

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ПРОЕКЦИОННОГО АЛГОРИТМА

Иванов К.М.¹, Кулеш Ю.О.², Глазырин А.С.³

Научный руководитель: Боловин Е.В.⁴

¹ НИ ТПУ, ИШЭ, гр. 5А17, студент, e-mail: kmi4@tpu.ru

*² НИ ТПУ, Отделение автоматизации и робототехники, зав. Лабораторией,
e-mail: yok13@tpu.ru*

³ НИ ТПУ, ИШЭ, профессор, д.т.н., e-mail: asglazyrin@tpu.ru

⁴ НИ ТПУ, ИШЭ, доцент, к.т.н., e-mail: orange@tpu.ru

Аннотация

В статье представлен разработанный метод идентификации параметров двигателя постоянного тока на основе проекционного алгоритма. Приведены теоретические обоснования и математическая модель алгоритма.

Ключевые слова: идентификация параметров, двигатель постоянного тока, метод наименьших квадратов, проекционный алгоритм.

Введение

В настоящее время электропривод является неотъемлемой частью любого технологического процесса, при этом применение находят как асинхронные и синхронные электроприводы, так и электроприводы на основе двигателей постоянного тока. Согласно источнику [1] эффективность работы систем управления электроприводов зависит от достоверного знания оценок параметров электродвигателей, таких как активное сопротивление и индуктивность. При наладке электроприводов не всегда возможно измерить все параметры и зачастую их рассчитывают на основе каталожных данных по эмпирическим методикам. Полученные по этим методикам оценки значений параметров в свою очередь могут сильно отличаться от реальных значений. При этом значения параметров двигателя в течение работы могут меняться в зависимости от времени, например, в следствие изменения температурного состояния двигателя. Следовательно, есть объективная необходимость в определении оценок значений параметров электродвигателей непосредственно в процессе работы электропривода для следующих целей:

1. Корректной настройки системы управления электроприводом на этапе проектирования и в течение работы.
2. Непрерывной диагностики функционирования двигателя и прогнозирования остаточного ресурса электродвигателей.

Производить контроль за значениями параметров двигателей возможно, используя динамическую идентификацию параметров объектов на основе проекционного алгоритма. Данный подход позволяет найти оценки электромагнитных параметров двигателя. Суть подхода заключается в описании исследуемого динамического объекта с помощью дифференциальных уравнений (ДУ). Далее производится переход от ДУ к системе разностных уравнений. Система разностных уравнений записывается в матричном виде относительно вектора неизвестных параметров объекта. Решение обеспечивается на основе уравнений проекций.

Основная часть

Разработка метода идентификации сводится к нахождению минимума суммы квадратов отклонений объясняющей модели от экспериментальных входных данных (1).

$$S(t_k, x_1, x_2, \dots, x_n) = \sqrt{(F(t_k, x_1, x_2, \dots, x_n) - B_k)^2} \quad (1)$$

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 $x_1, x_2, \dots, x_n$. Для этого воспользуемся проекционным алгоритмом, основанным на методе Качмажа, данный подход обладает несколькими достоинствами, ключевым из которых является гарантированная сходимость при определении искомых величин [2].

Для этого рассмотрим математическую модель динамического объекта второго порядка на примере двигателя постоянного тока независимого возбуждения 2ПФ160МГУХЛ4 мощностью 16кВт [3]. Параметры двигателя приведены ниже:

номинальная мощность – $P_H = 16$ кВт; номинальное напряжение – $U_H = 220$ В; номинальная частота вращения вала двигателя – $n_H = 3150$ об/мин; КПД – $\eta = 87\%$; активное сопротивление обмотки якоря – $R_{оя} = 0.037$ Ом; активное сопротивление добавочных полюсов – $R_{дп} = 0.024$ Ом; активное сопротивление двигателя – $R_{дв} = 0.076$ Ом; индуктивность двигателя – $L_{дв} = 0.99$ мГн; конструктивный коэффициент – $c_{дв} = 0.648$ о.е.; момент инерции двигателя – $J_{дв} = 0.083$ кг·м².

