

**ОПЕРАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СТАТОРА И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ РОТОРА АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ**

**Д.С.Однолько,**  
 Белорусский национальный технический университет,  
 пр-т Независимости, 65, Минск, 220013, Республика Беларусь.

*Синтезирован алгоритм идентификации активного статорного сопротивления и электромагнитной постоянной времени ротора асинхронного двигателя при неподвижном роторе. В основу наблюдателя положена математическая модель асинхронного двигателя в стационарной системе координат. Алгоритм основан на поэтапном применении рекуррентного метода наименьших квадратов, который гарантирует высокую точность оценки параметров за минимальное время. Для работы идентификатора необходимо располагать информацией об индуктивности статора, ротора и взаимной индуктивности. Результаты имитационного моделирования свидетельствуют об эффективности предложенного метода идентификации. Библ. 2, рис. 1.*

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, идентификация, метод наименьших квадратов.

Современный частотно-регулируемый электропривод (ЧРЭП) является интеллектуальной системой, обладающей возможностью самодиагностики и способной реализовать свои функции без постоянного вмешательства человека. Обеспечение такой автономности во многом зависит от точной информации о параметрах электромеханической системы асинхронной машины. К наиболее важным параметрам, во многом определяющим эффективность работы ЧРЭП, принято относить активное сопротивление статора и электромагнитную постоянную времени короткозамкнутого ротора. Проблема идентификации параметров нелинейных многомерных объектов с частично измеряемым вектором состояния до настоящего времени не имеет общего теоретического решения. При этом ряд подходов в решении данной задачи заимствован из теории оптимального управления без строго теоретического обоснования.

В работе [1] авторами отражены решения задачи идентификации, которые были предложены в зарубежной литературе в последние десятилетия. Среди них алгоритмы на основе расширенного фильтра Калмана, метода наименьших квадратов, метода частотных характеристик. Ряд решений предполагает применение теории адаптивных систем. Так алгоритм [1] синтезирован в виде адаптивного наблюдателя потокосцепления статора асинхронного двигателя (АД) и представляет собой динамическую систему девятого порядка. При этом в работе решается задача идентификации индуктивности статора и ротора (при условии их равенства), взаимной индуктивности и активного сопротивления ротора при известном сопротивлении статора. Алгоритм может быть использован как при однофазном возбуждении, так и при многофазном управлении АД. Недостатком метода является отсутствие процедуры расчета настроечных коэффициентов наблюдателя.

В настоящей работе синтезирован алгоритм идентификации электрических параметров АД (при известных значениях индуктивностей схемы замещения машины), который применим в режиме неподвижного ротора. В основу наблюдателя положен рекуррентный метод оценивания – алгоритм наименьших квадратов. При этом повышение эффективности алгоритма достигается за счет решения задачи в два шага. На первом выполняется идентификация активного сопротивления статора, после чего оценивается постоянная времени ротора с учетом данных на первом шаге. Сопротивление статора остается постоянным в процессе второй части теста. Так как интервал времени между двумя этапами во много раз меньше постоянной времени нагрева АД, то тепловые изменения в машине, которые в основном и определяют «дрейф» активных сопротивлений, не приводят к смещению оценок.

Система дифференциальных уравнений, соответствующая эквивалентной схеме замещения фазы АД в неподвижной относительно статора системе координат  $(a-b)$ , имеет вид

$$di_{s\alpha}/dt = -R_s(\sigma L_s)^{-1}i_{s\alpha} - \alpha(1 + L_m\beta)i_{s\alpha} + \alpha(\sigma L_s)^{-1}\psi_{s\alpha} + (\sigma L_s)^{-1}u_{s\alpha}; \quad d\psi_{s\alpha}/dt = -R_r i_{s\alpha} + u_{s\alpha}, \quad (1)$$

где  $i_{s\alpha}$ ,  $u_{s\alpha}$ ,  $\psi_{s\alpha}$  – ток, напряжение и потокосцепление статора по оси  $a$ . Параметры  $\sigma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  определены так

$$\sigma = 1 - L_m^2/L_s L_r, \quad \beta = L_m/\sigma L_s L_r, \quad \alpha = R_r/L_r = 1/T_r,$$

где  $R_s$ ,  $R_r$  – активные сопротивления статора и ротора;  $L_s$ ,  $L_r$ ,  $L_m$  – индуктивность статора, ротора и цепи намагничивания;  $T_r$  – постоянная времени короткозамкнутого ротора.

