

В.М. Фітьо, М.В. Шовгенюк, М.П. Козловський, П.А. Глушак. - Публ. 31.08.98, Бюл.№ 4. 4. Патент України № 23888 А. Спосіб оптичного захисту та ідентифікації документів і інших об'єктів / Л.І. Муравський, В.М. Фітьо, М.В. Шовгенюк, М.П. Козловський. - Публ. 31.08.98, Бюл.№ 4. 5. Separation of random phase mask in optical correlator for security verification/ L.I. Muravsky, V.M. Fitio, M.V. Shovgenyuk, P.A. Hlushak // Proc. SPIE. Algorithms, Devices, and Systems for Optical Information Processing. - 1998. - Vol. 3466. - P. 267-277. 6. Transformed phase mask and photoanisotropic material in optical correlators applied for security verification/ L.I. Muravsky, T.I. Voronyak, V.M. Fitio, M.V. Shovgenyuk // Opt. Eng. - 1999. - Vol. 38, N 1. - P. 25-32. 7. Javidi B., Zhang G., Li J. Experimental demonstration of the random phase encoding technique for image encryption and security verification// Opt. Eng. - 1996. - Vol. 35, N 9. - P. 2506-2512. 8. Optical recognition of phase-encrypted biometrics / Johnson E.G., Brasher J.D. Gregory D.A. et al. // Opt. Eng. - 1998. - Vol. 37, N 1. - P. 18-26. 9. Lu G., Yu F.T.S. Performance of a phase-transformed input joint transform correlator // Appl. Opt. - 1996. - Vol. 35, N 2. - P. 304-313. 10. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику. - М., 1970. 11. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток. - М., 1985.

УДК 681.31 : 621.3.087.92

Паньків Р.С.

ДУ “Львівська політехніка”, НДКІ ЕЛВІТ

ПРОЦЕСОР УПРАВЛІННЯ ЦИФРО–АНАЛОГОВИМИ ТА АНАЛОГО–ЦИФРОВИМИ ПЕРЕТВОРЕННЯМИ

©Паньків Р. С., 2000

Розглянуті особливості архітектури процесорних пристроїв, що містять вузли цифро–аналогового та аналого–цифрового перетворення, показані обмеження та проблеми, що виникають при використанні для їх реалізації існуючих мікропроцесорів та мікро–ЕОМ. Запропонована концепція побудови і функціонування спеціалізованого процесора, що містить технічні засоби для апаратної і програмної підтримки цифро–аналогових та аналого–цифрових перетворювачів.

Характерна ознака сучасних вимірювальних засобів і промислового обладнання, що використовується для контролю і управління технологічними процесами, – використання обчислювальних засобів, які містять не тільки окремі арифметичні вузли, алгоритм функціонування яких жорстко заданий, а мають розвинуте апаратне забезпечення, конфігурація та режим функціонування якого задається гнучко, програмним чином [1]. Тобто для забезпечення високих сервісних можливостей та повного використання останніх наукових досліджень та розробок сучасне вимірювальне та технологічне обладнання розробляється на основі процесорів.

Внаслідок бурхливого розвитку технології виготовлення інтегральних схем сьогодні доступні різноманітні мікропроцесори та однокристальні мікро–ЕОМ, внутрішня архітектура яких може відрізнятися окремими схемними рішеннями і наявністю деяких функціональних вузлів (помножувач, послідовний порт тощо), але всі вони не мають технічних засобів, що дозволяють враховувати особливості реалізації вузлів цифро–

аналогового та аналого–цифрового перетворення. Тільки внаслідок відсутності спеціалізованих процесорів, які не можуть апаратно підтримати різноманітні режими функціонування цифро–аналогових та аналого–цифрових перетворювачів (ЦАП та АЦП), не знайшли масового практичного використання такі перспективні напрямки теорії перетворення сигналів, як рівномірне квантування та адаптивна дискретизація [2]. При цьому також потрібно відзначити, що ЦАП та АЦП, які виготовляються серійно, розраховані на рівномірну дискретизацію та квантування із змінним кроком при генерації або вимірюванні аналогових сигналів.

