

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Лутай Сергій Миколайович

УДК 681.513.1:621.315.2

**СИНТЕЗ ДВОКАНАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ
МЕХАНІЗМАМИ ОБМОТУВАЛЬНИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ ПРУЖНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ**

Спеціальність 05.09.03- електротехнічні комплекси та системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській інженерно-педагогічній академії Міністерства освіти і науки України, м. Харків

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор,
Кузнецов Борис Іванович,
Національний технічний університет
„Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри колісних та гусеничних машин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Акімов Леонід Володимирович,
Національний технічний університет
„Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри автоматизованих
електромеханічних систем

кандидат технічних наук,
Буряковський Сергій Геннадійович,
Українська державна академія
залізничного транспорту,
доцент кафедри систем електричної тяги

Провідна установа - Донецький національний технічний університет
Міністерства освіти і науки України,
кафедра електроприводу та автоматизації
промислових установок

Захист відбудеться " 21 " жовтня 2004 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.04 у 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”.

Автореферат розісланий " 14 " вересня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Осічев О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Розвиток промисловості України потребує зростання випуску кабельної продукції, підвищення її якості та створення нових типів кабелів. Рішення цих питань потребує удосконалення обмотувальних машин та підвищення їх технічних характеристик. Це насамперед стосується підвищення 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.А., Кузнецова Б.І., Седельнікової Л.Г. запропоновано побудову регуляторів натягу обмотувальної стрічки з електромеханічним приводом гальмового механізму 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 з тим, що наявність пружних елементів у обмотувальній машині починає впливати на динаміку системи керування.

Під керівництвом проф. Акімова Л.В. проведені дослідження з синтезу модальних регуляторів з використанням модальних спостерігачів стану, а також системи з послідовною корекцією, синтез яких виконано поліноміальним методом для одно, двох та тримасових електромеханічних систем. Однак застосування модальних регуляторів та модальних спостерігачів додатково потребує рішення задач вибору типу та параметрів стандартних форм, які реалізуються засобами модального управління. Системи послідовної корекції з регуляторами, синтезованими поліноміальним методом мають суттєво більш складні структури регуляторів, що ускладнює їх технічну реалізацію. Тому актуальною є задача побудови оптимального керування за квадратичним критерієм якості натягом обмотувальної стрічки та швидкістю обертання приводного механізму обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів.

В роботі обґрунтовано використання регуляторів, оптимальних за квадратичним критерієм якості, та оптимальних спостерігачів у формі фільтрів Калмана-Б'юсі для відновлення безпосередньо не вимірюваних змінних стану.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконана у напрямку науково-дослідних робіт кафедри систем управління та автоматизації промислових установок Української інженерно - педагогічної академії. Запропоновані здобувачем моделі, алгоритми і структури оптимальних систем управління обмотувальними машинами використовувалися під час виконання держбюджетних науково-дослідних робіт "Розробка методів рішення задач моделювання та проектування багатоканальних систем автоматичного управління з елементами штучного інтелекту" (ДР № 0100U000801) та "Розробка методів моделю-

вання і проектування багатоканальних систем із складними кінематичними зв'язками" (ДР № 0101U005791) по планам МОН України.

Мета і задачі дослідження

Мета дисертаційної роботи полягає у синтезу системи оптимального управління двоканальним електроприводом натягу обмотувальних стрічок та швидкості обертання приводного механізму з урахуванням пружних елементів в обмотувальній машині.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

- розробка математичної моделі обмотувальної машини, як об'єкта управління натягом обмотувальних стрічок та швидкістю обертання приводного механізму з урахуванням пружних елементів в обмотувальній машині;

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

- синтез оптимальних астатичних регуляторів натягу обмотувальних стрічок і швидкості обертання приводного механізму з урахуванням пружних елементів в обмотувальній машині;

- синтез оптимальних спостерігачів, необхідних для реалізації оптимального управління по повному вектору стану й аналіз динаміки електропривода із синтезованими оптимальними регуляторами й оптимальними спостерігачами.

Об'єктом дослідження є електромеханічні системи автоматичного керування швидкістю приводного механізму та натягом обмотувальної стрічки обмотувальної машини.

Предмет дослідження – оптимальні за квадратичним критерієм якості системи керування швидкістю обертання приводного механізму та натягом обмотувальної стрічки обмотувальної машини.

