
АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

1. Введение

Алгоритмы векторного управления асинхронными двигателями (АД) синтезируются на основе динамической модели обобщённой электрической машины. Качество управления координатами, а в случае управления без измерения угловой скорости также и устойчивость, зависят от точности информации о параметрах модели АД. Поэтому большинство серийных электроприводов ведущих производителей имеют стандартную функцию определения параметров АД при инициализации системы (процедура "self-commissioning"), хотя определённого теоретически обоснованного решения этой проблемы до настоящего времени не существует.

АД описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений пятого порядка, в которой неизвестными являются пять электрических параметров (индуктивности и активные сопротивления статора и ротора, взаимная индуктивность), а также два механических параметра (приведенный момент инерции и коэффициент вязкого трения). Момент нагрузки обычно также неизвестен. Вектор состояния доступен для измерения частично: измеряются вектор тока статора, а также угловая скорость (при управлении с датчиком скорости), в то время как вектор потокосцепления для измерения недоступен.

Проблема идентификации параметров многомерных нелинейных объектов с частично измеряемым вектором состояния, к которым относится АД, до настоящего времени не имеет общетеоретического решения, поэтому большинство предложенных технических решений базируется на упрощённых подходах. К таким решениям относится результат [1], в этой же статье дан обзор основных подходов, используемых для определения параметров АД.

Лишь ограниченное число аналитически обоснованных алгоритмов идентификации параметров АД представлено в литературе, анализ которых дан в [2]. В [3] предложен алгоритм, основанный на специальной структуре параллельного адаптивного наблюдателя с расширенным вектором состояния, который позволяет оценивать все электрические параметры АД, а также неизмеряемый вектор потокосцепления. Сложность структуры наблюдателя и отсутствие конструктивной процедуры настройки затрудняет его использование на практике. Аналогичная задача решена в [4] с использованием прямого адаптивного управления потоком статора АД при его однофазном возбуждении. Алгоритмы [3] и [4] не могут быть применены для проведения тестов при вращающемся двигателе с управлением всеми фазами статора АД. В [2] впервые синтезирован унифицированный алгоритм идентификации электрических параметров АД,

который может быть использован как при однофазном управлении (неподвижном роторе), так и при полнофазном управлении с вращающимся ротором.

В настоящей статье результат [2] распространён на случай идентификации как электрических, так и механических параметров АД.

2. Постановка задачи идентификации

Стандартная двухфазная динамическая модель симметричного АД, представленная в системе координат статора АД, имеет вид

$$\begin{aligned}
 \dot{\omega} &= \mu(\psi_{2a}i_{1b} - \psi_{2b}i_{1a}) - \frac{\nu}{J}\omega - \frac{M_c}{J} \\
 \dot{i}_{1a} &= -\gamma i_{1a} + \alpha\beta\psi_{2a} + \beta\omega n_p\psi_{2b} + \frac{1}{\sigma}u_{1a} \\
 \dot{i}_{1b} &= -\gamma i_{1b} + \alpha\beta\psi_{2b} - \beta\omega n_p\psi_{2a} + \frac{1}{\sigma}u_{1b} \\
 \dot{\psi}_{2a} &= -\alpha\psi_{2a} - \omega n_p\psi_{2b} + \alpha L_m i_{1a} \\
 \dot{\psi}_{2b} &= -\alpha\psi_{2b} + \omega n_p\psi_{2a} + \alpha L_m i_{1b},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где (i_{1a}, i_{1b}) , (u_{1a}, u_{1b}) , (ψ_{2a}, ψ_{2b}) – компоненты векторов тока и напряжения статора, а также потокосцепления ротора, ω – угловая скорость ротора, M_c – момент нагрузки, n_p – число пар полюсов, J – суммарный момент инерции механической части АД, ν – коэффициент вязкого трения.

В (1) использовано общепринятое определение положительных констант

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right), \quad \alpha = \frac{R_2}{L_2}, \quad \beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}, \quad \gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta, \quad \mu = \frac{3}{2} n_p \frac{L_m}{L_2} \frac{1}{J}, \tag{2}$$

где R_1, R_2, L_1, L_2 – активные сопротивления и индуктивности статора и ротора соответственно, L_m – индуктивность намагничивающего контура.

В общем случае в нелинейной модели АД необходимо идентифицировать пять электрических параметров $(R_1, R_2, L_1, L_2, L_m)$, а также три механических (μ, ν, M_c) . Решения задачи идентификации восьми неизвестных параметров модели (1) при измерении только токов статора и угловой скорости до настоящего времени не найдено. Вместе с тем, существенного упрощения рассматриваемой задачи можно достичь, если её решать в два шага. На первом выполняется идентификация параметров электрической части, после чего оцениваются механические параметры в предположении, что электрические параметры оценены точно и остаются постоянными в процессе второй части теста. Такое разделение является естественным для физической декомпозиции модели АД (1) на механическую (первое уравнение) и

электрическую (последние четыре) подсистемы. При дальнейшем рассмотрении будет использовано свойство пассивности модели (1), из которого следует, что при ограниченных управляющих напряжениях u_{1a}, u_{1b} , имеющих также ограниченную первую производную, существует некоторое ограниченное значение M_c , при котором решения системы (1) являются ограниченными с ограниченной первой производной. Отметим также, что траектории изменения u_{1a}, u_{1b} ограничены теми, которые не нарушают физику электромеханического преобразования энергии в части амплитудных значений вектора потокосцепления ротора.

