УДК 621.313

В. О. Квашнин, канд. техн. наук,
В. А. Косенко

АНАЛИЗ ПОСТРОЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТНЫХ И КАТАЛОЖНЫХ ДАННЫХ

Аннотация. *Рассмотрено построение динамических моделей асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором на основе паспортных и расчетных данных. Полученные результаты моделирования на основе ранее разработанной трехфазной модели асинхронного двигателя с использованием паспортных и расчетных данных в виде динамических зависимостей угловой скорости ротора, момента на валу, а также фазных токов статорной цепи в функции времени. Выполнен их сопоставительный анализ между собой. Проведена оценка точности получаемой модели на основе расчетных данных в сравнении с паспортными.*

Ключевые слова*: динамическая модель, асинхронный двигатель, угловая скорость ротора, токи статорной цепи, моделирование*

V. Kvashnin, PhD.,
V. Kosenko

ANALYSIS CONSTRUCTION OF A DYNAMIC MODEL OF THE INDUCTION MOTOR BASED ON THE CALCULATED AND CATALOG DATA

Abstract. *We consider the construction of dynamic models of induction motors with squirrel-cage rotor based on passport and calculated data. The results obtained are designed three-phase asynchronous motor model on the basis of calculated data and a passport as a dynamic dependency of the angular velocity of the rotor, shaft torque, and the phase currents of the stator circuit, respectively as a function of time are compared with each other. According to the results made evaluation and analysis of the accuracy of the model based on the calculated data with passport.*

Keywords: *dynamic model, induction motor, angular velocity, stator circuit currents, modeling*

В. О. Квашнін, канд. техн. наук,
В. А. Косенко

АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА НА ОСНОВІ РОЗРАХУНКОВИХ ТА КАТАЛОЖНИХ ДАНИХ

Анотація. *Розглянуто побудову динамічних моделей асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором на основі паспортних і розрахункових даних. Отримані результати моделювання на основі раніше розробленої трифазної моделі асинхронного двигуна з використанням паспортних та розрахункових даних у вигляді динамічних залежностей кутової швидкості ротора, моменту на валу, а також фазних струмів статорного ланцюга в функції часу. Виконано їх порівняльний аналіз між собою. Проведена оцінка точності одержуваної моделі на основі розрахункових даних в порівнянні з паспортними.*

Ключові слова: *Динамічна модель, асинхронний двигун, кутова швидкість ротора, струми статорного ланцюга, моделювання*

При проектировании новых частотных приводов, разработки их динамических моделей необходимо знание параметров статорной и роторной цепи двигателя, которые не всегда имеются в паспортах, каталогах и справочной литературе. Определение этих параметров может быть осуществлено по имеющимся методикам [1, 2, 3]. При этом большой интерес вызывает оценка той или иной методики, с точки зрения, точности определения ею параметров сопротивлений статорной и роторной цепи двигателя в сравнении с реальными значениями, которые способны влиять на точность разрабатываемой динамической модели асинхронного двигателя. С этой целью была выбрана методика [1], которая позволяет в отличие от других отдельно определять индуктивные сопротивления статорной и роторной цепей двигателя. Основные расчетные соотношения, используемые в методике представлены ниже.

Номинальный ток статора определяется по формуле

$$I_н = \frac{P_н}{m_1 \cdot U_{1н} \cdot \cos\varphi_н \cdot \eta_н}, \qquad (1)$$

где $P_н$ – номинальная мощность двигателя; m_1 – число фаз; $U_{1н}$ – фазное напряжение статора; $cos\varphi_н$ – номинальный коэффициент мощности двигателя; $\eta_н$ – номинальный КПД.

Критическое скольжение определяется выражением

$$S_к = S_н \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{(k_{\max})^2 - (1 - 2 \cdot S_н \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_н \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)}, \qquad (2)$$

где $S_н$ – номинальное скольжение; $k_{\max}$ – кратность максимального момента.

