

# Методика идентификации параметров асинхронной машины с короткозамкнутым ротором на основе нечеткой логики

Однолько Д.С.

«ЭАПУ и ТК», ФИТР

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: odnolkod@tut.by

**Аннотация** — Точная оценка электромагнитных параметров асинхронного двигателя важна из-за их изменения в процессе эксплуатации. В данной работе предлагается использовать нечеткую логику для оперативной идентификации статорного сопротивления асинхронной машины.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель; идентификация параметров; нечеткая логика

## I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время асинхронные двигатели широко используются в качестве самых надежных электрических машин. Это связано с их высокой производительностью, высокой перегрузочной способностью, дешевизной и надежностью. Тем не менее, на протяжении работы асинхронной машины, статорное сопротивление изменяется непрерывно с температурой рабочей машины. В высокопроизводительных электроприводах, изменение статорного сопротивления от температуры может стать одним из препятствий для эффективного управления асинхронной машиной, так как ошибка в его оценке может привести к ошибке в оценке роторного сопротивления [1]. Кроме того, несоответствие между фактическим и расчетным потокоцеплением ротора будет приводить к ошибке между фактическим и расчетным крутящим моментом двигателя, что в свою очередь может привести к отказу в работе привода [2]. В последние годы были предложены многочисленные методы для оценки изменения статорного сопротивления [3,4]. Однако за последние десятилетия такой инструмент как нечеткая логика все более широко применяется в процессах управления, диагностики и идентификации [5]. В данной работе нечеткая техника предлагается для точной оценки изменения сопротивления статора.

## II. МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

### A. Стандартная модель асинхронного двигателя в осях совмещенных с ротором

В основу алгоритма положена математическая модель асинхронного двигателя (АД) в системе координат  $(d-q)$  неподвижной относительно вращающегося ротора. Уравнения динамики электрической части АД при этом имеют вид [6]:

$$\begin{aligned} di_{sd}/dt &= u_{sd}/\sigma L_s - \gamma i_{sd} + \beta \psi_{rd}/T_r + n_p \beta \omega \psi_{rq} + n_p \omega i_{sq}; \\ di_{sq}/dt &= u_{sq}/\sigma L_s - \gamma i_{sq} + \beta \psi_{rq}/T_r - n_p \beta \omega \psi_{rd} - n_p \omega i_{sd}; \\ d\psi_{rd}/dt &= L_m i_{sd}/T_r - \psi_{rd}/T_r; \\ d\psi_{rq}/dt &= L_m i_{sq}/T_r - \psi_{rq}/T_r, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $i_{sd}$ ,  $u_{sd}$ ,  $i_{sq}$ ,  $u_{sq}$  – ток и напряжение статора,  $\psi_{rd}$ ,  $\psi_{rq}$  – потокоцепление ротора;  $\sigma = 1 - L_m^2/L_s L_r$ ,  $\beta = L_m/\sigma L_s L_r$ ;  $\gamma = 1/\sigma L_s (R_s + L_m^2/T_r L_r)$  – общепринятое определение положительных констант;  $R_s$  – активное сопротивление статора;  $L_s$ ,  $L_r$ ,  $L_m$  – индуктивность статора, ротора и намагничивающего контура,  $T_r$  –

постоянная времени короткозамкнутого ротора,  $\omega$  – угловая скорость ротора.

