

УДК 681.5.015.23

Синтез алгоритма управления электроприводом требуемой динамической точности

Акименко Дмитрий Андреевич

akimenko@kaluga.ru

Семехин Дмитрий Евгеньевич

sde19ki188@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрен вопрос построения алгоритма управления электроприводом из условия обеспечения требуемой динамической точности. Построена и определены числовые значения параметров эталонной модели из условия обеспечения требуемых динамических показателей, на основании которой формируется алгоритм управления электроприводом. Приведены результаты моделирования полученной замкнутой системы управления приводом при наличии нагрузки, а также при отклонениях числовых значений параметров привода от номинальных, которые демонстрируют эффективность полученного алгоритма управления.

Ключевые слова: математическая модель, системы управления, объект управления, электропривод

Простота конструкции и управления способствовали широкому внедрению электроприводов в различных отраслях техники как в качестве самостоятельных объектов регулирования, так и в составе элементов сложных систем управления. Классический подход к управлению электроприводом, основанный на использовании стандартных регуляторов, позволяет получить хорошие результаты в плане стабилизации заданного положения или постоянной скорости движения объекта. В случае переменных во времени задающих воздействий, отклонениях параметров приводов от номинальных, системы с такими алгоритмами будут иметь динамические ошибки. В таких случаях необходим иной подход к синтезу алгоритмов управления.

Одним из возможных подходов к обеспечению требуемой динамической точности замкнутой системы управления электроприводом является синтез алгоритма управления из условия обеспечения показателей качества близких к эталонной модели, заданной уравнений

$$\ddot{y} + \alpha_2 \dot{y} + \alpha_1 \dot{y} + \alpha_0 y = \alpha_1 \dot{x}_{\text{вх}} + \alpha_0 x_{\text{вх}}, (\alpha_0, \alpha_1 > \alpha_0), \quad (1)$$

которая обладает астатизмом второго порядка.

Поскольку порядок замкнутой системы будет выше порядка эталонной модели, то алгоритм управления будет наилучшим образом соответствовать требованиям сформулированной задачи в смысле приближения процессов $x(t) \rightarrow y(t)$, если его структуру синтезировать из условия минимума функционала [1]

$$G(u, \dot{u}) = \frac{1}{2} [\ddot{y}(t) - \ddot{x}(t, u, \dot{u})], t \geq 0. \quad (2)$$

Алгоритм управления синтезируется таким образом, чтобы в каждый момент времени значение функции (2) находится в малой окрестности минимума. Следовательно, дифференциальный закон управления будет иметь вид

$$\frac{du(t)}{dt} = \lambda \frac{\partial G(u, \dot{u})}{\partial \dot{u}}, \lambda = \text{const}. \quad (3)$$

Подставляя (2) в (3) и выражая третью производную выходного сигнала эталонной модели из (1), после соответствующих преобразований окончательно получим

$$u(t) = K \left\{ \int_0^t \left\{ \alpha_0 \int_0^t [x_{\text{вх}}(t) - x(t)] dt + \alpha_1 [x_{\text{вх}}(t) - x(t)] \right\} dt - \alpha_2 x(t) - \dot{x}(t) \right\}. \quad (4)$$

Структурная схема замкнутой системы управления примет вид, представленный на рис. 1.

