

УДК 62.83.52

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО УПРУГОМУ МОМЕНТУ

В. М. Чермалых, Е. И. Алтухов, А. В. Данилин, А. В. Босак

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
просп. Победы, 37, г. Киев, 03057, Украина. E-mail: alla_koz@ukr.net

Рассмотрены метод построения структурных схем и компьютерное моделирование электромеханической системы, обеспечивающей реализацию заданного момента двигателя на основе использования обратной связи по упругому моменту в линии передачи от двигателя к рабочему механизму. Подтверждена достоверность косвенного определения действительного упругого момента, используя ток двигателя и производную скорости по времени, а также показано, что оптимизация системы по динамическим нагрузкам достигается формированием ускорения по трапецеидальному закону с параметрами, соответствующими периоду собственных колебаний упругой системы. Этот режим обеспечивается при любом изменении коэффициента упругости, не меняя параметры заданного момента. Предложенная структура оптимальной системы управления применима для любого типа электропривода, включая позиционный с многоканальными задающими устройствами.

Ключевые слова: оптимизация управления, электромеханические системы, нечеткая коррекция, задающая модель.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Характерным для электромеханических систем ряда промышленных установок является наличие упругих звеньев в линиях передач, что вызывает колебательные процессы, ухудшающие работу установки как с точки зрения срока службы механических звеньев, так и в отношении построения системы управления позиционным электроприводом. Поэтому управление такими установками должно реализовывать оптимальный динамический режим, исключая колебательные процессы.

Целью данной работы является построение структурной схемы и компьютерное моделирование электромеханической системы, обеспечивающей реализацию заданного динамического момента двигателя, используя обратную связь по упругому моменту в линии передачи от двигателя к рабочему механизму.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Одним из способов оптимизации системы по динамическим нагрузкам является формирование движущего момента (тока) по трапецеидальному закону с периодом нарастания и уменьшения, равным периоду собственных упругих колебаний. Однако такой метод при переменной частоте колебания вследствие изменяющихся параметров упругой системы не обеспечивает устойчивый динамический режим, поэтому предлагается использовать замкнутую по упругому моменту систему управления.

Так как получение непосредственно сигнала, пропорционального упругому моменту, представляет сложную задачу, то целесообразно такую обратную связь определять по току и скорости двигателя, используя зависимость $\omega_\delta = \frac{1}{J_1 p} (M_{\delta\delta} - M_y)$, откуда

$M_y^* = M_{\delta\delta} - J_1 \frac{d\omega_\delta}{dt}$, где ω_δ – частота вращения вала двигателя. Для подтверждения данного решения рассмотрена двухмассовая упругая система, приведенная на рис. 1.

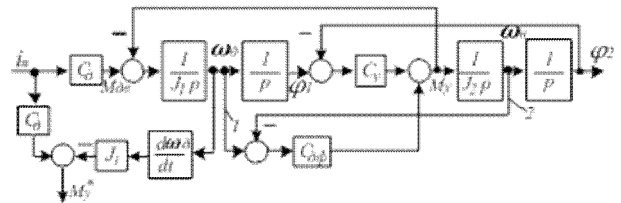


Рисунок 1 – Схема косвенного определения упругого момента M_y^*

На рис. 1 приняты обозначения: $M_{\delta\delta} = C_\delta i_a$ – движущий момент двигателя; J_1, J_2 – моменты инерции двигателя и рабочего механизма; $C_y, C_{\delta\phi}$ – коэффициенты упругости и демпфирования.

Для анализа упругой системы можно перенести точки присоединения 1 и 2 на выходы интеграторов $\frac{1}{p}$. Тогда упругий момент

$$M_y(p) = (\varphi_1 - \varphi_2)(C_{\delta\phi} p + C_y) = M_{\delta\delta}(p) \frac{(C_{\delta\phi} p + C_y) J_2}{J_1 J_2 p^2 + (C_{\delta\phi} p + C_y)(J_1 + J_2)}$$

Компьютерное моделирование схемы (рис. 1) показало, что при постоянных параметрах соблюдается равенство $M_y^* = M_y$, т.е. сигнал, пропорциональный M_y^* , может быть использован в качестве обратной связи. В замкнутой системе сигнал заданного упругого момента может быть реализован по сигналу ускорения, формируемого по трапецеидальному закону в задающей модели второго порядка 3М–2 [1].

Так как основным переменным параметром является C_y , то его изменение компенсируется нечетким регулятором [2], функционирующем по ошибке e , равной разности между сигналами заданного трапецеидального момента $M_{\text{ОПТ}}$ и M_y^* .

