

Модель идентификации параметров электродвигателя в среде Scilab Xcos

В. И. Капля, М.В. Горбачев, Д.И. Кудряшов

*Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного
технического университета*

Аннотация: В статье рассмотрена модель идентификации параметров электродвигателя методом свободного выбега путем создания модели процессов разгона и торможения в среде Scilab Xcos. Модель построена на основе упрощенной модели электродвигателя в виде апериодического звена первого порядка, которая дополнена моделью механического звена, соединенного с валом электродвигателя. Учет инерционности электромагнитных процессов позволяет адекватно моделировать состояние и параметры электродвигателя. Идентификация позволяет определить момент инерции механической части электродвигателя. Модель построена на основе системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику процессов разгона и торможения электродвигателя. Схема модели имеет в своем составе блоки для решения системы дифференциальных уравнений и блоки для вычисления идентифицируемого параметра. Проведено имитационное моделирование в среде Scilab Xcos для оценки функциональности полученной схемы модели. Значения искомого момента инерции вычисляется от начала и до конца процесса моделирования, при этом получается правильное значение, за исключением короткого участка в начале разгона. Полученные графические зависимости позволяют наглядно проиллюстрировать процесс разгона и торможения электродвигателя в виде переходных функций для вращающих моментов.

Ключевые слова: электродвигатель, момент инерции, электромагнитный момент, метод выбега, идентификация параметров, вращающий момент, схема модели, переходная функция.

Введение

Электродвигатели являются основой большинства производственного оборудования [1,2]. Точный учет параметров электродвигателей (ЭД) позволяет реализовать эффективные алгоритмы управления электроприводами в различных устройствах [3,4]. Сложное устройство электродвигателей не позволяет точно рассчитывать их параметры, что обуславливает актуальность развития методов идентификации параметров электродвигателей [5-7]. В данной работе рассматривается пример идентификации параметров ЭД методом свободного выбега [6,8], который применяют в случае необходимости идентификации параметров электромеханической системы (ЭМС) без демонтажа ЭД.

Математическая модель одномассовой ЭМС с электродвигателем

Исследуемая электромеханическая система представляет собой электродвигатель и механически соединенные с ним элементы, количество которых минимизировано.

Динамические свойства ЭМС описывают системой дифференциальных уравнений. Упрощенный вариант системы дифференциальных уравнений, описывающих одномассовую ЭМС с электродвигателем, имеет вид [1]:

$$\begin{cases} T_{\varepsilon} \frac{dM_{\varepsilon}(t)}{dt} + M_{\varepsilon}(t) = k_{\varepsilon} \cdot U(t), \\ J \frac{d\omega(t)}{dt} = M_{\varepsilon}(t) - k_{\beta} \cdot \omega(t) - M_c(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $k_{\varepsilon} = \Delta M / \Delta U$ – коэффициент чувствительности по моменту к изменению напряжения, $k_{\beta} = \Delta M / \Delta \omega$ – жесткость механической характеристики электродвигателя, J – момент инерции электромеханической системы. Приведенная система уравнений (1) может применяться для исследования электродвигателей постоянного и переменного тока.

Обмотки электродвигателя имеют значительную индуктивность, поэтому изменение электромагнитного момента M_{ε} протекает во времени примерно по экспоненциальному закону с постоянной времени T_{ε} . Вследствие этого, электромагнитная часть электродвигателя описывается апериодическим звеном.