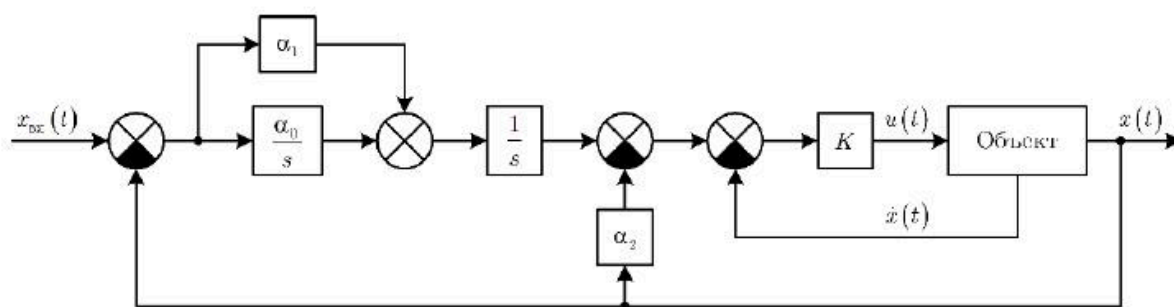


Рис. 1. Структурная схема замкнутой системы управления

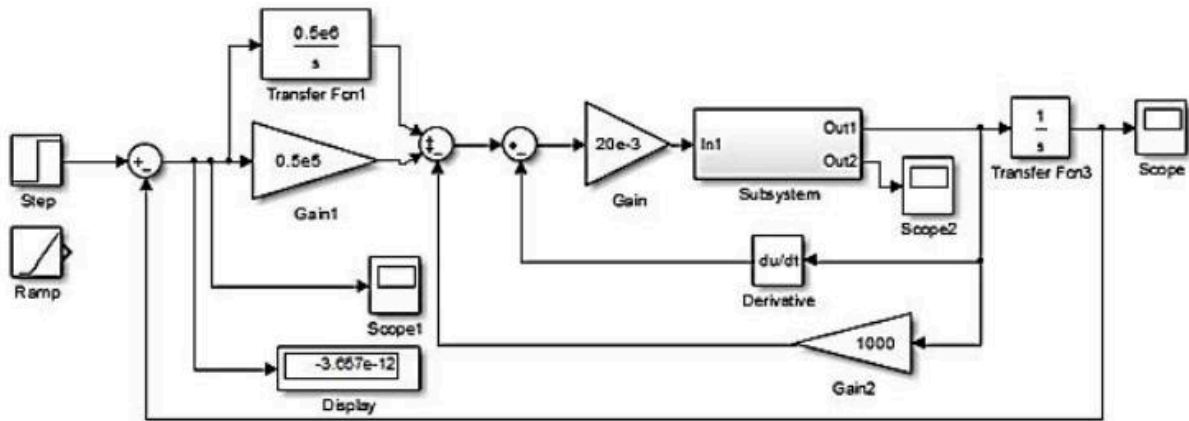
Поскольку требуется обеспечить время управления электроприводом порядка 0,6–0,8 с, то в качестве эталонной модели принята передаточная функция

$$W_3(s) = \frac{23,14 \cdot s + 133,9}{s^2 + 23,14 \cdot s + 133,9}.$$

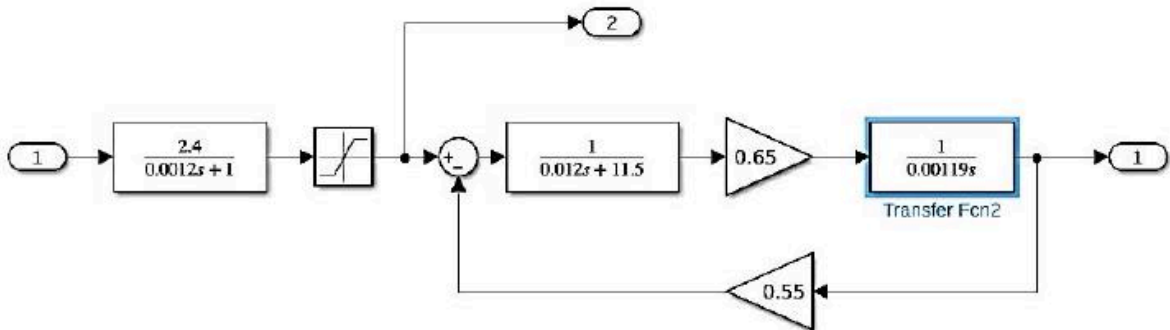
На рис. 2 представлена структурная схема, реализованная в пакете Simulink, замкнутой системы управления электроприводом.

На рис. 3 представлены временные и частотные характеристики полученной замкнутой системы управления электроприводом.

На рис. 4 представлены результаты моделирования для случая отклонений числовых значений параметров электропривода в пределах 15 % от номинальных, которые демонстрируют робастные свойства полученного алгоритма, а на рис. 5 — при наличии внешнего возмущающего момента, заданного выражением $M_n = 0,8 \sin(0,1t) + 0,2 \cos(0,5t) - 0,1 \sin(0,9t)$.

