ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Дерець Олександр Леонідович

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЗА ТОЧНІСТЮ ТА ШВИДКОДІЄЮ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ З НИЗЬКОЮ ЧУТЛИВІСТЮ ДО НЕСТАЦІОНАРНОСТІ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

Спеціальність 05.09.03 -
Електротехнічні комплекси і системи,
включаючи їх управління та регулювання

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 1997

лектрообладнання

кнічного університету.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Садовой Олександр Валентинович

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Акімов Леонід Володимирович

кандидат технічних наук,
технічний директор АТ "Елакс"
Лімонов Леонід Григорович

Провідна організація - Криворізький технічний університет

Захист дисертації відбудеться "26" червня 1997 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 02.09.14 у Харківському державному політехнічному університеті.

(310002, Харків - 2, МСП, вул.Фрунзе, 21)

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського державного політехнічного університету.

Автореферат розісланий "22" травня 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Гончаров Ю.П.

Загальна характеристика роботи

Актуальність роботи. Сучасні системи управління електроприводами (СУЕП) повинні забезпечувати точність відтворення заданих траєкторій та граничну швидкодію у перехідних режимах. Складність задовільнення жорстких умов до якості регулювання ускладнюється впливом на електроприводи різноманітних збурень. Структурне розв'язання проблеми оптимального управління електромеханічними системами, як нестаціонарними динамічними об'єктами забезпечується шляхом використання систем розривного управління. Релейні регулятори таких систем у ковзному режимі мають необмежений коефіцієнт підсилення, що надає СУЕП інваріантність до дестабілізуючих факторів. Однак, в більшості комплектних приводів, що серійно випускаються на цей час, релейні регулятори застосовуються лише в контурах регулювання струму, тобто в підсистемах першого порядку. Такий стан проблеми обумовлено відсутністю єдиного достатньо ефективного підходу до структурно - алгоритмічного синтезу релейних СУЕП.

Існуючі методи оптимізації систем за швидкодією при накладенні обмежень на вектор стану вимагають від проектувальника проведення спеціальних досліджень стосовно кожного конкретного випадку з урахуванням розмірів та структури об'єкта управління (ОУ), а також кількості та характеру обмежених координат. Складність процедури синтезу та технічної реалізації одержаних таким чином алгоритмів різко зростає із збільшенням порядку ОУ. В той же час вкрай прості оптимальні за точністю релейні системи підпорядкованого регулювання (СПР) з лінійними функціями перемикання при синтезі існуючими методами не забезпечують максимальної швидкодії. Крім того, обмежена точність спостерігачів похідних, що використовуються для обчислення сигналів зворотних зв'язків по проміжним координатам СУ, негативно впливає на характер перехідних процесів в електроприводах.

Вищевикладене дозволяє стверджувати, що підвищення якісних показників функціонування релейних систем управління позиційними слідкуючими електроприводами за рахунок оптимізації за швидкодією їх перехідних режимів є актуальною і важливою науково - технічною задачею.

Мета дисертації - розробка, дослідження та впровадження алгоритмів і структур систем розривного управління, які

дозволяють з урахуванням реальних обмежень, що накладаються на змінні стану ОУ, доступними технічними засобами забезпечити найбільші динамічні та статичні показники електроприводів в процесі відтворення заданих траєкторій руху електромеханічних систем при низькій чутливості до параметричних і координатних збурень.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **задачі:** створити принципово новий метод синтезу алгоритмів оптимального за швидкодією управління вихідною змінною в системах підпорядкованого регулювання, які обмежують в динамічних режимах проміжні фазові координати ОУ; розробити комплексний підхід до обчислення сигналів зворотних зв'язків релейних систем при реалізації їх в різних просторах стану; перевірити вірність теоретичних результатів шляхом моделювання та лабораторного макетування синтезованих СУЕП.

Методи дослідження. В дисертації використані загальні методи теорії автоматичного управління, варіаційне та матричне обчислення, методи теорії ідентифікації динамічних систем, обчислювальні методи. Експериментальна перевірка теоретичних положень виконана на математичних моделях, лабораторних макетах та дослідно - промислових зразках СУЕП.

Основні наукові положення та результати, що виносяться для захисту

Положення

1. Процедура оптимізації за швидкодією систем управління електроприводами повинна базуватися на врахуванні обмежень, які накладаються на вектор стану ОУ.
2. Синтез релейних СПР може бути здійснений шляхом побудови гіперповерхнь перемикання її регуляторів, що проходять через ряд точок фазового простору і належать розрахунковій динамічній траєкторії. Такий підхід забезпечує оптимізацію за швидкодією за рахунок суміщення рівняннями перемикання регуляторів функцій підтримки стійкого ковзного режиму і функцій критерію зміни структури систем в перехідних процесах.
3. Перешкодозахищене диференціювання похибки управління можливо здійснити за допомогою спостерігачів похідних, синтез яких може виконуватися за розробленою методикою.
4. Процедура алгоритмічного синтезу САУ повинна бути методологічно відокремленою, тобто незалежною від способу обчислення сигналів зворотних зв'язків.

