

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

КОБИЛЯНСЬКИЙ БОРИС БОРИСОВИЧ

УДК 681.513.1:621.315.2

СИНТЕЗ СИСТЕМ РОБАСТНОГО КЕРУВАННЯ ОБМОТУВАЛЬНИМИ МАШИНАМИ

Спеціальність 05.13.03 – системи та процеси керування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Електроніки та комп'ютерних технологій систем управління» Української інженерно-педагогічної академії Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Харків.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Кузнецов Борис Іванович,
Науково-технічний центр магнетизму технічних
об'єктів, м. Харків, завідувач відділу проблем
керування магнітним полем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Рогачев Олександр Іванович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», м. Харків,
професор кафедри автоматизації і керування
в технічних системах

кандидат технічних наук
Соболев Олександр Вікторович,
Інститут сцинтиляційних матеріалів
НАН України, м. Харків, науковий співробітник

Захист відбудеться «24» травня 2012 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «12» квітня 2012 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Удосконалення обмотувальних машин та підвищення їх технічних характеристик пов'язано, в першу чергу, в підвищенні точності регулювання швидкості обмотувальних машин та натягу обмотувальної стрічки. У більшості обмотувальних машин використовуються чисто механічні регулятори натягу обмотувальної стрічки які не забезпечують необхідної якості підтримання заданого натягу. В роботах Чаусова А.О., Седельнікової Л.Г., Лутая С.М. запропоновано побудову регуляторів натягу обмотувальної стрічки з електромеханічним приводом гальмового механізму і з модальними або оптимальними регуляторами. Такі регулятори забезпечують більш високі показники якості у порівнянні з чисто механічними регуляторами. Однак за допомогою цих регуляторів неможливо суттєво підвищити якість регулювання, у зв'язку із тим, що параметри обмотувальної машини суттєво змінюються у процесі роботи.

Класична теорія систем автоматичного керування довгий час розвивалася у рамках парадигми «один об'єкт-один регулятор». При цьому передбачалося, що математична модель об'єкту керування точно відома. Обмотувальна машина як об'єкт керування натягом обмотувальної стрічки і швидкістю обертання приводного механізму є нестационарним об'єктом, параметри якого змінюються в широких межах в процесі роботи. Найбільш суттєва зміна параметрів обмотувальної машини відбувається у міру вироблення обмотувальної стрічки з кола у процесі обмотки кабелів.

Однією з центральних ідей сучасної теорії автоматичного керування є підхід, пов'язаний з керуванням за допомогою одного регулятора не однією системою з точно заданою моделлю, а цілим класом систем, параметри, а можливо і структура яких може змінюватися в процесі функціонування. Цей напрямок нині інтенсивно розвивається і отримав самостійний напрям, званий робастним керуванням. У останнє десятиліття отримали розвиток методи мінімізації H^∞ -норми, яка, служить ефективним показником реакції системи на різного типу дії за наявності невизначеностей в описі об'єкту керування. У зв'язку з цим розробка методу синтезу робастних систем керування обмотувальними машинами для роботи в усьому діапазоні зміни радіусів розмотування кружка із стрічкою за допомогою одного регулятора є актуальною науково-технічною задачею та визначила напрям дисертаційного дослідження

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Електроніки та комп'ютерних технологій систем управління» Української інженерно-педагогічної академії відповідно до плану науково-дослідних робіт МОН України у рамках держбюджетної теми «Розробка методів моделювання та проектування багатоканальних систем з урахуванням взаємних зв'язків між каналами» (№ДР 0104U000942), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення точності керування натягом обмотувальних стрічок та швидкістю обертання приводного механізму з урахуванням пружних елементів в обмотувальній машині та зміни параметрів моделей обмотувальних машин у ході їх експлуатації.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

– удосконалення математичних моделей обмотувальних машин як об'єктів робастних систем безперервного та цифрового керування натягом обмотувальних стрічок та швидкістю обертання приводного механізму з урахуванням пружних елементів та зміни параметрів моделей обмотувальних машин у ході експлуатації;

– оцінка впливу конструктивних параметрів обмотувальної машини на її динамічні характеристики;

– синтез робастних регуляторів безперервного та цифрового керування натягом обмотувальних стрічок та швидкістю обертання приводного механізму з урахуванням пружних елементів та зміни параметрів моделей обмотувальних машин у ході експлуатації;

– моделювання синтезованих систем робастного керування натягом обмотувальних стрічок та швидкістю обертання приводного механізму.

Об'єктом дослідження є процеси в електромеханічних системах автоматичного керування швидкістю приводного механізму та натягом обмотувальної стрічки обмотувальної машини.

Предметом дослідження є моделі і методи синтезу робастних системи керування швидкістю обертання приводного механізму та натягом обмотувальної стрічки обмотувальної машини.

Методи дослідження. Побудова математичних моделей обмотувальних машин як об'єктів керування швидкістю обертання приводного механізму та натягом обмотувальної стрічки з урахуванням пружних елементів та зміни параметрів моделей обмотувальних машин у ході їх експлуатації виконана на основі методів робастного аналізу. Аналіз і синтез систем робастного керування швидкістю обертання приводного механізму та натягом обмотувальної стрічки обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів та зміни параметрів моделей обмотувальних машин у ході їх експлуатації проводився на основі методів робастного аналізу та робастного синтезу систем керування. Всі дослідження проводилися на ПЕОМ з використанням пакету MATLAB.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше отримано наукове обґрунтування доцільності використання робастних систем керування швидкістю обертання приводного механізму та натягом стрічки обмотувальних машин.

2. Вперше запропоновані і синтезовані робастні системи керування швидкістю обертання приводного механізму та натягом стрічки обмотувальних машин, за допомогою яких вдалося задовольнити вимогам, які пред'являються до систем керування обмотувальних машин.

3. Удосконалені математичні моделі обмотувальних машин як об'єктів керування швидкістю обертання приводного механізму та натягу стрічки обмотувальних машин, з урахуванням пружних елементів та зміни параметрів моделей обмотувальних машин у ході їх роботи;

4. Одержали подальший розвиток методи синтезу робастних регуляторів та робастних спостерігачів при безперервному та цифровому керуванні швидкістю обертання приводного механізму та натягу стрічки обмотувальних машин;

5. Встановлено, що за допомогою одних і тих же робастних регуляторів, параметри яких синтезовані для одного середнього радіусу розмотки обмотувальної стрічки, одержані системи керування швидкістю обертання приводного механізму та натягом обмотувальної стрічки, динамічні характеристики яких при зміні радіусу розмотки обмотувальної стрічки у всьому діапазоні від начального до кінцевого задовольняють вимогам до системи.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені практичні рекомендації по синтезу робастного керування для підвищення якості систем керування обмотувальними машинами, що дозволяє підвищити показники якості кабельної продукції, що випускається на таких машинах. Представлені в дисертації теоретичні розробки рекомендовано для практичного використання у науково-дослідних та проектних інститутах, які займаються проектуванням систем керування обмотувальними машинами та на кабельних заводах, де знаходяться обмотувальні машини.

Методика проектування робастних регуляторів та робастних спостерігачів обмотувальних машин при безперервному та цифровому керуванні впроваджена в Науково-виробничій корпорації «Київський інститут автоматики» (м. Київ).

