

**УСТРОЙСТВО ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ И ТОКОВ
РОТОРА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ****А.Ю. АФАНАСЬЕВ, В.Г. МАКАРОВ, Ю.А. ЯКОВЛЕВ, В.Н. ХАННАНОВА****Казанский национальный исследовательский технологический университет**

Для идентификации параметров трехфазного асинхронного двигателя и его нагрузки необходимо располагать информацией о токах короткозамкнутого ротора. На основе непрерывного градиентного метода поиска минимума определенно-положительной функции от невязок уравнений обобщенной электрической машины разработан метод идентификации параметров трехфазного асинхронного двигателя и токов короткозамкнутого ротора. Разработана функциональная схема устройства идентификации. Показана возможность реализации данного устройства с использованием простых элементов, таких как перемножители, делители, сумматоры и интеграторы.

Ключевые слова: идентификация параметров, идентификация токов ротора, градиентный метод поиска минимума функции, трехфазный асинхронный двигатель, обобщенная электрическая машина.

Введение

Для решения задачи идентификации параметров трехфазного асинхронного двигателя (АД), работающего в составе частотно-регулируемого электропривода, необходимо располагать информацией о токах короткозамкнутого ротора, которые не доступны измерению и наблюдению.

В литературе [1 – 4] для идентификации параметров трехфазного АД используется непрерывный градиентный метод поиска минимума определенно-положительной функции от невязок уравнений обобщенной электрической машины (ОЭМ). Особенностью метода, предлагаемого в [1 – 4], является применение АД с встроенными датчиками Холла. Недостатками данного технического решения являются более высокая стоимость и сложность конструкции АД. В связи с этим актуальной является задача идентификации токов короткозамкнутого ротора (задача идентификации процессов), которая должна решаться параллельно с задачей идентификации параметров [5].

В работах [1, 5] показана эффективность использования непрерывного градиентного метода для идентификации параметров и токов ротора трехфазного асинхронного двигателя, приводятся алгоритмы и результаты компьютерного моделирования. При этом вопросы построения устройств идентификации на основе предложенных алгоритмов в [1, 5] не рассматриваются. Одним из основных вопросов, рассматриваемых в статье, является разработка устройства идентификации параметров и процессов трехфазного АД, в основу работы которого положен непрерывный градиентный метод поиска минимума функции. Устройство предназначено для работы в составе частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

Методика исследования

Непосредственному наблюдению и измерению у трехфазного АД с короткозамкнутым ротором подлежат управляемые процессы – напряжения $u_{1A}(t)$,

$u_{1B}(t)$, $u_{1C}(t)$ и токи $i_{1A}(t)$, $i_{1B}(t)$, $i_{1C}(t)$ фаз обмотки статора, угловая скорость $\omega(t)$ и угловое ускорение $\dot{\omega}(t)$. При построении алгоритмов управления частотно-регулируемого электропривода с АД широко используется математическое описание ОЭМ [6, 7]. В связи с этим неотъемлемой частью систем управления подобных электроприводов является преобразователь координат, позволяющий преобразовывать величины трехфазного АД в величины ОЭМ и наоборот. Поэтому при идентификации параметров целесообразно использовать математическое описание ОЭМ.

Математическая модель АД с позиции теории ОЭМ при условии, что все параметры и процессы имеют истинные значения, может быть представлена системой уравнений [5]:

$$\begin{cases} u_{1d} = R_{1o}i_{1d} + L_{1o} \frac{di_{1d}}{dt} + M_{mo} \frac{di_{2do}}{dt} - \omega_1 (L_{1o}i_{1q} + M_{mo}i_{2qo}); \\ u_{1q} = R_{1o}i_{1q} + L_{1o} \frac{di_{1q}}{dt} + M_{mo} \frac{di_{2do}}{dt} + \omega_1 (L_{1o}i_{1d} + M_{mo}i_{2do}); \\ 0 = R_{2o}i_{2d} + L_{2o} \frac{di_{2do}}{dt} + M_{mo} \frac{di_{1d}}{dt} - \omega_2 (L_{2o}i_{2qo} + M_{mo}i_{1q}); \\ 0 = R_{2o}i_{2q} + L_{2o} \frac{di_{2qo}}{dt} + M_{mo} \frac{di_{1q}}{dt} + \omega_2 (L_{2o}i_{2do} + M_{mo}i_{1d}); \\ M_{\Sigma} = p_{\Pi} M_{mo} (i_{2do}i_{1q} - i_{2qo}i_{1d}); \\ J_{\Sigma o} \frac{d\omega}{dt} = p_{\Pi} (M_{\Sigma} - M_c), \end{cases} \quad (1)$$

где u_{1d} , u_{1q} – напряжения фаз обмотки статора; i_{1d} , i_{1q} , i_{2d} , i_{2q} – токи фаз обмоток статора и ротора; R_1 , R_2 , L_1 , L_2 – активные сопротивления и индуктивности фаз обмоток статора и ротора; M_m – взаимная индуктивность; M_{Σ} – электромагнитный момент; M_c – статический момент; J_{Σ} – момент инерции подвижных частей; ω_1 – угловая скорость системы координат d , q ; ω_2 – угловая скорость скольжения ($\omega_2 = \omega_1 - \omega$); ω – угловая скорость ротора, эл. рад/с; p_{Π} – число пар полюсов; индексами o обозначены истинные значения параметров и процессов.

