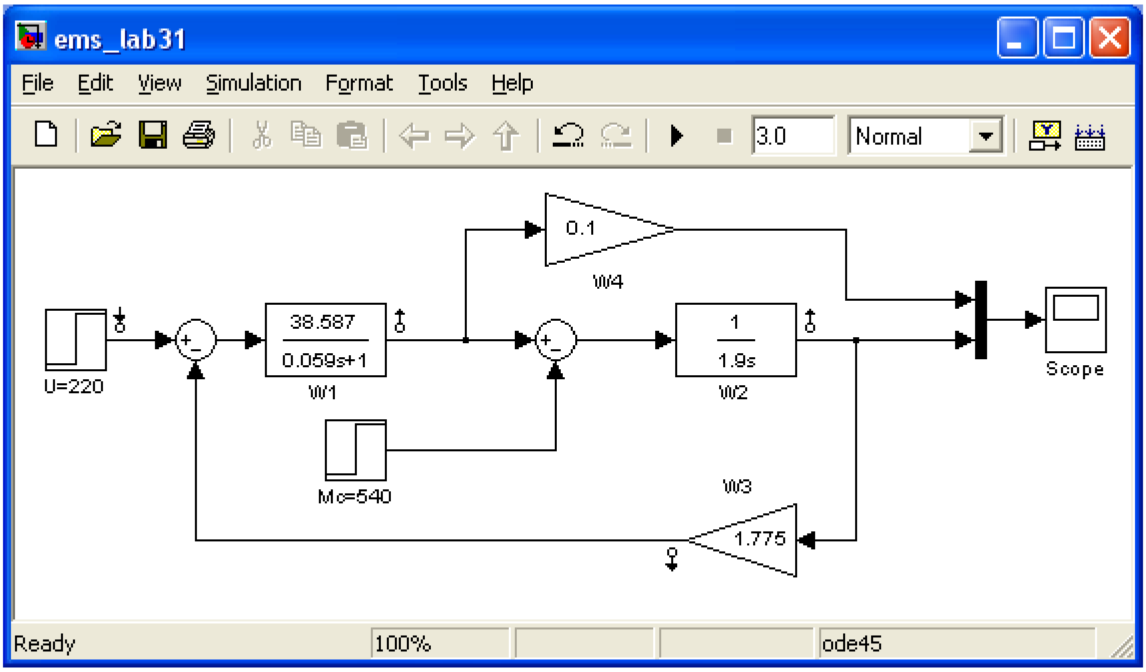

Рис. 1. Структурная схема ДПТ-НВ

Пример поиска двух дефектов

Введём дефект в звено W1, параметр b1 = 0.069 (номинальное значение b1=0.059). Добавим второй дефект в схему ДПТ-НВ в звено W2, параметр a1 = 1.2 (номинальное значение a1 = 1).

По результатам диагностирования видно, что оба дефекта имеют наибольшие процентные выражения, практически соответствующие реальным отклонениям параметров объекта от своих номинальных значений.

На рисунке 3 приведены АЧХ объекта (LinObject) и модели (LinModel). Объектом является система, в которой есть дефект. Моделью является система параметры, которой имеют номинальные значения.