Результати

1. Розроблено новий метод структурно - алгоритмічного синтезу релейних СПР з лінійними гіперповерхнями перемикання, що забезпечує оптимальні за швидкодією перехідні процеси при заданих обмеженнях фазових координат ОУ.
2. Програмні засоби, що реалізують запропонований метод і є ефективним інструментом інженерного проектування прецизійних електромеханічних систем, які функціонують в умовах дії широкого спектру дестабілізуючих факторів.
3. Принципи структурної реалізації релейних СПР, що дозволяють в залежності від наявного набору давачів і вимог до якості регулювання обчислювати старші похідні похибки управління, які використовуються в ланцюгах зворотних зв'язків.
4. Результати математичного моделювання, лабораторно - стендових випробувань та впровадження дослідно - промислових зразків розроблених систем оптимального управління електроприводами, що підтверджують основні теоретичні положення дисертації.

Вірогідність наукових положень дисертаційної роботи обгрунтовано коректністю прийнятих припущень та чіткістю застосованого математичного апарату, результатами математичного моделювання та експериментальних досліджень, виконаних на лабораторних макетах і дослідних зразках, співпадінням розрахункових та експериментальних даних, широкою апробацією наукових положень і висновків.

Наукова новизна. На базі теоретичного узагальнення результатів експериментальних досліджень оптимальних за точністю систем управління електроприводами розроблено принципово новий метод алгоритмічного синтезу релейних систем підпорядкованого регулювання. Використання цього методу, який базується на урахуванні рівнів обмеження фазових координат ОУ та структурних властивостях систем розривного управління, забезпечує протікання перехідних процесів в електромеханічній системі з максимальною при даних обмеженнях швидкодією. Спираючись на розроблену методологію структурно - алгоритмічного синтезу, запропоновано комплексний підхід до побудови обчислювачів похідних похибки управління, використання яких в алгоритмах оптимального управління надає релейним СПР, що синтезуються, поряд з оптимальністю за швидкодією найбільшу точність відтворення заданих траєкторій

руху при низькій чутливості до нестаціонарності ОУ і зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Практична цінність. Виконаний комплекс досліджень і розроблений метод алгоритмічного синтезу оптимальних за точністю та швидкодією релейних СУ покладено в основу створення ефективної і цілісної інженерної методики проектування систем оптимального управління електроприводами, реалізованої у вигляді програмних засобів, які можуть бути використані самостійно або як елемент системи автоматизованого проектування більш високого рівня інтеграції.

Реалізація результатів роботи. Впровадження розроблених програмних засобів синтезу і моделювання релейних СУЕП в проектно - конструкторську практику Центрального конструкторського бюро приладобудування (м. Тула, Росія) дозволило при розробці слідкуючих приводів радіолокаційних станцій виконати жорсткі вимоги технічних завдань, що диктують високі якісні показники і низьку чутливість до широкого спектру дестабілізуючих факторів. Результати дисертаційної роботи та пакет програм, що їх реалізує, впроваджені також у навчальний процес Дніпродзержинського державного технічного університету, Тульського державного університету.

Апробація роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися на наукових семінарах "Використання в промисловості електроприводів на перспективній елементній базі" (м. Москва, 1992р.), "НВЧ - техніка і супутниковий прийом" (м.Севастополь, 1993р.), на міжнародних конференціях "Контроль і управління в технічних системах" (м.Вінниця, 1993, 1995р.), "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика" (м. Харків, 1994, 1995, 1996р.), на наукових семінарах НАН України "Оптимізація режимів роботи електромеханічних систем" (м.Дніпродзержинськ, 1993-1997р.).

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано 15 наукових праць.

Структура і об'єм дисертації . Робота складається із вступу, трьох розділів та висновків, викладених на 137 сторінках машинописного тексту, що включають 63 рисунка і 3 таблиці, списку літератури з 103 найменувань на 10 сторінках, додатків на 10 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність та наукова новизна роботи, а також сформульована мета досліджень.

В першому розділі на основі літературних джерел виконано аналіз сучасного стану проблеми оптимального управління електромеханічними системами.

Електроприводи як об'єкти управління підвладні впливу збуджуючих дій і характеризуються неідеальністю елементів, відсутністю повної апріорної інформації про параметри та часто неповною спостереженістю координат. Це зумовлює необхідність структурного розв'язання проблеми інваріантності СУ до дестабілізуючих факторів нарівні з параметричною оптимізацією за будь-якими критеріями якості. Реалізація необмежено великих коефіцієнтів за рахунок використання ковзних режимів релейних елементів забезпечує СУЕП оптимальність за точністю та низьку чутливість до збуджуючих дій. Однак, вияв вказаних структурних властивостей релейних систем в повній мірі можливий лише при реалізації алгоритмів оптимального управління у фазовому просторі похибки регулювання та її старших похідних, що робить особливо важливою задачу підвищення точності пристроїв, що здійснюють діференціювання .

