

Обробка інформації в складних технічних системах

УДК 681.3

С.В. Герасимов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТИВНОГО МЕТОДУ СИНТЕЗУ ПАРАМЕТРІВ КОНТУРУ КОРИГУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Розв'язується задача вибору оптимальної номенклатури параметрів для забезпечення перенастроювання контуру коригування заданої структури з метою отримання потрібної якості управління при зміні динаміки роботи системи управління. Наведено приклад застосування розробленого методу синтезу параметрів контуру коригування системи управління та результати перевірки його на адекватність.

Ключові слова: синтез, система управління, контур коригування, адаптивний метод.

Вступ

Постановка проблеми. В процесі проектування та експлуатації систем автоматичного регулювання та управління виникає задача перенастроювання параметрів контурів заданої структури з метою забезпечення потрібної якості регулювання (управління) при зміні динаміки роботи системи або умов експлуатації. Так, наприклад, фазочастотна характеристика (ФЧХ) електричного ланцюга показує залежність зсуву за фазою між гармонічними коливаннями на виході та вході цього ланцюга від частоти гармонійних коливань на вході та використовується для оцінки фазових викривлень форми складного сигналу, які пов'язані з неоднаковою затримкою за часом його окремих гармонійних складових при їх проходженні всередині ланцюга. Особливо жорсткі вимоги пред'являють до ФЧХ радіотехнічних систем, які засновані на фазових методах обробки сигналів, систем багатоканального зв'язку та вимірювальних пристроїв [1].

Зміни в параметрах системи управління, які викликані зовнішнім впливом, можуть суттєво змінити її ФЧХ і призвести до зменшення ефективності використання.

Тому, однієї з практичних задач синтезу систем управління є визначення параметрів контурів коригування заданої структури, які забезпечують максимум ФЧХ в діапазоні $[0, \omega_0]$ (ω_0 – частота нульової фази) при додатковому обмеженні – збереженні постійного значення ω_0 (наприклад, при збереженні незмінного коефіцієнта підсилення).

Аналіз літератури. В літературі [1 – 4] наведені відомі методи синтезу параметрів систем управ-

ління. Головним недоліком запропонованих методів є не врахування можливостей перенастроювання параметрів системи управління залежно від динамічних змін. Як правило, розглянуті методи дозволяють синтезувати оптимальні системи управління для визначених (потрібних) умов і не дозволяють оперативно вносити коригування в параметри системи для адаптації до зовнішніх змін.

Мета статті полягає в розробці адаптивного методу синтезу параметрів контуру коригування системи управління та в проведенні перевірки його на достовірність (адекватність).

Основна частина

Адаптивний метод синтезу параметрів контуру коригування системи управління

В загальному вигляді задачу перенастроювання параметрів контуру системи управління заданої структури з метою забезпечення необхідної якості управління можна сформулювати наступним чином.

Нехай $u(q_1, \dots, q_n)$ – фазова частотна характеристика; q_1, \dots, q_n – доступні для регулювання параметри контуру коригування. Необхідно отримати максимальне значення функції $u(q_1, \dots, q_n)$ при заданій частоті ω_1 , або максимальне значення цієї функції в точці максимуму. Задача ускладнюється тим, що накладається додатка умова – частота нульової фази повинна бути незмінною ($\omega_0 = \text{const}$).

В математичній постановці задача зводиться до наступного: необхідно знайти параметри q_1, \dots, q_n , які забезпечують екстремум функції $u(\omega_1, q_1, \dots, q_n)$ при додатковій умові: $y_1(q_1, \dots, q_n) = \text{const}$.

Якщо відомі аналітичні залежності $y(q_1, \dots, q_n)$ задача може бути розв'язана відомими методами за допомогою ЕОМ.

Однак в багатьох випадках вказані залежності занадто громіздкі, що ускладнює складання програм; крім того, часто системи бувають нелінійними або такими складними, що неможливо з достатньою точністю отримати їх характеристики в аналітичному вигляді, тоді доцільне комбіноване застосування експериментальних і розрахункових методів рішення задачі.

