

Nikanorov Boris Alexandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Head of Sector, alexander5151@rambler.ru, Russia, Tula, KBP named after academician A. Shipunov,

Vasiliev Alexandr Anatolievich, Candidate of Engineering Sciences, research engineer of 1st category, alexander5151@rambler.ru, Russia, Tula, KBP named after academician A. Shipunov

УДК 621.313.333

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ

О.В.Горячев, А.О. Степочкин

Рассматриваются алгоритмы, позволяющие определить параметры схемы замещения по минимальному набору каталожных данных. На основании полученных результатов выполняется моделирование прямого пуска двигателя.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, Г-образная схема замещения асинхронного двигателя; каталожные данные асинхронного двигателя, модель прямого пуска асинхронного двигателя в Simulink.

Как для учебного процесса, так и для прикладных и исследовательских задач очевидна потребность в эффективной методике моделирования режимов работы асинхронного двигателя на основе его математической модели и известных каталожных данных. Система MATLAB с пакетом расширения Simulink дает широчайшие возможности для анализа и синтеза систем управления и их элементов.

Математическая модель асинхронной машины хорошо известна. Она включает в себя модель электрической части, которую можно представить в виде модели пространства состояний четвертого порядка и модель механической части в виде системы второго порядка. Но, вместе с тем, задача выбора простой и точной методики расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя остаётся по-прежнему актуальной, несмотря на большое количество публикаций на эту тему. В данной статье рассматриваются различные алгоритмы такого расчета в применении к конкретной модели асинхронного двигателя, а на основе полученных результатов выполняется визуальное имитационное моделирование прямого пуска двигателя в пакете Simulink.

В каталогах, как правило, приводятся следующие данные двигателя:

- номинальная механическая мощность $P_{ном}$, кВт;

- коэффициент полезного действия в номинальном режиме η_n , %;
- коэффициент мощности $\cos \varphi$;
- частота вращения в номинальном режиме n_n , об/мин;
- синхронная частота вращения n_c , об/мин;
- номинальное скольжение S_n ;
- кратность максимального момента $\lambda = \frac{M_m}{M_n}$;
- кратность пускового момента $K_n = \frac{M_n}{M_n}$;
- кратность пускового тока $I_n = I_n/I_n$;

Расчетные значения параметров упрощенной Г-образной схемы замещения также являются справочными данными, однако параметры эти присутствуют далеко не во всех каталогах.

- главное индуктивное сопротивление X_μ ;
- активное сопротивление обмотки статора R'_1 ;
- индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора X'_1 ;
- приведенное к обмотке статора, активное сопротивление обмотки ротора R''_2 ;
- приведенное к обмотке статора, индуктивное сопротивление обмотки ротора X''_2 .

Данные параметры представлены в относительных единицах.

В общем случае, задача расчета параметров схемы замещения (в размерностях системы СИ) может быть поставлена как с известными параметрами Г-образной схемы замещения, так и без них.

Рассмотрим несколько существующих методик расчета.

В [1] представлена достаточно простая и обеспечивающая требуемую точность методика расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя без использования параметров Г-образной схемы замещения и с предполагаемой погрешностью не более 15%. Однако для её реализации требуются исходные данные, которые в каталогах, как правило, отсутствуют. Это энергетические показатели при нагрузке двигателя равной 25, 75, 50 и 125% от номинальной. Соответственно, в нашем случае применение данной методики является затруднительным.

Методика, представленная в работе [2] также позволяет рассчитать параметры схемы замещения двигателя в единицах системы СИ без использования параметров Г-образной схемы замещения.

Для выполнения расчета определяются основные зависимости.