Розглянемо як приклад структуру та функціонування цифрового генератора гармонічних сигналів, побудованого на основі типового сигнального процесора, який містить:

- регістровий файл;
- арифметично–логічний пристрій;
- інтерфейс обміну даними з пам'яттю програм, пам'яттю даних та пристроями вводу/виводу;
- системний контролер;
- тактовий генератор.

Генерація гармонічних сигналів відбувається на основі кодів їх миттєвих значень N_i , які обчислюються згідно з аналітичним виразом:

$$N_i = \left[N_{\max} \sin(\omega t_i) \right], \quad (1)$$

де $[E]$ – цілочисельне значення E , що формується, як правило, з заокругленням до найближчого цілого; N_{\max} – максимальний вхідний код ЦАП, що становить $N_{\max} = 2^e - 1$, де e – розрядність ЦАП; t_i – значення змінної часу в моменти дискретизації, причому $t_i = i \cdot \Delta t$, де i – порядковий номер коду миттєвого значення вихідного гармонічного сигналу, $i = 1 \dots M$, M – кількість його миттєвих значень за період коливань T , а Δt – крок дискретизації, який дорівнює $\Delta t = T/M - \text{const}$; ω – кругова частота вихідного сигналу, що становить $\omega = 2\pi/T$.

Пристрій функціонує таким чином:

1) центральний процесор обчислює згідно з виразом (1) при заданих початкових умовах (параметри e , T , M) послідовність кодів миттєвих значень $\{N_1 \dots N_M\}$, які розміщуються в оперативній пам'яті;

2) ініціалізується зовнішній формувач часових інтервалів, який використовують тому, що роздільної здатності тактового генератора, що входить до складу процесора зазвичай недостатньо;

3) формувач часових інтервалів через задані проміжки часу Δt генерує переривання, по яких центральний процесор зчитує з оперативної пам'яті і записує у вхідний регістр ЦАП код наступного миттєвого значення N_i ;

4) в проміжки часу між виконанням підпрограми обробки переривання центральний процесор виконує основну програму, до задач якої належить забезпечення інтерфейсу із зовнішніми пристроями вводу/виводу (клавіатура, послідовний порт, пристрій індикації тощо), контроль правильності функціонування пристрою і коректування кодів миттєвих значень вихідних сигналів з метою усунення впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів (наприклад, зміни температури навколишнього середовища) та інші сервісні функції.

Основний недолік розглянутого алгоритму функціонування цифрового генератора гармонічних сигналів – неточність задавання миттєвих значень вихідних сигналів в моменти дискретизації t_i , яка, загалом, залежить від величини кроку квантування Δn та

кроку дискретизації Δt . Для зменшення похибки генерації гармонічних сигналів до заданого рівня, як правило, збільшують розрядність ЦАП e (відповідно, кількість рівнів квантування) та зменшують крок дискретизації Δt (відповідно, збільшують кількість миттєвих значень і за період коливань вихідного сигналу).

При цьому значно зростають вимоги до продуктивності центрального процесора, які зумовлені складністю основної програми. Якщо для виконання фонові програми стає недостатньо продуктивності навіть сучасних швидкодіючих сигнальних мікропроцесорів, то генератор гармонічних сигналів містить окремий вузол, до складу якого входять двопортова оперативна пам'ять кодів миттєвих значень, лічильник адреси і формувач сигналів запису в буферні регістри ЦАП. В такому випадку центральний процесор безпосередньо не виконує завантаження ЦАП, а тільки формує згідно з виразом (1) послідовність кодів миттєвих значень вихідного сигналу $\{N_1 \dots N_M\}$ і записує його в двопортову оперативну пам'ять, а також, при необхідності, коректує окремі коди. При цьому значно ускладнюється процес корекції кодів миттєвих значень – особливо, якщо генератор гармонічних сигналів – багатоканальний і, внаслідок цього, при запису в двопортову оперативну пам'ять нового масиву кодів миттєвих значень $\{N'_1 \dots N'_M\}$ може перериватися генерація вихідних сигналів.