Ток холостого хода находится по выражению

© Квашнин В.О., Косенко В.А., 2014

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_н \cdot (1 - S_н)/(1 - p_* \cdot S_н))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - S_н)/(1 - p_* \cdot S_н))^2}}, \quad (3)$$

где p_* – коэффициент загрузки двигателя; I_{11} – ток статора двигателя при частичной загрузке.

Ток статора при частичной загрузке двигателя определяется соотношением

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_н}{m_1 \cdot U_{1н} \cdot \cos\varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}}, \quad (4)$$

где $cos\varphi_{p*}$ – коэффициент мощности при частичной загрузке; η_{p*} – коэффициент полезного действия при частичной загрузке.

Оценка выбранной методики осуществлялась на примере асинхронного двигателя серии 4А100L2, для которого значения параметров статорной и роторной цепей двигателя были известны [4]. Найденные расчетные и заданные значения сопротивлений цепей статора и ротора для указанного двигателя представлены в табл. 1.

1. Расчетные и паспортные значения сопротивлений статорной и роторной цепи двигателя

Параметры	R_1, Ом	x_1, Ом	R'_2, Ом	x'_2, Ом
Паспортные	1	1,1	0,75	2,3
Расчетные	0,912	1,666	0,742	2,247

Приведенные в табл. 1 значения сопротивлений использовались в разработанной динамической модели [5, 6, 7, 8], представленной на рис. 1. Параметры динамической модели, полученные по расчетным и каталожным данным приведены в табл. 2.

Полученные в итоге переходные процессы токов статора, угловой скорости и момента на валу для расчетных и паспортных данных двигателя при пуске, работе на холостом ходу и набросе номинальной нагрузки показаны на рисунках 2; 3 и 4 соответственно.