Преобразование Лапласа позволяет перейти от системы дифференциальных уравнений (1) к системе операторных уравнений. Упрощенная математическая модель электродвигателя с учетом электромагнитной инерции [2] описывается системой операторных уравнений:

$$\begin{cases} M_{\varepsilon}(T_{\varepsilon} \cdot s + 1) = k_{\varepsilon} \cdot U, \\ M_{\varepsilon} - k_{\beta} \cdot \omega - M_c = J \cdot \omega \cdot s. \end{cases} \quad (2)$$

На основе системы операторных уравнений (2) можно составить структурную схему ЭМС, которая представлена на рис.1[2]:

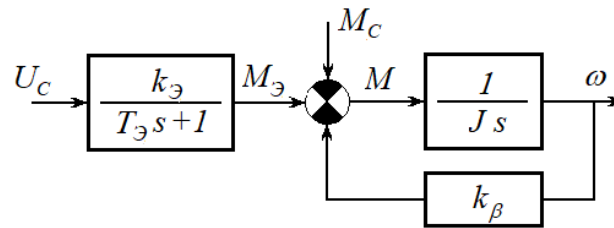


Рис.1. – Упрощенная структурная схема ЭМС с электродвигателем

Структурная схема ЭМС является основанием для формирования имитационной модели в среде моделирования Scilab Xcos.

Математическая модель идентификации параметров электродвигателя методом свободного выбега

Метод выбега состоит в том, что электродвигатель включается и ЭМС разгоняется до некоторой установившейся скорости вращения ω_{xx} , которая называется скоростью холостого хода. После достижения установившейся скорости вращения электродвигатель выключается, однако вращение вала продолжается еще некоторое время, в течение которого угловая скорость вращения плавно убывает. Цель метода состоит в определении момента инерции ротора электродвигателя.

В процессе разгона ЭМС в режиме холостого хода совершается работа A_{xx} , энергия которой запасается в механической части [6,9]:

$$A_{xx} = J \frac{\omega_{xx}^2}{2} \quad (3)$$

Выполняемая в процессе вращения работа может быть вычислена по формуле [9]:

$$A(t) = \int_0^{\varphi} M(\varphi) d\varphi = \int_0^t M(\tau) \omega(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Положительные значения момента вращения $M(t)$ соответствуют процессу разгона ЭМС, а отрицательные значения – процессу торможения.

Момент инерции механической части ЭМС можно вычислить по величине $A(t)$, запасенной в ЭМС энергии и величине угловой скорости холостого хода $\omega_{\text{ХХ}}$ [8,10]:

$$J(t) = \frac{2A(t)}{\omega_{\text{ХХ}}^2(t)}. \quad (5)$$

Формула (5) позволяет определить искомую величину момента инерции механической части ЭМС.

Схема модели для идентификации момента инерции электродвигателя методом выбега в среде Scilab Xcos

Модель идентификации включает модель электрической части электродвигателя в виде апериодического звена первого порядка, модель механической части электродвигателя и элементы вычисления момента инерции ЭМС по текущим результатам моделирования процессов разгона и выбега электродвигателя. Момент внешних сил принят равным нулю $M_C=0$.

На рис.2 представлена схема модели идентификации параметров электродвигателя в среде Scilab Xcos. Схема содержит элементы регистрации процессов движения, которые выполняют элементы ЭМС с электродвигателем. Блоки В-01 и В-02 формируют входное напряжение ЭД, которое включается в момент времени t_n и выключается в момент времени t_k . Блок В-03 соответствует электрической части ЭД, заданной в виде апериодического звена первого порядка. Блок В-04 соответствует механической части ЭД и в качестве параметра содержит идентифицируемый момент инерции J . Блоки В-07 и В-08 реализуют вычисления в соответствии с формулами (4) и (5).