Схема подключения ДПТ НВ к источнику постоянного напряжения представлена на рисунке 1.

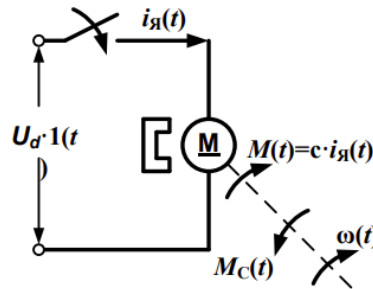


Рис. 1. Схема подключения ДПТ НВ к источнику постоянного напряжения

Схема замещения якорной цепи ДПТ НВ представлена на рисунке 2.

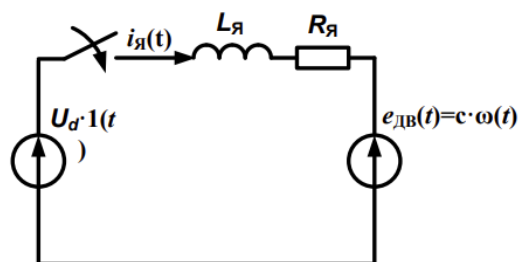


Рис.2. Схема замещения якорной цепи ДПТ НВ

Математическую модель ДПТ НВ можно составить из уравнения электрического равновесия якорной цепи. Уравнение электрического равновесия якорной цепи составим на основе второго закона Кирхгофа [4]:

$$U(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + c \cdot \omega(t) \quad (2)$$

где $U(t)$ – напряжение, приложенное к якорю, В; R – сопротивление якорной цепи, Ом; $i(t)$ – ток якоря, А; L – индуктивность якорной цепи, Гн; c – коэффициент, характеризующий связь между круговой частотой вращения якоря и электродвижущей силой движения $e(t)$, В·с / рад; $e(t) = c \cdot \omega(t)$ – электродвижущая сила (ЭДС) движения, В.

Исходя из математического описания (1), сформируем объясняющую модель, зависящую от параметров L_{dv} , R_{dv} , c_{dv} , которые необходимо определить:

$$F(i, \omega, t) = \frac{1}{L_{dv}} \cdot (U(t) - i(t) \cdot R_{dv} - \omega(t) \cdot c_{dv}) \quad (3)$$

где L_{dv} – индуктивность двигателя, Гн; R_{dv} – активное сопротивление, Ом; c_{dv} – конструктивный коэффициент.

Результаты

Реализация листинга программы идентификации параметров RL-цепи на основе регрессионной модели с применением метода приведена на рисунке 3, где A1 – оценка параметра R_{dv} , A2 – оценка параметра L_{dv} , A3 – оценка параметра c_{dv} , Di – производная тока.

```

(A1 A2 A3) := for i ∈ nac..NNB
|
|   
$$FUNCoth_{i-1} \leftarrow \frac{\sum_{s=i-pp}^i (U_n) - \sum_{s=i-pp}^i (\Pi_s) \cdot A1_{i-1} - \sum_{s=i-pp}^i (Di_s) \cdot A2_{i-1} - \sum_{s=i-pp}^i (\omega_s) \cdot A3_{i-1}}{\left[ \sum_{s=i-pp}^i (\Pi_s) \right]^2 + \left[ \sum_{s=i-pp}^i (Di_s) \right]^2 + \left[ \sum_{s=i-pp}^i (\omega_s) \right]^2}$$

|
|   
$$A1_i \leftarrow A1_{i-1} + FUNCoth_{i-1} \cdot \sum_{s=i-pp}^i (\Pi_s)$$

|   
$$A2_i \leftarrow A2_{i-1} + FUNCoth_{i-1} \cdot \sum_{s=i-pp}^i (Di_s)$$

|   
$$A3_i \leftarrow A3_{i-1} + FUNCoth_{i-1} \cdot \sum_{s=i-pp}^i (\omega_s)$$

|
| (A1 A2 A3)

```

Рис. 3. Листинг разработанного метода идентификации параметров ДПТ НВ

Переходные значения оценок представлены на рисунках 4-6. Значения на последней итерации составили $A1 = 0.075$ Ом, $A2 = 0.000989$ Гн и $A3 = 0.648$.