Методи дослідження – побудова математичних моделей обмотувальної машини як об'єкту керування проводилася на основі теорії електроприводу з урахуванням пружних елементів. Аналіз і синтез систем керування проводився на базі основних положень і розділів теорії автоматичного керування, теорії оптимального керування та теорії керування електроприводами. Всі етапи дослідження проводилися на ЕОМ з використанням пакету MATLAB.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- розроблена математична модель обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів, як об'єкту управління швидкістю обертання приводного механізму та натягу стрічки обмотувальної машини;

- досліджено вплив параметрів моделі обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів на її динамічні характеристики;

- для синтезу оптимальних за квадратичним критерієм якості регуляторів розроблена мето-

дика, яка сприяє підвищенню якості регулювання швидкості обертання приводного механізму та забезпечує заданий натяг обмотувальної стрічки;

- досліджено динамічні характеристики обмотувальних машин із синтезованими оптимальними регуляторами та вплив на них параметрів моделі обмотувальної машини;
- синтезовані оптимальні спостерігачі, які відновлюють безпосередньо не вимірювані змінні стану моделі обмотувальної машини як дво та три масової системи;
- визначено, що використання синтезованих оптимальних спостерігачів стану у вигляді оптимальних фільтрів типу Калмана-Б'юсі дозволяє одержати динамічні характеристики оптимальної системи, замкненої через синтезовані спостерігачі близькі до динамічних характеристик оптимальної системи, замкненої за повним вектором стану.

Практичне значення одержаних результатів:

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 оптимальних регуляторів та оптимальних спостерігачів обмотувальних машин впроваджена в науково-виробничій корпорації “Київський інститут автоматики” та в науково-виробничому підприємстві „ХАРТРОН – АРКОС”.

Теоретичні результати, які отримано у ході виконання дисертаційної роботи, впроваджено у навчальний процес в Українській інженерно-педагогічній академії на кафедрі систем управління та автоматизації промислових установок у лекційних курсах “Автоматизація типових технологічних процесів”, “Моделювання електромеханічних систем” та “Автоматизовані системи управління електроприводами”.

В дисертації наведені відповідні акти використання отриманих результатів.

Особистий внесок здобувача в розробку наукових результатів, які винесені на захист:

- розроблені математичні моделі обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів, які представлені у вигляді двомасових та тримасових розрахункових схем;
- розроблено методику оптимізації обмотувальних машин двомасових та тримасових електромеханічних систем;
- розроблено методику синтезу оптимальних спостерігачів для розроблених моделей обмотувальних машин;
- проведені розрахунки систем управління обмотувальними машинами з оптимальними регуляторами та оптимальними спостерігачами.

Апробація результатів дисертації

Про положення і основні результати дисертаційної роботи було зроблено доповіді на науко-

во-технічних конференціях з міжнародною участю “Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика” (Крим, м. Алушта 2001 - 2003 р.р.), міжнародних науково-технічних конференціях “Машинобудування та техносфера на рубежі XXI сторіччя” (м. Севастополь, 2001 - 2003 р.р.) та на щорічних наукових семінарах кафедр систем управління та автоматизації промислових установок Української інженерно – педагогічної академії та автоматизованих електромеханічних систем Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”.

Публікації

Основні положення і результати досліджень викладено та опубліковано у 15 друкованих працях, з них 5 статей у наукових журналах, 10 статей у збірниках наукових праць.

Структура та обсяг дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків і 2 додатків. Повний обсяг дисертації складає 201 сторінки, з них 48 ілюстрацій на 35 сторінках, 27 ілюстрацій по тексту; 2 додатка на 11 сторінках; список використаних літературних джерел із 191 найменувань на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі подано загальну характеристику роботи, її зв’язок з науковими програмами. Показана актуальність роботи, сформульовано методи та основні задачі наукових досліджень, визначено наукову новизну отриманих результатів та обґрунтовано їх практичну цінність.

У першому розділі розглянуто особливості технологічного процесу обмотки кабелів, типові конструкції обмотувальних машин та принципи регулювання параметрів технологічного процесу обмотки кабелів. Як показує аналіз літературних джерел, більшість існуючих систем автоматичного регулювання натягом обмотувальних стрічок обмотувальних машин є цілком механічними і не задовольняють вимогам до точності підтримання заданого натягу.

У другому розділі роботи розроблені математичні моделі обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів.

Наявність пружних елементів у трансмісії обмотувальної машини не дозволяє реалізувати високу швидкодію систем керування натягом обмотувальних стрічок і швидкістю обертання приводного механізму, розрахованих без обліку пружних елементів. У зв'язку з цим актуальною задачею є синтез законів керування обмотувальною машиною з урахуванням пружних елементів. Для синтезу системи потрібна математична модель обмотувальної машини як об'єкта керування.

