

рювань. Величина абсолютної похибки вимірювання постійна в усьому діапазоні вимірювань і визначається дискретною підрахунку (періодом імпульсів ГВЧ). Величина відносної похибки залежить від величини вимірюваного прискорення – чим воно більше, тим точніше його можна виміряти.

### Параметри акселерометра. Висновки

Застосування комп'ютерного опрацювання дозволяє нейтралізувати природні недоліки і недосконалості ВОД, пом'якшити жорсткість вимог, що висуваються до самих ВОД, не знижуючи при цьому високих вимог до якості вимірювань в цілому.

Розрахункові (очікувані) величини основних параметрів акселерометра.

- порогова чутливість..... $10^{-13}$  g;
- мінімальна відносна похибка вимірювань..... $10^{-7}$  %;
- динамічний діапазон вимірюваних величин прискорень..... $10^7$ .

В разі необхідності наведені параметри можуть бути змінені на 2-3 порядки в той чи інший бік шляхом відповідного добору конструктивних параметрів ВОД і параметрів схеми опрацювання його сигналу.

Розглянуті акселерометри можуть слугувати основою для побудови інерціальних навігаційних систем автономних рухомих об'єктів, зокрема космічних літальних апаратів, що перебувають протягом тривалого часу під дією малопотужних силових факторів, наприклад, тиску сонячного вітру.

### Література

1. Демьяненко П.А., Зиньковский Ю.Ф., Прокофьев М.И. Прецизионный цифровой акселерометр с волоконно-оптическим датчиком. // Радиоэлектроника. - 1997. - Т.40. - №1. - С.39-47. (Известия высш. учебн. заведений).
2. Демьяненко П.А., Зиньковский Ю.Ф., Прокофьев М.И. Обработка сигналов в измерителях с импульсными волоконно-оптическими датчиками. // Радиоэлектроника. Известия высш. учебн. заведений. 1998. Т.41, №8. С.54-60.
3. Федорцов А.О., Долинский М.С. Микроконтроллеры и микропроцессоры для встроенных систем. // Электроника, №11-12, 1998.

Дубиковский А.А., Демьяненко П.А. <b>Микроконтроллерная обработка сигналов в прецизионном цифровом акселерометре с волоконно-оптическим датчиком.</b> Рассмотрены особенности, принцип и режимы работы трехкоординатного волоконно-оптического датчика. Приведены структурная схема и алгоритм обработки сигнала прецизионного цифрового акселерометра с таким датчиком, ожидаемые величины основных параметров.	Dubikovskiy A.O., Demjanenko P.O. <b>The microcontroller processing of signals in precision digital accelerometer with the fiber-optical sensor.</b> Features, a principle and operating modes of the three-coordinate fiber-optical sensor are considered. The block diagram and algorithm of processing of a signal precision digital accelerometer with the fiber-optical sensor is offered, expected sizes of key parameters are resulted.
--	--

УДК 681.586.5; 531.768

## ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ В ПРЕЦИЗІЙНОМУ ЦИФРОВОМУ АКСЕЛЕРОМЕТРІ З ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИМ ДАВАЧЕМ

Чубарев О.А., Дем'яненко П.О.

Наведено алгоритм опрацювання сигналів в прецизійному цифровому акселерометрі з волоконно-оптичним давачем. Розглянуті переваги та особливості використання мікроконтролера для обробки сигналів від волоконно-оптичного давача.

**Вступ. Постановка задачі**

Абсолютна невразливість волоконно-оптичних давачів (ВОД) до різних за походженням та інтенсивністю електромагнітних полів, їхня підвищена стійкість при роботі в хімічно та фізично агресивних середовищах привертає увагу розробників, визначає актуальність розробки ефективного алгоритму опрацювання сигналу імпульсного ВОД - основи для побудови 3-координатного прецизійного цифрового вимірювача надмалих прискорень.

**Алгоритм опрацювання сигналів**

Вихідний сигнал ВОД формується у вигляді часової послідовності оптичних імпульсів, що дозволяє реалізувати принцип «вимірювання–підрахунок». Похибка вимірювання визначається дискретною вимірювання і мінімізується опрацюванням сигналу мікроконтролером. Основою конструкції ВОД є конічний маятник на основі відрізка кварцового волоконного світловода (ВС), консольно закріпленого в корпусі. На вільному кінці консолі є інерційна маса (ІМ) з магнітом'якого матеріалу [1]. В робочому режимі кінець маятника описує коло над схрещеними ввігнутими дзеркалами, виконаними у вигляді відрізків двох зрізаних тороїдальних поверхонь, тороутворюючі площини яких перетинаються під прямим кутом і визначають вісі  $OX$  та  $OY$  чутливості ВОД (рис.1). В моменти перетинання кінцем маятника вісей кривизни дзеркал, частина оптичного потоку повертається назад у консоль ВС, формуючи на виході ВОД оптичний сигнал у вигляді послідовності коротких оптичних імпульсів, яку можна розглядати як таку, що складається з двох, вкладених одна в одну  $X$  і  $Y$  послідовностей, сформованих імпульсами від відповідних дзеркал (рис. 2).