Теоретичні результати, які отримано у ході виконання дисертаційної роботи, використовуються у навчальному процесі в Українській інженерно-педагогічній академії на кафедрі «Електроніки та комп'ютерних технологій систем управління» у лекційних курсах: «Автоматизація типових технологічних процесів», «Моделювання електромеханічних систем» та «Автоматизовані системи керування електроприводами».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційної роботи, які винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них – математичні моделі обмотувальних машин як об'єктів керування з урахуванням пружних елементів у вигляді двомасових та тримасових електромеханічних систем що враховують як структуровані зміни параметрів математичної моделі обмотувальної машини, які викликані зміною радіусу розмотування кола з обмотувальною стрічкою, так і неструктуровані невизначеності обмотувальної машини як об'єкту керуван-

ня; методику синтезу робастного керування обмотувальними машинами як двомасовими та тримасовими електромеханічними системами для удосконалених математичних моделей обмотувальних машин; результати розрахунків систем керування обмотувальними машинами з робастними регуляторами та робастними спостерігачами.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» (м. Миколаївка, 2007-2008; м. Алушта, 2009-2010. м. Одеса, 2011); Міжнародних науково-технічних конференціях «Машинобудування та техносфера на рубежі XXI сторіччя» (м. Севастополь, 2007-2011); Міжнародній науково-технічній конференції «Керування режимами роботи об'єктів електричних та електромеханічних систем» (м. Святогорськ, 2011) та на щорічних наукових семінарах кафедри «Електроніки та комп'ютерних технологій систем управління» Української інженерно-педагогічної академії.

Публікації. Результати дисертації опубліковані у 14 наукових працях, серед яких 9 – у фахових наукових виданнях України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків і додатку. Повний обсяг дисертації складає 269 сторінок, з них 108 рисунків по тексту та 103 рисунка на 83 сторінках; 1 таблиця по тексту; списку використаних літературних джерел з 220 найменувань на 22 сторінках; додатку на 6 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито стан проблеми, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначені об'єкт і предмет дослідження, викладені положення, що визначають новизну і практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведений аналіз сучасного стану методів керування обмотувальними машинами. Встановлено, що для керування обмотувальними машинами використовуються типові регулятори, які не дозволяють підвищити точність керування. Показано, що для керування системами, параметри яких змінюються у певних межах, розроблені методи робастного керування. Показана доцільність застосування робастних регуляторів порівняно із типовими регуляторами, які використовуються у існуючих системах, для підвищення точності і швидкодії системи керування обмотувальними машинами. На основі проведеного аналізу сформульовані мета і завдання дослідження.

У другому розділі роботи удосконалені математичні моделі обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів та зміни параметрів моделей обмотувальних машин у ході експлуатації як об'єктів безперервного та цифрового керування робастних систем.

Наявність пружних елементів у трансмісії обмотувальної машини не дозволяє реалізувати високу швидкодію систем керування натягом обмотувальних стрічок і швидкістю обертання приводного механізму, які розраховані без обліку пружних елементів. Для синтезу системи потрібна математична модель обмотувальної машини як об'єкта керування з урахуванням пружних елементів.

Приводний двигун розташований на значній відстані від приводного механізму і на динаміку систем керування обмотувальних машин суттєвий вплив має наявність пружних елементів у валах під приводним двигуном і приводним механізмом. Розглянемо приводний механізм як двомасову систему з двома зосередженими масами: масою двигуна m_δ та моментом інерції приводного механізму J_n , з'єднаних пружним валом з коефіцієнтом пружності C_δ і коефіцієнтом внутрішнього від'ємного тертя β_δ .

Введемо вектор стану $\vec{X}(t)$, компонентами якого є швидкість приводного механізму $V_n(t)$, сила пружності $F_y(t)$, швидкість приводного двигуна $V_\delta(t)$, швидкість зміни сили гальмового механізму $V_r(t)$, сила гальмового механізму $F_r(t)$, швидкість сходу стрічки з кружка

$V(t)$ і натяг $S(t)$

$$\vec{X}(t) = \{V_\delta(t), F_y(t), V_n(t), V_z(t), F_z(t), V(t), S(t)\}^T. \quad (1)$$

При цьому матриця стану A , керування B мають вигляд:

$$A = \begin{vmatrix} -\frac{\beta_d}{m_\delta} & -\frac{1}{m_\delta} & \frac{\beta_d}{m_\delta} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_\delta & 0 & -C_\delta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\beta_d R_n^2}{J_n} & \frac{R_n^2}{J_n} & -\frac{(\beta_d + \beta_\delta) R_n^2}{J_n} & 0 & 0 & 0 & -\frac{\lambda_n^2}{J_n} \\ 0 & 0 & 0 & -K_5 & -K_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{R^2}{J} & -\frac{\beta}{J} & \frac{r^2}{J} \\ 0 & 0 & C_s & 0 & 0 & -C_s & 0 \end{vmatrix}, B = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ m_\delta & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & K_4 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad (2)$$

де J_n – момент інерції приводного механізму щодо осі його обертання; λ_n – еквівалентний радіус, на який прикладена сила натягу обмотувальної стрічки $S(t)$, що створює гальмовий момент на приводний механізм; R_n – радіус, на якому діє сила приводного механізму $F_n(t)$; J – момент інерції кружка стрічки щодо осі його обертання; r – радіус змотки стрічки з кружка; C_s – пружність стрічки; R – радіус гальмового механізму кружка стрічки, на який прикладена сила гальмового механізму $F_z(t)$.

Виконавчий двигун приводного механізму обмотувальної машини приводить в обертання обмотки через загальний редуктор. Для швидкохідних обмотувальних машин, особливо для бронеобмотчиків, на динаміку руху обмотувальної машини впливає наявність пружних елементів як між приводним двигуном і редуктором, так і між редуктором і приводним механізмом. При цьому швидкості обертання приводного двигуна V_δ , редуктора V_p і приводного механізму V_n , особливо в перехідних процесах, не збігаються. Розглянемо трансмісію машини як тримасову систему з трьома зосередженими масами: масою двигуна m_δ , масою редуктора m_p і моментом інерції приводного механізму J_n , з'єднаних пружними валами з коефіцієнтами пружності C_1 і C_2 і коефіцієнтами внутрішнього в'язкого тертя β_1 і β_2 .

Введемо вектор стану $\vec{X}(t)$ цієї системи в наступному виді

$$\vec{X}(t) = \{V_\delta(t), F_{y1}(t), V_p(t), F_{y2}(t), V_n(t), V_z(t), F_z(t), V(t), S(t)\}^T. \quad (3)$$

Тоді матриця стану обмотувальної машини як тримасової системи прийме наступний вид:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{\beta_1}{m_d} & -\frac{1}{m_d} & \frac{\beta_1}{m_d} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_1 & 0 & -C_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\beta_1}{m_p} & \frac{1}{m_p} & \frac{-\beta_1 - \beta_2}{m_p} & -\frac{1}{m_p} & \frac{\beta_2}{m_p} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 & 0 & -C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\beta_2 R_n^2}{J_n} & \frac{R_n^2}{J_n} & a_{55} & 0 & 0 & 0 & -\frac{\lambda_n^2}{J_n} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_5 & -k_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{R^2}{J} & -\frac{\beta}{J} & \frac{r^2}{J} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_s & 0 & 0 & -C_s & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{m_d} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & k_4 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\text{де } a_{55} = -\left(\frac{\beta_2 R_n^2}{J_n} - \frac{\beta_n}{J_n} \right).$$

Таблиця 1

Параметри обмотувальних машин

Тип обмотки	Періоди розмотування	Параметри обмотувальника								
		J, кг·м ²	J _n , кг·м ²	β*, Н·м·с·10 ⁻³	β _n *, Н·м·с	λ _n ² , м ²	r ² , м ²	R ² , м ² ·10 ⁻²	R _n ² , м ² ·10 ⁻³	C _s , Н/м·10 ³
Папірообмотчик ГЖ-32	r _n	0,615	5,69	0,35	23,1	0,58	0,0625	2,5	1	0,1
	r _{ср}	0,405	5,02	0,35	23,1	0,58	0,0225	2,5	1	0,1
	r _к	0,31	4,44	0,35	23,1	0,58	0,0025	2,5	1	0,1
Бронеобмотчик ВА-2/700	r _n	24,3	19,2	0,0024	69,27	0,147	0,16	0,08	10 ⁻³	1,2·10 ³
	r _{ср}	11,85	14,6	0,0024	69,27	0,147	0,0625	0,05	10 ⁻³	1,2·10 ³
	r _к	9,15	12,8	0,0024	69,27	0,147	0,01	0,02	10 ⁻³	1,2·10 ³

Параметри обмотувальної машини змінюються з часом. Найбільш сильно змінюється радіус кружка стрічки r і момент інерції кружка зі стрічкою J в міру вироблення стрічки в процесі обмотки. Тому надалі будемо розглядати три варіанти параметрів обмотувальної машини, що відповідають трьом радіусам розмотування – початковому r_n , середньому $r_{ср}$ і кінцевому r_k .

