

СИНТЕЗ ЦИФРОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ ПОНИЖЕНОГО ПОРЯДКУ ДЛЯ ЗАМКНУТИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НЕПЕРЕРВНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Актуальність. Складність цифрового регулятора замкнутих систем управління неперервними об'єктами визначається розмірністю математичної моделі об'єкта управління, яка подається у вигляді передаточної функції. На практиці перевага надається простим регуляторам, розмірність яких менша за розмірність об'єкта. Саме тому задача синтезу систем управління з використанням лінійних регуляторів низького порядку є предметом уваги багатьох дослідників.

Мета. Виклад результатів розробки методики синтезу цифрових регуляторів пониженого порядку з гарантованою якістю управління на основі редукованої передаточної функції об'єкта управління.

Метод. Спрощення регуляторів досягається за рахунок використання при синтезі редукованої передаточної функції об'єкта управління. Синтез пропонується виконувати в два етапи. На першому етапі здійснюється редукція передаточної функції об'єкта управління. Критерієм якості редукції є відповідність значень інтегральних оцінок якості перехідного процесу вихідної та спрощеної моделей об'єктів управління, замкнутих одиничним негативним зворотнім зв'язком системи автоматичного управління. Виконання критерію досягається забезпеченням відповідності непрямих показників якості перехідного процесу вихідної та редукованої моделей. На другому етапі реалізується безпосередній синтез цифрового регулятора. В роботі показано використання метода синтезу компенсаційних регуляторів.

Результати. Застосування викладеного підходу показано на прикладі синтезу цифрового регулятора для системи частотного автотістроювання. Наводяться результати цифрового моделювання.

Висновки. На відміну від відомих підходів, відповідності між початковою та спрощеною передаточними функціями досягається шляхом привласнення редукованій моделі значень непрямих показників якості перехідного процесу вихідної моделі, які визначаються за частотними характеристиками. Практична значущість роботи полягає у створенні методики синтезу простих лінійних цифрових регуляторів для замкнутих систем управління неперервними об'єктами.

Ключові слова: синтез, редукція, цифровий регулятор, передаточна функція, об'єкт управління, частотна характеристика.

НОМЕНКЛАТУРА

k_0 – коефіцієнт підсилення вихідної передаточної функції;

k – коефіцієнт підсилення редукованої передаточної функції;

T_i, T_j, T_k – постійні часу вихідної передаточної функції;

T_l, T_r – постійні часу редукованої передаточної функції;

ξ – коефіцієнт затухання;

p – оператор Лапласа;

h – інтервал часової дискретизації

q – порядок редукованої моделі;

r – порядок чисельника вихідної передаточної функції об'єкта управління;

m – кількість інерційних ланок у складі вихідної передаточної функції об'єкта управління;

s – порядок астатизму об'єкта управління;

v – порядок чисельника редукованої передаточної функції об'єкта управління;

$W_0(p)$ – вихідна передаточна функція об'єкта управління;

$W(p)$ – редукована передаточна функція об'єкта управління;

$W_{цр}(z)$ – дискретна передаточна функція цифрового регулятора;

J – інтегральна оцінка якості перехідного процесу;

$\omega_{зр}$ – частота зрізу;

$\Delta\varphi_0$ – запас стійкості за фазою;

$W_0(\omega)$ – амплітудно-частотна характеристика вихідного об'єкта управління;

$W(\omega)$ – амплітудно-частотна характеристика редукованої моделі об'єкта управління;

$\varphi(\omega)$ – фазочастотна характеристика редукованої моделі об'єкта управління;

ε – помилка системи в сталому режимі;

h – інтервал часової дискретизації;

x – поліноміальна вхідна дія;

y – вихідна дія системи;

$\Delta^i x$ – i -та ліва різниця від вхідної дії;

N – порядок вхідної дії;

σ – перерегулювання перехідної характеристики;

$W_\varepsilon(z)$ – передаточна функція за помилкою системи управління з цифровим регулятором;

$A(z)$ – поліном чисельника передаточної функції за помилкою системи управління з цифровим регулятором;

$C(z)$ – характеристичний поліном системи управління з цифровим регулятором;

Q_i – коефіцієнти характеристичного полінома системи управління з цифровим регулятором;

m_i, n_i – коефіцієнти передаточної функції цифрового регулятора.

