



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 81997

(13) C2

(51) МПК (2006)

G05B 13/00

G05B 11/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ НАСТРОЮВАННЯ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ СИСТЕМИ "ADALINE" ПРИ КЕРУВАННІ ДИНАМІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

1

2

(21) a200606171

(22) 02.06.2006

(24) 25.02.2008

(72) КУЧЕРОВ ДМИТРО ПАВЛОВИЧ, UA,
БОГУЧАРСЬКИЙ ВЯЧЕСЛАВ ВІКТОРОВИЧ, UA,
РУДАКОВ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, UA, ГУПАЛО
АНДРІЙ ЮРІЙОВИЧ, UA, ЧІПІЖКО ЮРІЙ
АНАТОЛІЙОВИЧ, UA, ТУРЧИН ВАЛЕНТИН
МИКОЛАЙОВИЧ, UA(73) ЦЕНТРАЛЬНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ
ІНСТИТУТ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ
ТЕХНІКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ, UA,
КУЧЕРОВ ДМИТРО ПАВЛОВИЧ, UA(56) Ashour M., Aboshosha A., Adaptive neural
control of NPRR. //Proceeding of Al Azhar
Engineering Fifth International Conference AEIC-97,
Cairo, Egypt, December 19-22, 1997.

UA 12362 U, 15.02.2006

SU 1589255 A1, 30.08.1990

RU 2017196 C1, 30.07.1994

US 5428559, 27.06.1995

(57) Спосіб настроювання вагових коефіцієнтів
системи "Adaline" при керуванні динамічними
об'єктами, за яким в системі керування
встановлюють вхідні дані, які включають потрібну
похибку відпрацювання завдання динамічним
об'єктом, початковий вектор настроюваних

параметрів та початковий стан динамічного об'єкта, що відповідає еталонній вирішальній функції системи "Adaline", вимірюють координати динамічного об'єкта, за координатами динамічного об'єкта та вектора настроюваних параметрів обчислюють значення вирішальної функції системи "Adaline", порівнюють значення отриманої вирішальної функції зі значенням еталонної для певного моменту часу керування, на заключній стадії настроювання в разі невідповідності значень вирішальної та еталонної функцій змінюють початковий вектор настроюваних параметрів в бік зменшення похибки відпрацювання з подальшим приведенням її до мінімального значення, який відрізняється тим, що при встановленні вхідних даних в системі керування додатково встановлюють необхідне число перемикачів керуючого сигналу, при вимірюванні координат системи додатково контролюють число перемикачів сигналу керування та запам'ятовують координати динамічного об'єкта в момент першого перемикачання, а на заключній стадії змінюють вектор настроюваних параметрів з використанням додаткових даних числа перемикачів сигналу керування на вході динамічного об'єкта та координат точки першого перемикачання.

Винахід належить до галузі машинобудування, зокрема до способів керування з нейромережним регулятором в контурі керування, а саме до способів настроювання нейромережного регулятора типу "Adaline", який використовується при керуванні такими об'єктами, як літальний апарат, робототехнічний пристрій, ядерний реактор та інші.

Система керування з нейромережним регулятором являє собою деяку інформаційно-керуючу систему, яка включає обчислювальні пристрої, автоматичні регулятори, виконавчі пристрої та інші елементи, що використовуються для автоматичного керування деяким динамічним

об'єктом. Найбільш поширені вимоги, що висуваються до системи керування - це точність та час відпрацювання завдання об'єктом керування. Значення цих показників суттєво залежать від корисного навантаження, виконавчого елемента та методів керування, що застосовуються, а також від умов функціонування.

Розрізняють методи керування з повною інформацією про параметри виконавчого елемента та навантаження та адаптивні підходи, які дозволяють функціонувати системі при зміні її параметрів в широкому діапазоні або взагалі припускають відсутність апріорної інформації про ці параметри, що є найбільш поширеним

(13) C2

(11) 81997

(19) UA

випадком. Різка зміна параметрів та збурень розстроюють систему керування, яка добре працює при середніх розрахункових умовах, при цьому ціль керування може не досягнутися. Саме в таких випадках доцільне застосування адаптивних підходів.