Номинальное фазное напряжение при схеме соединения обмотки звезда (В):

$$U = \frac{U_n}{\sqrt{3}}.$$

Критическое скольжение (о.е.):

$$S_{кр} = S_{ном}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}).$$

Номинальная угловая частота вращения (рад/с):

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30}.$$

Номинальный момент вращения (Нм):

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}.$$

Пусковой момент (Нм):

$$M_{п} = K_{п} M_n.$$

Делается оценочное допущение о величине механических потерь в двигателе:

$$P_{мех} = (0,01 \div 0,05) P_{ном}.$$

Вводится расчетный коэффициент С (о.е.):

$$C = (1,01 \div 1,05).$$

И из зависимости для расчета полной потребляемой мощности мы получаем приведенное активное сопротивление ротора (Ом):

$$R_r = \frac{1}{2} \frac{P_{ном} + P_{мех}}{I_n^2},$$

и активное сопротивление статора (Ом):

$$R_s = \frac{U \cos \varphi (1 - \eta)}{I_n} - C^2 R_r - \frac{P_{мех}}{3 I_n^2}.$$

Аналогично, на основе принятых автором [2] допущений получаются зависимости для расчета приведенных индуктивностей рассеяния статора и ротора (Гн):

$$L_{sp} = L_{rp} = \frac{U}{4 \pi f (1 + C^2) I_n I_n};$$

индуктивности статора (Гн):

$$L_s = \frac{U}{2 \pi f I_n \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - \frac{22 \pi f M_{max} S_n}{3 p U S_{кр}}};$$

индуктивности цепи намагничивания (Гн):

$$L_m = L_s - L_{sp}.$$

При выполнении предварительного расчета по предложенной схеме, к сожалению, не удалось добиться желаемой точности, поэтому применение данной методики в наших условиях будем считать нецелесообразным.

Рассмотрим методику расчета с применением известных параметров Г-образной схемы замещения.

Параметры математической модели вычисляются по следующему алгоритму:

1. Вычисляются значения индуктивного и активного сопротивлений статора:

$$X_1 \approx \frac{2X_1'X_\mu}{X_\mu + \sqrt{X_\mu^2 + 4X_1'X_\mu}};$$

$$R_1 = \frac{R_1'X_1}{X_1'}.$$

2. Определяется номинальный фазный ток статора:

$$I_n = \frac{P_{ном}}{3U\eta\cos\varphi}.$$

3. Осуществляется переход к действительным значениям параметров схемы замещения:

$$r_1 = R_1 \frac{U}{I_n};$$

$$x_1 = X_1 \frac{U}{I_n};$$

$$r_2 = R_2' \frac{U}{I_n};$$

$$x_2 = X_2' \frac{U}{I_n};$$

$$x_\mu = X_\mu' \frac{U}{I_n}.$$

4. Происходит переход от индуктивных сопротивлений к индуктивностям

$$L_{\sigma 1} = \frac{x_1}{2\pi f};$$

$$L_{\sigma 2} = \frac{x_2}{2\pi f};$$

$$L_m = \frac{x_\mu}{2\pi f}.$$

5. Определяем индуктивности статора и ротора

$$L_1 = L_{\sigma 1} + L_m;$$

$$L_2 = L_{\sigma 2} + L_m.$$

Данный алгоритм является самым простым из перечисленных выше и, одновременно, обеспечивает требуемую в нашем случае точность.

Выполним расчет по данному алгоритму для конкретной марки двигателя.

A200M4Y3 – асинхронный трёхфазный двигатель с короткозамкнутым ротором имеет следующие каталожные данные:

- номинальная механическая мощность $P_{ном} = 37$ кВт;
- коэффициент полезного действия в номинальном режиме $\eta_n = 91$ %;
- коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,9$;
- частота вращения в номинальном режиме $n_n = 1475$ об/мин;
- синхронная частота вращения $n_c = 1500$ об/мин;
- кратность максимального момента $\lambda = 2,5$;
- кратность пускового момента $K_n = 1,4$;
- кратность пускового тока $I_n = 7$;

- главное индуктивное сопротивление $X_{\mu} = 4,4$;
- активное сопротивление обмотки статора $R'_1 = 0,039$;
- индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора $X'_1 = 0,086$;
- приведенное к обмотке статора, активное сопротивление обмотки ротора $R''_2 = 0,018$;
- приведенное к обмотке статора, индуктивное сопротивление обмотки ротора $X''_2 = 0,14$.