ВСТУП

Одною з центральних задач теорії автоматичного управління є задача синтезу, в результаті рішення якої визначається склад, структура та параметри усіх пристроїв

системи автоматичного управління при умові відповідності заданому комплексу технічних вимог. При цьому однією з необхідних умов синтезу є наявність математичної моделі об'єкту управління. Для систем з одним входом і одним виходом такою моделлю, як правило, являється передаточна функція. У більшості випадків порядок передаточної функції об'єкту визначає складність регулятора. На практиці викликають інтерес регулятори низького порядку з фіксованою структурою (прості регулятори) [1]. Спрощення регулятора актуальне не лише зниженням обчислювальної складності, але і можливістю формувати алгоритми управління на базі простих контролерів [1, 2].

Питанням синтезу регуляторів пониженого порядку присвячено досить велику кількість публікацій. Викладені в них методи можна розділити на два класи: прямі та непрямі. Прямі методи передбачають розрахунок регулятора за допомогою оптимізації його параметрів або проведення будь-якої іншої процедури, що супроводжується певними обчислювальними витратами. Прямі методи, як правило, дозволяють формувати і структуру, і якість управління, але немає ніяких гарантій, що регулятор, який синтезується, буде побудовано [1].

Непрямі методи припускають синтез регулятора високого порядку з подальшим його спрощенням або редукцією моделі об'єкту управління з подальшим використанням результату для синтезу регулятора. Непрямі методи завжди дозволяють побудувати регулятор пониженої розмірності, проте не гарантують ні заданої структури регулятора, ні бажаної якості управління [1]. Зважаючи на це задача синтезу цифрових регуляторів пониженої розмірності залишається актуальною.

Метою статті є виклад результатів розробки методики синтезу цифрових регуляторів пониженого порядку з гарантованою якістю управління на основі редукованої моделі об'єкту управління, поданої у вигляді передаточної функції. Поставлена мета досягається поетапним розв'язанням задач редукції моделі об'єкту управління та синтезу структури регулятора.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Допускається, що неперервний лінійний об'єкт замкненої системи автоматичного управління описується передаточною функцією

$$W_o(p) = \frac{k_0 \prod_{j=0}^r (1 + T_j p)}{p^s (1 + 2\xi T_k p + T_k^2 p^2) \prod_{i=1}^m (1 + T_i p)}. \quad (1)$$

Вхідна дія описується поліноміальною моделлю

$$x(n) = x(n-1) + \sum_{i=1}^N \frac{h^i}{i!} \Delta^i x(n-1). \quad (2)$$

Синтезувати передаточну функцію цифрового регулятора пониженої розмірності $W_{up}(z)$, який надасть системі задане перерегулювання σ перехідної характеристики та нульову помилку в сталому режимі $\varepsilon(n) = 0$.

Пониження порядку регулятора досягти шляхом використання при синтезі спрощеної передаточної функції об'єкта управління наступного виду

$$W(p) = \frac{k \prod_{r=0}^v (1 + T_r p)}{p^s \prod_{l=1}^{q-s} (1 + T_l p)}, \quad (3)$$

тут $q < s + m + 2$; $v \leq q$.

Критерієм якості редукції є відповідність значень інтегральних оцінок якості перехідного процесу вихідної J_0 та редукованої J моделей об'єктів управління [3, 4] замкнутих одиничним негативним зворотним зв'язком системи автоматичного управління.

2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

В теорії управління задача редукції моделі займає одне з центральних місць. Проте, евристичні методи, які засновані на спрощенні моделі виходячи з фізичних та інженерних міркувань дають досить грубий результат [3, 4]. Методи апроксимації, що ґрунтуються на розкладанні передаточної функції в ряд з подальшим відкиданням складових, які найменше впливають на динамічні властивості об'єкту [5, 6], також є досить наближеними. Аналітичні методи передбачають зменшення розмірності моделі шляхом відкидання її елементів відповідно до заданого критерію. Прикладом подібної редукції є виключення деяких змінних стану в матричному описі [7, 8, 9]. Незважаючи на математичну суворість подібний підхід досить складний внаслідок високої обчислювальної складності. Альтернативним є числовий метод, який реалізується за допомогою ЕОМ [4]. Подібна процедура передбачає наявність відповідного програмного забезпечення, яке реалізує той або інший числовий метод, і не гарантує збіжності процесу розрахунків. Таким чином, розробка аналітичних методів узагальненого редуктування, що не потребують для своєї реалізації складних математичних розрахунків, зберігає свою актуальність.