Розглянемо приріст величини Δy в деякій точці $y(q_1^0, \dots, q_n^0) = y^0$

$$\Delta y = \sum_{j=1}^n y'_j(q^0) \cdot \Delta q_j ; y'_j(q^0) = \left. \frac{\partial y}{\partial q_j} \right|_{q=q^0} ,$$

де $y'_j(q^0)$ – експериментально отримані функції чутливості.

Умова $y_1(q_1, \dots, q_n) = \text{const}$ для приростів записується у вигляді:

$$\sum_{j=1}^n y'_j(q^0) \cdot \Delta q_j = 0 ; y'_j = \left. \frac{\partial y_1}{\partial q_j} \right|_{q_j=q^0} . \quad (1)$$

Приріст Δq_j на кожному кроці знайдемо з умови, що величина Δy приймає максимальне значення в області $\sum_{j=1}^n \Delta q_j^2 = R^2$ при додатковій умові (1).

Геометричний зміст полягає в тому, що необхідно знайти з усіх векторів $\Delta \vec{q}$, які знаходяться всередині сфери $\sum_{j=1}^n \Delta q_j^2 = R^2$, той, при якому величина функції $y(q_1, \dots, q_n)$ має екстремуму при додатковій умові (1).

Запропонований метод для знаходження максимуму функції з додатковими умовами є узагальненням “метода градієнта” сумісно з методом невізначених множників Лагранжа для визначення умовного екстремуму [5].

Для розв'язання задачі складемо функцію Лагранжа Ψ [5]:

$$\Psi = \sum_{j=1}^n y'_j \Delta q_j - \lambda \sum_{j=1}^n y'_{1j} \Delta q_j - \frac{1}{2} \mu \sum_{j=1}^n \Delta q_j^2 .$$

Розрахуємо похідну $\partial \Psi / \partial q_j$ і дорівнюємо її нулю, отримаємо:

$$\Delta q_j = \frac{1}{\mu} (y'_j - \lambda y'_{1j}) , \quad (2)$$

де μ – масштабний коефіцієнт (коефіцієнт узгодження).

Коефіцієнт λ знайдемо з виразу (1) після підстановки в нього (2)

$$\sum_{j=1}^n y'_{1j} (y'_j - \lambda y'_{1j}) = 0 ,$$

тоді

$$\lambda = \frac{\sum_{j=1}^n y'_{1j} y'_j}{\sum_{j=1}^n (y'_{1j})^2} . \quad (3)$$

Формули (2) і (3) є розв'язком поставленої задачі та представляють адаптивний метод синтезу параметрів контуру коригування.

Експериментальна перевірка запропонованого методу

Практична перевірка запропонованого методу проводилась за допомогою контуру коригування, представленого на рис. 1, з параметрами: $R_1 = 5$ кОм; $R_2 = 2,5$ кОм; $R_3 = 47$ кОм; $R_4 = 1$ кОм; $C_1 = 4$ мкФ; $C_2 = 15$ мкФ. За рахунок зміни параметрів контуру необхідно підняти ФЧХ даного контуру до максимального значення в діапазоні частот $[0, \omega_0]$, при цьому частота ω_0 залишається незмінною.

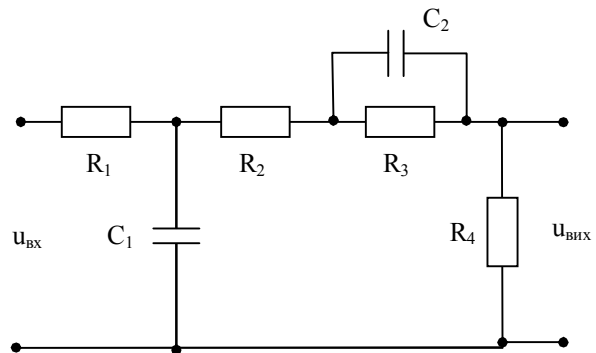


Рис. 1. Контур коригування

В математичній постановці задачу сформулюємо наступним чином: нехай $y(\omega, q_1, \dots, q_n)$ – ФЧХ контуру коригування. Необхідно визначити максимум характеристики при частоті ω_1 з діапазону $[0, \omega_0]$ при умові, що нульова частота ω_0 є незмінною.