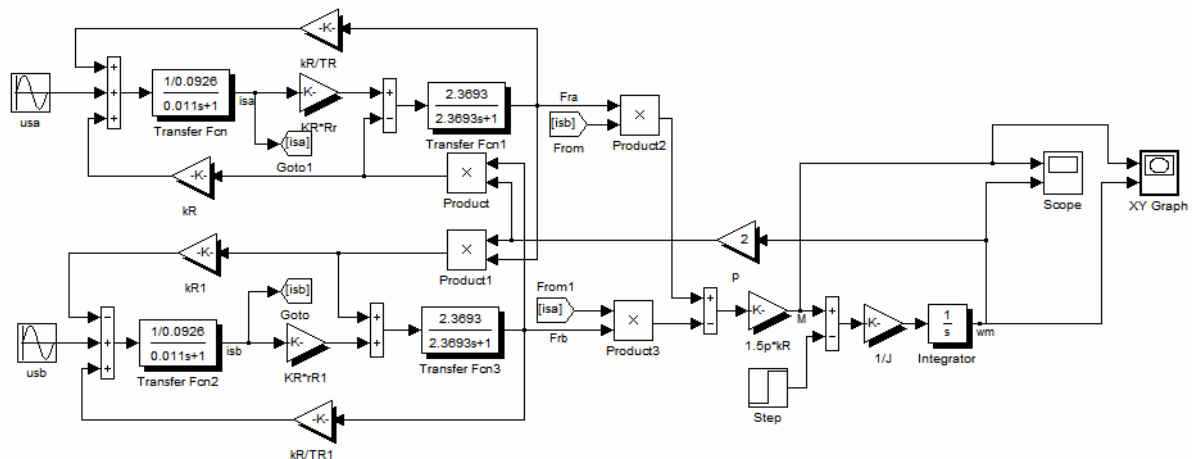


Рис. 1. Модель прямого пуска двигателя A200M4Y3 в пакете Simulink

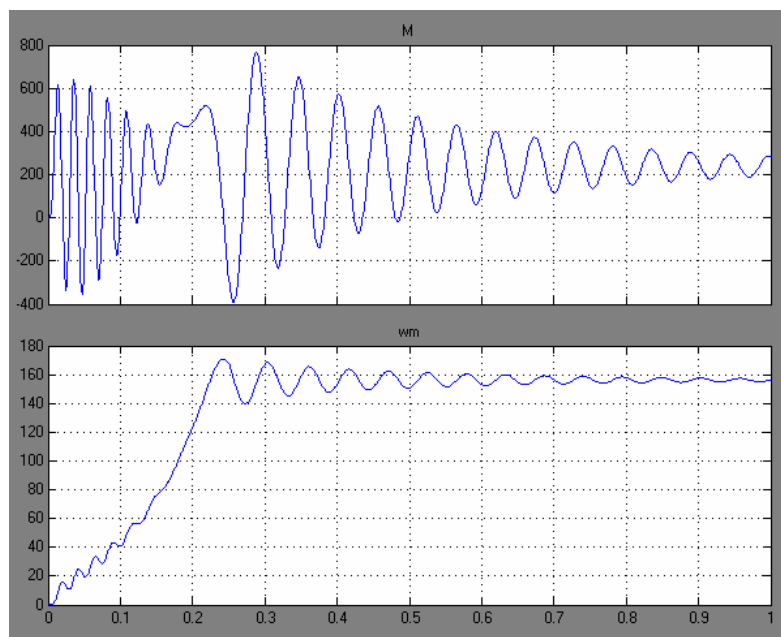


Рис. 2. Переходные процессы по скорости и моменту на валу двигателя A200M4Y3 при прямом пуске

В результате получим следующие параметры схемы замещения двигателя:

- активное сопротивление обмотки статора $R_s = 0,0739$ Ом;

- индуктивность обмотки статора $L_s=0,0453$ Гн;
- приведенное к обмотке статора, активное сопротивление обмотки ротора $R_r=0,0191$ Ом;
- приведенная к обмотке статора, индуктивность обмотки ротора $L_r=0,0453$ Гн;
- индуктивность цепи намагничивания $L_m=0,0448$ Гн;

После расчета параметров схемы замещения с помощью полученных данных выполним моделирование прямого пуска двигателя А200М4УЗ в пакете Simulink согласно методике из публикации [3]. Используем модель двигателя в неподвижной системе координат (рис. 1 и 2).