После преобразований (1) получим:

При этом идентификации подлежат следующие параметры ОЭМ: активные сопротивления фаз обмоток статора R_1 и ротора R_2 , индуктивности фаз обмоток статора L_1 и ротора L_2 , взаимная индуктивность M_m , суммарный момент инерции подвижных частей J_{Σ} и статический момент M_c . Общее количество идентифицируемых параметров – семь. Оценки параметров условимся обозначать R_1 , L_1 , R_2 , L_2 , M_m , J_{Σ} и M_c .

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{1d}}{dt} = \frac{u_{1d} - R_{1o}i_{1d} + \frac{R_{2o}M_{mo}}{L_{2o}}i_{2do} + \omega M_{mo}i_{2qo} - \omega_2 \frac{M_{mo}^2}{L_{2o}}i_{1q} + \omega_1 L_{1o}i_{1q}}{L_{1o} - \frac{M_{mo}^2}{L_{2o}}}; \\ \frac{di_{1q}}{dt} = \frac{u_{1q} - R_{1o}i_{1q} + \frac{R_{2o}M_{mo}}{L_{2o}}i_{2qo} - \omega M_{mo}i_{2do} + \omega_2 \frac{M_{mo}^2}{L_{2o}}i_{1d} - \omega_1 L_{1o}i_{1d}}{L_{1o} - \frac{M_{mo}^2}{L_{2o}}}; \\ \frac{di_{2do}}{dt} = \frac{-R_{2o}i_{2do} - M_{mo} \frac{di_{1d}}{dt} + \omega_2 (L_{2o}i_{2qo} + M_{mo}i_{1q})}{L_{2o}}; \\ \frac{di_{2qo}}{dt} = \frac{-R_{2o}i_{2qo} - M_{mo} \frac{di_{1q}}{dt} - \omega_2 (L_{2o}i_{2do} + M_{mo}i_{1d})}{L_{2o}}; \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{p_{\pi} (p_{\pi} M_{mo} (i_{2do}i_{1q} - i_{2qo}i_{1d}) - M_{co})}{J_{\Sigma o}}. \end{array} \right. \quad (2)$$

В идеальном случае оценки и истинные значения параметров должны совпадать, однако оценки в произвольный момент времени отличаются от истинных значений параметров. В связи с этим появляются отклонения, именуемые невязками:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta u_{1d} = R_1 i_{1d} + \left(L_1 - \frac{M_m^2}{L_2} \right) \frac{di_{1d}}{dt} - \frac{R_2 M_m}{L_2} i_{2d} - \omega M_m i_{2q} + \left(\omega_2 \frac{M_m^2}{L_2} - \omega_1 L_1 \right) i_{1q} - u_{1d}; \\ \Delta u_{1q} = R_1 i_{1q} + \left(L_1 - \frac{M_m^2}{L_2} \right) \frac{di_{1q}}{dt} - \frac{R_2 M_m}{L_2} i_{2q} + \omega M_m i_{2d} + \left(\omega_1 L_1 - \omega_2 \frac{M_m^2}{L_2} \right) i_{1d} - u_{1q}; \\ \Delta M = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} + p_{\pi} M_c - p_{\pi}^2 M_m (i_{2d} i_{1q} - i_{2q} i_{1d}). \end{array} \right. \quad (3)$$

Введем функции невязок:

$$V_{u_1} = \frac{1}{2} \left[(\Delta u_{1d})^2 + (\Delta u_{1q})^2 \right]; \quad V_M = \frac{1}{2} (\Delta M)^2.$$

Невязки в процессе идентификации должны стремиться к нулю, а функции невязок должны быть минимизированы.

Как было показано ранее, при традиционном подходе к приведению параметров ротора к статору АД [8, 9] общее количество идентифицируемых параметров равно семи.

Отличительной особенностью предлагаемого алгоритма является такое приведение параметров ротора к статору АД, при котором обеспечивается равенство индуктивностей фаз обмоток статора L_1 и ротора L_2 . Отметим, что при подобном подходе индуктивности фаз статора и ротора от потоков рассеяния будут различными. При этом количество параметров схемы замещения фазы АД, подлежащих

идентификации, сокращается до четырех. Идентификации подлежат также параметры J_{Σ} , M_c . Общее количество идентифицируемых параметров равно шести [5].

Система дифференциальных уравнений относительно оценок параметров согласно непрерывному градиентному методу поиска минимума функции имеет вид [5]:

$$\begin{aligned} \frac{dR_1}{dt} &= -\mu_{R_1} \frac{\partial V_{u_1}}{\partial R_1} = -\mu_{R_1} \left[\frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1d}} \frac{\partial \Delta u_{1d}}{\partial R_1} + \frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1q}} \frac{\partial \Delta u_{1q}}{\partial R_1} \right] = \\ &= -\mu_{R_1} \left[\Delta u_{1d} i_{1d} + \Delta u_{1q} i_{1q} \right] ; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{dL_1}{dt} = \frac{dL_2}{dt} &= -\mu_L \frac{\partial V_{u_1}}{\partial L_1} = -\mu_L \left[\frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1d}} \frac{\partial \Delta u_{1d}}{\partial L_1} + \frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1q}} \frac{\partial \Delta u_{1q}}{\partial L_1} \right] = \\ &= -\mu_L \left[\Delta u_{1d} \left(\frac{di_{1d}}{dt} - \omega_1 i_{1q} \right) + \Delta u_{1q} \left(\frac{di_{1q}}{dt} + \omega_1 i_{1d} \right) \right] ; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{dR_2}{dt} &= -\mu_{R_2} \frac{\partial V_{u_1}}{\partial R_2} = -\mu_{R_2} \left[\frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1d}} \frac{\partial \Delta u_{1d}}{\partial R_2} + \frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1q}} \frac{\partial \Delta u_{1q}}{\partial R_2} \right] = \\ &= \mu_{R_2} \frac{M_m}{L_2} \left[\Delta u_{1d} i_{2d} + \Delta u_{1q} i_{2q} \right] ; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{dM_m}{dt} &= -\mu_{M_m} \left[\frac{\partial V_{u_1}}{\partial M_m} + \lambda \frac{\partial V_M}{\partial M_m} \right] = \\ &= -\mu_{M_m} \left[\frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1d}} \frac{\partial \Delta u_{1d}}{\partial M_m} + \frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1q}} \frac{\partial \Delta u_{1q}}{\partial M_m} + \lambda \Delta M \frac{\partial \Delta M}{\partial M_m} \right] = \\ &= -\mu_{M_m} \left[\Delta u_{1d} \left(-\frac{R_2}{L_2} i_{2d} - \omega i_{2q} \right) + \Delta u_{1q} \left(-\frac{R_2}{L_2} i_{2q} - \omega i_{2d} \right) - \right. \\ &\quad \left. - \lambda \Delta M p_{\Pi}^2 (i_{2d} i_{1q} - i_{2q} i_{1d}) \right] ; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{dJ_{\Sigma}}{dt} = -\mu_{J_{\Sigma}} \frac{\partial V_M}{\partial J_{\Sigma}} = -\mu_{J_{\Sigma}} \frac{d\omega}{dt} \Delta M ; \quad (8)$$

$$\frac{dM_c}{dt} = -\mu_M \frac{\partial V_M}{\partial M_c} = -\mu_M p_{\Pi} \Delta M , \quad (9)$$

где μ_{R_1} , μ_L , μ_{R_2} , μ_{M_m} , $\mu_{J_{\Sigma}}$, μ_M – положительные коэффициенты, определяющие скорости изменения оценок параметров; λ – весовой коэффициент, определяющий относительное влияние функций невязок V_{u_1} и V_M .

Рекомендации по выбору величин коэффициентов μ_{R_1} , μ_L , μ_{R_2} , μ_{M_m} , $\mu_{J_{\Sigma}}$, μ_M даны в работе [5].

Идентификацию токов ротора производим на основании решения дифференциальных уравнений, записанных согласно непрерывному градиентному

методу поиска минимума функции с учетом третьего и четвертого уравнений системы (1):

$$\begin{aligned} \frac{di_{2d}}{dt} &= \frac{-R_2 i_{2d} - M_m \frac{di_{1d}}{dt} + \omega_2 (L_2 i_{2q} + M_m i_{1q})}{L_2} - \mu_I \frac{\partial V_{u_1}}{\partial i_{2d}} = \\ &= \frac{-R_2 i_{2d} - M_m \frac{di_{1d}}{dt} + \omega_2 (L_2 i_{2q} + M_m i_{1q})}{L_2} - \mu_I \left[\frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1d}} \frac{\partial \Delta u_{1d}}{\partial i_{2d}} + \frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1q}} \frac{\partial \Delta u_{1q}}{\partial i_{2d}} \right] = \\ &= \frac{-R_2 i_{2d} - M_m \frac{di_{1d}}{dt} + \omega_2 (L_2 i_{2q} + M_m i_{1q})}{L_2} - \\ &\quad - \mu_I \left[\Delta u_{1q} \omega M_m - \Delta u_{1d} \frac{R_2 M_m}{L_2} \right]; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{di_{2q}}{dt} &= \frac{-R_2 i_{2q} - M_m \frac{di_{1q}}{dt} - \omega_2 (L_2 i_{2d} + M_m i_{1d})}{L_2} - \mu_I \frac{\partial V_{u_1}}{\partial i_{2q}} = \\ &= \frac{-R_2 i_{2q} - M_m \frac{di_{1q}}{dt} - \omega_2 (L_2 i_{2d} + M_m i_{1d})}{L_2} - \mu_I \left[\frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1d}} \frac{\partial \Delta u_{1d}}{\partial i_{2q}} + \frac{\partial V_{u_1}}{\partial \Delta u_{1q}} \frac{\partial \Delta u_{1q}}{\partial i_{2q}} \right] = \\ &= \frac{-R_2 i_{2q} - M_m \frac{di_{1q}}{dt} - \omega_2 (L_2 i_{2d} + M_m i_{1d})}{L_2} + \\ &\quad + \mu_I \left[\Delta u_{1d} \omega M_m + \Delta u_{1q} \frac{R_2 M_m}{L_2} \right], \end{aligned} \quad (11)$$

где μ_I – положительный коэффициент, определяющий коррекцию скорости изменения токов ротора.

Первые слагаемые в выражениях (10), (11) позволяют определять токи ротора на основании уравнений динамики, а вторые – учитывают отклонения этих токов от истинных значений.

Таким образом, систему уравнений ОЭМ (1) можно рассматривать как математическую модель объекта идентификации, а систему уравнений (2), в совокупности с (3) – (9), – как математическую модель системы идентификации параметров обобщенной машины R_1 , $L_1(L_2)$, R_2 , M_m , J_Σ и M_c . При этом система уравнений (1) в совокупности с уравнениями (10), (11) представляет собой математическую модель системы идентификации процессов – токов ротора $i_{2d}(t)$, $i_{2q}(t)$.