Задачі синтезу цифрових регуляторів в теорії управління також є класичними. В літературі описано ряд відомих методів, серед яких: метод розміщення нулів і полюсів [4, 12], частотний метод [11, 12], метод ПД регулятора [3, 11, 12], метод синтезу компенсаційних регуляторів [3, 13]. При наявності моделі об'єкта управління кожен із зазначених методів може бути використаний для синтезу цифрового регулятора.

3 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Редукція моделі об'єкта управління. В основу підходу, який пропонується, покладено твердження [4], що адекватність математичних моделей початкового та редукованого об'єктів, охоплених одиничним негативним зворотним зв'язком, визначається близькістю їх перехідних характеристик. Відомо, що для оцінки якості перехідного процесу можуть використовуватися непрямі показники [10], до яких належать: значення частоти зрізу ω_{zp} , як оцінка швидкодії замкнутої системи; запас стійкості за фазою $\Delta\phi_0(\omega_{zp})$, як міра коливальності пе-

рехідної характеристики; запас стійкості за амплітудою, що визначається на частоті ω_π , при якій система знаходиться на межі стійкості $\varphi_0(\omega_\pi) = -\pi$. У зв'язку з цим реалізувати редукцію передбачається можливим шляхом привласнення редукованій моделі значень частоти зрізу $\omega_{зр}$, фазочастотної $\varphi_0(\omega_{зр})$ та амплітудно-частотної $W_0(\omega_\pi)$ характеристик, як параметрів, що визначають якість перехідного процесу реальної моделі. Значення частоти зрізу розраховується з рішення рівняння

$$W_0(\omega) = 1.$$

Для виключення складності математичних перетворень, частоту зрізу пропонується визначати шляхом побудови асимптотичної логарифмічної амплітудно-частотної характеристики при виконанні рівності

$$20 \lg W_0(\omega) = 0.$$

Значення $\varphi_0(\omega_{зр})$ та ω_π розраховуються із співвідношень

$$\varphi_0(\omega_{зр}) = -s \frac{\pi}{2} - \sum_{i=1}^m \arctg(\omega_{зр} T_i) - \arctg \frac{2\xi T_k \omega_{зр}}{1 - \omega_{зр}^2 T_k^2} + \sum_{i=0}^r \arctg(\omega_{зр} T_j), \quad (4)$$

$$\varphi_0(\omega_\pi) = -\pi. \quad (5)$$

Використовуючи отримані значення $\omega_{зр}$, $W_0(\omega_\pi)$ та $\varphi_0(\omega_{зр})$ в якості величин, що визначають динамічні властивості редукованої моделі, вирази для розрахунку коефіцієнта підсилення та постійних часу редукованої передаточної функції (3) розраховуються із спільного рішення рівнянь

$$W(\omega_{зр}) = 1, \quad (6)$$

$$\varphi(\omega_{зр}) = \varphi_0(\omega_{зр}), \quad (7)$$

$$W(\omega_\pi) = W_0(\omega_\pi). \quad (8)$$

Розв'язок системи рівнянь (6)–(8) дозволяє визначити передаточну функцію з трьома невідомими коефіцієнтами. В умовах, коли кількість невідомих перевищує кількість рівнянь, доцільно частину складових початкової моделі, які найбільш впливають на динамічні властивості системи, зберегти у складі редукованої передаточної функції. Такий підхід дає можливість отримувати передаточні функції заданого порядку. Передаточна функція об'єкту управління, яка спрощена за викладеною методикою, може використовуватися для синтезу цифрового регулятора пониженого порядку.