Релейні системи, побудовані за принципом каскадно - підпорядкованого включення регуляторів з лінійними функціями перемикання, що є технічно вкрай простими, дозволяють при граничній точності слідкування обмежити фазові координати привода в перехідних процесах. Існуючі методи синтезу подібних систем, основані на мінімізації інтегральних квадратичних критеріїв якості, не забезпечують оптимізацію за швидкодією, оскільки не враховують в явному вигляді рівні обмеження проміжних координат, від величин яких головним чином залежить гранична швидкість протікання перехідних процесів. Внаслідок цього потенційно закладена в структурі релейних систем підпорядкованого регулювання гранична швидкодія виявляється нереалізованою.

Вказані обставини роблять актуальною задачу розробки простого і ефективного інженерного методу структурно - алгоритмічного синтезу релейних СУЕП, що забезпечує слідкуючим приводам нарівні з оптимальністю за точністю максимальну при заданих обмеженнях швидкодію.

Другий розділ присвячений розробці методу структурно -

алгоритмічного синтезу оптимальних за точністю та швидкодією релейних систем управління електроприводами з низькою чутливістю до нестаціонарності об'єкту управління.

В межах запропонованого методу синтезу за базову структуру систем оптимального управління електроприводами прийнята релейна система підпорядкованого регулювання, що реалізує алгоритм виду:

$$\left.\begin{array}{l} E^*_{i+1} = -E_{max_{i+1}} \cdot \mathbf{sign}(S_i);\ E^*_1 = 0; \\ S_i = (E_i - E^*_i) + \sum\limits_{j=i+1}^{N} (K_{ij} E_j) \\ i=1,\dots,N;\quad U = -U_{max} \cdot \mathbf{sign}(S_N) \end{array}\right\} . \qquad (1)$$

Структурна реалізація системи (I) показана на рис.I, де символом D позначені диференціатори.

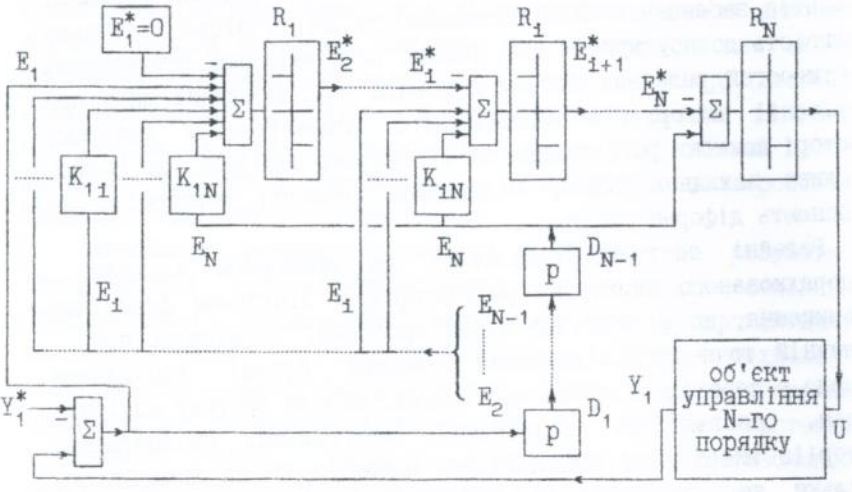

Рис.I Узагальнена структурна схема системи управління (I)

Цю систему складають N релейних регуляторів R_i, (де N – порядок ОУ), що вмикаються за каскадно – підпорядкованим принципом і утворюють N контурів регулювання, замкнених зворотними зв'язками за похибкою управління $E_1 = Y_1 - Y^*_1$ та її похідними $E_i = p^{(i-1)}E_1$ до N-1-го порядку включно (де P – оператор диференціювання, Y_1, Y^*_1 – дійсні та задані значення вихідної координати електропривода). Зовнішній контур такої системи служить для оптимального за точністю відтворення сигналу завдання $Y^*_1(t)$. Внутрішні контури з регуляторами $R_2,\dots,R_N$ призначені для стабілізації в перехідних режимах відповідних похідних похибки управління $E_2,\dots,E_N$ на таких

рівнях E_{max_i}, при яких фазові координати ОУ не перевищують гранично допустимих значень Y_{max_i}. Для цього рівні насичення регуляторів R_{i-1} прирівняні величинам E_{max_i}, які визначаються на першому етапі алгоритмічного синтезу на основі паспортних даних (значень Y_{max_i} та номінальних параметрів) електропривода. Замикання як зовнішнього так і внутрішніх контурів за старшими похідними похибки управління забезпечує статичним властивостям СУ та характеру перехідного процесу незалежність від збурень та виду відтворюваної траєкторії, що суттєво підвищує ефективність застосування запропонованого методу.

