УДК 681.5.015

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТА С ИНТЕГРАТОРОМ В ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

В.А. Александров
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: va.alexandrov@yandex.ru

И.Г. Резков
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: fagothmail@gmail.com

Ключевые слова: идентификация объекта управления, замкнутая система, устойчивость системы.

Аннотация: Рассмотрено применение метода конечно-частотной идентификации в замкнутой системе управления. Показано, что для одномерного объекта метод можно применять, не имея сведений о параметрах и структуре действующего регулятора, а используя только данные входа и выхода объекта. Для объектов с интегратором важна возможность идентификации в замкнутой системе, так как выход объект без работающего регулятора может выходить за допустимые границы даже при малом тестовом сигнале. Рассмотрен практический пример идентификации объекта в системе регулирования уровня раствора в горно-обогатительном оборудовании.

1. Введение

Первоначально в методе конечно-частотной идентификации рассматривался асимптотически устойчивый объект управления [1]. Но уже в этой работе рассмотрена идентификация в замкнутой системе для адаптации регулятора в процессе функционирования системы. В работе [2] для неустойчивых объектов предполагается использовать экспоненциально растущий тестовый сигнал, что далеко не всегда можно использовать на практике. Процедура экспериментального получения частотных параметров замкнутой системы и вычисление по ним и известным параметрам регулятора частотных параметров объекта рассмотрена в работе [3]. В этом докладе предлагается алгоритм идентификации по измерениям выхода объекта и получаемым данным с выхода регулятора, добавляя тестовый сигнал к задающему воздействию.

2. Постановка задачи

Рассмотрим систему управления, описываемую уравнениями

$$a_n y^{(n+1)} + a_{n-1} y^{(n)} + .. + a_1 \ddot{y} + \dot{y} = b_{n-1} u^{(n-1)} + .. + b_0 u + f, \qquad (1)$$

$$c_m u^{(m)} + .. + c_0 u = (g_m y_з^{(m)} + .. + g_0 y_з) - (d_m y^{(m)} + .. + d_0 y), \qquad (2)$$

где $y(t)$ – измеряемый выход объекта (1), $u(t)$ – управление, формируемое регулятором (2), $y_з(t)$ – задающее воздействие, $f(t)$ – неизмеряемое внешнее возмущение, t – время.

Предполагается, что регулятор (2), обеспечивающий устойчивость замкнутой системы (1)-(2), известен.

Задача: найти значения коэффициентов a_i $(i = 1,..,n)$ и b_i $(i = 0,..,n-1)$ модели объекта управления (1) по измерениям выхода $y(t)$, используя значения входа объекта управления $u(t)$ и задающего воздействия $y_з(t)$ и подавая необходимый тестовый сигнал.

Заметим, что значения коэффициентов a_i, b_i могут быть равны 0, кроме b_0, a_n и a_0. a_n, отличное от 0, означает, что порядок модели объекта задан. Значение коэффициента a_0 принято равным 1, и таким образом общее количество неизвестных равно $2n$.

3. Метод конечно-частотной идентификации

Передаточная функция объекта (1) имеет вид

(3) $$W(s) = \frac{b(s)}{a(s)} = \frac{b_{n-1}s^{n-1} + b_{n-2}s^{n-2} + .. + b_0}{s(a_n s^n + a_{n-1}s^{n-1} + .. + 1)},$$

где выделено интегрирующее звено $1/s$, полиномы $a(s)$ и $b(s)$ взаимно простые, s – комплексная переменная преобразования Лапласа.

Метод конечно-частотной идентификации состоит в том, что экспериментально находятся оценки значений частотной передаточной функции, принимая в (3) $s = j\omega$, для n различный частот ω_i $(i = 1,..,n)$. В случае устойчивого объекта можно проводить эксперимент в разомкнутой системе, когда регулятор отключен. Для этого на вход объекта подается некоторый постоянный сигнал управления u_0, выводящий систему в рабочий режим, к которому прибавляется тестовый сигнал в виде суммы n различных гармоник с частотами ω_i:

(4) $$u(t) = u_0 + \sum_{i=1}^{n} \rho_i \sin \omega_i (t - t_0),$$

где t_0 – время начала теста, ρ_i – амплитуды гармоник, которые выбираются так, чтобы они были не слишком малы, чтобы исполнительное устройство могло их отработать, а датчик мог с достаточной точностью замерить реакцию измеряемого выхода, но с другой стороны, чтобы они были не слишком велики, чтобы система оставалась в допустимых пределах рабочего режима. Известно [4], что используя фильтр Фурье для обработки данный измерений выхода