Синтез структури регулятора. Передаточну функцію цифрового регулятора $W_{ур}(z)$ пропонується [13] визначати з виразу

$$W_{ур}(z) = \frac{C(z) - A(z)}{A(z)W(z)}, \quad (9)$$

де

$$A(z) = (1 - z^{-1})^{N+1}, \quad (10)$$

$$C(z) = \prod_{i=1}^{N+1} (1 + \Theta_i z^{-1}). \quad (11)$$

4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

Синтез цифрового регулятора розглядається на прикладі. Синтезується цифровий регулятор пониженої розмірності для системи частотного автопідстроювання, передаточна функція безперервної частини якої має вигляд

$$W_0(p) = \frac{20}{p(1 + 0,02p)(1 + 0,08p)(1 + 0,03p)}.$$

Вхідна дія описується рівнянням (2) при $N = 1$. Критерій якості: в сталому режимі $\varepsilon(n) = 0$, в перехідному режимі $\sigma \leq 20\%$.

Розв'язок. За графіком логарифмічної амплітудно-частотної характеристики вихідної моделі (рис. 1) визначається частота зрізу $\omega_{зр} = 15$ рад/с.

З виразу (4) розраховується значення фазочастотної характеристики на частоті зрізу $\varphi_0(\omega_{зр}) = -171^\circ$.

В якості редукованої вибирається передаточна функція [4] наступного виду

$$W(p) = \frac{k}{p(1 + Tp)}, \quad (12)$$

тут значення коефіцієнта підсилення k та сталої часу T підлягають визначенню.

Амплітудно-частотна $W(\omega)$ та фазочастотна $\varphi(\omega)$ характеристики редукованої моделі (12) описуються рівняннями

$$W(\omega) = \frac{k\sqrt{1 + \omega^2 T^2}}{\omega(1 + \omega^2 T^2)}, \quad \varphi(\omega) = \arctg\left(\frac{1}{\omega T}\right).$$

За виразами (6) та (7) розраховуються коефіцієнти редукованої передаточної функції: $k = 87c^{-1}$, $T = 0,51$ с.

Відповідно (12) визначається дискретна передаточна функція об'єкту управління з урахуванням екстраполятора нульового порядку

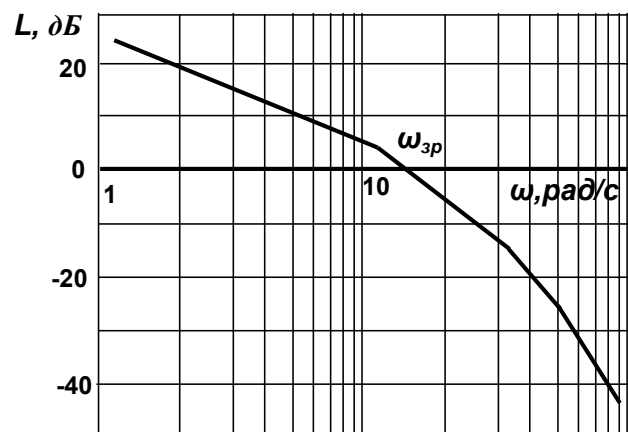


Рисунок 1 – Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика вихідної моделі об'єкта

$$W(z) = \frac{c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 - d_2 z^{-1})},$$

де $c_1 = \frac{\alpha}{b^2}(bh - 1 + d_2)$; $c_2 = \frac{\alpha}{b^2}(1 - d_2 - bhd_2)$;

$$d_2 = e^{-bh}; \alpha = \frac{k}{T}; b = \frac{1}{T}.$$

Для досягнення заданого показника якості системи з (10) та (11) записуються поліноми

$$A(z) = (1 - z^{-1})^2, C(z) = (1 - Q_1 z^{-1})(1 - Q_2 z^{-1}).$$

За виразом (9) синтезується передаточна функція цифрового регулятора

$$W_{up}(z) = \frac{m_0 + m_1 z^{-1} + m_2 z^{-2}}{1 + n_1 z^{-1} + n_2 z^{-2}},$$

де $m_0 = \frac{2 - Q_1 - Q_2}{c_1}$; $m_1 = -\frac{2d_2 - d_2 Q_1 - d_2 Q_2 - Q_1 Q_2 + 1}{c_1}$;

$$m_2 = \frac{d_2(1 - Q_1 Q_2)}{c_1}; n_1 = \frac{c_2 - c_1}{c_1}; n_2 = -\frac{c_2}{c_1}.$$

Коефіцієнти характеристичного рівняння розраховувались методом розміщення нулів та полюсів [12]. Заданому перерегулюванню задовольняють корені характеристичного рівняння $z_1 = 0,73$ та $z_2 = 0,75$, яким відповідають коефіцієнти $Q_1 = 0,73$ та $Q_2 = 0,75$.