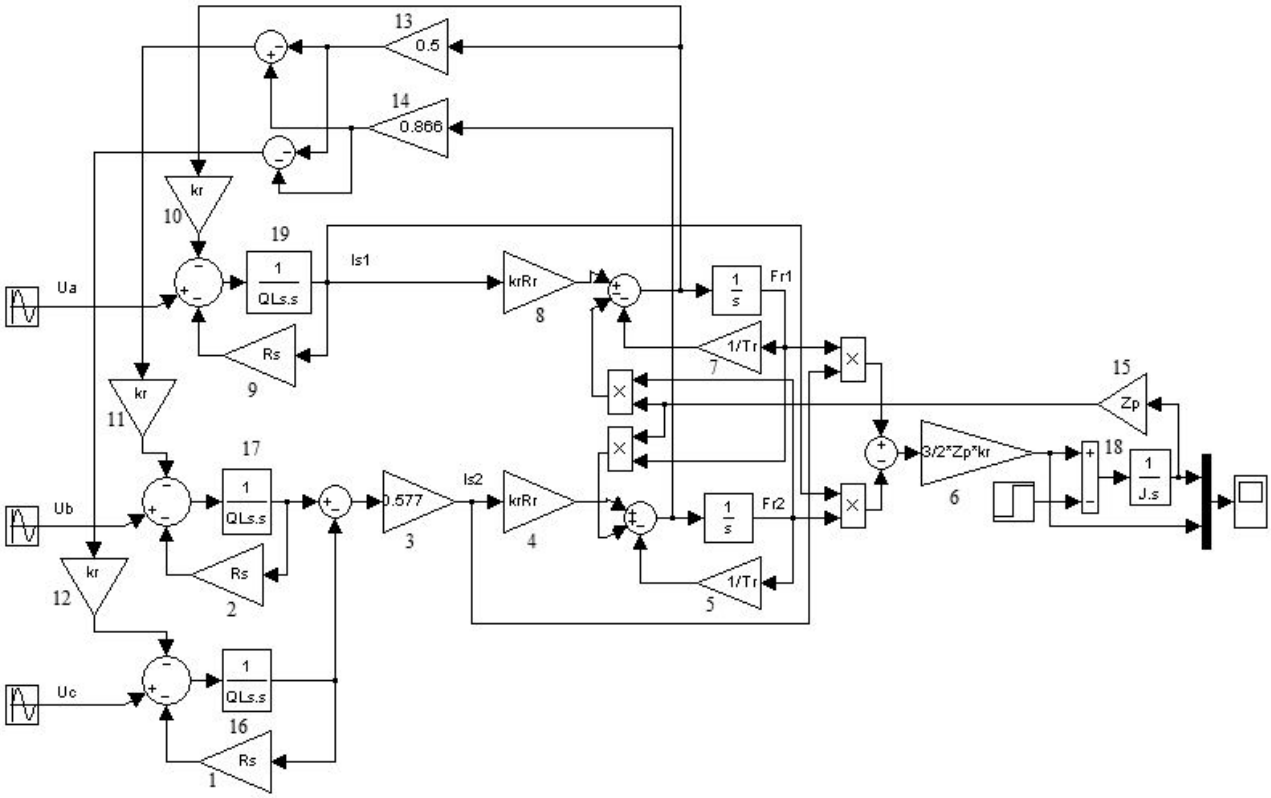

Рис. 1. Структурная схема динамической модели асинхронного двигателя

2. Параметры динамической модели

№	Тип	Пара-метры	Значения расчетные	Значения паспорт-ные
1	Gain	R_s	0,912	1
2	Gain	R_s	0,912	1
3	Gain	0,577	0,577	0,577
4	Gain	$k_r \cdot R_r$	0,714	0,721
5	Gain	$1/T_r$	3,937	3,968
6	Gain	$3/2 \cdot Z_p \cdot k_r$	1,443	1,443
7	Gain	$1/T_r$	3,937	3,968
8	Gain	$k_r \cdot R_r$	0,714	0,721
9	Gain	R_s	0,912	1
10	Gain	k_r	0,962	0,961
11	Gain	k_r	0,962	0,961
12	Gain	k_r	0,962	0,961
13	Gain	sin(30□)	0,5	0,5
14	Gain	sin(60□)	0,866	0,866
15	Gain	Z_p	1	1
16	TFcn	$1/\sigma Ls \cdot s$	1/0,0122s	1/0,0105s
17	TFcn	$1/\sigma Ls \cdot s$	1/0,0122s	1/0,0105s
18	TFcn	$1/J_д \cdot s$	1/0,01s	1/0,01s
19	TFcn	$1/\sigma Ls \cdot s$	1/0,0122s	1/0,0105s

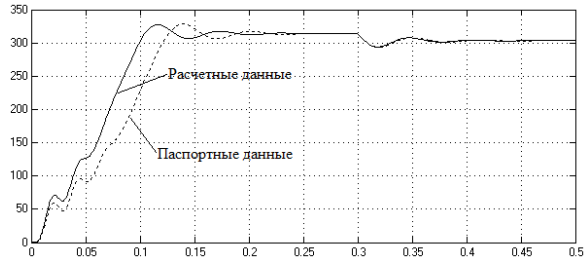

Рис. 2. Угловые скорости ротора

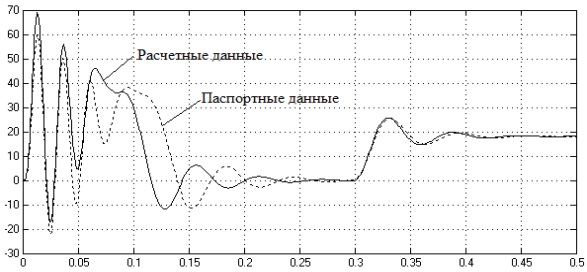

Рис. 3. Моменты на валу двигателя

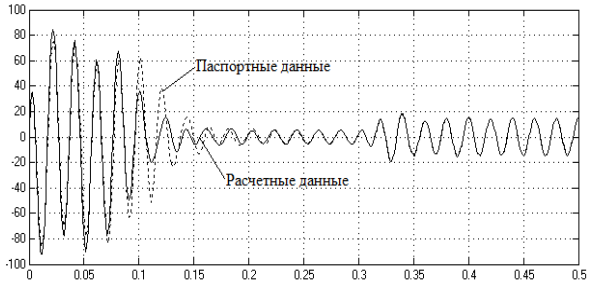

Рис. 4. Статорные токи

Из приведенных результатов моделирования двигателя с использованием как паспортных данных, так и расчетных видно, что имеет место практически полное совпадение между графиками в установившемся режиме. Довольно несущественные отличия имеются во время пуска и до установившегося режима. Время переходного процесса модели с использованием расчетных параметров немного меньше, чем у модели асинхронного двигателя, полученной на основе паспортных данных двигателя.

