

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МИКРОМЕХАНИЧНИ СЕНЗОРИ ЗА УСКОРЕНИЕ ЗА ПОЗИЦИОНИРАНЕ НА ПОДВИЖНИ ПЛАТФОРМИ

Марин Беров Маринов, ТУ София, ФЕТТ, Катедра ЕТ, mail: mbm@vmei.acad.bg
Тодор Стоянов Джамийков, ТУ София, ФЕТТ, Катедра ЕТ, E-mail: tsd@vmei.acad.bg

Abstract. Application of micromechanical accelerometers for positioning of movable platforms. Contemporary developments in the field of surface micromachining enabled the high-volume production of low cost accelerometers with built into the single chip, signal-processing electronics. The reductions of price and size, larger operating ranges, higher resonant frequencies, lower amplitude ranges, MEMS technology and integrated electronics, together with easier connectives to microcontrollers allowed the adaptation of acceleration sensing in areas where such one has been impossible before.

This paper attends an intelligent module for measurement of tilt with micromashined accelerometers with digital and analog outputs. The intelligent and communication functions are implemented on the basis of low-cost microcontroller, enriching extended support for communication with standard serial interfaces and low-power modes. A combination of classical and some new measurement techniques, such as continuous self-calibration and multi-port measurement are used to obtain high accuracy and long-term stability. The module can be used also in monitoring of machine condition and vibrations measurement of moving machinery components, both aiming diagnostics and enhancement of the whole system reliability.

1. Въведение

Съвременното развитие в областта на микромеханичните технологии позволява производството на големи количества сензори на ускорение на относително ниски цени. Редуцирането на цената и размерите, интегрирането на обработката на сигналите на сензорния чип и възможностите за просто свързване с микроконтролери дават възможност за приложение на измерването на ускорение в области, които преди това са били немислими.

Предмет на настоящата работа е разработката и практическата реализация на измервателна система на базата на интегрални сензори за ускорение с цифров и аналогов изход. Разгледана е възможността за приложение на капацитивни микромеханични сензори за измерване на ъгъл спрямо хоризонта (ъгъл на място) и на азимут на подвижни платформи, които могат да са части от монтажни, насочващи и наблюдателни системи с ниски скорости на

движение. Основно предимство е, че този вид сензори не изискват механична връзка с оста на въртене на платформата. Многофункционалното предназначение дава възможност да се реализират различен тип многоканални измервания. Целта е оценка на възможностите за използване на евтини сензори за позициониране на подсистеми с ограничени степени на свобода. Функциите на модула са реализирани на базата на евтин микроконтролер с разширени комуникационни и енергоспестяващи режими. Разработен е базов софтуер за измерване на ъглите за позициониране и е направен анализ на постигнатите точности и на възможностите за приложение.

2. Сензор за измерване на ускорение ADXL202

ADXL202 е микромеханична система за измерване на статично и динамично ускорение в две направления вградена в монолитна интегрална схема. Тя съдържа микромеханичен сензор на полисилициева основа и измервателно-преобразувателна схема. За всяко направление аналоговият сигнал се преобразува в цифров, който може да се подаде директно на микропроцесор. ADXL202 измерва положително и отрицателно ускорение по всяко от двете направления с максимална стойност $\pm 2 \text{ g}$. Освен това измерва статично ускорителните сили като гравитацията, което дава възможност да бъде използван като сензор за наклон.

Сензорът представлява полисилициева структура създадена по методите на микромеханиката, върху силициева подложка. Полисилициеви нишки придържат структурата на повърхността на слоя и осигуряват съпротивление срещу ускорителните сили. Отместването на структурата се измерва като се използва диференциален кондензатор, който се състои от фиксирани плоскости и плоскости, свързани с движещата се структура. Ускорението отклонява пластина която дебалансира диференциалния кондензатор. На принципа на измерване на фазова разлика се формира сигнала и се определя посоката на ускорението.

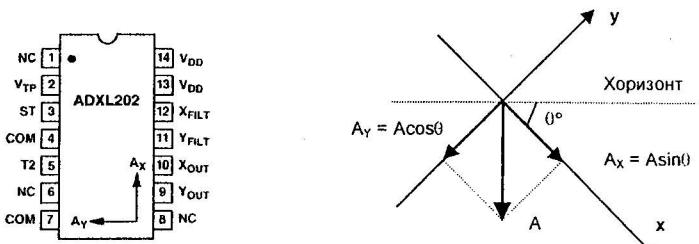
ADXL202 има ниска консумация (под $0,6 \text{ mA}$) и възможност за избор на честотна лента за всеки от каналите. Грешката му е 5 mg при честотен диапазон 60 Hz . Захранва се еднополярно $+3 \text{ V}$ до $+5,25 \text{ V}$ и издържа удар от 1000 g . Изходите му са широчинно-импулсни сигнали, чийто коефициенти на запълване са пропорционални на ускорението във всяко от двете измервателни направления. Тези сигнали могат да бъдат измерени директно от брояч на микропроцесор.Периодът се избира от $0,5 \text{ ms}$ до 10 ms чрез резистор. Честотният диапазон може да се подбере от $0,01 \text{ Hz}$ до 5 kHz чрез два кондензатора.