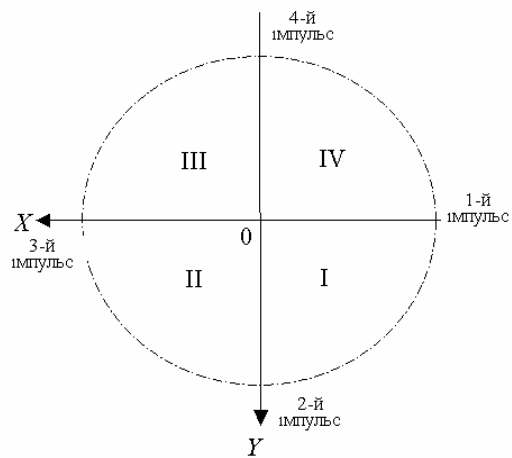


Рис.1. Коло обігу маятника  $OX, OY$  – вісі дзеркал (чутливості); *1-й імпульс* генерується при перетинанні маятником вісі  $OX$  *2-й імпульс* генерується при перетинанні маятником вісі  $OY$

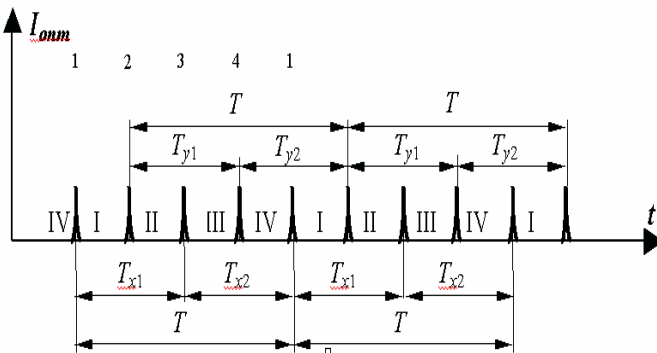


Рис.2.Часова діаграма вихідного оптичного сигналу ВОД для випадку  $\vec{a}=0$ . 1, 2, 3, 4, – порядкові номери імпульсів (умовно); I, II, III, IV, – порядкові номери квадрантів круга обігу;  $T$  – період обертання маятника;  $T_{x1}, T_{x2}$  – час перебування маятника з одного (в квадрантах I,II) і з другого (в квадрантах III,IV) боку вісі  $OX$ , відповідно;  $T_{y1}, T_{y2}$  – час перебування маятника з одного (в квадрантах II,III) і з другого (в квадрантах IV,I) боку вісі  $OY$ , відповідно.

Оптичні імпульси надходять на фотоприймач (ФП), де перетворюються на електричні, для подальшого опрацювання їх засобами цифрової техніки. Алгоритм опрацювання сигналів призначений для роботи з мікроконтролером (МК). Для забезпечення необхідної точності вимірювань був обраний МК *Intel 8XC251S SB*, з параметрами: тактова частота – 16 МГц; *RAM* – 1 Кб; *ROM/OTPROM/EPROM* – 16 Кб; 3 таймери/лічильники – по 16 біт кожний [2].

Для роботи МК слід накопичити необхідні вхідні дані, якими є:  $T_{x1}$ ,  $T_{x2}$  – часи перебування маятника обабіч осі  $X$ ;  $T_{y1}$ ,  $T_{y2}$  – часи перебування маятника обабіч осі  $Y$ ,  $T$  – повний період обертання маятника.

#### *Алгоритм накопичення вихідних даних*

При початковому запуску ВОД маятник за допомогою електромагнітів відводиться в четвертий квадрант (рис 1.) і далі приводиться в рух за годинниковою стрілкою. При цьому змінні в алгоритмі, що відповідають часам перебування маятника обабіч обох осей і повним періодам останнього і передостаннього циклів обнулені. Таймери МК також обнулені.

