

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛЕДЯЩИМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Волянский Р.С., Садовой А.В.

Днепропетровский государственный технический университет
Sadovoy@dstu.dp.ua

There is the principle of creation of the high accuracy follow-up nonlinear electromechanical systems has been considered in article. The usage of method harmonic linearization and modified principle of symmetry to take get asymptotic transient phenomenon in nonlinear systems has been shown and the example of synthesis control system of nonlinear object has been indicated there.

По количеству и характеру одновременно действующих дестабилизирующих факторов следует особо выделить следящие электропривода антенн радиолокационных станций автоматического сопровождения, а также некоторых астрономических инструментов. Системы автосопровождения характеризуются наличием упругих передач, параметры которых в процессе эксплуатации могут изменяться в 2-3 раза; люфтом в редукторе, величина которого на порядок превышает допустимую ошибку автосопровождения; знакопеременным моментом ветровой нагрузки и моментом сухого трения; изменяющимся в широком диапазоне (в 3-4 раза) в зависимости от условий эксплуатации коэффициентом усиления контура автосопровождения, замыкание которого осуществляется через эфир, антенну и приемное устройство; наличием широкополосного шума в сигнале ошибки по положению антенны.

К системам управления электроприводами таких объектов предъявляется ряд жестких требований: высокое быстродействие, точность воспроизведения заданных траекторий и плавность движения, отсутствие переключения в переходных режимах, необходимый запас устойчивости, надежность, технологичность изготовления и обслуживания.

Классические системы управления электроприводами не могут удовлетворить предъявленным требованиям вследствие необходимости выбора между точностью и устойчивостью замкнутой системы автоматического управления. Применение адаптивных систем возможно только для управления объектами с медленно изменяющимися параметрами, к тому же такие системы управления не обеспечивают низкую чувствительность к координатным воздействиям.

Теоретически исчерпывающее решение задачи управления электроприводами высокоточных механизмов в условиях действия координатных возмущений дает аналитическое конструирование регуляторов (АКР). В результате решения задачи АКР оказывается возможным построить системы управления, устойчивые при бесконечно большом коэффициенте усиления. Реализация последнего возможна за счет использования скользящего режима нелинейных элементов, а само управляющее воздействие строится таким образом, чтобы доставить минимум определенному функционалу качества.

В данной работе предлагается использовать для синтеза оптимальных систем управления нелинейными объектами, к которым относятся следящие электропривода с люфтом в редукторе, интегральные квадратичные функционалы качества вида:

$$I = \int_0^{\infty} m_i \left(\frac{\partial V}{\partial \eta_i} + \frac{\partial V'}{\partial \eta_i} \right) dt, \quad (1)$$

поскольку оптимальные процессы протекают в системе в том случае когда отклонения выходного вала редуктора и вала двигателя от заданного положения достигнут нулевого значения одновременно [3].

Первое слагаемое интегранта (1) характеризует процесс отработки рассогласования по положению вала двигателя, а второе – процесс отработки рассогласования по положению выходного вала редуктора.

Объект управления описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \Phi_p &= f[\Phi_{\partial\sigma}] \\ p\Phi_{\partial\sigma} &= \omega_{\partial\sigma}; \\ p\omega_{\partial\sigma} &= \frac{c}{J} i_{\partial\sigma}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$p i_{\partial\sigma} = -\frac{c}{R_y T_y} \omega_{\partial\sigma} - \frac{1}{T_y} i_{\partial\sigma} - \frac{1}{R_y T_y} U,$$

где

$\Phi_p = f[\Phi_{\partial\sigma}]$ - нелинейная зависимость, описывающая нелинейность типа «люфт»,

c - конструктивный коэффициент двигателя;

J - момент инерции привода, приведенный к валу двигателя;

$R_{\text{я}}$ - эквивалентное сопротивление якорной цепи;

$T_{\text{я}}$ - электромагнитная постоянная времени.

