

УДК.: 62-503.55-022.362:004.031

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА С СИСТЕМОЙ ПЧ-АД
THE SELECTION OF OPTIMAL CONTROL OF ASYNCHRONOUS
ELECTRIC DRIVE WITH FC-AE SYSTEM**

АКТАЕВ Э.Т.,**Алматинский университет энергетики и связи****izvestiya@ktu.aknet.kg**

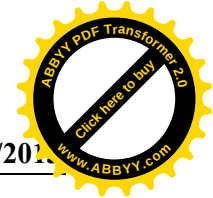
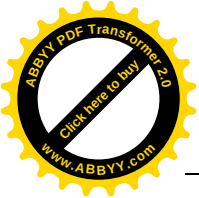
В статье рассматривается методика получения математического аппарата, позволяющего формировать оптимальное управляющее воздействие на систему ПЧ-АД для снижения динамических нагрузок при пуске асинхронного двигателя электромобиля с простейшей автоматической коробкой передач в виде замкнутого дифференциального механизма с двумя степенями.

The article describes a technique to obtain the mathematical apparatus which produces the optimal control action on the system Converter-AE to reduce the dynamic loads at start-up with a simple asynchronous engine of electric car with automatic transmission as a closed differential mechanism with two degrees.

Введение. Необходимость формирования плавно протекающих переходных процессов в асинхронных электроприводах обусловлена тем, что асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором при прямом пуске имеет не совсем удовлетворяющие требованиям характеристики.

Особенностью прямого пуска асинхронного двигателя является возникновение больших электромагнитных моментов токов этого двигателя. Большие броски электромагнитных моментов и токов могут вызвать опасные динамические нагрузки в обмотках электродвигателей и в элементах кинематической цепи электропривода. Формирование ровных переходных процессов при пуске и торможении обеспечивает исключение больших динамических нагрузок, что увеличивает срок службы электродвигателя [2]. Снижение этих динамических нагрузок и обеспечение плавного пуска асинхронного двигателя, с системой преобразователь частоты - асинхронный двигатель (ПЧ-АД), возможно при оптимальном управляющем воздействии на систему этого электропривода. Структурная схема замкнутой системы ПЧ-АД с обратными связями по скорости и напряжению представлена на рис. 1.

Цели и методы. Представленная структурная схема (рис.1) системы ПЧ-АД создана на основе [5], в которой приняты следующие обозначения [3]:



β – модуль жесткости линеаризованной механической характеристики АД;

T_{ϑ} – эквивалентная электромагнитная постоянная времени статора и ротора АД;

k_{nc} – переходной коэффициент ПЧ;

T_{nc} – постоянная времени цепи управления ПЧ;

T_m – электромеханическая постоянная времени цепи управления ПЧ;

T_1, T_2 – постоянная времени регулятора скорости (РС).

Математическое описание замкнутой системы ПЧ-АД можно представить в следующем виде:

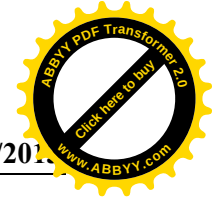
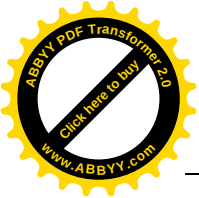
$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Delta\omega}{dt} &= y; \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{1}{T_{\vartheta}T_m}\Delta U_{np} - \frac{1}{T_{\vartheta}}y - \frac{1}{T_{\vartheta}T_m}\Delta\omega; \\ \frac{dU_{np}}{dt} &= \frac{k_{nc}}{T_{nc}}\Delta U_{pc} - \frac{k_{nc}}{T_{nc}}U_{np}; \\ \frac{d\Delta U_{pc}}{dt} &= \frac{T_1}{T_2}\frac{du}{dt} + \frac{T_1}{T_2}u + \left(\frac{T_1k_0k_p}{T_2T_{nc}} - \frac{k_0k_p}{T_2}\right)\Delta U_{np} - \\ &\quad - \frac{T_1k_{oc}k_{\omega}}{T_2}y - \frac{T_1k_{oc}k_{\omega}}{T_2}\Delta\omega - \left(\frac{T_1k_{oc}k_pk_{nc}}{T_2T_{nc}} - \frac{k_0k_p}{T_2}\right)\Delta U_{pc}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

или:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_2; \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_1x_3 - a_2x_2 - a_3x_1; \\ \frac{dx_3}{dt} &= a_4x_4 - a_5x_3; \\ \frac{dx_4}{dt} &= a_6\frac{du}{dt} + a_7u + a_8x_3 - a_9x_2 - a_{10}x_4, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $x_1 = \Delta\omega$; $x_2 = y$; $x_3 = U_{np}$; $x_4 = U_{pc}$; $a_1 = 1/(T_{\vartheta} \cdot T_m)$; $a_2 = 1/T_{\vartheta}$; $a_3 = a_1$; $a_4 = k_{nc}/T_{nc}$;

$a_5 = 1/T_{nc}$; $a_6 = T_1/T_2$; $a_7 = 1/T_2$; $a_8 = \left(\frac{T_1k_{oc}k_p}{T_2T_{nc}} - \frac{k_{oc}k_p}{T_2}\right)$; $a_9 = (T_1k_{oc}k_{\omega})/T_2$;



$a_{10} = (k_{oc}k_{\omega})/T_2$; $a_{11} = \left(\frac{T_1 k_{oc} k_p k_{n\omega}}{T_2 T_{n\omega}} - \frac{1}{T_2} \right)$; $\Delta\omega$ – частота вращения двигателя; ΔU_{np} – напряжение на выходе преобразователя частоты; ΔU_{pc} – напряжение на выходе регулятора скорости; u – управление (управляющее воздействие).

Для определения переходного процесса оптимального управляющего воздействия системы ПЧ-АД применяется классическое вариационное исчисление по квадратичному критерию качества [4]. Выбираем обобщенный интегральный критерий качества в виде:

$$J(u) = \int_0^\infty \left(\sum_{i=1}^4 x_i^2 + u^2 + cu^2 \right) dt, \quad (3)$$

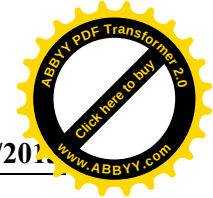
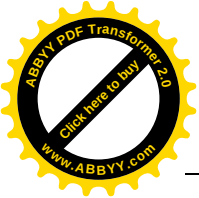
здесь c – весовой коэффициент производной.

Уравнения системы дифференциальных уравнений (2) с дополнительным уравнением $du/dt = z$ принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_2; \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_1 x_3 - a_2 x_2 - a_3 x_1; \\ \frac{dx_3}{dt} &= a_4 x_4 - a_5 x_3; \\ \frac{dx_4}{dt} &= a_6 z + a_7 x_5 + a_8 x_3 - a_9 x_2 - a_{10} x_4 - a_{11} x_1; \\ \frac{dx_5}{dt} &= z, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $x_5 = u$; $z = f(u)$.

Так как критерий оптимальности содержит производную управления du/dt , то уравнения связи (2) с учетом дополнительного уравнения $du/dt = z$ запишем в следующей форме:



$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= (x_1 - x_2); \\ \varphi_2 &= (x_2 - a_1 x_2 + a_2 x_2 + a_2 x_1) = 0; \\ \varphi_3 &= (x_3 - a_4 x_4 - a_5 x_3) = 0; \\ \varphi_4 &= (x_4 - a_6 z - a_7 x_5 - a_8 x_3 + a_9 x_2 + a_{10} x_4 + a_{11} x_1) = 0; \\ \varphi_5 &= (x_5 - z) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Составим функцию:

$$\begin{aligned} \Phi &= x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 + cz + \lambda_1 (x_1 - x_2) + \lambda_2 (x_2 - a_1 x_2 + a_2 x_2 + a_3 x_1) + \\ &+ \lambda_3 (x_3 - a_4 x_4 + a_5 x_3) + \lambda_4 (x_4 - a_6 z - a_7 x_5 - a_8 x_3 + a_9 x_2 + a_{10} x_4 + a_{11} x_1) + \lambda_5 (x_5 - z) \end{aligned} \quad (6)$$

