

НАБЛЮДАТЕЛИ КООРДИНАТ КОРОТКОЗАМКНУТОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И УПРУГОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО УСТРОЙСТВА

Введение. При создании электроприводов для электромеханических систем (ЭМС) точного воспроизведения сложных движений антенных установок, радиолокационных станций, зеркал радиотелескопов, радиотехнических комплексов навигации, специализированных устройств военной техники возникает необходимость поиска новых принципов управления, алгоритмов и структур систем, обеспечивающих высокое качество обработки задающих воздействий и требуемые функциональные возможности.

Цель работы – разработка, исследование и практическая реализация наблюдателей координат (НК) короткозамкнутого асинхронного двигателя (КАД) и упругого передаточного устройства (УПУ), применяемых в составе систем векторного полеориентированного управления (ВПУ) глубокорегулируемыми асинхронными электроприводами (АЭП) с целью обеспечения активного демпфирования упругих колебаний, достижения высокого качества обработки задающих воздействий при низкой чувствительности к действию дестабилизирующих факторов.

Материалы исследования. Анализ известных и подробно описанных в научно-технической литературе математических моделей передаточных устройств ЭМС, построенных с учетом упруго-вязких свойств механических передач, приводит к выводу о том, что в большинстве случаев при анализе и синтезе ЭМС с повышенными требованиями к качеству управления целесообразным является описание ее моделью эквивалентной двухмассовой упругой системы, которая, несмотря на значительное упрощение, отражает физические особенности УПУ с достаточной для инженерных расчетов точностью.

Применяемую в процессе синтеза алгоритмов управления (АУ) и НК УПУ математическую модель механической части ЭМС с упругими свойствами составим с учетом следующих известных [1] допущений: ротор двигателя и элементы механической передачи представим в виде сосредоточенных масс, обладающих постоянными моментами инерции; к указанным массам приложены все силы и моменты, действующие в передаче; упругие связи безинерционны, невесомы, характеризуются постоянной жесткостью, т.е. коэффициентом пропорциональности между моментом (силой) и деформацией; диссипативные свойства передачи учитываются силами внутреннего вязкого трения в материале валов, возникающими при их скручивании, и силами внешнего вязкого трения в опорах, которые принимаем пропорциональными угловым скоростям соответствующих валов; деформация упругих звеньев имеет линейный характер и подчиняется закону Гука; движущий момент M приложен к первой массе, а его мгновенные значения $M = f(t)$ известны и определяются расчетным путем; момент нагрузки M_C приложен к выходному валу; волновые движения деформации и зазоры в передачах не учитываются.

В соответствии с принятыми допущениями механическую часть ЭМС с наиболее распространенной на практике кинематической схемой представим в виде обобщенной двухмассовой упругодиссипативной системы, описываемой известной системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2; \quad \frac{d\omega_2}{dt} = (M_{12} - M_C - M_{f2}) \cdot T_{M2}^{-1}; \quad M_{12} = C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + b_{12}(\omega_1 - \omega_2); \\ \frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_1; \quad \frac{d\omega_1}{dt} = (M - M_{12} - M_{f1}) \cdot T_{M1}^{-1}; \quad M = 0,5 \cdot m \cdot Z_p \cdot k_r \cdot |\Psi_r|^* \cdot i_{SV} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где $\varphi_{1,2}$, $\omega_{1,2}$ – угловые перемещения, угловые скорости первой (1) и второй (2) масс двухмассовой ЭМС;

M_{12} – момент упругого взаимодействия масс;

$M_{f1,2}$ – моменты внешнего вязкого трения: $M_{f1} = \beta_1 \omega_1$ (при $M_{f1} = 0$), $M_{f2} = \beta_2 \omega_2$;

$\beta_{1,2}$, b_{12} , C_{12} – коэффициенты внешнего вязкого трения валов 1,2, внутреннего трения в деформируемых передаче и жесткости;

T_C, T_{M1}, T_{M2} – механические постоянные времени жесткости и сосредоточенных масс:

$$T_{M1} = J_1 \omega_6 M_6^{-1}, \quad T_{M2} = J_2 \omega_6 M_6^{-1}, \quad T_C = M_6 (C_{12} \omega_6)^{-1}; \quad (2)$$

$J_{1,2}$ – моменты инерции первой и второй масс;

k_R, Z_p, m – коэффициент связи ротора, число пар полюсов КАД и фаз;

$|\Psi_r|^*, i_{SV}$ – заданная величина модуля потокосцепления ротора и активная составляющая тока.

