

**Zhukov M. C., Shupov V. P., Tsvitnov V. O.**  
**State University of Economics and Technology: Kryvyi Rih, UA**

**INFORMATION COMPONENT OF DIGITAL CONTROL SYSTEM.  
ANALOG SIGNALS INPUT CHANNEL**

**Жуков М. С., Шупов В.П., Цвітнов В.О.**  
**Державний університет економіки і технологій**

**ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ  
УПРАВЛІННЯ. КАНАЛ ВВЕДЕННЯ АНАЛОГОВИХ СИГНАЛІВ**

**Abstract.** The article investigates the processes that accompany the conversion of continuous electrical signals into digital form. This transformation is accompanied by quantization in time (discretization), which most affects the accuracy of information presentation, which affects static and dynamic management indicators. Proposed tools that allow you to identify negative consequences, give them an assessment and recommendations for their reduction.

**Keyword:** sampling, sampling interval, ADC, zero-order extrapolator, reproduction of a continuous function

***Анотація.** В статті виконано дослідження процесів, які супроводжують перетворення безперервних електричних сигналів в цифрову форму. Ця трансформація супроводжується квантуванням в часі (дискретизацією), яка найбільше впливає на точність подання інформації, що впливає на статичні і динамічні показники управління. Запропоновані засоби, які дозволяють виявити негативні наслідки, дати їм оцінку і рекомендації щодо їх зменшення.*

Будь-яка система управління може забезпечити бажану точність управління лише за наявності достовірної інформації. Ця точність не може бути досягнута ніякими засобами, якщо інформація, яка характеризує стан системи, представлена з меншою точністю.

У цифрових системах регулювання, у яких використовуються аналогові датчики важливе значення мають способи введення та перетворення цих сигналів у цифрову форму. У цьому процесі виділяють декілька аспектів: вибір первинного датчика, його зв'язок з технологічним елементом системи, передача сигналу лініями зв'язку, узгодження параметрів датчика з пристроєм введення сигналу, включаючи при потребі мультиплексор і пристрої гальванічної розв'язки, вибір елементів фільтра та аналого-цифрового перетворювача. В сучасних цифрових пристроях

управління більшість вказаних елементів знаходяться в одному модулі введення аналогових сигналів.

В цьому дослідженні не розглядаються суто апаратні складові каналу введення сигналу. Вважається, що вони вже обрані і задовілять всім вимогам. Зосередимо увагу лише на те, як і що потрібно зробити в процесі перетворення сигналу в цифрву форму, щоб досягти бажаної точності регулювання.

Потрібно наголосити, що будь яка цифрова система працює згідно програми, яка виконується в нескінченному циклі. Періодичність циклів в системах управління технологічними процесами характеризується, в переважній більшості, однаковими інтервалами часу. В кожному циклі потрібно один раз ввести інформацію про стан об'єкту, опрацювати цю інформацію, записати її в пам'ять і обчислити значення управляючих впливів, записати ці значення в порти виведення сигналів та низку інших дій, які передбачені програмою. Таким чином, інформація аналогових сигналів (як і вся інша) поступає в пристрій управління через певні (дискретні) інтервали часу  $h$ , які ще називають інтервалами повторення обчислень  $T_{\text{ПО}}$ . Цей процес називається дискретизація. Ці дані у цифровому вигляді зберігається назмінними до наступного інтервалу. Впродовж поточного інтервалу відповідний параметр, при потребі, зчитується тільки з пам'яті. Фізично це формулюється так: реальна інформація поступає на екстраполятор нульового порядку, з виходу якого записується в пам'ять. На рисунку 1 схематично відображено як це відбувається



Рисунок 1 – Дискретизація і екстраполяція нульового порядку аналогового сигналу

З рис. 1 видно, що в більшості випадків інформація в пам'яті (вихід АЦП) і реальна (вхідний сигнал) суттєво відрізняються. Щоб зменшити цю розбіжність потрібно зменшити інтервал дискретизації  $h$  ( $T_{\text{ПО}}$ ). Зменшення величини інтервалу дискретизації обмежує можливість використати більш складний алгоритм управління та кількість каналів (параметрів) керування. Збільшення тривалості періоду квантування збільшує часове запізнювання в

каналах перетворення й обробки сигналів і призводить до зростання інформаційних втрат, що призводить до погіршення якості керування

Теоретично частоту дискретизації потрібно вибрати такою, щоб по дискретних значеннях сигналу можна було відтворити реальну безперервну функцію з певною точністю. В першому наближенні (не завжди остаточно) можливо використати теорему Котельникова [1. 2]. Суть її полягає в наступному. Якщо спектр сигналу обмежений частотою  $f_{\max}$ , то частота дискретизації повинна бути в 2 рази більшою частоти сигналу  $f_{\max}$ . В якості  $f_{\max}$  можна використати частоту зрізу об'єкту регулювання, яку легко обчислити аналітично або знайти з логарифмічної частотної характеристики (ЛАЧХ). Іншими словами: якщо найбільша значуща високочастотна гармоніка в спектрі сигналу має період  $T_c$ , то за цей період повинно бути не менше 2 відліки при дискретизації сигналу.