Изходният сигнал преминава през $32 \text{ k}\Omega$ резистор. На това място има извод за всеки канал, който да позволява на потребителя да филтрира сигнала подбирачки подходящ кондензатор. След като е филтриран, аналогият сигнал се преобразува в цифров. Ог ускорение съответства на 50% номинална

стойност коефициент на запълване. Стойността на ускорението може да бъде определено като се измери дължината на T1 и T2 чрез брояч на микроконтролер. Може да бъде получено и аналогово изходно напрежение чрез подходящ нискочестотен филтър на цифровия изход.

3. Измерване на наклон чрез ADXL202

Принципът на изменение на реакцията на акселерометъра в зависимост от наклона е показана на фиг. 1.



Фиг. 1. Разположение на осите на чувствителност на ADXL202 и проекция на земното ускорение върху тези оси

Въз основа на разглежданията на фиг. 1 наклонът на даден обект спрямо хоризонта може да се изчисли чрез зависимостта:

$$\theta = \arcsin \frac{[O(\theta) - O(0g)]}{lg \cdot K},$$

където $O(\theta)$ е реакцията на сензора при наклон градуса, $O(0g)$ е реакцията на сензора при въздействие $0g$ и K е коефициент зависещ от изменението на изхода на сензора за ускорение $1g$.

Таблица 1. Изменение на реакцията на сензора при различни наклони на оста X спрямо хоризонта.

Ориентация наesta X спрямо хоризонта, °	Реакция поesta X (X_{out}), g	Δ - изменение на реакцията при изменение на наклона с 1°, mg	Реакция поesta Y (Y_{out}), g	Δ - изменение на реакцията при изменение на наклона с 1°, mg
-90	-1,000	-0,152	0,000	17,45
-60	-0,866	8,59	0,500	15,19
-45	-0,707	12,23	0,707	12,45
-30	-0,500	15,04	0,866	8,86
0	0,000	17,45	1,000	0,152
30	0,500	15,19	0,866	-8,59
45	0,707	12,45	0,707	-12,23
60	0,866	8,86	0,500	-15,04
90	1,000	0,152	0,000	-17,45

4. Оразмеряване на схемата и оценка на разделителната способност

За наклона е от значение висока точност при измерване на постояннотоковия сигнал, отместване на нулата поради температурни изменения и с течение на времето. За оценка на разделителната способност, която може да се постигне при измерване на наклон трябва да се изчисли разделителната способност на аналоговата и на цифровата част на сензорната система.

4.1. Аналогова част

Избрано е стандартно захранващо напрежение 5 V. Използването на захранване от 3 V влошава разделителната способност от порядъка на 60 %. За измерването на наклона се измерва статичната реакция и аналоговата честотна лента е ограничена до 1 Hz.

Въз основа на тези два основни параметъра се изчислява 0,0006 g ефективната стойност на шума на аналоговите изходи (X_{filt} , Y_{filt}), а за стойността от връх до връх – съответно 0,0024 g (при ниво на вероятност ~95 %). Тук може да се постигне по-добра разделителна способност чрез по-нататъшна редукция на честотната лента.

4.2. Цифрова част

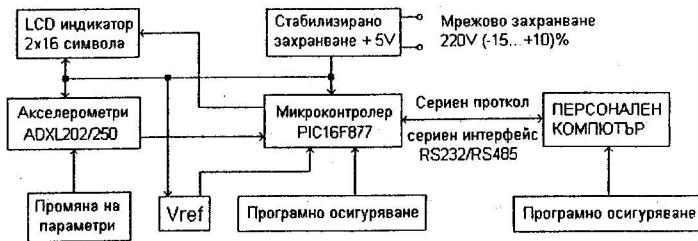
За оразмеряване на аналоговата част се изхожда от необходимите брой измервания в секунда и от времето, необходимо на използвания в конкретното приложение микроконтролер за извършване на изчисления за получаване на резултат. Тук е избрано време за изчисляване 4 ms (напълно достатъчно за реализиране на изчислителните операции от повечето по-разпространени микроконтролери) и реализиране на 25 измервания в секунда. По-големият брой измервания в секунда е продуктуван от ограничения, налагани от спецификата на работата на широчинно-импулсния модулатор и от възможността за по-нататъшно подобряване на разделителната способност чрез прилагане на цифрово филтриране. Така при използване на брояч, работещ на честота 1 MHz и капацитет 14 разряда се получава разделителна способност 0,0010 g

Общият шум от връх до връх е корен от сума на квадратите на цифровия и аналоговия шум и за конкретните разглеждания е 0,156 градуса при чувствителност 17 mg/ $^{\circ}$ (минимална чувствителност при 0 и при 90 $^{\circ}$).

