

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

На правах рукопису

ЧЕРМАЛІХ Тетяна Валентинівна

КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОЗИЦІЙНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ
З БАГАТОКАНАЛЬНОЮ ЗАДАВЧОЮ МОДЕЛЛЮ

Спеціальність 05.09.03 - "Електротехнічні комплекси і системи,
включаючи їх керування і регулювання"

АВТОРЕЗЮМЕ
дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата
технічних наук

Київ - 1996

АВЗ4.949

Роботу виконано в Інституті електродинаміки НАН України

Науковий керівник -

доктор технічних наук,
професор К.О.Липківський

Офіційні опоненти -

доктор технічних наук,
професор В.М.Ісаков

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00754647 (X)

кандидат технічних наук,
доцент О.М.Закладной

Ведуча організація -

Науково-виробнича корпорація
"Київський інститут
автоматики", м.Київ

Захист дисертації відбудеться " 20 " червня 1996 р.
о 14 годині на засіданні Спеціалізованої Ради К 01.59.02
в Інституті проблем енергозбереження НАН України за адресою:
252070, м.Київ, вул.Покровська, II.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту.

Автореферат розісланий " 15 " травня 1996 р.



Вчений секретар
Спеціалізованої Ради
кандидат технічних наук

Л.П.Мельничук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Впровадження передових технологій та створення сучасного обладнання потребують забезпечення високої точності, швидкодії, широкого діапазону регулювання, рівномірності й погодженості дії електроприводів (ЕП) у процесі відтворення заданих траєкторій руху замкнених електромеханічних систем (ЕМС). Особливо жорсткі вимоги ставляться до сучасних систем ЕП циклічної дії (приводи екскаваторів, підйомних машин, промислових маніпуляторів та інших механізмів). У більшості випадків головним завданням таких ЕМС стає переміщення робочого органу на задану відстань за мінімальний час при певних обмеженнях режимних показників. Тому під час вибору оптимальних діаграм швидкості та її похідних по часу, а також відповідних їм керуваних впливів такі системи мають розглядатися як позиційні.

Оптимізація керування ЕП у загальному випадку містить в собі дві пов'язані між собою задачі: 1) визначення оптимальних за певним змістом законів змінення керованих змінних (однієї або кількох) та формування пропорційних цим змінним оптимальних задаючих впливів; 2) відтворення з найменшою похибкою керованими змінними задаючих впливів. Перша задача стосується оптимізації за режимом керування, друга - оптимізації по перехідних процесах. Підвищенню якості показників систем керування ЕП відомими методами перешкоджає широкий спектр дестабілізуючих факторів, швидкий темп зміни параметрів ЕМС під час експлуатації. Через це виникає необхідність створення системи керування, що дала б можливість задобігти докладному аналізу всього спектру впливаючих на об'єкт управління (ОУ) дестабілізуючих факторів та була б нечутливою до зміни параметрів та до збурення. Для вирішення цієї задачі перспективним стає використання методу пасивного адаптивного керування (керування зі

змінною структурою в ковзачому режимі). На практиці виявилися серйозні недоліки методу ковзачого режиму: 1) існує фаза "наближення", в якій траєкторії, котрі починаються поза кривою ковзання наближаються до цієї кривої; 2) через запізнення перемикачів, неврахування малих параметрів, ряд інших причин, ідеальне ковзання не досягається. Перший недолік може бути ліквідований введенням керування зі спостереженням за моделлю та з прямими передачами, що компенсують інерційність ОУ та прискорюють реакцію системи. Завдяки тому, що неузгодження задавчої моделі (ЗМ) забезпечує підтримку малого неузгодження між виходами ОУ та відповідними виходами моделі, ліквідується й інший недолік - розмір коливання в зв'язку з неідеальністю ковзачого руху зменшується. Подібне керування зі змінною структурою належить до класу комбінованих систем.

Робота над дисертацією проводилася в рамках НДР "Сноп" (постанова президії АН УРСР від 24.12.1987 р.), "Система-П" (постанова Вченої Ради ІЕД АНУ від 27.12.1991 р.), програми ДКНТІ України "Функція" 5.51.02/280-93.

Таким чином, викладене показує актуальність питань розробки швидкодіючих систем позиційного ЕП, виконаного за принципом комбінованого керування з багатоканальною ЗМ, які вирішуються в роботі.

Мета роботи - розробка алгоритмів синтезу багатоканальних ЗМ, які реалізуються при використанні мікро-ЕОМ, та побудова на їхній базі структур системи комбінованого керування, яке дає можливість доступними технічними засобами забезпечити крайові динамічні показники позиційного ЕП при низкій чутливості до збурюючих впливів.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- шляхом аналізу можливих оптимальних діаграм швидкості визначити універсальну структуру багатоканальної ЗМ та необхідну максимальну кількість обмежувачів похідних швидкості по часу в залежності від

складності ЕМС та поставлених вимог;

- для оптимізації комбінованої системи керування ЕП розв'язати задачу синтезу структури та параметрів регуляторів з урахуванням внутрішнього зворотнього зв'язку двигуна;
- обґрунтувати використання ЗМ для оптимізації по динамічних навантаженнях системи управління ЕМС з пружними зв'язками;
- розробити структуру та алгоритм функціонування системи керування з неавтономною ЗМ та релейними регуляторами швидкості й положення, які працюють в ковзачому режимі.