В заключение отметим, что все представленные методики имеют свои достоинства и недостатки, и основополагающим моментом при выборе будет, прежде всего, являться набор исходных каталожных данных, а точнее – известны ли параметры Г-образной схемы замещения. В случае, если данные параметры заданы, лучшим выбором станет последняя из рассмотренных методик расчета.

Список литературы

1. Мощинский Ю. А., Беспалов В. Я., Кирякин А. А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным // Электричество. 1998. №4/98. С. 38-42.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. СПб.: Питер, 2008. 288 с.
3. Герман-Галкин С.Г. MATLAB&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. СПб.: КОРОНА-Век, 2008. 368 с.

Горячев Олег Владимирович, д-р техн. наук, проф., зав. каф. САУ, olegvgor@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Степочкин Александр Олегович, аспирант каф. САУ, avalonmex@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

COMPARATIVE ANALYSIS OF CATALOG DATA EQUIVALENT CIRCUIT PARAMETERS CALCULATION ALGORITHMS

O.V. Goryachev, A.O. Stepochkin

We consider algorithms to determine equivalent circuit parameters using a minimal set of catalog data. Based on these results the simulation of motor direct starting.

Key words: induction motor, equivalent circuit, catalog data, direct start model.

Goryachev Oleg Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of the Department of Automatic Control Systems, olegvgor@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Stepochkin Alexandr Olegovich, postgraduate at the Department of Automatic Control Systems, avalonmex@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University.

УДК 681.51

МОБИЛЬНЫЕ СУХОПУТНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ – ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ, НАПРАВЛЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ В СОЗДАНИИ И ПРИМЕНЕНИИ

О.В. Горячев, В.С. Фимушкин, К.П. Чуканов

Работа посвящена обзору мобильных сухопутных (наземных) робототехнических комплексов - введению в анализ их классификационных характеристик и областей применения (на основе известных открытых источников).

Ключевые слова: робототехнический комплекс, классификация, признак.

История робототехники насчитывает много веков и включает эпохи изделий гениальных механиков – «чудесные машины», затем человекоподобные (антропоморфные) машины, промышленную робототехнику с программным управлением, с обратной связью через окружающую среду, бытовую технику и сферу досуга, медицинские манипуляторы. Прогресс науки и техники, потребность в новой технике для гражданского и военного применения привели к созданию сложных робототехнических систем (РТС) и комплексов (РТК). В середине прошлого века понятие РТС охватило мобильные безэкипажные (непилотируемые) системы, функционирующие в космосе и атмосфере, на земле, на воде и под водой, разработка и использование которых ведется многими странами.

В России исследованиям в области специальной робототехники всегда уделялось большое внимание. Надо помнить, что в числе выдающихся достижений отечественной науки и техники мирового приоритета – опционально-пилотируемый, двухсредный орбитальный космический корабль «Буран», дистанционно-управляемый аппарат «Луноход-1».

Орбитальный космический корабль (КК) «Буран», являлся частью отечественной многоразовой космической системы, состоящей из ракеты-носителя «Энергия» и орбитального КК «Буран». Пуск системы состоялся 15.11.1988 год, совершив орбитальный полет в автоматическом режиме в течение 3 часов 26 минут, «Буран» произвел автоматическую посадку по «самолетному» на посадочную полосу космодрома. «Буран» выполнен по самолетной схеме («бесхвостка»), масса – до 105 т, масса груза, доставляемого на орбиту – 30 т, возвращаемого – до 15 т, длина – 36,4 м, высота –