Основные результаты

На основании системы (2) – (11) разработана [10] структурная схема устройства идентификации параметров и токов ротора (УИП и ТР), предназначенного для работы в составе асинхронного электропривода (рис. 1).

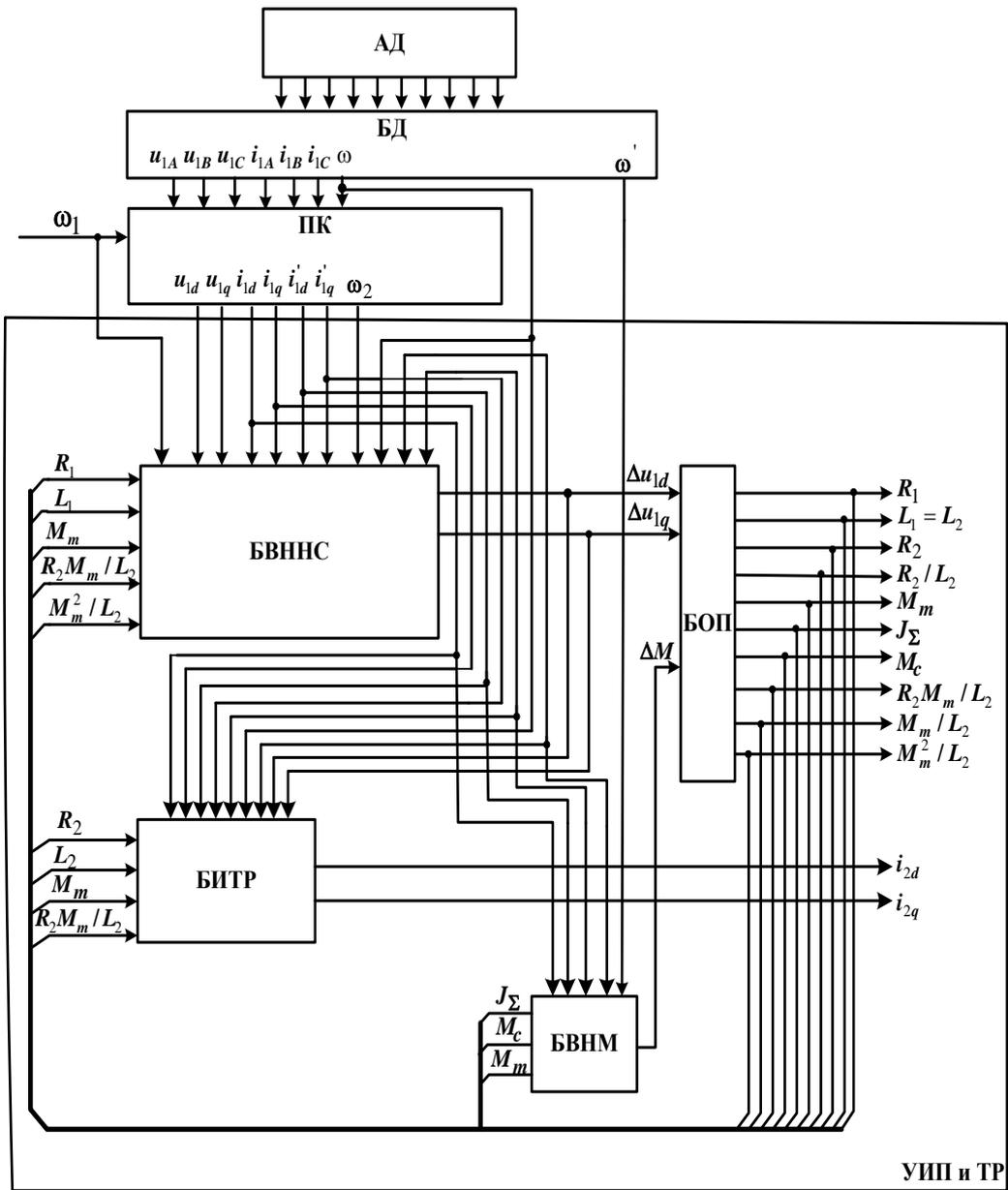


Рис. 1. Структурная схема устройства идентификации параметров и токов ротора асинхронного двигателя

Совместно с устройством идентификации используется блок датчиков (БД) и преобразователь координат (ПК), рис. 2. БД, подключенный к АД, содержит в своем составе датчики фазных напряжений статора, датчики фазных токов статора, датчик частоты вращения и датчик углового ускорения. Выходными сигналами БД являются величины: $u_{1A}(t)$, $u_{1B}(t)$, $u_{1C}(t)$, $i_{1A}(t)$, $i_{1B}(t)$, $i_{1C}(t)$, $\omega(t)$ и $\dot{\omega}(t)$, которые, за исключением $\dot{\omega}(t)$, подаются на ПК. Сигнал $\omega_1(t)$ поступает от системы управления электропривода.