Відомі способи реалізації адаптивних систем базуються на методах побудови самонастроюваних систем - це способи побудови екстремальних та нейромережових систем. Доцільність використання того чи іншого способу визначається властивостями об'єкта та умовами його функціонування. За наявності екстремальної залежності параметрів об'єкта від сигналу керування та умов безперервної зміни характеристик обладнання існує можливість застосування екстремальних способів керування. В тих же системах, де екстремальність характеристик не виявлена, доцільно використовувати методи, що базуються на регулюванні за нейромережовими принципами. Основою нейромережових регуляторів є система Adaline (Adaptive linear neurone), яка складається з підсилювачів зі змінними коефіцієнтами передачі (ваговими коефіцієнтами, настроюваними параметрами), що настроюються при функціонуванні, та суматора сигналів.

Відомий спосіб настроювання системи "Adaline" реалізовано в системі керування ядерним реактором, що складається безпосередньо з системи "Adaline" та ПІД-регулятора. Для настройки нейроконтролера (виконаного за принципами побудови системи "Adaline") в якості еталонної моделі використовується ПІД-регулятор. Для настройки вагових коефіцієнтів системи "Adaline" використовуються вихідні дані ПІД-регулятора, які змінюють вагові коефіцієнти так, що реакція нейроконтролера стає такою самою, як вихід ПІД-регулятора. Після проведення настройки ПІД-регулятор вимикається (1).

До недоліків способу відносяться низька швидкість настроювання вагових коефіцієнтів та недостатня точність і швидкодія самої системи керування з ПІД-регулятором, який використовується як еталонна модель для настроювання нейроконтролера. Швидкість настроювання характеризується числом ітерацій, які витрачаються на навчання нейроконтролера (підстроювання вагових коефіцієнтів системи "Adaline"). Точність та швидкодія системи керування в значній мірі визначаються параметрами ПІД-регулятора.

Найбільш близьким технічним рішенням, обраним за прототип, є спосіб настроювання вагових коефіцієнтів системи "Adaline" при керуванні динамічними об'єктами, за яким в системі керування встановлюють вхідні дані, які включають потрібну похибку відпрацювання завдання динамічним об'єктом, початковий вектор настроюваних параметрів та початковий стан динамічного об'єкта, що відповідає еталонній вирішальній функції системи "Adaline", вимірюють координати динамічного об'єкта, за координатами

параметрів обчислюють значення вирішальної функції системи "Adaline", порівнюють значення отриманої вирішальної функції зі значенням еталонної для певного моменту часу керування, на заключній стадії настроювання в разі невідповідності значень вирішальної та еталонної функцій змінюють початковий вектор настроюваних параметрів в бік зменшення похибки відпрацювання з подальшим приведенням її до мінімального значення (2).

Недоліком способу настроювання вагових коефіцієнтів системи "Adaline", який обраний за прототип, є тривалість настроювання та точність відпрацювання завдання динамічним об'єктом після проведення настроювання. Спосіб настроювання суттєво спирається на відмінності, що є в вирішальній функції еталонної моделі та системи "Adaline". Наявність відмінностей з одного боку визначає величину та напрям зміни вагових коефіцієнтів, а з іншого примушує здійснювати корекцію малим кроком, що впливає на тривалість процесу їх підстроювання. При цьому поведінка динамічної системи підстроюється до навчаючої моделі, яка не враховує динамічні властивості об'єкту керування. Таким чином, якщо параметри еталонної моделі відрізняються від параметрів керованого об'єкта, то бажаної точності та швидкодії отримано не буде, при цьому буде завжди получатися якийсь режим, близький до роботи моделі. Цей недолік є важливим, тому що реальний об'єкт завжди відрізняється від моделі.

В основу способу настроювання вагових коефіцієнтів системи "Adaline" при керуванні динамічними об'єктами за винаходом покладено завдання шляхом усунення недоліків прототипу забезпечити підвищення точності відпрацювання завдання динамічним об'єктом за мінімально можливий час в системі керування з "Adaline" за рахунок контролю числа перемикань сигналу керування та вибору в якості інформаційної точки для корекції невідомих вагових коефіцієнтів системи "Adaline" - фазової точки, за якою було здійснено перше перемикання сигналу керування.