Рассмотрим следующую задачу идентификации. Для модели АД, заданной (1) справедливы следующие допущения:

А.1. Неизвестные параметры постоянны.

А.2. Вектор состояния (1) в процессе теста ограничен и имеет ограниченную производную.

А.3. Индуктивности рассеивания статора и ротора равны, тогда $L_1 = L_2$.

А.4. Активные сопротивления статора определяются на первой стадии теста по закону Ома при питании обмотки статора постоянным током, тогда при $u_{1a} = \text{const}$, $u_{1b} = 0$ для (1) справедливо

$$\lim_{t \rightarrow \infty} i_{1a} = \frac{u_{1a}}{R_1}, \lim_{t \rightarrow \infty} i_{1b} = 0.$$

В этих условиях необходимо синтезировать алгоритм идентификации, асимптотически оценивающий неизвестные параметры $L_1 = L_2, L_m, R_2, J, \nu, M_c$.

3. Идентификация электрических параметров

Для целей идентификации определим следующие параметры

$$b = d\alpha; d = \frac{1}{\sigma}; \gamma_0 = \alpha L_m \beta + \alpha,$$

из которых с помощью (2) рассчитываются физические параметры АД.

В [2] предложен адаптивный наблюдатель потокосцепления статора полного порядка в виде

$$\begin{aligned}
\dot{\hat{\psi}}_{1a} &= -\mathbf{R}_1 \hat{\mathbf{i}}_{1a} + \mathbf{u}_{1a} + \mathbf{k}_f \tilde{\mathbf{i}}_{1a} \\
\dot{\hat{\psi}}_{1b} &= -\mathbf{R}_1 \hat{\mathbf{i}}_{1b} + \mathbf{u}_{1b} + \mathbf{k}_f \tilde{\mathbf{i}}_{1b} \\
\dot{\hat{\mathbf{i}}}_{1a} &= -\hat{\gamma}_0 \hat{\mathbf{i}}_{1a} - \omega \mathbf{n}_p \hat{\mathbf{i}}_{1b} + \hat{\mathbf{b}} \hat{\psi}_{1a} + \hat{\mathbf{d}} \mathbf{f}_a + \mathbf{k}_i \tilde{\mathbf{i}}_{1a} + \hat{\mathbf{d}} \omega \mathbf{n}_p \hat{\psi}_{1b} \\
\dot{\hat{\mathbf{i}}}_{1b} &= -\hat{\gamma}_0 \hat{\mathbf{i}}_{1b} + \omega \mathbf{n}_p \hat{\mathbf{i}}_{1a} + \hat{\mathbf{b}} \hat{\psi}_{1b} + \hat{\mathbf{d}} \mathbf{f}_b + \mathbf{k}_i \tilde{\mathbf{i}}_{1b} - \hat{\mathbf{d}} \omega \mathbf{n}_p \hat{\psi}_{1a} \\
\dot{\hat{\psi}}_{1a} &= -(\mathbf{R}_1 + \mathbf{k}_f) \tilde{\mathbf{i}}_{1a} - \gamma_4 \omega \mathbf{n}_p \tilde{\mathbf{i}}_{1b} \\
\dot{\hat{\psi}}_{1b} &= -(\mathbf{R}_1 + \mathbf{k}_f) \tilde{\mathbf{i}}_{1b} + \gamma_4 \omega \mathbf{n}_p \tilde{\mathbf{i}}_{1a} \\
\dot{\hat{\mathbf{b}}} &= \gamma_1 (\hat{\psi}_{1a} \tilde{\mathbf{i}}_{1a} + \hat{\psi}_{1b} \tilde{\mathbf{i}}_{1b}) \\
\dot{\hat{\mathbf{d}}} &= \gamma_2 (\mathbf{f}_{1a} \tilde{\mathbf{i}}_{1a} + \mathbf{f}_{1b} \tilde{\mathbf{i}}_{1b}) \\
\dot{\hat{\gamma}}_0 &= -\gamma_3 (\tilde{\mathbf{i}}_{1a} \hat{\mathbf{i}}_{1a} + \tilde{\mathbf{i}}_{1b} \hat{\mathbf{i}}_{1b}),
\end{aligned} \tag{3}$$

где $\hat{\psi}_{1a}, \hat{\psi}_{1b}, \hat{\mathbf{i}}_{1a}, \hat{\mathbf{i}}_{1b}$ – оцененные значения компонент векторов потокосцепления статора и тока статора, $\hat{\mathbf{b}}, \hat{\mathbf{d}}, \hat{\gamma}_0$ – оценки неизвестных параметров $\mathbf{b}, \mathbf{d}, \gamma_0$, $\tilde{\mathbf{i}}_{1a} = \mathbf{i}_{1a} - \hat{\mathbf{i}}_{1a}, \tilde{\mathbf{i}}_{1b} = \mathbf{i}_{1b} - \hat{\mathbf{i}}_{1b}$; $\hat{\psi}_{1a}, \hat{\psi}_{1b}$ – вспомогательные переменные; $(\mathbf{k}_f, \mathbf{k}_i, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) > 0$ настроечные коэффициенты наблюдателя, $\mathbf{f}_a = -\mathbf{R}_1 \hat{\mathbf{i}}_{1a} + \omega \mathbf{n}_p \hat{\psi}_{1b} + \omega \mathbf{n}_p \hat{\psi}_{1b} + \mathbf{u}_{1a}$, $\mathbf{f}_b = -\mathbf{R}_1 \hat{\mathbf{i}}_{1b} - \omega \mathbf{n}_p \hat{\psi}_{1a} - \omega \mathbf{n}_p \hat{\psi}_{1a} + \mathbf{u}_{1b}$.