Методи досліджень. Використано методи розв'язання диференціальних рівнянь на основі перетворення Карсона-Хевісайда та Z-перетворення, теорії автоматичного керування, а також чисельно-аналітичні методи розрахунку нелінійних систем у поєднанні з використанням ЦОМ. Базові теоретичні висновки підтверджені наслідками роботи промислових електроприводів, в яких використані рекомендації, сформульовані на базі проведених досліджень.

Наукова новизна дисертації полягає в тому, що розроблені:

1. структура ЗМ, побудованих за блочним принципом, які дозволяють за єдиним алгоритмом формувати до п'яти керуваних впливів для замкнених контурів та прямих каналів комбінованого керування;
2. методика визначення крайових переміщень позиційного електроприводу, яка дає можливість при будь-якому заданому переміщенні визначати крайові величини швидкості, прискорення, ривку, які забезпечують оптимальну швидкодію;
3. спосіб визначення структури та параметрів регуляторів системи підлеглого регулювання з урахуванням внутрішнього зворотнього зв'язку двигуна, що підвищує швидкодій контура швидкості приблизно вдвічі та робить більш адекватною структурну схему ЕП з пружними ланками реальній системі;

4. структура та алгоритм функціонування блоку компенсації збурень, вихідний сигнал якого подається на вхід регулятора струму, що знижує чутливість до зміни параметрів й до збурення системи керування ЕП з неавтономною ЗМ.

Практична цінність. Розроблені структури та алгоритми ЗМ та систем керування ЕП орієнтовані на застосування серійних елементів аналогової та цифрової техніки (нелінійні елементи типу "обмеження", інтегратори, блоки множення) й мікропроцесорних комплексів. Представлення основних одержаних залежностей у вигляді структурних схем алгоритмів функціонування окремих блоків або систем, їх перевірка й уточнення за допомогою ЕОМ роблять практичну реалізацію ЗМ, їхню стиковку з регуляторами ЕП інженерним завданням. Найбільшу практичну цінність має система керування з релейними регуляторами та неавтономною ЗМ, яка простіше за все реалізується на базі серійних елементів системи підлеглого регулювання.

Реалізація результатів роботи. Розроблені в дисертації структурні схеми позиційного електроприводу високої точності й алгоритми формування оптимальних заданих траєкторій використані в НДІПМ ім.М.М.Федорова при розробці й наладці пристрою програмування швидкості (ПШШ) підйомних установок, що забезпечує автоматичне позиціонування робочого органу з мінімальними періодами дотягування. Використання ПШШ підвищує безпеку роботи підйомників, знижує витрати електроенергії на 2-7%, у залежності від висоти підйому та типу приводу. Алгоритми розрахунку параметрів ЗМ високих порядків передані Інституту Катехнівуголь (м.Красноярск) для їх мікропроцесорної реалізації в спеціальному стенді по наладці електроприводів потужних екскаваторів.

Апробація роботи. Головні положення дисертаційної роботи були викладені й обговорені на II-й Міжнародній конференції по автома-

тизації ICAMC -92 (Росія, м.Екатеринбург, 1992 р.); Міжнародній ко. ференції "Проблеми й перспективи розвитку гірничої техніки" (м.Москва, 1994 р.); 1-й та 2-й Українських конференціях по автоматичному керуванню (м.Київ, 1994., м.Львів, 1995 р.).

Публікації. Основні наслідки дисертації опубліковані в 8 статтях та матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з вступу, чотирьох глав, заключення, списку літератури та додатків. Вміщує 145 сторінок друкованого тексту, 70 малюнків, 7 таблиць.

ЗАГАЛЬНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані задачі досліджень, які впливають з проблеми створення високоточних систем позиційного керування електроприводу; вказані наукова новизна й практична значимість роботи.

У першій главі розглянуто головні напрямки та сучасний стан досліджень систем електроприводу циклічної дії. Наведені головні залежності між формою діаграми струму якоря, продуктивністю та втратами в двигуні позиційного електроприводу. Показано, що в реальних електроприводах суттєвий вплив на динаміку електропривода здійснюють механічні коливання, обумовлені пружими ланками з зосередженими та розподіленими параметрами. У зв'язку з цим, важливим завданням при виборі структури приводу й формуванні оптимальних траєкторій руху є врахування впливу пружних коливань та їх гасіння за допомогою системи керування. Обґрунтована актуальність забезпечення нечутливості сучасної системи електроприводу до зміни параметрів об'єкта керування й до зовнішнього збурення. Внаслідок аналізу відомих методів побудови систем з низькою чутливістю до параметричних та координатних збуджень зроблено висновок, що практично найбільш доцільним є дослідження ковзачого режиму функціонуван-

ня як власне ЕП, так і ЗМ, яка формує оптимальні керуючі впливи. Проведений аналіз відомих методів побудови високоефективних позиційних ЕП показав, що використання ЗМ разом із релейними регуляторами, які забезпечують ковзаючі режими у системі приводу, дає можливість створити ЕМС високоточного позиціонування з мінімальними динамічними навантаженнями та низькою чутливістю до збурень.