Выводы

Таким образом, параметры статорной и роторной цепей (индуктивные и активные сопротивления) являются необходимыми для построения полноценных и адекватных динамических моделей. Используемая методика для нахождения таких параметров является довольно эффективной. Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что сходимость расчетных значений с паспортными в основном находятся в пределах инженерных допусков (менее 5 %). Полученные переходные процессы динамической модели в установившихся режимах практически полностью совпадают. Исключение составляет лишь участок пуска двигателя.

Список использованной литературы

1. Мощинский Ю. А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным / Ю. А. Мощинский, В. Я. Беспалов, А. А. Кирякин // Электричество. – 1998. – № 4. – С. 39 – 42.

2. Загирняк М. В. Электрические машины. Часть 3. Асинхронные машины: учебное пособие / М. В. Загирняк, Б. И. Невзлин. – К ІСДО,1996. –196 с.

3. Квашнин В. О. Методика аналитического определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя / В. О. Квашнин // Вісник: Східноукраїнського національного університету: Науковий журнал: – Луганськ : – 2000. – Вип. № 8(30). – С. 54 – 59.

4. Кравчик А. Э. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболевская. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 380 с.

5. Квашнин В. О. Удосконалення методики визначення енергетичних характеристик асинхронного двигуна з використанням його математичної моделі / В. О. Квашнин, В. А. Косенко // Сборник трудов XX международной научно-технической конференции, – Севастополь : – 2013. – Том 3. – С. 274 – 277.

6. Квашнин В. О. Разработка динамической модели асинхронного двигателя / В. О. Квашнин // Вісник Східноукраїнського Національного університету. Науковий журнал. – Луганськ : – 2006. – Вип. 1(95). – С.87 – 91.

7. Квашнин В. О. Моделирование асинхронных электродвигателей с использованием пакета программ DELPHI / В. О. Квашнин, А. М. Наливайко // Наукове видання. Одеський національний політехнічний університет, ОНПУ-2006. – Вип. 66. – С. 219 – 220.

8. Патент № 61511 від 25.07.2011. Спосіб визначення моменту трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором / В. О. Квашнін, Ю. М. Мусієнко. – 2011.– Бюл. № 14.

9. Шевченко И. С. Электромеханические процессы в асинхронном электроприводе: учеб. пособие / И. С. Шевченко, Д. И. Морозов. – Алчевск : ДонДТУ, 2009. – 349 с.

10. Колб А. А. Теорія електроприводу: навчальний посібник / А. А. Колб. – Днепропетровськ : Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.

11. Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе : 6-е изд. исп. / С. Н. Вешеневский. –М. : Энергия, 1977. – 432 с.

12. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс; СПб.-Питер, 2008. – 288 с.: ил.

Получено 04.07.2014

References

1. Moshinskiy U.A., Bespalov V.Y., and Kiryakin A.A. Opredelenie parametrov shemi zamesheniya asinhronnoy mashini po katalojnim dannim [Determination of Equivalent Circuit Parameters of an Induction Machine to Catalog Data]. (1998), *Electrichestvo*, No. 4, pp. 39 –42 (In Russian).

2. Zagirnyak M.V., and Nevzlin B.I. Elektricheskie mashini CH. Z. Asinhronnie mashini [Electrical Machines CH. Z. Induction Machines], (1996), *Uchebnoe Posobie, K ISDO*, 196 p.