Метою оптимізації релейної системи підпорядкованого регулювання виду (I) є реалізація структурної властивості максимальної швидкодії такої СУ шляхом забезпечення входження кожного її регулятора в ковзний режим з найменшою кількістю перемикань без дотяжок та перерегулювань. Запропонований метод алгоритмічного синтезу грунтується на використанні залежності характеру перехідного процесу такої СУ від моментів перемикань регуляторів при входженні в ковзний режим. Суть цього методу полягає у визначенні на прогнозованих з урахуванням рівнів обмежень похідних помилки регулювання розрахункових траєкторіях оптимального за швидкодією руху системи характерних точок, в яких перемикання регуляторів є обов'язковим для відтворення цих траєкторій, та забезпеченні проходження гіперплощин ковзання регуляторів через вибрані характерні точки E_x.

Алгоритмічний синтез системи управління (I) полягає у визначенні невідомих елементів матриці коефіцієнтів зворотних зв'язків, яка має вигляд:

$$K = \begin{bmatrix} 1 & \dots & K_{1i} & \dots & K_{1,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 1 & \dots & K_{i,N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}.$$

Для синтезу алгоритма управління регулятора R_i з системи (I) необхідно знайти N-1 невідомих коефіцієнтів $K_{i,i+1},\dots,K_{i,N}$. Згідно з пропонованим методом оптимізації необхідно визначати їх величини шляхом розв'язання системи N-1 лінійних алгебраїчних рівнянь, складених для N-i вибраних точок простору станів, які лежать на гіперповерхні ковзання $S_i = 0$ регулятора, що синтезується. Така система має вигляд:

$$\sum_{j=i}^{N} K_{ij} \cdot Ex_j^{iq} = Ex_i^{*iq} - Ex_i^{iq} \Big|_{q=1,\dots,N-1} \qquad (3)$$

Шукані коефіцієнти виступають в ній у ролі невідомих, а постійними коефіцієнтами є координати простору стану Ex_j^{iq} для точок перемикання регулятора, де i - номер регулятора, що синтезується, i=1,...,N-1; q- номер точки перемикання, що використовується для синтезу i-го регулятора, q=1,...,N-1; j-індекс складової вектора **Ex**, j=1,...,N. Для синтезу всієї СУ (I) необхідно скласти та розв'язати N-1 систему рівнянь (3) від N-1 до I-го порядку.

Оптимальні за швидкодією динамічні траєкторії системи підпорядкованого регулювання розраховуються у вигляді функцій часу при припущенні, що в перехідному процесі координати $E_2,\dots,E_N$ досягають максимальних значень. Цей розрахунок виконується на основі однотипної взаємної залежності характеру кривих $E_i(t)$ САУ виду (I), яка полягає в тому, що для зміни координати E_i на величину $Emax_i$ з наступною стабілізацією на досягненому рівні її похідна повинна пройти стадії нарощування, стабілізації на рівні $Emax_{i+1}$ і зниження до нуля. В свою чергу нарощування або зниження E_{i+1} виконуються шляхом аналогічних змін E_{i+2} і так далі.

Побудова прогнозованих динамічних траєкторій системи виконується шляхом чисельного інтегрування функцій $E_q(t)$, q=N,...,1 за формулами розкладу в ряд Тейлора:

$$E_q(t) = E_q(t_1^i) + \sum_{j=q+1}^{i} \left[E_j(t_1^i) \cdot \frac{1}{(j-q)!} \cdot (t_1^i - t)^{(j-q)} \right]. \qquad (4)$$

При цьому перехідний процес розбивається на фрагменти тривалістю T_{st}^i, що характеризуються стабілізацією однієї з похідних E_i, i=2,...,N+1, похибки регулювання на заданому рівні $Emax_i$. Визначення часу стабілізації координати E_i виконується з урахуванням збільшення E_{i-1} за час змін E_i:

$$T_i^{st} = \left[Emax_{i-1} - 2 \cdot E_{i-1}(t_1^i) \right] / Emax_i \ . \qquad (5)$$

Керуючий вплив змінюється миттєво, тому

$$T_{st}^{N+1} = Emax_N \ / \ Emax_{N+1} \ . \qquad (6)$$

Узагальнення алгоритму такого розрахунку для N-го порядку простіше всього здійснити методом рекурсії, що відображає специфіку роботи систем підпорядкованого регулювання, які мають ієрархічну структуру (рис. 2). Процедура ПТ (прогноз траєкторій) використовує як початкові данні величини **Emax** та N. Параметри i,sgn (індекс та знак координати що стабілізуєть-

ся) забезпечують управління процесом рекурсивних викликів процедури ПТ. В якості характерних точок E^{iq} при синтезі за запропонованим методом регулятора координати E_i вибираються на оптимальній траєкторії точки, в яких після стабілізації на рівні обмеження починається зниження абсолютних величин q-х похідних E_{i+q} координати E_i при наближенні E_{i+q-1} до нуля. За таким принципом вибираються N-i точок q=1,...,N-i, чого достатньо для складання системи рівнянь (3).