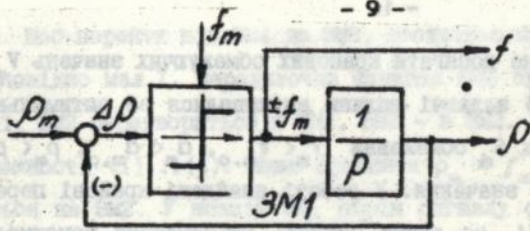
Друга глава присвячена питанням оптимізації позиційного електроприводу за режимом керування, тобто розв'язанню першої задачі побудови системи оптимального керування ЕП циклічної дії. Аналіз режимів роботи ЕП показує, що діаграми змінних залежно від кількості накладених обмежень та технологічних вимог можуть мати різні форми. Пристрої, які формують задачі впливи, пропорційні базисам діаграм, одержали назву задаючих моделей (ЗМ). У залежності від кількості змінних, які обмежуються, розрізняють ЗМ першого (ЗМ1), другого (ЗМ2), третього (ЗМ3) та четвертого (ЗМ4) порядку. Побудова ЗМ будь-якого порядку здійснюється за блочним принципом, тобто додаванням до ЗМ попереднього порядку одного інтегратора та одного обмежувачого нелінійного елементу (НЕ) з відповідним перемикаючим зворотнім зв'язком (мал.1). У наведених ЗМ вихідні сигнали внутрішніх зв'язків, що здійснюють автоматичне перемикання системи на сповільнення, визначаються згідно із залежностями:

$$a_{II} = 0,5 \rho \rho_m / f_m; \quad V_{II} = 0,5 a(a_m / \rho_m + \rho_m / f_m);$$

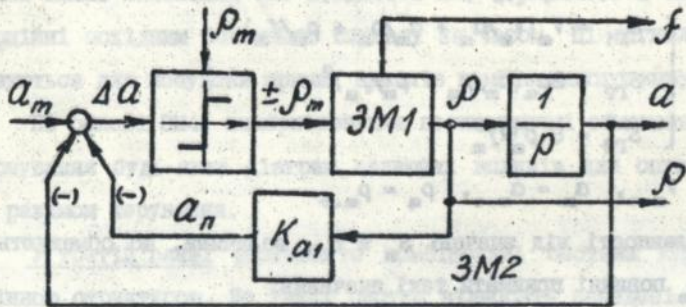
$$S_{II} = 0,5 a(a_m / \rho_m + \rho_m / a_m + \rho_m / f_m);$$

Вихідні змінні S , V , a , ρ , f в ЗМ4 пропорційні відповідно переміщенню, швидкості, прискоренню, ривку та його похідній $dp/dt = f$, що має назву відчуття. У ЗМ3 позиційного ЕП сигнал V відповідає переміщенню, a - швидкості, ρ - прискоренню та ін.

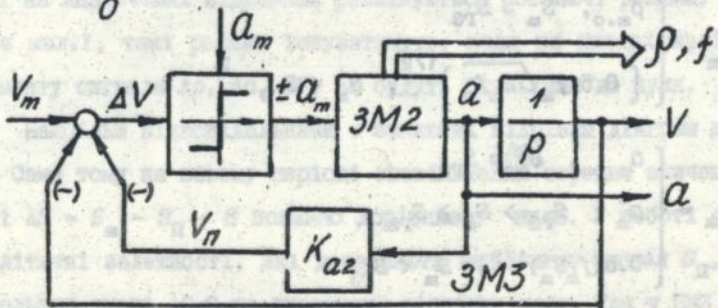
У разі роботи приводу зі змінними переміщеннями S_m , величини,



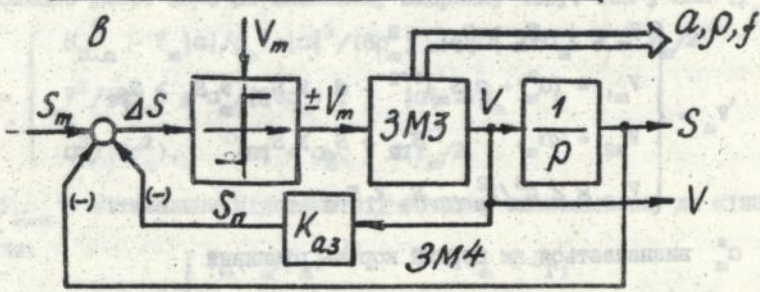
a



δ



β



2

що керуватися, можуть не досягати крайових обмежувачих значень $V_{m.o.}$, $a_{m.o.}$, $\rho_{m.o.}$. Тому, щоб задачі впливи змінювалися за оптимальними законами при будь-яких S_m обмеження $V_m < V_{m.o.}$, $a_m < a_{m.o.}$, $\rho_m < \rho_{m.o.}$ повинні приймати нові значення. У роботі знайдені крайові переміщення $S_m = S_{\Gamma}$ для ЗМ4, за якими повинні змінюватися максимальні величини V , a , ρ :

$$S_{\Gamma} = \begin{cases} S_{\Gamma 1} = V_m (V_m/a_m + a_m/\rho_m + \rho_m/f_m) \\ S_{\Gamma 2} = 2a_m (a_m/\rho_m + \rho_m/f_m)^2 \\ S_{\Gamma 3} = 8 \rho_m^4 / f_m^3 \end{cases} \quad (1)$$

де $V_m = V_{m.o.}$, $a_m = a_{m.o.}$, $\rho_m = \rho_{m.o.}$.

