

Відображення нелінійних функціональних залежностей та їх моделювання за допомогою ЦАП АСК ТП

К. А. КОСТИЛЕВ

Дніпродзержинський державний технічний університет

В даній роботі були досліджені ЦАП для конвертування сигналів, які є ефективними пристроями збільшення точності відліку. Продемонстровано використання кусково-лінійної апроксимації для відображення нелінійних функціональних залежностей та їх моделювання шляхом використання лінійних цифро-аналогових перетворювачів.

В данной работе были исследованы ЦАП для конвертирования сигналов, являющиеся эффективными приборами для увеличения точности отсчета. Продемонстрировано использование кусочно-линейной аппроксимации для отображения нелинейных функциональных зависимостей и их моделирования путем использования линейных цифро-аналоговых преобразователей.

In this work we explored digital-analog converters (DAC) for converting signals, which are the effective devices of increasing the accuracy of the count. We also demonstrate the use of approximation of piecewise linear to play a nonlinear functional dependencies and simulation using linear digital-analog converters.

Введення. Автоматизована система керування (АСК) представляє собою комплекс як апаратних, так і програмних засобів, призначених для управління технологічним процесом. Її головною задачею є стабілізація стану на підприємстві, який впливає не тільки на продуктивність об'єкту керування, але й якість продукції.

Використання АСК ТП в промисловості вимагає обробки багатьох сигналів, які поступають від різних джерел та датчиків, відновлення аналогової інформації на виході комп'ютера та розподілення вихідної інформації між різними виконавчими пристроями. Найважливішою задачею в даному процесі є аналогово-цифрове та цифро-аналогове перетворення багатоканальної інформації, яка характеризується різними параметрами сигналів (частотний спектр, рівень перешкод, динамічний діапазон та ін.). На сьогоднішній день цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) широко використовуються у вимірювальних приладах, автоматичних системах контролю, а також пристроях обробки і відображення інформації, встановлених на сучасних підприємствах.

Постановка задачі дослідження. Метою даної роботи є дослідження процесу цифро-аналогового перетворення сигналів і отримання вихідної інформації про стан технологічного процесу, а також дослідження методів використання кусково-лінійної апроксимації для відображення нелінійних функціональних залежностей.

В якості вихідної інформації АСК ТП використовуються оброблені структуровані дані про стан об'єкту керування, представлені у зручному для оператора вигляді. Проходячи від датчика до ЕОМ оператора, сигнал проходить декілька етапів перетворення, що відбуваються завдяки встановленим пристроям і системам обробки інформації. Незважаючи на те, що сучасні ЦАП є потужними пристроями для збільшення точності відліку, вони можуть виконувати лише лінійне перетворення $U_{\text{вих}} = kU_{\text{оп}}$. Проте при роботі сучасних АСК ТП нерідко виникає необхідність з максимальною точністю відображати нелінійні функціональні залежності.

Розглянемо спосіб, де використовується лінійна апроксимація функціональної залежності $y = f(x)$ в інтервалі

$$\left[a + i \frac{b-a}{n}, a + (i+1) \frac{b-a}{n} \right]$$

де $[a, b]$ – відрізок, що ділиться на інтервали;

$\frac{b-a}{n}$ – величина інтервалу апроксимації функціональної залежності $f(x)$;

n – кількість відрізків апроксимації залежності $f(x)$.

Припустимо, що на відрізку апроксимації функція невід'ємна, хоча даний спосіб може бути також поширеним і на від'ємні значення функції. В якості багаторозрядного лінійного ЦАП слід використати помножувальний перетворювач з постійним вхідним опором $R_0[1, 2]$ (дільник напруги з шунтуючими декадами або ЦАП, що використовує резисторну матрицю $R-2R$ і керується двійковим кодом).

