

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПЕРВОГО ПОРЯДКА НА ОСНОВЕ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КАЧМАЖА

К.М. Иванов^{1,а}, студент гр. 5А17, Ю.О. Кулеи², зав. лабораторией,
Научный руководитель: Боловин Е.В.¹, к.т.н., доц.

¹ Инженерная школа энергетики, Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

² Отделение автоматизации и робототехники,
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ^аkmi4@tpu.ru

Аннотация. В статье представлен разработанный метод идентификации параметров динамического объекта первого порядка на основе регрессионной модели с применением метода Качмажа. Проведено апробирование метода на модели объекта первого порядка с предварительным наложением на используемые для решения задачи сигналы шумовой составляющей.

Ключевые слова: идентификация параметров, метод наименьших квадратов, метод Качмажа, регрессионная модель.

Abstract: The paper presents the developed method of identification of parameters of the dynamic object of the first order on the basis of regression model with application of Kaczmage method. The method is tested on the model of the first-order object with preliminary imposition of the noise component on the signals used to solve the problem.

Keywords: parameter estimation, least squares method, Kaczmage method, regression model

Введение. Идентификация параметров динамических объектов автоматизированных производственных процессов является неотъемлемой частью реализации систем управления такими процессами или их частями. Например, при построении систем управления электроприводами важно иметь предварительную информацию о параметрах двигателя, чтобы адекватно настроить систему, а затем определять текущее состояние параметров, так как они изменяются в ходе работы от температуры, износа или переменного типа нагрузки [1]. При этом зачастую для прямого измерения доступны только переменные состояния – напряжение, поданное на двигатель, и токи, протекающие в обмотках.

Таким образом, появляется необходимость в идентификации параметров объекта управления по имеющимся данным, поступающим с датчиков.

Построение метода идентификации на основе регрессионной модели. При разработке метода идентификации параметров динамического объекта необходимо следовать следующим требованиям:

1. Метод должен быть максимально простой в реализации, чтобы его можно было воссоздать на основе микропроцессов любой вычислительной мощности.

2. Точность оценок параметров, полученных в ходе идентификации, должна быть допустимой в инженерной практике.

3. Процесс идентификации параметров должен быть устойчив вне зависимости от динамики процесса.

4. Разработанный метод должен быть работоспособен, несмотря на наличие помех в измерительных каналах.

Разработка метода идентификации сводится к решению задачи минимизации суммы квадратов отклонений объясняющей модели от экспериментальных входных данных $S(t_k, x_1, x_2, \dots, x_n) = \sqrt{(F(t_k, x_1, x_2, \dots, x_n) - B_k)^2}$, где B_i – экспериментальные входные данные, k – текущая итерация процесса идентификации, $F(t_k, x_1, x_2, \dots, x_n)$ – математическая запись объясняющей модели, зависящей от времени t_k и параметров объекта $x_1, x_2, \dots, x_n$. Соответственно, необходимо найти параметры объясняющей модели $x_1, x_2, \dots, x_n$.

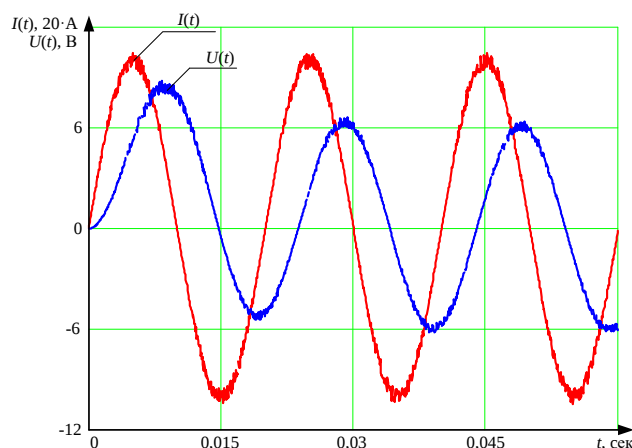


Рис. 1. Переходные процессы поданного напряжения $U(t)$ и тока $I(t)$ протекающего в RL -цепочке