Розглянемо спочатку обмотувальну машину без урахування приводного і гальмового механізму. Обмотник складається з приводного механізму, зарядної котушки зі стрічкою і ділянки обмотувальної стрічки. Зовнішніми силами є: сила приводного механізму $F_{\Pi}(t)$ і сила гальмового механізму $F_{Г}(t)$.

Уведемо вектор стану $\vec{\mathbf{X}}(\mathbf{t})$, компонентами якого є швидкість приводного механізму $\mathbf{V}_{\Pi}(\mathbf{t})$, швидкість зміни сили гальмового механізму $\mathbf{V}_{\Gamma}(\mathbf{t})$, сила гальмового механізму $\mathbf{F}_{\Gamma}(\mathbf{t})$, швидкість сходу стрічки з кружка $\mathbf{V}(\mathbf{t})$ і натяг $\mathbf{S}(\mathbf{t})$:

$$\vec{\mathbf{X}}(\mathbf{t}) = \{\mathbf{V}_{\Pi}(\mathbf{t}), \mathbf{V}_{\Gamma}(\mathbf{t}), \mathbf{F}_{\Gamma}(\mathbf{t}), \mathbf{V}(\mathbf{t}), \mathbf{S}(\mathbf{t})\}^T$$

Введемо вектор керування $\vec{\mathbf{U}}(\mathbf{t})$, компонентами якого є сила приводного двигуна $\mathbf{F}_{\mathbf{D}}(\mathbf{t})$ і напруга на гальмовому двигуні $\mathbf{U}_{\Gamma}(\mathbf{t})$:

Тоді в рівнянні стану системи

матриці стану \mathbf{A} и керування \mathbf{B} приймуть наступний вид:

де \mathbf{J}_{Π} - момент інерції приводного механізму щодо осі його обертання;

λ_{Π} - еквівалентний радіус, на який прикладена сила натягу обмотувальної стрічки $\mathbf{S}(\mathbf{t})$, що створює гальмовий момент на приводний механізм;

\mathbf{R}_{Π} - радіус, на якому діє сила приводного механізму $\mathbf{F}_{\Pi}(\mathbf{t})$,

\mathbf{J} - момент інерції кружка стрічки щодо осі його обертання;

\mathbf{r} - радіус змотки стрічки з кружка;

$\mathbf{C}_{\mathbf{S}}$ - пружність стрічки;

\mathbf{R} - радіус гальмового механізму кружка стрічки, на який прикладена сила гальмового механізму $\mathbf{F}_{\Gamma}(\mathbf{t})$. У цьому рівнянні введений коефіцієнт грузлого тертя β_{Π}^* , що характеризує внутрішнє демпфірування приводного механізму, а також уведений коефіцієнт від'ємного тертя кружка зі стрічкою β^* , що характеризує внутрішнє демпфірування кружка зі стрічкою.

Приводний двигун розташований на значній відстані від приводного механізму и для швидкохідних обмотувальних машин на динаміку системи керування суттєвий вплив обумовлює наявність пружних елементів у валах під приводним двигуном і приводним механізмом. Розглянемо приводний механізм як двомасову систему з двома зосередженими масами: масою двигуна $\mathbf{m}_{\mathbf{D}}$ та моментом інерції приводного механізму \mathbf{J}_{Π} , з'єднаних пружним валом з коефіцієнтом пружності $\mathbf{C}_{\mathbf{D}}$ і коефіцієнтом внутрішнього від'ємного тертя $\beta_{\mathbf{D}}$.

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

$$\vec{X}(t) = \{V_d(t), F_y(t), V_{\Pi}(t), V_r(t), F_r(t), V(t), S(t)\}^T$$

При цьому матриця стану A керування B приймуть вигляд:

Виконавчий двигун приводного механізму розташований на значній відстані від обмотувальної машини і 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_d , редуктора V_p і приводного механізму V_{Π} , особливо в перехідних процесах, не збігаються. Розглянемо трансмісію машини як тримасову систему з трьома зосередженими масами: масою двигуна m_d , масою редуктора m_p і моментом інерції приводного механізму J_{Π} , з'єднаних пружними валами з коефіцієнтами пружності C_1 і C_2 і коефіцієнтами внутрішнього від'ємного тертя β_1 і β_2 .

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

$$\vec{X}(t) = \{V_d(t), F_{y1}(t), V_p(t), F_{y2}(t), V_{\Pi}(t), V_r(t), F_r(t), V(t), S(t)\}^T.$$

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

де

Параметри обмотувальної машини змінюються з часом. Найбільше 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_{Π} , середньому r_{cp} і кінцевому r_k .