За допомогою лінійних цифро-аналогових перетворювачів вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ змінюється від значення U_{a_i} до U_{b_i} , відображаючи в i -му інтервалі залежність $f(x)$ з заданим шагом квантування. Для вимірювання інтервалу регулювання функціональної залежності $f(x)$ зазвичай використовують ключ. При такій побудові функціонального перетворювача ЦАП має методологічну похибку, яка може бути викликана лінійною апроксимацією функціональної залежності $f(x)$ в інтервалі

$$\left[a + i \frac{b-a}{n}, a + (i+1) \frac{b-a}{n} \right]$$

Як правило, дана похибка визначається виразом:

$$\Delta = f(x) - y_{ii}$$

де y_{ii} – рівняння прямої, що апроксимує залежність $f(x)$ в заданому інтервалі.

Припустимо, що

$$\Delta f = f\left(a + (i+1)\frac{b-a}{n}\right) - f\left(a + i\frac{b-a}{n}\right)$$

тоді рівняння прямої запишеться у наступному вигляді

$$y_{ti} = \frac{\Delta f}{\frac{b-a}{n}}(x-a) + i\Delta f$$

З цього виходить, що

$$a + i\frac{b-a}{n} \leq x \leq a + (i+1)\frac{b-a}{n}$$

Методологічна похибка відображення функції $f(x)$ в більшості випадків залежатиме від вигляду функції та обраного відрізка апроксимації. Функціональні ЦАП, що апроксимують залежності $\sin \phi$ та $\cos \phi$, широко використовуються при побудові калібраторів фази та фазообертачів, в яких для формування вихідної напруги реалізується співвідношення

$$\dot{U} = U \cos \phi + jU \sin \phi = U e^{j\phi}$$

В якості прикладу була розглянута побудова функціонального цифро-аналогового перетворювача, який є дискретним аналогом синусного потенціометра. Його схема зображена на *рис. 1*.

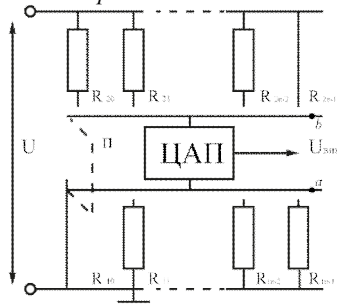


Рис. 1. Функціональний ЦАП

За допомогою подвоєного ключа стандартний багаторозрядний ЦАП підключається до резисторів R_{1i} та R_{2i} , формуючи перетворювач, який моделює залежність $\sin \phi$ в інтервалі від $\frac{i\pi}{2n}$ до $\frac{(i+1)\pi}{2n}$ – інтервал апроксимації функціональної залежності $\sin \phi$, $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$. В якості багаторозрядного лінійного ЦАП зазвичай використовують будь-який ЦАП з постійним вхідним опором R_0

Значення опорів R_{1i} , R_{2i} , R_0 визначатимуться із співвідношень:

$$R_{1i} = \frac{R_0 \sin \frac{i\pi}{2n}}{2 \sin \frac{\pi}{4n} \cos \frac{(2i+1)\pi}{4n}}$$

$$R_{2i} = \frac{[1 - \sin \frac{(i+1)\pi}{2n}]}{2 \sin \frac{\pi}{4n} \cos \frac{(2i+1)\pi}{4n}}$$

Опори в схемі розподіляться наступним чином:

$$U_a = U \sin \frac{i\pi}{2n}$$

$$U_h = U \sin \frac{(i+1)\pi}{2n}$$

де U – напруга, що проводиться до функціонального ЦАП;

За допомогою лінійного перетворювача вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ буде вимірюватись в інтервалі від $U \sin \frac{i\pi}{2n}$ до $U \sin \frac{(i+1)\pi}{2n}$, відображаючи в i -му інтервалі залежність $\sin \phi$ необхідною кількістю розрядів. Для вимірювання інтервалу регулювання функціональної залежності $\sin \phi$ використовується ключ, позначений літерою Π на *рис. 1*.

