

В.К. ГУСЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук, проф. НТУ “ХПИ”
С.І. КОНДРАШОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ “ХПИ”
О.В.ГУСЕЛЬНИКОВ, магістр НТУ “ХПИ”

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

У статті наведені опис та принцип роботи розробленого авторами універсального перетворювача фізичних величин.

The article describes the principle and developed by the authors of the universal converter of physical quantities.

На основі автогенераторних АЦП [1] розроблено універсальний вимірювальний перетворювач фізичних величин в схему якого (див. рис.1) входять такі елементи:

1. Первинні перетворювачі (ПП) фізичних величин (ФВ) з частотним виходом [2]. Кількість датчиків визначається числом $N = (1-8)$.
2. Програмувальна логічна інтегральна схема (ПЛІС), що представляє собою високочастотний програмувальний лічильник - преселектор . Реалізована [3] на мікросхемі *MAX7000S* фірми *Altera* – з робочою частотою до 100 МГц.
3. Термостатований високостабільний генератор опорної частоти (ГОЧ)10МГц.
4. Мікроконтролер (МК) *Atmega8515* фірми *Atmel*. На нього покладаються функції керування, корекції результату по градуйованій таблиці датчика. При необхідності - керування каналом зв'язку з персональним комп'ютером (ПК).
5. Індикатор, що відображає результати вимірів необхідної розрядності.
6. Інтерфейсна схема каналу зв'язку.

Мікроконтролер формує наступні керуючі сигнали:

1. Код вибору каналу, 3 біти, вихід. Дозволяє використовувати від одного до восьми первинних перетворювачів у режимі мультиплексування.
2. Код множника, 8 біт, вихід. Це дозволяє змінювати частоту вхідного датчика в 250 разів, тобто вихідні частоти датчиків можуть лежати в діапазоні від 32 кГц до 5 МГц.
3. Скидання, 1 біт, вихід. Переведення ПЛІС у початковий стан. Обнуління лічильників і регістра.
4. Лінія “Вхід даних”, 1 біт, вхід. МК зчитує дані з виходу ПЛІС.4.Строб даних, 1 біт, вихід. Від МК подається запит на видачу даних у ПЛІС. По фронту сигналу дані встановлюються на лінію “Вхід даних”. По зрізу - регістр зсуву ПЛІС підготовляє наступний біт для передачі.

5. Лінія “Старт вимірювання”, 1 біт, вихід. По сигналу від МК починається цикл вимірювання в заданому каналі.
6. Лінія “Готовність даних”, 1 біт, вхід. Підрахунок частоти закінчений, мікроконтролер повинен зчитати результат з вихідного регістра ПЛІС. Крім уже зазначених ліній, що зв'язують ПЛІС із МК, до неї також підключаються виходи ПП і генератор опорної частоти.

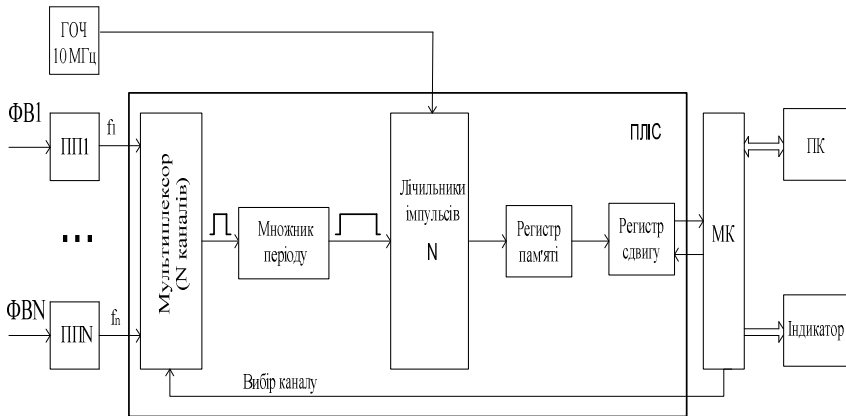


Рис. 1. Структурна схема вимірювального перетворювача

МК видає код каналу на мультиплексор, і частотний сигнал з обраного первинного перетворювача підключається через дільник частоти (множник періоду) до лічильника-формувача тимчасового інтервалу виміру (ЛЧ1). Залежно від вихідної частоти ПП МК видає код множника, що масштабує величину інтервалу виміру так, щоб час виміру залишався заданим. Одночасно від опорного генератора починається інкрементування лічильника заповнюючи імпульсів (ЛЧ2). При переповненні лічильника 1 формується сигнал кінця виміру. При цьому закінчується підрахунок імпульсів опорної частоти й отриманий у ЛЧ2 код переноситься в регістр зсуву. На лінії “Готовність даних” встановлюється активний сигнал для МК. Мікроконтролер видаючи імпульси по лінії “Строб” зчитує вихідні дані з регістра зсуву й обробляє отримані результати. Обчислене значення вимірюваної ФВ відображається на індикаторі або передається по каналі зв'язку в ПК. В обчисленнях виробляється урахування заводських градуированих характеристик датчиків

У якості первинних вимірювальних перетворювачів універсального перетворювача оберемо, наприклад, температурні датчики на основі кварцових резонаторів. Перевага таких перетворювачів, насамперед, полягає в їхній високій чутливості й простоті використання. Кварцові резонатори також мають високу добротність 10^7 і більше, короткочасну й довгострокову стабільність

