

УДК 004.388

О. В. Багацький, асп.;

В. О. Багацький, д-р техн. наук

АЦП ЧАСО-ІМПУЛЬСНОГО ТИПУ НА БАЗІ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО МІКРОКОНТРОЛЕРА

Отримано співвідношення, які дозволяють оцінити вимоги до елементів аналого-цифрового перетворювача часо-імпульсного типу, призначеного для вимірювання промислової частоти в електромережі. АЦП побудований на елементах, що входять до складу аналого-цифрового мікроконтролера.

Вступ

Аналого-цифрові перетворювачі часо-імпульсного типу (АЦП ЧІ) досить давно застосовуються в комп'ютерній та вимірювальній техніці для вимірювання напруги постійного струму, тривалості імпульсних сигналів, періоду та частоти періодичних сигналів [1—3].

АЦП ЧІ порівняно з іншими типами перетворювачів мають як переваги, так і недоліки. До переваг належить відносна простота реалізації, особливо стосовно вимірювання тривалості імпульсів. Недоліками у вимірюванні постійної напруги є фактична наявність двох еталонів (генератора пилкової напруги та кварцового генератора) та необхідність виконувати порівняння двох аналогових величин за допомогою компаратора аналогових сигналів.

Відомо, що існують два основних види джерел еталонних сигналів, які застосовуються в серійних приладах. Перший вид — термокомпенсований еталон напруги, оснований на фізичному явищі керованого пробою в напівпровідниках. Потенційна можливість цих приладів — похибка на рівні 10^{-6} , 10^{-7} . Другий вид — термокомпенсований кварцовий генератор з потенційною можливістю зменшення похибки до рівня 10^{-11} .

Тому в [4] рекомендовано проводити вимірювання тривалості часових проміжків за допомогою АЦП ЧІ, де еталоном є частота кварцового генератора.

Наразі промисловість технічно розвинутих держав випускає аналого-цифрові мікроконтролери, які фактично є аналого-цифровими системами на кристалі [5]. Зазвичай, до їх складу входять: цифровий мікропроцесор, АЦП порозрядного врівноваження або АЦП з дельта-сигма-модуляцією, можуть входити один чи два ЦАП та компаратори аналогових сигналів.

Конкретний тип мікроконтролера вибирається для розв'язання конкретної задачі. В нашому випадку задачею є створення пристрою визначення якості параметрів електричної мережі, в якому, в тому числі, має вимірюватися промислова частота.

В мікроконтролерах не використовуються АЦП ЧІ, але вони мають основні елементи, з яких можна створити такий АЦП — компаратор, кварцовий генератор та лічильник імпульсів.

Метою роботи є визначення вимог до параметрів елементів АЦП ЧІ (а, відповідно, і до параметрів мікроконтролера), призначеного для вимірювання промислової частоти.

Структурна схема АЦП

Структурна схема АЦП ЧІ показана на рис. 1.

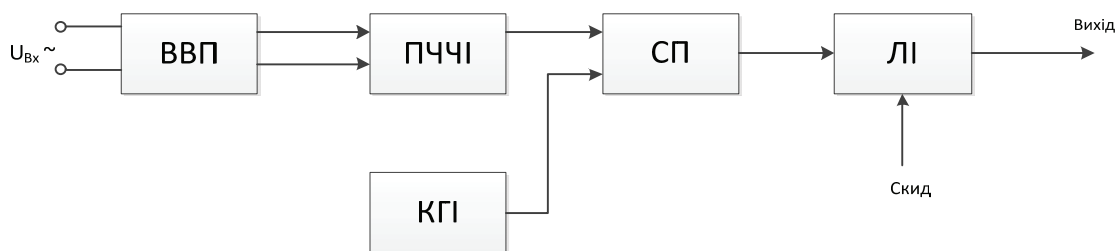


Рис. 1. Структурна схема АЦП

На рис. 1 ВВП — вхідний вимірювальний перетворювач; ПЧЧІ — перетворювач частоти у часовий інтервал; СС — цифрова схема збігання; ЛІ — лічильник імпульсів; КГІ — кварцовий генератор імпульсів.

Слід зауважити, що у вимірювальному тракті каналу вимірювання частоти застосовуються аналогові, аналого-цифрові та цифрові елементи.

На вхід ВВП надходить сигнал 220 В, 50 Гц, в якому має вимірюватися відхилення частоти від номінального значення на $\pm 0,8$ Гц. Як ВВП використовується трансформатор напруги на холостому ході з дільником напруги для узгодження вихідного діапазону ВВП з вхідним діапазоном ПЧЧІ. З виходу ВВП на вхід ПЧЧІ надходить синусоїдальний сигнал з найбільшою першою похідною, близькою до нуля, де і відбувається перетворення тривалості напівперіоду синусоїди у часовий інтервал.