Дію математичного апарату методу докладно висвітлено в

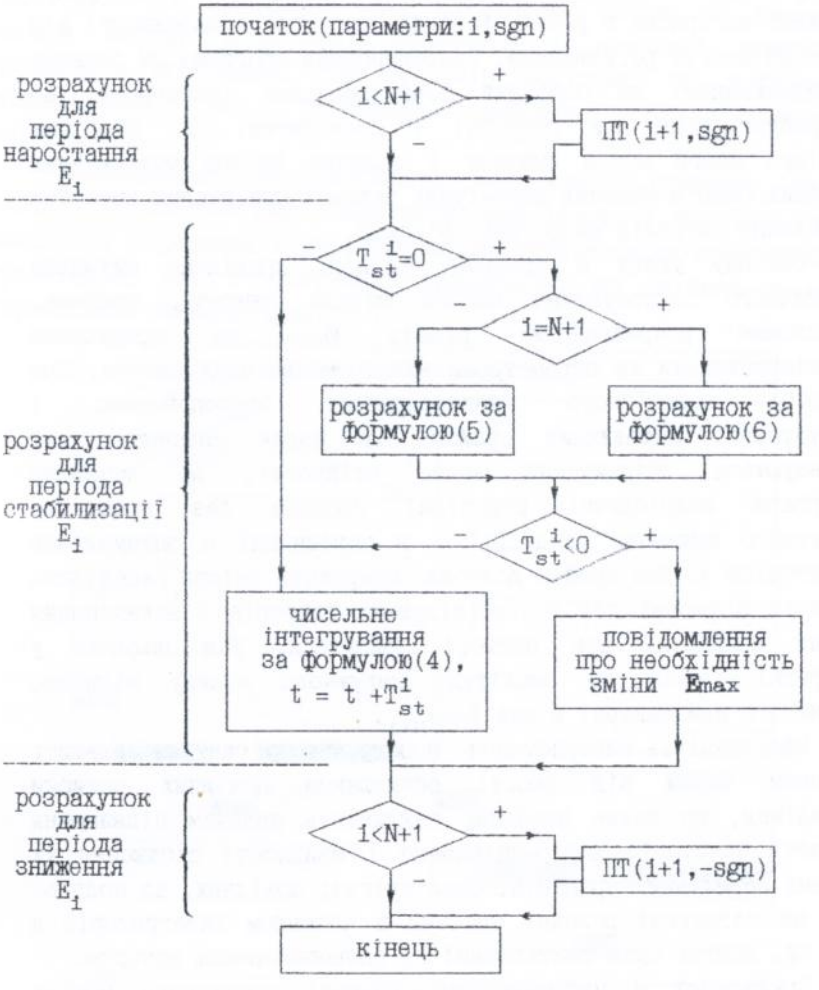

Рис. 2 Блок-схема обчислювальної процедури ПТ

розділі 2 дисертаційної роботи на прикладі синтезу СУ нейтрально-стійким динамічним об'єктом 3-го порядку. Шляхом моделювання досліджено поведінку розробленої СУ в різних динамічних режимах і зроблено висновки про повну відповідність результатів синтезу за запропонованим методом вимогам до оптимальних за точністю та швидкодією електроприводів.

В третьому розділі з використанням нового методу структурно - алгоритмічного синтезу розроблені системи оптимального управління позиційними електроприводами і пристрої для обчислення похідних, що дозволяють реалізувати одержані алгоритми в різних фазових просторах в залежності від вимог до якості регулювання. Запропонована програма СМ (синтез і моделювання) як основний обчислювальний інструмент, що використовується при розробці і дослідженні СУ. Програма реалізує новий метод синтезу і включає засоби моделювання релейних СУЕП в типових динамічних режимах при різних способах обчислення сигналів зворотних зв'язків.

Основну увагу в третьому розділі приділено питанням практичного застосування нового метода синтезу, зокрема, обчисленню розрахункових рівнів E_{max} за граничними характеристиками та параметрами електромеханічних систем. При розробці позиційного електроприводу запропоновано і обгрунтовано методичний прийом. Це надає системам, які синтезуються, підвищений запас стійкості, що дозволяє формувати аперіодичні перехідні процеси без практично відчутного зниження швидкодії (в порівнянні з оптимальною траекторією). Цей прийом дозволяє покращити якість перехідних процесів в умовах дії дестабілізуючих факторів і невиконання деяких прийнятих при синтезі припущень. Він полягає у створенні запасу по амплітуді керуючого впливу відносно прийнятого при синтезі рівня $E_{max_{N+1}}$.