Суть способу настроювання вагових коефіцієнтів системи "Adaline" при керуванні динамічними об'єктами, за яким в системі керування встановлюють вхідні дані, які включають потрібну похибку відпрацювання завдання динамічним об'єктом, початковий вектор настроюваних параметрів та початковий стан динамічного об'єкта, що відповідає еталонній вирішальній функції системи "Adaline", вимірюють координати динамічного об'єкта, за координатами динамічного об'єкта та вектора настроюваних параметрів обчислюють значення вирішальної функції системи "Adaline", порівнюють значення отриманої вирішальної функції зі значенням еталонної для певного моменту часу керування, на заключній стадії настроювання в разі невідповідності значень вирішальної та еталонної функцій змінюють початковий вектор настроюваних параметрів в бік зменшення похибки відпрацювання з подальшим приведенням її до мінімального значення полягає в тому, що при встановленні вхідних даних в

системі керування додатково встановлюють необхідне число перемикачів керуючого сигналу, при вимірюванні координат системи додатково контролюють число перемикачів сигналу керування та запам'ятовують координати динамічного об'єкта в момент першого перемикачів, а на заключній стадії змінюють вектор настроюваних параметрів з використанням додаткових даних числа перемикачів сигналу керування на вході динамічного об'єкта та фазових координат точки першого перемикачів сигналу керування.

Порівняльний аналіз способу, який заявляється, із прототипом дозволяє зробити висновок, що спосіб настроювання вагових коефіцієнтів системи "Adaline" при керуванні динамічним об'єктом, відрізняється тим, що при встановленні вхідних даних в системі керування додатково встановлюють необхідне число перемикачів керуючого сигналу, при вимірюванні координат системи додатково контролюють число перемикачів сигналу керування та запам'ятовують координати динамічного об'єкта в момент першого перемикачів сигналу керування, а на заключній стадії змінюють вектор настроюваних параметрів з використанням додаткових даних числа перемикачів сигналу керування на вході динамічного об'єкта та фазових координат точки першого перемикачів.

Суть способу пояснюється за допомогою ілюстрацій, де на фіг.1 показано послідовність дій виконання способу, що заявляється, на фіг.2 приведено структурну схему пристрою, що реалізує спосіб, який заявляється, на фіг.3 приведено "ковзний" режими роботи системи для випадку вимірювання двох координат у площині положення-швидкості, на фіг.4 показано той же "ковзний" режим роботи системи в часовій площині, на фіг.5 показано режим автоколивань у фазовій площині, на фіг.6 пояснюється режим автоколивань в часовій площині, на фіг.7 показано оптимальну за швидкодією траєкторію об'єкта, на фіг.8 показано квазіоптимальну за швидкодією траєкторію навантаження об'єкта, на фіг.9 показано процес настроювання вагових коефіцієнтів системи "Adaline".

Послідовність виконання дій в способі настроювання вагових коефіцієнтів системи "Adaline" пояснюється схемою на фіг.1, де показано, що перед початком функціонування в системі керування встановлюють вхідні дані, які складаються з припустимої похибки Δ^* відпрацювання завдання динамічним об'єктом, початкового вектора настроюваних параметрів c_0 та початкового стану $x(0)$ динамічного об'єкта, еталонної вирішальної функції $F^*(c, X(t))$ системи "Adaline" та додатково встановленого числа перемикачів N^* сигналу керування на вході динамічного об'єкта. Далі, в процесі настроювання вимірюють не тільки координати $\Delta(t)$, $\dot{x}(t)$ динамічного об'єкта, а ще й контролюють число перемикачів N сигналу керування на вході об'єкта, при цьому координати фазової точки $X_1(\Delta(t), \dot{x}(t))$, яка відповідає моменту першого перемикачів, запам'ятовуються. За даними координат $X(t)$

динамічного об'єкта та вектора настроюваних параметрів c обчислюють значення вирішальної функції $F(c, X(t))$ системи "Adaline", порівнюють значення отриманої вирішальної функції $F(c, X(t))$ зі значенням еталонної $F^*(c, X(t))$ для даного моменту часу керування t . На заключній стадії настроювання в разі невідповідності значень вирішальної $F(c, X(t))$ та еталонної $F^*(c, X(t))$ функцій змінюють початковий вектор настроюваних параметрів c в бік зменшення похибки відпрацювання $\Delta(t)$ з подальшим приведенням її до припустимого значення Δ^* з урахуванням необхідного числа N перемикачів керуючого сигналу та координат $X_1(\Delta(t), \dot{x}(t))$ фазового стану динамічного об'єкта в момент першого перемикачів.

Спосіб настроювання системи "Adaline" при керуванні динамічним об'єктом реалізується за допомогою пристрою, який містить (див. фіг.2), як варіант конструктивного виконання, виконавчу частину 1, що складається з нейроконтролера 2, релейного елемента 3, динамічного об'єкта 4, вимірювального каналу 5, що складається з датчика положення 6, датчика швидкості 7, обчислювача похибки 8, системи настроювання нейроконтролеру 9, що складається із кодуючих блоків 10, 11, блоку пам'яті 12, обчислювача 13, пристрою логіки 14, що складається із лічильника числа перемикачів 15, фіксатора першого перемикачів 16, компаратора числа перемикачів 17, компаратора похибки 18, а також може бути включено блок зупину та початкових уставок 19.