від 10^{-4} до 10^{-7} , практично відсутній гістерезис при механічних, температурних й електричних впливах. Сигнал від резонаторів можна відразу обробляти в цифровій формі, що здешевлює процес обробки вимірюваних параметрів. Вимір температури за допомогою термочутливих кварцових резонаторів засновано на використанні анізотропії кристала кварцу. Вибираючи відповідну орієнтацію зрізу п'єзоелементу щодо кристалографічних осей, можна змінювати його термочастотну характеристику (ТЧХ), що у загальному випадку є нелінійною функцією й описується рядом наступного виду:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \sum_{n=1}^m \delta_f^{(n)} (T - T_0)^n = \sum_{n=1}^m \frac{1}{n!} \frac{\partial^n f}{\partial T^n} (T - T_0)^n,$$

де $\delta_f^{(n)}$ – температурний коефіцієнт частоти (ТКЧ), T и T_0 – каліброване та поточне значення температури.

У широкому діапазоні температур ТЧХ кварцового резонатора з достатньою точністю апроксимується трьома членами ряду. Для виміру температури потрібні кварцові резонатори із крутою монотонною зміною ТЧХ на робочій ділянці. У кварцових датчиках температури використовуються різні кварцові термочутливі резонатори (наприклад, РКТ-206) з типовою чутливістю порядку (2-20) Гц/°С. Вимір температури з малою похибкою може бути виконано, якщо градуйована характеристика термодатчика визначена з високою точністю. Мікропроцесор перераховує значення частоти, що надходить із кварцового датчика, у значення температури по індивідуальній градуйованій характеристиці (ГХ).

Датчиком температури розробленого вимірювального перетворювача вибрано промисловий кварцовий перетворювач температури ПТК-01, що забезпечують прецизійний вимір температури в діапазоні $-30 \rightarrow 100^\circ\text{C}$. Вихідна частота обраного датчика ПТК-1 становить 32кГц, а його похибка – 0,05 %. Цифрове перетворення повинне забезпечувати, як мінімум, на один порядок меншу похибку, щоб не вносити додаткових викривлень до результату вимірювань. Таким чином, точність роботи вимірювального перетворювача повинна бути 10^{-5} (0,001%). Тривалість вимірювання для заданої точності складе 3 сек. З вищевикладеного випливає, що ємність лічильника тимчасового інтервалу – 10^5 , отже, у схемі використовуємо 17-бітний лічильник. Для можливості використання в схемі датчиків із частотним виходом від 32кГц до 5 МГц, у схемі застосовується мультиплексор. Кратність діапазону вихідних частот ПП (f_{\max}/f_{\min}) відповідає 8-бітному множнику періоду. Опорну частоту вибираємо вдвічі вище максимальної вихідної частоти ПП, вона складе 10 МГц. Виходячи з опорної частоти й максимального часу виміру – визначаємо розрядність лічильника імпульсів, що заповнюють, і регістра зсуву. Обсяг кожного складе 26-біт.

Зроблені розрахунки підтверджують доцільність використання в схемі ВП ПЛІС, що заміняє по функціях кілька десятків мікросхем середнього ступеня інтеграції. У програмувальній логічній схемі кожен макроосередок міс-

тять тригер (по числу рахункових тригерів вибираємо підтип ПЛІС із 128 макроосередками *Max7128S*).

В якості мікроконтролера у схемі використовується *ATmega8515* - економічний 8-розрядний мікроконтролер, заснований на посиленій *AVR RISC* архітектурі. *ATmega8515* забезпечує продуктивність 1 мільйон операцій у секунду на 1 МГц синхронізації за рахунок виконання більшості інструкцій за один машинний цикл і дозволяє оптимізувати споживання енергії за рахунок зміни частоти синхронізації.

В якості відлікового пристрою універсального перетворювача використовується цифровий семи-розрядний індикатор *ИЖЦ71-5/7* з децимальною крапкою в кожному розряді й убудованим мікросхемним блоком керування.

Точність виміру розробленого приладу визначається обраним первинним перетворювачем, похибкою джерела опорної частоти й дискретністю відліку. Мікропроцесор вносить обчислювальну похибка, що визначається похибкою округлення й похибкою неточності подання констант; ці похибки малі щодо інших і тому ними можна зневажити. Похибку, яку вносить ПЛІС теж не приймаємо до уваги, на той же підставі. Для того щоб виключити похибку від ГОЧ, як джерело опорної частоти використовуємо високостабільний термостатований генератор на 10 МГц.

На основі розробленого приладу з кварцовими датчиками ПТК-01, РКМА-21, ПВК-1 та ін. побудований універсальний вимірник кількох неелектричних величин таких як: температура, маса, вага, сила, тиск, вологість. Експериментальні дослідження описаного приладу з датчиком температури ПТК-01 довели що його результуюча похибка в робочому діапазоні -30 – $+100^{\circ}\text{C}$. не перевищує 0,08 % і є істотно меншою результуючою похибки сучасних аналогів.

Список літератури: 1. *Полулях К.С., Гусельников В.К.* К теории бигенераторных цифровых преобразователей физических величин // Метрология. Москва, 1983 – Вып. 7. 2. *Малов В.В.* Пьезо-резонансные датчики – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 272 с. 3. *Баранов В.Н.* Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы. - М.: Издательский дом «ДодэкаXXI», 2004.-288с. 4. www.alldatasheet.co.kr/ALTERA/MAX7000S.htm.

Поступила в редакцию 05.04.2010