

---

**СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ РОБАСТНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ МНОГОКАНАЛЬНЫХ  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**


---

**Введение.** Многоканальные системы, работающие по принципу грубого и точного управления, позволяют существенно повысить точность управления, а в ряде случаев обеспечить точность, недостижимую в одноканальных системах. В тяжелых металлорежущих станках находит применение схема двухдвигательного электропривода, суммирования силовых воздействий от которых осуществляется через механический дифференциал. Широкие возможности для повышения точности открываются при использовании гидравлических приводов, когда реализация уточняющего движения может осуществляться за счет управляющего зазора в паре винт – гайка и т.д. Второй точный канал может быть реализован в виде магнитострикционного либо пьезострикционного двигателя, жестко закрепленного на подвижной каретке, управляемой первым основным силовым электромеханическим приводом.

**Постановка проблемы.** Повышение точности многоканальных систем сдерживается наличием нелинейных эффектов. Особенно сильно сдерживает повышение точности одновременное влияние нелинейных эффектов совместно с упругими элементами. Такое влияние проявляется в неплавном движении рабочего органа, сопровождающегося остановками и рывками. Рассмотрим синтез многоканальных систем с учетом нелинейностей и упругих элементов.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В работах [1 - 7] рассмотрены вопросы синтеза многоканальных систем, оптимальных по квадратичным критериям качества. Такие регуляторы позволяют получить высокие динамические характеристики при известных моделях многоканальной системы и внешних воздействий. Однако при изменении параметров и структуры математических моделей при использовании синтезированных регуляторов динамические характеристики системы могут существенно ухудшиться, вплоть до потери устойчивости [8].

**Цель работы.** Целью данной работы является синтез цифрового робастного управления многоканальными системами по смешанному критерию, позволяющему обеспечивать работоспособность системы при заданном изменении моделей объектов управления и внешних воздействий и высокой точности многоканальной системы.

**Метод решения.** В настоящее время наиболее широкое распространение получило решение задачи цифрового робастного управления во временной области. Рассмотрим решение задачи во временной области, основанное на описании системы с помощью  $\Delta$  оператора. Для нахождения цифрового робастного регулятора необходимо решить уравнение Риккати по управлению:

$$0 = \hat{Q} + A^T X + XA + \Delta A^T X A - \left[ \hat{L} + B^T X (\Delta A + I) \right]^T \left[ \hat{R} + \Delta B^T X B \right]^{-1} \left[ \hat{L} + B^T X (\Delta A + I) \right],$$

где

$$\begin{aligned} \hat{R} + \Delta B^T X B &= \hat{R}_q / \Delta, \\ \hat{L} + B X (\Delta A + I) &= \hat{L}_q / \Delta, \\ \hat{Q} &= \hat{C}^T \hat{J} \hat{C} / \Delta. \end{aligned}$$

Для нахождения цифрового робастного наблюдателя необходимо решить уравнение Риккати по наблюдению:

$$0 = \hat{Q} + AZ + ZA^T + \Delta \hat{A} Z \hat{A}^T - \left[ \hat{L} + (\Delta \hat{A} + I) Z \hat{C}^T \right]^T \left[ \hat{R} + \Delta \hat{C} Z \hat{C}^T \right]^{-1} \left[ \hat{L} + (\Delta \hat{A} + I) Z \hat{C}^T \right],$$

где

$$\begin{aligned} \hat{R} + \Delta C Z \hat{C}^T &= \Delta \hat{R}_q, \\ \hat{L} + (\Delta \hat{A} + I) Z \hat{C}^T &= \hat{L}_q, \\ \hat{Q} &= \hat{B} \hat{J} \hat{B}^T / \Delta. \end{aligned}$$

При этом цифровой робастный наблюдатель может быть представлен в виде  $\widehat{A}$ ,  $\widehat{B}$ ,  $\widehat{C}$ ,  $\widehat{D}$  реализации

$$\left[ \begin{array}{c|c|c} \widehat{A} & \widehat{B} & \\ \hline \widehat{C} & \widehat{D} & \\ \hline \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c|c|c} A - B_1 R_d^{-1} L_d & B_1 V_{21}^{-1} & 0 \\ \hline V_{12} R_3^{-1} (\widetilde{L}_2 - \widetilde{R}_2 R_d^{-1} L_d) & V_{12} \widetilde{R}_3^{-1} V_{21}^{-1} & I \\ \hline C_2 - D_{21} R_d^{-1} L_d & D_{21} V_{21}^{-1} & 0 \end{array} \right],$$

