

## СИНТЕЗ НЕПРЕРЫВНОГО И ДИСКРЕТНОГО РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБМОТОЧНЫХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ $\Delta$ ОПЕРАТОРА

**Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами.** Обмоточная машина как объект управления натяжением обмоточной ленты и скоростью вращения приводного механизма является нестационарным объектом, параметры которого изменяются в широких пределах в процессе работы. Наиболее существенное изменение параметров обмоточной машины происходит по мере выработки обмоточной ленты с кружка в процессе обмотки кабелей [1-3].

**Анализ последних достижений и публикаций по данной проблеме.** В последнее десятилетие получили развитие методы минимизации  $H^\infty$  - нормы, которая, служит эффективным показателем реакции системы на различного типа воздействия при наличии неопределенностей в описании объекта управления [1-3]. Рассмотрим построение робастной системы управления для работы во всем диапазоне изменения радиусов размотки кружка с лентой с помощью  $\Delta$  оператора [4].

**Цель и задачи работы.** Целью статьи является синтез и исследование динамических характеристик непрерывной и дискретной робастной системы двухканального управления обмоточной машиной по каналам регулирования скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты с помощью  $\Delta$  оператора.

**Изложение материала исследования, полученных научных результатов.** Для синтеза системы робастного управления используется математическая модель обмоточной машины, как объекта робастной системы управления по каналам регулирования натяжения обмоточной ленты и скорости вращения приводного механизма с учетом исполнительных двигателей приводного и тормозного механизмов [3]. В настоящее время наиболее широкое распространение получило решение задачи аналогового и цифрового робастного управления во временной области с помощью  $\Delta$  оператора [4]. Запишем для исходной дискретной системы разностное уравнение состояния, вектор контролируемых параметров  $\bar{z}(k)$  и вектор измеряемых переменных  $\bar{y}(k)$  с помощью  $\Delta$  оператора в стандартной форме, принятой в  $H^\infty$  теории

$$\begin{aligned}\delta\bar{x}(k) &= A_\delta\bar{x}(k) + B_{1\delta}\bar{w}_1(k) + B_{2\delta}\bar{u}(k) \\ \bar{z}(k) &= C_1\bar{x}(k) + D_{11}\bar{w}_1(k) + D_{12}\bar{u}(k) \\ \bar{y}(k) &= C_2\bar{x}(k) + D_{21}\bar{w}_1(k) + D_{22}\bar{u}(k)\end{aligned}$$