Чрез осредняване на определен брой измервания може допълнително да се повишава разделителната способност. При осредняване на 4 измервания се получава двукратно подобряване на разделителната способност (0,0778° наклон).

При оразмеряването на схемата трябва да се обърне особено внимание на температурния дрейф на нулата. Температурно изменение от 20 K води до дрейф от порядъка на 0,040 mg или на 2,35° наклон.

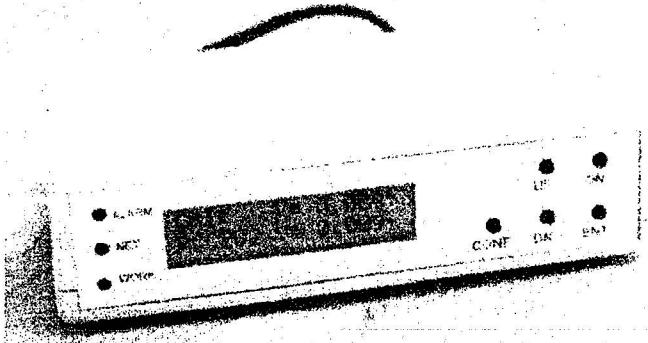
5. Структура системата за измерване на ускорение



Фиг. 2. Блокова схема на разработената система

Микроконтролерът осъществява измерванията, комуникацията, управлява аларменото реле и течнокристалната индикация.

LCD панелът е текстови – 2 x 16 символа и данните към него се подават по 8-битов стандартен синхронен интерфейс на принципа запис на начален адрес, подаване на ASCII данни.



Фиг. 3. Общ вид на четириканалния акселерометър

Бутоните са предназначени съответно за калибровка, избор на изобразяван канал, потвърждение. Светодиодите отразяват работата на устройството –

мигаш зелен; връзка и комуникация с PC по RS232/RS485 – жълт и алармен сензорен – червен.

Захранването на устройството е мрежово 220 V (-15...+10%). Използван е стандартен трансформатор 6 V / 0,22 A.

6. Заключение

Измервателната система на базата на акселерометъра ADXL202 или ADXL250 има многофункционално предназначение даващо възможност да се реализират различен тип измервания на статично и динамично ускорение по четири канала – два аналогови и два цифрови. Освен наклон могат да се измерват и други параметри (шум, вибрации и др.).

Тъй като гравитацията е статична величина е необходима висока разделителна способност и точност на при реализиране измерването на статично ускорение.

Основните ограниченията идват от аналоговата част на сензора, от значителния температурен дрейф на нулата и от основната ъглова грешка на сензора. За редуциране влиянието на последните два фактора е необходимо използване на ефективни процедури за калибриране и елиминиране на температурните влияния.

Литература

- [1] Barkov, A.: "Optimization of Monitoring and Diagnostics Methods for Rotating Machines Using Vibration and Noise Measurements", Proceedings of the 4th International Congress on Sound and Vibration, St. Petersburg, Russia, June 24-27, 1996, Vol. 3, pp. 1573-1578.
- [2] Brignell, J., N. White: Intelligent Sensor Systems, Institute of Physics Publishing, 1994.
- [3] Cole, J. C.: A New Capacitive Technology for Low-Cost Accelerometer Applications. Sensors Expo. Int., 1989.
- [4] Doscher, J., Kitchin, C.: "Monitoring Machine Vibration with Micromachined Accelerometers", Sensors Magazine, May 1997.
- [5] Goes, F.: Low-Cost Smart Sensor Interfacing. Delft University Press. Delft, 1996.
- [6] Hauptmann, P.: Sensoren - Prinzipien und Anwendungen. Hanser Verlag, München, Wien, 1990.
- [7] Payne, R. P., Dinsmore, K. A.: Surface Micromachined Accelerometer: A Technology Update. SAE Int. Cong., Detroit, 1991, pp. 127 – 135.
- [8] Ristic, L.: Sensor Technology and Devices, Motorola edition, 1991.
- [9] Schilling, C. et al.: Klein aber komplex: Der Beitrag bionischer Forschung für die Mikrosystemtechnik. BIONA-report 9. 2. Kongr. d. Techn. Biologie u. Bionik 1994 (Ed. W. Nachtigall), Fischer Verlag, Jena 1995, S. 51-64.
- [10] Sze, S.: Semiconductor Sensors, John Wiley, New York, 1994.
- [11] Yamasaki, H. K. Takahashi.: Advanced intelligent sensing system using sensor fusion. Proceedings of the 1992 International Conference on Industrial and Electronic Instrumentation and Automation. Vol. 1, 1993.