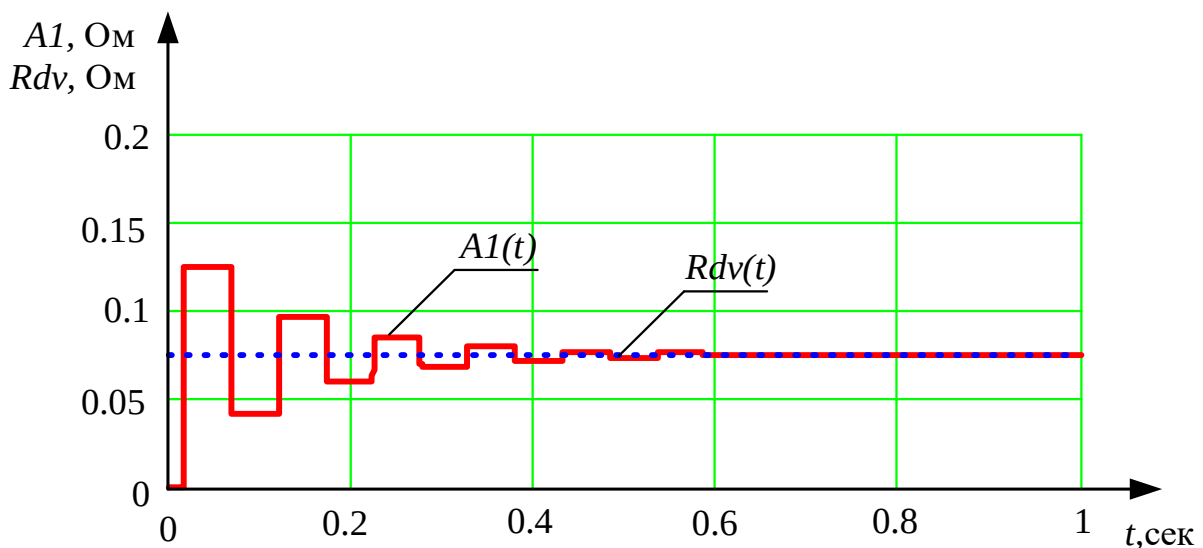


Рис. 4. Переходные процессы оценок параметра R_{dv}

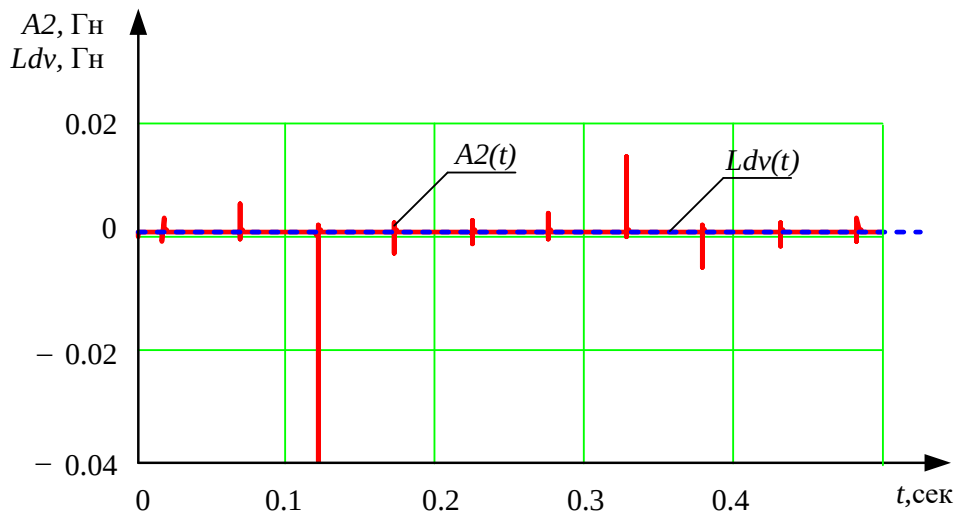


Рис. 5. Переходные процессы оценок параметра L_{dv}

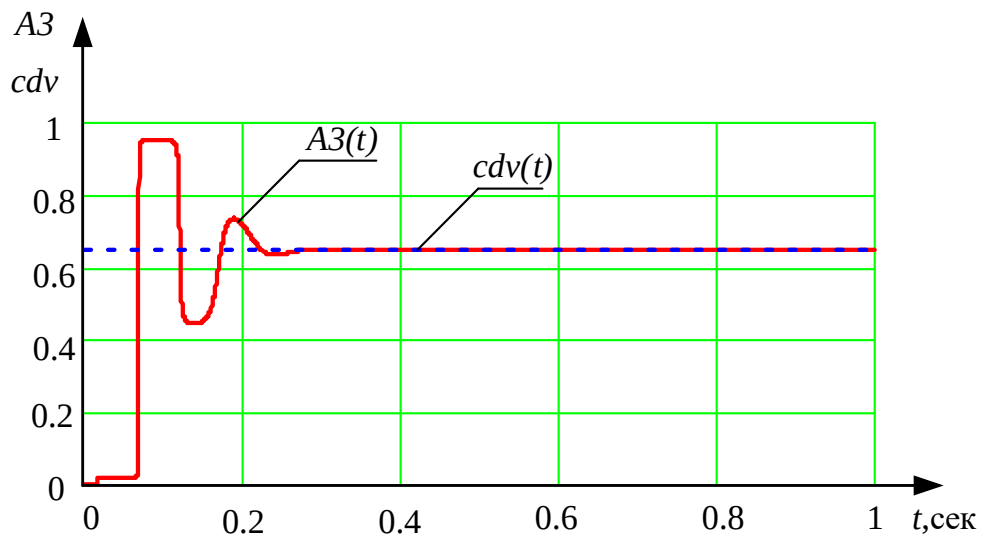


Рис. 6. Переходные процессы оценок параметра c_{dv}

Для оценки полученных результатов рассчитаем относительные погрешности найденных значений параметров:

$$\sigma_1 = \frac{|R_{dv} - A1|}{|R_{dv}|} \cdot 100 = \frac{|0.076 - 0.075|}{|0.076|} \cdot 100 = 1.3\% - \text{относительная погрешность активного}$$

сопротивления двигателя.

$$\sigma_2 = \frac{|L_{dv} - A2|}{|L_{dv}|} \cdot 100 = \frac{|9.9 \cdot 10^{-4} - 9.899 \cdot 10^{-4}|}{|9.9 \cdot 10^{-4}|} \cdot 100 = 0.01\% - \text{относительная погрешность}$$

индуктивности двигателя.

$$\sigma_3 = \frac{|c_{dv} - A3|}{|c_{dv}|} \cdot 100 = \frac{|0.648 - 0.6477664|}{|0.648|} \cdot 100 = 0.0003\% - \text{относительная погрешность}$$

конструктивного коэффициента.

Погрешности оценок параметров двигателя постоянного тока R_{dv} , L_{dv} и c_{dv} , составили не более 1.5 %.

Заключение

Предложен метод идентификации параметров двигателя постоянного тока на основе проекционного алгоритма. Разработанный метод позволяет получить устойчивые оценки параметров двигателя с погрешностью не более 1.5%. Высокая точность оценивания параметров, позволит корректно настраивать системы управления электроприводом на этапе проектирования и в течение работы. Дальнейшее развитие данного метода идентификации позволит получать оценки параметров более сложных объектов управления.

Список использованных источников

1. Глазырин А. С, Боловин Е.В. Идентификация параметров динамического объекта второго порядка алгебраическим методом: учебно-методическое пособие к проведению лабораторной работы по курсу «Моделирование в электроприводе». – Томск :Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 17 с.
2. Ильин В.П. Итерационные предобусловленные методы в подпространствах Крылова: тенденции XXI века // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2021. – Т. 61. – №11. – С. 1786-1813. [Электронные ресурс]. – URL: doi.org/10.31857/S0044466921110090 (дата обращения 19.02.2025).
3. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: учебное пособие – Издание 2-е переработанное и дополненное. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.
4. Глазырин А.С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы: учебное пособие – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 204 с.