

УДК 62

НАБЛЮДАЕМОСТЬ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**Медвежонков Дмитрий Андреевич**
студент**Матьков Виктор Петрович**
студент

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

author@apriori-journal.ru

Аннотация. В данной статье поставлена и решена задача наблюдения токов короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя. Так же были получены выражения токов ротора через переменные статора.

Ключевые слова: наблюдаемость, обобщенная электрическая машина, трехфазный асинхронный двигатель.

OBSERVABILITY OF THE THREE-PHASE ASYNCHRONOUS ENGINE**Medvezhonkov Dmitry Andreevich**
student**Matkov Victor Petrovich**
student

Mordovian state university of N.P. Ogarev, Saransk

Abstract. In this article the task of supervision of currents of a short-circuited rotor of the asynchronous engine is set and solved. Also expressions of currents of a rotor through stator variables were received.

Key words: observability, the generalized electrical machine, the three-phase asynchronous engine.

Вопросы наблюдаемости рассматривают во время анализа системных свойств электроприводов. При этом вопросы наблюдаемости электроприводов с асинхронными двигателями освещены не полностью. Но все же анализ наблюдаемости трехфазного асинхронного двигателя оказывается актуальным из-за того, что величины короткозамкнутого ротора не подлежат непосредственному измерению. Информация о токах или потокосцеплениях ротора нужна во время идентификации параметров трехфазного асинхронного двигателя, а еще во время реализации векторного управления [1].

Под наблюдаемостью понимают свойство асинхронного электропривода, которое заключается в вероятности восстановления всех фазовых координат по закону изменения вектора наблюдения.

Рассмотрим асинхронный двигатель, математическое описание которого с позиций теории обобщенной электрической машины имеет вид:

$$u_{1d} = R_1 i_{1d} + L_1 \frac{di_{1d}}{dt} + M_m \frac{di_{2d}}{dt} - \omega_1 (L_1 i_{1q} + M_m i_{2q}), \quad (1)$$

$$u_{1q} = R_1 i_{1q} + L_1 \frac{di_{1q}}{dt} + M_m \frac{di_{2q}}{dt} - \omega_1 (L_1 i_{1d} + M_m i_{2d}), \quad (2)$$

$$0 = R_2 i_{2d} + L_2 \frac{di_{2d}}{dt} + M_m \frac{di_{1d}}{dt} - \omega_2 (L_2 i_{2q} + M_m i_{1q}), \quad (3)$$

$$0 = R_2 i_{2q} + L_2 \frac{di_{2q}}{dt} + M_m \frac{di_{1q}}{dt} - \omega_2 (L_2 i_{2d} + M_m i_{1d}), \quad (4)$$

$$M_\varepsilon = p_n M_m (i_{1q} i_{2d} - i_{1d} i_{2q}), \quad (5)$$

$$J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} = p_n (M_\varepsilon - M_c), \quad (6)$$

где u_{1d} , u_{1q} являются напряжениями фаз обмотки статора; i_{1d} , i_{1q} , i_{2d} , i_{2q} являются токами фаз обмоток статора и ротора;

L_1 , L_2 , R_1 , R_2 – индуктивности и активные сопротивления фаз обмоток ротора и статора;

M_m – является взаимной индуктивностью;

ω_1 – частота вращения системы координат d, q, эл. рад/с;

ω_2 – частота скольжения, которая определяется как разность частоты вращения системы координат ω_1 и частоты вращения ротора ω ;

M_3 – является электромагнитным моментом;

p_n – число пар полюсов;

M_c – статический момент;

J_Σ – момент инерции подвижных частей [3].

Нужно наблюдать токи короткозамкнутого ротора, которые не будут подлежать непосредственному измерению.

Выражаем производную $\frac{di_{2d}}{dt}$ из уравнения (1) и подставляем в (3), также выражаем производную $\frac{di_{2q}}{dt}$ из уравнения (2) и подставляем в (4).