Перетворювачем частоти у часовий інтервал може бути АЦП порозрядного врівноваження або компаратор. Дозвільний сигнал з виходу ПЧЧІ існує тільки під час позитивної півхвилі синусоїди, при цьому імпульси з КГІ через цифрову схему збігання надходять у лічильник ЛІ. Код в ЛІ, який сформувався за тривалість позитивної півхвилі, обернено пропорційний частоті синусоїдального сигналу. З виходу ЛІ код потрапляє в мікропроцесор для подальшої обробки.

Елементи ПЧЧІ, СС, КГІ, ЛІ входять до складу аналого-цифрового мікроконтролера і їх взаємодія відбувається за допомогою спеціальної програми.

Вимоги до точності та швидкодії елементів

Згідно з нормативним документом [6] вимірювання частоти в електричній мережі має проводитися з похибкою, не більшою 0,06 %, тобто в АЦП ЧІ похибка дискретності в часі має бути на рівні 11 двійкових розрядів ($n = 11$). Ця похибка, враховуючи найгірший випадок, складається із затримок спрацювання в елементах ПЧЧІ, СС, ЛІ та програмних затримок управління цими елементами, що приводить до рівняння (1)

$$t_d / 2^n = t_{зПЧЧІ} + t_{зСС} + t_{зЛІ} + t_{зпр}, \quad (1)$$

де t_d — часовий діапазон вимірювання; n — кількість двійкових розрядів вихідного коду; $t_{зПЧЧІ}$, $t_{зСС}$, $t_{зЛІ}$, $t_{зпр}$ — час затримки спрацювання елементів та програмних затримок.

Для точного визначення часу переходу сигналу через нульову лінію ПЧЧІ повинен мати поріг спрацювання, якого сигнал досягає за час, менший, ніж квант вимірювання за часом, для виключення динамічної похибки. Тому

$$\Delta U_n = U'_{\max} \cdot t_d / 2^n, \quad (2)$$

де ΔU_n — поріг спрацювання ПЧЧІ; U'_{\max} — максимальна швидкість зміни вхідного сигналу.

Швидкість зміни вхідної синусоїди

$$U' = (A_0 \cdot \sin \omega t)' = A_0 \cdot \cos \omega t, \quad (3)$$

де A_0 , ω , f — параметри вхідного сигналу.

Максимальна швидкість синусоїдальної напруги існує біля нульової напруги, якщо $\cos \omega t = 1$ [7]:

$$U'_{\max} = A_0 \cdot 2\pi f. \quad (4)$$

Якщо підставити (4) в (2), то отримаємо:

$$\Delta U_n = A_0 \cdot 2\pi f \cdot t_d / 2^n. \quad (5)$$

Рівняння (1) та (5) пов'язують параметри вхідного сигналу A_0 , ω , f з параметрами ПЧЧІ ΔU_n , $t_{зПЧЧІ}$, та параметрами цифрових елементів СС, ЛІ та програмними затримками.

Якщо всі ці параметри відомі, то є можливість розрахувати кількість достовірних розрядів в АЦП ЧІ, які залежать від перехідних характеристик елементів АЦП (1), від передавальних характеристик ПЧЧІ та параметрів вхідного сигналу (5).

Коли відомі n , A_0 , ω , f , $t_{зПЧЧІ}$, $t_{зСС}$, $t_{зЛІ}$, $t_{зПР}$, то за допомогою цих рівнянь розраховується затримка переключення ПЧЧІ та необхідний рівень його спрацювання. Параметри ПЧЧІ визначаються системою рівнянь

$$\begin{cases} t_{зПЧЧІ} = t_d / 2^n - t_{зСС} - t_{зСІ} - t_{зПР}; \\ \Delta U_{П} = A_0 \cdot 2\pi f \cdot t_d / 2^n. \end{cases} \quad (6)$$

Технічна реалізація АЦП ЧІ

Фактично до складу АЦП ЧІ входять вхідний вимірювальний перетворювач ВВП та елементи мікроконтролера.

Основним елементом ВВП є вимірювальний трансформатор, який має низку переваг перед іншими типами давачів напруги 220 В, а саме:

- 1) забезпечує гальванічну розв'язку АЦП ЧІ та USB інтерфейсу від 220 В;
- 2) дешевший ніж спеціалізований давач із прийнятною точністю;
- 3) живиться від мережі 220 В.

Сучасні мікроконтролери живляться від постійної напруги +3,3 В, і тому діапазон вхідних аналогових сигналів дорівнює 0...2,5 В. Вихідний сигнал з трансформатора двополярний, тому його зміщення у позитивну площину відбувається за допомогою спеціального дільника з джерелом позитивного зміщення. Схема зміщення наведена на рис. 2.