Адаптивный наблюдатель (3) при выполнении условий персистентности возбуждения гарантирует асимптотичность оценивания переменных и идентификации параметров, т.е.:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\hat{\psi}_{1a}, \hat{\psi}_{1b}, \hat{\mathbf{i}}_{1a}, \hat{\mathbf{i}}_{1b}) = \lim_{t \rightarrow \infty} (\psi_{1a}, \psi_{1b}, \mathbf{i}_{1a}, \mathbf{i}_{1b}) \tag{4}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\hat{\psi}_{1a}, \hat{\psi}_{1b}) = 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\hat{\mathbf{b}}, \hat{\mathbf{d}}, \hat{\gamma}_0) = (\mathbf{b}, \mathbf{d}, \gamma_0). \tag{5}$$

Значения физических параметров рассчитываются на основе полученных оцененных значений

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{\hat{\mathbf{d}}}, \hat{\alpha} = \hat{\mathbf{b}} \hat{\sigma}, \hat{\mathbf{L}} = \frac{\hat{\gamma}_0 \hat{\sigma}}{\hat{\alpha}}, \hat{\mathbf{L}}_m = \sqrt{\hat{\mathbf{L}} (\hat{\mathbf{L}} - \hat{\sigma})}, \hat{\mathbf{R}}_2 = \hat{\alpha} \hat{\mathbf{L}}. \tag{6}$$

4. Идентификация механических параметров

Предполагая, что идентификация электрических параметров АД осуществлена, рассмотрим следующий адаптивный наблюдатель пониженного порядка для системы (1)

$$\begin{aligned}
\dot{\hat{\omega}} &= \hat{\mu} (\hat{\psi}_{2a} \mathbf{i}_{1b} - \hat{\psi}_{2b} \mathbf{i}_{1a}) - \hat{\phi}_1 \omega - \hat{\phi}_2 + [\mathbf{k}_{\omega 1} + \mathbf{k}_{\omega 2} (\mathbf{i}_{1a}^2 + \mathbf{i}_{1b}^2)] \tilde{\omega} \\
\dot{\hat{\psi}}_{2a} &= -\alpha \hat{\psi}_{2a} - \omega \mathbf{n}_p \hat{\psi}_{2b} + \alpha \mathbf{L}_m \mathbf{i}_{1a} \\
\dot{\hat{\psi}}_{2b} &= -\alpha \hat{\psi}_{2b} + \omega \mathbf{n}_p \hat{\psi}_{2a} + \alpha \mathbf{L}_m \mathbf{i}_{1b}
\end{aligned} \tag{7}$$

где: $\hat{\omega}, \hat{\psi}_{2a}, \hat{\psi}_{2b}$ – оцененные значения переменных $\omega, \psi_{2a}, \psi_{2b}$; $\hat{\mu}, \hat{\phi}_1, \hat{\phi}_2$ – оценки неизвестных констант $\mu, \frac{v}{J}, \frac{M_c}{J}$; $(k_{\omega 1}, k_{\omega 2}) > 0$ – настроечные коэффициенты наблюдателя.

Определив ошибки оценивания в виде

$$\begin{aligned}\tilde{\omega} &= \omega - \hat{\omega}, \tilde{\psi}_{2a} = \psi_{2a} - \hat{\psi}_{2a}, \tilde{\psi}_{2b} = \psi_{2b} - \hat{\psi}_{2b}, \\ \tilde{\mu} &= \mu - \hat{\mu}, \tilde{\phi}_1 = \frac{v}{J} - \hat{\phi}_1, \tilde{\phi}_2 = \frac{M_c}{J} - \hat{\phi}_2,\end{aligned}\quad (8)$$

из (1) и (7) уравнения динамики ошибок оценивания будут

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{\omega}} &= -[k_{\omega 1} + k_{\omega 2} (i_{1a}^2 + i_{1b}^2)] \tilde{\omega} + \tilde{\mu} (\hat{\psi}_{2a} i_{1b} - \hat{\psi}_{2b} i_{1a}) - \tilde{\phi}_1 \omega - \tilde{\phi}_2 + \mu (\tilde{\psi}_{2a} i_{1b} - \tilde{\psi}_{2b} i_{1a}) \\ \dot{\tilde{\psi}}_{2a} &= -\alpha \tilde{\psi}_{2a} - \omega n_p \tilde{\psi}_{2b} \\ \dot{\tilde{\psi}}_{2b} &= -\alpha \tilde{\psi}_{2b} + \omega n_p \tilde{\psi}_{2a}.\end{aligned}\quad (9)$$

Для синтеза алгоритма идентификации рассмотрим следующую функцию Ляпунова

$$V = \frac{1}{2} [\lambda_1 \tilde{\omega}^2 + (\tilde{\psi}_{2a}^2 + \tilde{\psi}_{2b}^2) + \lambda_2 \tilde{\mu}^2 + \lambda_3 \tilde{\phi}_1^2 + \lambda_4 \tilde{\phi}_2^2]. \quad (10)$$

Производная от V в силу решений (9) равна

$$\dot{V} = -\lambda_1 [k_{\omega 1} + k_{\omega 2} (i_{1a}^2 + i_{1b}^2)] \tilde{\omega}^2 - \alpha (\tilde{\psi}_{2a}^2 + \tilde{\psi}_{2b}^2) + \lambda_2 \mu (\tilde{\psi}_{2a} i_{1b} - \tilde{\psi}_{2b} i_{1a}) \tilde{\omega}, \quad (11)$$