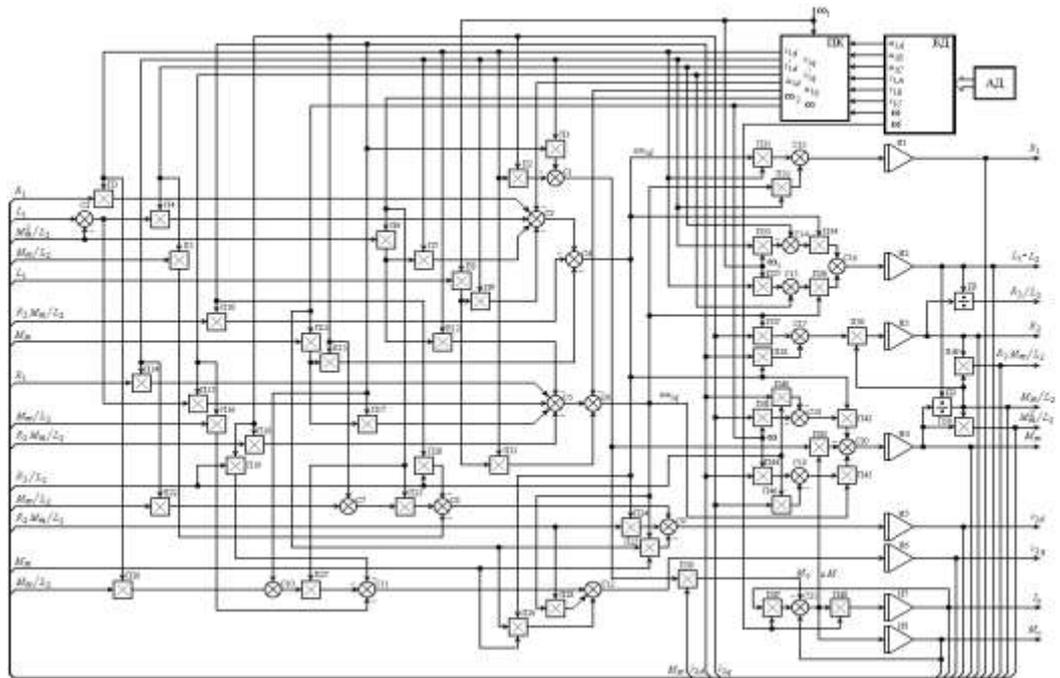


Рис. 2. Функциональная схема устройства идентификации параметров и токов ротора

Вопросы преобразования фазных величин трехфазного АД в величины ОЭМ рассматриваются в работах [11 – 13].

Функциями ПК являются:

- 1) преобразование фазных напряжений и токов статора АД в напряжения и токи статора ОЭМ;
- 2) вычисление производных $i'_{1d}(t)$, $i'_{1q}(t)$;
- 3) расчет угловой скорости скольжения $\omega_2(t)$.

На рис. 3 показана функциональная схема БД и ПК.

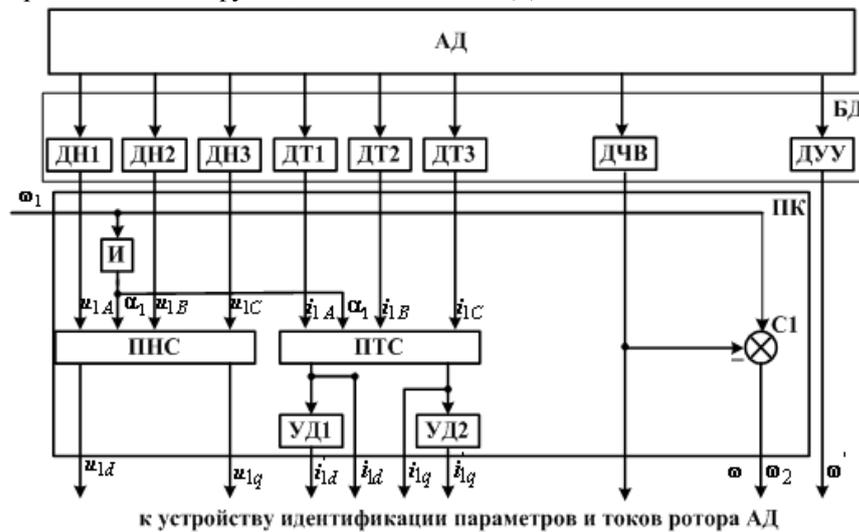


Рис. 3. Схема блока датчиков и преобразователя координат

БД содержит в себе датчики фазных напряжений статора (ДН1 – ДН3), датчики фазных токов статора (ДТ1 – ДТ3), датчик частоты вращения (ДЧВ) и датчик углового ускорения (ДУУ).

