

УДК 681.5.015

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ МОМЕНТЕ ТРЕНИЯ

С. В. Арановский,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

С. Ю. Ловлин,

аспирант, младший научный сотрудник

С. А. Александрова,

студентка

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

Рассматривается задача идентификации электропривода в условиях переменного момента трения. Предложен подход, основанный на введении обратной связи, возбуждении в системе колебаний и оценке их частоты. Приводится пример использования алгоритма при неравномерностях момента трения, аналогичных наблюдаемым в опорно-поворотном устройстве оптического телескопа.

Ключевые слова — идентификация, электропривод, неравномерный момент трения.

Введение

Задача идентификации часто возникает в инженерной практике. Иногда идентифицируемая система достаточно сложна и при проектировке некоторые ее параметры (вязкое трение, момент инерции и упругие свойства сложной многосоставной механической нагрузки) не рассчитываются. Случается, что параметры готового изделия не совпадают с расчетными, и требуется оперативно определить их значения и провести перенастройку системы. Или стоит задача настройки системы, которая была создана другим коллективом разработчиков, контакт с которыми утерян вместе с документацией на систему. Во всех этих случаях необходимо по результатам эксперимента максимально точно определить значения параметров системы, провести их идентификацию.

Известно большое число методов [1, 2], нацеленных на решение различных проблем идентификации, в том числе ориентированных на электромеханические системы [3–6]. Особую сложность представляют задачи идентификации в условиях возмущений. Например, при идентификации параметров электроприводов момент трения либо вообще не рассматривается, либо считается постоянным. Но в ряде случаев такое предположение недопустимо, так как приводит к ошибочным оценкам параметров объекта и низкому ка-

честву систем управления, построенных на их основе. В то же время среди методов идентификации электромеханических систем практически нет подходов, предназначенных для работы в условиях переменного момента сопротивления. Настоящая работа нацелена на решение этой задачи.

Описание объекта и действующего возмущения

Рассмотрим модель объекта вида

$$\begin{cases} y(t) = \frac{K}{p}(i(t) + f(t)) \\ i(t) = \frac{1}{T_e p + 1} u(t) \end{cases}, \quad (1)$$

где $y(t)$ — измеряемый выходной сигнал; K — неизвестный параметр, подлежащий идентификации; $i(t)$ — переменная состояния системы; $f(t)$ — неизвестное внешнее возмущение; T_e — известный параметр; $u(t)$ — известный управляющий сигнал. Физическое наполнение такой модели может быть различным. Например, для систем электропривода возможно такое: $y(t)$ — скорость вращения; K — неизвестный параметр, равный отношению электромеханической конструктивной постоянной к суммарному моменту инерции; $i(t)$ — протекающий ток; T_e — постоянная време-

ни контура тока; $u(t)$ — задание, поступающее на контур тока. Возмущение $f(t)$ в этом случае может трактоваться как момент сопротивления, разделенный на величину конструктивной постоянной. В этом случае идентификация параметра K становится важной инженерной задачей, так как зачастую точный момент инерции сложной многоэлементной нагрузки неизвестен.

Не смотря на кажущуюся простоту идентификации одного неизвестного параметра, даже при упрощенной модели момента сопротивления, суммом трения

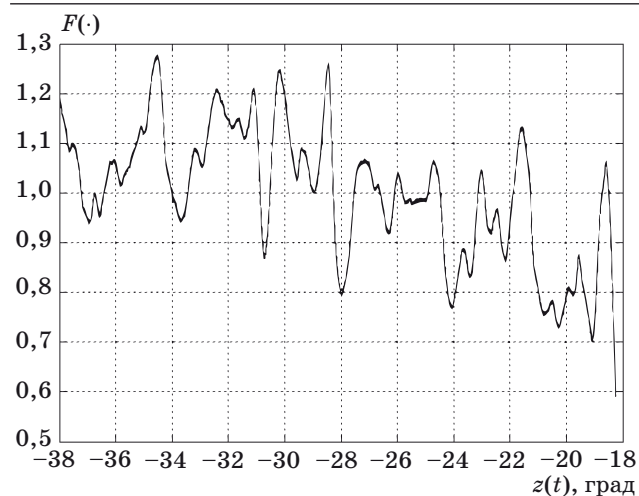
$$f(t) = -f_0 \text{sign}(y(t)), \quad (2)$$