Як приклад на рис.1 показані перехідні процеси змінних стану швидкостей двигуна V_d , і редуктора V_p при подачі напруги на приводний двигун у тримасовій моделі бронеобмотчика ВА2 – 2/700 для трьох радіусів розмотування. Всі перехідні процеси є коливальними й обумовлені урахуванням наявності пружних елементів між валами двигуна, редуктора і приводного механізму.

У третьому розділі розглянуті питання синтезу оптимальних регуляторів. Основне призначення системи управління обмотувальною машиною полягає в підтримці швидкості обертання приводного механізму $V_{\Pi}(t)$ і натягу обмотувальної стрічки $S(t)$ на заданих рівнях V_3 і S_3 .

Введемо вектор вихідних координат

$$\bar{\mathbf{Y}}(t) = \mathbf{C}\bar{\mathbf{X}}(t) + \mathbf{D}\bar{\mathbf{U}}(t),$$

компонентами якого є

і вектор впливів, що задають

Розглянемо побудову оптимального астатичного регулятора системи, схема якої для три масової системи наведена на рис.2. Введемо вектор допоміжних змінних стану астатичного регулятора з рівнянням стану

$$\frac{d\bar{\mathbf{Z}}(t)}{dt} = \bar{\mathbf{Y}}_3(t) - \bar{\mathbf{Y}}(t)$$

де $\bar{\mathbf{Y}}_3(t)$ та $\bar{\mathbf{Y}}(t)$ - вектори заданих і фактичних швидкостей двигуна $\mathbf{V}_d(t)$ і натягу стрічки $\mathbf{S}(t)$. Розглянемо розширену систему, що включає вихідну систему і вектор допоміжних змінних. У блоковому виді рівняння прийме наступний вид:

компонентами вектора стану $\tilde{\mathbf{X}}(t)$ розширеної системи є вектор стану вихідної системи $\bar{\mathbf{X}}(t)$ і допоміжний вектор $\bar{\mathbf{Z}}(t)$ так, що.... Тоді матриця стану $\tilde{\mathbf{A}}$, управління $\tilde{\mathbf{B}}$ і управління $\tilde{\mathbf{B}}_3$ по вектору завдання $\bar{\mathbf{Y}}_3(t)$ розширеної системи приймуть наступний вид:

Синтезуємо оптимальний регулятор для розглянутої розширеної системи за інтегральним квадратичним критерієм якості:

$$\mathbf{J}[\bar{\mathbf{X}}, \bar{\mathbf{U}}] = \int_{t_0}^{t_k} \left[\bar{\mathbf{X}}^T(t) \mathbf{R}_1 \bar{\mathbf{X}}(t) + \bar{\mathbf{U}}^T(t) \mathbf{R}_2 \bar{\mathbf{U}}(t) \right] dt$$

де \mathbf{R}_1 і \mathbf{R}_2 - постійні позитивно визначені симетричні матриці.

Величина $\bar{\mathbf{X}}^T(t) \mathbf{R}_1 \bar{\mathbf{X}}(t)$ є мірою відхилення стану системи в момент t від заданого стану, наприклад нульового. Вагова матриця \mathbf{R}_1 визначає вагу кожної з компонентів стану. Наявність члена $\bar{\mathbf{U}}^T(t) \mathbf{R}_2 \bar{\mathbf{U}}(t)$ у функціоналі приводить до зниження амплітуди управління $\bar{\mathbf{U}}(t)$. Без урахування цього члена управління виходить нескінченно великим.

Рівняння Беллмана, отримане для безперервної лінійної стаціонарної системи, за умови даної задачі приймає вид...

Оскільки на управління $\bar{U}(t)$ обмежень не накладено, то оптимальне управління шукаємо з умови рівності нулю похідній по $\bar{U}(t)$ виразу, що стоїть у квадратних дужках рівняння.

Унаслідок позитивної визначеності матриця R_2 не вироджена, тому оптимальне управління у якому матриця $S(\bar{X})$ задовольняє рівнянню...

Рішення $S(\bar{X})$ рівняння звичайно шукають у виді позитивно визначеної квадратичної форми...

де P - постійна симетрична позитивно визначена матриця, що задовольняє рівнянню...

Матричне рівняння являє собою систему нелінійних алгебраїчних рівнянь першого порядку типу Ріккати.

Якщо матриця P визначена, то оптимальне управління як функція змінних стану описується рівнянням стану

$$\frac{d\bar{X}(t)}{dt} = [A - BR_2^{-1}B^T P] \bar{X}(t)$$

У четвертому розділі розглянуті питання побудови оптимальних спостерігачів та оптимальних компенсаторів.