Аналогічний аналіз можна виконати і для пристрою, який виконує аналого-цифрове перетворення вхідних сигналів. В такому випадку використання переривань для запуску і зчитування результату аналого-цифрового перетворення також значно обмежує функціональні і сервісні можливості прикладного програмного забезпечення.

Значно спростити внутрішню архітектуру цифрових вимірювальних приладів і промислового технологічного обладнання можна, використовуючи спеціалізовані процесори, що мають технічні засоби для підтримки оптимальних режимів функціонування вузлів цифро-аналогового та аналого-цифрового перетворення. В даній статті такий пристрій названий процесором управління цифро-аналоговими та аналого-цифровими перетвореннями, і до його складу пропонується додатково ввести:

- контролери цифро-аналогових та аналого-цифрових перетворювачів;
- формувач кодів миттєвих значень;
- формувач часових інтервалів, який має підвищену роздільну здатність.

Використання додатково введених функціональних вузлів розглянемо на прикладі генерації гармонічних сигналів на основі кодів миттєвих значень K_j , які сформовані при рівномірному квантуванні. При цьому обчислення значень K_j доцільно виконувати за рекурентним співвідношенням:

$$K_j = K_{j-1} \pm \Delta k, \quad (2)$$

де Δk – крок квантування, що дорівнює $\Delta k = K_{\max} / Q - \text{const}$, де K_{\max} – код амплітуди вихідного сигналу, а Q – кількість рівнів квантування, $Q = 2^e - 1$; j – порядковий номер коду миттєвого значення K_j , де $j = 1 \dots Q$, причому $K_0 = 0$. А також, якщо значення вихідного сигналу зростає, то виконується додавання, в іншому випадку, якщо сигнал зменшується – віднімання.

Очевидно, що формувач кодів миттєвих значень, що входить до складу процесора цифро-аналогових та аналого-цифрових перетворень, може бути реалізований на основі реверсивних лічильників, розрядність яких повинна бути не менша, ніж найбільша розрядність ЦАП, що можуть бути підключені, і кількість яких визначається максимальною кількістю ЦАП. Щоби забезпечити можливість задавання змінного кроку квантування Δk_j ,

формував кодів миттєвих значень доцільно виконувати на основі накопичуючих суматорів/віднімачів.

Перед початком генерації гармонічних сигналів процесор управління цифро-аналоговими та аналого-цифровими перетвореннями обчислює і записує в оперативну пам'ять масив приростів змінної часу $\{\Delta t_1 \dots \Delta t_Q\}$ кожного вихідного сигналу згідно з виразом:

$$\Delta t_j = \left[\frac{1}{\omega} \left(\arcsin \frac{K_j}{K_{\max}} - \arcsin \frac{K_{j-1}}{K_{\max}} \right) \right]. \quad (3)$$

Початкова частина значень Δt_j додаткового заноситься в пам'ять типу FIFO, що входить до складу контролера цифро-аналогових перетворювачів. Після цього процесор управління цифро-аналоговими та аналого-цифровими перетвореннями обнуляє внутрішні регістри формувача миттєвих значень K_j і переходить до виконання основної програми, яка забезпечує широкий набір сервісних та допоміжних функцій генератора гармонічних сигналів. Коди миттєвих значень K_j у вхідні регістри ЦАП безпосередньо завантажує формувач часових інтервалів, виконаний на основі лічильників технологічних імпульсів, які визначають точність задавання часових інтервалів Δt_j і частота слідування яких значно вища, ніж частота тактових імпульсів процесора. Кількість лічильників імпульсів також задається максимальною кількістю ЦАП, що можуть бути підключені.

Генерація вихідних сигналів відбувається таким чином. Контролер цифро-аналогових перетворювачів ініціалізує початковими значеннями Δt_j лічильники імпульсів формувача часових інтервалів. При досягненні кожним лічильником максимуму (при додаванні технологічних імпульсів) або мінімуму (при їх відніманні), біжучий код миттєвого значення K_j заноситься в буферний регістр відповідного ЦАП і після цього, для формування наступного значення згідно з (2), інкрементується або декрементується. Коли черга FIFO вичерпується, то контролер цифро-аналогових перетворювачів генерує переривання для завантаження наступної частини приростів часу Δt_j .