Нелинейная система (2) может быть приведена к линеаризованной системе дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами:

$$p\varphi_p = q[\varphi_{\partial\delta}] \cdot \omega_{\partial\delta};$$

$$p\varphi_{\partial\delta} = \omega_{\partial\delta};$$

$$p\omega_{\partial\delta} = \frac{c}{J} i_{\partial\delta};$$

$$pi_{\partial\delta} = -\frac{c}{R_{\text{я}}T_{\text{я}}} \omega_{\partial\delta} - \frac{1}{T_{\text{я}}} i_{\partial\delta} - \frac{1}{R_{\text{я}}T_{\text{я}}} U,$$

где

$q[\varphi_{\text{ДВ}}]$ - коэффициент гармонической линеаризации [2].

$$q[\varphi_{\partial\delta}] = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} + \arcsin \left(1 - \frac{\Delta_p}{|\varphi_{\partial\delta}|} \right) + 2 \left(1 - \frac{\Delta_p}{|\varphi_{\partial\delta}|} \right) \sqrt{\frac{\Delta_p}{|\varphi_{\partial\delta}|} \left(1 - \frac{\Delta_p}{|\varphi_{\partial\delta}|} \right)} \right) \quad (4)$$

здесь Δ_p - ширина зоны люфта.

Перепишем систему (3) в отклонениях [1]:

$$p\eta_1 = a_{13}\eta_3;$$

$$p\eta_2 = a_{23}\eta_3;$$

$$p\eta_3 = a_{34}\eta_4;$$

$$p\eta_4 = a_{43}\eta_3 + a_{44}\eta_4 + m_4 \cdot u,$$

где коэффициенты a_{ij} определяются зависимостями:

$$a_{13} = \frac{q[\varphi_{\partial\delta}]}{\varphi_{\text{max}}}; \quad a_{23} = 1; \quad a_{34} = \frac{1}{T_m}; \quad (5)$$

$$a_{44} = a_{43} = -\frac{1}{T_{\text{я}}}; \quad m_4 = \frac{1}{T_{\text{я}}}; \quad \varphi_{\text{max}} = \omega_0 t \Big|_{t=1}.$$

Отклонения η_i согласно [1] будут:

$$\eta_i = y_i - y_i^* \quad (7)$$

С учетом (1), алгоритм управления примет вид:

$$U = -\text{sign} \left[(V'_{13} + V'_{23}p + V'_{33}p^2) \eta_1 + (V_{13} + V_{23}p + V_{33}p^2) \eta_2 \right], \quad (8)$$

где V'_{ij} и V_{ij} - коэффициенты функции Ляпунова для динамических объектов, описываемых системами уравнений (9) и (10), соответственно:

$$p\eta_1 = a_{13}\eta_3;$$

$$p\eta_2 = a_{23}\eta_3;$$

$$p\eta_3 = a_{34}\eta_4;$$

(9)

$$p\eta_3 = a_{34}\eta_4;$$

(10)

$$p\eta_4 = a_{43}\eta_3 + a_{44}\eta_4 + m_4 \cdot u,$$

$$p\eta_4 = a_{43}\eta_3 + a_{44}\eta_4 + m_4 \cdot u,$$

Согласно [1] коэффициенты функции Ляпунова V'_{ij} и V_{ij} можно найти из характеристических определителей систем (8) и (9):

$$V'_{13} = V_{13} = -a_{43}a_{34}; \quad V'_{23} = V_{23} = -a_{44}; \quad V'_{33} = V_{33} = 1; \quad (11)$$

С учетом (11) управляющее воздействие (8) примет вид:

$$U = -\text{sign} \left[(-a_{34}a_{43} - a_{44}p + p^2) \cdot (\eta_1 + \eta_2) \right]. \quad (12)$$

Ввиду сложности получения производных высоких порядков от отклонения η_1 , которое связано с η_3 нелинейной зависимостью в силу системы (5) и коэффициентов (4), (6), алгоритм (12) примет вид:

$$U = -\text{sign} \left[(-a_{34}a_{43} - a_{44}p) \cdot \eta_1 + (-a_{34}a_{43} - a_{44}p + p^2) \eta_2 + a_{13}p\eta_3 \right]. \quad (13)$$

Очевидно, что для электропривода, в состав силовой части которого входит нелинейное звено типа "люфт", координаты y_1 и y_2 подчиняются зависимости:

$$|y_1 - y_2| = \frac{\Delta_p}{2}. \quad (14)$$

Или в развернутой форме для сигналов задания:

$$y_1^* = y_2^* - \frac{\Delta p}{2} \text{sign}(y_3). \quad (15)$$

Тогда с учетом (15), оптимальное управление (13) может быть представлено в виде:

$$U = \text{sign} \left[(-a_{34}a_{43} - a_{44}p) \cdot (y_1^* - y_1) + (-a_{34}a_{43} - a_{44}p + p^2) \cdot \left(y_2^* - y_2 + \frac{\Delta p}{2} \text{sign}(y_3) \right) - a_{13}p\eta_3 \right]. \quad (16)$$