5 РЕЗУЛЬТАТИ

Ступінь наближення результату редукції до вихідної моделі оцінювалась шляхом математичного моделювання. При моделюванні неперервних частин системи використовувались рекурентні формули за методом трапецій [4]. Результати моделювання у вигляді перехідних характеристик вихідної та спрощеної моделей, охоплених від'ємним зворотним зв'язком, приведені на рис. 2 та 3. Значення інтегральних квадратичних оцінок якості перехідного процесу відповідно дорівнюють: $J_0 = 0,9899$ та $J = 0,9732$.

Оцінка ефективності синтезованої цифрової системи управління також проводилась шляхом математичного

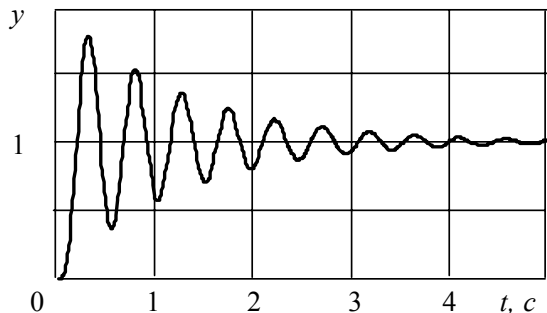


Рисунок 2 – Перехідна характеристика системи управління з вихідною моделлю об'єкта

моделювання при таких умовах: крок моделювання $h_0 = 0,001c$; крок дискретизації $h = 0,2c$. Результати моделювання у вигляді перехідної характеристики при $x(n) = 1$ та графіка зміни помилки системи ϵ при лінійній вхідній дії $x(n) = nh$ приведені на рис. 4 та 5.

Використання у складі замкнутої системи управління цифрового регулятора, синтезованого за викладеною методикою, призводить до покращення динамічних властивостей системи. При заданих вхідних діях в сталому режимі помилка дорівнює нулю. Цифровий регулятор надає системі астатизм другого порядку.

6 ОБГОВОРЕННЯ

Отримані результати показують достатньо високу степінь близькості між вихідною та спрощеною моделями об'єктів управління. На відміну від відомих методів редукції моделей об'єктів управління викладений підхід не потребує великих обчислень для своєї реалізації. Рішення отримується шляхом розв'язання системи алгебраїчних рівнянь.

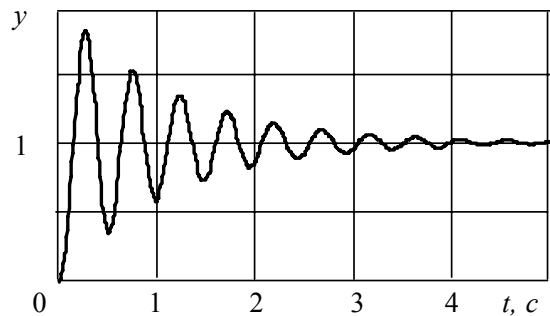


Рисунок 3 – Перехідна характеристика системи управління з редукованою моделлю об'єкта