Ефективність використання нового методу синтеза залежить головним чином від якості обчислення похідних похибки управління, що надає особливу важливість задачам підвищення точності пристроїв диференціювання і швидкості сходження їх власних перехідних процесів. Спостерігачі похідних, що побудовані як слідкуючі релейні системи з каскадом інтеграторів в ролі ОУ, можуть бути синтезовані за запропонованим методом.

Закладений в математичному апараті створеного методу однозначний зв'язок між початковими даними - рівнями E_{max} і

результатами синтезу - коефіцієнтами К дозволив розробити на його основі дійовий захід забезпечення потрібної точності спостерігачів похідних. Його суть полягає в завищенні розрахункової швидкодії диференціаторів, що дозволяє без втрат стійкості спостерігаючих пристроїв суттєво знизити похибку обчислення похідних регульованої координати в динамічних режимах. В рамках розробленого методу також запропоновано спосіб радикального підвищення точності диференціаторів шляхом відповідного синтезу коефіцієнтів при координатах електроприводу, що вимірюються, в алгоритмі управління спостерігаючих пристроїв. Для слідкуючих систем на основі нового методу розроблені структура і методика синтезу параметрів форсованих спостерігачів похідних, що дозволяє мінімізувати час сходження диференціаторів помилки регулювання.

Застосування запропонованих методичних прийомів при синтезі СУ забезпечило електроприводам граничні точність та швидкодію в режимах відпрацювання як ступінчсатих програмних траекторій, так і програмних траекторій, що змінюються за гармонійним законом (рис. 3).

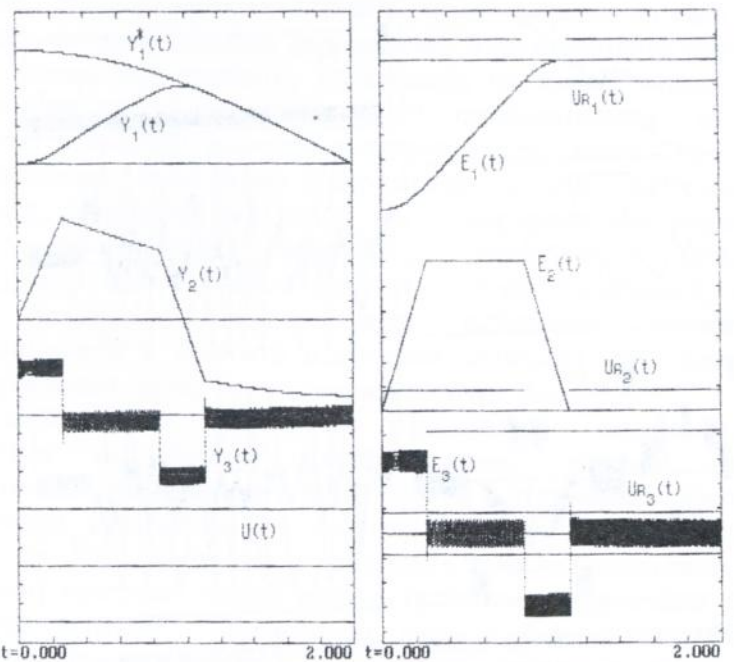

Рис. 3 Перехідні процеси в слідкуючому електроприводі.

В третьому розділі також наведено синтез за запропонованим методом асинхронних електроприводів. Розглянуті особливості процедури синтезу при орієнтації координатного базису системи векторного полеорієнтованого управління за різними векторами потокозчеплення асинхронної машини.

Особливу увагу приділено розробці на основі нового методу системи оптимального управління позиційним слідкуючим асинхронним електроприводом з пружним передаточним пристроєм. Розглянуто вплив спостережності координат двухмасової системи та способу обчислення сигналів зворотних зв'язків на якість перехідних процесів. Відзначено позитивний вплив в'язкого тертя в пружному елементі на підвищення стійкості синтезованих систем за рахунок незначного зниження швидкодії. Проведені дослідження електропривода з пружним передаточним пристроєм підтверджують оптимальність розробленої СУЕП за точністю та швидкодією (рис.4), що нарівні з граничною простотою процедури синтезу свідчать про високу ефективність нового методу при створенні систем оптимального керування складними динамічними об'єктами.

