

## 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  $M_{\varepsilon}$  протекает во времени примерно по экспоненциальному закону с постоянной времени  $T_{\varepsilon}$ . 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]:

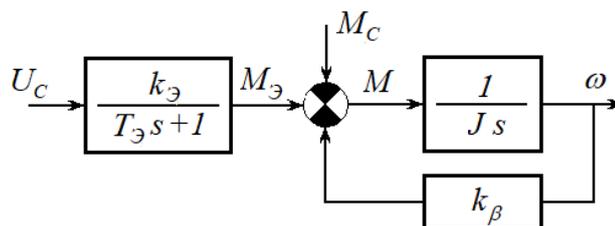


Рис.1. – Упрощенная структурная схема ЭМС с электродвигателем

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  $\omega_{xx}$ , 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).

---

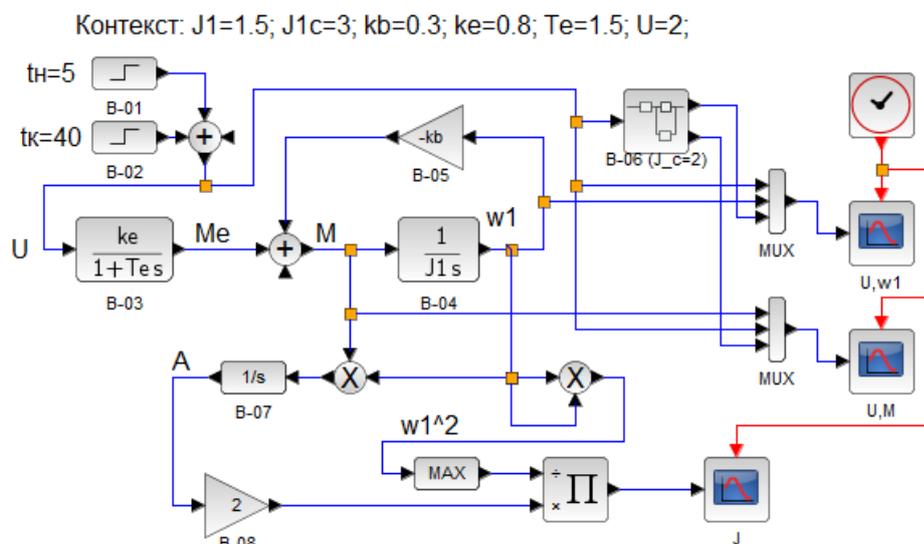


Рис.2. – Схема модели идентификации параметров электродвигателя

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.

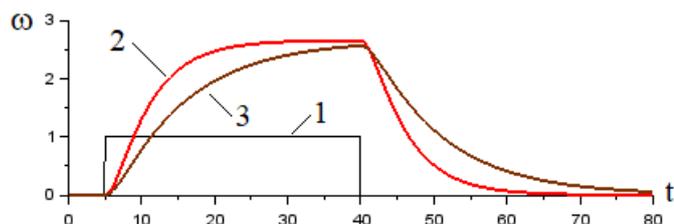


Рис.3. – Переходная характеристика системы для скорости вращения

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.

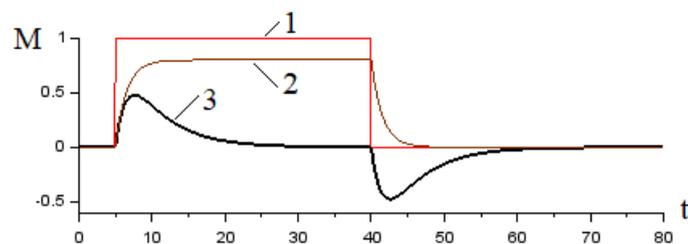


Рис.4. – Переходные характеристики системы для моментов вращения

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.

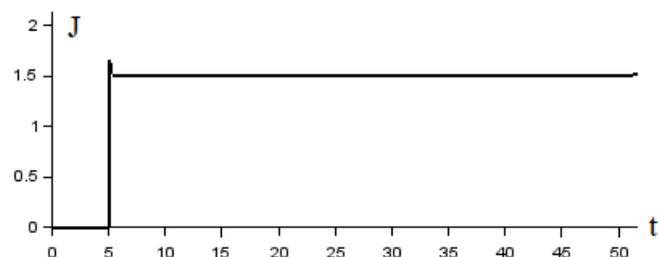


Рис.5. – Результат идентификации момента инерции ЭМС

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](http://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](http://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 jelektroprivoda [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](http://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](http://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.