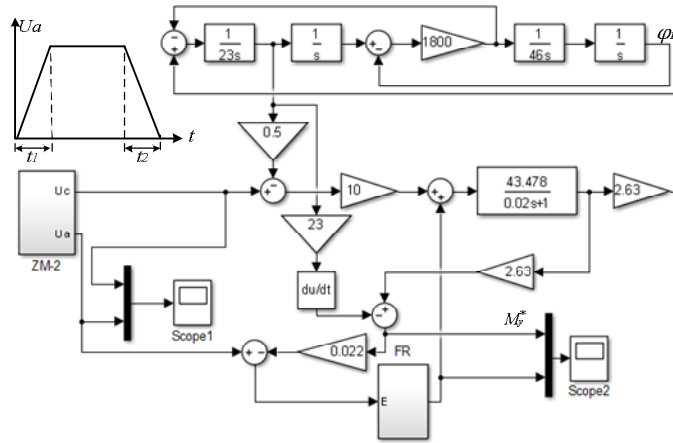


Рисунок 2 – Simulink – модель многосвязной ЭМС

Формирование сигнала ускорения выполнено из расчета значения коэффициента C_{yn} , соответствующего наиболее ответственному режиму. Период $t_1 = t_2 = \frac{2\pi}{\omega_y}$, где ω_y – частота свободных колебаний, определенная коэффициентом C_{yn} .

гих моментов заданного (показано штриховой линией) и действительного при двух значениях коэффициента упругости: $C_y = C_{yn} = 1800$ (а) и $C_y = 600$ (б). Рассмотрены два варианта схемы рис. 2 (с фаззи-регулятором и без него).

На рис. 3 представлены графики изменения упру-

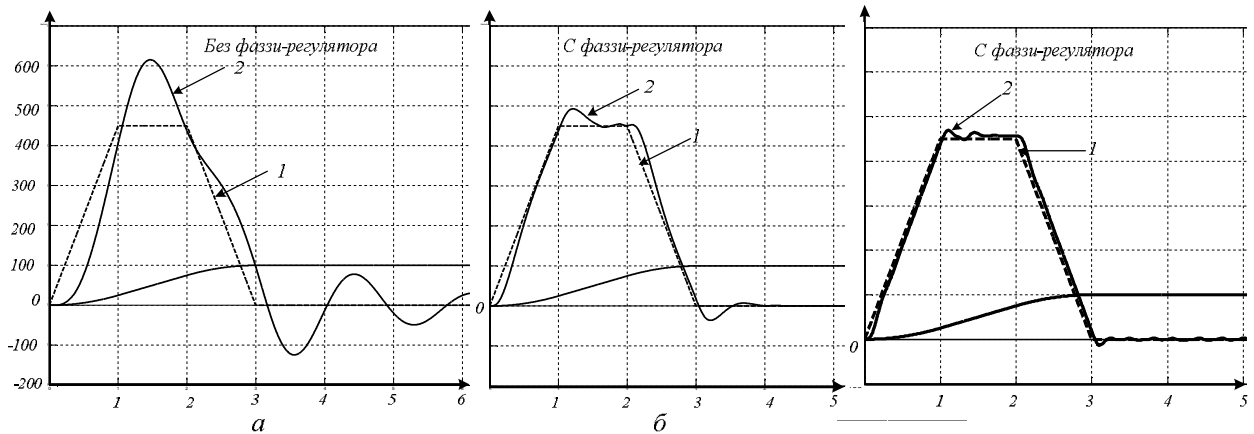


Рисунок 3 – Графики заданных (1) и действительных (2) упругих моментов при $C_y = 600$ (а, б) и $C_y = 1800$ (в)

Оптимизация системы по упругому моменту позволяет оптимизировать и процесс позиционирования, используя вместо 3М–2 задающее устройство третьего порядка 3М–3, в котором формируются три

управляющих воздействия, пропорциональных соответственно ускорению (U_a), скорости (U_c) и положению (U_{II}) (рис. 4).

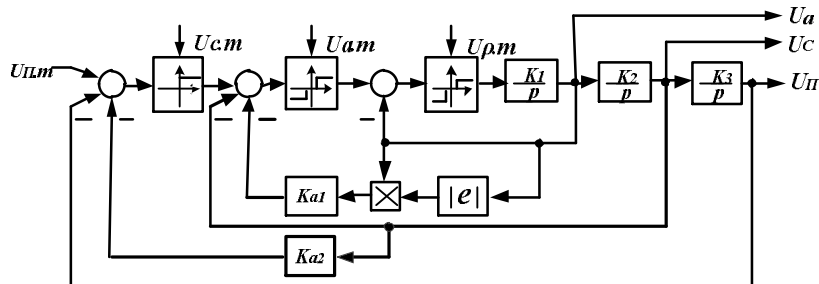


Рисунок 4 – Задающая модель третьего порядка

Если при работе системы все переменные достигнут ограничений, то коэффициенты будут равны:

$$K_{a1} = \frac{0,5K_2}{K_1U_{\rho,m}}; K_{a2} = 0,5K_3 \left(\frac{U_{c,m}}{K_2U_{a,m}} + \frac{U_{a,m}}{K_1U_{\rho,m}} \right);$$

$$K_3 = \frac{V_m K_{\Pi}}{U_{c,m}}; K_2 = \frac{a_m K_{\Pi}}{U_{a,m} K_3}; K_1 = \frac{\rho_m K_{\Pi}}{U_{\rho,m} K_2 K_3}.$$

Здесь V_m, a_m, ρ_m – заданные реальные максимальные значения скорости, ускорения и рывка; K_{Π} – коэффициент обратной связи по положению; $U_{c,m}, U_{a,m}, U_{\rho,m}$ – перемещения модели, соответствующие реальным перемещениям.