Відзначимо наступний ефект: якщо частота вибірки (дискретизації) занадто мала щодо частотних складових вихідного сигналу, то у відновленому сигналі з'являється помилкова частота (псевдочастота). Частота цієї псевдочастотної перешкоди визначається як різниця між частотою вибірки  $f_s$  і дійсною частотою  $f$  [2]

$$f_o = f_s - f$$

На практиці поширене правило: частота квантування (дискретизації) повинна бути на порядок більше смуги істотних частот  $f_{\max}$  об'єкту.

Використавши пакет MatLab (Simulink), можна пересвідчитися в тому, як впливає на динамічні характеристики тривалість періоду дискретизації. На рисунку 2 зображені дві моделі: безперервна, передатна функція якої  $W_1(s)$ , і дискретна -  $W_2(s)=W_1(s)$ . На вхід систем поступає сигнал у вигляді одиничного стрибка з блоку Step. В дискретній моделі у колі зворотного зв'язку присутній екстраполятор нульового порядку (блок Zero-Order Hold1). У властивостях цього блоку потрібно записати величину часу дискретизації  $T_{\text{ШО}}$ . Легко пересвідчитися, що частота зрізу для даного об'єкту дорівнює  $\omega_3=10\text{c}^{-1}$ . Для цього досить побудувати ЛАЧХ або обчислити аналітично. Приймавши  $f_{\max}=f_3$ , визначимо величину частоту дискретизації  $f_d=2 f_{\max}$ . Тоді періоду дискретизації

$$T_{\text{ШО}} = \frac{1}{f_d} = \frac{\pi}{\omega_3} \leq 0.3\text{c}$$

Таким чином, на вході дискретної системи сигнал помилки буде незмінним впродовж поточного інтервалу. Реакція безперервної (червона лінія) і дискретної систем (синя лінія) відображуються на осцилографі блок Scope.

Результати дослідження: при періоді дискретизації, який дорівнює розрахунковому, (рис. 2а) перехідні функції співпадають; при збільшенні цієї величини в 10 раз (рис. 2б) в дискретній системі можна вважати задовільним; при збільшенні в 20 раз (рис. 2с) – якість процесу в дискретній системі незадовільна.