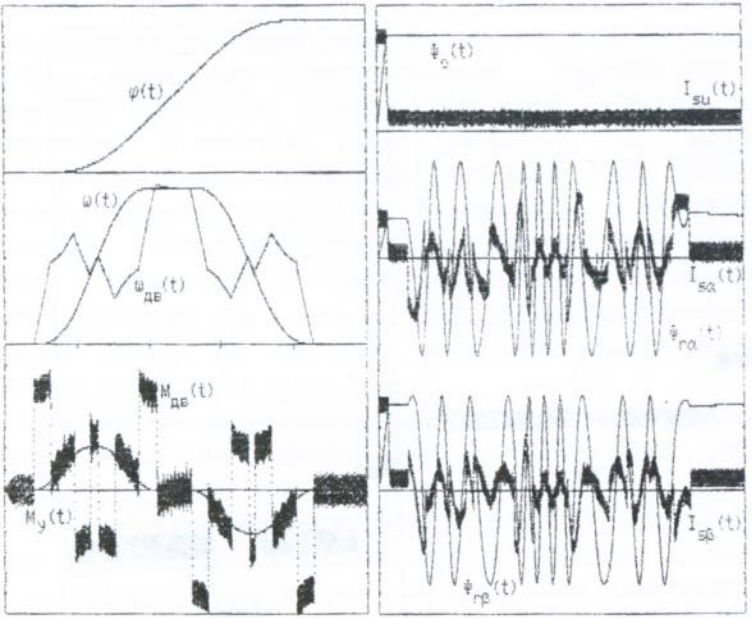

Рис. 4. Динаміка асинхронного електропривода з пружним передаточним пристроєм.

У висновку викладені основні наукові та практичні результати, одержані в роботі.

I. В дисертації розроблено новий метод структурно - алгоритмічного синтезу САУ, який грунтується виключно на використанні рівнів обмежень координат ОУ і забезпечує нарівні з граничною точністю регулювання мінімальний час протікання перехідних процесів.

2. Розроблений метод призначений для синтезу не окремих контурів, а цілісної системи підпорядкованого регулювання. До його переваг, окрім урахування обмежень фазових координат ОУ, відносяться також крайня простота математичного апарату, що включає поінтервальне інтегрування степеневих функцій часу і розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь,найбільший порядок яких менший розмірності ОУ.

3. На основі нового методу створена програма СМ, що містить також засоби моделювання релейних СПР. Програма СМ підвищує практичну цінність розробленого методу і являє собою інструмент інженерного проектування оптимальних за точністю та швидкодією електроприводів.

4. Розроблений метод адаптований для синтезу спостерігачів похідних, що дозволяють обчислювати гнучкі зворотні зв'язки за старшими похідними похибки регулювання. В дисертаційній роботі запропоновано ряд прийомів, грунтованих на новому методі та направлених на підвищення точності диференціювання, що в кінцевому результаті дозволяє підвищити якість роботи СУЕП.

5. Проведені дослідження синтезованих систем при різних варіантах структурної реалізації і в різних динамічних режимах підтверджують високу ефективність розробленого методу структурно - алгоритмічного синтезу, а також грунтованого на ньому комплексу заходів щодо підвищення точності диференціаторів і прийомів підвищення стійкості СУЕП шляхом цілеспрямованої зміни розрахункових величин E_{max}.

6. Впровадження розроблених алгоритмів оптимального управління не вимагає великих затрат, оскільки вони реалізуються типовими структурами, а підвищення якості регулювання досягається за рахунок відповідного розрахунку параметрів СУЕП. Виконаний в дисертації комплекс досліджень і розроблені програмні засоби знайшли практичне використання при створенні дослідно - промислових зразків систем управління електроприводами постійного і змінного струму, а також у

навчальному процесі.

В додатках наведено текст процедури прогнозування траєкторій і синтезу, а також файли початкових даних для програми СМ, що містять основну інформацію відносно синтезованих в дисертації системам оптимального управління.

За темою дисертації опубліковано такі роботи :

1. Клименко Ю.М., Дерец А.Л. Асинхронный электропривод с разрывным фазовекторным управлением и низкой чувствительностью к параметрическим и координатным возмущениям.- Материалы семинара "Применение в промышленности электроприводов с перспективной элементной базой" М., 1992.-с.70-76.
2. Дерец А.Л., Клименко Ю.М., Садовой А.В. Системный подход к созданию асинхронных электроприводов высокоточного воспроизведения движений. Тезисы докладов МНТК "Контроль и управление в технических системах", Винница,1993.-с.125-126.
3. Клименко Ю.М., Садовой А.В., Дерец А.Л. Многоцелевая математическая модель асинхронного двигателя для систем автоматизированного проектирования. Тезисы докладов МНТК "Контроль и управление в технических системах", Винница, 1993. с.127-128.
4. Клименко Ю.М., Садовой А.В., Дерец А.Л. Антенный следящий электропривод с разрывным фазовекторным управлением на основе АД. - Материалы МНТК "СВЧ техника и спутниковый прием", - Севастополь, 1993, с.144-147.
5. Садовой А.В., Сохина Ю.В., Дерец А.Л., Клименко Ю.М. Синтез систем управления электроприводами, устойчивых при неограниченном увеличении коэффициента усиления. - В сб. "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика", - Харьков, 1994. с.122-125.
6. Садовой А.В., Клименко Ю.М., Дерец А.Л., Сохина Ю.В. Синтез алгоритмов разрывного полеориентированного управления асинхронным электроприводом. - В сб. "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика", - Харьков, 1994. -с. 126-129.
7. Садовой А.В., Дерец А.Л. Моделирование релейных систем управления электроприводами. - Сб. научных трудов " Математическое моделирование",-Днепродзержинск,1994. с.52-54.
8. Дерец А.Л. Синтез оптимальных по точности и быстродействию систем управления электроприводами. - В кн. Юбилейный сборник научно - технических трудов ДГТУ, - Днепродзер-