Учитывая, что $\omega = \omega_1 - \omega_2$, получаем систему вида:

$$R_2 i_{2d} + \omega L_2 i_{2q} = \frac{L_1 L_2}{M_m} \frac{di_{1d}}{dt} - M_m \frac{di_{1d}}{dt} - \frac{L_2}{M_m} u_{1d} + \frac{R_1 L_2}{M_m} i_{1d} + \omega_2 M_m i_{1q} - \omega_1 \frac{L_1 L_2}{M_m} i_{1q}, \quad (7)$$

$$R_2 i_{2q} - \omega L_2 i_{2d} = \frac{L_1 L_2}{M_m} \frac{di_{1q}}{dt} - M_m \frac{di_{1q}}{dt} - \frac{L_2}{M_m} u_{1q} + \frac{R_1 L_2}{M_m} i_{1q} - \omega_2 M_m i_{1d} + \omega_1 \frac{L_1 L_2}{M_m} i_{1d}, \quad (8)$$

На основе (7), (8) записываем матрицу коэффициентов при искомым токах ротора i_{2d} , i_{2q} и ее определитель:

$$[D] = \begin{bmatrix} R_2 & \omega L_2 \\ \omega L_2 & R_2 \end{bmatrix}; \quad |D| = R_2^2 + \omega^2 L_2^2 > 0.$$

Значит, у системы (7), (8) ненулевое решение [4].

Вводим обозначения:

$$d_{11} = R_2, \quad d_{12} = \omega L_2, \quad d_{21} = \omega L_2, \quad d_{22} = R_2,$$

$$e_1 = \frac{L_1 L_2}{M_m} \frac{di_{1d}}{dt} - M_m \frac{di_{1d}}{dt} - \frac{L_2}{M_m} u_{1d} + \frac{R_1 L_2}{M_m} i_{1d} + \omega_2 M_m i_{1q} - \omega_1 \frac{L_1 L_2}{M_m} i_{1q},$$

$$e_2 = \frac{L_1 L_2}{M_m} \frac{di_{1q}}{dt} - M_m \frac{di_{1q}}{dt} - \frac{L_2}{M_m} u_{1q} + \frac{R_1 L_2}{M_m} i_{1q} - \omega_2 M_m i_{1d} + \omega_1 \frac{L_1 L_2}{M_m} i_{1d},$$

используя которые запишем систему (7), (8) в виде:

$$d_{11}i_{2d} + d_{12}i_{2q} = e_1, \quad (9)$$

$$d_{21}i_{2d} + d_{22}i_{2q} = e_2. \quad (10)$$

Сделав некоторые преобразования, вводим обозначения:

$$a = R_2 \frac{L_1 L_2}{M_m} - R_2 M_m, \quad b = \omega L_2 \frac{L_1 L_2}{M_m} - \omega L_2 M_m, \quad (11)$$

$$c = \frac{R_1 R_2 L_2}{M_m} + \omega L_2 \omega_2 M_m - \omega L_2 \omega_1 \frac{L_1 L_2}{M_m}, \quad g = -\frac{L_2 R_2}{M_m}, \quad (12)$$

$$f = \frac{\omega R_1 L_2^2}{M_m} + R_2 \omega_1 \frac{L_1 L_2}{M_m} - R_2 \omega_2 M_m, \quad h = -\frac{\omega L_2^2}{M_m}. \quad (13)$$

Следовательно, на основе системы (9), (10) с учетом (11) – (13) можно записать для токов ротора такие выражения, как:

$$i_{2d} = \frac{a \frac{di_{1d}}{dt} - b \frac{di_{1q}}{dt} + ci_{1d} - fi_{1q} + gu_{1d} - hu_{1q}}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}, \quad (14)$$

$$i_{2q} = \frac{b \frac{di_{1d}}{dt} + a \frac{di_{1q}}{dt} + fi_{1d} + ci_{1q} + gu_{1q} + hu_{1d}}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}, \quad (15)$$

Очевидно, что если имеется информация о частоте вращения ротора ω и параметрах схемы замещения фазы АД, то можно наблюдать токи короткозамкнутого ротора на основе информации о напряжениях фаз статора u_{1d} , u_{1q} , токах фаз статора i_{1d} , i_{1q} , их производных $\frac{di_{1d}}{dt}$, $\frac{di_{1q}}{dt}$ [2].