Результаты математического моделирования следящего электропривода, построенного на базе электродвигателя ДПР-72 с алгоритмом (16) показаны на рисунке 1. Для сравнения там же приведен график зависимости \hat{y}_1 при использовании системы управления, реализующей управляющее воздействие вида, синтезированное без учета люфта:

$$U = -\text{sign} \left[(-a_{34}a_{43} - a_{44}p + p^2) \cdot (y^* - \hat{y}_1) \right]. \quad (17)$$

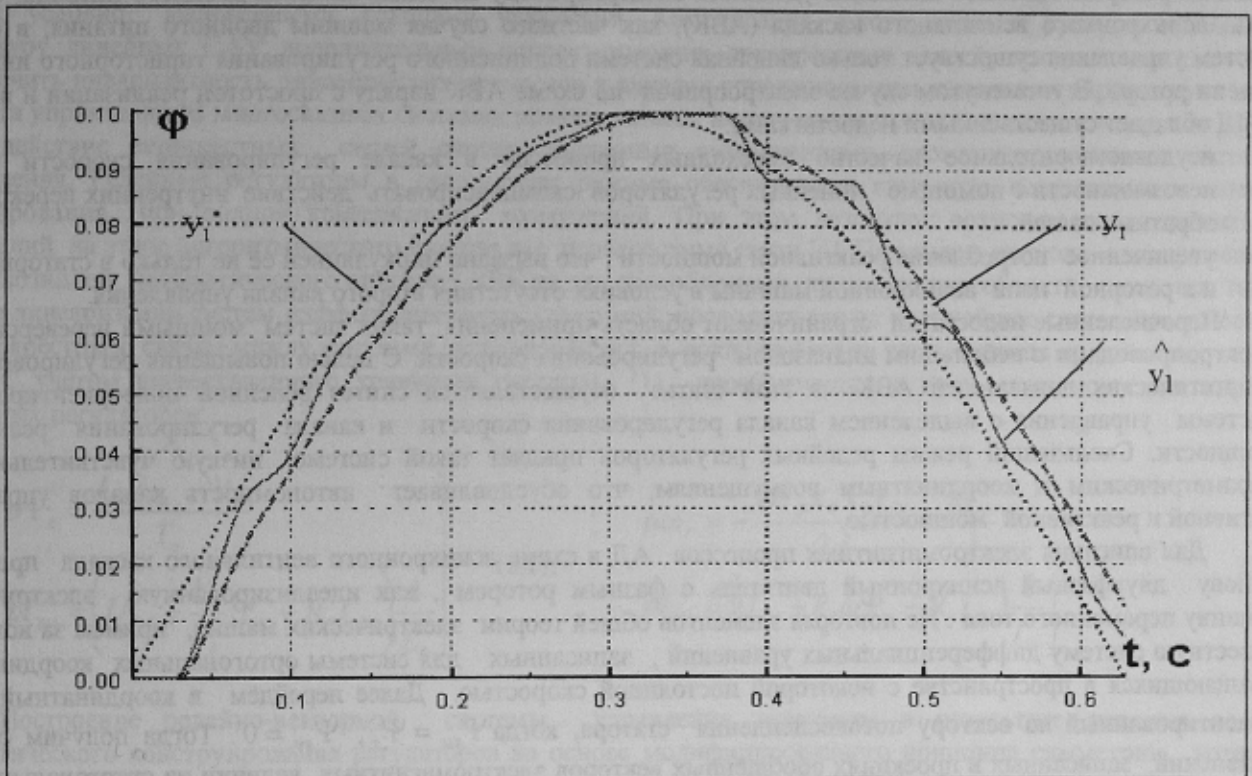


Рисунок 1 - Результаты моделирования синтезированных систем управления

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы: использование в качестве критерия оптимальности функционала (1) позволяет улучшить динамические свойства системы управления следящим электроприводом. К тому же, введение обратных связей, охватывающих редуктор, позволяет снизить колебательность системы, вызванную наличием люфта в редукторе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовой А.В., Сухинин Б.В., Сохина Ю.В. Системы оптимального управления прецизионными электроприводами. -К.: ИСИМО, 1996 – 299 с.
2. Попов Е.П., Пальтов И.П. Приближенные методы исследования нелинейных систем автоматических систем. – М.: Физматгиз, 1960 – 792 с.
3. Кухтенко А.И. Проблема инвариантности в автоматике. – К.: Гостехиздат. УССР, 1963. – 313 с.