Уравнения (1) и (2) в дальнейшем используются в безразмерных относительных единицах, при переходе к которым использованы базовые величины:

$$\omega_6 = 2\pi f_{ном}; \quad t_6 = 1/\omega_6; \quad J_6 = 3U_6 i_6 / (2\omega_6^3); \quad U_6 = 2^{1/2} U_{с,ном}; \quad i_6 = 2^{1/2} i_{с,ном}; \quad M_6 = 3 \Psi_6 i_6 / 2; \quad \Psi_6 = U_6 t_6,$$

где индексом "ном." обозначены номинальные значения, причем для простоты изложения индексы "о.е." опущены.

На основе (1) синтезированы АУ и НК [1] электромагнитного момента КАД и момента упругого взаимодействия масс УПУ. НК реализованы на основе замкнутых динамических моделей с контурами слежения, которые работают в скользящем режиме и обеспечивают за счет этого высокую точность идентификации координат независимо от вариаций или несоответствия параметров реального КАД и их значений, использованных при синтезе НК. Синтез НК осуществлен в соответствии со специально разработанной методикой [2].

На рис.1 показаны структурные схемы синтезированных НК КАД, упругого передаточного устройства (НКПУ) (1а) и структурная схема НКПУ (рис.1.б). В состав НК входят датчики фазных токов ДФТ, выходной координаты ДВК и тахогенератор ВР, контуры слежения СК1, СК2 и СК3, преобразователь координат ПК3-2, модели статора МС и ротора МР, блок вычисления электромагнитного момента БВМ и координат УПУ.

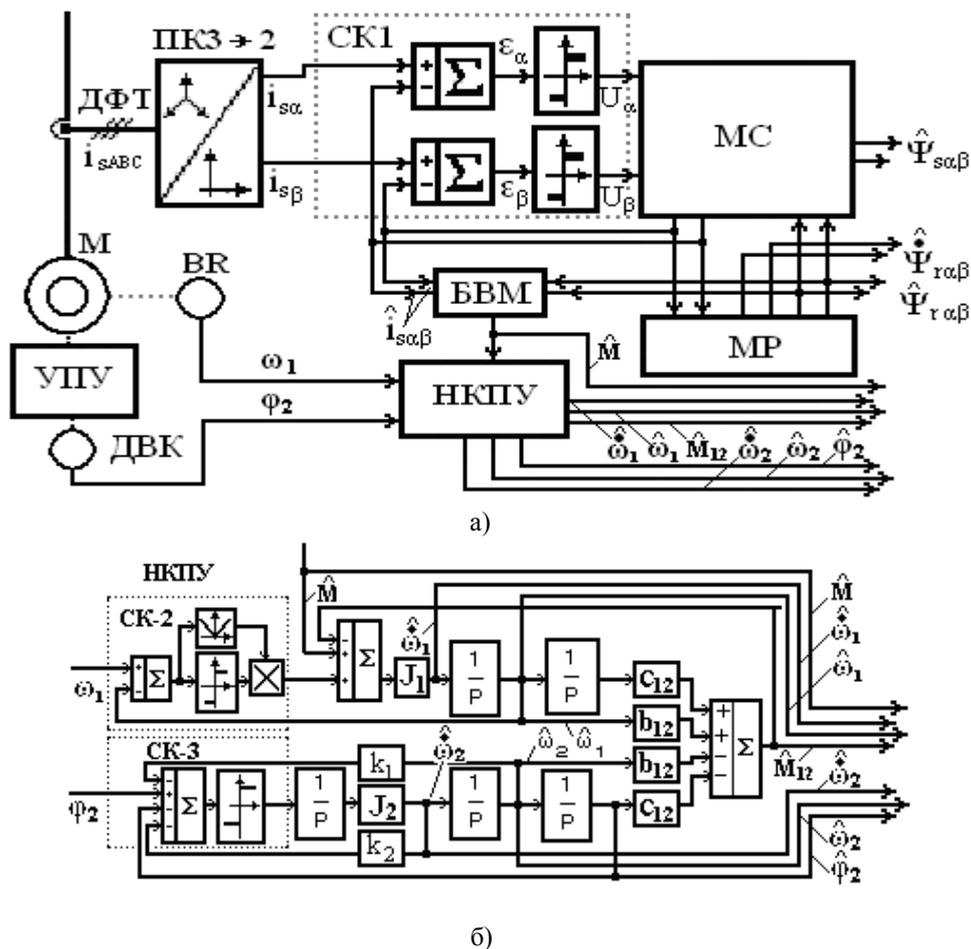


Рис.1. Структурные схемы наблюдателей координат КАД и УПУ

Напряжения на выходах СК1-СК3 формируются по выражениям

$$U_{СК1\alpha\beta} = U_{\alpha\beta} \text{sign}(i_{S\alpha\beta} - \hat{i}_{S\alpha\beta}); \quad U_{СК2} = U_{p2} \cdot |\omega_1 - \hat{\omega}_1| \cdot \text{sgn}(\omega_1 - \hat{\omega}_1);$$