На основе уравнения Эйлера получим:

$$\left. \begin{aligned} d\lambda_1/dt &= 2x_2 + a_2\lambda_2 + a_4\lambda_4; \\ d\lambda_2/dt &= 2x_2 - \lambda_1 + a_2\lambda_2 + a_2\lambda_4; \\ d\lambda_3/dt &= 2x_3 - a_1\lambda_2 + a_5\lambda_3 - a_2\lambda_4; \\ d\lambda_4/dt &= 2x_4 - a_4\lambda_3 + a_{10}\lambda_4; \\ d\lambda_5/dt &= 2x_5 - a_7\lambda_4. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Из уравнения

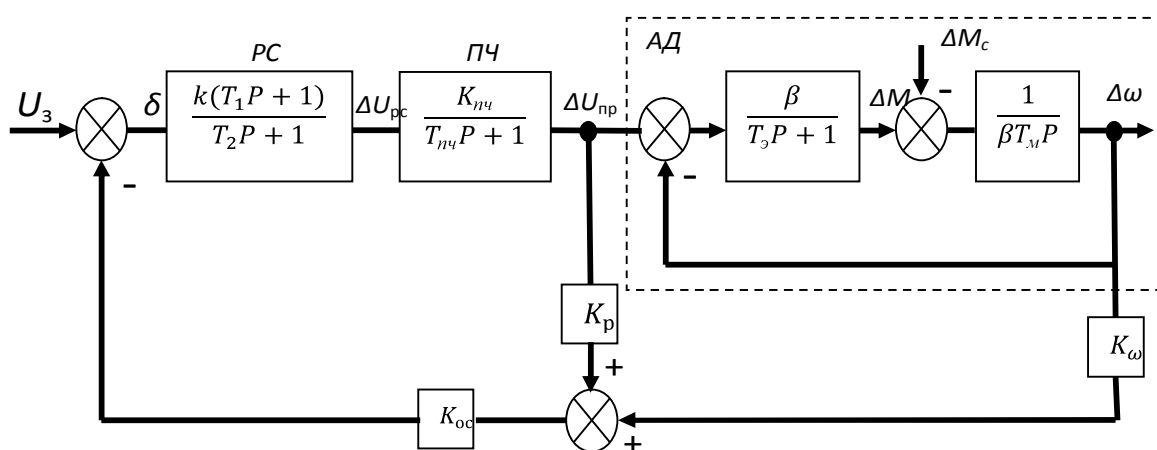
$$\frac{d\Phi}{dz} - \frac{d}{dt} \frac{d\Phi}{dz} = 2cz - a_6\lambda_4 - \lambda_5 = 0$$

определяем z

$$z = \left(\frac{a_6}{2c}\right)\lambda_4 + \left(\frac{1}{2c}\right)\lambda_5. \quad (8)$$

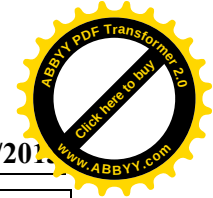
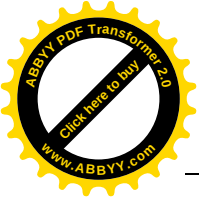
Подставляем полученное значение z в уравнение (4) и с учетом уравнений (7) получим следующую систему уравнений:

где $y_i = x_i$; $y_j = \lambda_j$ ($i = 1, 5$; $j = 6, 1$).