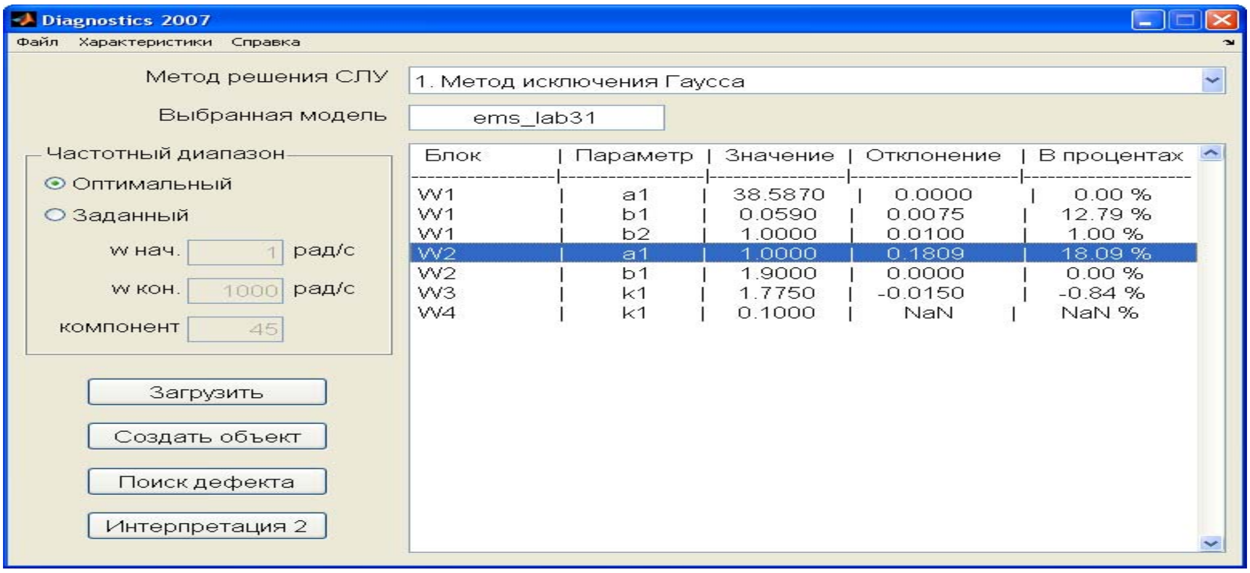

Рис. 2. Результат диагностирования схемы ДПТ-НВ с двумя дефектами

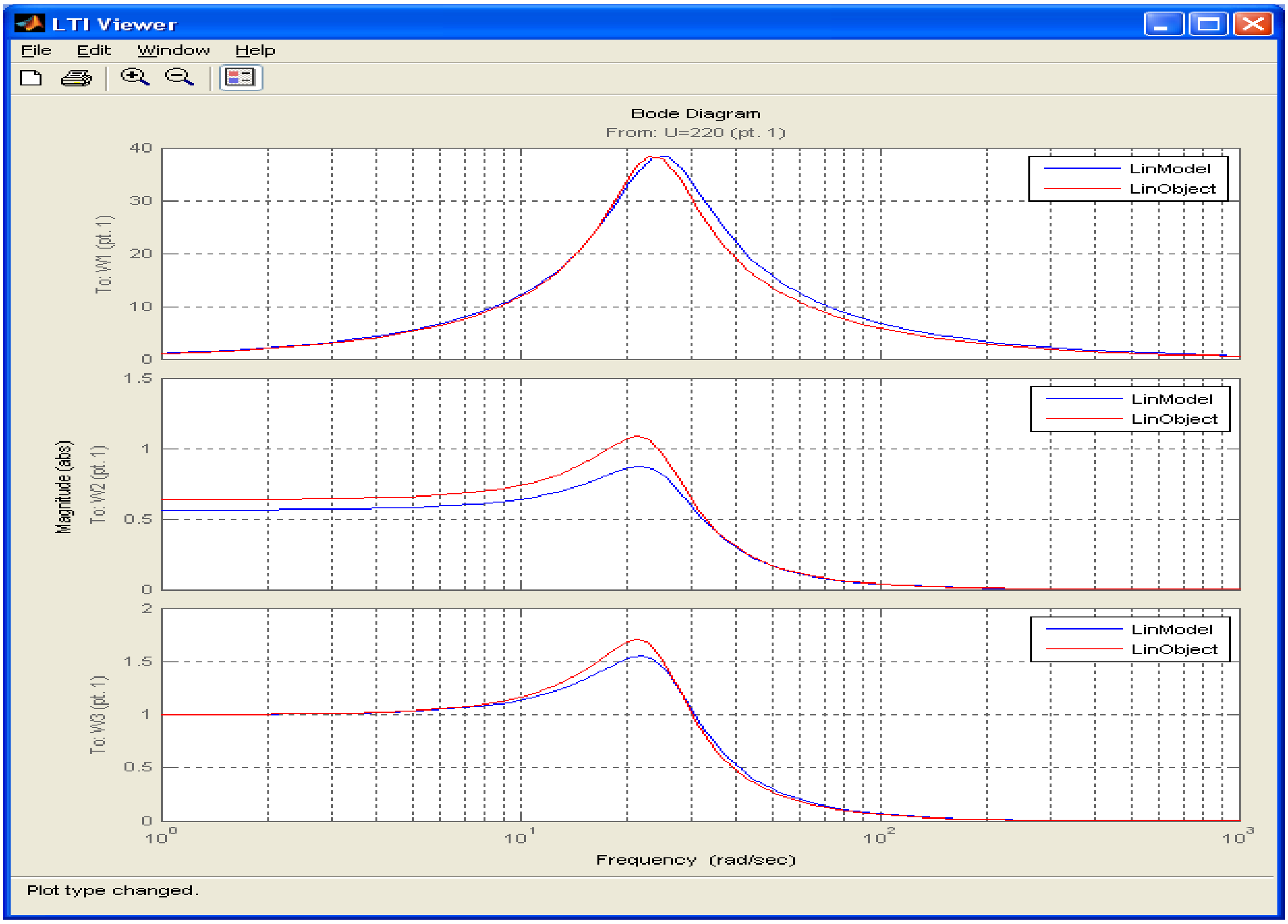

Рис. 3. АЧХ объекта и модели

На рисунке 3 видно что, дефекты проявились во всех контрольных точках объекта системы. Реализованный метод позволяет обнаруживать кратные параметрические дефекты в частотной области, чему явились подтверждением рассмотренные в этой главе примеры диагностирования систем. Для уточнениярезультатов диагностирования имеет смысл использовать итерационный метод.

Список литературы

[1] Иванов А.И. Быстрая идентификация нелинейных динамических объектов. Пенза, 1996, 229 с.

[2] Бурлай И.В., Титов М.А. Регуляризующий алгоритм идентификации параметров непрерывных динамических систем на базе процедуры инвариантного погружения, №03, 2007.

[3] ШалобановС.В. Структурные методы диагностирования линейных непрерывных систем управления. Хабаровск: Изд. ХГТУ. 1997, 88 с.

E-mail:- fkon@ais.khstu.ru