У табл. 1 наведені числові значення параметрів матриць стану і керування папірообмотчика ГЖ-32 та бронеобмотчика ВА-2/700 для трьох значень радіусів розмотування кола паперової або сталеві стрічки – початкового, середнього і кінцевого.

Номінальним об'єктом обмотувальної машини прийняті матриці стану і керування, а також відповідні їм матричні передавальні функції $W_0(p)$, які розраховані для середнього радіусу розмотування. Реальні матриці стану і керування і відповідні їм матричні передавальні функції є збуреними відносно цього номінального об'єкту керування.

Вектор вихідних параметрів моделі обмотувальної машини має вигляд

$$\vec{y}(t) = C\vec{x}(t) + D\vec{u}(t). \quad (5)$$

Тоді по A , B , C , D реалізації математичної моделі обмотувальної машини як об'єкту керування знайдемо матричну передавальну функцію

$$W(p) = C[pI - A]^{-1}B + D. \quad (6)$$

У роботі розглянуто три способи завдання збуреної математичної моделі обмотувальної машини (6) у вигляді адитивної лінійної збурюючої добавки

$$W(p) = W_0(p) + \Delta W(p), \quad (7)$$

у вигляді мультиплікативної добавки

$$W(p) = [I + \Delta W(p)]W_0(p) \quad (8)$$

і виді невизначеності, заданої через компоненти взаємно-звотної факторизації матричної передавальної функції обмотувальної машини як об'єкту керування у формі відношення поліномів $M(p)$ і $N(p)$ у наступному виді

$$W(p) = [N(p) + \Delta N(p)]^{-1}[M(p) + \Delta M(p)]. \quad (9)$$

Тут $\Delta W(p)$, $\Delta N(p)$ і $\Delta M(p)$ – невизначеності матричної передавальної функції обмотувальної машини як об'єкту керування, що враховують як структуровані зміни параметрів математичної моделі обмотувальної машини (6), які викликані як зміною радіусу розмотування кола з обмотувальною стрічкою, так і неструктуровані невизначеності обмотувальної машини як об'єкту керування, які обумовлені нехтуванням малих постійних часу в підсилювальних, перетворюючих і вимірювальних пристроях, а також і інших чинників.

По безперервним моделям обмотувальної машини (1)–(4) отримані дискретні моделі у наступному виді

$$\vec{x}_d(k+1) = A_d \vec{x}_d(k) + B_d \vec{u}_d(k), \quad (10)$$

$$\text{де } A_d = \ell^{AT} = T + AT + \frac{A^2 T^2}{2!} + \dots + \frac{A^n T^n}{n!}.$$

Як приклад, на рис. 1 показані перехідні процеси а) швидкості двигуна V_d і б) натягу стрічки S при подачі керування на вхід приводного механізму для трьох радіусів розмотування – початкового r_n , середнього r_{cp} і кінцевого r_k . У початковий момент часу натягнення збільшується, оскільки за рахунок збільшення натягнення відбувається збільшення швидкості обертання кола із стрічкою, проте стале значення натягнення дорівнює нулю.

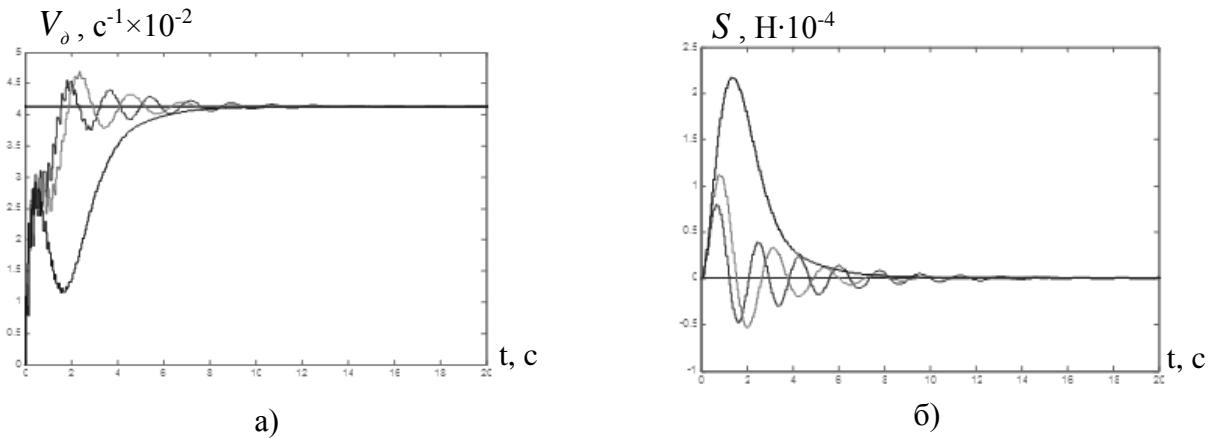


Рис. 1. Перехідні процеси а) швидкості двигуна V_∂ і б) натягу стрічки S при подачі керування на вхід приводного механізму

На рис. 2 показані перехідні процеси а) швидкості двигуна V_∂ і б) натягнення стрічки S при подачі керування на вхід гальмового механізму для трьох радіусів розмотування.

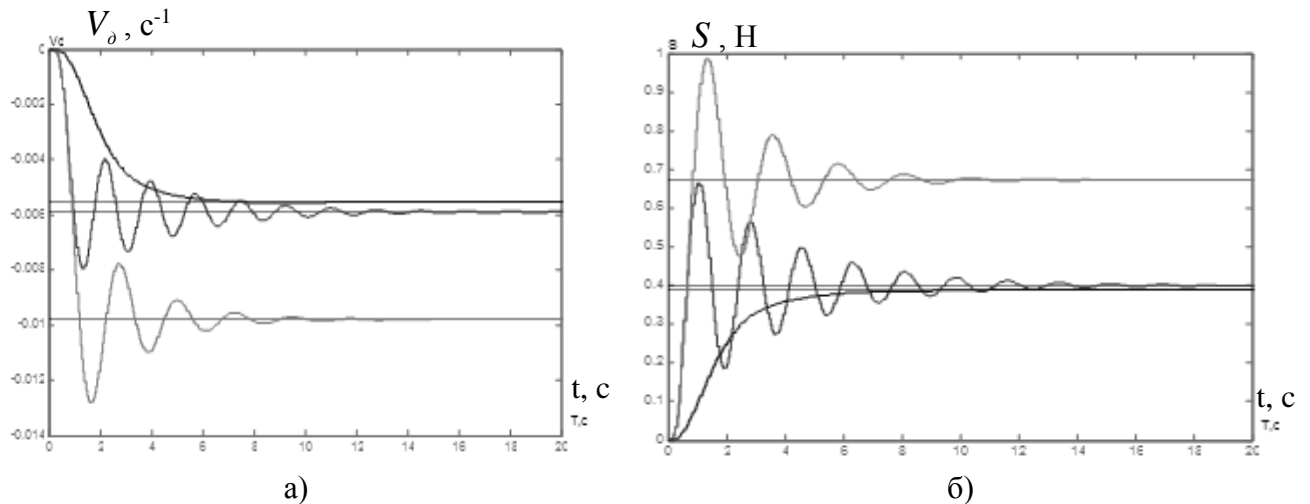


Рис. 2. Перехідні процеси а) швидкості двигуна V_∂ і б) натягу стрічки S при подачі керування на вхід гальмового механізму

При зміні радіусу розмотування сталі значення зменшення швидкості пропорційна радіусу розмотування. Це відбувається за рахунок того, що при однаковому гальмовому моменті потрібно різний момент опору на колі стрічки з різним радіусом.