если алгоритм идентификации определен в виде:

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{\mu}} &= -\dot{\hat{\mu}} = -\lambda_1 \lambda_2^{-1} (\hat{\psi}_{2a} i_{1b} - \hat{\psi}_{2b} i_{1a}) \tilde{\omega} \\ \dot{\tilde{\phi}}_1 &= -\dot{\hat{\phi}}_1 = \lambda_1 \lambda_3^{-1} \omega \tilde{\omega} \\ \dot{\tilde{\phi}}_2 &= -\dot{\hat{\phi}}_2 = \lambda_1 \lambda_4^{-1} \tilde{\omega}.\end{aligned}\quad (12)$$

Для \dot{V} в (11) справедлива следующая оценка

$$\dot{V} \leq -\lambda_1 k_{\omega 1} \tilde{\omega}^2 - \alpha_2 (\tilde{\psi}_{2a}^2 + \tilde{\psi}_{2b}^2) \leq 0, \quad (13)$$

если $k_{\omega 2} \geq \frac{\lambda_1 \mu_{\max}^2}{4\alpha_1}$; $\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha$.

Из (10) и (13) следует, что переменные $(\tilde{\omega}, \tilde{\psi}_{2a}, \tilde{\psi}_{2b}, \tilde{\mu}, \tilde{\phi}_1, \tilde{\phi}_2)$ являются ограниченными, поэтому при ограниченных по определению $(\omega, \psi_{2a}, \psi_{2b}, i_{1a}, i_{1b})$ сигналы $\dot{\tilde{\omega}}, \dot{\tilde{\psi}}_{2a}, \dot{\tilde{\psi}}_{2b}$ также ограничены. Прямое использование леммы Барбалат [5] даёт

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\tilde{\omega}, \tilde{\psi}_{2a}, \tilde{\psi}_{2b}) = 0. \quad (14)$$

С другой стороны система, состоящая из первого уравнения (9) и (12), может быть представлена в следующей стандартной форме

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{\omega}} &= -a(t)\tilde{\omega} + \mathbf{W}(t)\mathbf{z} \\ \dot{\mathbf{z}} &= -\Gamma \mathbf{W}^T(t)\tilde{\omega}\end{aligned}\tag{15}$$

где $\mathbf{z} = (\tilde{\mu}, \tilde{\phi}_1, \tilde{\phi}_2)^T$; $a(t) > 0$, $\Gamma > 0$, $\mathbf{W}(t) = \begin{bmatrix} (\hat{\Psi}_{2a}i_{1b} - \hat{\Psi}_{2b}i_{1a}) & -\omega & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ – матрица регрессии, ограниченная с ограниченной $\dot{\mathbf{W}}(t)$.

В соответствии с результатом [5], если условия персистентности возбуждения выполняются, то есть матрица

$$\int_t^{t+T} \mathbf{W}(\tau)^T \mathbf{W}(\tau) d\tau > 0\tag{16}$$

для некоторого $T > 0$ и всех $t \geq 0$, то положение равновесия системы (15) $(\tilde{\omega}, \mathbf{z}^T)^T = 0$ является глобально экспоненциально устойчивым, то есть достигается асимптотическое оценивание неизвестных постоянных параметров механической части $\mu, \frac{v}{J}, \frac{M_c}{J}$.

5. Тестирование алгоритмов идентификации

Предложенный алгоритм идентификации электрических параметров исследован экспериментально на станции быстрого прототипного тестирования [6]. Идентификация механических параметров исследована методом математического моделирования. В обоих случаях идентифицировались параметры АД мощностью 0.75 кВт, номинальные значения которых даны в таблицах 1 и 2. Начальные значения параметров и переменных идентификации приняты нулевыми, настроечные коэффициенты адаптивного наблюдателя, используемого для идентификации электрических параметров равны $k_i = 100$, $k_f = 1$, $\gamma_1 = 5000$, $\gamma_2 = 10$, $\gamma_3 = 600$. В адаптивном наблюдателе механических параметров коэффициенты равны $k_{\omega 1} = 1000$, $k_{\omega 2} = 100$, $\lambda_1 = 1000$, $\lambda_2 = 0.03$, $\lambda_3 = 200$, $\lambda_4 = 0.1$. Значение коэффициента вязкого трения было принято $v = 0.00072$ ($\text{с}^{-1}\text{кг}^{-1}\text{м}^{-2}$)

Таблица 1. Электрические параметры исследуемого двигателя

Наименование	Паспортное значение	Оцененное значение	Ошибка, %
R_1 , Ом	11	11	0
R_2 , Ом	5,52	5,6	1,4
$L_1 = L_2$, Гн	0,95	0,9714	2,2
L_m , Гн	0,92	0,9436	2,5
b , Ом Гн ⁻²	98,4	105	6,26
d , Гн ⁻¹	16,94	18	5,89

$\gamma_0, \text{ Ом Гн}^{-1}$	93,84	102	8
--------------------------------	-------	-----	---

При идентификации электрических параметров, на протяжении первых двух секунд к фазе (а) двухфазной модели АД прикладывается модулированное напряжение, в то время как напряжение фазы (b) равняется нулю (Рис. 1). При этом ротор остается неподвижным. В момент времени $t=2$ с возбуждается фаза (b), благодаря чему ротор АД осуществляет свободное вращение.