Оптимальне управління лінійною системою реалізується в замкнутій формі у виді лінійного регулятора по повному вектору стану $\bar{X}(t)$. У розглянутій системі безпосередньо вимірюється швидкість обертання приводного двигуна V_d і натяг обмотувальної стрічки S . Для відновлення безпосередньо не вимірювані змінній стану, необхідні для реалізації оптимального управління по повному вектору стану, побудуємо оптимальний спостерігач, що відновлює повний вектор стану з мінімальною дисперсією помилки.

Розглянемо механічну частину вихідної системи як стохастичну систему:

$$\frac{d\bar{X}(t)}{dt} = A\bar{X}(t) + B\bar{U}(t) + \bar{W}_1(t)$$

у якій $\bar{W}_1(t)$ - випадковий сигнал типу білого шуму, що збуджує систему. У рівнянні виходу...

випадковий сигнал типу білого шуму $\bar{W}_2(t)$ є похибкою виміру швидкості обертання двигуна $V_d(t)$ і натягу обмотувальної стрічки S типу білого шуму. Тоді оптимальний спостерігач у виді

фільтра Калмана-Б'юсі прийме наступний вид:

де матриця коефіцієнтів підсилення...

а \mathbf{Q} – стале рішення матричного диференціального рівняння Ріккати:

У цьому рівнянні \mathbf{V}_1 і \mathbf{V}_2 - матриці кореляційних моментів випадкових сигналів $\vec{\mathbf{W}}_1(t)$ і $\vec{\mathbf{W}}_2(t)$.

Варто помітити, що швидкодія спостерігача визначається відношенням матриць кореляційних моментів \mathbf{V}_1 к. \mathbf{V}_2 . Чим більше це відношення, тим більшу швидкодію має синтезований спостерігач.

Оптимальний лінійний спостерігач з матрицею коефіцієнтів підсилення є оптимальним фільтром Калмана- Б'юсі.

Отриманий вектор стану $\hat{\mathbf{X}}(t)$ спостерігача використовується для формування управління...

Особливістю розглянутої задачі є використання інтеграторів для одержання астатизму по управлінню. При цьому до вихідного об'єкта управління

$$\frac{d\vec{\mathbf{X}}_0(t)}{dt} = \mathbf{A}_0 \vec{\mathbf{X}}_0(t) + \mathbf{B}_0 \vec{\mathbf{U}}(t)$$

додається інтегратор

$$\frac{d\vec{\mathbf{Z}}(t)}{dt} = \vec{\mathbf{Y}}_3(t) - \vec{\mathbf{Y}}(t)$$

і для цієї розширеної системи вирішується задача синтезу оптимального управління...

де \mathbf{F}_0 -матриця коефіцієнтів підсилення оптимального регулятора по вектору стану $\vec{\mathbf{X}}_0(t)$ вихідного об'єкта посилення, а \mathbf{F}_z -матриця коефіцієнтів підсилення оптимального регулятора по векторі перемінні стани $\vec{\mathbf{Z}}(t)$ інтегратора.

Оптимальний спостерігач будується для вихідного об'єкта управління як спостерігач повного порядку

$$\frac{d\hat{\mathbf{X}}_0(t)}{dt} = \mathbf{A}_0 \hat{\mathbf{X}}(t) + \mathbf{B}_0 \vec{\mathbf{U}}(t) + \mathbf{K} [\mathbf{C}_0 \vec{\mathbf{X}}_0(t) - \mathbf{C}_0 \hat{\mathbf{X}}_0(t)]$$

Уведемо вектор стану розширеної системи $\tilde{\mathbf{X}}(t)$, що включає вектор стану вихідного об'єкта управління $\vec{\mathbf{X}}_0(t)$, вектор змінних інтегратора $\vec{\mathbf{Z}}(t)$ і вектор спостерігача $\hat{\mathbf{X}}_0(t)$ в наступно-

му виді:...

Тоді в блоковому виді рівняння стану оптимальної системи з регулятором і компенсатором прийме наступний вид:

Схема системи з компенсатором показана на рис. 3.