У залежності від значень S_m и S_{Γ} , величини, що обмежуються, ρ_m , a_m , V_m повинні приймати такі значення:

$$\rho_m = \begin{cases} \rho_{m.o.}, & S_m \geq S_{\Gamma 3} \\ \left[0,5 f_m \sqrt{S_m f_m} \right]^{1/2}, & S_m < S_{\Gamma 3} \end{cases} ; \quad (2)$$

$$a_m = \begin{cases} a_{m.o.}, & S_m \geq S_{\Gamma 3} \\ a_m^*, & S_{\Gamma 2} > S_m \geq S_{\Gamma 2} \\ 0,5 (f_m S_m)^{1/2}, & S_m < S_{\Gamma 3} \end{cases} ; \quad (3)$$

$$V_m = \begin{cases} V_{m.o.}, & S_m \geq S_{\Gamma 1} \\ V_{m1} = (a_m^2 + a_m S_m)^{1/2} - d, & S_{\Gamma 1} > S_m \geq S_{\Gamma 2} \\ V_{m2} = 2d, & S_{\Gamma 2} > S_m \geq S_{\Gamma 3} \\ V_{m3} = 2 \rho_m^3 / f_m^2, & S_m < S_{\Gamma 3} \end{cases} \quad (4)$$

де a_m^* визначається як перший корінь рівняння

$$a_m^* (a_m^* / \rho_m + \rho_m / f_m)^2 = 0,5 S_m ; \quad d = 0,5 a_m (a_m / \rho_m + \rho_m / f_m).$$

Щоб перейти від ЗМ4 до ЗМ3, достатньо прийняти $f_m = \infty$. Тоді, відповідно мал.І, передаточна функція ЗМ1 буде дорівнюватиме одиниці, ЗМ2 перетвориться в ЗМ1, ЗМ3 - в ЗМ2. Відповідно зміняться й залежності (І)...(4). Якщо прийняти $\rho_m = f_m = \infty$, то ЗМ4 перетвориться на ЗМ2. У кожній ЗМ, окрім сигналу основної змінної, який знімається з виходу останнього інтегратора та визначає оптимальний закон зміни положення або швидкості ЕП, формуються й сигнали пропорційні похідним основного сигналу за часом. Ці сигнали використовуються для побудови прямих каналів комбінованого керування.

На основі ЗМ4, використовувачи несиметричні обмеження, можливо формування будь-яких діаграм задавчих впливів для оптимізації ЕП за режимом керування.

У третій главі розглянуто комбіновані системи керування зі змінною структурою. До таких систем відносять наведені вище ЗМ, в яких на визначених відрізках реалізуються ковзаючі режими. Виходячи з мал.І, такі режими існуватимуть, коли на входах нелінійного елемента сигнали $\Delta\rho$, $\Delta\alpha$, ΔV , ΔS будуть близькими до нуля.

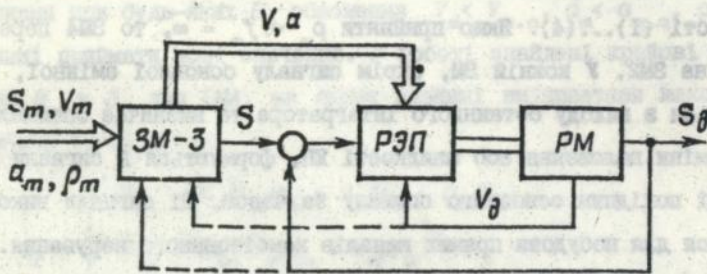
Найбільш відповідальними є заключні відрізки діаграм швидкості. Саме тому на всьому періоді сповільнення середнє значення різниці $\Delta S = S_m - S_{II} - S$ повинно дорівнювати нулю. У роботі одержано аналітичні залежності, які дозволяють визначити сигнал S_{II} , що задовольняє умові $\Delta S \approx 0$ на вказаному відрізку часу. Так у ЗМ3 ($f_m = 0$)

$$S_{II} = \begin{cases} S_{II.m} - V_m |a| / \rho_m + |a|^3 / (6\rho_m^2), & |a| < a_m, V > V_m / 2 \\ V^2 / (2a_m) + a_m^3 / (24\rho_m^2), & |a| \geq a_m \\ a^3 / (6\rho_m^2), & |a| < a_m, V \leq V_m / 2 \end{cases}, \quad (5)$$

де $S_{II.m}$ - оптимальна відстань від початку сповільнення до кінцевої точки:

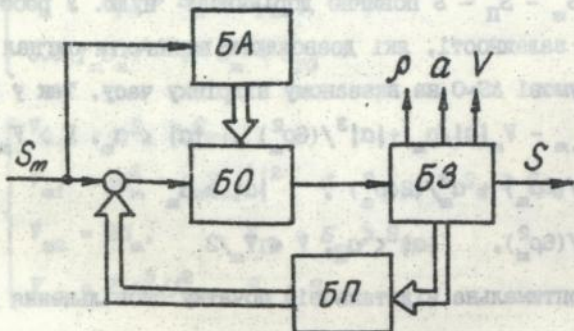
$$S_{II.m} = \begin{cases} V_m (V_m / \rho_m)^{1/2}, & 0 < S_m \leq S_{\Gamma 1} \\ 0,5 V_m (V_m / a_m + a_m / \rho_m), & S_m > S_{\Gamma 2} \end{cases}. \quad (6)$$

Функціональна схема комбінованої системи керування позиційним ЕП із ЗМЗ зображена на мал.2.



Мал.2

Об'єкт керування поданий регульованим електроприводом (РЕП) і робочою машиною (РМ). Координатами, які регулюються, є переміщення робочого органу S_d та швидкість V_d . ЗМ, що оптимізує систему за режимом керування, реалізована на базі мікропроцесорної техніки. Блок-схема ЗМЗ, що формує оптимальні керувачі сигнали S, V, a , наведена на мал.3. Система складається з блоків обмеження (БО), формування задачих впливів (БЗ), адаптації (БА) та перемикання (БП).