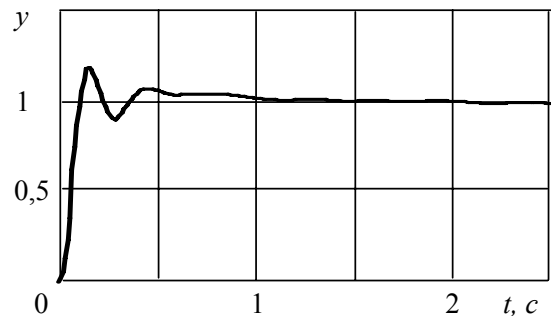


Рисунок 4 – Перехідна характеристика цифрової системи

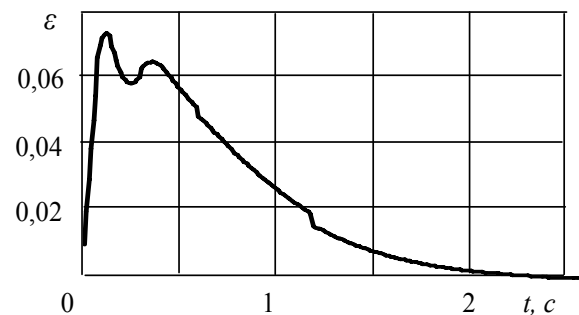


Рисунок 5 – Помилка цифрової системи при лінійній вхідній дії

Недоліком викладеного підходу є те, що він може бути задіяний лише для стійких об'єктів управління. Крім того, якщо стоїть задача спрощення моделі до завчасно заданого порядку, виникає необхідність введення ряду припущень завдяки яким кількість невідомих параметрів редукованої моделі приводиться у відповідність до кількості рівнянь у системі, яка підлягає розв'язанню. Розрахунки ускладнюються при підвищенні порядку редукованої моделі. Якщо модель об'єкта управління подано у просторі стану, доцільно здійснити перехід до передаточної функції за допомогою любого відомого методу.

Результати застосування викладеної методики спрощення моделей об'єктів управління складають основу для синтезу цифрових регуляторів. В роботі пропонується синтез регулятора здійснювати методом [13], який відноситься до класу компенсаційних [3, 11]. Метод дозволяє синтезувати цифрові регулятори виходячи із необхідної якості управління як в сталому, так і в перехідному. В загальному випадку синтез регулятора може виконуватися любым відомим методом.

ВИСНОВКИ

У роботі викладено порядок синтезу цифрових регуляторів пониженого порядку для автоматичних слідкувальних систем. В основу підходу покладено спрощення передаточної функції об'єкта управління з подальшим використанням отриманого результату для синтезу регулятора.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що при побудові редукованої моделі об'єкта управління відповідність між початковою та редукованою передаточними функціями досягається шляхом використання непрямих показників якості перехідного процесу, які визначаються за частотними характеристиками.

Практична цінність отриманих результатів полягає у створенні теоретико-методологічної основи для синтезу цифрових регуляторів низької структурної складності, які реалізують прості алгоритми управління.

Перспективами подальших досліджень є розвинення викладеного підходу для ідентифікації математичних моделей об'єктів управління за перехідними характеристиками, які отримуються експериментально.

ПОДЯКИ

Робота виконана відповідно до плану наукової роботи Житомирського військового інституту імені С. П. Ко-

Зимчук І. В.

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій і кібербезпеки Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С. П. Королева, Житомир, Україна

СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ПОНИЖЕННОГО ПОРЯДКА ДЛЯ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Актуальность. Сложность цифрового регулятора замкнутых систем управления непрерывными объектами определяется размерностью математической модели объекта управления, которая представляется в виде передаточной функции. На практике более предпочтительными являются простые регуляторы, размерность которых меньше размерности объекта. Именно поэтому задача синтеза систем управления с использованием линейных регуляторов низкого порядка является предметом внимания многих исследователей.

Цель. Изложение результатов разработки методики синтеза цифровых регуляторов пониженного порядка с гарантированным качеством управления на основе редуцированной передаточной функции объекта управления.

Метод. Упрощение регуляторов достигается путем использования при синтезе редуцированной передаточной функции объекта управления. Синтез предлагается выполнять в два этапа. На первом этапе осуществляется редукция передаточной функции объекта управления. Критерием качества редукации является соответствие значений интегральных оценок качества переходного процесса исходной и упрощенной моделей объектов управления, замкнутых единичной негативной обратной связью системы автоматического управления. Выполнение критерия достигается обеспечением соответствия косвенных показателей качества переходного процесса