Як приклад на рис.4 показані перехідні процеси швидкостей приводного двигуна V_d , приводного механізму V_n і натягу стрічки S оптимальної двомасової системи папірообмотчика ІЖ - 32 за завданням на регулятор швидкості приводного механізму, а на рис. 5 показані перехідні процеси тих же змінних стану за завданням на регулятор натягу для трьох радіусів розмотки кружка стрічки. У системі забезпечується астатизм по каналах регулювання швидкості приводного механізму і натягу обмотувальної стрічки, як по задаючим так і по збурюючим впливам. Вплив перехресних зв'язків виявляється тільки в перехідних режимах, а в сталих режимах вихідні координати дорівнюють задаючим впливам.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі синтезована система оптимального за інтегральним квадратичним критерієм управління двоканальними електроприводом натягу обмотувальних стрічок та швидкості обертання приводного механізму з урахуванням пружних елементів в обмотувальній машині. У результаті проведених досліджень отримані наступні наукові результати:

1. Уперше розроблена математична модель обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів між приводним двигуном і приводним механізмом у вигляді двомасової та тримасової електромеханічних систем як об'єкта управління швидкості обертання приводного механізму і натягу обмотувальної стрічки.

2. Досліджено динамічні характеристики обмотувальної машини як об'єкта управління 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 регулятори швидкості обертання приводного механізму і натягу обмотувальних стрічок для моделей обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів, оптимальні по інтегральним квадратичним критеріям якості. Вагові матриці в інтегральних квадратичних критеріях підібрані таким чином, щоб забезпечити вимоги до динамічних характеристик регуляторів швидкості обертання приводного механізму і натягу

обмотувальної стрічки.

4. Досліджено динамічні характеристики обмотувальної машини із синтезованими оптимальними 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 оптимальних систем управління. Виявлено, що за допомогою синтезованих оптимальних регуляторів для розроблених математичних моделей вдається скоротити час перехідних процесів у 1,5 – 2 рази порівняльно з одномасовою системою.

5. Синтезовано оптимальні спостерігачі для відбудови повного вектора стану обмотувальної машини у формі фільтрів Калмана-Б'юсі по безпосередньо вимірюваним змінним стану для розроблених моделей обмотувальних машин з урахуванням наявності пружних елементів. Оптимальні спостерігачі дозволяють відновлювати повний вектор змінних стану обмотувальної машини з мінімальною дисперсією помилок і використовуються для реалізації оптимального управління за повним вектором стану.

6. Досліджено динамічні характеристики оптимальних систем, замкнутих за повним вектором стану через синтезовані оптимальні спостерігачі. Показано, що динамічні характеристики оптимальних систем зі спостерігачами стану близькі до відповідних динамічних характеристик оптимальних систем, замкнутих оптимальними регуляторами за повним вектором стану.

7. Досліджено чутливість оптимальних регуляторів і оптимальних спостерігачів до зміни параметрів обмотувальної машини і показана можливість спрощення технічної реалізації синтезованих оптимальних систем без додаткового підстроювання їхніх параметрів у процесі роботи. Встановлено, що при зміні радіуса розмотки кружка із стрічкою від початкового до кінцевого не треба змінювати параметри оптимального регулятора та оптимального спостерігача, 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 в науково-виробничому підприємстві „ХАРТРОН – АРКОС”

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кузнецов Б.И., Чаусов А.А., Колесникова Л.И., Лутай С.Н., Лобачев С.В. Синтез оптимального управления обмоточной машиной как трехмассовой системой // Механіка та машинобудування. – Харків, 2001. - № 1, 2.- С.229-233.

Здобувачем розроблено методикау синтезу оптимального управління обмотувальною машиною як три масовою системою по інтегральному квадратичному критерію якості.

2. Кузнецов Б.И., Чаусов А.А., Колесникова Л.И., Лутай С.Н. Оптимальное управление

механизмами обмоточных машин с учетом упругих элементов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. - Кременчук: КДПУ. - 2002.- Вип. 1(2). – С.33 - 37

Здобувачем, стосовно до обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів, розроблено методику синтезу оптимальних регуляторів по інтегральному квадратичному критерію.

3. Кузнецов Б.И., Богаенко К.И., Колесникова Л.И., Лобачев С.В., Лутай С.Н. Динамические характеристики оптимальной системы управления трехмассовой обмоточной машиной // Автоматизация виробничих процесів. – Київ, 2002. - № 1(14). – С.105 – 108.

Здобувачем подано математичну модель та структурну схему обмотувальної машини як тримасової електромеханічної системи.

4. Кузнецов Б.И., Чаусов А.А., Колесникова Л.И., Лутай С.Н. Двухканальное управление механизмами обмоточных машин // Технічна електродинаміка. – Київ, 2002. – Тематичний вип. „Проблеми сучасної електротехніки”. – Ч.3. – С.57 – 62.

