

ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ЛІНІЙНИХ СИСТЕМ В ДИНАМІЧНОМУ РЕЖИМІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі здійснено аналіз впливу різноманітних регуляторів на точність лінійної системи в динамічному режимі.

Ключові слова: спектральна щільність, кореляційна функція, точність, лінійні системи, динамічний режим, стаціонарний та нестаціонарний випадковий процес.

Abstract

In this work, an analysis of the influence of various regulators on the accuracy of a linear system in dynamic mode was carried out.

Ключові слова: Spectral density, correlation function, accuracy, linear systems, dynamic mode, stationary and non-stationary random process.

Вступ

У роботі досліджується вплив різних типів регуляторів на точність лінійних систем у динамічному режимі. Основна увага приділяється зменшенню середньоквадратичної похибки вихідного сигналу.

Метою роботи є визначення ефективності застосування регуляторів за умови, що вхідний сигнал є випадковим процесом.

Результати дослідження

Вхідний сигнал є сталою величиною або стаціонарним випадковим процесом, а система працює у статичному режимі.

У цьому випадку середньоквадратична похибка визначається через кореляційну функцію або спектральну щільність вихідного сигналу:

$$\sigma_y = \sqrt{K_y(0)} = \sqrt{\int_0^{\infty} G_y(w) dw}, \quad (1)$$

де $K_y(0)$ – кореляційна функція вихідного сигналу при $\tau=0$;

$G_y(w)$ – спектральна щільність вихідного сигналу, яка визначається за виразом:

$$G_y(w) = G_x(w) |W(jw)|^2 = \left[\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_x(\tau) e^{-jw\tau} d\tau \right] |W(jw)|^2, \quad (2)$$

де $G_x(w)$ та $K_x(\tau)$ – спектральна щільність та кореляційна функція вхідного сигналу;

$W(jw)$ – передатна функція системи.

Вхідний сигнал є стаціонарним випадковим процесом, а система працює в динамічному режимі.

Вихідний сигнал описується через згортку:

$$y(t) = \int_0^{\infty} \omega(\tau) x(t - \tau) d\tau \quad (3)$$

де $\omega(\tau)$ – імпульсна перехідна характеристика, а середньоквадратичну похибку вихідного сигналу можна оцінити за виразом:

$$u_y(t) = \sqrt{\int_0^t \omega(\tau_1) \left[\int_0^t \omega(\tau_2) K_x(\tau_1 - \tau_2) d\tau_2 \right] d\tau_1}, \quad (4)$$

де $K_x(\tau_1 - \tau_2)$ – кореляційна функція вхідного сигналу.

Вхідний сигнал є нестационарним випадковим процесом, тобто $x(t) \neq \text{const}$, система знаходиться в динамічному режимі. Вихідний сигнал описується виразом:

$$y(t) = \int_0^t \omega(\tau) m_x(t - \tau) d\tau. \quad (5)$$

Відповідно середньоквадратична похибка вихідного сигналу може бути визначена через кореляційну функцію $u(t) = \sqrt{K_y(t_1, t_2)}$ за умовою, що $t=t_1=t_2$.

Кореляційна функція вихідного сигналу описується виразом:

$$K_y(t_1, t_2) = \int_0^{t_1} \omega(\tau_1) \left[\int_0^{t_2} \omega(\tau_2) K_x(t_1 - \tau_1, t_2 - \tau_2) d\tau_2 \right] d\tau_1, \quad (6)$$

де $K_x(t_1 - \tau_1, t_2 - \tau_2)$ – кореляційна функція нестационарного випадкового процесу вхідного сигналу.

Моделювання проводилось для трьох передатних функцій, що найчастіше застосовуються для регуляторів в лінійних системах, а саме: пропорційна ланка $W(s)=K$, інтегральна ланка $W(s)=\frac{1}{T_I s}$, диференціальна ланка, зазвичай застосовується інерційна диференціальна ланка - $W(s) = \frac{K_D s}{T_D s + 1}$, при трьох заданих кореляційних функціях вхідного сигналу: $K_{1x} = \sigma_x^2 e^{-\alpha|\tau|}$, $K_{2x} = \sigma_x^2 e^{-\alpha|\tau|}(1 + \alpha|\tau|)$ та $K_{3x} = \sigma_x^2 e^{-\alpha\tau^2}$.

Висновки

Показано, що точність лінійних систем у динамічному режимі суттєво залежить як від типу регулятора, так і від статистичних характеристик вхідного сигналу. Встановлено, що для стаціонарних випадкових процесів зручно використовувати спектральний підхід, який дозволяє спростити розрахунок середньоквадратичної похибки через спектральну щільність. У випадку нестационарних процесів необхідно застосовувати кореляційні функції двох змінних, що значно ускладнює аналіз, але забезпечує більш точний аналіз системи. Виявлено, що використання інтегральних та диференціальних регуляторів дозволяє зменшити похибку, однак їх ефективність залежить від частотного діапазону вхідного сигналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильєв В.М. Теорія ймовірностей в радіотехніці: підручник / В. М. Васильєв, С. Я. Жук. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. — 368 с.
2. Макаренко О. С. Статистична радіотехніка. Конспект лекцій. Навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія» спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка / Укладачі: О. С. Макаренко, С. М. Літвінцев. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023 – 89 с.
3. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В.П. Бунь. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с..

Присяжнюк Василь Васильович – старший викладач кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, pvv_vin@vntu.edu.ua.

Prysiashniuk Vasyl V. – senior lecturer of the department of system analysis and information technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, pvv_vin@vntu.edu.ua.