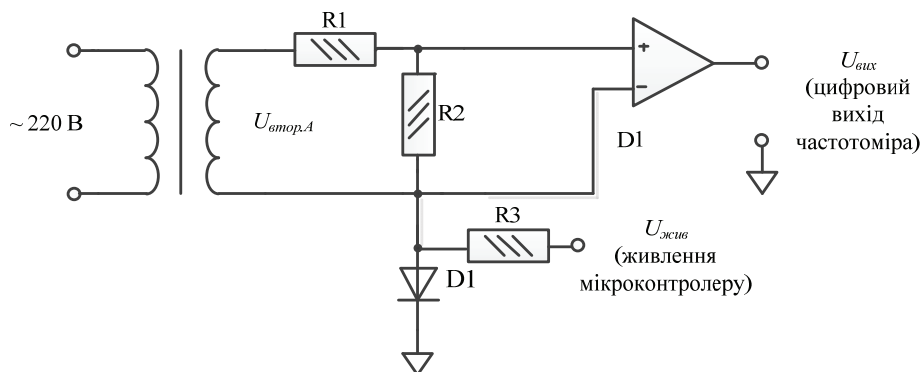


Рис. 2. Схема підключення ВВП до ПЧЧІ

Дільник R1–R2 розраховується таким чином, щоб максимальне значення амплітуди напруги на вході ПЧЧІ «—» дорівнювало напрузі зміщення на відкритому діоді D1 з напругою +0,7 В. Напруга живлення $U_{жив}$ — це напруга живлення мікроконтролера, в який вбудований ПЧЧІ. Таким чином, максимальний вхідний сигнал на вході ПЧЧІ буде +1,4 В, мінімальний — 0 В, а амплітудне значення — 0,7 В. Вимірювана частота, має знаходитись в межах від 49,2 Гц до 50,8 Гц.

Якщо вважати, що $t_{зСС} = 0,15$ мкс; $t_{зЛІ} = 0,15$ мкс; $t_{зПР} = 3$ мкс; $t_d = 10$ мс; $n = 11$; $A_0 = 0,7$ В; $2\pi f = 49,2$ Гц, то підставляючи ці дані в систему (6), отримуємо такі результати: поріг спрацювання ПЧЧІ має бути $\Delta U_n \leq 0,14$ мВ, а час затримки в ПЧЧІ — $t_{зПЧЧІ} \leq 0,73$ мкс. Ці вимоги задовольняють компаратори, які входять до складу аналого-цифрових мікроконтролерів, та можуть бути використані як ПЧЧІ.

Висновки

1. Отримано співвідношення для розрахунку максимальної похибки АЦП ЧІ в залежності від параметрів вхідного сигналу та елементів АЦП, які є складовою частиною мікроконтролера. З цих співвідношень, зважаючи на те, що відомі параметри елементів мікроконтролера та вхідного сигналу, отримано формули для оцінки необхідних параметрів перетворювача частоти у часовий інтервал.

2. Порівняння розрахункових даних з параметрами реальних елементів, що входять до мікроконтролерів, показує, що ПЧЧІ на основі вбудованого компаратора мають похибки на рівні 10—11 двійкових розрядів через жорсткі вимоги до порогу спрацювання компаратора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Черняк Р. Я. Преобразование напряжений в коды чисел / Р. Я. Черняк // Вопросы техники быстродействующих счетных машин. — К. : АН УССР, 1955. — Вып. 1. — С. 24—31.
2. Гитис Э. И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств / Э. И. Гитис. — М.—Л. : Госэнергоиздат, 1961. — 375 с.
3. Дроздов Е. А. Автоматическое преобразование и кодирование информации / Е. А. Дроздов, А. П. Пятибратов. — М. : Сов. Радио, 1964. — 543 с.
4. Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл. — М. : Мир, 1983. — Т. 2. — 590 с.
5. Как работать с АЦП и ЦАП в микроконтролерах SiLabs [Электронный ресурс]. — Режим доступа : www.comptech.ru/html.cgi/archiv/05_07/stat_adc.htm.
6. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — К. : Госстандарт Украины, 1999. — 31 с.
7. Гончаров В. Л. Теория интерполирования и приближения функций / В. Л. Гончаров. — М. : ГИТТЛ, 1954. — 508 с.

Рекомендована кафедрою обчислювальних систем

Стаття надійшла до редакції 18.04.2013
Рекомендована до друку 25.04.2013

Багацький Олексій Валентинович — аспірант, **Багацький Валентин Олексійович** — провідний науковий співробітник.

Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України, Київ