В системе позиционного управления оценка качества регулирования определяется по ошибке $e_{\Pi} = U_{\Pi} - K_{\Pi}\varphi_{\Pi}$, где φ_{Π} – текущее значение реального перемещения (рис. 2). Чтобы при любых возмущающих воздействиях ошибка e_{Π} была близка к нулю, она должна подаваться на фаззи-регулятор. Тогда по подаче на вход системы (рис. 2), кроме сигналов скорости U_c , ускорения U_a и сигнала U_{Π} , последний будет обрабатываться по ошибке $e_{\Pi} = U_{\Pi} - K_{\Pi}\varphi_{\Pi}$, где сигнал φ_{Π} представляет собой дискретное перемещение рабочего органа.

На рис. 5 приведены графики сигналов ускорения, скорости перемещения и упругого момента при подаче на вход ЗМ–3 постоянного сигнала $U_{\Pi,m}$.

Как следует из рис. 5, заданный упругий момент по форме совпадает с графиком ускорения, который в данном варианте позиционного управления выполнен по трапециoidalному закону. С учетом коэффициента упругости C_y , обратная связь по моменту имеет преимущество в тех случаях, когда используется корректировка фаззи-регулятором (рис. 3), где приведены графики для двух коэффициентов C_y при одном и том же периоде собственных колебаний, соответствующих $C_y = 1800$.

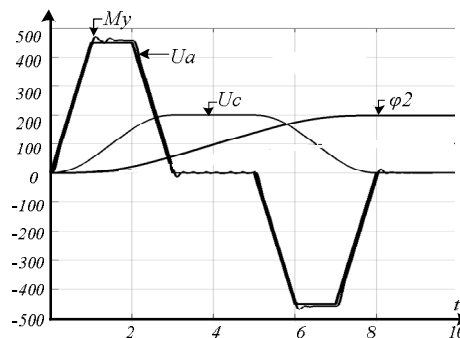


Рисунок 5 – Графики упругого момента M_y^* , перемещения φ_{Π} , скорости U_c и ускорения U_a

ВЫВОДЫ. 1. Использование обратной связи по упругому моменту позволяет исключить упругие колебания, что дает возможность оптимизировать управление позиционным электроприводом.

2. Реализация заданного упругого момента должна осуществляться с помощью фаззи-регулятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Липковский К.А., Чермалых Т.В. Комбинированная система управления позиционным электроприводом с многоканальной задающей моделью // *Техническая электродинамика*. – 1995. – Вып. 5. – С. 49–55.
2. Босак А.В., Чермалых В.М. Позиционное управление многосвязной электромеханической системой с адаптивным фаззи-регулятором // *Электротехника и компьютерные системы*. – К.: Техника, 2011. – Вып. 3. – С. 439–441.

OPTIMIZATION OF DINAMIC MODEL ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH FEEDBACK ON ELASTIK MOMENT

V. Chermalykh, Ye. Altukhov, A. Danilin, A. Bosak

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

prosp. Peremogy, 37, Kyiv, 03057, Ukraine. E-mail: alla_koz@ukr.net

The methods of constructing block diagrams and computer modeling of electromechanical systems, providing through the use of feedback on the elastic moment in the transmission line from the engine to the working mechanism are considered. Confirmed the accuracy of the indirect determination of the actual elastic torque using the current engine speed and the derivative with respect to time, and it is shown that optimization of the system for dynamic loads achieved by forming trapezoidal acceleration law with parameters corresponding period of the natural oscillations of an elastic system. This mode is provided for any change in the coefficient of elasticity, without changing the parameters of a given moment. The proposed structure of the optimal control system is applicable to any type of actuator, positioned including multichannel specified device.

Key words: drive of optimization, electromechanical systems, fuzzy correction, specified model.

REFERENCES

1. Lipkovsky, K. and Chermalykh, T. (1995), "Combined electric positional control system with multi-channel model defining", *Texnichna elektrodinamika*, no. 6, pp. 49–55. (in Russian)
2. Bosak, A. and Chermalykh, V. (2011), "Feedback Control multiply electromechanical system with adaptive fuzzy controller", *Elektrotexnika i kompyuternie sistemy*, no. 3, pp. 439–441. (in Russian)