Вектор состояния системы (1) содержит переменную  $\psi_{s\alpha}$ , которая в большинстве ЧРЭП напрямую не измеряется. Поэтому после преобразований, направленных на исключение  $\psi_{s\alpha}$ , математическая модель (1) примет вид линейного дифференциального уравнения второго порядка относительно тока статора

$$0 = -\frac{d^2 i_{s\alpha}}{dt^2} - R_s(\sigma L_s)^{-1} \frac{d i_{s\alpha}}{dt} - \alpha(1 + L_m\beta) \frac{d i_{s\alpha}}{dt} - \alpha(\sigma L_s)^{-1} R_r i_{s\alpha} + \alpha(\sigma L_s)^{-1} u_{s\alpha} + (\sigma L_s)^{-1} \frac{d u_{s\alpha}}{dt}.$$

К сформированной модели применяется метод наименьших квадратов [2]. При этом задача синтеза наблюдателя строится на основании следующих критериев оптимальности:

$$F(R_s) = E^2(R_s) = (Z_S - \Psi(R_s))^T (Z_S - \Psi(R_s)) \rightarrow \min_{R_s}, \quad F(\alpha) = E^2(\alpha) = (Z_\alpha - \Psi(\alpha))^T (Z_\alpha - \Psi(\alpha)) \rightarrow \min_\alpha, \quad (2)$$

где  $E(R_s)$ ,  $E(\alpha)$  – ошибки измерений  $R_s$ ,  $\alpha$ . Параметры  $Z_S$ ,  $Z_\alpha$ ,  $\Psi_s$ ,  $\Psi_\alpha$  определены следующими выражениями:

$$Z_s = -\frac{d^2 i_{s\alpha}}{dt^2} - \alpha(1 + L_m \beta) \frac{di_{s\alpha}}{dt} + \alpha(\sigma L_s)^{-1} u_{s\alpha} + (\sigma L_s)^{-1} \frac{du_{s\alpha}}{dt}; \quad \Psi(R_s) = \left( (\sigma L_s)^{-1} \frac{di_{s\alpha}}{dt} + \alpha(\sigma L_s)^{-1} i_{s\alpha} \right) R_s = Q_s R_s;$$

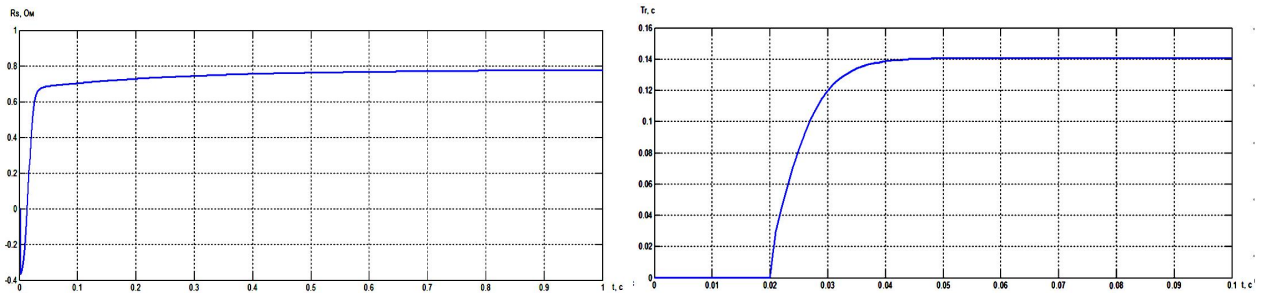
$$Z_\alpha = -\frac{d^2 i_{s\alpha}}{dt^2} + (\sigma L_s)^{-1} \frac{du_{s\alpha}}{dt} - (\sigma L_s)^{-1} R_s \frac{di_{s\alpha}}{dt}; \quad \Psi(\alpha) = \left( (1 + L_m \beta) \frac{di_{s\alpha}}{dt} - (\sigma L_s)^{-1} u_{s\alpha} + (\sigma L_s)^{-1} R_s i_{s\alpha} \right) \alpha = Q_\alpha \alpha.$$