При середньому r_{cp} і кінцевому r_k значеннях радіусів розмотування перехідні процеси коливальні, а при початковому r_n радіусі розмотування – аперіодичні. Стале значення натягнення обернено пропорційно до радіусу кола із стрічкою. Час регулювання складає приблизно 9 с.

У третьому розділі синтезовані робастні регулятори при безперервному керуванні, схема якої для тримасової моделі обмотувальної машини показана на рис. 3.

Стандартна форма рівняння стану, вектору контрольованих параметрів $\vec{Z}(t)$ і вектору вимірюваних змінних $\vec{y}(t)$, яка прийнята в теорії робастного керування, має вигляд:

$$\frac{d\vec{x}(t)}{dt} = A\vec{x}(t) + B_1\vec{W}_1(t) + B_2\vec{U}(t), \quad (11)$$

$$\vec{z}(t) = C_1\vec{x}(t) + D_{11}\vec{W}_1(t) + D_{12}\vec{U}(t), \quad (12)$$

$$\vec{y}(t) = C_2 \vec{x}(t) + D_{21} \vec{W}_1(t) + D_{22} \vec{U}(t). \quad (13)$$

Введемо компоненти вектору зовнішніх дій $\vec{W}_1(t)$ у наступному виді: задані значення швидкості обертання приводного механізму $V_3(t)$ і натягненням обмотувальної стрічки $S_3(t)$ і фактичними значеннями швидкості приводного механізму $V_{II}(t)$ і натягнення обмотувальної стрічки, а також перешкоди $f_1(t)$, $f_2(t)$ виміри помилок $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$ регулювання швидкості обертання приводного механізму:

$$\varepsilon_1(t) = V_3(t) - V_{II}(t)$$

і натягнення обмотувальної стрічки

$$\varepsilon_2(t) = S_3(t) - S(t).$$

Введемо також фіктивні перешкоди $f_3(t)$, $f_4(t)$ виміри змінних стану інтеграторів $Z_1(t)$ і $Z_2(t)$. При цьому вектор зовнішніх дій набере наступного вигляду

$$\vec{W}(t) = \{V_3(t), S_3(t), f_1(t), f_2(t), f_3(t), f_4(t)\}^T.$$

Компонентами вектору керування $\vec{U}(t)$ являються сила приводного механізму $F(t)$ і напруга на вході гальмівного механізму $U(t)$ так, що

$$\vec{u}(t) = \{F(t), u(t)\}^T.$$

Для отримання прийнятних показників якості системи, що синтезується, у вектор (12) контрольованих змінних $\vec{z}(t)$ необхідно включати помилку системи, змінні стани системи, які треба обмежувати, а також компоненти вектору керування $\vec{u}(t)$. Причому, роль вагових матриць у критерії якості виконують матриці C_1 , D_{11} і D_{12} , за допомогою яких формується вектор контрольованих змінних $\vec{z}(t)$. Компонентами вектору контрольованих змінних $\vec{z}(t)$ приймемо помилки $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$ регулювання швидкості обертання приводного механізму і натягнення обмотувальної стрічки, змінні $z_1(t)$ і $z_2(t)$ стани інтеграторів, а також дії, що управляють $F(t)$ і $U(t)$. При цьому вектор контрольованих змінних має наступний вигляд:

$$\vec{z}(t) = \{\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t), z_1(t), z_2(t), F(t), U(t)\}^T.$$

Компонентами вектору (13) вимірюваних змінних $\vec{y}(t)$ приймемо виміри $\varepsilon_{1U}(t)$, $\varepsilon_{2U}(t)$ з перешкодами $f_1(t)$, $f_2(t)$ помилки $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$ регулювання швидкості обертання приводного механізму $V_{II}(t)$ і натягу обмотувальної стрічки $S(t)$ так, що:

$$\varepsilon_{1U}(t) = \varepsilon_1(t) + f_1(t),$$

$$\varepsilon_{2U}(t) = \varepsilon_2(t) + f_2(t),$$

а також виміри $Z_{1U}(t)$ і $Z_{2U}(t)$ з перешкодами $f_3(t)$, $f_4(t)$ змінних стану $z_1(t)$ і $z_2(t)$ інтеграторів так, що:

$$z_{1U}(t) = z_1(t) + f_3(t),$$

$$z_{2U}(t) = z_2(t) + f_4(t)$$

і, отже, вектор $\vec{Y}(t)$ виміряних змінних прийме наступний вигляд:

$$\vec{Y}(t) = \{\varepsilon_{1U}(t), \varepsilon_{2U}(t), z_{1U}(t), z_{2U}(t)\}^T.$$

Для знаходження регулятора, за допомогою якого мінімізується H^∞ -норма, необхідно вирішити два алгебраїчних рівняння Ріккати по керуванню і фільтрації:

$$A^T \cdot X_\infty + X_\infty \cdot A - X_\infty \cdot (B_2 \cdot B_2^T - \gamma^{-2} \cdot B_1 \cdot B_1^T) \cdot X_\infty + C_1^T \cdot C_1 = 0, \quad (14)$$

$$A \cdot Y_\infty + Y_\infty \cdot A^T - Y_\infty \cdot (C_2^T \cdot C_2 - \gamma^{-2} \cdot C_1^T \cdot C_1) \cdot Y_\infty + B_1 \cdot B_1^T = 0. \quad (15)$$

де γ – параметр толерантності, який обмежує H^∞ -норму замкненої системи.

Для рішення рівняння Ріккати по керуванню (14) і фільтрації (15) використовують матриці Гамільтона:

$$H_\infty = \begin{bmatrix} A & \gamma^{-2} \cdot B_1 \cdot B_1^T - B_2 \cdot B_2^T \\ -C_1^T \cdot C_1 & -A^T \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$$J_\infty = \begin{bmatrix} A^T & \gamma^{-2} \cdot C_1^T \cdot C_1 - C_2^T \cdot C_2 \\ -B_1 \cdot B_1^T & -A \end{bmatrix} \quad (17)$$

У четвертому розділі синтезовані робастні регуляторів при цифровому керуванні. Сучасні системи керування реалізуються на мікропроцесорній елементній базі і, отже, дана система стає дискретною.

Для початкової дискретної системи (10) різницеве рівняння стану, вектор контрольованих параметрів $\vec{z}(k)$ і вектор вимірюваних змінних $\vec{y}(k)$ у стандартній формі, яка прийнята в H^∞ теорії цифрового робастного керування мають вигляд:

$$\vec{x}(k+1) = A\vec{x}(k) + B_1\vec{w}_1(k) + B_2\vec{u}(k), \quad (18)$$

$$\vec{z}(k) = C_1\vec{x}(k) + D_{11}\vec{w}_1(k) + D_{12}\vec{u}(k), \quad (19)$$

$$\vec{y}(k) = C_2\vec{x}(k) + D_{21}\vec{w}_1(k) + D_{22}\vec{u}(k). \quad (20)$$