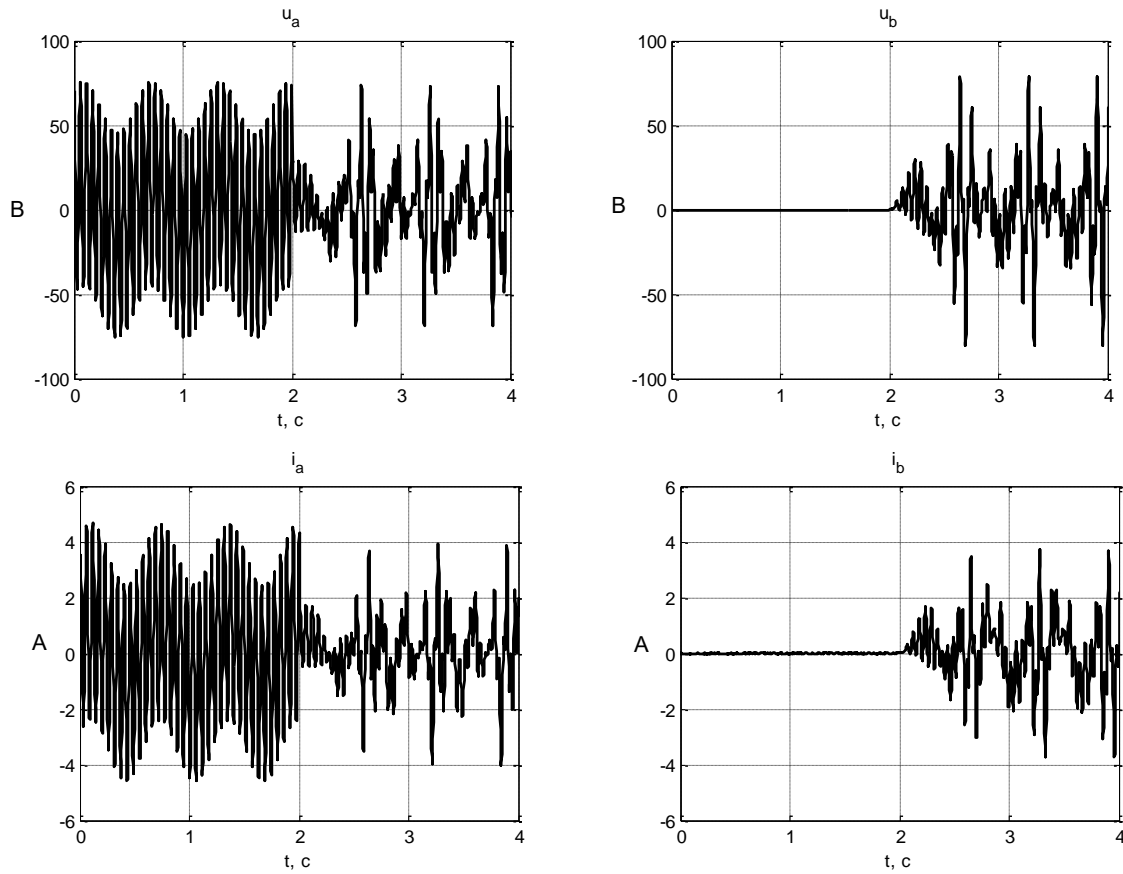


Рис. 1. Напряжения и токи статора при идентификации электрических параметров АД

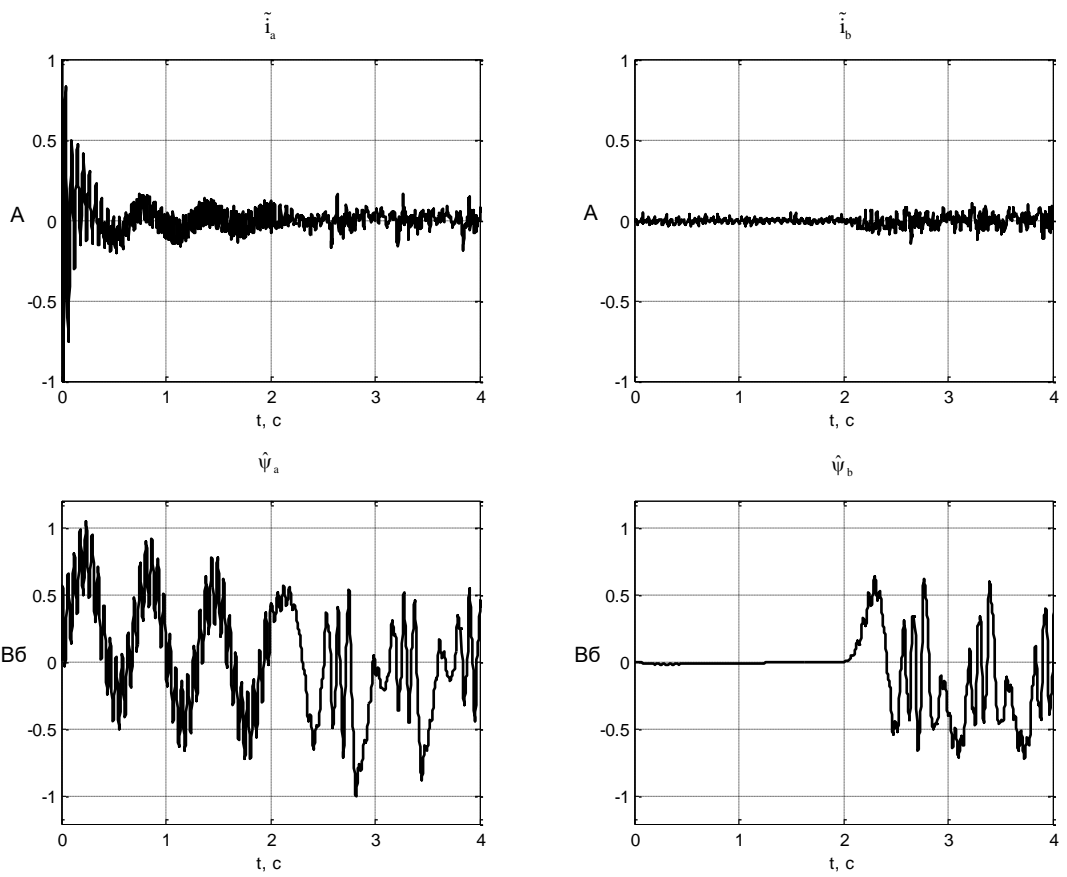


Рис. 2. Ошибки оценивания токов статора и оценка потокосцепления ротора

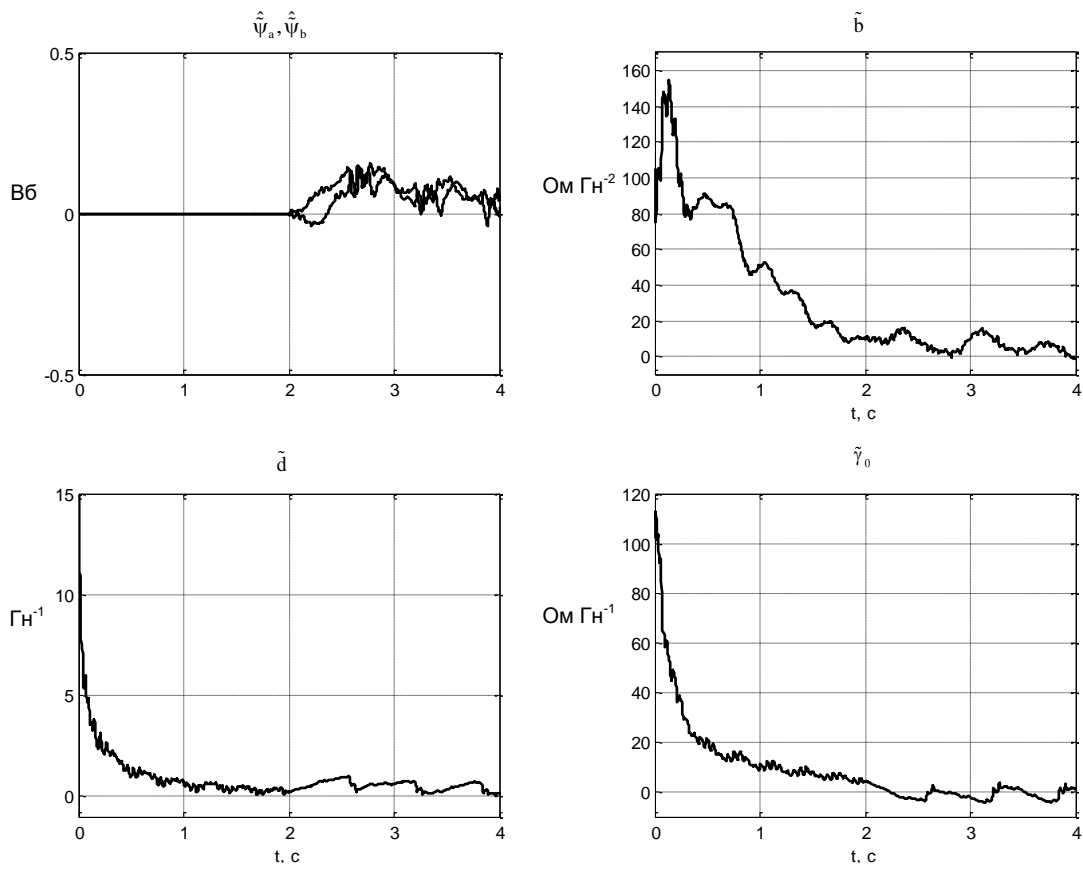


Рис. 3. Оценка ошибки оценивания потока и ошибки идентификации параметров

При моделировании алгоритма идентификации механических параметров первую секунду к фазе (а) двухфазной модели АД прикладывается напряжение, необходимое для возбуждения машины. При этом напряжение, приложенное к фазе (б) устанавливается равным нулю, ротор АД остаётся неподвижным. В момент времени $t=1$ с, к фазам (а) и (б) прикладывается модулированное напряжение, что приводит к вращению АД. В момент времени $t=2$ к валу двигателя прикладывается момент нагрузки, равной 40% номинального значения. Величина нагрузки выбрана таким образом, чтобы обеспечить возможность выполнения теста без применения регулятора тока. Приложенные напряжения и переменные состояния системы (1) показаны на Рис. 5. Ошибка оценивания скорости, а также ошибки идентификации механических параметров показаны на Рис. 6. Ошибка оценки потокосцепления ввиду точно известных электрических параметров равна нулю.

Таблица 2. Механические параметры исследуемого двигателя

Наименование	Паспортное значение	Наименование	Паспортное значение
J , кг м ²	0,0036	μ , кг ⁻¹ м ⁻²	403,5

Из анализа графиков, показанных на Рис. 6 следует, что идентификация момента инерции J и коэффициента вязкого трения ν осуществляется за 1 секунду, идентификация момента нагрузки M_c выполняется за 1.5 секунды. Ошибки наблюдения и идентификации асимптотически устойчивы и обладают свойствами экспоненциальной сходимости.