Для этого воспользуемся методом Качмажа, так как он имеет ряд преимуществ, самый важный из которых – это сходимость процесса нахождения неизвестных [2]. Для апробации метода идентификации и анализа его эффективности была построена математическая модель RL -цепочки, а также получены в аналитическом виде переходные процессы тока и напряжения, на которые была наложена 10-ти процентная шумовая составляющая в виде «белого» шума (рис. 1). Данные модели следующие: активное сопротивление $R = 10$ Ом, индуктивность $L = 0,1$ Гн, входное напряжение подаваемое на RL -цепочку $U(t) = U_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$, где $U_{\max} = 10$ В – амплитудное значение входного напряжения, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, $f = 50$ Гц – частота входного напряжения. Математическое описание такой цепи представлено ниже:

$$U(t) = I(t) \cdot R + \frac{dI(t)}{dt} \cdot L, \quad (1)$$

где $I(t)$ – ток, протекающий в RL -цепи.

Исходя из математического описания (1), сформируем объясняющую модель $F(t, R, L) = I(t) \cdot R + \frac{dI(t)}{dt} \cdot L$ зависящую от параметров цепи R и L , которые необходимо определить. Экспериментальные входные данные, $B_k = U(t_k)$. Реализация листинга программы идентификации параметров RL -цепи на основе регрессионной модели с применением метода приведен на рисунке 2, где R_{est} – оценка параметра R , L_{est} – оценка параметра L , $DI(t)$ – производная тока протекающего в RL -цепи.

```
(R_est L_est) := for i ∈ 1..2000
|
| FUNCoher_i ←  $\frac{\sum_{s=i-1}^i (U(t_s) \cdot I(t_s)) - \sum_{s=i-1}^i I(t_s)^2 \cdot R_{\text{est}_{i-1}} - \sum_{s=i-1}^i (I(t_s) \cdot DI(t_s)) \cdot L_{\text{est}_{i-1}}}{\left( \sum_{s=i-1}^i I(t_s)^2 \right)^2 + \left[ \sum_{s=i-1}^i (I(t_s) \cdot DI(t_s)) \right]^2}$ 
|
| R_est_i ← R_est_{i-1} + FUNCoher_i ·  $\sum_{s=i-1}^i I(t_s)^2$ 
|
| L_est_i ← L_est_{i-1} + FUNCoher_i ·  $\sum_{s=i-1}^i (I(t_s) \cdot DI(t_s))$ 
|
| (R_est L_est)
```

Рис. 2. Листинг разработанного метода идентификации параметров динамического объекта

На рисунке 3 представлены переходные процессы нахождения параметров R и L . Значения на последней итерации составили $R_{\text{est}} = 9,995$ Ом и $L_{\text{est}} = 0,109$ Гн. Погрешность относительно реальных значений R и L составили 0,05 и 9 процентов, соответственно. Большая погрешность при нахождении индуктивности обусловлена импульсными значениями в переходном процессе идентификации, таким образом, значения на разных шагах итераций, как видно из рисунка 3, могут сильно отличаться друг от друга. Для устранения этого эффекта воспользуемся нелинейным прогнозирующим фильтром, представленным в работе [3]. После применения данного фильтра оценка индуктивности $L_{\text{est}} = 0,102$, соответственно, погрешность 2 %. На рисунке 4 представлен итерационный процесс нахождения указанных параметров.