3. Kvashnin V.O. Metodika analiticheskogo opredeleniya parametrov shemi zamesheniya asinhronnogo dvigatelya [Technique of Analytical Determination of the Parameters of the Equivalent Circuit of the Induction Motor], (2000), *Visnik: Shidnoukrainskogo Nacionalnogo Universitetu: Naukoviy Jurnal*, Lugansk, Ukraine, Vipusk No. 8 (30), pp. 54 – 59 (In Russian).

4. Kravchik A.E., Shlaf M.M., Afonin V.I., and Sobolevskaya E.A. Asinhronnie dvigateli serii 4A. Spravochnik [Induction Motors Series 4A. Directory], (1982), Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat*, 277 p. (In Russian).

5. Kvashnin V.O., and Kosenko V.A. Udoskonalennya metodiki viznachennya energetichnih harakteristik asinhronnogo dviguna z vikoristannyam yogo matematichnoi modeli [Improved Methods of Determining the Energy Characteristics of Induction Motor using his Mathematical Model], (2013), *Sbornik Trudov XX Mejdunarodnoy Nauchno-Tehnicheskoy Konferencii*, Sevastopol, Ukraine, Vol. 3, pp. 274 – 277 (In Ukrainian).

6. Kvashnin V.O. Razrabotka dinamicheskoy modeli asinhronnogo dvigatelya [Development of a Dynamic Model of the Induction Motor], (2006), *Visnik Shidnoukrainskogo Nacionalnogo Universitetu: Naukoviy Jurnal*, Lugansk, Ukraine, Vipusk No.1(95), pp. 87 – 91 (In Russian).

7. Kvashnin V.O., and Nalivayko A.M. Modelirovanie asinhronnih elektrodvigateley s ispolzovaniem paketa programm DELPHI [Modeling of Induction Motors using a Software Package DELPHI], (2006), *Naukove Vidannya. Odeskiy Nacionalniy Politehnichniy Universitet, ONPU-2006*, Vipusk No. 66, pp.219 – 220 (In Russian).

8. Patent No. 61511 (25.07.2011), Kvashnin V.O., Musienko U.M. Sposib viznachennya momentu trifaznogo asinhronnogo dviguna z korotkozamknenim rotorom [The Method of Determining when a Three-Phase Asynchronous Motor with Squirrel-Cage Rotor], (2011), Bul. No. 14,

9. Shevchenko I.S., and Morozov D.I. Elektromehanicheskie processi v asinhronnom elektroprivode: ucheb. posobie [Electromechanical Processes in Asynchronous Electric Drive Proc. Allowance], (2009), Alchevsk, Ukraine, *DonDTU*, 349 p. (In Russian).

10. Kolb A.A. Teoriya elektroprivodu [Theory of Electric Drive], (2006), *Navchalniy Posibnik*, Dnepropetrovsk, Ukraine, *Nacionalniy Girnichiy Universitet*, 511 p. (In Russian).

11. Veshenevskiy S.N., Harakteristiki dvigateley v elektroprivode [Typical Motor in the Electric Drive], (1977), *6-e izd. Ispravlennoe*, Moscow, Russian Federation, *Energiya*, 432 p. (In Russian).

12. Chernih I.V. Modelirovanie elektrotehnicheskih ustroystv v Matlab, SimPowerSystems i Simulink [Modeling of Electrical Devices in Matlab, SimPowerSystems and Simulink], (2008), Moscow, Russian Federation, *DMK Press*; SPb.-Piter, Russian Federation, 288 p. (In Russian).

Квашнин
Валерий Олегович,
канд. техн. наук, доц. каф. электромеханических систем автоматизации и электропривода Донбасской государственной машиностроительной академии.
Тел. 0626 41-68-93,
+38 (050) 989-77-01.
E-Mail: v.kvashnin@mail.ru

Косенко
Владислав Артурович,
аспирант каф. электромеханических систем автоматизации и электропривода Донбасской государственной машиностроительной академии.
Тел. +38 (099) 709-57-84.
E-Mail: vladislavart44@mail.ru