многие типовые алгоритмы не справляются с идентификацией параметра K . Например, реализованные в MATLAB Identification toolbox методы идентификации авторегрессионных моделей (arx) или метод инструментальной переменной (iv4) показывают неудовлетворительные результаты, ошибаясь более чем в 2 раза. На практике ситуация может быть разрешена за счет остановки такого эксперимента, при котором скорость является знакопостоянной, а возмущение $f(t)$ — константой. Существуют и другие подходы, основанные на разделении экспериментальных данных на участки знакопостоянной скорости.

Гораздо хуже обстоит ситуация при более сложных моделях трения, нежели (2). Для некоторых объектов из-за их конструктивных особенностей, дефектов изготовления или других факторов момент трения может существенно варьироваться при изменении положения движущихся частей:

$$f(t) = -F(z(t))\text{sign}(y(t)), \quad (3)$$

где $z(t) = z_0 + \int y(t)dt$ — угол поворота движущихся частей; $F(z(t)) > 0$. На рис. 1 представлен



■ Рис. 1. Зависимость момента сопротивления от угла поворота (ось опорно-поворотного устройства оптического телескопа)

график изменения момента сопротивления в зависимости от угла поворота для оси опорно-поворотного устройства оптического телескопа [7, 8]. Угол меняется в диапазоне от -18 до -38 град, момент нормирован относительно средней величины и приведен в безразмерных единицах.

Наклон графика момента на рис. 1 связан с наличием в системе кабельного перехода, который, закручиваясь или раскручиваясь, играет роль пружины. А наблюдаемые на графике пульсации связаны с неидеальностью подшипников и неравномерностью момента трения. При такой зависимости момента сопротивления от угла поворота определение параметра K классическими методами крайне затруднено даже при обеспечении знакопостоянства момента сопротивления. Это делает актуальной задачу разработки алгоритма идентификации параметра K при переменном моменте сопротивления.

Алгоритм идентификации

Будем формировать сигнал $u(t)$ как

$$u(t) = \frac{K_0(T_e p + 1)}{p} (u_0(t) - y(t)), \quad (4)$$

где $K_0 > 0$ — настраиваемый параметр, а $u_0(t)$ — задающий сигнал.

Тогда систему (1) можно записать в виде

$$y(t) = \frac{K_0 K}{p^2 + K_0 K} u_0(t) + \frac{K p}{p^2 + K_0 K} f(t). \quad (5)$$