Введемо компоненти вектору зовнішніх дій $\vec{w}_1(k)$ у наступному виді: задані значення швидкості обертання приводного механізму $V_3(k)$ і натягненням обмотувальної нитки $s_3(k)$ і фактичними значеннями швидкості приводного механізму $V_\Pi(k)$ і натягнення обмотувальної стрічки, а також перешкоди $f_1(k)$, $f_2(k)$ виміру помилок $\varepsilon_1(k)$, $\varepsilon_2(k)$ регулювання швидкості обертання приводного механізму:

$$\varepsilon_1(k) = V_3(k) - V_\Pi(k),$$

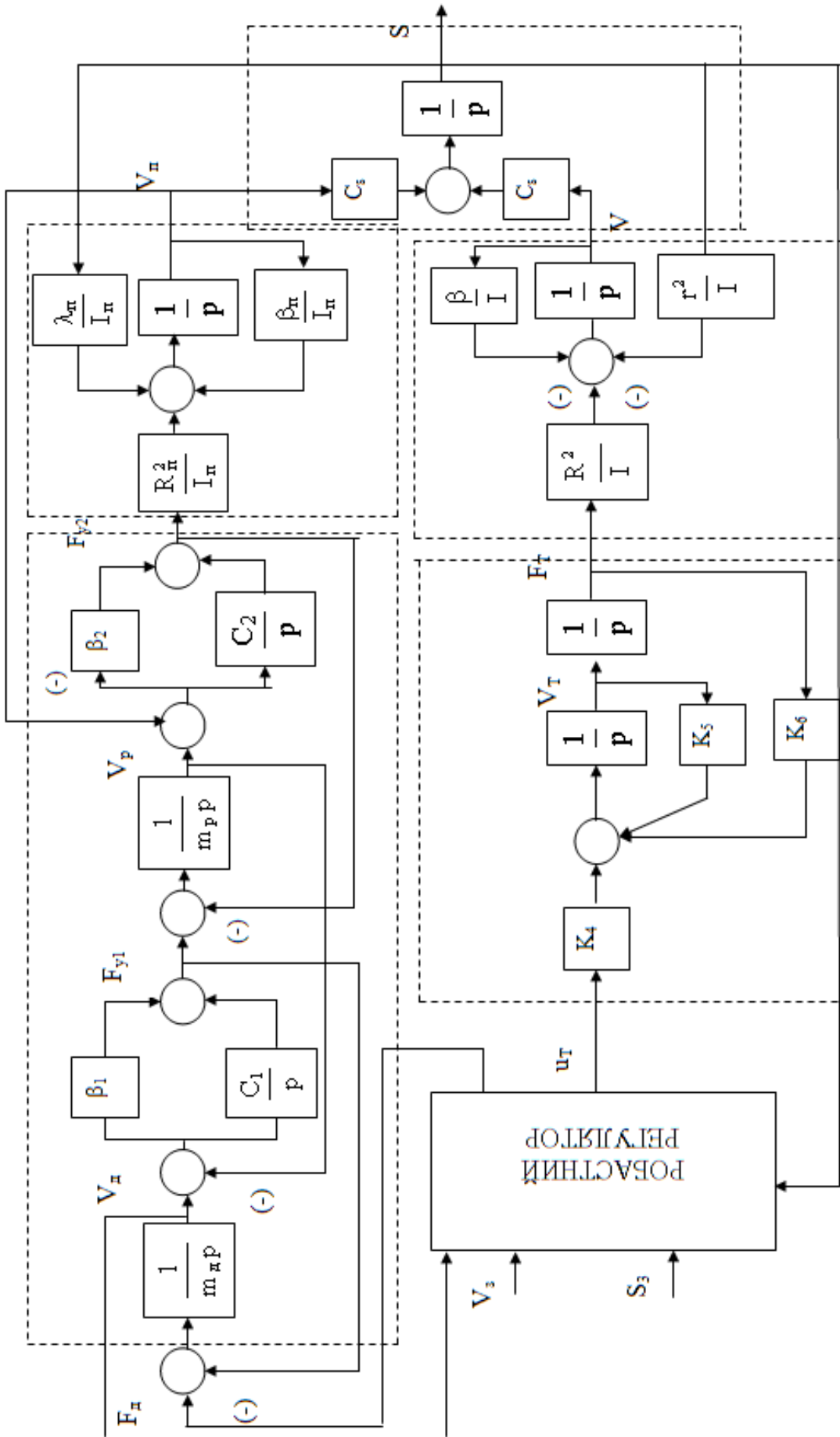


Рис. 3. Схема тримасової системи з робастним регулятором

Компонентами вектору керування $\vec{u}(k)$ являються сила приводного механізму $F(k)$ і напруга на вході гальмівного механізму $u(k)$ так, що

$$\vec{u}(k) = \{F(k), u(k)\}^T.$$

Компонентами вектору (19) контрольованих змінних $\vec{z}(k)$ приймемо помилки $\varepsilon_1(k)$, $\varepsilon_2(k)$ регулювання швидкості обертання приводного механізму і натягнення обмотувальної стрічки, змінні $z_1(k)$ і $z_2(k)$ стани інтеграторів, а також дії, що управляють $F(t)$ і $u(k)$.

При цьому вектор контрольованих змінних має наступний вигляд:

$$\vec{z}(k) = \{\varepsilon_1(k), \varepsilon_2(k), z_1(k), z_2(k), F(k), u(k)\}^T.$$

Компонентами вектору (20) вимірюваних змінних $\vec{y}(k)$ приймемо виміри $\varepsilon_{1u}(k)$, $\varepsilon_{2u}(k)$ з перешкодами $f_1(k)$, $f_2(k)$ помилки $\varepsilon_1(k)$, $\varepsilon_2(k)$ регулювання швидкості обертання приводного механізму $V_{II}(k)$ і натягнення обмотувальної стрічки $s(k)$ так, що:

$$\varepsilon_{1u}(k) = \varepsilon_1(k) + f_1(k),$$

$$\varepsilon_{2u}(k) = \varepsilon_2(k) + f_2(k),$$

а також вимір $z_{1u}(k)$ и $z_{2u}(k)$ з перешкодами $f_3(k)$, $f_4(k)$ змінні стани $z_1(k)$ і $z_2(k)$ інтеграторів так, що:

$$z_{1u}(k) = z_1(k) + f_3(k),$$

$$z_{2u}(k) = z_2(k) + f_4(k),$$

і, отже, вектор $\vec{y}(k)$ вимірюваних змінних набере наступного вигляду:

$$\vec{y}(k) = \{\varepsilon_{1u}(k), \varepsilon_{2u}(k), z_{1u}(k), z_{2u}(k)\}^T.$$

Фактично за допомогою матриць C , D_{11} D_{12} формуються «ваги» в критерії якості функціонування системи, по якому синтезується робастний регулятор. Причому, за допомогою матриці D_{12} у критерій вводиться вектор керування, а за допомогою матриць C і D_{11} формується помилка системи і обмежується змінні стани системи. За допомогою матриці D_{21} формуються перешкоди виміру і, отже, ця матриця впливає на синтез робастного спостерігача.

Для знаходження цифрового робастного регулятора необхідно вирішити рівняння Ріккати по управлінню

$$X = \bar{C}^T \bar{J} \bar{C} + A^T X A - \bar{L}^T R^{-1} \bar{L}, \quad (21)$$

де

$$\bar{R} = \bar{D}^T \bar{J} \bar{D} + B^T X B,$$

$$\bar{L} = \bar{D}^T \bar{J} \bar{C} + B^T X A.$$

$$\bar{C} = \begin{bmatrix} C_1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{D} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ I_l & 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{J} = \begin{bmatrix} I_p & 0 \\ 0 & -\gamma^2 I_l \end{bmatrix}.$$

Для знаходження цифрового робастного спостерігача необхідно вирішити рівняння Ріккати по спостереженню

$$Z_q = \hat{B} \hat{J} \hat{B}^T + \hat{A} Z \hat{A}^T - \hat{L} \hat{R}^{-1} \hat{L}^T, \quad (22)$$

де:

$$\hat{R} = \hat{D} \hat{J} \hat{D}^T + \hat{C} Z \hat{C}^T,$$

$$\hat{L} = \hat{B} \hat{J} \hat{D}^T + \hat{A} Z \hat{C}^T,$$

$$\hat{\mathbf{J}} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -\gamma^2 \mathbf{I}_m \end{bmatrix}.$$