Можно отметить, что напряжения и токи статора, а еще частота вращения ротора можно измерить непосредственно. С помощью устройств дифференцирования можно осуществить вычисление производных токов статора.

Полученный вывод будет довольно важным, так как вероятность наблюдать токи короткозамкнутого ротора дает возможность реализовать идентификацию параметров трехфазного АД и осуществить алго-

ритмы управления систем частотно-регулируемого электропривода с АД, в том числе векторное управление.

Для анализа наблюдаемости трехфазного АД проводилось компьютерное моделирование переходных процессов прямого пуска двигателя АИР80А6У2 на основании математического описания (1) – (6). При данном анализе информация о токах и напряжениях фаз статора, а еще о частоте вращения ротора получили на основании решения системы (1) – (6). Вычисление производных токов статора во время моделирования процессов наблюдаемости реализовывалось на основе токов фаз статора i_{1d} , i_{1q} используя реальные дифференцирующие звенья с передаточными функциями такого вида, как:

$$W(p) = \frac{k_{\partial p}}{T_{\partial p} p + 1},$$

где k_{∂} , T_{∂} – коэффициент передачи и постоянная времени реального дифференцирующего звена.

Итоги моделирования в виде кривых фазных токов ротора и статора представлены на рис. 1 а, б. Там же приведены кривые фазных токов ротора, их расчет производился, используя выражения (14), (15). Данные кривые представлены на рис. 1 в. Во время вычисления коэффициентов a , b , c , f , g , h , используя выражения (11) – (13), необходимо иметь информацию о частотах ω , ω_1 , ω_2 , их кривые приведены на рис. 1 г.

Сравнив кривые фазных токов ротора на рис. 1 б и в, можно увидеть, что выражения (14), (15) дают возможность наблюдать с высокой точностью токи короткозамкнутого ротора.

Следовательно, компьютерным моделированием подтверждается, что если имеется информация о параметрах схемы замещения фазы АД и частоте вращения ротора ω , то можно с высокой точностью наблюдать токи короткозамкнутого ротора на основе информации о токах i_{1d} , i_{1q} и напряжениях u_{1d} , u_{1q} фаз статора, которая получена с помощью непосредственного измерения данных величин.