Мал.3

Блок обмеження функціонує згідно із залежностями:

$$\Delta S = S_m - S_{II} - S; \quad \Delta V = \begin{cases} V_m - V - V_{II}, & \Delta S \geq 0 \\ -V - V_{II}, & \Delta S < 0 \end{cases};$$

$$\Delta \alpha = \begin{cases} \alpha_m - \alpha, & \Delta V \geq 0 \\ -\alpha_m - \alpha, & \Delta V < 0 \end{cases}; \quad \rho = \begin{cases} \rho_m, & \Delta \alpha \geq 0 \\ -\rho_m, & \Delta \alpha < 0 \end{cases}.$$

де S_{II} - поточна відстань до кінцевої точки в період сповільнення системи; $V_{II} = 0,5 a^2 \rho_m^{-1} \operatorname{stgn} a$.

БЗ включає три послідовно з'єднаних інтегратори, на виходах яких формуються сигнали S , V , α , пропорційні оптимальним значенням S_d , V_d , α_d . При чисельно-аналітичному методі в межах кожного кроку інтегрування T розрахунки в БЗ проводяться за формулами:

$$a = a_0 + \rho T; \quad V = V_0 + aT + \rho T^2 / 2; \quad S = S_0 + VT + aT^2 / 2 + \rho T^3 / 6, \quad (7)$$

де a_0 , V_0 , S_0 - початкові значення a , V , S , які дорівнюють кінцевим значенням цих змінних на попередньому кроці. Дискретна реалізація рівнянь (7) виконана також на основі Z -перетворення. У БА в залежності від потрібного переміщення S_m розраховуються значення S_{II} , α_m , V_m , $S_{II,m}$ за формулами (1), (3), (4), (6). У ЕП визначається перемикаючий сигнал S_{II} по одній з формул (5).

Якщо в системі (мал.2) відсутні зворотні зв'язки між керованими змінними S_d й V_d та ЗМ, то у разі вибору параметрів та налашки системи можливо розглядати ЗМ автономно. Якщо ж такі зв'язки є (вказані на мал.2 штриховими лініями), тоді потрібно розглядати всю систему як замкнену. Оптимізація ЕП по перехідних процесах потребує відтворення вихідними змінними задаваних сигналів із мінімальними похибками. З метов підвищення швидкодії пропонується розрахунок системи підлеглою керування проводити з урахуванням внутрішнього зворотнього зв'язку двигуна. Цей метод особливо ефективний для тиристорних ЕП, в яких електромагнітна постійна часу

$T_D < 0,25 T_M$. У цьому випадку передаточна функція двигуна може бути представлена виразом:

$$\omega_D(p)/E_{II}(p) = K_D / [(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)] \quad (8)$$

де ω_D - частота обертання двигуна; K_{II} - ЕДС перетворювача; K_D - коефіцієнт передачі двигуна;

$$T_1 = 2T_D T_M / (T_M + \sqrt{T_M^2 - 4T_D T_M}); \quad T_2 = 2T_D T_M / (T_M - \sqrt{T_M^2 - 4T_D T_M}).$$

Через те, що згідно з (8) двигун можна вважати об'єктом керування, я. й складається з двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок першого порядку, оптимізацію системи за методом підлеглого регулювання можна реалізувати настройкою регуляторів згідно з модульним оптимумом. В усталеному режимі сигнал $U_d = E_{II} - R_A I_C$ є напругою якса двигуна, тому внутрішній контур буде контуром напруги. Передаточна функція регулятора напруги (РН)

$$W_{P.N}(p) = (T_1 p + 1) / (2T_{\mu} p K_{T.II} K_N) \quad .$$

де T_{μ} - некомпенсуєма мала постійна часу тиристорного перетворювача; $K_{T.II}$ - коефіцієнт передачі перетворювача; K_N - коефіцієнт зворотнього зв'язку по виходу ланки з постійною часу T_1 .

Передаточні функції регулятора швидкості

$$W_{P.C}(p) = (T_2 p + 1) / (4T_{\mu} p K_C K_D / K_N) \quad (9)$$

та замкненого контура швидкості

$$W_{C.B}(p) = \omega_D(p) / U_{B.C}(p) = K_C^{-1} (8T_{\mu}^3 p^3 + 8T_{\mu}^2 p^2 + 4T_{\mu} p + 1)^{-1} \quad (10)$$

де K_C - коефіцієнт передачі зворотнього зв'язку по швидкості.

У порівнянні з відомою системою підлеглого регулювання, урахування внутрішнього зворотнього зв'язку підвищує швидкодію системи вдвічі, зменшується вплив навантаження на перехідні процеси. При цьому реалізація модифікованої системи практично не ускладнюється.

Завдяки тому, що контур струму (напруги) у системі підлеглого регулювання можна зобразити інерційною ланкою першого порядку з малю постійною часу, двигун з розімкненими контурами швидкості та положення можна зобразити у вигляді двох послідовно з'єднаних інтегруючих ланок K_1/p , K_2/p з коефіцієнтами:

$$K_1 = K_C C_{д} K_T^{-1} J^{-1} / (2T_{\mu} p + 1); \quad K_2 = K_{II} / K_C, \quad (II)$$

де $C_{д}$ - коефіцієнт пропорційності ЕДС (моменту) двигуна; K_T - коефіцієнт зворотнього зв'язку по струму; J - приведений момент інерції двигуна; K_{II} - коефіцієнт передачі зворотнього зв'язку по положенню.