(5) $$\alpha_i = \frac{2}{\rho_i T_i} \int_{t_0}^{t_0+T_i} y(t) \sin \omega_i (t - t_0)\, dt,$$
$$\beta_i = \frac{2}{\rho_i T_i} \int_{t_0}^{t_0+T_i} y(t) \cos \omega_i (t - t_0)\, dt,$$
$$(i = 1,..,n),$$

где T_i – это время фильтрации, которое должно быть кратно периоду тестовой частоты $2\pi/\omega_i$, при $T_i \to \infty$ и при условии, что возмущение f не содержит гармонику с частотой ω_i как постоянную составляющую, получаем набор частотных параметров [5]:

$$\alpha_i + j\beta_i = W(j\omega_i), (i = 1,..,n).$$

Тогда можно получить систему уравнений

(6) $$(\alpha_i + j\beta_i) a(j\omega_i) = b(j\omega_i), (i = 1,..,n),$$

и приравнивая раздельно вещественные и мнимые части привести ее к системе $2n$ линейных алгебраических уравнений с $2n$ неизвестными, решением которой будут значения коэффициентов $a_i\ (i = 1,..,n)$ и $b_i\ (i = 0,..,n-1)$. Необходимо учитывать, что для того чтобы система (6) не получилась плохо обусловленной или даже вырожденной, необходимо выбирать тестовые частоты, исходя из динамики объекта управления [6].

4. Идентификация в замкнутой системе

Так как рассматриваемый объект (1) содержит интегрирующее звено и находится на границе устойчивости (а может быть и неустойчивый, так как в постановке задачи не оговорено ограничение на устойчивость полиномов объекта), то при тестовом сигнале (4) в разомкнутой системе выход объекта может выйти за допустимые пределы. Поэтому необходимо проводить тестирование в замкнутой системе, где работающий регулятор обеспечивает устойчивость. В [1] предложено прибавлять тестовый сигнал к управлению, сформированному регулятором:

$$u_{test}(t) = u(t) + \sum_{i=1}^{n} \rho_i \sin \omega_i (t - t_0),$$

и дополнительно к частотным параметрам выхода (5) вычислять частотные параметры на входе объекта:

(7)
$$\alpha_{u_i} = \frac{2}{\rho_i T_i} \int_{t_0}^{t_0+T_i} u(t) \sin \omega_i (t - t_0)\, dt,$$
$$\beta_{u_i} = \frac{2}{\rho_i T_i} \int_{t_0}^{t_0+T_i} u(t) \cos \omega_i (t - t_0)\, dt,$$
$$(i = 1,..,n),$$

Тогда частотные параметры объекта можно найти как

(8)
$$\alpha_{0_i} + j\beta_{0_i} = \frac{\alpha_i + j\beta_i}{\alpha_{u_i} + j\beta_{u_i}}, (i = 1,..,n),$$

и далее эти значения использовать для формирования системы (6).

Нужно учитывать, что при таком способе приложения тестового сигнала будет непросто подобрать значения амплитуд его гармоник ρ_i, так как сложно предсказать амплитуду отклика на выходе замкнутой системы.

Поэтому предлагается добавлять тестовый сигнал к задающему воздействию:

(9)
$$y_{з_{test}}(t) = y_з(t) + \sum_{i=1}^{n} \rho_i \sin \omega_i (t - t_0).$$

В этом случае значения ρ_i можно выбирать, исходя из допустимых технологических границ на измеряемый выход объекта. При этом для объекта с одним входом и одним выходом частотные параметры можно получать из (5),(7),(8).

Заметим, что стандартный [3] подход непрямой идентификации в замкнутой системе заключается в идентификации передаточной функции замкнутой системы, подавая тестовый сигнал (9) и находя значения частотных параметров замкнутой системы по формулам (5), а затем вычислении частотных параметров объекта, используя известные параметры регулятора (2):

$$\alpha_{0_i} + j\beta_{0_i} = \frac{\alpha_i + j\beta_i}{\frac{g(j\omega_i)}{c(j\omega_i)} - \frac{d(j\omega_i)}{c(j\omega_i)}(\alpha_i + j\beta_i)}. \tag{10}$$

Преимущество (8) по сравнению с (10) в том, что можно не знать параметры используемого регулятора.