жинск, 1995. - с.510 - 517.

9. Садовой А.В., Дерец А.Л. Синтез и структурная реализация оптимальных по быстродействию электроприводов. - В сб. "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика", - Харьков, Основа, 1995. - с.44-47.
10. Садовой А.В., Дерец А.Л. Способ расчета траектории оптимального по быстродействию переходного процесса электропривода. - Сб. научных трудов ДГТУ.Серия Электроэнергетика. Выпуск 1. Днепродзержинск, 1995. - с.37 - 41.
11. Садовой А.В., Дерец А.Л. Оптимизация релейных систем управления электроприводами. - Тезисы докладов МНТК "Контроль и управление в технических системах", Винница,1995. Часть 1, с.486-487.
12. Садовой А.В., Дерец А.Л. Оценка устойчивости релейных систем подчиненного регулирования, синтезированных из условия оптимальности по быстродействию. - В сб. "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика", - Харьков, Основа, 1996. - с.64-66.
13. Садовой А.В., Дерец А.Л. Оптимизация по быстродействию двухмассовой электромеханической системы при наличии трения в упругом элементе. - В сб. "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика", - Харьков, Основа, 199,. - с.62-64.
14. Садовой А.В., Клименко Ю.М., Дерец А.Л. Оптимальное управление асинхронным электроприводом с упругой связью. - Сб. научн. трудов "Регулируемые асинхронные двигатели" - Киев; изд-во Института электродинамики НАН Украины, 1996, 166с. - с.46 - 55.
15. Садовой А.В., Дерец А.Л. Оптимальное управление электроприводами с упругими связями. - Республиканский межведомственный научно - технический сборник " Электромашиностроение и электрооборудование" -Одесса, 1996,166с. -с.3 - 10.

Особистий внесок. Основні результати дисертаційної роботи одержані особисто автором. В роботах [I - 6] автором розроблені програми розрахунків на ЕОМ, здійснено моделювання і аналіз одержаних результатів. В роботах [7 - I5] автором виконані розробка нового метода синтезу оптимальних за точністю та швидкодією релейних СУЕП, створення програмних засобів синтезу і моделювання систем оптимального управління, розрахунок і аналіз перехідних процесів.

ANNOTATION

Derets A.L. "Design and research of the time-optimal high-precision electric drive control systems with low sensitivity to non-stationarity of the control object". A manuscript to award the degree of candidat of technical sciences. Speciality 05.09.03. "Electrotechnical complexes and systems, including their control and regulation". Kharkovsky State Politechni cal University, Kharkov, 1997.

New method of synthesis of sliding mode submissive control systems has been developed. Method is taking to account the limitation of state vector components during the transient. Program that realize new method and permit to research characteristics of control systems with different structures has been designed. Synthesis of optimal control algorithms and experimental verification of main theoretical results has been carried out. The industrial application of proposed method has been put into practice.

АННОТАЦИЯ

Дерец А.Л. "Разработка и исследование оптимальных по точности и быстродействию систем управления электроприводами с низкой чувствительностью к нестационарности объекта управления". Диссертация на соискание ученой степени кандидат технических наук по специальности 05.09.03 "электротехнические комплексы и системы, включая их управление и регулирование". Харьковский государственный политехнический университет, Харьков, 1997.

Разработан новый метод синтеза релейных систем подчиненного регулирования, основанный на учете ограничений, накладываемых на вектор состояния электропривода в динамических режимах. Создана программа, реализующая новый метод синтеза электроприводов и позволяющая исследовать их свойства при различных вариантах структурной реализации. Выполнен синтез следящих приводов и проведена экспериментальная проверка основных теоретических результатов. Осуществлено промышленное внедрение созданных средств проектирования систем оптимального управления.

Ключові слова : слідкуючий електропривід, оптимальне управління, ковзний режим, структурно - алгоритмічний синтез, спостерігаючий пристрій.

Підписано до друку I8 травня I997 року.

Ксерокс. Об'єм I,0 др.а., Тираж I00 пр., Безкоштовно.
ДДТУ, 322618, м.Днепродзержинськ, вул.Дніпробудівська, 2