где

$$\begin{aligned} R_d &= R_1 - R_2^T R_3^{-1} R_2, \\ L_d &= L_1 - R_2^T R_3^{-1} L_2, \\ V_{12}^T V_{12} &= R_3, \\ V_{21}^T V_{21} &= -\gamma^{-2} (R_1 - R_2^T R_3^{-1} R_2). \end{aligned}$$

Тогда цифровой робастный регулятор и цифровой робастный наблюдатель представляет собой цифровой робастный компенсатор, входом которого является измеряемый вектор исходной системы  $\vec{y}(k)$ , а выходом является вектор управления исходной системы  $\vec{u}(k)$ . Робастный компенсатор с матрицами  $A_p$ ,  $B_p$ ,  $C_p$ ,  $D_p$  описывается следующим уравнением состояния:

$$\begin{aligned} \delta \vec{x}_p(k) &= A_p \vec{x}_p(k) + B_p \vec{y}(k), \\ \vec{u}(k) &= C_p \vec{x}_p(k) + D_p \vec{y}(k), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} A_p &= \widehat{A} - B_2 V_{12}^{-1} \widehat{C}_1 + B_2 V_{12}^{-1} \widetilde{R}_2 \widetilde{R}_3^{-1} \widehat{C}_2 - \widetilde{L}_2 \widetilde{R}_3^{-1} \widehat{C}_2, \\ B_p &= -B_2 V_{12}^{-1} \widetilde{R}_2 \widetilde{R}_3^{-1} + \widetilde{L}_2 \widetilde{R}_3^{-1}, \\ C_p &= -V_{12}^{-1} \widehat{C}_1 + V_{12}^{-1} \widetilde{R}_2 \widetilde{R}_3^{-1} \widehat{C}_2, \\ D_p &= -V_{12}^{-1} \widetilde{R}_2 \widetilde{R}_3^{-1}. \end{aligned}$$

**Результаты моделирования.** Рассмотрим применение такого подхода к синтезу двухканальной электромеханической следящей системы [1]. Минимальное значение дисперсии ошибки двухканальной системы приводит к таким регуляторам, при которых величины дисперсий управляющих воздействий и переменных состояния принимают недопустимо большие значения. Учет ограничений на управления и переменные состояния каналов приводит к существенному увеличению дисперсий ошибок двухканальной системы. Кроме того, на динамические характеристики синтезированной системы существенное влияние оказывает величина параметра толерантности. Основными факторами, препятствующими повышению точности, являются как шумы измерительных устройств и энергетические возможности исполнительных устройств, так и требования грубости синтезируемых регуляторов.

#### Литература.

1. Куценко А.С., Никитина Т.Б. Уточнение параметров нелинейных оптимальных регуляторов каналов многоканальных систем при последовательном синтезе Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. - №59. - С.17 – 25.
2. Никитина Т.Б. Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями //Автоматизация виробничих процесів. - Київ. - 2003. - №2(17). - С.62-65.
3. Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА.2005. – 511с.
4. Никитина Т.Б. Робастное управление многоканальными итерационными электроприводами по  $H^2$  и  $I^\infty$  критериям. Електромашинобудування та електрообладнання: Міжвідомчий науково – технічний збірник. Одеса - 2006. - Випуск №67. - С. 13 – 17.
5. Никитина Т.Б. Стабилизация динамических характеристик двухканальной системы управления обмоточной машиной с помощью робастного управления Вестник НТУ «ХПИ»: Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». 2006, №39. - С. 38 – 45.
6. Никитина Т.Б. Робастное управление двухмассовой электромеханической системой в режиме буксования Вестник НТУ «ХПИ»: Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Информатика и моделирование». 2006, №40. - С. 138-144.
7. Никитина Т.Б. Исследование динамических характеристик цифрового робастного управления блоком в режиме пробуксовки валков Вестник НТУ «ХПИ»: Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение». 2006, №31. - С. 93 – 101.

8. Никитина Т.Б. Ограничение нагрузок в нелинейных многоканальных электромеханических системах при управлении по состоянию. - Механіка та машинобудування. Харків 2006 - №1. - С. 259 – 264.

**Nikitina T.B.**

## **SYNTHESIS OF DIGITAL ROBUST REGULATORS FOR MULTICHANNEL ELECTROMECHANICS SYSTEMS**

The method of the synthesis of robust control by the multichannel control system based on decomposition of initial movement of multichannel control system on movements of the separate channels which are included in multichannel control system is developed. Thus synthesis of robust control of multichannel control system is reduced to consecutive synthesis of separate channels since the first basic power channel and finishing last low-power high-speed channel.