Стосовно до математичних моделей обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів здобувачем розроблено методику синтезу оптимальних регуляторів та спостерігачів по інтегральному квадратичному критерію.

5. Кузнецов Б.И., Лутай С.Н. Двухмассовая модель обмоточной машины как объекта управления двухканальной системы // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2002. - № 8. – Т.1. – С.131-137.

Здобувачем розроблено математичну модель та структурну схему обмотувальної машини як об'єкта керування двоканальної системи у вигляді двомасової електромеханічної системи.

6. Кузнецов Б.И., Чаусов А.А., Калногуз А.Н., Колесникова Л.И., Лутай С.Н., Лобачев С.В. Исследование влияния конструктивных параметров на динамические характеристики цифровой системы управления обмоточной машиной как двухмассовой системой // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2002. – Вип. 12. – Т.1. – С. 189 – 190.

Здобувачем, стосовно до математичної моделі обмотувальної машини як двомасової системи, виконані дослідження на ЕОМ впливу параметрів машини на перехідні характеристики.

7. Кузнецов Б.И., Чаусов А.А., Калногуз А.Н., Колесникова Л.И., Лутай С.Н., Седельникова Л.Н. Динамические характеристики модели обмоточной машины как двухмассовой системы // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2002. - Т. 2, № 12. – С.464-465.

Здобувачем, стосовно до математичної моделі обмотувальної машини як тримасової системи, виконані дослідження на ЕОМ перехідних характеристик.

8. Кузнецов Б.И., Чаусов А.А., Лутай С.Н., Колесникова Л.И., Лобачев С.В. Исследование

влияния радиуса размотки на динамические характеристики цифровой системы оптимального управления обмоточной машиной как двухмассовой системой // *Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. наук. тр. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – Т.2. – С.17 – 21.*

Здобувачем, стосовно до математичної моделі обмотувальної машини як двомасової системи, виконані дослідження на ЕОМ впливу радіусу розмотки кружка стрічки обмотувальної машини на перехідні характеристики.

9. Кузнецов Б.И., Чаусов А.А., Лутай С.Н., Колесникова Л.Н, Лобачев С.В. Синтез оптимальных регуляторов двухканальной системы управления обмоточной машиной как двухмассовой системой // *Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. наук. тр. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – Т.2. – С.21 – 25.*

Стосовно до обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів як двомасової електромеханічної системи, здобувачем розроблено методику синтезу оптимальних регуляторів по інтегральному квадратичному критерію.

10. Кузнецов Б.И., Чаусов А.А., Колесникова Л.И., Лутай С.Н. Управление механизмами обмоточных машин // *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація.-Донецьк: ДонНТУ. – 2002. – Вип. 48. – С. 28 – 35.*

Здобувачем, стосовно до обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів як двомасової та три масової електромеханічної системи, розроблено методику синтезу оптимальних регуляторів по інтегральному квадратичному критерію.

11. Кузнецов Б.И., Лутай С.Н. Динамические характеристики наблюдателя трехмассовой модели обмоточной машины // *Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2002. - № 13. – С.115-120.*

Здобувачем подано математичну модель та структурну схему обмотувальної машини як двомасової електромеханічної системи.

12. Кузнецов Б.И., Лутай С.Н., Нікітіна Т.Б., Седельнікова Л.Г., Доброновський В.Д. Исследование динамических характеристик трехмассовой системы управления обмоточной машиной с оптимальным компенсатором // *Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. наук. тр. – Донецк: ДонНТУ, 2003. – Т.2. – С.107 – 111.*

Здобувачем виконані дослідження на ЕОМ перехідних процесів оптимальної системи для три масової моделі обмотувальної машини з урахуванням оптимальних регуляторів та оптимальних спостерігачів.

13. Кузнецов Б.И., Чаусов А.О., Лутай С.Н., Нікітіна Т.Б., Седельнікова Л.Г., Доброновський В.Д. Исследование эффективности оптимальных регуляторов обмоточных машин как двухмассовых систем // *Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний ін-*

ститут”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2003. – Вип. 10. – Т.2. - С.413-414.

Здобувачем виконані на ЕОМ дослідження перехідних процесів оптимальної системи керування обмотувальною машиною як двомасовою електромеханічною системою.

14. Кузнецов Б.И., Лутай С.Н. Исследование влияния конструктивных параметров обмоточной машины как трехмассовой системы на ее динамические характеристики // Механіка та машинобудування. – Харків, 2003. – № 1. – Т.1. - С. 24 – 27.

Стосовно до математичної моделі обмотувальної машини як тримасової системи, здобувачем виконані дослідження на ЕОМ впливу конструктивних параметрів обмотувальної машини на перехідні характеристики.