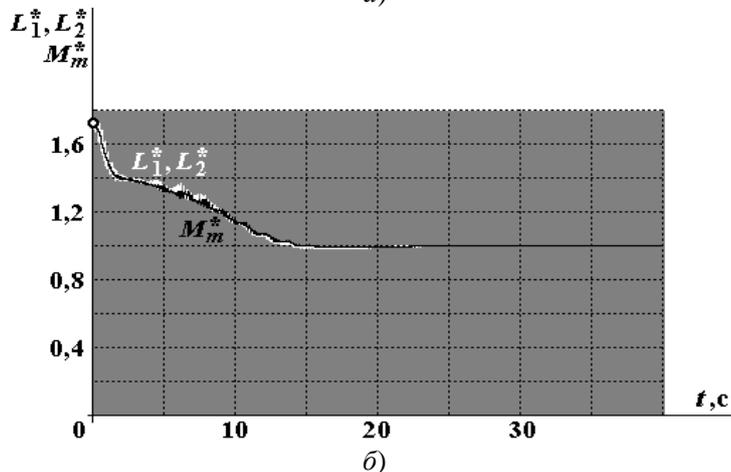
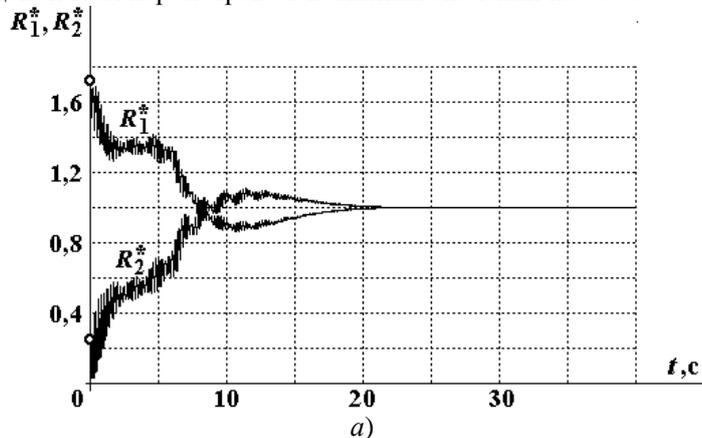
ПК состоит из следующих блоков:

- 1) интегратор (И);
- 2) преобразователь фазных напряжений статора (ПНС);
- 3) преобразователь фазных токов статора (ПТС);
- 4) сумматор (С1);
- 5) устройства дифференцирования (УД1, УД2).

Обсуждение результатов

Анализ работоспособности, эффективности, устойчивости и точности алгоритма идентификации параметров и токов ротора трехфазного АД, разработанного на основе непрерывного градиентного метода, проводился с помощью компьютерного моделирования процессов идентификации. Моделирование проводилось для двигателя типа АИР80А6У2 при начальных отклонениях оценок всех параметров от истинных значений на 50 и 75 %. В каждом из рассматриваемых случаев начальные отклонения оценок параметров R_2 , J_Σ и M_c принимались на 50 и 75 % меньше истинных значений, а начальные отклонения оценок параметров R_1 , L_1 , L_2 , M_m – на 50 и 75 % больше истинных значений.

На рис. 4 показаны кривые процессов идентификации параметров при начальном отклонении оценок всех параметров от истинных значений на 75 %.



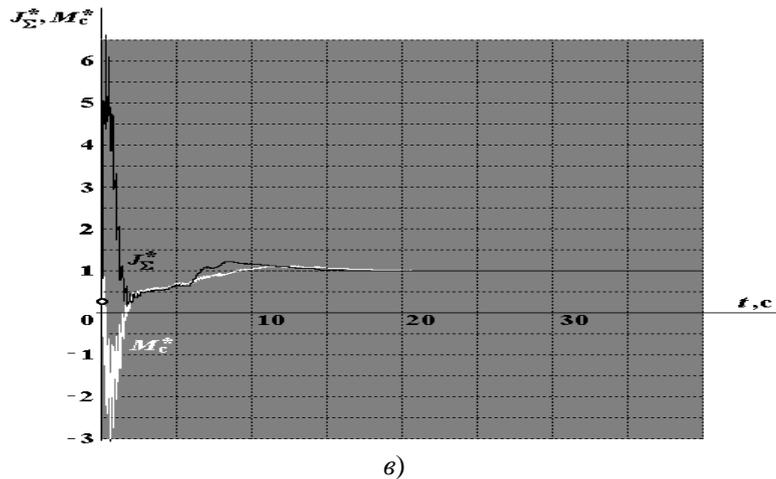


Рис. 4. Процессы идентификации при начальном отклонении всех параметров на 75 %:
a, б – параметры схемы замещения фазы АД; *в* – параметры нагрузки АД

Для графического представления результатов идентификации на рис. 4 введены относительные оценки параметров, которые определяются следующими соотношениями:

$$R_1^* = \frac{R_1}{R_{10}}; \quad L_1^* = \frac{L_1}{L_{10}}; \quad R_2^* = \frac{R_2}{R_{20}}; \quad L_2^* = \frac{L_2}{L_{20}};$$

$$M_m^* = \frac{M_m}{M_{m0}}; \quad J_\Sigma^* = \frac{J_\Sigma}{J_{\Sigma 0}}; \quad M_c^* = \frac{M_c}{M_{c0}}.$$

Начальные отклонения оценок параметров на рис. 4 отмечены точками. Видно, что после завершения процессов идентификации графики $R_1^*(t)$, $L_1^*(t)$, $R_2^*(t)$, $L_2^*(t)$, $M_m^*(t)$, $J_\Sigma^*(t)$ и $M_c^*(t)$ выходят на уровень, соответствующий единице. Это свидетельствует о достижении всеми параметрами значений, близких к истинным, и устойчивости метода. Длительность процессов идентификации параметров при начальных отклонениях оценок всех параметров от истинных значений на 50 и 75% составила 22 и 23 с соответственно при относительной погрешности не более 0,0004 и 0,187%. Оценка точности результатов идентификации приведена в таблице.