рольова на 2016 рік, носить ініціативний характер та виконана без спонсорської допомоги.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Некоторые методы синтеза регуляторов пониженного порядка и заданной структуры / [В. А. Бойченко, А. П. Курдюков, В. Н. Тимин и др.] // Управление большими системами: сборник трудов. – М. : ИПУ РАН, 2007. – Вып. 19. – С. 23–126.
2. Романова И. К. Современные методы редукиции нелинейных систем и их применение для формирования моделей движущихся объектов / И. К. Романова // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2012. – С. 122–133.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – М. : Мир, 1984. – 541 с.
4. Гостев В. И. Оптимальные системы управления с цифровыми регуляторами: справочник / В. И. Гостев, В. И. Стеклов, С. Н. Склярченко. – К. : КИРЦ «Сенс», 1995. – 484 с.
5. Котляров В. О. Синтез наблюдателей с редуцированными моделями электропривода / В. О. Котляров, Л. А. Жилевская // Электромеханика и энергосберегающие системы. – 2012. – №3 (19). – С. 114–115.
6. Мироновский Л. А. Функциональное диагностирование динамических систем / Л. А. Мироновский. – СПб, 1998. – 257 с.
7. Мэн Цинсун. Метод упрощения моделей для сложных сбалансированных систем управления / Мэн Цинсун, К. М. Шестаков // Вестник БГУ. Сер. 1. – 2008. – № 3. – С. 44–51.
8. Guiver C. Bounded real and positive real balanced truncation for infinite-dimensional systems / C. Guiver, R. Mark // Mathematical Control and Related Fields (MCRF). – 2013. – Vol. 3, Issue 1. – P. 83–119.
9. Monshizadeh N. A Simultaneous Balanced Truncation Approach to Model Reduction of Switched Linear Systems / N. Monshizadeh, L. T. Harry, M. Kanat // IEEE Transactions On Automatic Control. – 2012. – Vol. 57, № 12. – P. 3118–3131.
10. Арсеньев Г. Н. Радиоавтоматика. Ч. 1. Теория линейных непрерывных систем автоматического управления РЭС. Учебник для вузов / Г. Н. Арсеньев, Г. Ф. Зайцев. – М. : САЙНС-ПРЕСС, 2008. – 480с.
11. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления / Б. Куо. – М. : Машиностроение, 1986. – 448 с.
12. Поляков К. Ю. Основы теории цифровых систем управления : учеб. пособие / К. Ю. Поляков. – СПб. : СПбГМТУ, 2006. – 161 с.
13. Зімчук І. В. Синтез алгоритмів цифрового управління для автоматичних слідкувальних систем / І. В. Зімчук, В. І. Іщенко, І. О. Канкін // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – № 1. – С. 32–38.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2016.

Після доробки 06.02.2017.

исходной и редуцированной моделей. На втором этапе реализуется непосредственный синтез цифрового регулятора. В работе показано использование метода синтеза компенсационных регуляторов.

Результаты. Применение изложенного подхода показано на примере синтеза цифрового регулятора для системы частотной автоподстройки. Приводятся результаты цифрового моделирования.

Выводы. В отличие от известных подходов, соответствие между исходной и упрощенной передаточными функциями достигается путем присвоения редуцированной модели значений косвенных показателей качества переходного процесса исходной модели, которые определяются по частотным характеристикам. Практическая значимость работы заключается в создании методики синтеза простых линейных цифровых регуляторов для замкнутых систем управления непрерывными объектами.

Ключевые слова: синтез, редукция, цифровой регулятор, передаточная функция, объект управления, частотная характеристика.

Zimchuk I. V.

PhD., Associate Professor, Associate Professor of Department of Computer Integrated Technologies and Cybernetic Safety, Korolyov Zhytomyr Military Institute, Zhytomyr, Ukraine

SYNTHESIS THE DIGITAL REGULATORS OF LOWERED ORDER FOR THE RESERVED SYSTEMS MANAGEMENT BY CONTINUOUS OBJECTS

Context. Complication of digital regulator of the closed control systems by the continuous objects is determined by the dimension of mathematical model of control object, which given as a transmission function. In practice more preferable are simple regulators a dimension of which is a less dimension of object. For this reason a task of synthesis the control system with use the linear regulators of subzero order is the article attention of many researchers.