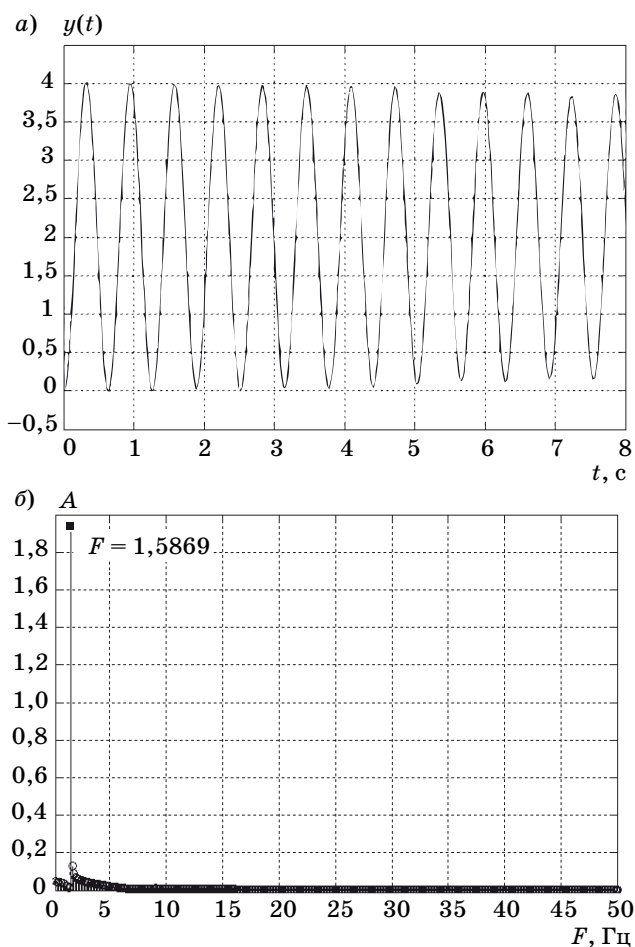
При отсутствии трения ($f(t) = 0$) и $u_0(t) = u_0 = \text{const}$ в системе (5) будут возникать незатухающие гармонические колебания с частотой

$$\omega_0 = \sqrt{K_0 K}, \quad (6)$$

откуда

$$\hat{K} = \omega_0^2 / K_0. \quad (7)$$

Зависящая от скорости и угла поворота функция $f(t)$ делает систему (5) нелинейной, что затрудняет анализ траектории $y(t)$. Более того, в ряде практических задач точный анализ вообще невозможен, так как для аналитического решения требуется знание функции $F(z(t))$, которая на практике почти никогда не известна или известна только в некотором приближении (например, средний момент сопротивления за оборот). Однако для решения поставленной технической задачи идентификации точное определение траектории $y(t)$ не требуется, достаточно определить частоту ω_0 (6), обеспечив, например, доминирование колебаний на этой частоте по сравнению с вызванными функцией $f(t)$ колебаниями на других частотах. На практике этого легко достичь, варьируя параметры K_0 и u_0 , что следует из техни-



■ Рис. 2. Выходной сигнал $y(t)$ (а) и преобразование Фурье (б)

ческой осмысленности задачи: момент, который может развить электропривод, превосходит осцилляции момента сопротивления.

Пример. Рассмотрим объект управления, описываемый выражением (1), где $T_e = 0,005$, $K = 10$. Пусть возмущение $f(t)$ описывается выражением (3), где функция $F(y)$ соответствует рис. 1. Сформируем сигнал $u(t)$ как (4) при $u_0 = 0,1$ и различных значениях K_0 . На рис. 2, а представлен выходной сигнал $y(t)$ при значении $K_0 = 10$, а на рис. 2, б — результат фурье-преобразования этого сигнала. При построении преобразования Фурье использовалась частота дискретизации 1 кГц.

Литература

1. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. — М.: Наука, 1991. — 432 с.
2. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А. А. Красовского. — М.: Наука, 1987. — 712 с.

■ Результаты идентификации при различных значениях K_0 и истинном значении $K = 10$

K_0	\hat{K}	K_0	\hat{K}
5	9,53	20	9,53
10	9,94	25	10,3
15	10,03		

В таблице представлены результаты оценки \hat{K} для разных значений K_0 .

Из таблицы видно, что предложенный алгоритм позволяет получить достаточно точную оценку \hat{K} в условиях переменного момента сопротивления. Отклонения результатов идентификации от истинного значения связаны с неточностью оценки частоты методом дискретного преобразования Фурье.

Заключение

В работе предложен алгоритм идентификации электропривода в условиях переменного момента сопротивления. Данная задача является актуальной с инженерной точки зрения, так как классическими методами идентификации, такими как метод инструментальной переменной, не всегда удается найти удовлетворительную оценку неизвестного параметра.