Для практичної реалізації методу необхідно врахувати наступне.

Рационально мати справу з приведеними до номінальних значень величинами приросту і функцій. Отже, якщо x_j – розмірні значення параметрів, а ϕ і ϕ_1 – розмірні значення функцій, то

$$q_j = x_j / x_{j\text{ном}} ; \Delta q_j = \Delta x_j / x_{j\text{ном}} ; \quad (4)$$

$$y = \phi / \phi_{\text{ном}} ; y_1 = \phi_1 / \phi_{1\text{ном}} ,$$

де $x_{j\text{ном}}$; $\phi_{\text{ном}}$; $\phi_{1\text{ном}}$ – номінальні значення параметрів функцій.

Тоді

$$y'_j = \frac{x_{j\text{ном}}}{\varphi_{\text{ном}}} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x_j}; \quad y'_{1j} = \frac{x_{j\text{ном}}}{\varphi_{1\text{ном}}} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x_j}.$$

2. Коефіцієнт масштабу μ необхідно узяти з умови, що величини Δq_j , які визначаються умовою (4), не виходять за границі допустимої області.

Ця умова визначає мінімальне значення Δq_j (мінімальний шаг).

Потім, змінюючи шаг, визначимо значення коефіцієнту μ , для якого Δu буде максимальним, тобто, відхилення

$$y'_{1j} = \frac{y'_j - \lambda y'_{1j}}{\Delta q_{j\text{доп}}}.$$

Тоді коефіцієнт μ є максимальним значенням отриманих відхилень. Знак визначається порівнянням значень величини Δu , які розраховані для позитивних і негативних μ .

3. Значення величини Δu обчислимо за формулою:

$$\Delta u = \frac{1}{\mu} \sum_{j=1}^n y'_j (y'_j - \lambda y'_{1j}) = \frac{1}{\mu} \left(\sum_{j=1}^n (y'_j)^2 - \lambda \sum_{j=1}^n y'_j \cdot y'_{1j} \right).$$

Визначення параметрів контуру, які задовольняють вимогам, проводились двома способами – аналітичним і експериментальним.

Задача розв'язується в наступній послідовності.

Спочатку розраховується частотна характеристика контуру коригування $W(\omega)$.

Вираз для передатної функції контуру коригування має вигляд:

$$\varphi^\circ(\omega)$$

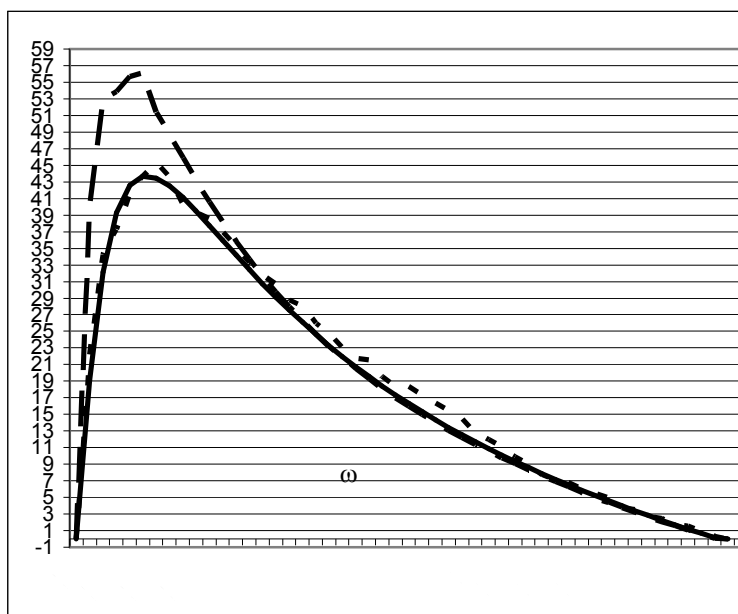


Рис. 2. Фазочастотна характеристика контуру коригування

За допомогою аналізатора частотних характеристик (прилад СК4-97) побудована експериментальна