Завдяки тому, що дві послідовно з'єднані ланки відповідають лінійній частині ЗМЗ, з урахуванням (II) всю систему керування можна зобразити структурною схемою ЗМ, в якій перший та другий елементи, що обмежуються, виконують функції відповідно регуляторів швидкості та струму. В цьому випадку перемикаючий зворотній зв'язок буде мати коефіцієнт

$$K_{II1} = 0,5 K_2 (2T_{\mu} p + 1) / (U_{д.м} K_1) = K_3 (2T_{\mu} p + 1), \quad (I2)$$

где $K_3 = 0,5 K_2 / (U_{д.м} K_1)$.

Зробивши аналіз структури ЗМЗ та коефіцієнтів K_1 , K_2 , K_{II1} бачимо, що коли нехтувати малю постійною T_{μ} , то система керування тиристорним ЕП у динамічному відношенні повністю відповідає ЗМЗ й забезпечує оптимальний режим позиціонування за будь-якого заданого переміщення. Щоб максимально наблизити систему до ідеальної моделі, можна нехтувати постійною часу T_{μ} , до контуру перемикаючого зворотнього зв'язку ввести диференціальну ланку, а вплив навантаження та реакції якора компенсувати за допомогою коректуючого контура по сигналу помилки між дійсною швидкістю та оптимальною, розрахованою в блоці компенсації збурень (БКЗ). БКЗ безперервно знаходить

оптимальну швидкість $V_{оп}$ як функцію переміщення згідно залежності

$$V_{оп} = \sqrt{2\alpha_m S_x}, \quad S_x = \min \{S_d, S_m - S_d, 0,5 V_m^2/\alpha_m\}, \quad (13)$$

де S_x в будь-який момент часу дорівнює меншій з трьох величин:

$$S_d, \quad S_m - S_d, \quad 0,5 V_m^2/\alpha_m.$$

На базі приведення системи ЕП до структури ЕМЗ одержана загальна структурна схема позиційного тиристорного ЕП з релейними регуляторами швидкості та положення (мал.4). Коефіцієнт перемикаючого зв'язку $K_{П1}$ зображений як множення двох ланок: пропорційного K_3 та ідеального форсуючого $T_{\mu p}+1$, дискретна передаточна функція якого прийнята рівною $W(Z) = T_{\mu} (Z-1)/(TZ)+1$. У БКЗ по дійсному переміщенню розраховується сигнал швидкості, який відповідає оптимальному відношенню між переміщенням та швидкістю при обмеженні прискорення. Відповідно до величини S_x згідно з (13) формується потрібна частота обертання в будь-який момент часу як функція переміщення. Вихідний сигнал БКЗ з урахуванням коефіцієнтів моделювання

$$U_{С.Н} = \left[\sqrt{2K_1 K_2 U_{\alpha.м} U_{П.Н}} \right] K_0 K_{П1}^{-1} \operatorname{sgn}(U_{П.м} - U_{П}), \quad (14)$$

де $U_{С.Н}$, $U_{\alpha.м}$, $U_{П.Н}$, $U_{П.м}$, $U_{П}$ -- сигнали пропорційні відповідно величинам $V_{оп}$, α_m , S_x , S_m , S .

Згідно із залежністю (13)

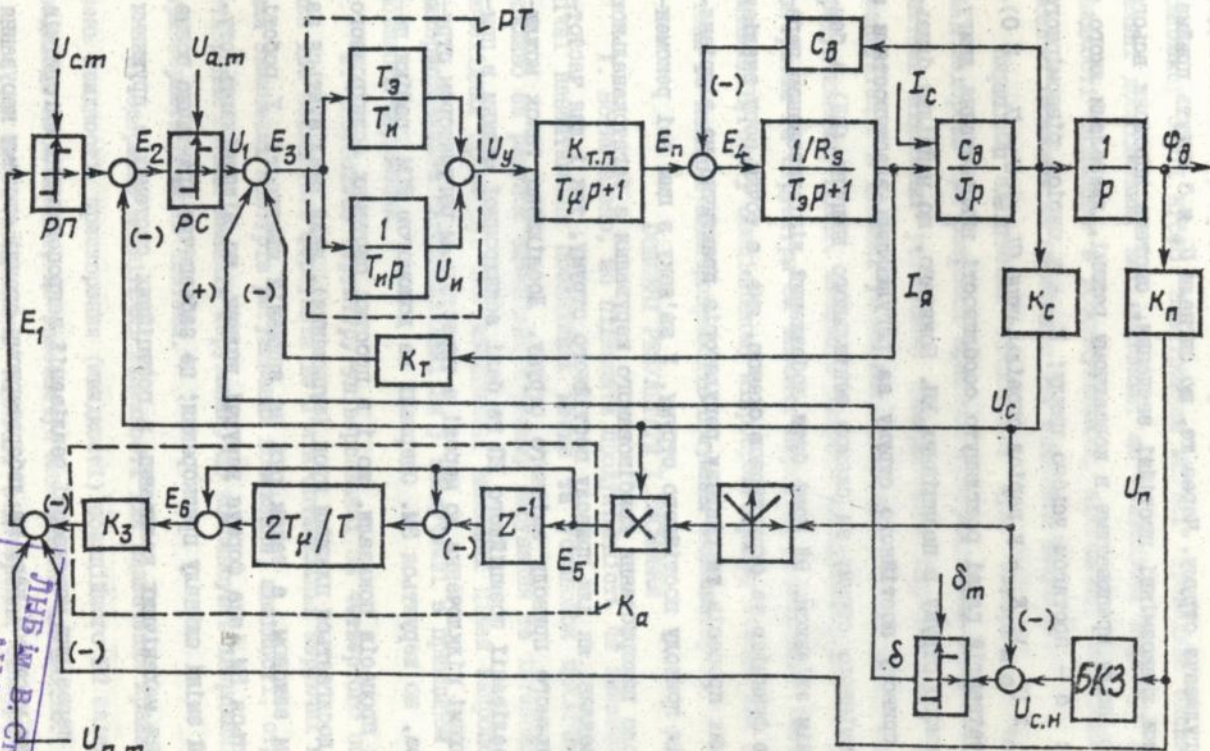
$$U_{П.Н} = \min (|U_{П}|, |U_{П.м} - U_{П}|, U_{ГР}). \quad (15)$$