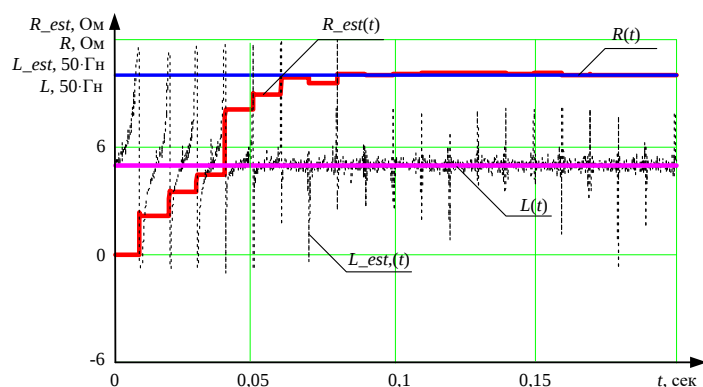


Рис. 3. Переходные процессы оценок параметров R и L

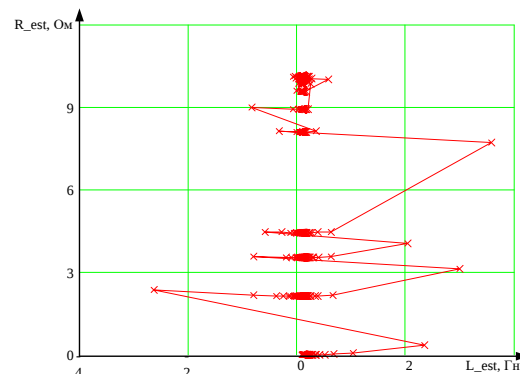


Рис. 4. Итерационный процесс нахождения параметров R и L динамического объекта первого порядка

Заключение. Предложен метод идентификации параметров динамического объекта первого порядка на основе регрессионной модели с применением метода Качмажа. Разработанный метод позволяет получить устойчивые оценки параметров RL -цепи с погрешностью не более 2 %, несмотря на то, что на используемые для решения сигналы были наложены 10-ти процентные шумовые составляющие. Дальнейшее развитие данного метода идентификации позволит получать оценки параметров объектов управления более высокого порядка.

Список использованных источников:

1. Каширских В.Г. Динамическая идентификация параметров и управление состоянием электродвигателей приводов горных машин: дис. ... доктор тех. наук. – Кемерово, 2005. – 335 с.
2. Ильин В.П. Итерационные предобусловленные методы в подпространствах Крылова: тенденции XXI века / В.П. Ильин // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2021. – Т. 61. – № 11. – С. 1786–1813. – URL: <https://doi.org/10.31857/S0044466921110090>.
3. Боловин Е.В. Разработка алгебраических методов идентификации параметров асинхронных двигателей на основе дискретных моделей: дис. ... канд. техн. наук – Томск, 2018. – 271 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ЭНЕРГЕТИКЕ

М.Д. Лызин^а, студент гр. 153

научный руководитель: Макаров С.В., заведующий отделом по УМР
ГПОУ «Юргинский технологический колледж» имени Павлючкова Г.А.
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Заводская, 18
E-mail: ^аsergmakarov21@mail.ru

Аннотация: в статье рассматриваются возможности применения технологии блокчейн в энергетической отрасли для повышения эффективности, прозрачности и безопасности энергетических систем. Анализируются различные сценарии использования блокчейна, включая децентрализованные энергетические рынки, управление возобновляемыми источниками энергии, отслеживание происхождения энергии и автоматизацию платежей.

Abstract: this article explores the potential of blockchain technology in the energy sector to enhance the efficiency, transparency, and security of energy systems. It analyzes various blockchain use cases, including decentralized energy markets, management of renewable energy sources, energy origin tracking, and payment automation.

Ключевые слова: блокчейн, информационные технологии, энергетика, транзакции.

Keywords: blockchain, information technology, energy, transactions.

Человечество всегда стремилось работать эффективно. Это доказывается политическими и социальными структурами общества на протяжении тысячелетий. Например, на протяжении долгого времени использовался рабский труд. На сегодняшний день общество отказалось от этого и перешло к наёмному труду. Однако актуальность в потребности автоматизировать труд всегда была.