Конструктивно вихід нейроконтролера 2 зв'язаний зі входом динамічного об'єкта 4 через релейний елемент 3. Вихід об'єкта 4 конструктивно зв'язаний зі входами датчиків положення 6 та швидкості 7. Вихід датчику 6 зв'язаний з сигнальними входами $\Delta(t)$ нейроконтролера 2 через обчислювач похибки 8 та кодуючий блок 10, а вихід датчика 7 з

сигнальними входами $\dot{x}(t)$ нейроконтролера 2 через кодуючий блок 11, виходи кодуючих блоків 10, 11 зв'язані зі входами вагових коефіцієнтів c , нейроконтролера 2 послідовно через блок пам'яті 12 та обчислювач 13. Для реалізації способу настроювання вагових коефіцієнтів системи "Adaline" при керуванні динамічним об'єктом пристрій додатково містить лічильник числа перемикачів 16, який зв'язаний з фіксатором першого перемикачів 16 і компаратором числа перемикачів 17, а також компаратор похибки 18. Фіксатор першого перемикачів 16 зв'язаний із блоком пам'яті 12, компаратори числа перемикачів 17 та похибки 18 зв'язані з обчислювачем 13. Пристрій, як варіант конструктивного виконання, може додатково містити пристрій зупину та початкових уставок 19, входи якого зв'язані з датчиками положення 6, швидкості 7, виходом компаратора числа перемикачів 17, а вихід 19 підключений до входу релейного елемента 3.

Пристрій, за допомогою якого реалізується спосіб настроювання вагових коефіцієнтів системи "Adaline" при керуванні динамічним об'єктом, працює таким чином.

Перед початком роботи системи керування (див. фіг.2) для об'єкта, що знаходиться в початковому стані $x(0)$, встановлюють припустиме значення похибки Δ^* і точне значення мінімального числа перемикачів N^* . Встановлюють також довільні значення вагових коефіцієнтів нейрорегулятора c_0 . На вхід системи подають завдання x_3 для відпрацювання. Момент часу t подачі завдання на систему керування вважають за початковий, тобто $t=0$. З цього моменту здійснюють розрахунок похибки і швидкості навантаження за допомогою датчиків положення 6, швидкості 7 та обчислювача похибки 8. Їх значення поступають на кодуючі блоки 10, 11, які перетворюють поточні значення похибки положення та швидкості навантаження об'єкта в цифровий код. Цей код поступає на сигнальні входи $\Delta(t)$ і $\dot{x}(t)$ нейроконтролера 2. На входи вагових коефіцієнтів c_i нейроконтролера поступають значення c_0 через обчислювач 13.

Нейроконтролер 2 за даними c_0 і $\Delta(t)$, $\dot{x}(t)$ обчислює значення деякої функції $F(c, X(t))$, яка в фазовому просторі має назву поверхні перемикачів, де $X(t)$ - вектор, компоненти якого складаються з цифрового коду сигналів $\Delta(t)=x_3(t)-x(t)$ і $\dot{x}(t)$. Знак функції $F(c, X(t))$ буде визначати знак сигналу керування $u(t)$ який формує релейний елемент 3, а саме

$u(t) = \begin{cases} +U, & \text{якщо } F(c, X(t)) > 0, \\ -U, & \text{якщо } F(c, X(t)) < 0, \\ U(t-0), & \text{якщо } F(c, X(t)) = 0. \end{cases} \quad (1)$	
---	--

Релейний елемент комутує напругу величиною $+U$ або $-U$ на вхід динамічного об'єкта 4 за законом (1). В (1) значення керуючої дії $u(t)$ зберігається рівним попередньому значенню, навіть якщо фазова точка системи знаходиться на лінії перемикачів, тобто $F(c, X(t))=0$. Керуюча дія $u(t)$ примушує об'єкт рухатися в сторону зменшення похибки $\Delta(t)$.

Значення вагових коефіцієнтів можуть приводити до таких ситуацій роботи системи:

- 1) "ковзний" режим (див. фіг.3, 4);
- 2) режим автоколивань (див. фіг.5, 6);
- 3) попадання об'єктом в коло припустимих похибок

$|\Delta_i(t)| \leq \Delta^*$ за необхідне число перемикачів N^* керуючої дії $u(t)$ (див. фіг.8).