де $U_{ГР}$ - крайнє значення сигналу перемикаючого зворотнього зв'язку

$$U_{ГР} = 0,5 K_2 U_{С.м}^2 / (K_1 |U_{\alpha.м}|). \quad (16)$$

Таким чином, у БКЗ виконуються послідовно розрахунки по формулах (16), (15), (14).

Сигнали оптимальної заданої швидкості $U_{С.Н}$ та дійсної U_0



Мал. 4

ЛІБ ім. В. Стефаника
АН України

порівнюються, а їх різниця подається через реалізований регулятор на вхід регулятора струму. Через те, що сигнали U_1 і δ можуть приймати тільки знакозмінні постійні значення, система впродовж всього робочого циклу працюватиме в ковзачому режимі, джерелами якого є сигнали: δ - протягом усього циклу; E_2 - у період рівномірного руху ($U_0 \approx U_{0.м}$); E_1 - у період сповільнення ($U_{П.м} - U_{П-} - U_{Пер} \approx 0$).

У четвертій главі розглянуто особливості використання двигунів змінного струму в позиційних ЕП. Показано, що найбільш близьким до приводу постійного струму за регуляторними властивостями є привід змінного струму за схемою вентильного двигуна (ВД) з безпосереднім зв'язком. ВД може бути зображений лінійаризованою передаточною функцією та структурною схемою, яка, з точки зору аналізу перехідних процесів та синтезу регуляторів практично не відрізняється від приводу постійного струму. У зв'язку з цим всі рекомендації щодо використання комбінованого керування з багатоканальною ЗМ справедливі як для приводу постійного струму, так і для частотно-регульованого приводу змінного струму. Досліджено також можливість реалізації позиційного ЕП на базі асинхронної машини в природній схемі підключення до мережі з тиристорним регулятором струму ротора, що керується ЗМ. Одержані за допомогою ЕОМ графіки перехідних процесів показали, що і в простих системах асинхронного приводу досягається плавний пуск (зупинення), який реалізується за будь-яким законом, а також рух на зниженій швидкості. У роботі пропонується ЗМ, яка формує керувчі впливи, що відповідають ступінчастій зміні сигналу прискорення; це забезпечує практично повне виключення механічних коливань в позиційних системах з пружними ланками.

Для перевірки можливості реалізації запропонованих алгоритмів в дійсному масштабі часу на лабораторному стенді системи керування

швидкості електроприводу з контролером на базі мікропроцесорного комплексу серії КР580 "Електроніка МС272І" проведено експериментальні дослідження, які показали, що тривалість періодів діаграм швидкості співпадає з розрахунковими, відхилення переміщення від заданої величини не перевищує 1-2 шляхових імпульси.

Наслідки здійснених досліджень було використано в НДІІМ ім.М.Федорова при розробці пристрою програмування швидкості (ППШ) шахтних підйомних установок. Використання ППШ підвищує безпеку експлуатації підйомних установок, скорочує робочий цикл, підвищує продуктивність праці, зменшує витрати електроенергії. Розроблені алгоритми та структури ЗМ високих порядків реалізовано Інститутом КАТЕКНДІВуголь у спеціальному мікропроцесорному стенді для діагностики та наладки електроприводів потужних екскаваторів.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що підвищити продуктивність чи знизити динамічні навантаження позиційних машин та установок циклічної дії можливо за рахунок оптимізації режиму керування та інтенсифікації перехідних процесів. Для досягнення вказаних цілей запропоновано використовувати багатоканальні ЗМ у сполученні з принципом комбінованого керування.

2. Розроблено структуру універсальної ЗМ четвертого порядку, яка дає можливість формувати до п'яти оптимальних керуючих впливів для замкнених контурів регулювання положення, швидкості, струму та створення прямих каналів керування, що компенсують інерційність та прискорюють реакцію системи.

3. Одержано аналітичні залежності для визначення крайніх значень швидкості, прискорення (швидкості) позиційного ЕП залежно від заданого переміщення, що забезпечує максимальну швидкість.

4. З метою підвищення точності відтворення електроприводом

оптимальних задавчих впливів розроблено модифіковану систему підлеглого регулювання, в якій синтез регуляторів виконано з урахуванням внутрішнього зворотнього зв'язку двигуна. При цьому швидкість підвищується вдвічі.

5. Для забезпечення нечутливості системи керування до зміни параметрів та до збурень запропоновано структуру позиційного ЕП з релейними регуляторами швидкості та положення, яка відповідає схемі ЗМ2 й забезпечує ковзачкі режими зі змінною структурою.

6. Показано, що в системі керування з релейними регуляторами вплив навантаження, реакцію якора та зміну параметрів можна компенсувати за допомогою запропонованого блоку компенсації збурень, який безперервно визначає швидкісну похибку щодо залежності оптимальної швидкості від поточного переміщення при заданому обмеженні прискорення.