$$W(p) = \frac{1 + pT_1}{R + pT_2 + p^2(R_1R_2C_1T_1 + R_1R_4C_1T_1)}, \quad (5)$$

де $T_1 = R_3C_2$; $T_2 = (T_1R_1 + R_1R_2C_1 + R_1R_3C_1 + R_1R_4C_1 + R_2T_1 + R_1T_1 + R_4T_1)$; $R = \sum_{k=1}^4 R_k$,

або для частотної характеристики:

$$W(j\omega) = \frac{1 + 2\pi j\omega T_1}{R + 2\pi j\omega T_2 - 4\pi^2 \omega^2 (R_1R_2C_1T_1 + R_1R_4C_1T_1)}.$$

В загальному вигляді отриману частотну характеристику запишемо так:

$$W(j\omega) = \frac{(a_0 + b_0 j\omega) \cdot 10^{-6}}{c_0 + c_1 \omega^2 + d_0 j\omega}, \quad (6)$$

де a_0, b_0, c_0, c_1, d_0 – коефіцієнти.

Підставимо в (6) значення параметрів

$$W(j\omega) = \frac{(1 + 4,368j\omega) \cdot 10^{-6}}{0,0555 - 1,959 \cdot 10^{-3} \omega^2 + 0,0439j\omega}.$$

Дискретні значення функції $W(j\omega)$ дорівнюють

$$W(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega),$$

а дискретні значення ФЧХ

$$\varphi^\circ(\omega) = \text{arctg} \frac{Q(\omega)}{P(\omega)},$$

де $P(\omega), Q(\omega)$ – дійсна та мнима частини ФЧХ контуру коригування відповідно.

Графік ФЧХ контуру коригування, який побудований за даними, обчисленими за формулою (6), наведений на рисунку 2 суцільною лінією. Це аналітично розрахована ФЧХ контуру коригування.

льна ФЧХ контуру коригування. Цей графік наведений крапистою лінією (рис. 2).

Експериментальна та обчислена ФЧХ контуру коригування мають незначні розбіжності, які можуть бути пов'язані з відхиленням значень параметрів контуру від номінальних і похибками приладу, що використовувався при експерименті.

Для початкових параметрів контуру коригування максимального значення фаза досягає при частоті $\omega_1 = 0,5$ Гц і дорівнює $43,5^\circ$, а нульова частота складає $\omega_0 = 4,8$ Гц.

Задамо приріст параметра C_2 : $\Delta C_2 = 5$ мкФ. Тоді згідно (4) $\Delta q_{C_2} = \Delta C_2 / \Delta C_{2\text{ном}} = 0,33$.

З (2) $\mu \cdot \Delta q_{C_2} = 0,18$, тому $\mu = 0,18 : 0,33 = 0,6$. Згідно (1) отримаємо для Δq_j : $\Delta q_{C_1} = 0,04$; $\Delta q_{R_1} = -0,24$; $\Delta q_{R_2} = -0,025$; $\Delta q_{R_3} = 0,7$.

Визначимо величини приростів параметрів Δx_j : $\Delta x_{C_1} = 0,16$ мкФ; $\Delta x_{R_1} = -1,2$ кОм; $\Delta x_{R_2} = -0,0625$ кОм; $\Delta x_{R_3} = 33$ кОм. Отже, нові параметри контуру коригування дорівнюють: $R_1 = 3,8$ кОм; $R_2 = 2,44$ кОм; $R_3 = 80$ кОм; $R_4 = 1$ кОм; $C_1 = 4,16$ мкФ; $C_2 = 20$ мкФ.