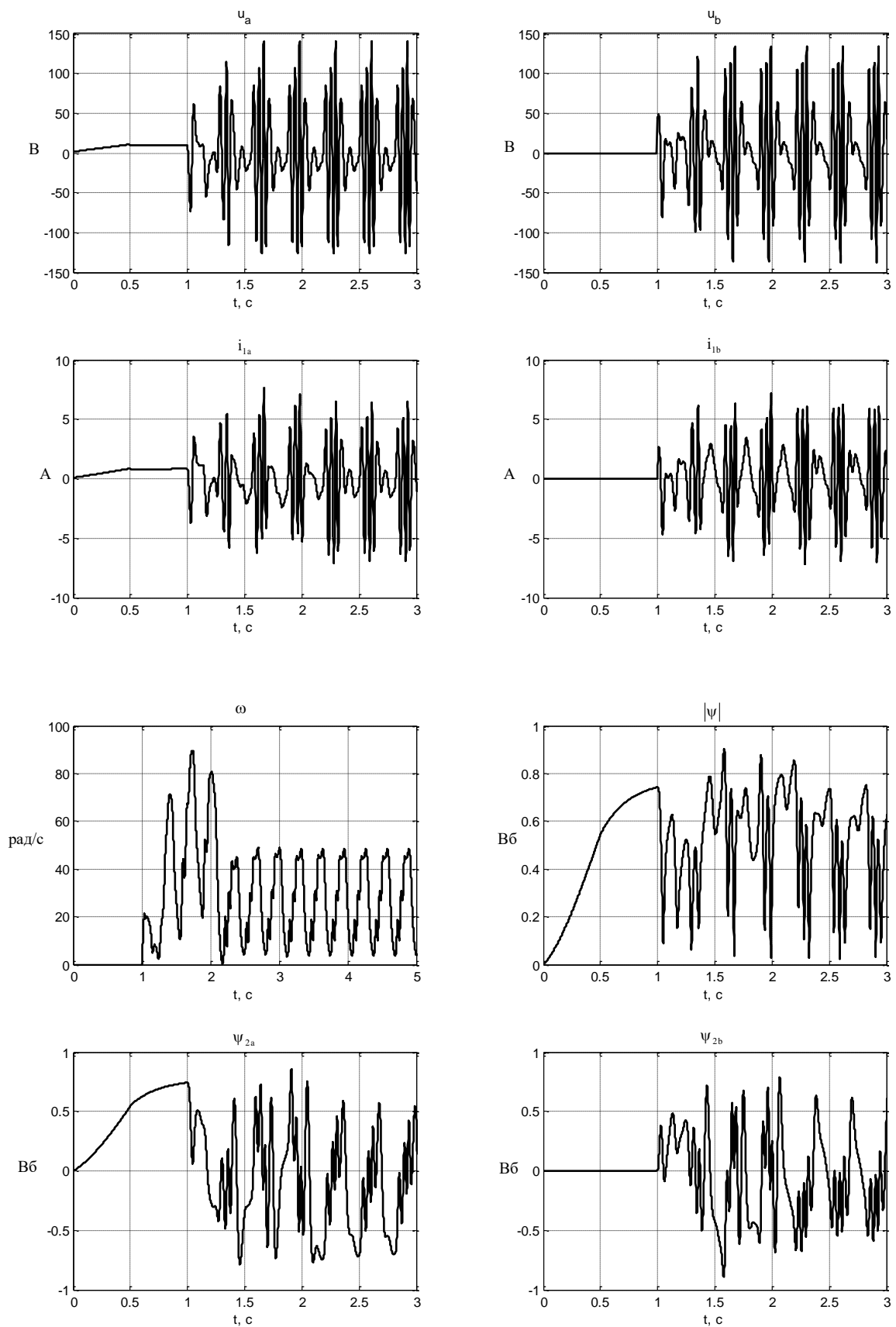


Рис.5. Динамическое поведение переменных АД при моделировании теста идентификации механических параметров

