

Сенсорика.

Лекция Акселерометры, их типы и характеристики

Карнаушенко В.П. Бородин А.В.

Факультет электронной техники, кафедра МЭПУ, ХНУРЕ

***Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
Кафедра МЭПУ, тел. 702-13-62, e-mail:<vprk @ ktur.kharkov.ua>***



Акселерометры, их типы и характеристики

Цель лекции: Ознакомление с датчиками линейного ускорения: их типами и характеристиками

Содержание

- Сравнение различных типов датчиков
- Конструкции датчиков
- Характеристики



Определение и типы

- ◆ *Акселерометр* - датчик линейного ускорения, в этом качестве широко используется для измерения углов наклона тел, сил инерции, ударных нагрузок и вибрации.
- ◆ В настоящее время изготавливаются ИМС акселерометров трех типов:
 - Пьезопленочные
 - Объемные
 - Поверхностные



Сравнительные характеристики акселерометров

Тип	Точность	Цена	Область применения	Особенности
Пьезопленочные	Низкая	Самая низкая	Вибрации, удары	Только переменные ускорения. Чувствительны к температуре и давлению
Электромеханические	Очень высокая	Очень высокая	Инерциальная навигация	Низкие частоты. Чувствительны к перегрузкам
Пьезоэлектрические	Высокая	Высокая	Вибрации, удары	Только переменные ускорения
Пьезорезистивные	Средняя	Высокая	Наклон, вибрации, инерциальные силы	Сложная настройка, низкая термостабильность
Интегральные объемной конструкции	Средняя	Средняя	Наклон, вибрации, инерциальные	Низкий шум, сложная настройка
Интегральные поверхностной конструкции	Средняя	Низкая	Наклон, вибрации, инерциальные силы	Малые габариты, завершенность конструкции



Пленочные пьезоэлектрические акселерометры

- ◆ Пленочные пьезоэлектрические датчики ускорения выполняются на основе многослойной пьезоэлектрической полимерной пленки.
- ◆ Многослойная пленка закреплена на подложке из окиси алюминия и к ней присоединена инерционная масса из порошкового металла. При изменении скорости движения датчика в результате действия инерционных сил происходит деформация пленки.
- ◆ Благодаря пьезоэффекту возникает разность потенциалов на границах слоев пленки, зависящая от ускорения.



Пленочные пьезоэлектрические акселерометры

- Чувствительный элемент датчика обладает чрезвычайно высоким выходным сопротивлением, поэтому на подложке датчика имеется также полевой транзистор с малым током затвора, который представляет собой усилитель напряжения. Это позволяет измерять переменные ускорения со сравнительно низкой частотой.
- ◆ Датчики этого типа имеют плохую повторяемость характеристик в серийном производстве, высокую чувствительность к изменению температуры и давления. Они не могут контролировать постоянные ускорения и гравитационные силы. Основная область применения — схемы управления надувными подушками безопасности



Объемные интегральные акселерометры



- ◆ Конструкция датчика ускорения с двухкристальной конструкцией .
- ◆ На одном кристалле выполнен объемный чувствительный элемент, а на другом — схема обработки сигнала

Объемные интегральные акселерометры

- ◆ *Недостатки*
- ◆ Сложность производства (операции формирования объемных структур не очень просто совмещаются со стандартными поверхностными интегральными технологиями.)
- ◆ Минимальный размер датчика и схемного кристалла (Уменьшение размеров кристалла дает повышение его механической прочности и снижение стоимости).
- ◆ В датчике объемной конструкции только на размещение чувствительного элемента требуется от 6,5 до 16мм² площади кристалла. Размещение на кристалле схем формирования сигнала может увеличить эту площадь еще в два раза.



Поверхностные интегральные акселерометры

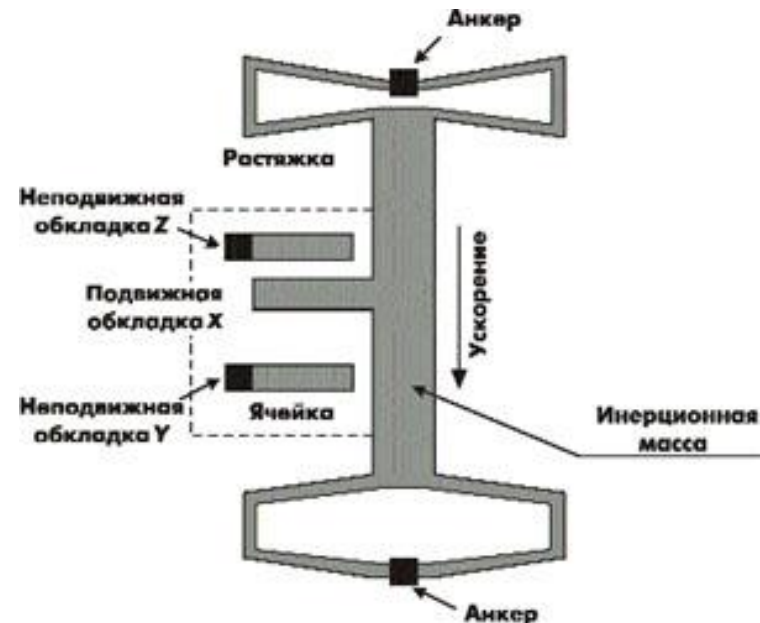
- ◆ Основной конструктивный блок элементарной ячейки датчика ускорения