При проходженні маятника над першим дзеркалом на МК поступає імпульс (умовно назвемо його першим). Прихід цього імпульсу запускає перший таймер МК і змінна, що відповідає за положення маятника (і визначає чверть), стає рівною одиниці. Далі, з частотою підрахункових імпульсів (100 МГц) перший таймер збільшує своє значення на одиницю. Якщо до приходу другого імпульсу від ВОД цей таймер переповнюється, то другий таймер інкрементується, а перший обнуляється і запускається знову. Прихід другого імпульсу змінює змінну періоду на двійку, інтервали часу  $T_{x1}$  і  $T_{y2}$  збільшують своє значення на число, записане в першому таймері (або комбінації першого і другого таймерів). Таймер(и) перезавантажуються. Якщо змінна  $T_{y1}$  не дорівнює нулю (що відповідає вже не першому повному періоду обертання маятника) то:

1. Проводиться розрахунок прискорення вздовж координати  $Y$ ;
2. Розраховується повний період обертання маятника, порівнюється з початковим значенням періоду обертання  $T_0$  і визначається прискорення вздовж осі  $OZ$ ;
3. Отримавши всі необхідні вихідні дані, розраховуються направляючі косинуси і модуль вектора прискорення [3]. Після повного циклу опрацювання вихідні дані спрямовуються на вихідний порт МК в зручному для подальшого використання вигляді.

Прихід на МК третього імпульсу збільшує  $T_{x1}$  і  $T_{y1}$  на величину часу, що був витрачений в перехідних тактах МК. Лічильники обнуляються, змінна періоду дорівнюється до трійки. Прихід четвертого імпульсу додає до  $T_{x2}$  і  $T_{y1}$  значення таймера(ів), таймери обнуляються, змінна періоду дорівнюється до четвірки. При наступній подачі першого імпульсу: період = 1; обнуляються таймери; збільшуються змінні  $T_{x2}$  і  $T_{y2}$ ; проводиться розра-

хунок прискорення вздовж осі  $X$ . Далі цикл повторюється, доки на МК подається живлення, або не відбулося його скидання.

Для забезпечення високої точності вимірювань всі змінні на півперіодів - 32 розрядні з плаваючою комою, що дозволяє забезпечити розрахункову похибку вимірювання до  $10^{-7}$  %. Оскільки похибка вимірювання складових вектора прискорення напряму залежить від похибки вимірювання часових інтервалів, то при складанні програми слід враховувати кількість пропущених тактів, за час яких виконувалися всі команди програми. Для такого обліку слід вводити поправки в вимірювані періоди і напівперіоди маятника.

Для передачі інформації оператору або до пристрою опрацювання вихідних даних акселерометра (який не входить до складу розроблюваного пристрою) можна застосувати такі методи: передача по радіоканалу; вивід даних на дисплей; перетворення даних для передачі через *COM*-, *LPT*- або *USB*-порти з наступним опрацюванням, накопиченням і аналізом, використовуючи програмне забезпечення ПК.

### **Висновки**

Зауважимо, що використання МК для опрацювання сигналів ВОД дозволяє побудувати всю електричну схему акселерометра на одній малорозмірній платі, що призводить до зменшення масогабаритних параметрів пристрої і важливо для бортових систем.

### **Література**

1. Демьяненко П.А., Зиньковский Ю.Ф., Прокофьев М.И. Прецизионный цифровой акселерометр с волоконно-оптическим датчиком // Известия высш. учебн. заведения. Радиоэлектроника. – 1997. - Т.40. - №1. - С.39-47.
2. Intel 8XC251SA,8XC251SB,8XC251SP,8XC251SQ Embedded Microcontroller User's Manual.
3. Демьяненко П.А., Зиньковский Ю.Ф., Прокофьев М.И. Обработка сигналов в измерителях с импульсными волоконно-оптическими датчиками // Известия высш. учебн. заведения. Радиоэлектроника. 1998. Т.41, №8. С.54-60.

<p>Чубарев О.А., Демяненко П.О.  <b>Обработка сигналов в прецизионном цифровом акселерометре с волоконно-оптическим датчиком.</b>                  Приведен алгоритм обработки сигналов в прецизионном цифровом акселерометре с волоконно-оптическим датчиком. Рассмотрены преимущества и особенности использования микроконтроллерного устройства для обработки сигналов датчика.</p>	<p>Chubarev A.A., Demyanenko P.O.  <b>Processing of the signals in precision digital accelerometer with the fiber-optical sensor.</b>                  The algorithm of processing the signals in precision digital accelerometer with the fiber-optical sensor is brought. Advantages and features of use microcontroller device for processing signals from the fiber-optical sensor are considered.</p>
--	--