До переваг запропонованого алгоритму функціонування генератора гармонічних сигналів, що виконаний на основі процесора управління цифро-аналоговими та аналого-цифровими перетворень, можна віднести:

- 1) значне зменшення кількості переривань, яке залежить від довжини черги FIFO та кількості вихідних сигналів, що генеруються;
- 2) збільшення точності відтворення форми вихідних сигналів внаслідок більш точного задавання миттєвих значень сигналів в моменти дискретизації t_j . Задавання кодів миттєвих значень K_j , що мають більшу розрядність, не потребує збільшення розрядності зовнішньої оперативної пам'яті;
- 3) зменшення розрядності кодів, що формуються процесором та зберігаються в оперативній пам'яті пристрою, оскільки згідно з виразом (3) обчислюються тільки прирости змінної часу Δt_j ;
- 4) можливість використання існуючих інтегральних схем ЦАП для виконання цифро-аналогових перетворень різних типів.

Аналогічно процесор управління цифро-аналоговими та аналого-цифровими перетвореннями можна використовувати для вирішення зворотної задачі – визначення миттєвих значень вхідних сигналів. При цьому аналого-цифрові перетворення здійснюються визначенням часових інтервалів Δt_j між моментами перетинання аналоговим сигналом рівнів напруги, що задаються зовнішнім ЦАП згідно з кодами K_j . Для забезпечення

особливостей використання вузлів аналого-цифрового перетворення, які відрізняються від вимог розглянутих засобів цифро-аналогового перетворення, внутрішні функціональні вузли процесора управління цифро-аналоговими та аналого-цифровими перетвореннями повинні виконувати додаткові функції, а саме:

- формувач часових інтервалів додатково містить аналогові компаратори, що фіксують моменти, коли величина вхідного сигналу збігається із заданими рівнями напруги;
- формувач миттєвих значень вхідних сигналів для зменшення впливу випадкової складової виконує усереднення кодів, які отримані на виході відповідних лічильників технологічних імпульсів. Для формування миттєвих значень через однакові проміжки часу, що необхідно, наприклад, при виконанні гармонічного аналізу вхідних сигналів, рівні напруги повинні задаватися із змінним кроком квантування Δk_j ;
- контролер аналого-цифрових перетворювачів генерує переривання, коли пам'ять FIFO заповнена кодами миттєвих значень вхідних сигналів.

Обмежений обсяг статті не дозволяє повною мірою розглянути особливості внутрішньої побудови окремих функціональних вузлів та основні вимоги до системи команд процесора цифро-аналогових та аналого-цифрових перетворень. Головна мета статті – запрошення до обговорення і більш докладного аналізу широких можливостей, що відкриваються при розробці алгоритмів функціонування та при проектуванні прикладного програмного забезпечення вимірювальних пристроїв та технологічного обладнання, які виконуються на основі процесора управління цифро-аналоговими та аналого-цифровими перетвореннями. Сьогодні провідні світові виробники мікропроцесорних та аналогових інтегральних схем шукають шляхи спрощення аналого-цифрових перетворень сигналів, але основний напрямок розробок – суміщення на одному кристалі вузлів процесора і аналогових вузлів (комутатора вхідних сигналів, АЦП тощо), а не апаратна підтримка особливостей таких напрямків теорії перетворення сигналів, як рівномірне квантування та адаптивна дискретизація сигналів, переваги використання яких теоретично обґрунтовані і загальноновизнані.

Очевидно, що практично реалізувати у повному обсязі запропоновану в статті концепцію процесора управління цифро-аналоговими та аналого-цифровими перетвореннями силами вітчизняних розробників процесорних вимірювальних засобів малоімовірно. Більш реальним є часткове використання окремих положень для розробки на основі мікросхем програмованої логіки (типу XILINX) контролерів цифро-аналогових або аналого-цифрових перетворень, які дозволяють широко використовувати на практиці адаптивну дискретизацію та рівномірне квантування сигналів.

1. Цветков Э.И. Процессорные измерительные средства. Л., 1989. 2. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. К., 1976.