

5 ПРОЕКТНИЙ РОЗРАХУНОК КЕРУЮЧИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ

Задача 5.4. Визначити розрядність керуючого обчислювального засобу для вироблення сигналу шляхом обчислення функції $y = \sin(x)$. Відомо таке:

- 1) величина x змінюється в межах від -10 до $+10$;
- 2) с.к.в. визначення аргументу $\sigma_x = 5 \cdot 10^{-4}$;
- 3) допустиме значення с.к.в. обчислення сигналу $\sigma_{y \text{ don}} = 9 \cdot 10^{-4}$;
- 4) с.к.в. помилки обчислення функції $\sigma_f = 9 \cdot 10^{-4}$;
- 5) кількість операції в процесі обчислення функції дорівнює $N = 1200$.

Розв'язування

Максимальне значення вхідного сигналу 10 . Максимальне значення машинної змінної у випадку формату з фіксованою комою $x_{\max} = 1$.

Масштаб вхідного сигналу:

$$M_X = 2^{P_X} \geq 10.$$

Відповідний степінь двійки:

$$P_X \geq \text{int} \left[\log_2 |x|_{\max} \right] + 1 = \text{int} \left[\log_2 10 \right] + 1 = 4.$$

Визначаємо складові R_X^* та R_X^0 :

$$R_X^* = \text{int} \left[\log_2 |x|_{\max} \right] - \text{int} \left[\log_2 \delta_X \right] + 1 = \text{int} \left[\log_2 10 \right] - \text{int} \left[\log_2 5 \cdot 10^{-4} \right] + 1 = 14$$

$$R_X^0 = P_X - \text{int} \left[\log_2 |x|_{\max} \right] - 1 = 4 - \text{int} \left[\log_2 10 \right] - 1 = 0.$$

Кількість розрядів вхідного регістра:

$$R_X = R_X^0 + R_X^* = 0 + 14 = 14.$$

Максимальне значення вихідного сигналу:

$$y_{\max} = \max \{0, 1 \sin x\} = 0,1.$$

Максимальне значення машинної змінної випадку формату з фіксованою комою 1 .

Масштаб сигналу:

$$M_Y = 2^{P_Y} \geq 0,1.$$

Відповідний степінь двійки:

$$P_Y \geq \text{int} \left[\log_2 |y|_{\max} \right] + 1 = \text{int} \left[\log_2 0,1 \right] + 1 = -2.$$

Вибираємо $P_Y = -1$.

Визначаємо складові R_Y^* та R_Y^0 :

$$R_Y^* = \text{int} \left[\log_2 |y|_{\max} \right] - \text{int} \left[\log_2 \delta_f \right] + 1 = \text{int} \left[\log_2 0,1 \right] - \text{int} \left[\log_2 9 \cdot 10^{-4} \right] + 1 = 8$$

$$R_Y^0 = P_Y - \text{int} \left[\log_2 |y|_{\max} \right] - 1 = -1 - \text{int} \left[\log_2 0,1 \right] - 1 = 1.$$

Кількість розрядів вихідного регістра:

$$R_Y = R_Y^0 + R_Y^* = 1 + 8 = 9.$$

С.к.в. помилки округлення:

$$\sigma_{\text{окр}} = \sqrt{N/12} = \sqrt{1200/12} = 10.$$

Кількість розрядів для компенсації помилок округлення:

$$S = \text{int} \left[\log_2 \sigma_{\text{окр}} \right] + 1 = \text{int} \left[\log_2 10 \right] + 1 = 4.$$

Розрахуємо допустиме значення інструментальної похибки, враховуючи, що похідна від $\sin x$ є $\cos x$:

$$\sigma_T = \sqrt{\left[\sigma_X \frac{df(x)}{dx} \right]_{\text{max}}^2} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 |\cos x|_{\text{max}} = 5 \cdot 10^{-5};$$

$$\sigma_{\text{доп}} = \sqrt{\sigma_{\text{доп}}^2 - \sigma_X^2 - \sigma_T^2} = 10^{-4} \sqrt{9^2 - 5^2 - 0,5^2} = 7,47 \cdot 10^{-4}.$$

Значення діапазону G :

$$G = \text{int} \left[\log_2 \delta_{\text{доп}} \right] - \text{int} \left[\log_2 \delta_{\text{доп}} \right] + R_X - R_Y = \text{int} \left[\log_2 7,47 \cdot 10^{-4} \right] - \text{int} \left[\log_2 9 \cdot 10^{-4} \right] + 14 - 9 = 5$$

Значення $S'=0$, оскільки $S-G < 0$. Отже, кількість розрядів центрального процесора

$$R_{\text{ЦП}} = R_X + S' = 14 + 0 = 14.$$

Задача 5.12. Виконайте проектування мікропроцесорного регулятора тиску. Розрахуйте розрядність АЦП та ЦАП, допустиму похибку розрахунків, оптимальний період опитування датчика тиску. Передатна функція об'єкта

$$W_o(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)},$$

де $K=0,4$, $T_1=22$ с, $T_2=11$ с. Вихідні дані для розрахунку: параметри регулятора $K_p=2,9$; $T_i=190$ с, допустима помилка управління $\varepsilon_d=40$ кПа, клас точності датчика тиску $K_T=0,5$, діапазон вимірювання 0–2,5 МПа, допустима с.к.в. похибки вироблення керуючої дії $\sigma_u=40$ кПа.