Предложенный подход основан на введении в систему обратной связи по выходу и организации гармонических колебаний, частота которых позволяет оценить неизвестный параметр. Приведенный пример, основанный на данных, полученных при идентификации электропривода опорно-поворотного устройства оптического телескопа, показал применимость предложенного алгоритма для решения задачи идентификации.

Отклонение результатов идентификации от истинного значения связано с неточностью вычисления частоты колебаний методом дискретного преобразования Фурье. Более точные оценки можно получить, используя альтернативные методы идентификации частоты гармонических сигналов [9, 10].

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», контракт 16.740.11.0666.

3. Борцов Ю. А., Поляхов Н. Д., Путов В. В. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением. — Л.: Энергоатомиздат, 1984. — 216 с.
4. Арановский С. В., Бардов В. М. Метод идентификации параметров системы двигатель-двухмассовый

- механизм по измерениям выходной переменной // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 5. С. 15–18.
5. **Водовозов А. М., Елюков А. С.** Помехозащищенные алгоритмы параметрической идентификации электромеханических систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. № 12. С. 40–43.
6. **Анкудинов К. А.** и др. Способ измерения постоянной времени электропривода // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. № 12. С. 43–50.
7. **Васильев В. Н., Томасов В. С., Шаргородский В. Д., Садовников М. А.** Состояние и перспективы развития прецизионных электроприводов комплексов высокоточных наблюдений // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. № 6. С. 5–11.
8. **Арановский С. В.** Идентификация полюсов электромеханического объекта на основе сдвигов фаз // Информатика и системы управления. 2011. № 1. С. 97–107.
9. **Арановский С. В.** и др. Идентификация частоты смещенного синусоидального сигнала // АиТ. 2008. № 9. С. 3–9.
10. **Aranovskiy S.** et al. Identification of frequency of biased harmonic signal // European Journal of Control. 2010. N 4. P. 129–139.

**XIX Центрально-Азиатская Международная конференция и Showcase
«Телекоммуникации и информационные технологии» — KITEL 2012**

29–31 мая 2012

Место проведения: Алматы, Казахстан

KITEL 2012 состоится в формате конференции и сопутствующей ей экспозиции. Это единая площадка для обсуждения насущных технических вопросов и решений, установления деловых связей и перспектив сотрудничества в Казахстане.

Конференция осветит два направления: телекоммуникационная отрасль и интернет-технологии. Экспозиция представит возможность наглядно ознакомиться с новинками компаний.

Организатор

ITE LLC Moscow, Россия
Itesa, Казахстан

Направления работы

Сектор ИКТ в Центральной Азии сегодня и завтра
Мобильная связь и VAS-услуги
Фиксированная связь
Спутниковая связь
Телерадиовещание
Вызовы и решения в области информационных технологий и услуг
Производство и инновации
Подготовка и трудоустройство специалистов для сектора ИКТ
Сотрудничество в сфере образовательных технологий

Секторы выставки KITEL 2012

Телекоммуникации

Мобильные технологии
Интернет
Кабельные технологии
Спутниковые технологии
Широкополосные сети связи
Цифровой контент
Системы телерадиовещания: профессиональное видео- и аудиооборудование; HDTV, IPTV, Mobile TV
Компьютерные и информационные технологии
Мониторы и телевизоры: LCD, плазменные и др.
Информационная безопасность
Программное обеспечение
Цифровые устройства
Офисные технологии, расходные материалы
Банковские технологии, оборудование и услуги
Образование

Организаторы приглашают к участию в данном форуме специалистов отечественных и международных телекоммуникационных и IT-компаний, пользователей оборудования и услуг данных отраслей, представителей государственных учреждений и ведомств, деловых ассоциаций.

Дополнительная информация и справки

129164 Москва, Зубарев переулок, д. 15, к. 1
ITE Moscow LLC
Елена Кочергина
Тел.: +7 (495) 935 7350
Эл. адрес: Kochergina@ite-expo.ru
Сайт: <http://www.kitel.kz/ru>