Решение оптимизационной задачи (2) позволяет получить аналитическое выражение для оценки активного статорного сопротивления и величины обратной постоянной времени короткозамкнутого ротора:

$$R_s = R_s^{(0)} + (Q_s^T Q_s)^{-1} Q_s^T (Z_s - \Psi(R_s^{(0)})); \quad \alpha = \alpha^{(0)} + (Q_\alpha^T Q_\alpha)^{-1} Q_\alpha^T (Z_\alpha - \Psi(\alpha^{(0)})),$$

где  $R_s^{(0)}$ ,  $\alpha^{(0)}$  – начальные значения процедуры оценки.

Предложенный наблюдатель исследован методом имитационного моделирования. При исследовании начальные значения идентифицируемых параметров приняты нулевыми. Наблюдатель тестировался с АД модели АИР132М4, паспортные значения оцениваемых параметров:  $R_s=0,517$  Ом,  $T_r=0,22$  с. Моделирование проводилось для варианта, когда активные сопротивления АД выше номинальных на 50%. Результаты исследований показаны на рисунке в виде графиков протекания процедуры оценки.



По результатам работы алгоритма определены значения параметров  $R_s^*=0,776$  Ом,  $T_r^*=0,14$  с. При этом погрешность в оценке сопротивления статора – менее 1%, электромагнитной постоянной времени ротора – около 5%.

Таким образом, синтезированный наблюдатель позволяет эффективно решать задачу оценки наиболее важных параметров схемы замещения машины в режиме неподвижного ротора, при этом предполагаются известными значения индуктивностей обмоток АД.

1. Пересада С.М., Серета А.Н. Новый алгоритм идентификации электрических параметров асинхронного двигателя на основе адаптивного наблюдателя полного порядка // Техн. электродинамика. – 2005. – №5. – С. 32–40.

2. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. – М.: Наука, 1984. – 320 с.

УДК 621.34.001.573

**ОПЕРАТИВНЕ ВИЗНАЧЕННЯ АКТИВНОГО ОПОРУ СТАТОРА І ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ РОТОРА АСИНХРОННОЇ МАШИНИ**

**Д.С.Однолько,**

**Білоруський національний технічний університет, пр. Незалежності, 65, Мінськ, 220013, Республіка Білорусь.**

*Синтезовано алгоритм ідентифікації активного статорного опору та електромагнітної постійної часу ротора асинхронного двигуна при нерухомому роторі. В основу спостеріача покладено математичну модель асинхронного двигуна у стаціонарній системі координат. Алгоритм базується на поетапному використанні рекурентного методу найменших квадратів, який гарантує високу точність оцінки параметрів за мінімальний час. Для роботи ідентифікатора необхідно мати інформацію щодо індуктивності статора, ротора і взаємної індуктивності. Результати імітаційного моделювання свідчать про ефективність методу ідентифікації. Бібл. 2, рис. 1.*

**Ключові слова:** асинхронний двигун, ідентифікація, метод найменших квадратів.

**IDENTIFICATION STATOR RESISTANCE AND ROTOR TIME CONSTANT OF INDUCTION MACHINE**

**D.S.Odnolka,**

**Belarusian National Technical University, Nezavisimosti ave, 65, Minsk, 220013, Belarus.**

*Synthesized algorithm for the active resistance stator and rotor time constant induction motor with a fixed rotor. The basis of the observer laid the mathematical model of asynchronous motor in stationary coordinate system. The algorithm is based on the phased application of recursive least squares method which guarantees high accuracy of the parameter estimates for the minimum time. To use the identifier to have information on the inductance of stator, rotor and mutual inductance. Simulation results show the effectiveness of the proposed method of identification. References 2, figure 1.*

**Key words:** induction motor, identification, least squares method.

1. Peresada S.M., Sereda A.N. A new identification algorithm of electric parameters an induction motor based on adaptive full-order observer // Tekhnichna elektrodynamika. – 2005. – №5. – Pp. 32–40. (Rus)

2. Tsypkin Ya.Z. Bases of information theory of identification. – Moskva: Nauka, 1984. – 320 p. (Rus)

Надійшла 04.01.2012

Received 04.01.2012