Таблица

Оценка точности результатов идентификации

Наименование параметров и процессов, единицы измерения	Обозначение	Истинные значения параметров	Относительная погрешность идентификации, %, при начальном отклонении параметров от истинных значений	
			на 50 %	на 75 %
Активное сопротивление фазы обмотки статора, Ом	R_1	8,9779	0,0004	0,0007
Индуктивность фазы обмотки статора (ротора), Гн	$L_1 (L_2)$	0,5168	0,0000	0,0003
Активное сопротивление фазы обмотки ротора, Ом	R_2	5,7426	0,0004	0,0008

Взаимная индуктивность, Гн	M_m	0,4962	0,0001	0,1870
Момент инерции подвижных частей, кг · м ²	J_Σ	0,0330	0,0002	0,0002
Статический момент, Н · м	M_c	0,1000	0,0004	0,0009
Ток фазы d ротора, А	i_{2d}	–	0,1886	0,2435
Ток фазы q ротора, А	i_{2q}	–	0,3798	0,4611

На рис. 5, 6 показаны кривые фазных токов ротора ОЭМ, полученные в результате идентификации, а также относительные погрешности их идентификации при начальном отклонении оценок всех параметров от истинных значений на 75%. С помощью компьютерного моделирования установлено, что длительность процессов идентификации токов ротора при начальных отклонениях оценок всех параметров от истинных значений на 50 и 75% составила 12,5 и 19 с соответственно. Количественная оценка точности результатов идентификации токов ротора приведена в таблице. Видно, что относительная погрешность идентификации токов ротора не превышает 0,47 %.

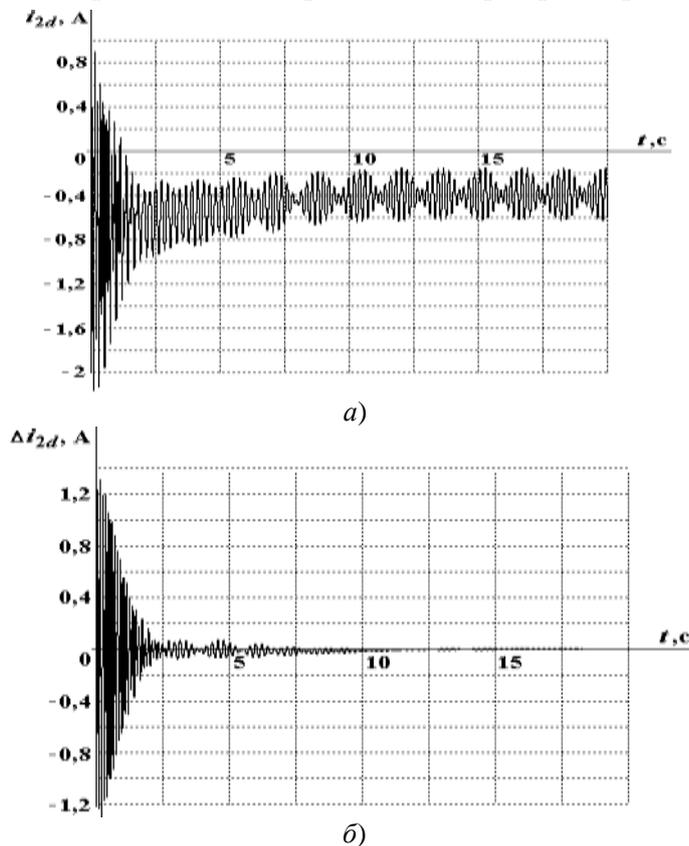


Рис. 5. Идентификация тока i_{2d} при начальном отклонении всех параметров на 75%:

а – кривая тока фазы d ротора; б – погрешность идентификации тока фазы d ротора

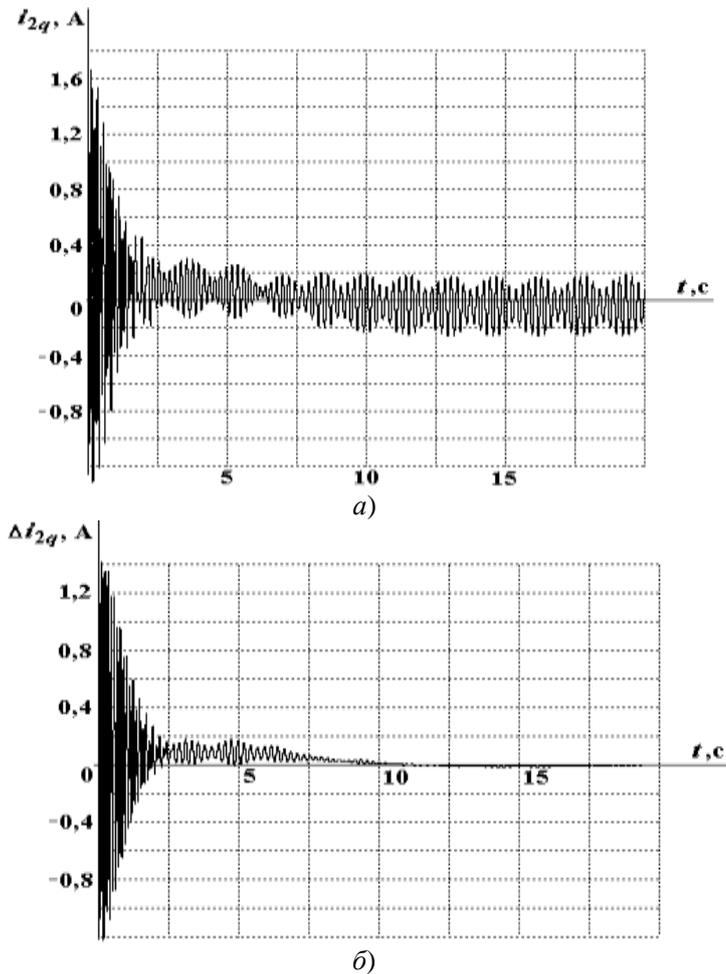


Рис. 6. Идентификация тока i_{2q} при начальном отклонении всех параметров на 75 %:

a – кривая тока фазы q ротора; *б* – погрешность идентификации тока фазы q ротора

Таким образом, компьютерное моделирование подтвердило эффективность, устойчивость и высокую точность непрерывного градиентного метода идентификации параметров и токов ротора трехфазного АД, а также работоспособность разработанного устройства идентификации.

