

УДК 621.398

О. М. ТКАЧЕНКО, доктор техн. наук;

Н. В. РУДЕНКО, здобувач;

Л. І. ТАНЦЮРА;

А. В. ЛЕМЕШКО,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Комбінаційна модель системи управління з послідовними диференціальними та інтегральними коригуючими пристроями

У статті розглянуто можливості використання послідовних фазовипереджувальних диференціальних та інтегральних коригуючих пристроїв. Розроблено комбінаційну модель послідовних коригуючих пристроїв постійного струму для використання в системах управління сучасних телекомунікаційних мереж.

Ключові слова: модель; фазове автопідстроювання; диференціальний пристрій; інтегральний пристрій; коригуючий пристрій.

Вступ

У замкнених системах фазового автопідстроювання (ФАП), які сформовано з функціонально необхідних елементів, певною мірою усуваються вимушена і перехідна складові фазової помилки порівняно з розімкненими системами. Однак здебільшого без спеціальних коригуючих пристроїв (КП) не вдається досягти необхідних показників якості. Для замкнених систем ФАП, як і для будь-яких замкнених автоматичних систем, існує протиріччя, яке полягає в тому, що умови досягнення високої точності в сталому і перехідному режимах мають суперечливий характер [1; 2].

Основна частина

У процесі синтезу послідовних фазовипереджувальних КП збільшуються коефіцієнт $K_{\text{п}}$ підсилення і частота $\omega_{\text{з}}$ зрізу, що за відсутності завад сприяє підвищенню показників якості в сталих і перехідних режимах. Однак, якщо на вхід системи ФАП надходить флуктуаційна завада, то ефективність послідовних фазовипереджувальних КП зменшується. У цьому разі доцільно використовувати таке КП, яке забезпечувало б пригнічення завад, розміщених за спектром переважно в діапазоні високих частот, і точне відтворення корисного задавального впливу, розташованого за спектром у діапазоні низьких частот, тобто система ФАП повинна мати порівняно вузьку смугу пропускання (тобто невелику частоту $\omega_{\text{з}}$ зрізу) і великий коефіцієнт $K_{\text{п}}$ підсилення системи ФАП в розімкненому стані.

Таким потребам відповідає коригуючий послідовний інтегральний контур постійного струму [3].

Систему КП і його характеристики зображено на рис. 1. Оператор КП визначається за виразом

$$W_{\text{КП}}(p) = \frac{T_{\text{КП2}}p + 1}{T_{\text{КП1}}p + 1} = \frac{Y(t)}{X(t)}, \quad (1)$$

де $T_{\text{КП}}$ — стала часу КП; $T_{\text{КП1}} = C(R_1 + R_2)$; $T_{\text{КП2}} = CR_2$; $T_{\text{КП2}} = T_{\text{КП1}} + K_{\text{КП}}$; $\frac{T_{\text{КП2}}}{T_{\text{КП1}}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = K_{\text{КП}}$.

Комплексну передатну функцію можна подати у вигляді

$$W_{\text{КП}}(j\omega) = \frac{T_{\text{КП2}}j\omega + 1}{T_{\text{КП1}}j\omega + 1}. \quad (2)$$

Оскільки коригуючий інтегральний контур у деяких діапазонах частот вносить загалом, то частоту ω_{max} , на якій спостерігається максимальне загалом, дістаємо з виразу

$$\omega_{\text{max}} = \sqrt{\omega_1\omega_2}, \quad (3)$$

де $\omega_1 = \frac{1}{T_{\text{КП1}}}$; $\omega_2 = \frac{1}{T_{\text{КП2}}}$.