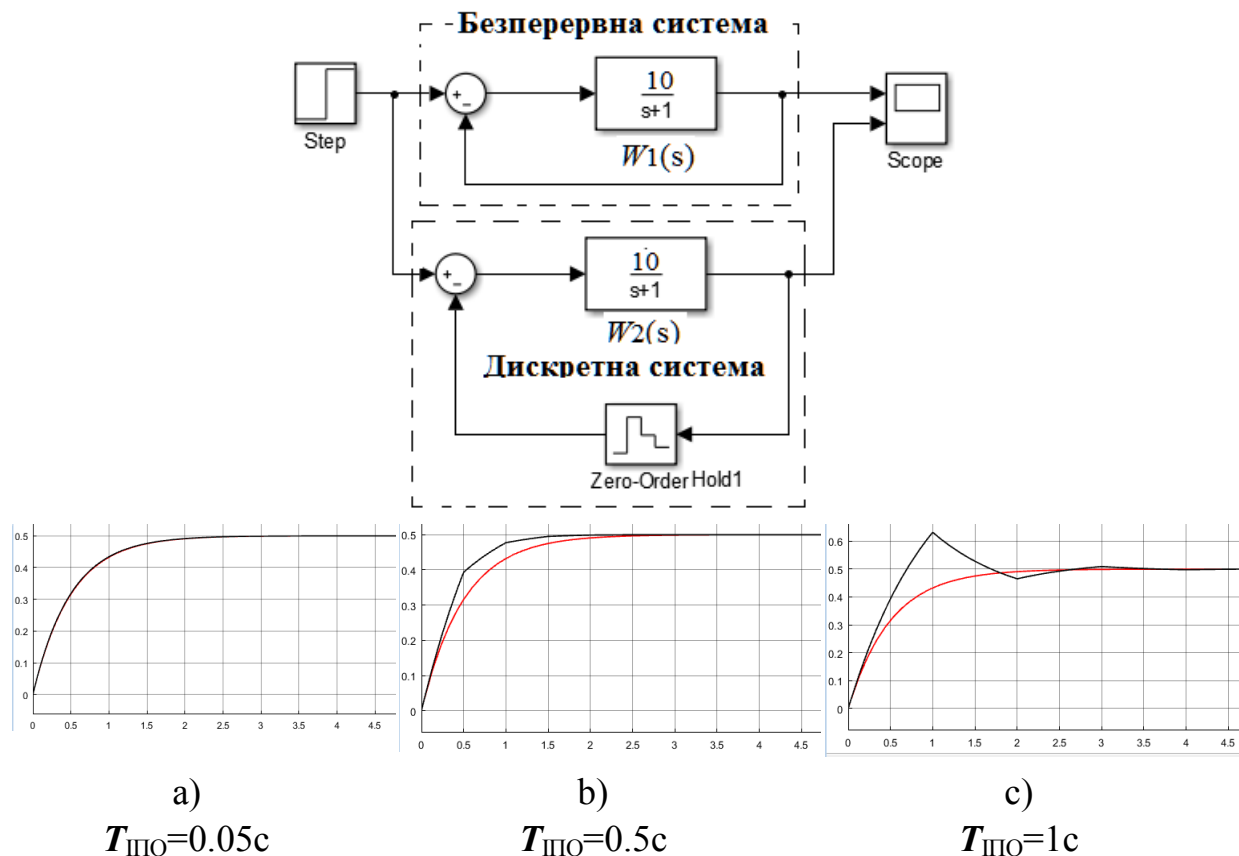


Рисунок 2 – Дослідження безперервної і дискретної систем

При аналізі аналогового сигналу після аналого-цифрового перетворення можна виявити в деяких випадках появу перешкоди - низькочастотної псевдочастоти, якої немає в реальному сигналі. Перешкода може мати форму періодичного сигналу або нагадувати сигнал з амплітудною модуляцією. Такі явища призводять до низькочастотних коливань, які негативно впливають на електромеханічну систему.

Перешкоди частотою 50 Гц (або 60 Гц) можуть бути наведені (індуктовані) від силових кабелів на інформаційні та "накладатися" на вихідний (вимірний) сигнал. Наприклад, якщо сигнал від датчика із шумом 50 Гц квантується із частотою  $f=60$  Гц, то будуть утворюватися псевдочастоти. Це пояснюється тим, що величина половини частоти, яка є мінімально можливою згідно теореми Найквіста (Котельникова) менше, ніж 50 Гц і псевдочастота буде дорівнювати  $f_0=60 - 50 = 10$  Гц.

На рисунку 3 показано, коли і як утворюється псевдочастота.

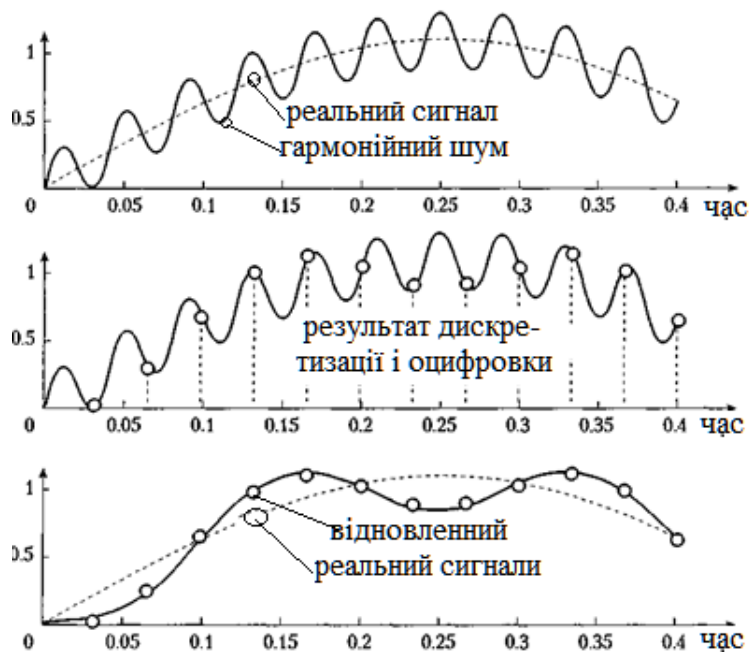


Рисунок 3 – Схема утворення псевдочастотної перешкоди

Щоб позбутися псевдочастоти у відтвореному сигналі, потрібно перед АЦП застосувати апаратний фільтр низької частоти. І, звичайно, потрібно подбати про менший вплив силових кабелів на інформаційні: розмістити в окремих місцях, використовувати захисні екрани тощо.

Потрібно звернути увагу на те, що розглянутий підхід щодо вибору періоду дискретизації не може бути використаний у випадках, коли цей інтервал часу формується апаратно і не може бути змінений. Наприклад, це стосується системи регулювання з використанням тиристорних перетворювачів. Період дискретизації в цьому випадку залежить від схеми випрямлення і жорстко прив'язаний до мережі живлення. Так для трифазних мостових перетворювачів, які мають еквівалентну шестифазну схему випрямлення, період дискретизації дорівнює  $T_{\text{ш}} = 300/6 = 3.3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ . В багатьох випадках ця величина не відповідає вище зазначеним вимогам. Це призводить до значного погіршення динамічних властивостей в контурі регулювання. Для цього потрібно використати додаткові засоби, які в цьому дослідженні не розглядаються.

## Література

1. Теория систем автоматического управления / В.А. Бессекерский, Е.П. Попов.–Изд. 4-е перераб. и доп.– СПб, Изд-во "Профессия", 2003.–752 с.
2. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем., ФизматГИЗ, М.: 968 с.