Выводы

1. Для идентификации параметров трехфазного асинхронного двигателя необходимо располагать информацией о токах короткозамкнутого ротора. Поэтому возникает задача идентификации токов короткозамкнутого ротора, которую целесообразно решать параллельно с задачей идентификации параметров.

2. Идентификацию параметров и процессов трехфазного асинхронного двигателя целесообразно осуществлять с помощью непрерывного градиентного метода поиска минимума определенно-положительной функции от невязок уравнений электропривода.

3. Приведение параметров ротора к статору асинхронного двигателя при условии равенства индуктивностей фаз обмоток статора и ротора позволяет уменьшить общее количество идентифицируемых параметров до шести.

©Проблемы энергетики, 2015, № 3-4

4. На основе математического описания идентификации параметров и процессов трехфазного асинхронного двигателя разработано устройство идентификации параметров и токов ротора. Показано, что устройство идентификации может быть реализовано с использованием простых элементов, таких как перемножители, делители, сумматоры и интеграторы.

5. Разработанное устройство идентификации не требует применения асинхронного двигателя с встроенными датчиками Холла, что позволяет упростить его конструкцию и снизить стоимость.

Summary

For identification of parameters of the asynchronous three-phase motor and its loading it is necessary to have information on currents of a short-circuited rotor. On the basis of a continuous gradient method of search of a minimum of certain and positive function from not knittings of the equations of the generalized electrical machine the method of identification of parameters of the asynchronous three-phase motor and currents of a short-circuited rotor is developed. The function chart of the device of identification is developed. Possibility of realization of this device with use of simple elements, such as multipliers, adders and integrators is shown.

Keywords: *Identification of parameters, Identification of currents of a rotor, Gradient a method of search of a minimum of function, Asynchronous Three-Phase Motor, Generalised Electric Machine.*

Литература

1. Макаров В. Г. Идентификация параметров трехфазного асинхронного двигателя // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010. №3 – 4. С. 88 – 101.
2. Макаров В. Г., Яковлев Ю. А. Оценивание параметров трехфазного асинхронного двигателя // Вестник Казанского технологического университета. 2010. №9 С. 418 – 425.
3. Макаров В. Г., Яковлев Ю. А. Анализ состояния и перспективы развития работ по идентификации параметров электрических машин // Вестник Казанского технологического университета. 2010. №14. С. 134 – 144.
4. Пат. 2392731 РФ, МПК Н 02 Р 7/06. Устройство оценивания параметров электродвигателя / Макаров В. Г., Афанасьев А. Ю., Яковлев Ю. А.; заявитель и патентообладатель Казан. гос. технол. ун-т. № 2009118685/09; заявл. 18.05.2009; опубл. 20.06.2009. Бюл. № 17. 21 с.
5. Макаров В. Г. Идентификация параметров и токов ротора трехфазного асинхронного двигателя // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010. №7 – 8. С. 101 – 116.
6. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия, 2006. 272 с.
7. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов. М.: Академия, 2006. 304 с.
8. Кацман М. М. Электрические машины. М.: Академия, 2001. 463 с.
9. Копылов И. П. Электрические машины. М.: Высшая школа, 2000. 607 с.
10. Пат. 2426219 РФ. Устройство оценивания параметров асинхронного двигателя / Макаров В. Г., Афанасьев А. Ю., Яковлев Ю. А.; заявитель и патентообладатель Казан. гос. технол. ун-т. № 2009118685/09; заявл. 18.05.2009; опубл. 10.08.2011. Бюл. № 22. 24 с.
11. Макаров В. Г. Применение теории обобщенной электрической машины к трехфазному асинхронному двигателю // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010. №11 – 12. С. 84 – 97.
12. Макаров В. Г. Гипотетическая физическая модель обобщенной электрической машины на основе трехфазного асинхронного двигателя // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010. №1 – 2. С. 94 – 108.

13. Макаров В. Г. Асинхронный электропривод с оптимальными режимами работы. Казань, Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2010. 300 с.

Поступила в редакцию

28 января 2015 г.

Афанасьев Анатолий Юрьевич – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрооборудование» Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ) – КАИ им. А.Н. Туполева. Тел: 8(843)236-56-53.

Макаров Валерий Ганнадьевич – д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и электротехника» Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ) – КАИ им. А.Н. Туполева. Тел: 8(843)231-41-27. E-mail: electroprivod@list.ru.

Яковлев Юрий Алексеевич – аспирант кафедры «Электропривод и электротехника» Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ) – КАИ им. А.Н. Туполева. Тел: 8(927)402-58-95.

Ханнанова Вероника Николаевна – аспирант кафедры «Электропривод и электротехника» Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ) – КАИ им. А.Н. Туполева. Тел: 8(987)067-40-17.