$$U_{СК3} = U_{\delta 3} \cdot \text{sign}(\varphi - \hat{\varphi} - \hat{e}_1 \cdot \hat{\omega}_2 - \hat{e}_2 \cdot \hat{\omega}_2)$$

где U_{p2} , U_{p3} – амплитуды напряжений на выходах релейных элементов СК2 и СК3;
 k_1 , k_2 – постоянные коэффициенты.

В НК КАД модели МС и МР реализованы по уравнениям:

$$\frac{d\hat{\psi}_{S\alpha\beta}}{dt} = U_{СК\alpha\beta} - R_S \hat{i}_{S\alpha\beta}; \quad \hat{i}_{S\alpha\beta} = \frac{1}{\sigma L_S} (\hat{\psi}_{S\alpha\beta} - k_R \hat{\psi}_{R\alpha\beta});$$

$$\frac{d\hat{\psi}_{R\alpha\beta}}{dt} = -\frac{1}{T_R} \hat{\psi}_{R\alpha\beta} \mp \hat{\psi}_{R\beta\alpha} \omega - \frac{L_m}{T_R} \hat{i}_{S\alpha\beta},$$

где R_S , σ , L_S , L_m , T_R – каталожные данные КАД.

Вычисление электромагнитного момента КАД в БВМ осуществляется по выражению:

$$M = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot k_R \cdot (\hat{\psi}_{R\alpha} \hat{i}_{S\beta} - \hat{\psi}_{R\beta} \hat{i}_{S\alpha}).$$

На рис. 2 представлены результаты математического моделирования системы векторного полеориентированного управления с активным демпфированием упругих колебаний, в структуре которой использованы разработанные НК КАД и УПУ. При моделировании использованы математическая модель КАД при ВПУ и система управления с алгоритмами [1]. Моделирование осуществлялось при работе системы ВПУ в режиме позиционирования. Ориентация системы выполнена по потокосцеплению ротора. В системе реализована стабилизация $|\Psi_R|$ на номинальном уровне, осуществляемая в канале управления потокосцеплением релейными регуляторами потокосцепления и реактивного тока. На осциллограммах показаны переходные процессы изменения положения выходного вала $\varphi_2(t)$; напряжений на выходах релейных регуляторов положения $U_{PII}(t)$, скорости $U_{PC}(t)$ и потокосцепления $U_{PIII}(t)$; скоростей вращения первой $\omega_1(t)$ и второй $\omega_2(t)$ масс УПУ; моментов сопротивления $M_c(t)$ и упругого взаимодействия $M_y(t)$ масс; электромагнитного момента $M(t)$ КАД, совпадающего при стабилизации $|\Psi_R| = |\Psi_{R_{НОМ}}|$ с активным током $i_{sv}(t)$; модуля потокосцепления $|\Psi_R|$ и реактивного тока $i_{su}(t)$; ортогональных составляющих потокосцеплений $\hat{\psi}_{R\alpha\beta}(t)$ и токов статора $\hat{i}_{S\alpha\beta}(t)$ в системе координат $\alpha\beta 0$. Осциллограммы получены при значениях момента сопротивления $M_c=0$ ($0-t_1, t_9-t$), $M_c=-M_{НОМ}$ (t_1-t_2, t_8-t_9), $M_c=M_{НОМ}$ (t_2-t_8). При моделировании осуществлялась обработка задающих сигналов различных уровней условных единиц (у.е.) на таких временных интервалах: $\varphi_2^*=0$ ($0-t_3$), $\varphi_2^*=5$ (t_3-t_4), $\varphi_2^*=17$ (t_4-t_5), $\varphi_2^*=100$ (t_5-t_6), $\varphi_2^*=88$ (t_6-t_7), $\varphi_2^*=83$ (t_7-t). Уровни сигналов выбирались таким образом, чтобы в контуре регулирования скорости были достигнуты стандартные диаграммы скорости «малый», «большой» треугольники и «трапеция», соответствующие малым (t_3-t_4, t_7-t_8), средним (t_4-t_5, t_6-t_7) или большим (t_5-t_6) перемещениям.