15. Кузнецов Б.И., Богаенко К.И., Лутай С.Н. Динамические характеристики оптимального наблюдателя двухмассовой модели обмоточной машины // Автоматизация виробничих процесів. – Київ, 2003. - № 1(16). – С.136 - 139.

Здобувачем виконані дослідження на ЕОМ перехідних процесів оптимального спостерігача двомасової моделі обмотувальної машини.

АНОТАЦІЇ

Лутай С.М. Синтез двоканальних електроприводів оптимального управління механізмами обмотувальних машин з урахуванням пружних елементів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - електротехнічні комплекси та системи.-Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. – Харків. - 2004.

Дисертація присвячена синтезу двоканальних електроприводів оптимального за інтегральним квадратичним критерієм якості керування швидкості обертання приводного механізму та натягу обмотувальної стрічки з урахуванням пружних елементів у обмотувальній машині, що забезпечує високу точність підтримання швидкості обертання приводного механізму та натягу обмотувальної стрічки, і внаслідок цього забезпечується підвищення якості кабельної продукції.

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

Ключові слова: електромеханічні системи керування обмотувальною машиною, пружні елементи, оптимальний регулятор, оптимальний спостерігач, оптимальний компенсатор.

Лутай С.М. Синтез двухканальных электроприводов оптимального управления ме-

ханизмами обмоточных машин с учетом упругих элементов. - Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 - электротехнические комплексы и системы.-Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”. – Харьков. - 2004.

Диссертация посвящена синтезу оптимального по интегральному квадратичному критерию качества управления скоростью вращения приводного механизма и натяжением обмоточной ленты с учетом наличия упругих элементов в трансмиссии обмоточной машины, что обеспечивает высокую точность поддержания заданных значений скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты и в результате приводит к повышению качества обмотки кабелей.

Впервые разработаны математические модели обмоточной машины как объекта 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. Исследованы динамические характеристики моделей обмоточной машины как двухмассовых и трехмассовых электромеханических систем по каналам регулирования скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты. Исследованы динамические характеристики обмоточной машины как объекта управления скоростью вращения приводного механизма и натяжением обмоточной ленты. Показано, что учет упругих элементов приводит к появлению высокочастотных колебаний в переходных процессах по каналу регулирования скорости вращения приводного механизма. Проанализировано влияние параметров обмоточной машины на ее динамические характеристики.

Обоснована необходимость синтеза и синтезированы оптимальные по интегральным квадратичным критериям качества регуляторы скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточных лент для разработанных моделей обмоточной машины с учетом упругих элементов. Весовые матрицы в интегральных квадратичных критериях подобраны таким образом, чтобы обеспечить требования, предъявляемые к динамическим характеристикам регуляторов скорости вращения приводного механизма и натяжения обмоточной ленты.

Исследованы динамические характеристики обмоточной машины с синтезированными оптимальными регуляторами. Показано, что учет упругих элементов приводит к появлению в переходных процессах оптимальных регуляторов высокочастотных колебаний сравнительно небольшой амплитуды с малым коэффициентом демпфирования. Проанализировано влияние параметров обмоточной машины на динамические характеристики оптимальных систем управления.

Синтезированы оптимальные наблюдатели полного вектора состояния обмоточной машины в форме фильтров Калмана-Бьюси по непосредственно измеряемым переменным состояниям для разработанных моделей обмоточных машин с учетом наличия упругих элементов. Оптимальные

наблюдатели позволяют восстанавливать полный вектор переменных состояния обмоточной машины с минимальной дисперсией ошибок и используются для реализации оптимального управления по полному вектору состояния.

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

Исследована чувствительность оптимальных регуляторов и оптимальных наблюдателей к изменению параметров обмоточной машины и показана возможность упрощения технической реализации синтезированных оптимальных систем без дополнительной подстройки их параметров в процессе работы.

Ключевые слова: электромеханические системы управления обмоточной машиной, упругие элементы, оптимальный регулятор, оптимальный наблюдатель, оптимальный компенсатор.

Lutaj S.M. Synthesis of optimum control two channel electric drives for mechanisms winding machines with elastic elements. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the Candidate of engineering science on a speciality 05.09.03 - electrotechnical complexes and systems.-the National engineering university "KPI", Kharkov, 2004.

The thesis is devoted to design optimal regulator by integrated square-law criterion 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 optimal synthesis of astatizm regulator and observer by integrated square-law criterion 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 of winding machine, elastic elements, optimal regulator, optimal observer, optimal compensator.