Максимальний кут відставання розраховуватиметься за формулою

$$\varphi_{\text{max}}(\omega_{\text{max}}) = -\arctg\omega_{\text{max}}T_{\text{КП1}} + \arctg\omega_{\text{max}}T_{\text{КП2}} = -\arctg\left(\frac{1}{\sqrt{K_{\text{КП}}}}\right) + \arctg\sqrt{K_{\text{КП}}}. \quad (4)$$

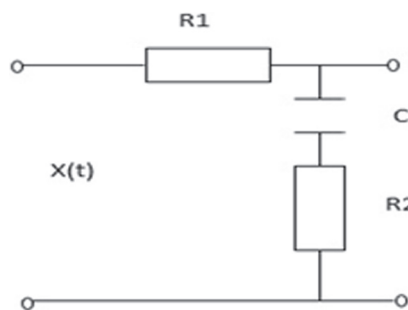


Рис. 1. Схема коригуючого інтегрального послідовного контуру

У діапазоні низьких частот, тобто в діапазоні спектра корисного сигналу, КП не вносить відставання. Отже, запас стійкості системи ФАП у разі увімкнення КП практично не зменшується.

Розглянемо функціональну схему системи ФАП, зображену на рис. 2. Оператор системи ФАП у розімкненому стані без КП визначається за виразом

$$W_p(j\omega) = \frac{K_{\Pi}}{(T_{\phi}j\omega + 1)(T_yj\omega + 1)/\omega}, \quad (5)$$

де $T_{\phi} = 0,1$ с; $T_y = 0,01$ с; $K_{\Pi} = K_{\phi} K_y K_i$; $Q = \frac{T_y}{T_{\phi}} = 0,1$.

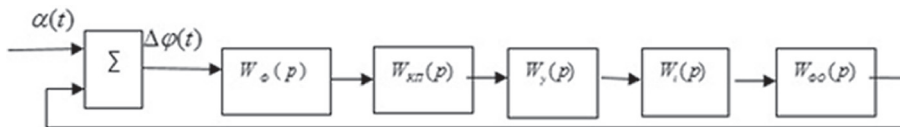


Рис. 2. Структурна схема системи ФАП

Для забезпечення запасу стійкості за фазою $\varphi_c = 30^\circ$ обчислимо частоту зрізу:

$$\omega_3 = \frac{1,3}{T_{\phi}} = 13 \text{ с}^{-1}.$$

Як правило, частота ω_3 зрізу похідної системи ФАП має мале значення, тому зважатимемо на те, що ω_3 відповідає вимозі отримання вузькосмугової системи ФАП. Максимально можливе значення коефіцієнта підсилення похідної системи ФАП $K_{\Pi} = 10 \text{ с}^{-1}$ зазвичай не відповідає вимозі стосовно точності в установленому динамічному режимі. Припустимо, що для зменшення швидкості складової помилки знадобиться збільшити коефіцієнт підсилення системи ФАП від K_{Π} до $K_{\Pi.ск}$. Зі збільшенням K_{Π} збільшується ω_3 і зменшується запас стійкості.

Для збереження попередніх φ_c і ω_3 необхідно збільшити K_{Π} тільки в діапазоні низьких частот. Цій вимозі задовольняє КП з КПФ (коефіцієнтом передавання):

$$W_{\text{КП}}(j\omega) = \frac{T_{\text{КП2}}j\omega + 1}{T_{\text{КП1}}j\omega + 1}; \quad T_{\text{КП2}} = T_{\text{КП1}} K_{\text{КП}} : K_{\text{КП}} < 1. \quad (6)$$

Отже, КПФ системи ФАП з послідовним КП визначатиметься за виразом

$$W_{\text{п.ск}}(j\omega) = \frac{K_{\text{п.ск}}(T_{\text{КП2}}p + 1)}{j\omega(T_{\phi}j\omega + 1)(T_yj\omega + 1)(T_{\text{КП1}}j\omega + 1)}. \quad (7)$$

Значення сталих часу КП $T_{\text{КП1}}$ і $T_{\text{КП2}}$ вибираються такими, щоб відставання, створюване контуром у діапазоні ω_0 системи ФАП, було близьким до нуля, тобто

$$\varphi(\omega_3) = -\arctg \omega_3 T_{\text{КП1}} + \arctg \omega_3 T_{\text{КП2}} \approx 0,$$

або

$$-\arctg \omega_3 T_{\text{КП1}} + \arctg \omega_3 T_{\text{КП2}} K_{\text{КП}} \approx 0. \quad (8)$$