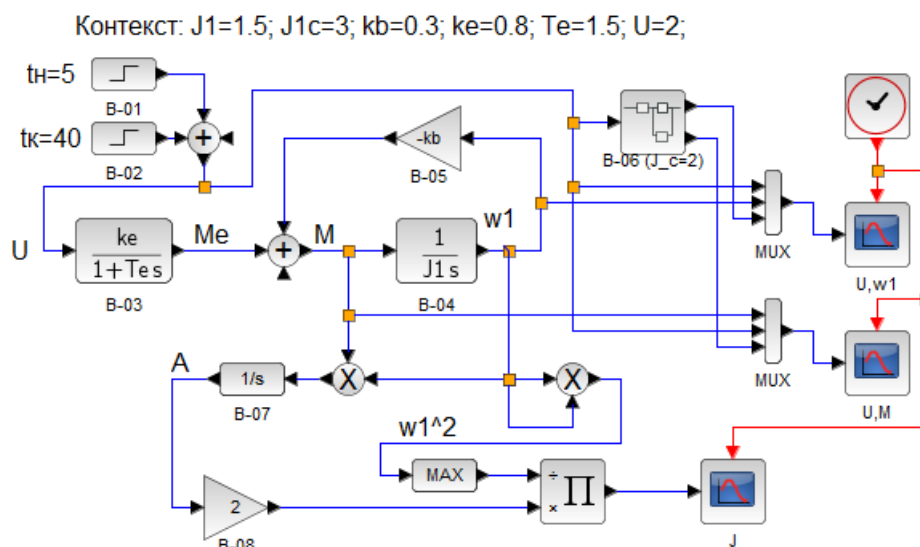


Рис.2. – Схема модели идентификации параметров электродвигателя

Блок В-06 является модулем, который содержит копию моделируемой ЭМС, состоящей из блоков В-03, В-04 и В-05. Отличие модуля от основной схемы состоит в увеличенном в 2 раза моменте инерции J , что позволяет сравнить процессы разгона и выбега ЭМС для различных моментов инерции.

Результаты численного эксперимента в среде моделирования Scilab Xcos

Оценка функциональности полученной модели была выполнена с помощью программного средства Scilab Xcos. Переходная характеристика ЭМС в процессе разгона и выбега приведена на рис.3. График 1 соответствует величине напряжения, подаваемого на ЭД, 2 – переходная характеристика исследуемой системы, 3 – переходная характеристика системы с удвоенным моментом инерции.

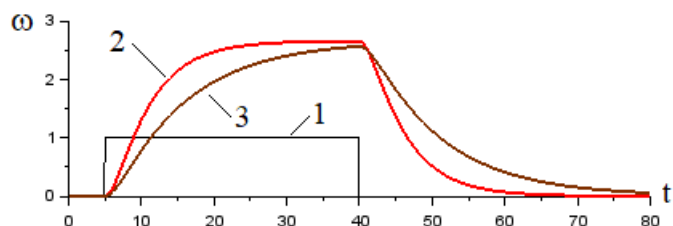


Рис.3. – Переходная характеристика системы для скорости вращения

Процесс изменения моментов вращения в процессе разгона и выбега приведен на рис.4. График 1 – величина напряжения, подаваемого на ЭД, 2 – момент M_e , формируемый блоком В-06, 3 – момент вращения M , воздействующий на вращающиеся массы ЭМС. График 3 указывает на то, что вращающий момент M отличен от нуля только на этапах разгона и торможения, когда вращающиеся массы ЭМС запасают энергию на этапе разгона и расходуют её на этапе торможения.

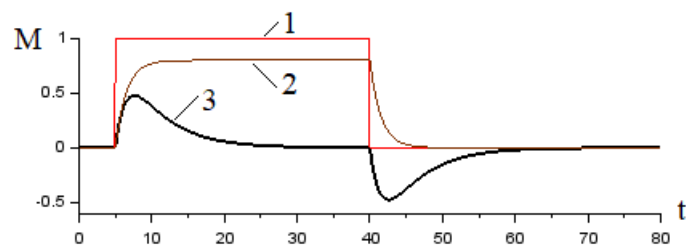


Рис.4. – Переходные характеристики системы для моментов вращения

Разработанная модель осуществляет вычисление момента инерции ЭМС по формулам (4) и (5) в течение всего процесса моделирования. Результат идентификации величины момента инерции ЭМС J приведены на рис.5. Начиная с момента начала разгона t_H график $J(t)=const$ представляет собой горизонтальную линию, уровень которой равен заданной величине момента инерции ЭМС.