### B. Линеаризованная параметрическая модель

После преобразований системы (1), направленных на исключение недоступных для измерения переменных  $\psi_{rd}$ ,  $\psi_{rq}$ , система уравнений (1) примет вид:

$$\bar{Z} = \bar{\Psi}(R_s, i_{dq}, u_{dq}) + \bar{E}. \quad (2)$$

Здесь

$$\bar{Z} = \begin{pmatrix} -d^2 i_{sd}/dt^2 + n_p \omega \frac{di_{sq}}{dt} + \frac{1}{\sigma L_s} \frac{du_{sd}}{dt} - \frac{\beta L_m + 1}{T_r} \left( \frac{di_{sd}}{dt} - i_{sq} n_p \omega \right) + \frac{u_{sd}}{\sigma L_s T_r} \\ -d^2 i_{sq}/dt^2 - n_p \omega \frac{di_{sd}}{dt} + \frac{1}{\sigma L_s} \frac{du_{sq}}{dt} - \frac{\beta L_m + 1}{T_r} \left( \frac{di_{sq}}{dt} + i_{sd} n_p \omega \right) + \frac{u_{sq}}{\sigma L_s T_r} \end{pmatrix},$$

$$\bar{\Psi}(R_s, i_{dq}, u_{dq}) = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} \frac{di_{sd}}{dt} + \frac{1}{T_r \sigma L_s} i_{sd} \\ \frac{1}{\sigma L_s} \frac{di_{sq}}{dt} + \frac{1}{T_r \sigma L_s} i_{sq} \end{pmatrix} \times R_s = \bar{Q} \times R_s,$$

где  $\bar{E}$  – вектор ошибок измерений.

## III. НАБЛЮДАТЕЛЬ АКТИВНОГО СТАТОРНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

### A. Базовый алгоритм нечеткой идентификации

Для проведения идентифицирующего теста асинхронной машины целесообразно пользоваться методами, которые специально ориентированы на построение моделей, учитывающих неполноту и неточность исходных данных. Именно в таких ситуациях технология нечеткого моделирования оказывается наиболее конструктивной.

Реализация алгоритма наблюдателя на нечеткой логике включает в себя этапы [7]:

- определяются входные и выходные лингвистические переменные (ЛП);
- формируется база правил системы нечеткого вывода;
- выполняется фаззификация (введение нечеткости);
- агрегирование (определение степени истинности условий по каждому правилу системы нечеткого вывода);
- активизация (нахождение степени истинности каждого из подзаключений правил нечетких продукций);
- аккумуляция (нахождение функции принадлежности для каждой из выходных ЛП);
- дефаззификация (нахождение нечеткого значения для каждой из выходных ЛП).

### B. Алгоритм нечеткого наблюдателя статорного сопротивления

Оценка статорного сопротивления проводится на основе информации об ошибке измерений  $\bar{E}$  вектора

состояния АД по двум осям ( $d, q$ ) и информации о величине управляющих сигналов согласно выражению (2). Вектор состояния системы доступен для измерения частично: измеряются вектор тока статора  $i_{dq}^T = [i_d, i_q]$  и угловая скорость ротора  $\omega$ ; вектор потокосцепления ротора для измерения недоступен. Управляющими сигналами являются компоненты двумерного вектора напряжения статора  $u_{dq}^T = [u_d, u_q]$ .

Таким образом, входные сигналы нечеткого наблюдателя определяются согласно следующим выражениям:

$$\begin{aligned} e_d(k) &= Z_d(k) - Q_d(k) \times R_s(k), \\ e_q(k) &= Z_q(k) - Q_q(k) \times R_s(k), \\ E^T(k) &= [e_d(k), e_q(k)]. \end{aligned} \quad (3)$$

Так как зависимость между активным статорным сопротивлением и вектором состояния системы нелинейная, то она может быть реализована в виде системы на основе нечеткой логики, поскольку она не требует какой либо математической модели. На рисунке 1 показано, как эта оценка на основе нечеткой логики будет работать в целях выявления изменения в сопротивлении статора.