Якщо частота зрізу $\omega_3 \leq \omega_3 = \frac{1,3}{T_{\phi}}$, то $K_{\text{п.ск}} = \frac{\omega_3 \omega_2}{\omega_1}$. У загальному випадку, якщо задано $K_{\text{п.ск}}$, то значення $K_{\text{КП}}$ обчислюється за формулою

$$K_{\text{КП}} = \frac{\omega_3}{K_{\text{п.ск}}}. \quad (9)$$

Із урахуванням (9) вираз (8) набирає вигляду

$$-\arctg \omega_3 T_{\text{КП1}} + \arctg \left(\omega_3^2 \frac{T_{\text{КП1}}}{K_{\text{п.ск}}} \right) \approx 0. \quad (10)$$

Таким чином, коригуючий інтегровальний контур постійного струму, увімкнений у замкнений контур системи ФАП послідовно з функціонально необхідними елементами, дає можливість підвищити точність в усталеному динамічному режимі під час відтворення корисного повільно мінливого сигналу, а також зменшити складові фазової помилки, зумовлені високочастотними шумами.

Висновок

У статті для підвищення показників якості системи ФАП розроблено комбінаційну модель послідовних коригуючих пристроїв постійного струму. Використання послідовних інтегровальних КП у системах ФАП дозволяє підвищити точність в усталених (синхронних) режимах за рахунок збільшення

коефіцієнта K_{Π} підсилення системи ФАП в розімкненому стані. При цьому є можливість зменшити тривалість перехідного процесу. Зокрема, у даній системі ФАП, в якій синтезовано фазовипереджувальний КП, встановлено, що помилка зменшилася в 14 разів, а тривалість перехідного процесу скоротилася у вісім разів. Інтегровальний КП дає можливість значно підвищити K_{Π} системи ФАП в діапазоні низьких частот, не збільшуючи частоти зрізу системи ФАП. При цьому вдається істотно зменшити сталу фазову помилку системи ФАП і знизити рівень складових фазової помилки, зумовлений швидкоплинними (високочастотними) завадами.

Список використаної літератури

1. Gupta R. A., Chow M.-Y. *Networked control system: overview and research trends // IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2010. Vol. 57, no. 7. P. 2527–2535.
2. Kirk D. E. *Optimal control theory: An introduction*. Mineola, New York: Dover. 2004. 452 p.
3. *Information structures in optimal decentralized control / A. Mahajan, N. C. Martins, M. C. Rotkowitz, S. Yuksel // Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*. 2012. P. 1291–1306.
4. Бесекевский В. А., Попов Е. П. *Теория систем автоматического управления / изд. 4-е, перераб. и доп.* СПб: Профессия, 2003. 752 с.
5. Зайцев Г. Ф., Стеклов В. К. *Радиотехнические системы автоматического управления высокой точности*. Киев: Техника, 1998. 208 с.
6. Зайцев Г. Ф., Стеклов В. К. *Комбинированные следящие системы*. Киев: Техника, 1978. 264 с.

Рецензент: доктор техн. наук, доцент А. П. Бондарчук, Державний університет телекомунікацій, Київ.

О. Н. Ткаченко, Н. В. Руденко, Л. И. Танцюра, А. В. Лемешко

КОМБИНАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИМ И ИНТЕГРИРУЮЩИМ КОРРЕКТИРУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ

В статье рассмотрены возможности использования последовательных фазопережающих дифференцирующего и интегрирующего корректирующих устройств. Разработана комбинационная модель последовательных корректирующих устройств постоянного тока для использования в системах управления современных телекоммуникационных сетей.

Ключевые слова: модель; фазовая автоподстройка; дифференцирующее устройство; интегрирующее устройство; корректирующее устройство.

O. N. Tkachenko, N. V. Rudenko, L. I. Tancyura, A. V. Lemeshko

COMBINATION MODEL OF CONTROL SYSTEM WITH A SEQUENTIAL DIFFERENTIAL AND INTEGRATION CORRECTIVE DEVICE

The article considers the possibilities of using sequential phase-differentiating and integrating correction devices. A combination model of sequential DC correcting devices has been developed for use in control systems of modern telecommunication networks.

Keywords: model; phase self-tuning; differentiating device; integrator; corrector.