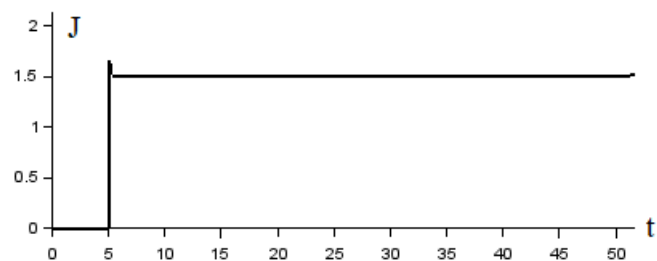


Рис.5. – Результат идентификации момента инерции ЭМС

Таким образом, метод выбега для идентификации момента инерции дает приемлемые результаты, за исключением относительно короткого момента в момент начала процесса разгона ЭМС. Полученные результаты моделирования подтверждают функциональность предложенной модели идентификации: полученное время выбега вала нагрузки позволяет оценить параметры электродвигателя.

Выводы

Модель идентификации момента инерции механической части электродвигателя, созданная средствами среды визуального программирования Scilab Xcos, позволяет получить корректные результаты. Схема моделирования имеет простую и наглядную структуру, которая полностью соответствует математической модели исследуемой ЭМС.

Литература

1. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 2001. 704 с.
2. Дементьев Ю.П. Электрический привод. Томск: Изд-во ТПУ, 2019. 232 с.
3. Маршаков Д.В., Цветкова О.Л., Айдинян А.Р. Нейросетевая идентификация динамики манипулятора // Инженерный вестник Дона, 2011, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/504.
4. Синютин С.А., Горбунов А.А., Киснер А.Ю. Разработка динамической модели электропривода механизма сканирования ПОЗ // Инженерный вестник Дона, 2020, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6639.

5. Макаров В.Г. Идентификация параметров трехфазного асинхронного двигателя // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2010. № 3-4. С. 88-101.
6. Tong W. Mechanical Design of Electric Motors. CRC Press, Taylor & Francis Group. 2014. 737 p.
7. Genta, G. Delprete, C. Some considerations on the experimental determination of moments of inertia. // Meccanica N. 29(2). 1994. pp. 125–141.
8. Каширских В. Г. Динамическая идентификация асинхронных электродвигателей. Кемерово: КузГТУ, 2005. 139 с.
9. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. М.: Высш. шк., 1990. 610 с.
10. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов. СПб.: Издательство «Лань», 2022. 224 с.

References

1. Kljucev V.I. Teorija jelektrivoda [Electric drive theory]. М.: Jenergoatomizdat, 2001. 704 p.
 2. Dement'ev Ju.P. Jelektricheskiy privod [Electric drive]. Tomsk: Izd-vo TPU, 2019. 232 p.
 3. Marshakov D.V., Cvetkova O.L., Ajdinjan A.R. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/504.
 4. Sinjutin S.A., Gorbunov A.A., Kisner A.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2020, №10 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6639.
 5. Makarov V.G. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy jenergetiki. 2010. № 3-4. pp. 88-101.
 6. Tong W. Mechanical Design of Electric Motors. CRC Press, Taylor & Francis Group. 2014. 737 p.
 7. Genta, G. Delprete, C. Meccanica N. 29(2). 1994. pp. 125–141.
-



8. Kashirskih V. G. Dinamicheskaja identifikacija asinhronnyh jelektrovdigatelej [Dynamic identification of asynchronous electric motors]. Kemerovo: KuzGTU, 2005. 139 p.
9. Nikitin N.N. Kurs teoreticheskoj mehaniki [Course of theoretical mechanics]. M.: Vyssh. shk., 1990. 610 p.
10. Nikitenko G.V. Jelektroprivod proizvodstvennyh mehanizmov [Electric drive of production mechanisms]. SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2022. 224 p.