Перші дві ситуації є похибковими, остання є бажаною (порівн. - оптимальну траєкторію об'єкта фіг.7 і фіг.8).

Розрізнення похибкових ситуацій здійснюється пристроєм логіки 14. Якщо лічильник числа перемикачів 15 фіксує зміну керуючої дії з високою частотою $N \gg N^*$, а сигнал похибки $\Delta(t)$ зменшується за величиною, але знак її відносно Δ^* не змінюється, то розпізнається ситуація 1, тобто система керування працює в "ковзному" режимі (див. фіг.3, 4). Фіксатором першого перемикачів 16 надається команда до блока пам'яті на запис координат $\Delta(t)$ і $\dot{x}(t)$ першого перемикачів. Обчислювач 13 здійснює корекцію вагових

коефіцієнтів c_i на величину сигналу першого перемикачів. Якщо разом зі зміною знаку керуючої дії здійснюється зміна знаку сигналу похибки $\Delta(t)$ відносно Δ^* , то розпізнається ситуація 2 - режим автоколивань (див. фіг.5, 6). За командою фіксатора 16 здійснюється запис фазової точки першого перемикачів до блока пам'яті 12. Обчислювач 13 здійснює корекцію вагових коефіцієнтів за правилом

$c_i = c_{i-1} - X_1(t) \text{sign} \Delta_{i-1} \quad (2)$	
---	--

де $X_1(t)$ - значення фазової точки в момент першого перемикачів, c_{i-1} - ваговий коефіцієнт на $(i-1)$ -му кроці настроювання системи, Δ_i - значення похибки на момент прийняття рішення про останів системи для чергового запуску системи, функція $\text{sign}()$

$\text{sign}(l) = \begin{cases} +1, & \text{якщо } l > 0, \\ -1, & \text{якщо } l < 0, \\ 0, & \text{якщо } l = 0. \end{cases} \quad (3)$	
---	--

Правило (2) діє кожного разу, коли не задовільняються умови оптимального режиму об'єкта, тобто не виконуються умови $N \leq N^*$ і $\Delta \leq \Delta^*$. Робота системи закінчується, якщо задовільняються вимоги $N \leq N^*$ і $\Delta \leq \Delta^*$ (див. фіг.8). Типовий характер зміни вагових коефіцієнтів c_i показаний на фіг.9.

В разі, коли розпізнана одна з похибкових ситуацій, не варто чекати тих результатів фазового вектора, коли система зупиниться в районі припустимих похибок Δ^* тому, що інформація для проведення корекції обчислювачем вже є, тобто числа N і X_1 вже відомі. Таким чином, при розпізнаванні похибкової ситуації система може бути зупинена та приведена в початковий стан з подальшою відповідною корекцією вагових коефіцієнтів c_i . Операція переведення об'єкту в початковий стан $X(0)$ здійснюється блоком зупину та початкових уставок 19 за інформацією обчислювача похибки 8, датчика швидкості 7, компаратора числа перемикачів 18. Вихідний сигнал блока 19 діє на релейний елемент 3, який встановлює об'єкт 4 в початковий стан, при цьому фазовий вектор становиться рівним початковому значенню $X(t)=X(0)$.

Результат випробування способу, що заявляється, можна відстежити за фіг.4, 6, 8. Так, на фіг.4 представлено розстройку вагових коефіцієнтів нейроконтролера в бік збільшення, що привело до "ковзного" режиму динамічного об'єкта з навантаженням; така сама розстройка в бік зменшення коефіцієнтів привела до режиму автоколивань (див. фіг.6). Після завершення процесу настроювання отримано квазіоптимальний за швидкодією процес керування (див. фіг.8). Порівняння "ковзного" режиму (див. фіг.4) з оптимальним (див. фіг.7) дозволяє оцінити програв в тривалості "ковзного" режиму, в цьому випадку він складає 29%. В той же час квазіоптимальний режим роботи, який отримано після процесу настроювання, програє оптимальному режиму тільки 3%. На процес

навчання нейроконтролера для динамічного об'єкта, який досліджувався, витрачено 5 ітерацій для початкової розстройки вагових коефіцієнтів в 100%, яку показано на фіг.3.