Розв'язування

Формула розрахунку числа розрядів АЦП з урахуванням с.к.в. похибки датчика (6.3)

$$n = \left\lceil \log_2 \frac{y_{\text{max}}}{\rho \sigma \sqrt{3}} \right\rceil,$$

де $\rho = 0,3 \dots 0,5$. Приймаємо $\rho = 0,4$.

Будемо вважати, що похибка датчика розподілена за нормальним законом. Тоді її максимальне значення приблизно дорівнює 3σ (правило трьох сигма). Максимальну похибку можна знайти через клас точності

$$\Delta = \frac{K_{\tau} y_{\max}}{100} = 3\sigma.$$

Звідси

$$\sigma = \frac{K_{\tau} y_{\max}}{300} = \frac{0,5 \cdot 2,5 \cdot 10^6}{300} = 4166,7 \text{ Па.}$$

Число розрядів АЦП з урахуванням с.к.в. похибки датчика

$$n = \left\lceil \log_2 \frac{2,5 \cdot 10^6}{0,4 \cdot 4166,7 \cdot 2\sqrt{3}} \right\rceil = 9.,$$

Формула розрахунку числа розрядів АЦП через задане значення с.к.в. помилки управління (6.6)

$$n = \left\lceil \log_2 \frac{y_{\max} \sqrt{1 + \rho^2}}{0,34 \rho \sigma_{\ddot{a}}} \right\rceil.$$

С.к.в. помилки управління згідно правила трьох сигма

$$\sigma = \frac{\varepsilon_{\ddot{a}}}{3} = \frac{40}{3} = 13,33 \ddot{a}.$$

Число розрядів АЦП

$$n = \left\lceil \log_2 \frac{2,5 \cdot 10^6 \sqrt{1 + 0,4^2}}{0,34 \cdot 0,4 \cdot 13,33} \right\rceil = 11.$$

Вибираємо найбільше значення $n=11$.

Формула розрахунку числа розрядів ЦАП (6.10)

$$n = \left\lceil \log_2 \frac{y_{\max} \sqrt{0,33 + \beta^2}}{3\sigma_u \beta} \right\rceil - 1$$

Коефіцієнт β вибирається з умови $\beta < 1$. Приймаємо $\beta = 0,8$. Тоді

$$n = \left\lceil \log_2 \frac{2,5 \cdot 10^6 \sqrt{0,33 + 0,8^2}}{3 \cdot 40 \cdot 0,8} \right\rceil - 1 = 5.$$

Допустима похибка розрахунку керуючої дії згідно (6.11)

$$\Delta u_p = \frac{3\sigma_u}{\sqrt{1 + 3\beta^2}} = \frac{3 \cdot 40}{\sqrt{1 + 3 \cdot 0,8^2}} = 70,22 \text{ Па.}$$

Оптимальний період опитування датчика тиску знайдемо з теореми Котельникова

$$T_0 = \frac{\pi}{\omega_3}.$$

Для розрахунку частоти ω_3 треба розв'язати рівняння (6.25)

$$\left| \frac{W_p(j\omega) \cdot W_o(j\omega)}{1 + W_p(j\omega) \cdot W_o(j\omega)} \right| = \varepsilon.$$

Відносну точність регулювання ε знайдемо за відомою абсолютною точністю ε_d :

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\ddot{a}}}{y_{\max}} = \frac{40}{2,5 \cdot 10^6} = 0,016.$$

Частотна передатна функція регулятора:

$$W_p(j\omega) = K_p \left(1 + \frac{1}{j\omega \cdot T_i} \right).$$

Частотна передатна функція об'єкта:

$$W_o(j\omega) = \frac{K}{(T_1 j\omega + 1)(T_2 j\omega + 1)},$$

Рівняння (6.25) розв'яжемо у пакеті MatLab. Для цього створимо два m-файли.

У головному вікні MatLab натиснемо кнопку з трьома крапками. З'являється нове вікно, у якому вибираємо папку work, натискаємо кнопку "Создать папку" і створюємо папку зі своїм прізвищем, далі ОК.

Вибираємо в меню File-New-Blank M-file. З'являється вікно редактора, в якому набираємо

```
global K Kp Ti Td Epsilon T1 T2
```

```
K=0.4;
```

```
T1=22;
```

```
T2=11;
```

```
Kp = 2.9;
```

```
Ti = 190;
```

```
Td = 0;
```

```
Epsilon=0.016;
```

```
x=fzero('equation1',1)
```

```
T0=pi/x
```

Вибираємо в меню File-Save As і запам'ятовуємо файл під ім'ям main1.

Вибираємо в меню File-New-Function M-file. Замінюємо перший рядок програми на

```
function y=equation1(x)
```

Далі з четвертого рядка набираємо функцію, що містить рівняння.

```
global K KP Ti Td Epsilon T1 T2
TFU1=K*KP*(1+1/(j*x*Ti)+j*x*Td)/(j*x*T1+1)/(j*x*T2+1);
MTFU1=abs(TFU1);
TFU2=1+TFU1;
MTFU2=abs(TFU2);
y=MTFU1-Epsilon*MTFU2;
```

Вибираємо в меню File-Save As і запам'ятовуємо файл під ім'ям equation1.

В цих файлах змінна "x" відповідає шуканій частоті ω_s .

Запустивши на виконання головний m-файл, отримаємо результати:

$x=0,5469$; $T_0=5,7443$ с.

Оптимальний період опитування датчика не повинен перевищувати розрахованого значення. Приймаємо $T_0 = 5$ с.