

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 короткозамкнутим 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

$$I_n = \frac{P_n}{m_1 \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}, \quad (1)$$

где P_n – номинальная мощность двигателя; m_1 – число фаз; U_{1n} – фазное напряжение статора; $\cos \varphi_n$ – номинальный коэффициент мощности двигателя; η_n – номинальный КПД.

Критическое скольжение определяется выражением

$$S_K = S_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{(k_{\max})^2 - (1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)}, \quad (2)$$

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

Ток холостого хода находится по выражению

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p^* \cdot I_H \cdot (1 - S_H) / (1 - p^* \cdot S_H))^2}{1 - (p^* \cdot (1 - S_H) / (1 - p^* \cdot S_H))^2}}, \quad (3)$$

где p^* – коэффициент загрузки двигателя; I_{11} – ток статора двигателя при частичной нагрузке.

Ток статора при частичной нагрузке двигателя определяется соотношением

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_H}{m_1 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}}, \quad (4)$$

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

Оценка выбранной методики осуществлялась на примере асинхронного двигателя серии 4A100L2, 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.

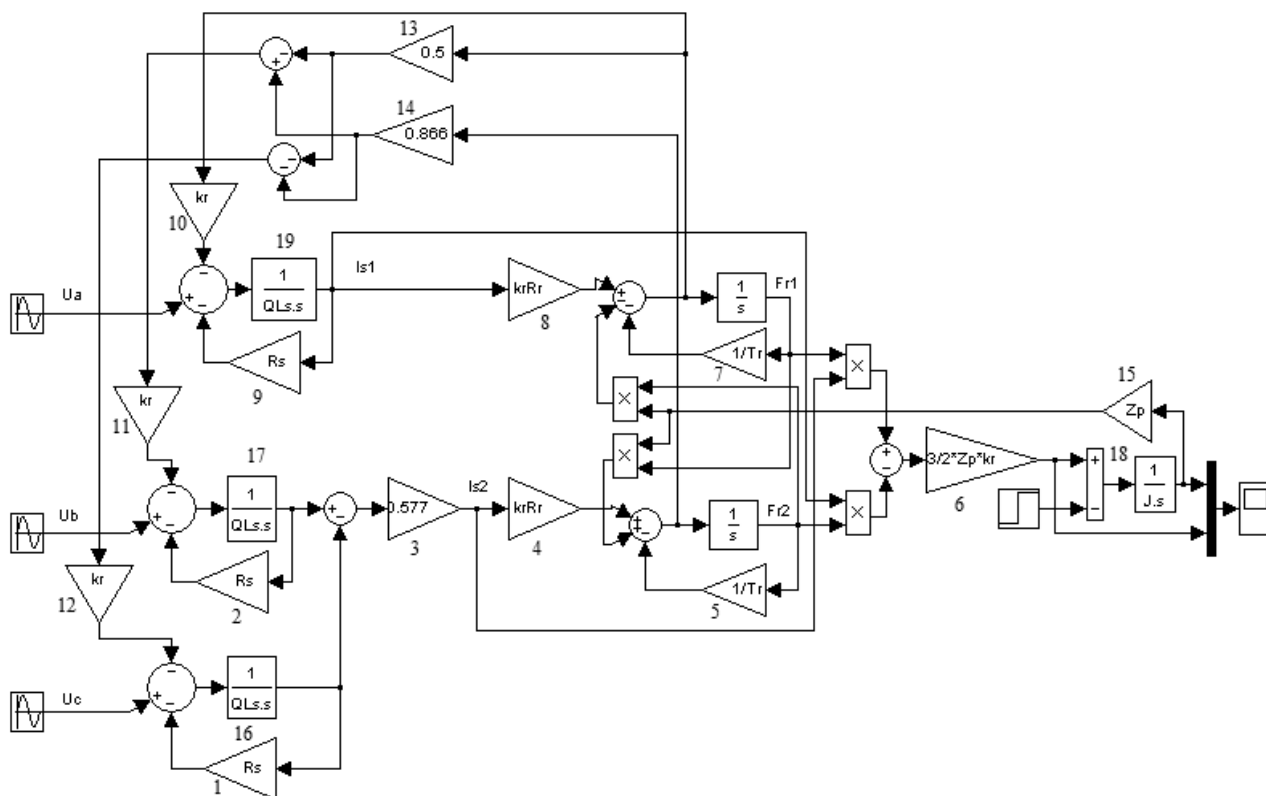


Рис. 1. Структурная схема динамической модели асинхронного двигателя

2. Параметры динамической модели

№	Тип	Параметры	Значения расчетные	Значения паспортные