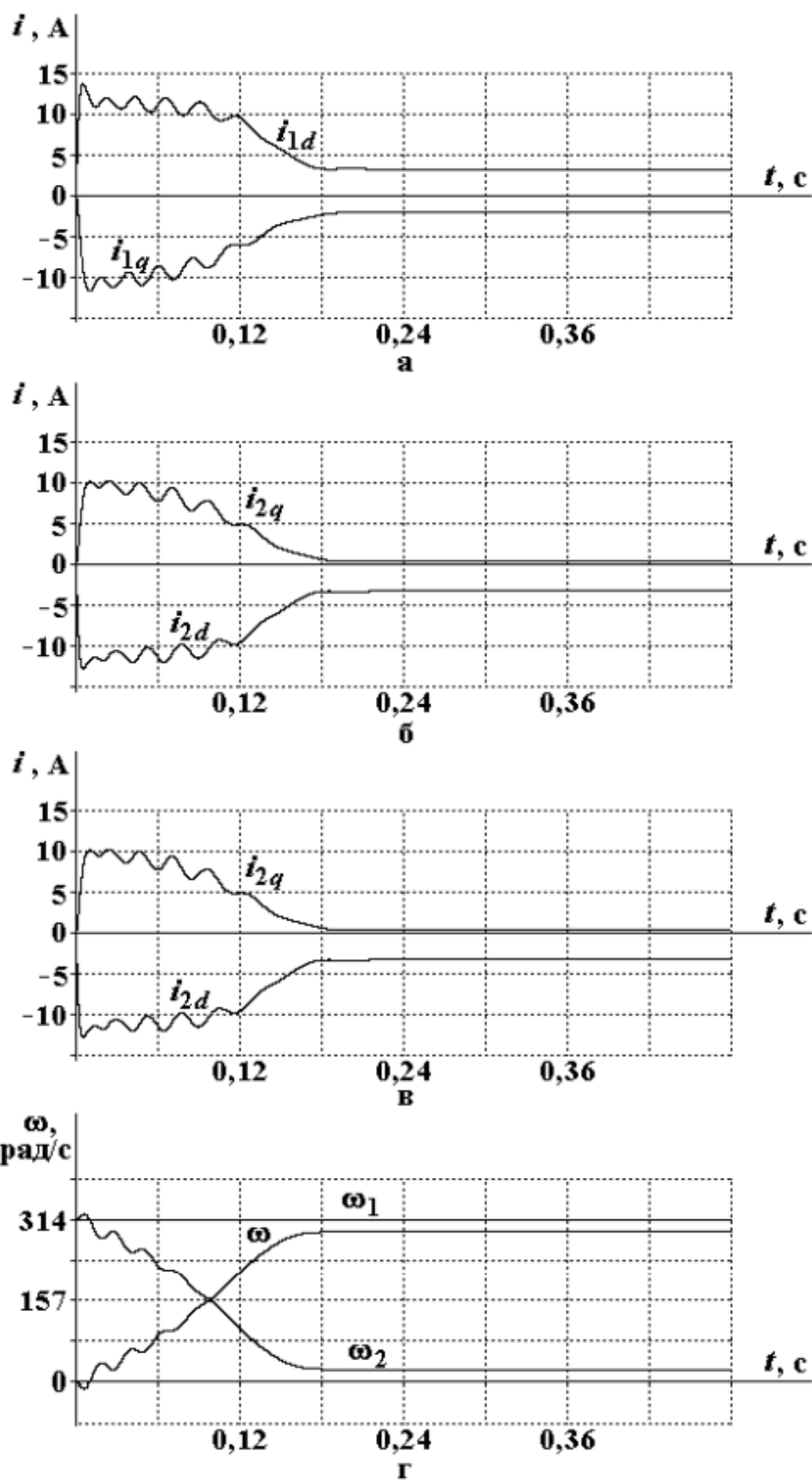


Рис. 1. Наблюдаемость токов короткозамкнутого ротора АД:
а) токи фаз статора; б) токи фаз ротора;
в) наблюдаемые токи фаз ротора; г) частоты ω , ω_1 , ω_2

Данную методику наблюдения токов короткозамкнутого ротора можно реализовать, используя микропроцессорную технику с определенной фильтрацией сигналов производных фазных токов статора.

Выводы

Для того, чтобы проанализировать наблюдаемость трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором разумно применять математическое описание обобщенной электрической машины.

Если имеется информация о частоте вращения ротора и параметрах схемы замещения фазы АД, то можно наблюдать токи короткозамкнутого ротора на основе информации о токах фаз статора, напряжениях фаз статора и их производных. Токи и напряжения фаз статора, а еще частота вращения ротора можно измерить непосредственно.

Предлагаемую методику наблюдения токов короткозамкнутого ротора можно реализовать, используя микропроцессорную технику с определенной фильтрацией сигналов производных фазных токов статора.

Вероятность наблюдать токи короткозамкнутого ротора дает возможность реализовать идентификацию параметров асинхронного двигателя, а еще осуществить алгоритмы управления систем частотно-регулируемого электропривода с асинхронными двигателями, в том числе векторное управление, без датчиков магнитного поля.

Список использованных источников

1. Таланов М.В., Карасев А.В., Таланов В.М. Применение расширенного фильтра Калмана для оценки угловой скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2013. № 3 (39). С. 185-191.
2. Таланов М.В., Карасев А.В., Таланов В.М. Реализация расширенного фильтра Калмана в среде Matlab для восстановления угловой скорости вращения ротора асинхронного двигателя // Журнал Средневолжского математического общества. 2013. Т. 15. № 3. С. 140-147.
3. Таланов М.В., Карасев А.В., Таланов В.М. Способ уменьшения погрешности оценки угловой скорости вращения ротора асинхронного электродвигателя при использовании фильтра Калмана в цифровой системе управления // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 183-185.
4. Таланов М.В., Карасев А.В., Таланов В.М. Численная реализация наблюдателя потокосцепления ротора асинхронного двигателя в среде Matlab для микропроцессорной системы векторного управления // Электротехнические комплексы и системы управления. 2014. № 1. С. 34-37.