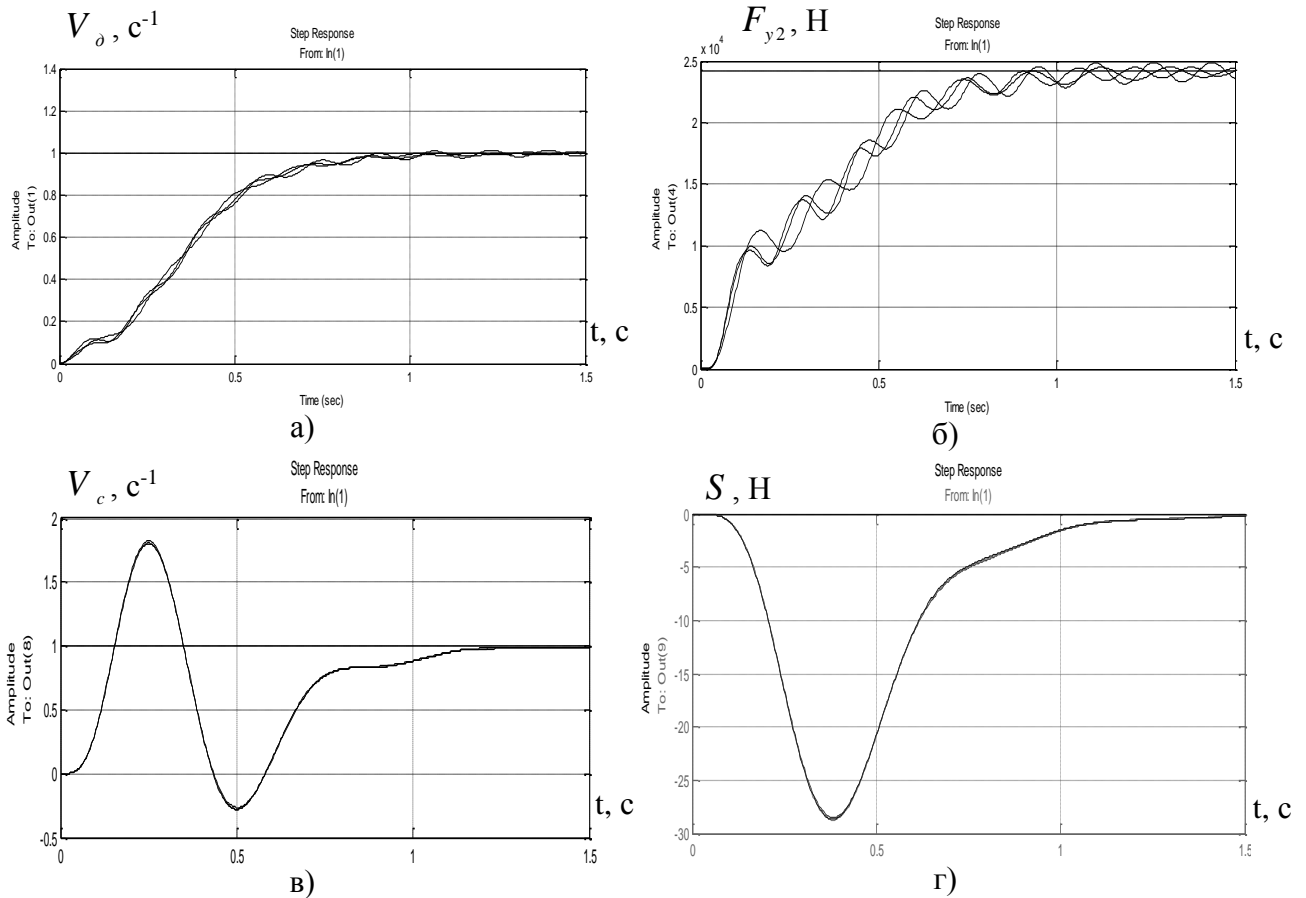


Рис. 4. Перехідні процеси а) швидкості двигуна V_d ; б) сили пружності F_{y2} у тихохідному валу; в) швидкості сходу стрічки V_c і г) натягнення стрічки S у цифровій тримасовій системі робастного керування за завданням на швидкість приводного двигуна

На рис. 4 показані перехідні процеси а) швидкості двигуна V_d ; б) сили пружності F_{y2} у тихохідному валу; в) швидкості сходу стрічки V_c і г) натягу стрічки S у тримасовій цифровій робастній системі по завданню на швидкість приводного двигуна.

Сталі значення швидкостей дорівнюють задаючій дії, тобто в системі є астатизм. Перехідні процеси за швидкістю є коливальними з одним коливанням. При цьому спостерігається відхилення натягу стрічки у бік збільшення, а потім у бік зменшення і після закінчення перехідного процесу натяг повертається до початкового значення.

На рис. 5 показані перехідні процеси а) швидкості двигуна V_d ; б) сили пружності F_{y2} у тихохідному валу; в) швидкості сходу стрічки V_c і г) натягнення стрічки S у тримасовій цифровій робастній системі по завданню на натяг обмотувальної стрічки.

Таким чином застосування робастних регуляторів (21)–(22) дозволило отримати практично однакові перехідні процеси для всіх радіусів розмотування кружка із стрічкою при використанні регулятора і спостерігача, які синтезовані для середнього радіуса розмотування.

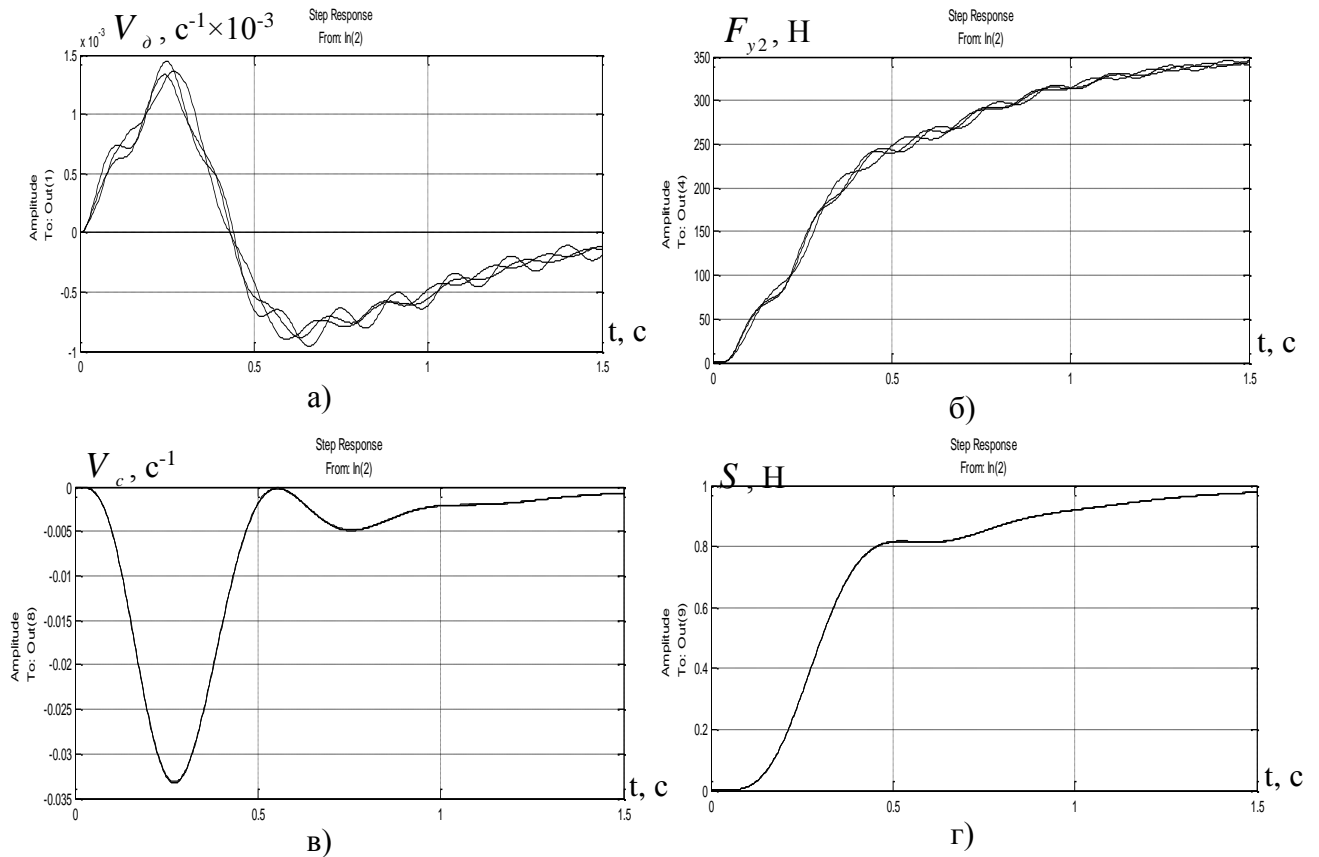


Рис. 5. Перехідні процеси а) швидкості двигуна V_{∂} ; б) сили пружності F_{y2} у тихохідному валу; в) швидкості сходу стрічки V_c і г) натягнення стрічки S у цифровій тримасовій системі робастного керування по завданню на натяг обмотувальної стрічки