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	$\sin(30^\circ)$	0,5	0,5
14	Gain	$\sin(60^\circ)$	0,866	0,866
15	Gain	Z_p	1	1
16	TFcn	$1/\sigma L_s \cdot s$	1/0,0122s	1/0,0105s
17	TFcn	$1/\sigma L_s \cdot s$	1/0,0122s	1/0,0105s
18	TFcn	$1/J_d \cdot s$	1/0,01s	1/0,01s
19	TFcn	$1/\sigma L_s \cdot s$	1/0,0122s	1/0,0105s

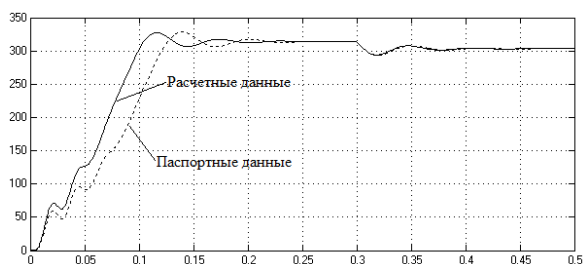


Рис. 2. Угловые скорости ротора

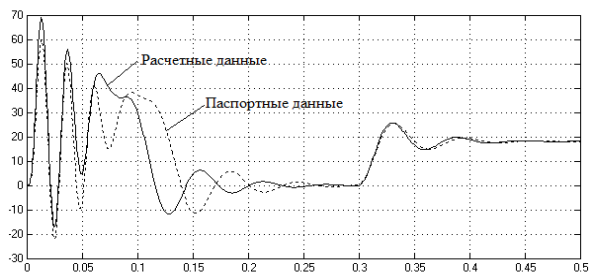


Рис. 3. Моменты на валу двигателя

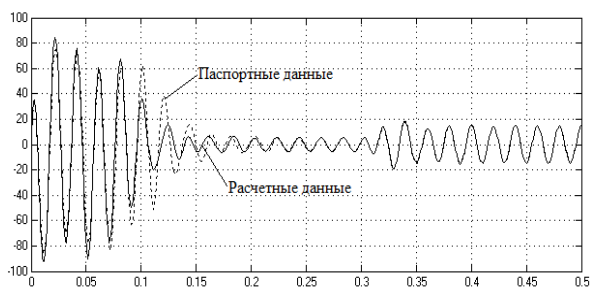


Рис. 4. Статорные токи

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 ИСДО, 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 katalognim 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 karakteristik 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-Tehnicheskoj 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 elektrodvigatelyey s ispolzovaniem paketa programm DELPHI [Modeling of Induction Motors using a Software Package DELPHI], (2006), *Naukove Vidannya. Odeskij Nacionalnij Politehnicnij 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 korotkozamknemim 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. Elektromehaniicheskie 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), *Navchalnij Posibnik*, Dnepropetrovsk, Ukraine, *Nacionalnij Girnichij 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 elektrotehnicheskikh 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 электропри-
вода Донбасской государствен-
ной машиностроительной
академии.
Тел. 0626 41-68-93,
+38 (050) 989-77-01.
E-Mail: v.kvashnin@mail.ru



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