

# **ЖАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ**

**№ 6**

**2008**

УДК 681.324

Б.М. ГОНЧАРЕНКО, докт. техн. наук  
Національний університет харчових технологій

## РЕАЛІЗАЦІЯ ДИСКРЕТНОГО ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІЙНОГО (ПІД-) РЕГУЛЯТОРА

Розглянута особливість дискретної реалізації законів регулювання, що містять диференційну складову, наявність якої зумовлює стрибки керувального діяння при малих значеннях періоду дискретності, вказаний шлях усунення цього недоліку застосуванням низькочастотного фільтра.

**Ключові слова:** Автоматизація, дискретний регулятор, закон регулювання, диференційна складова, керувальне діяння, фільтр.

Рассмотрена особенность дискретной реализации законов регулирования, содержащих дифференциальную составляющую, наличие которой обуславливает скачки управляющего воздействия при малых значениях периода дискретности, указан путь устранения этого недостатка применением низкочастотного фильтра.

**Ключевые слова:** Автоматизация, дискретный регулятор, закон регулирования, дифференциальная составляющая, управляющее воздействие, фильтр.

Останнім часом в практиці автоматизації технологічних процесів, в тому числі і харчових, переважає застосування комп'ютерно-інтегрованих систем, до складу яких обов'язково входять комп'ютери і мікропроцесорні контролери. Наявність комп'ютера робить доцільним використання його для реалізації навіть стандартних (типових) законів регулювання в дискретному вигляді у якості комп'ютерної керувальної програми і побудову на цій основі дискретних систем керування. При цьому дискретний регулятор визначається як дискретний аналог стандартного закону регулювання в формі комп'ютерної програми, що реалізує відповідне до передатної функції регулятора різницеве рівняння, в застосуванні до технологічних об'єктів керування з будь-якими передавальними (динамічними) властивостями.

Передатна функція, наприклад, аналогового ПІД — регулятора з низькочастотним фільтром в каналі диференціювання має в операторній формі наступний вигляд [1] (наявність сталої  $T_\phi$  об'єднана нижче):

$$W_p(p) = \frac{u(p)}{e(p)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i p} + \frac{T_d p}{T_\phi p + 1} \right), \quad (1)$$

де  $u(p)$ ,  $e(p)$  — зображення керувального діяння та неузгодження;  $K_p$  — передавальний коефіцієнт (пропорційна частина);  $T_i$  — час ізодрому (інтегральна частина);  $T_d$  — стала часу диференційної складової ПІД-закону регулювання;  $T_\phi$  — стала часу низькочастотного фільтра.

Після застосування до виразу (1)  $Z$  — перетворення, маємо передатну функцію дискретного ПІД — регулювання  $D(z)$

$$D(z) = \frac{u(z)}{e(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad (2)$$

$$\text{де } b_0 = K_p \left[ 1 + \frac{T}{2T_i} + \frac{T_d}{T} (1 - \exp(-\frac{T}{T_\phi})) \right]$$

$$b_1 = K_p \left[ -1 + \frac{T}{2T_i} - 2 \frac{T_d}{T} + \exp(-\frac{T}{T_\phi}) \left( 1 - \frac{T}{2T_i} + \frac{2T_d}{T} \right) \right]$$

$$b_2 = K_p \left[ \frac{T_d}{T} + \exp(-\frac{T}{T_\phi}) \left( 1 - \frac{T}{2T_i} + \frac{T_d}{T} \right) \right]$$

$$a_1 = -(1 - \exp(-\frac{T}{T_\phi})) \quad a_2 = \exp(-\frac{T}{T_\phi}) \quad z = \exp(pT)$$

де  $T$  — період квантування в дискретній системі.

Щоб дискретна система керування з ПІД — регулятором наближалася за динамічними властивостями до неперервної системи, її період квантування має бути достатньо малим, але таким, щоб у відповідності до теореми Котельнікова не втрачалася інформація [2]

$$T \approx \frac{1}{(2 \dots 3)\omega_3} \quad (3)$$

де  $\omega_3$  — частота зрізання розімкненої системи регулювання, при якій модуль частотної характеристики замкненої системи має деяке значення менше 1, т.т.  $\Delta < 1$ .

Але при зменшенні періоду дискретності  $T$ , що вимагає наближення властивостей дискретної системи керування до неперервної, диференційна складова дискретного регулятора починає негативно впливати на властивості дискретної системи, що проявляється в появі стрибків при аналого-дискретному перетворенні сигналів. Це підтверджує рівняння ПІД — регулятора, одержане в результаті зворотного

перетворення  $Z^{-1}[D(z)]$  виразу (2), а ще краще — наближений вираз у дискретній формі відповідного різницевого рівняння дискретного ПІД — регулятора (його виведення не приводиться)

$$u(n) = K_p \left\{ e(n) + \frac{1}{T_i} \left[ \frac{e(0) - e(1)}{2} + \dots + \frac{e(n-1) - e(n)}{2} \right] + \dots + T_d \left[ \frac{e(n) - e(n-1)}{T} \right] \right\}$$

де  $u(n)$ ,  $e(n)$  — зображення керувального діяння та неузгодження в  $n$  — ному циклі.

Останній доданок в (4) з сталою  $T$  у знаменнику при стрибкуватих приростах  $e(n)$  і малій величині  $T$  прямує до безмежності, що може зумовлювати стрибки керувальних сигналів в цифровій системі керування.

Цю обставину необхідно врахувати при комп'ютерній реалізації дискретного пропорційно-інтегрально-диференційного регулятора і інших, що містять диференційну складову, шляхом застосування в каналі диференціювання регулятора низькочастотного

фільтра, що дозволить працювати в діапазоні дискретності стандартних мікропроцесорних контролерів.

**Висновки.** При дискретній реалізації законів регулювання з диференційною складовою при малих значеннях періоду дискретності в сформованому комп'ютером керувальному діянні можуть виникати стрибкоподібні завади. Їх усунення може бути здійснене за допомогою низькочастотного фільтра у каналі диференціювання, що враховується сталою часу  $T_\Phi$  у знаменнику диференційної частини виразу передатної функції дискретного регулятора (2).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кваско М.З., Піргач М.С., Каверіна Т.В. Проектування і розрахунок дискретних автоматичних систем керування технологічними процесами: навч. посіб. — К.: НМЦ ВО, 2000. — 248 с.
2. Гончаренко Б.М., Ладанюк А.П., Лобок О.П. Цифрові системи керування: навч. посіб. — К.: НУХТ, 2006 — 151 с.

Одержано редколегією 10.05.07 р.