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі синтезовані робастні системи при безперервному та цифровому керуванні натягом обмотувальних стрічок та швидкістю обертання приводного механізму з урахуванням пружних елементів та зміни параметрів моделей обмотувальних машин у ході експлуатації. У результаті проведених досліджень отримані наступні наукові результати:

1. Удосконалені математичні моделі обмотувальних машин як об'єктів робастних систем безперервного та цифрового керування швидкістю обертання приводного механізму та натягом обмотувальної стрічки з урахуванням пружних елементів між приводним двигуном і приводним механізмом у вигляді двомасових та тримасових електромеханічних систем та зміни параметрів моделей обмотувальних машин у ході їх експлуатації.

2. Досліджено динамічні характеристики обмотувальної машини як об'єктів робастних систем безперервного та цифрового керування швидкістю обертання приводного механізму і натягом обмотувальної стрічки. Показано, що урахування пружних елементів приводить до виникнення високочастотних коливань у перехідних процесах по каналу регулювання швидкості обертання приводного механізму. Проаналізовано вплив параметрів обмотувальної машини на її динамічні характеристики. Встановлено, що в перехідних процесах двомасової системи виникають коливання частотою 3-5 Гц, а в перехідних процесах три масової системи виникають коливання частотою 6-15 Гц.

3. Обґрунтовано необхідність синтезу і синтезовані робастні безперервні та цифрові регулятори швидкості обертання приводного механізму і натягу обмотувальних стрічок для моделей обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів. Вектори мети робастних систем безперервного та цифрового керування підібрані таким чином, щоб забезпечити вимоги до динамічних характеристик регуляторів швидкості обертання приводного механізму і натягу обмо-

тувальної стрічки.

4. Досліджено динамічні характеристики синтезованих робастних систем безперервного та цифрового керування обмотувальних машин із робастними регуляторами. Показано, що урахування пружних елементів приводить до виникнення в перехідних процесах оптимальних регуляторів високочастотних коливань порівняно невеликої амплітуди з малим коефіцієнтом демпфірування. Проаналізовано вплив параметрів обмотувальної машини на динамічні характеристики робастних систем керування. Виявлено, що за допомогою синтезованих робастних регуляторів для удосконалених математичних моделей вдається скоротити час перехідних процесів у 1,5-2 рази порівняльно з одномасовою системою.

5. Синтезовано робастні спостерігачі для відбудови повного вектора стану обмотувальної машини по безпосередньо вимірюваним змінним стану для удосконалених моделей обмотувальних машин з урахуванням наявності пружних елементів та. Робастні спостерігачі дозволяють відновлювати повний вектор змінних стану обмотувальної машини, який використовується для реалізації робастного керування за повним вектором стану.

6. Досліджено динамічні характеристики робастних систем, замкнених за повним вектором стану через синтезовані робастні спостерігачі. Показано, що динамічні характеристики робастних систем зі спостерігачами стану близькі до відповідних динамічних характеристик робастних систем, замкнених робастними регуляторами за повним вектором стану з урахуванням зміни параметрів моделей обмотувальних машин у ході їх експлуатації.

7. Досліджено чутливість робастних регуляторів і робастних спостерігачів до зміни параметрів обмотувальної машини і показана можливість спрощення технічної реалізації синтезованих робастних систем без додаткового підстроювання їх параметрів у процесі роботи та реалізувати основну парадигму робастного керування класом об'єктів за допомогою одного робастного регулятора. Встановлено, що при зміні радіусу розмотки кружка із стрічкою від початкового до кінцевого можна використовувати параметри одного робастного регулятора та одного робастного спостерігача, які синтезовані для одного середнього радіусу розмотки кружка із стрічкою, що підтверджує їх слабку чутливість до зміни параметрів обмотувальної машини як об'єкту керування.

8. Результати дисертаційної роботи впровадженні в науково-виробничій корпорації «Київський інститут автоматики» та навчальний процес кафедри «Електроніки та комп'ютерних технологій систем управління» Української інженерно-педагогічної академії .

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кобылянский Б.Б. Робастное управление двухмассовой электромеханической системой в режиме буксования / [Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, С.Н. Лутай, Л.Б. Курцева, Б.Б. Кобылянский, А.А. Варфоломеев] // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки) – Дніпродзержинськ: ДГТУ, 2007. – С. 237-238.

Здобувач розв'язав задачу синтезу робастного керування двомасовою електромеханічною системою.

2. Кобылянский Б.Б. Модель обмоточной машины как объекта цифрового робастного управления / [Б.И. Кузнецов, С.Н. Лутай, В.П. Соляник, Л.Б. Курцева, Б.Б. Кобылянский, О.В. Шурло] // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – №30. – С. 228-229.

Здобувачем одержані основні рівняння динаміки безперервної моделі обмотувальної машини, по якій розрахована модель при цифровому керуванні.

3. Кобылянский Б.Б. Робастное управление механизмами обмоточных машин / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, И.В. Бовдуй, Б.Б. Кобылянский // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – №7. – С. 72-80.

Здобувач розв'язав задачу синтезу робастного керування обмотувальною машиною.

4. Кобылянский Б.Б. Синтез робастного управления механизмами обмоточных машин / [Б.И. Кузнецов, С.Н. Лутай, Л.Б. Курцева, В.П. Соляник, Б.Б. Кобылянский, О.В. Шурло] // ЭЛЕКТРОИНФОРМ – Львов: , 2009. – №4. – С. 211-212.

Здобувач розробив методику синтезу робастного керування обмотувальною машиною.

5. Кобылянский Б.Б. Цифровое робастное управление механизмами обмоточных машин / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, Б.Б. Кобылянский, О.В. Шурло // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009. – №44. – С. 73-81.

Здобувач розв'язав задачу синтезу цифрового робастного керування обмотувальною машиною.

6. Кобылянский Б.Б. Синтез непрерывного и дискретного робастного управления механизмами обмоточных машин с помощью Δ оператора / [Б.И. Кузнецов, С.Н. Лутай, Л.Б. Курцева, В.П. Соляник, Б.Б. Кобылянский, О.В. Шурло] // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – №28. – С. 184-185.

Здобувач розв'язав задачу синтезу безперервного та цифрового робастного керування обмотувальною машиною за допомогою Δ оператора.

7. Кобылянский Б.Б. Динамические характеристики систем непрерывного и цифрового робастного управления обмоточными машинами / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, Б.Б. Кобылянский, О.В. Шурло // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – №29. – С. 44-50.

Здобувач розв'язав задачу синтезу безперервного та цифрового робастного керування обмотувальною машиною.

8. Кобылянский Б.Б. Исследование чувствительности оптимального робастного управления трехмассовой обмоточной машиной / Б.И. Кузнецов, В.В. Коломиец, С.Н. Лутай, Б.Б. Кобылянский // Наукові праці Донецького Національного технічного університету. – Донецьк: ДНТУ. – 2011 – Вып. 11 (186). – С. 216-220.

Здобувач провів дослідження чутливості рішення задачі синтезу робастного та оптимального керування обмотувальною машиною як тримасовою електромеханічною системою.

9. Кобылянский Б.Б. Динамические характеристики систем управления обмоточными машинами с различными настройками регуляторов состояния / Б.И. Кузнецов, В.В. Коломиец, Т.Е. Василец, С.Н. Лутай // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеса: ОНПУ. – 2011. – №03(79) – С. 228-229.