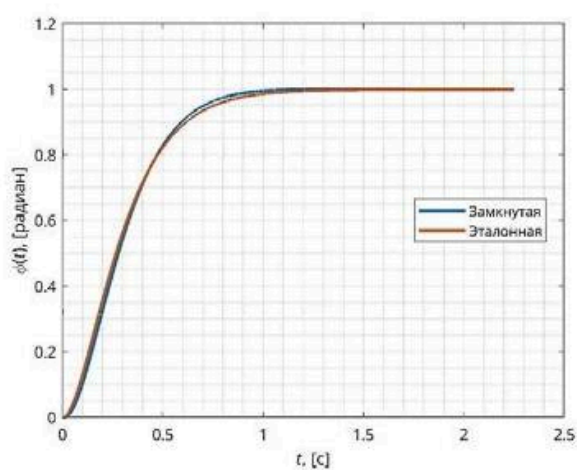


а

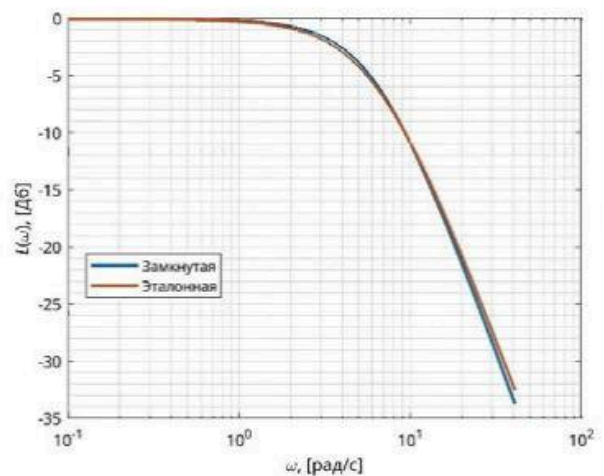


б

Рис. 2. Структурная схема объекта управления в simulink:
а — замкнутой системы; б — электропривода



а



б

Рис. 3. Характеристики замкнутой системы управления электроприводом:
а — переходная характеристика; б — ЛАЧХ

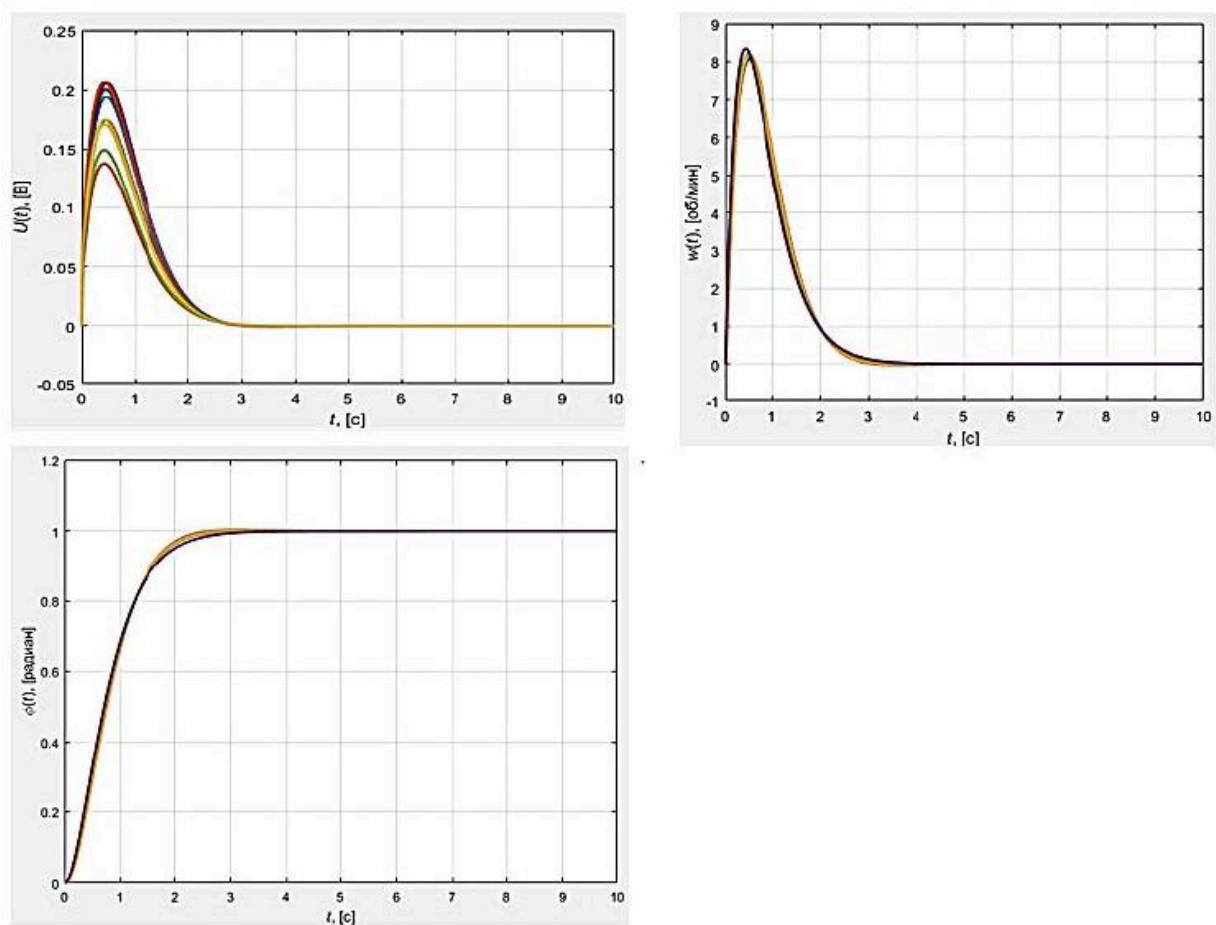


Рис. 4. Графики управления, скорости вращения и угла поворота электропривода в случае отклонения параметров от номинальных