Objective. Exposition the results of development methodology by synthesis of digital regulators the lowered order with the assured control quality on the basis of reduction transmission function of control object.

Method. Simplification of regulators is arrived at by using for the synthesis the reduction transmission function of control object. A synthesis it is suggested to execute in two stages. On the first stage reduction of transmission function of management object comes true. The criterion quality of reduction is accordance the values of integral estimations quality of transient initial and simplified models the management objects reserved by the single negative feed-back of the automatic control system. The quality criterion is arrived at by providing the accordance of indirect indexes quality of transient initial and reduction models. On the second stage the direct synthesis of digital regulator will be realized. The use of synthesis method of compensative regulators is in-process shown.

Results. Application of the expounded approach is shown on the example of synthesis the digital regulator for FLL system. Work example and simulation results are presented.

Conclusions. Unlike the known approaches, accordance between initial and simplified transmission functions arrived at by the appropriation to reduction model the values of indirect indexes quality of initial model transient, which are determined on frequency descriptions. Practical meaningfulness of work consists in creation the methodology synthesis of simple linear digital regulators for reserved control system continuous objects.

Keywords: synthesis, reduction, digital regulator, transmission function, management object, frequency description.

REFERENCES

- Bojchenko V. A., Kurdyukov A. P., Timin V. N. i dr. Nekotorye metody sinteza regulyatorov ponizhennogo poryadka i zadannoj struktury, *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov*. Moscow, IPU RAN, 2007, Vyp. 19, pp. 23–126.
- Romanova I. K. Sovremennyye metody redukcii nelinejnyh sistem i ih primeneniye dlya formirovaniya modelej dvizhushchih ob"ektov, *Vestnik MGTU im. N. E.H. Baumana. Ser. "Mashinostroenie"*, 2012, pp. 122–133.
- Izerman R. *Cifrovyye sistemy upravleniya*. Moscow, Mir, 1984, 541 p.
- Gostev V. I., Sklyarenko S. N. *Optimal'nye sistemy upravleniya s cifrovymi regulyatorami: spravochnik*. Kiev, KIRC «Sens», 1995, 484 p.
- Kotlyarov V. O., Zhilevskaya L. A. Sintez nablyudatelej s reducirovannymi modelyami ehlektroprivoda, *Elektromekhanichni i energozberigayuchi sistemi*, 2012, No. 3 (19), pp. 114–115.
- Mironovskij L. A. *Funkcional'noe diagnostirovanie dinamicheskikh sistem*. Sankt-Peterburg, 1998, 257 p.
- Mehn Cinsun, Shestakov K. M. Metod uproshcheniya modelej dlya slozhnyh sbalansirovannyh sistem upravleniya, *Vestnik BGU. Ser. 1*, 2008, No. 3, pp. 44–51.
- Guiver C., Mark R. Bounded real and positive real balanced truncation for infinite-dimensional systems, *Mathematical Control and Related Fields (MCRF)*, 2013, Vol. 3, Issue 1, pp. 83–119.
- Monshizadeh N., Harry L. T., Kanat M. A Simultaneous Balanced Truncation Approach to Model Reduction of Switched Linear Systems, *IEEE Transactions On Automatic Control*, 2012, Vol. 57, No. 12, pp. 3118–3131.
- Arsen'ev G. N., Zajcev G. F. *Radioavtomatika. CH. 1. Teoriya linejnyh nepreryvnyh sistem avtomaticheskogo upravleniya REHS. Uchebnik dlya vuzov*. Moscow, SAJNS-PRESS, 2008, 480 p.
- Kuo B. *Teoriya i proektirovanie cifrovyyh sistem upravleniya*. Moscow, Mashinostroenie, 1986, 448 p.
- Polyakov K. YU. *Osnovy teorii cifrovyyh sistem upravleniya: Ucheb. Posobie*. Sankt-Peterburg, SPbGMTU, 2006, 161 p.
- Zimchuk I. V., Ishchenko V. I., Kankin I. O. Sintez algoritmiv cifrovogo upravlinnya dlya avtomatichnih slidkuval'nih sistem, *Sistemi doslidzhennya ta informacijni tekhnologii*, 2015, No. 1, pp. 32–38.