Здобувач виконав порівняння динамічних характеристик робастного та оптимального керування обмотувальною машиною як двомасовою електромеханічною системою.

10. Кобылянский Б.Б. Цифровое робастное управление дискретно – континуальным объектом / [Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, Л.Г. Кузнецова, В.В. Коломиец, Т.Е. Василец, Б.Б. Кобылянский] // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – Дніпродзержинськ: ДГТУ. – 2007. – С. 373-374.

Здобувач розв'язав задачу синтезу цифрового робастного керування електромеханічною системою.

11. Кобылянский Б.Б. Математическая модель обмоточной машины как объекта робастного управления / [Б.И. Кузнецов, С.Н. Лутай, Л.Б. Курцева, Б.Б. Кобылянский, О.В. Шурло] // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. тр. XII МНТК. – Донецьк: ДНТУ. – 2008. – Том 2. – С. 169-173.

Здобувачем одержані основні рівняння динаміки безперервної моделі обмотувальної машини.

12. Кобылянский Б.Б. Цифровое робастное управление обмоточной машиной как трехмассовой электромеханической системой / [Б.И. Кузнецов, С.Н. Лутай, В.П. Соляник, Л.Б. Курцева, Б.Б. Кобылянский] // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. тр. XVI МНТК. – Донецьк: ДНТУ. – 2009. – Том 2. – С. 56-60.

Здобувач розв'язав задачу синтезу цифрового робастного керування обмотувальною машиною як тримасовою електромеханічною системою.

13. Кобылянский Б.Б. Сравнение динамических характеристик непрерывного и цифрового робастного управления обмоточной машиной при синтезе системы с помощью Δ оператора / [С.Н. Лутай, В.П. Соляник, Л.Б. Курцева, Л.Б. Кузнецова, Б.Б. Кобылянский, О.В. Шурло] // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. тр. XVI МНТК. – Донецьк: ДНТУ. – 2010. – Том 2. – С. 76-80.

Здобувач розв'язав задачу синтезу безперервного та цифрового робастного керування обмотувальною машиною за допомогою Δ оператора.

14. Кобылянский Б.Б. Исследование динамических характеристик систем управления обмоточными машинами с различными типами регуляторов / Б.И. Кузнецов, С.Н. Лутай, В.П. Соляник, Б.Б. Кобылянский, О.В.Шурло // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. тр. XVII МНТК – Донецк: ДНТУ. – 2011. – Том 2. – С 127-130.

Здобувач виконав порівняння динамічних характеристик робастного та оптимального керування обмотувальною машиною як двомасовою електромеханічною системою.

АНОТАЦІЇ

Кобылянский Б. Б. Синтез систем робастного керування обмотувальними машинами. – Рукопис.

Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – системи та процеси керування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків. – 2012.

Дисертація присвячена синтезу робастних систем безперервного та цифрового керування швидкістю обертання приводного механізму та натягом обмотувальної стрічки з урахуванням пружних елементів у обмотувальній машині та зміни параметрів моделей обмотувальних машин у ході їх експлуатації, що забезпечує високу точність підтримання швидкості обертання приводного механізму та натягу обмотувальної стрічки і, внаслідок цього, забезпечується підвищення якості кабельної продукції.

У роботі удосконалена математична модель обмотувальної машини як об'єкта робастного керування швидкості обертання приводного механізму та натягу обмотувальної стрічки, синтезовані робастні регулятори та робастні спостерігачі двоканального електроприводу обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів, що забезпечило підвищення якості обмотування кабелів.

Ключові слова: електромеханічні системи керування, робастний регулятор, робастний спостерігач, робастний компенсатор, обмотувальна машина, пружні елементи.

Кобылянский Б. Б. Синтез систем робастного управления обмоточными машинами. – Рукопись.

Диссертационная работа на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.03 – системы и процессы управления. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков. – 2012.

Диссертация посвящена синтезу робастных систем непрерывного и цифрового управления скоростью вращения приводного механизма и натяжением обмоточной ленты с учетом наличия упругих элементов в трансмиссии обмоточной машины и изменения параметров моделей обмоточных машин в ходе их эксплуатации, что обеспечивает повышение точность поддержания заданных значений скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты и в результате приводит к повышению качества обмотки кабелей.

Усовершенствованы математические модели обмоточных машин как объектов робастных систем непрерывного и цифрового управления скоростью вращения приводного механизма натяжением обмоточной ленты с учетом наличия упругих элементов в кинематической линии обмоточной машины в виде двухмассовых и трехмассовых электромеханических систем и изменения параметров моделей обмоточных машин в ходе их эксплуатации. Исследованы динамические характеристики усовершенствованных математических моделей обмоточных машин как двухмассовых и трехмассовых электромеханических систем по каналам регулирования скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты. Исследованы динамические характеристики обмоточных машин как объектов робастных систем непрерывного и цифрового управления скоростью вращения приводного механизма и натяжением обмоточной ленты. Показано, что учет упругих элементов приводит к появлению высокочастотных колеба-

ний в переходных процессах по каналу регулирования скорости вращения приводного механизма. Проанализировано влияние изменения параметров моделей обмоточных машин в ходе их эксплуатации на ее динамические характеристики.

Обоснована необходимость синтеза и синтезированы робастные системы непрерывного и цифрового управления скоростью вращения приводного механизма и натяжением обмоточных лент для усовершенствованных моделей обмоточных машин с учетом упругих элементов и изменения параметров моделей обмоточных машин в ходе их эксплуатации. Векторы цели робастного управления подобраны таким образом, чтобы обеспечить требования, предъявляемые к динамическим характеристикам регуляторов скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты.

Исследованы динамические характеристики робастных систем с синтезированными робастными регуляторами. Показано, что учет упругих элементов приводит к появлению в переходных процессах робастных регуляторов высокочастотных колебаний сравнительно небольшой амплитуды с малым коэффициентом демпфирования. Проанализировано влияние изменения параметров моделей обмоточных машин в ходе их эксплуатации на динамические характеристики робастных систем управления.

Синтезированы робастные наблюдатели полного вектора состояния обмоточной машины по непосредственно измеряемым переменным состояниям для усовершенствованных моделей обмоточных машин с учетом наличия упругих элементов и изменения параметров моделей обмоточных машин в ходе их эксплуатации. Робастные наблюдатели позволяют восстанавливать полный вектор переменных состояний обмоточной машины с минимальной дисперсией ошибок и используются для реализации робастного управления по полному вектору состояния.

Исследованы динамические характеристики робастных систем, замкнутых по полному вектору состояния через синтезированные робастные наблюдатели. Показано, что динамические характеристики робастных систем с наблюдателями состояния близки к соответствующим динамическим характеристикам робастных систем, замкнутых робастными регуляторами по полному вектору состояния.

Исследована чувствительность робастных регуляторов и робастных наблюдателей к изменению параметров моделей обмоточных машин в ходе их эксплуатации.

Ключевые слова: электромеханические системы управления, робастный регулятор, робастный наблюдатель, робастный компенсатор, обмоточная машина, упругие элементы.

Kobilyanskij B. B. Synthesis of robust control for winding machines. – Dissertation.

Thesis for a Candidate in Technical Sciences, Speciality 05.13.03 – control systems and processes. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv.– 2012.

The thesis is devoted to design robust regulator for winding machines with elastic elements as two and tree masses electromechanical systems with to secure high drive mechanism speed stability and high control precision of strip tontine. In this work to design mathematical model for twochannel electric drive of winding machines with elastic elements as two and tree masses electromechanical systems. Problem of robust synthesis of astatizm regulator and robust observer for twochannel electric drive of winding machines with elastic elements as two and tree masses electromechanical systems is worked out. The new regulator to secure high quality cable winding.

Key words: electromechanical control system, robust regulator, robust observer, robust compensator, winding machine, elastic elements.