5. Идентификация объекта в системе регулирования уровня раствора

Процесс регулирования уровня раствора с помощью управления заслонкой, регулирующей сток раствора из установки, в оборудовании горно-обогатительного комбината упрощенно описывается моделью

$$W(s) = \frac{b_0}{s(a_1 s + 1)}. \tag{11}$$

В этом случае достаточно использовать тестовый сигнал с одной частотой. На рис.1 показан график положения заслонки *MV*, измеренного уровня раствора *PV* и задающего воздействия *SP*.

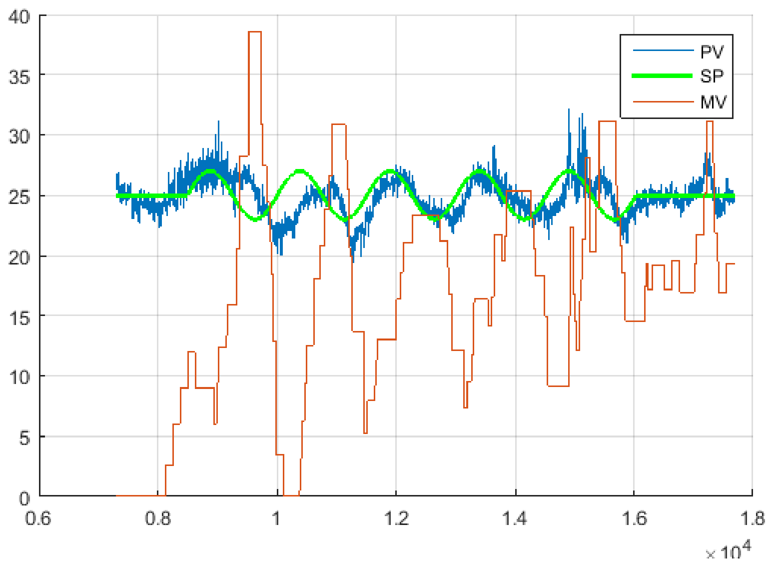

Рис. 1. Тестовый сигнал в системе регулирования уровня.

Экспериментально по формулам (5),(7),(8) получены частотные параметры :
$\omega_1 = 0.004166292$
$\alpha_1 = -0.0332565$
$\beta_1 = -0.178702$
По этим данным идентифицирована модель объекта:

$$W(s) = \frac{0.00077}{s(44.67s + 1)}.$$

6. Заключение

Приняв, что уже существует регулятор, обеспечивающий устойчивость системы, можно применять метод конечно-частотной идентификации с гармоническим тестовым сигналом для неустойчивых или находящихся на границе устойчивости объектов. Кроме того, для объектов с одним входом и одним выходом можно проводить идентификацию объекта управления, не имея информации о регуляторе, что позволяет использовать метод в действующих системах, где нет всех данных о параметрах или структуре работающего регулятора.

Идентификация в замкнутой системе также необходима как для устойчивых, так и для неустойчивых объектов в составе системы адаптивного управления, когда нужно получить текущие параметры объекта, не прерывая рабочий процесс. Анализируя по измерениям выхода объекта текущий частотный спектр возмущений можно выбирать тестовый сигнал с частотами, отсутствующими или имеющими низкий уровень в возмущении, и применять тестовый сигнал малой амплитуды, практически не влияющей на общее качество выхода объекта.

Список литературы

1. Александров А.Г. Частотный алгоритм адаптивного управления // Межвузовский научный сборник «Аналитические методы синтеза регуляторов», Саратов: СПИ, 1984. С. 8-13.
2. Александров А.Г. Метод частотных параметров // Автоматика и телемеханика. 1989. № 12. С. 3-15.
3. Александров А.Г. Частотное адаптивное управление. II // Автоматика и телемеханика. 1995. № 1. С. 63-71.
4. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М.: Мир. 1975.
5. Alexandrov A.G. Finite-frequency identification: selftuning of test signal // Preprints of the 16th IFAC World Congress , Prague, Czech Republic, 2005.
6. Александров А.Г. Конечно-частотная идентификация: границы частот испытательного сигнала // Автоматика и телемеханика. 2001. № 11. С. 3-14.