Очевидно, що при такій побудові ЦАП матиме методологічну похибку, викликану лінійною апроксимацією зеленості $\sin \phi$ в інтервалі від $\frac{i\pi}{2n}$ до $\frac{(i+1)\pi}{2n}$.

Дана похибка визначатиметься виразом:

$$\Delta = \sin \phi - y_{ti}$$

Для даного випадку y_{ti} є рівнянням прямої, що апроксимує залежність $\sin \phi$ в заданому інтервалі

$$y_{ti} = (i+1) \sin \frac{i\pi}{2n} - i \sin \frac{(i+1)\pi}{2n} + 4 \frac{n\phi}{\pi} \cdot \cos \frac{(2i+1)\pi}{4n} \cdot \sin \frac{\pi}{4n}$$

В даному випадку

$$\frac{i\pi}{2n} \leq \phi \leq \frac{(i+1)\pi}{2n}$$

На *рис. 2* показана залежність методологічної похибки відображення залежності $\sin \phi$ в інтервалі апроксимації у випадку $n=9$. Старший розряд регулювання аргументу ϕ складатиме 10° .

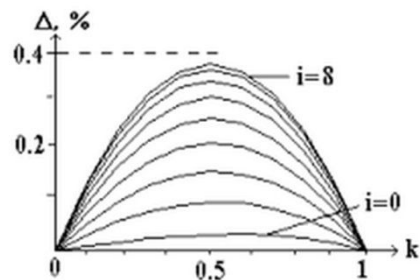


Рис. 2. Розподілення методологічної похибки всередині інтервалів апроксимації ($n=9$)

Найбільш важливим є максимальне значення похибки, що отримується при апроксимації останнього інтервалу залежності $\sin \phi$. В *табл. 1* приведені максимальні значення похибки в залежності від кількості інтервалів апроксимації.

Таблиця 1.

n	3	9	18	36	72
$\Delta, \%$	3,29	0,38	0,09	0,02	0,006

З цього виходить, що у випадку $n=9$ максимальне значення похибки складатиме менше ніж 0,4%. Це прийнятний показник для більшості випадків.

Функціональний ЦАП дає можливість вимірювати залежність $\sin \varphi$ в межах одного квадранту. Такі ж елементи використовуються для регулювання залежності $\sin \varphi$ у всіх чотирьох квадрантах, але у третьому та четвертому для отримання від'ємних величин використовується інвертор, що встановлюється у вхідному або вихідному колі. Також всі елементи приведеної схеми використовуються для побудови дискретного аналога косинусного потенціометра, оскільки $\cos \varphi = \sin(\frac{\pi}{2} + \varphi)$. Таким чином, розглянута схема може повністю забезпечити одночасне моделювання як синусного, так і косинусного перетворювачів.

Висновок

В даній роботі ми розглянули основні переваги використання функціональних ЦАП в сучасних автоматизованих системах керування. В роботі було досліджено використання кусково-лінійної апроксимації для відображення нелінійних функціональних залежностей

на прикладі схеми, що є дискретним аналогом синусного потенціометра.

ЛІТЕРАТУРА

1. Довгалоюк Б. П. Електронні промислові пристрої: Навчальний посібник для вузів; частина 1. — Дніпродзержинськ : ДДТУ. 1998. — 145 с., іл.
2. Функциональные цифроаналоговые преобразователи: принципы построения / В. М. Сапельников, Р. А. Хакимов, А. А. Газизов, М. А. Шабанов // Датчики и системы. 2007. — №7. — С.46—58.
3. Электроника: справочная книга / Ю. А. Быстров. — СПб. : Энергоатомиздат. 1996. — 544 с.
4. Темников Ф. Е., Афонин В. А., Дмитриев В. И. Теоретические основы информационной техники. — М. : Энергия. 1979. — 512 с.
5. Арутюнов В. О. Электрические измерительные приборы и измерения / В. О. Арутюнов. — М. : Госэнергоиздат. 1958. — 632 с.

пост.21.04.15