Отримані значення елементів контуру надають нові значення ФЧХ (6):

$$W(j\omega) = \frac{(1 + 10j\omega) \cdot 10^{-6}}{0,0872 - 3,42 \cdot 10^{-3} \omega^2 + 0,08j\omega}$$

За допомогою ЕОМ розраховані значення фазочастотної характеристики контуру коригування після зміни параметрів, згідно яких побудована залежність, наведена на рисунку 2 пунктирною лінією. З рисунку видно, що після зміни параметрів при частоті $\omega_1 = 0,5$ Гц фаза також має максимальне значення та дорівнює 56° , а частота нульової фази залишилась без змін ($\omega_0 = 4,8$ Гц).

Аналогічним чином проведені розрахунки при внесенні змін іншим параметрам контуру (C_1 , R_1 , R_2 , R_3 , R_4). Результати обчислень по іншим параметрам контуру не суперечать наведеним вище:

частота нульової фази не змінилась ($\omega_0 = 4,8$ Гц), а при частоті $\omega_1 = 0,5$ Гц фаза, як і в попередніх випадку, також має максимальне значення.

Висновки

Таким чином, результати моделювання свідчать, що запропонований адаптивний метод синтезу параметрів контуру коригування системи управління розв'язує поставлену задачу перенастроювання параметрів контурів заданої структури з метою забезпечення потрібної якості регулювання при зміні динаміки роботи системи та умов експлуатації (наприклад, при наявності перешкод). Для прикладу розглянута задача визначення параметрів контуру коригування для забезпечення максимальної фазочастотної характеристики при незмінній нульовій частоті та постійному коефіцієнті підсилення.

Результати моделювання показали збіжність аналітичних розрахунків і експериментальних досліджень. Отже, розроблений адаптивний метод синтезу параметрів контуру коригування системи управління є достовірним.

Список літератури

1. Техническая эксплуатация летательных аппаратов: Учеб. для ВУЗов / Н.Н. Смирнов, Н.И. Владимиров и др.; под ред. Н.Н. Смирнова. – М.: Транспорт, 1990. – 423 с.
2. Дмитриев А.К. Основы теории построения и контроля сложных систем / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
3. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем / Л.Г. Евланов. – М.: Наука, 1979. – 432 с.
4. Дятлов В.А. Контроль динамических систем / В.А. Дятлов, А.Н. Кабанов, Л.Т. Милов. – Ленинград: Энергия, 1978. – 88 с. (Библиотека по автоматике, вып. 592).
5. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

Надійшла до редколегії 18.04.2014

Рецензент: д-р техн. наук, доцент О.І. Тимочко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА ПАРАМЕТРОВ КОРРЕКТИРУЮЩЕГО КОНТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

С.В. Герасимов

Решается задача выбора оптимальной номенклатуры параметров для обеспечения перенастраивания корректирующего контура заданной структуры с целью получения требуемого качества управления при изменении динамики работы системы управления. Приведен пример применения разработанного метода синтеза параметров корректирующего контура системы управления и результаты проверки его на адекватность.

Ключевые слова: синтез, система управления, корректирующий контур, адаптивный метод.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ADAPTIVE METHOD OF SYNTHESIS OF PARAMETERS TO THE CONTOUR OF CORRECTION OF SYSTEM MANAGEMENT

S.V. Gerasimov

The task of choice of optimum nomenclature of parameters is untied for providing of retuning the contour of correction of the set structure with the purpose of receipt of necessary quality of adjusting at the change of dynamics of work of control the system. The example of application of the developed method of synthesis of parameters is resulted to the contour of correction of control the system and results of verification of him on adequacy.

Keywords: synthesis, control the system, contour of correction, adaptive method.