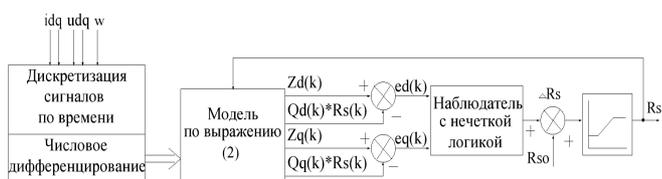


Рис. 1. Идентификация активного статорного сопротивления на основе нечеткого наблюдателя

База правил системы нечеткого вывода представлена на рисунке 2.

		ed(k)							
		NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL	
eq(k)	NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	Z	
	NM	NL	NL	NL	NM	NS	Z	PS	
	NS	NL	NL	NM	NS	Z	PS	PM	
	Z	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL	
	PS	NM	NS	Z	PS	PM	PL	PL	
	PM	NS	Z	PS	PM	PL	PL	PL	
	PL	Z	PS	PM	PL	PL	PL	PL	

Рис. 2 База правил нечеткого вывода наблюдателя

#### IV. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЕ

На основании алгоритма (рисунок 1) разработана модель в среде MATLAB/SIMULINK. Исследование проводилось путем математического имитационного моделирования. В качестве объекта исследования выбран двигатель АИР132М4 со следующими номинальными параметрами:  $P_{ном}=11$  кВт;  $L_m=0.0857$  Гн;  $L_r=0.0885$  Гн;  $L_s=0.0885$  Гн;  $R_s=0.517$  Ом;  $R_r=0.394$  Ом;  $J=0.04$  кг·м<sup>2</sup>;  $n_p=2$ .

Структура имитационной модели включает модель трехфазного АД с короткозамкнутым ротором, источник трехфазного синусоидального напряжения, подсистему идентификации активного статорного сопротивления, устройства регистрации переменных и блок квантования измеряемых сигналов (ток, напряжения, скорость) по времени. Подсистема идентификации организована в виде отдельно

написанного файла в пакете Fuzzy Logic Toolbox, который имитирует работу нечеткого контроллера, реализующего функцию нечеткого наблюдателя.

Моделирование наблюдателя активного статорного сопротивления на основе нечеткой логики показало зависимость качества процесса идентификации от выбора типа и значений функций принадлежности для термов входных и выходных переменных сформированной системы нечеткого вывода.

К достоинствам данного метода идентификации относится отсутствие сложного математического аппарата, что снижает риск возникновения ошибок в микропроцессорной системе управления электроприводом. Структура наблюдателя позволяет реализовать человеческий опыт и знания в стратегии автоматического контроля над состоянием электрической машины.

Наличие датчика скорости в разработанной системе сужает область ее применения и не позволяет решать широкий круг задач в системах бездатчикового управления. Оптимизация и отработка разработанного алгоритма оценивания должна идти по пути перехода к системе идентификации, где скорость должна быть оценена косвенно, на основании измеряемых переменных двигателя.

[1] С.М. Пересада, А.Н. Серда Оценка параметров асинхронного двигателя при известном активном сопротивлении статора // Системы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Вестник НТУ «ХПИ». Выпуск 43. –2004. – С. 28-31.

[2] А. В. Волков, Ю. С. Скалько, Идентификация потокосцепления ротора и скорости асинхронного двигателя с учетом изменений его активных сопротивлений // Электротехника. – 2009. – №11. – С. 2-12.

[3] В.Г. Макаров, Ю.А. Яковлев Анализ состояния и перспективы развития работ по идентификации параметров электрических машин // Вестник Казанского технологического университета. □ 2011. □ № 1. □ С. 134-144.

[4] H.A.Toliyat, E.Levi, and M.Raina, "A Review of RFO Induction Motor Parameter Estimation Techniques," IEEE Trans. Energy Conv., vol.18, no.2, pp. 271-283, June 2003.

[5] B.K.Bose, "Expert System, Fuzzy Logic, and Neural Network Applications in Power Electronics and Motion Control," Proc. of the IEEE, vol.82, pp. 1303-1323, 1994.

[6] W. Kaiyu, J. Chiasson, M. Bodson, L. Tolbert An online rotor time constant estimator for the induction machine // IEEE Trans. on Control Systems Technology. Vol. 15, 2007. □ No. 2. □ P. 339-348.

[7] А.В. Леоненков Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.: ил.