

УДК 681.586

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ АВТОМОБИЛЕЙ

Г.С. Сериков, ассистент, к.т.н., ХНАДУ

*Аннотация.* Освещены причины возникновения нелинейности зависимости выходного сигнала от измеренного ускорения. Приведена методика снижения погрешности нелинейности акселерометров.

*Ключевые слова:* акселерометр, погрешность нелинейности, ускорение, самотестирование, АЦП.

## ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ В ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ АВТОМОБІЛІВ

Г.С. Сєріков, асистент, к.т.н., ХНАДУ

*Анотація.* Освітлено причини виникнення нелінійності залежності вихідного сигналу від обмірюваного прискорення. Наведено методику зниження похибки нелінійності акселерометрів.

*Ключові слова:* акселерометр, похибка нелінійності, прискорення, самотестування, АЦП.

## FUNCTIONALITY OF ACCELEROMETERS IN ELECTRONIC SYSTEMS OF THE VEHICLE

G. Serikov, assistant, Candidate of Technical Science, KhNAHU

*Abstract.* Causes of nonlinearity occurrence of signal dependence output from the measured acceleration are described. The technique of error decrease of accelerometers nonlinearity is offered.

*Key words:* accelerometer, nonlinearity error, acceleration, self-testing, analogue-digital converters.

### Введение

Акселерометры в автомобиле уже нашли и могут еще найти много разных применений. Они применяются в системах активной безопасности, для измерения вибрации в подвеске, для определения моментов детонации в двигателе внутреннего сгорания, в качестве датчиков в рулевом управлении, в качестве датчиков динамики автомобиля. Также акселерометры применяются и в навигации.

### Анализ публикаций

Современные акселерометры, выполненные по MEMS технологии с емкостным измерительным элементом, имеют малые размеры и низкое потребление мощности [1, 2]. Однако

нелинейная зависимость измеряемой емкости от величины перемещения подвижной обкладки вносит определенные трудности в процесс измерения ускорения. Чтобы правильно выбрать тип датчика и диапазон измерений, необходимо иметь представление, как он устроен и какие сложности возникают в процессе преобразования ускорения в выходной сигнал [3].

### Цель и постановка задачи

Целью данной статьи является краткий обзор метрологических характеристик акселерометров в интегральном исполнении, для дальнейшего анализа их применения в электронных системах автомобиля.

**Применение акселерометров с цифровым выходом**

Сейчас на рынке присутствует довольно большой ассортимент акселерометров как с цифровым, так и с аналоговым выходом. Акселерометры с аналоговым выходом дешевле, но требуют внешние фильтры и аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Почти в каждом микроконтроллере уже присутствуют АЦП, однако это скорее оценочные приборы. Для полноценной работы, обеспечивающей требуемую точность и быстродействие, все же необходимо применение внешних микросхем АЦП. Аналоговые микроконтроллеры обычно подключаются к АЦП через корректирующие цепи. Следовательно, требуется расчёт параметров фильтра, расчёт погрешности, вносимой элементами фильтра и т.д.

Обратим внимание на цифровые акселерометры. Они не требуют внешних компонентов и не требуют никаких расчётов: все их метрологические характеристики указаны. Стоить они будут дороже аналоговых, но время, затрачиваемое на разработку системы, снижается. Точность измерений выше. Цифровые акселерометры в большинстве случаев имеют уникальный номер и поддерживают сетевую структуру подключений различных устройств.

Кроме того, габариты такого прибора значительно меньше, ведь вся схемотехника располагается в корпусе микросхемы.

Наиболее перспективным является применение акселерометров с датчиками емкостного типа. Однако для интегральных акселерометров с датчиками емкостного типа существует нелинейная зависимость емкости конденсатора от расстояния между обкладками.

Емкости обоих конденсаторов изменяются в соответствии с формулой

$$C = \epsilon \cdot S / x, \tag{1}$$

где  $S$  – площадь пластин;  $\epsilon$  – диэлектрическая постоянная и  $x$  – расстояние между пластинами. На рис. 1 приведен график зависимости разности емкостей этих конденсаторов ( $C_1 - C_2$ ) от перемещения подвижной пластины.