7. Встановлено, що запропоновані системи керування із ЗМ можуть використовуватися як у приводах постійного струму, так і в приводах змінного струму з частотним керуванням й у природній схемі вмикання з тиристорним регулятором струму.

8. Зниження механічних коливань в електроприводах з пружними ланками пропонується здійснювати використанням ЗМ зі ступінчастов змінюв сигналу прискорення. Методом цифрового моделювання доведено можливість практично повного виключення низькочастотних коливань у реальних установках у періоди пуску та зупинення.

9. По всіх розроблених пристроях й системах керування складено структурні схеми алгоритмів, орієнтованих на їх реалізацію за допомогою мікро-ЕОМ та мікроконтролерів.

10. Наслідки проведених досліджень використано при розробці промислових пристроїв програмування швидкості й мікропроцесорного налагодження ЕП із багатоконтурними системами керування.

ПУБЛИКАЦИИ ЗА ТЕМОТ ДИССЕРТАЦИЈА

1. Чермалых В.М., Афанасьев Д.А., Чермалых Т.В. Построение адаптивных систем позиционного управления электроприводами машин и установок // Изв. вузов. Горный журнал.- 1992.- № 10.- С.73-77.
2. Алтухов Е.А., Чермалых Т.В. Алгоритмическое обеспечение микропроцессорного управления машинами и установками циклического действия // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горн. электромеханика и автоматика.- 1993.- Вып.24.- С.20-29.
3. Чермалых Т.В., Мадхи Халед, Шабо Камил. Системы оптимального управления позиционным тиристорным электроприводом с многоканальной задающей моделью. - Киев, 1994.- 49 с.- (Препр./НАН Украины. Ин-т электродинамики; № 762).
4. Липковский К.А., Чермалых Т.В. Комбинированная система управления позиционным электроприводом с многоканальной задающей моделью // Техн. электродинамика.- 1995.- № 5.- С.49-55.
5. Афанасьев Д.А., Чермалых Т.В. Адаптивная система управления позиционным электроприводом // Тез. докл. II-й международной конференции по автоматизации в горном деле ICAMC-92. Россия. Екатеринбург. 1992.- С.58,59.
6. Липковский К.А., Чермалых Т.В. Адаптивная система управления промышленными установками с вентильными двигателями // Тез. докл. I-й Украинской конференции по автоматическому управлению. - Киев, 1994.- С.428.
7. Чермалых Т.В., Шабо Камил. Система автоматического управления технологически взаимосвязанными электроприводами // Тез. докл. 2-й Украинской конференции по автоматическому управлению.- Киев, 1995.- С.95,96.
8. Оптимизация динамических режимов асинхронного позиционного электропривода с тиристорным регулятором тока ротора / Чермалых Т.В.,

44781

Шабо Камил, Аль-Йсеф Ахмад; Нац.техн.ун-т України "Київ.политехн. ин-т" - Київ, 1996. - 13 с. - Деп. в ІНТБ України, № 506 - Ук 96.

Особистий внесок автора. У роботах, написаних у співавторстві, автору належать: розробка структури й алгоритмів визначення параметрів ЗМ високих порядків [3,4]; алгоритмічне забезпечення мікропроцесорного керування позиційним електроприводом [2]; одержання аналітичних залежностей функціонування для блоку адаптації, що визначає оптимальні обмеження керуваних змінних, та передаточних функцій прямих каналів комбінованого керування [1,5,6]; обґрунтування застосування двигунів змінного струму в системах керування електроприводом із ЗМ [7,8].

АННОТАЦІЯ

Чермалых Т.В. Комбинированные системы управления позиционным электроприводом с многоканальной задачей моделью.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03. - Электротехнические комплексы и системы, включая их управление и регулирование. Институт проблем энергосбережения НАН Украины, Киев, 1996.

Защитаются методы построения структуры и определения параметров многоканальной задающей модели, на основе которой разработаны комбинированные системы управления электроприводами постоянного и переменного токов. Для обеспечения низкой чувствительности привода к изменению параметров и внешних возмущений предложена система позиционного электропривода, работающая в скользящем режиме, с релейными регуляторами и блоком наблюдения за отклонением управляемых координат от оптимальных значений. Полученные структурные схемы и алгоритмы ориентированы на их реализацию с помощью микро-ЭВМ и микроконтроллеров. Результаты исследований используются в промышленности.

ANNOTATION

Tchermalykh T.V. Combined Control Systems for Positional Electric Drive with the Multichannel Preset Model.

Dissertation submitted for a Technical Sciences candidate's degree for speciality 05.09.13. - Electrotechnical Complexes and Systems Including Their Control and Regulation. Institute for Energy Saving Problems, Ukrainian National Academy of Sciences, Kiev, 1996.

The methods for plotting the structure and determining the parameters of the multichannel preset model are presented, the combined control systems for electric drives of constant and alternating current are being developed on their base. A system of positional electric drive operating in the rolling regime with linear regulators and a block of observation of deviations of controlled coordinates from the optimal values is suggested to provide low sensitivity of the electric drive to variations of the parameters and external disturbances. The obtained structural schemes and algorithms are orientated towards their realisation using micro-EC and microcontrollers. The results of studies are used in industry.



Підписано до друку 29.04.1996 р. Формат 60x84/16.

Папір офсетний. Умовн. друк. лист. I, O.

Тираж 100 екз. Замовлення № 195.

Віддруковано в Інституті електродинаміки НАН України
252057, Київ-57, проспект Перемоги, 56.

4478110

AB 34.949

AB 34.949