Параметры системы ПЧ-АД

Коэффициенты	μ	σ	ω	ρ	$\varepsilon, \text{с}$	$m, \text{с}$	$\mu, \text{с}$	$l, \text{с}$	$2, \text{с}$
--------------	-------	----------	----------	--------	-------------------------	---------------	-----------------	---------------	---------------



значения		,1	,5	,2	,02	,1	,001	,05	,1
----------	--	----	----	----	-----	----	------	-----	----

Расчет оптимального управляющего воздействия производится по программе [1] в системе Matlab 7. График переходного процесса оптимального управляющего воздействия на систему ПЧ-АД с обратными связями по скорости и напряжению представлен на рис. 2.

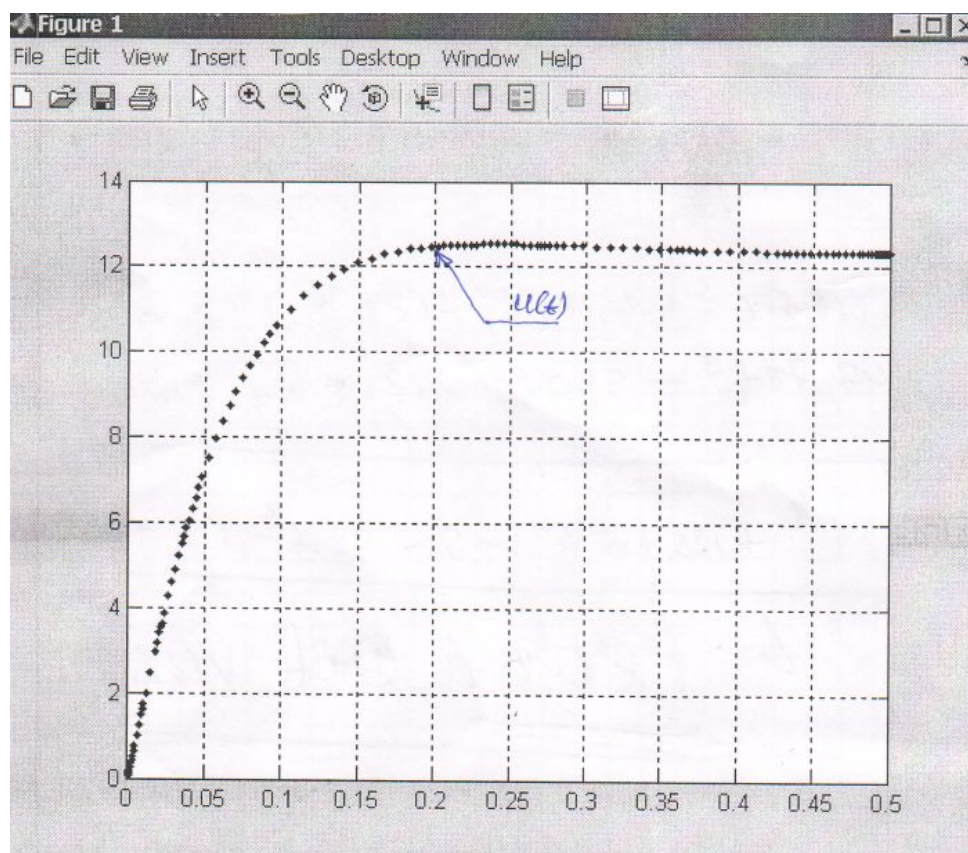
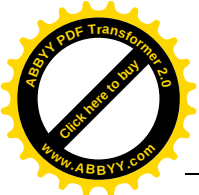


Рис. 2. График переходного процесса оптимального управляющего воздействия на систему ПЧ-АД.

Выводы:

1. Для обеспечения плавного пуска асинхронного двигателя, в системе преобразователь частоты - асинхронный двигатель с целью приведения электромобиля в движение с использованием простейшей автоматической коробки передач в виде замкнутого дифференциального механизма с двумя степенями в канал управления электроприводом требуется ввести вычислительное устройство.



2. Полученный математический аппарат позволяет формировать оптимальное управляющее воздействие на систему ПЧ-АД для снижения динамических нагрузок.

Литература

1. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. СПб.: БХВ – Петербург, 2005. 1104с.