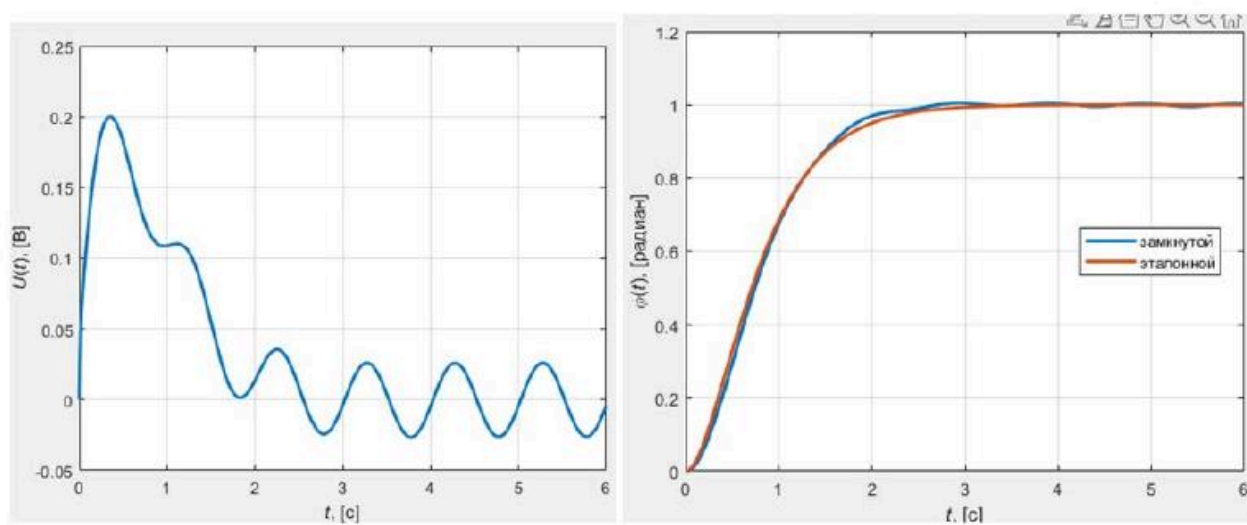


Рис. 5. Графики управления и угла поворота электропривода в случае наличия возмущающего момента

Таким образом, рассмотренный подход к синтезу алгоритма управления электроприводом позволил построить замкнутую систему управления с динамическими характеристиками близкими в известном смысле к характеристикам эталонной модели, а также обладающей параметрической робастностью, что подтверждено результатами моделирования.

Литература

- [1] Крутько П.Д. *Обратные задачи динамики в теории автоматического управления*. Москва, Машиностроение, 2004, 576 с.
- [2] Пупков К.А., Егупов Н.Д., ред. *Методы инженерного синтеза сложных систем управления: аналитический аппарат, алгоритмы приложения в технике. Ч. II. Вычислительно-аналитический эксперимент: аппарат матричных операторов и вычислительные технологии*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 416 с.
- [3] Крутько П.Д. *Управление исполнительными системами роботов*. Москва, Наука, 1991, 336 с.
- [4] Крамаренко Н.В., Рыков А.А. *Алгоритмы управления движениями точки и роботоманипулятора*. Новосибирск, НГТУ, 2016, 87 с.
- [5] Гайдук А.Р., Плаксиенко Е.А. *Адаптивные системы управления*. Ростов-на-Дону, Издательство Южного Федерального университета, 2018, 120 с.

Synthesis of an algorithm for controlling an electric drive with the required dynamic accuracy

Akimenko D.A.

akimenko@kaluga.ru

Semekhin D.E.

sde19ki188@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The issue of constructing an algorithm for controlling an electric drive from the condition of ensuring the required dynamic accuracy is considered. Numerical values of the parameters of the reference model are constructed and determined from the condition of providing the required dynamic indicators, on the basis of which an algorithm for controlling the electric drive is formed. The results of modeling the resulting closed-loop drive control system in the presence of a load, as well as deviations of the numerical values of the drive parameters from the nominal ones, which demonstrate the effectiveness of the obtained control algorithm, are presented.

Keywords: mathematical model, control systems, control object, electric drive