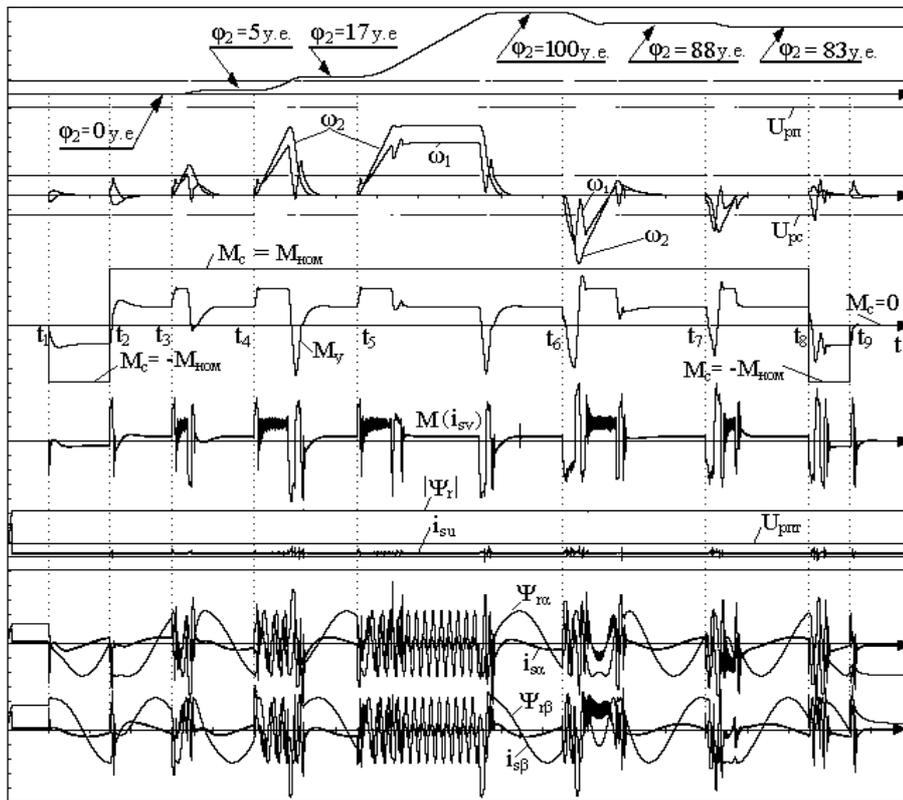


Рис.2. Результаты исследования системы ВПУ с разработанными НК

Выводы. Полученные результаты математического моделирования релейной системы ВПУ с разработанными НК, работающей в режиме позиционирования с активным демпфированием упругих колебаний передаточного устройства, позволяют сделать вывод о высокой эффективности такой структуры. Применение НК КАД, необходимых для реализации принципа ВПУ, и наблюдателя упругого момента УПУ позволяют обеспечить высокое качество обработки задающих воздействий и полное демпфирование колебаний. Применение скользящих режимов в НК и в системе ВПУ позволяют обеспечить низкую чувствительность системы ВПУ к действию дестабилизирующих факторов и неточности задания параметров при синтезе НК и АУ.

Литература 1.Клименко Ю.М. Разработка и исследование асинхронных электроприводов с векторным полеориентированным управлением, многомерными скользящими режимами и идентификацией координат. Дис.канд техн. наук: 05.09.03. – Одесса, 2007. - 185 с.

2 Клименко Ю.М., Поликарпов Д.Ю. Структурно-алгоритмический синтез наблюдателей координат асинхронного двигателя для систем векторного полеориентированного управления // Тезисы докладов 3-ей международной научно-технической конференции "Контроль и управление в технических системах" (Винница 95). Часть 2. – Винница: 1998. – С. 488-489.

3.Устройство определения координат следящего электромеханического модуля с асинхронным электродвигателем А.с.№ 1634 108 СССР, МКИ H02P 7/42 / Ю.М.Клименко, А.В.Садовой.

The observers of coordinates Asynchronous Machine and elastic transfer device

Klimenko J.M., Sadowoj A.V., Klimenko J.J.

Developed and the observers of coordinates asynchronous machine and elastic transfer device used in structure of systems vector field oriented of management by asynchronous electric drives are investigated. Use of the developed observers allows to ensure (supply) active демпфирование of elastic fluctuations, to reach (achieve) high quality of improvement of specifying influences at low sensitivity to action of the factors.

Fig. 2. App.3.