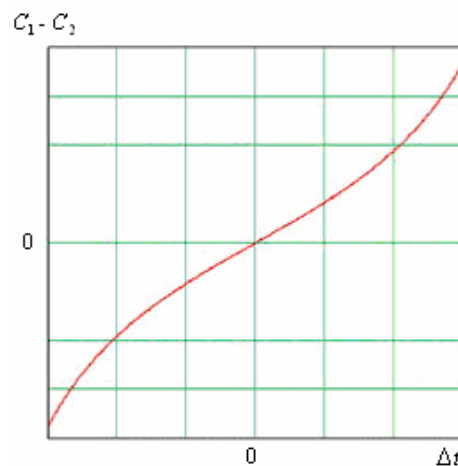


Рис. 1. График зависимости разности емкостей конденсаторов акселерометра от перемещения подвижной пластины

При использовании усилителя заряда, как это сделано в ХММА1000, потенциал подвижной пластины постоянен и равен половине напряжения питания. В этом случае из формулы  $q = CV$  с учетом (1) следует, что приращение заряда подвижной обкладки при ее перемещении на расстояние  $x$  составит

$$\Delta q = \Delta q_1 - \Delta q_2 = 2\epsilon SV \frac{\Delta x}{x^2 - (\Delta x)^2}. \tag{2}$$

Как видно из рис. 1, зависимость приращения заряда нелинейно изменяется в зависимости от изменения расстояния между пластинами. Если в акселерометре применяется усилитель напряжения (электрометрический), то заряд конденсаторов датчика меняться не будет. Тогда приращение напряжения на подвижной пластине будет линейно зависеть от изменения расстояния между пластинами

$$\Delta V = \frac{q \Delta x}{\epsilon S}.$$

По указанным причинам акселерометр ХММА1000 (усилитель заряда) имеет типичную погрешность линейности 1 % от полной шкалы против 0,5 % у ММАС40G (усилитель напряжения). Акселерометры семейства ADXL имеют емкостный датчик дифференциального типа, неподвижные пластины которого питаются равными, но противофазными напряжениями возбуждения  $V_1$  и  $V_2$  с частотой 1 МГц. Поэтому комплексное действующее значение напряжения на средней пластине, согласно методу двух узлов, определяется формулой

$$V = \frac{V_1 j \omega C_1 + V_2 j \omega C_2}{V_1 j \omega C_1 \cdot V_2 j \omega C_2}, \quad (3)$$

где  $\omega$  – круговая частота возбуждения. С учетом того, что  $V_1 = -V_2$ , а

$$C = \frac{\epsilon S}{x - \Delta x},$$

из (3) получим

$$V = V \frac{\Delta x}{x}. \quad (4)$$

Таким образом, зависимость напряжения на подвижных пластинах датчика от перемещения получается линейной. Акселерометры семейства ADXL имеют типовую погрешность линейности 0,2 %.

Когда ускорения нет (подвижная пластина в среднем положении), уровень выходного напряжения равен половине напряжения питания. Функция самотестирования активируется при подаче уровня логической единицы на соответствующий вход.

Как пример для построения системы довольно удобным является использование цифрового датчика ускорения в корпусе LGA14 MMA7455LT. Его технические характеристики следующие:

Диапазон измерений:  $\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g$ .

Количество измеряемых осей: трехосевой.

Питание: 3,6 В

Средняя цена в магазине: порядка 15 грн.

Завершая описание возможных способов применения акселерометров в электронике автомобиля, рассмотрим несколько интересных цифр, характеризующих уровень технологии производства этих микросхем [4].

Масса инерционного грузика – 0,1 мкг.

Емкость каждой части дифференциального конденсатора – 0,1 пФ.

Минимальное обнаруживаемое отклонение емкости — 20 аФ ( $10^{-18}$  Ф).

Изменение емкости, соответствующее ускорению полной шкалы – 0,01 пФ.

Расстояние между обкладками конденсатора – 1,3 мкм.

Минимальное обнаруживаемое отклонение подвижных обкладок конденсатора – 0,2 ангстрема (пятая часть диаметра атома!).

## Выводы

Для существенного увеличения надежности функционирования автомобильных электронных систем автомобиля перспективными решениями являются следующие:

1. Объединение в единую информационную сетевую структуру функциональных систем автомобиля.
2. Уменьшение количества датчиков за счет их совместного использования разными системами.
3. Применение датчиков с цифровым выходом и функциями самотестирования и поддержкой сетевой организации.
4. Использование опосредованных измерений с помощью акселерометров позволяет вынести датчики из областей с агрессивной средой.

## Литература

1. Перов В. Обзор акселерометров с цифровым выходом [Электронный ресурс] // 2010. – Режим доступа к <http://vt-tech.eu/>
2. Петров И., Тузов А. Рекомендации по выбору акселерометров [Электронный ресурс] // 2011. – Режим доступа к статье <http://www.radiant.ru/rus/articles/>
3. Попов Е. Акселерометры и гироскопы в современной технике [Электронный ресурс] // 2011. – Режим доступа к статье <http://www.gamland.ru/magazines/si/276/>
4. Интегральные акселерометры [Электронный ресурс] // портал радиолюбителей – 2008. – Режим доступа к статье <http://radio-hobby.org/modules/news/index.php?storytopic=10>

Рецензент: А.В. Бажинов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 30 июня 2011 г.