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

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

где

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

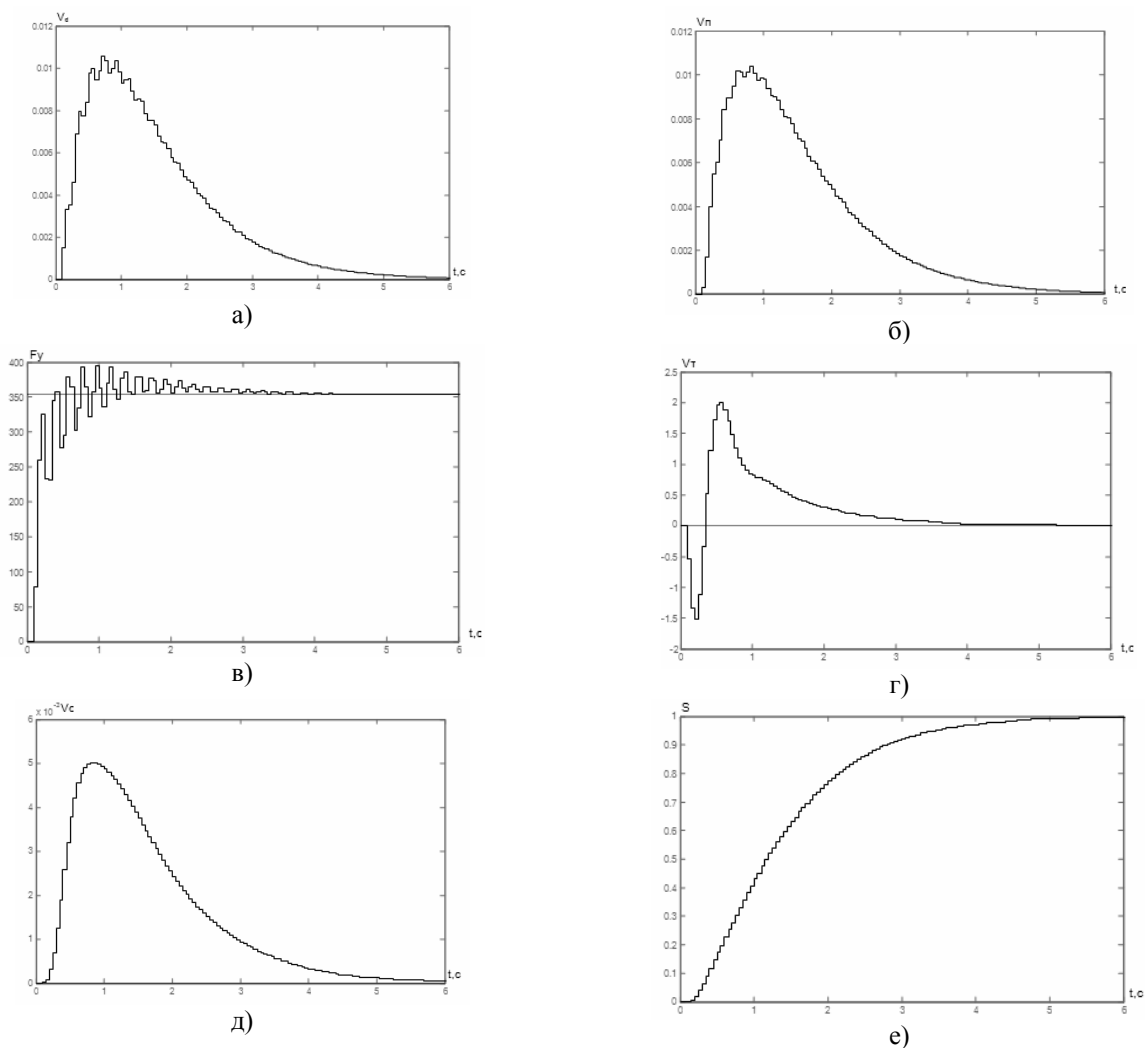


Рис.1. Переходные процессы: а) скорости двигателя  $V_d$ ; б) скорости приводного механизма  $V_n$ ; в) силы упругости  $F_y$ ; г) скорости изменения силы тормозного механизма  $V_T$ ; д) скорости схода ленты с кружка  $V_c$  и е) изменения натяжения  $S$  объекта по заданию на регулятор натяжения

**Результаты моделирования.** В качестве примера на рис. 1. показаны переходные процессы а) скорости двигателя  $V_d$ ; б) скорости приводного механизма  $V_n$ ; в) силы упругости  $F_y$ ; г) скорости изменения силы тормозного механизма  $V_T$ ; д) скорости схода ленты с кружка  $V_c$  и е) изменения натяжения  $S$  объекта по заданию на регулятор натяжения обмоточной ленты в робастной дискретной системе бронеобмотчика ВА2 – 2/700 по заданию на робастный регулятор натяжения. Сравнение результатов расчета с помощью  $\Delta$  оператора непрерывной и дискретной системы показывает, что переходные процессы практически совпадают для трех радиусов размотки, что подтверждает робастность синтезированных с помощью  $\Delta$  оператора непрерывной и дискретной систем управления.

**Выводы из проведенного исследования, перспективы этого направления.** Синтезировано робастное управление скоростью вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты с помощью  $\Delta$  оператора. Приведен пример результатов синтеза робастного управления для бронеобмотчика ВА2 – 2/700.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кузнецов Б.И., Новоселов Б.В., Чаусов А.А. Проектирование взаимосвязанных систем управления К.: Техника, 1994.-232с.
2. Кузнецов Б.И., Новоселов Б.В., Богаенко И.Н. Проектирование систем со сложными кинематическими цепями. Киев, Техника. 1996.-282с.
3. Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА.2005.–512 с.
4. Khargonekar P., Petersen I., Rotea M.  $H^\infty$  optimal control with state feedback, IEEE Trans. Automat. Contr., AC – 33, pp.783 – 786, 1988.