Підвищення ефективності застосування способу настроювання вагових коефіцієнтів системи "Adaline" при керуванні динамічним об'єктом, що заявляється, у порівнянні з прототипом, полягає в тому, що цей спосіб дозволяє підвищити точність відпрацювання завдання з мінімальними часовими витратами, зменшити тривалість настроювання нейроконтролера за рахунок додаткового контролю числа перемикачів та використання в якості навчальної точки фазової точки першого перемикачів сигналу керування. При цьому інформація для навчання нейроконтролера береться за поточною лінією перемикачів $F(c, X(t))$, що будується на кожному кроці навчання. Такий спосіб крім кращих характеристик відпрацювання об'єктом завдання має додаткову можливість здійснювати навчання в процесі функціонування системи при зміні параметрів об'єкта, наприклад при зміні навантаження або його початкового стану. В разі постійнодіючого завдання можна значно зменшити час навчання нейроконтролера за рахунок визначення похибкових ситуацій та дострокової корекції вагових коефіцієнтів нейроконтролера.

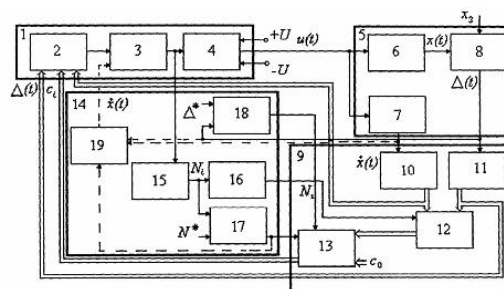
Джерела інформації:

1. Ashow M., Aboshosha A. Adaptive neural control of NPR // Proceeding of Al Azhar Engineering Fifth International Conference AEIC-97, Cairo, Egypt, December 19-22, 1997. - аналог.

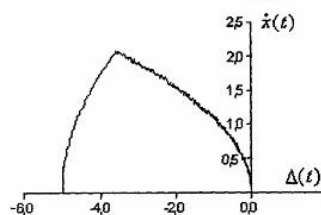
2. Widrow B., Groner G.F., Hu M.J., Smith F.W., Specht D., Talbert L.R. Practical application for adaptive data processing systems. - WESCON Techn. Papers, No 7, 11/4, 1963. - прототип.



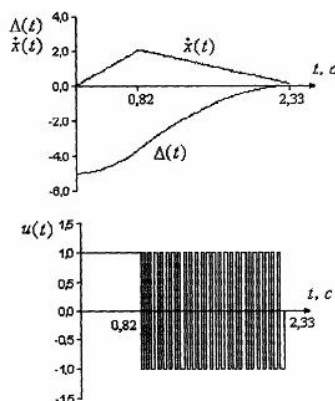
Фиг. 1



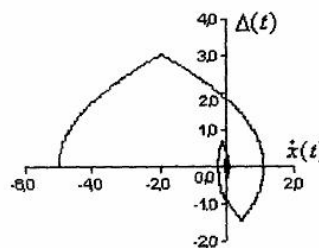
Фиг. 2



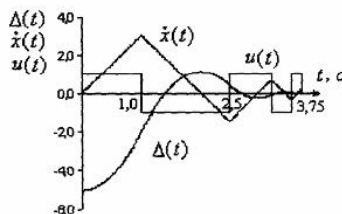
Фиг. 3



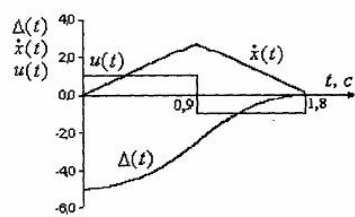
Фиг. 4



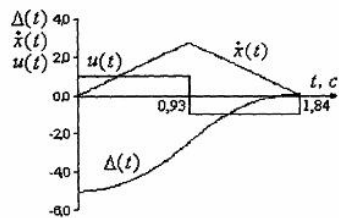
Фиг. 5



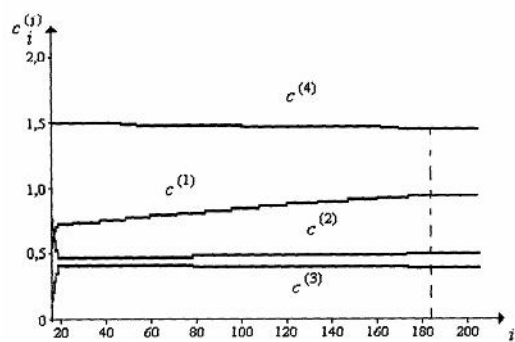
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9