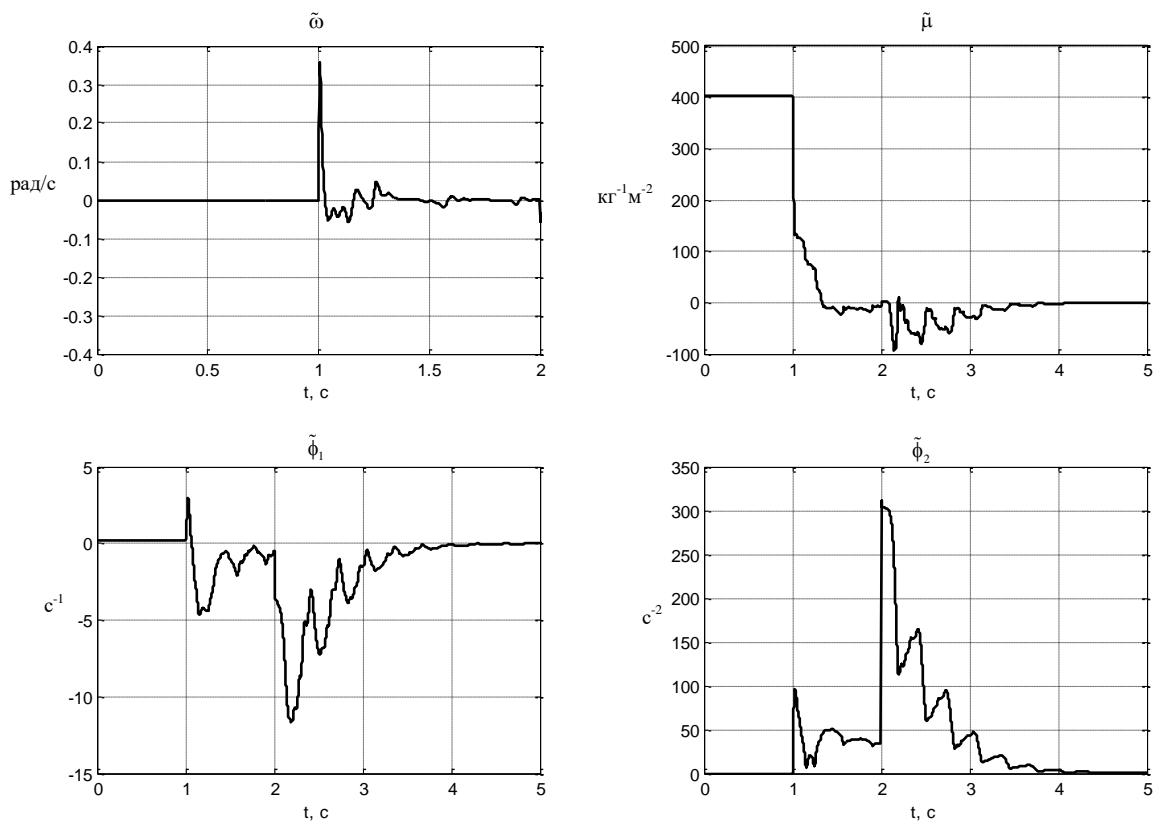


Рис. 6. Графики переходных процессов ошибок оценивания механических параметров

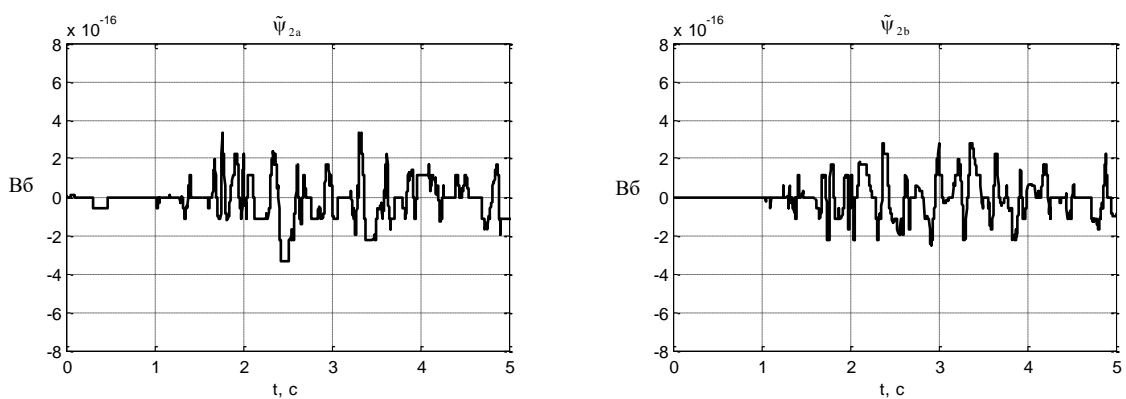


Рис. 7. Ошибка оценивания потокосцепления ротора

6. Заключение

С использованием наблюдателя электрических параметров [2], синтезирован новый алгоритм идентификации момента инерции АД J , коэффициента вязкого трения ν , а также оценивания статического момента нагрузки M_c . Алгоритм базируется на адаптивном наблюдателе потокосцепления статора шестого порядка, который при выполнении условий персистентности возбуждения обеспечивает асимптотичность идентификации неизвестных параметров и оценивания неизмеряемых компонент вектора потокосцепления статора, что позволяет в процессе

теста идентификации контролировать возбуждение АД для исключения насыщения магнитной системы. Результаты тестирования свидетельствуют о высокой скорости сходимости наблюдателя и его перспективности для использования в процедуре “self-commissioning” серийных электроприводов.

7. Литература

[1] *Chung J., Dölen M., Kim H., Lorenz R.* A Continuous-Time Observer to Estimate Electrical Parameters of Induction machine // *IEEE Transactions on Industrial Applications*. – 2001. – Vol. 30, №3. – P. 259-265.

[2] *Пересада С.М., Середа А.Н.* “Новый алгоритм идентификации электрических параметров асинхронного двигателя” // *Энергетика: экономика, технологии, экология. Научный журнал*. – 2005. – принято к публикации.

[3] *Castaldi P., Tilli A.* “Parameter Estimation of Induction Motor at Standstill with Magnetic Flux Monitoring” // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. – 2005. – Vol. 13, No. 3. – P. 386-400.

[4] *Пересада С.М., Середа А.Н.* “Оценка параметров асинхронного двигателя при известном активном сопротивлении ротора” // *Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Вестник НТУ “ХПИ”, вып. 43, Харьков*. – 2004. – С. 28-31.

[5] *Narendra K.S., Annaswamy A.M.* *Stable Adaptive Systems* // Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. – 1989.

[6] *Пересада С. М., Ковбаса С. Н., Тониэлли А.* “Станция быстрого моделирования алгоритмов управления электроприводом” // *Вестник Национального технического университета „ХПИ”*. –1999.–С. 190 – 193.