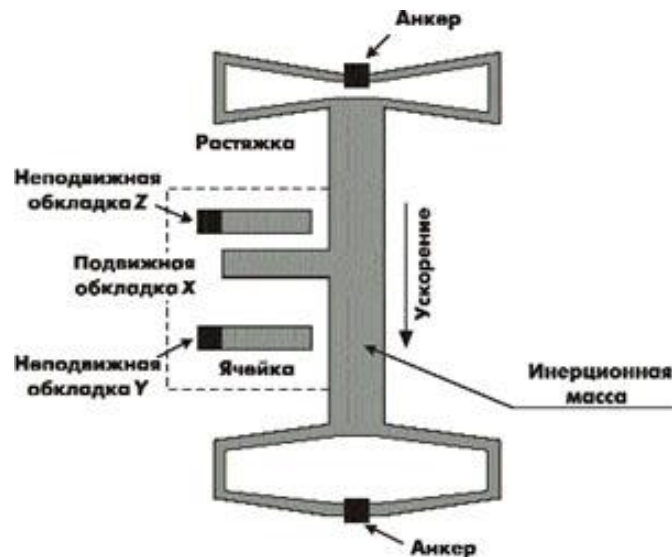
- ◆ Фактически датчик имеет 54 элементарных ячейки для измерения ускорения, но для простоты рисунок показывает только одну ячейку.

Устройство поверхностного акселерометра

- ◆ Весь кристалл акселерометра размером $3,05 \times 3,05$ мм занят главным образом схемами формирования сигнала, которые окружают миниатюрный датчик ускорения размером 1×1 мм, расположенный в его центре.
- ◆ Датчик представляет собой дифференциальную конденсаторную структуру с воздушным диэлектриком, обкладки которого вырезаны (вытравлены) из плоского куска поликремниевой пленки толщиной 2 мкм.



Устройство поверхностного акселерометра



- ◆ Неподвижные обкладки этого конденсатора представляют собой простые консольные стержни, расположенные на высоте 1 мкм от поверхности кристалла в воздухе на поликремниевых столбиках-анкерах, приваренных к кристаллу на молекулярном уровне.

Принцип действия поверхностного акселерометра

- ◆ Каждый из наборов неподвижных обкладок конденсатора (Y и Z) электрически соединен параллельно внутри схемного кристалла.
- ◆ В результате получается пара независимых конденсаторов $X—Y$ и $X—Z$, подвижная обкладка которых образована всей совокупностью пальцеобразных выступов инерционной массы.



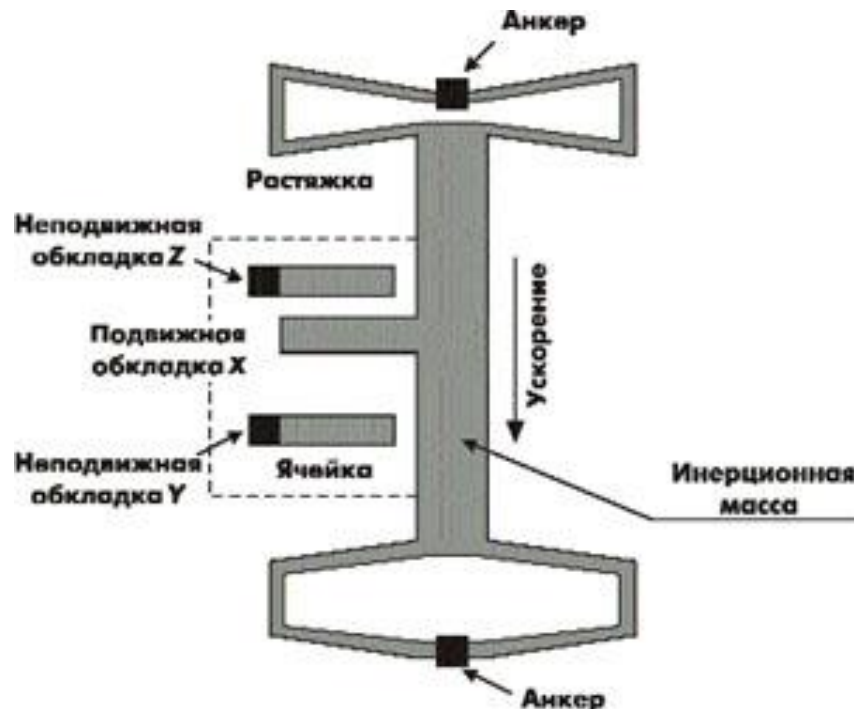
Принцип действия поверхностного акселерометра

- ◆ Внутри кристалла эти три обкладки подключены ко встроенным схемам формирования сигнала акселерометра.
- ◆ В спокойном состоянии (движение с постоянной скоростью) все «пальцы» подвижной обкладки X благодаря растяжкам находятся на одинаковом расстоянии от пар пальцев неподвижных обкладок.
- ◆ При каком-либо ускорении подвижные пальцы приближаются к одному из наборов неподвижных пальцев и удаляются от другого набора.



Принцип действия поверхностного акселерометра

- ◆ При перемещении пальцев, соответствующие расстояния становятся неодинаковыми, и емкости между подвижной обкладкой и каждой из неподвижных обкладок изменяются.



Принцип действия поверхностного акселерометра

- ◆ Противофазные сигналы прямоугольной формы частотой 1 МГц одинаковой амплитуды подаются от генератора соответственно на верхнюю и нижнюю обкладки Y и Z. Емкости CS1 и CS2 между неподвижными и подвижной обкладками при отсутствии ускорения одинаковы, поэтому на подвижную обкладку передаются сигналы одинаковой амплитуды. Разностный сигнал, поступающий на вход повторителя, равен нулю. При ускорении датчика разностный сигнал не равен нулю.

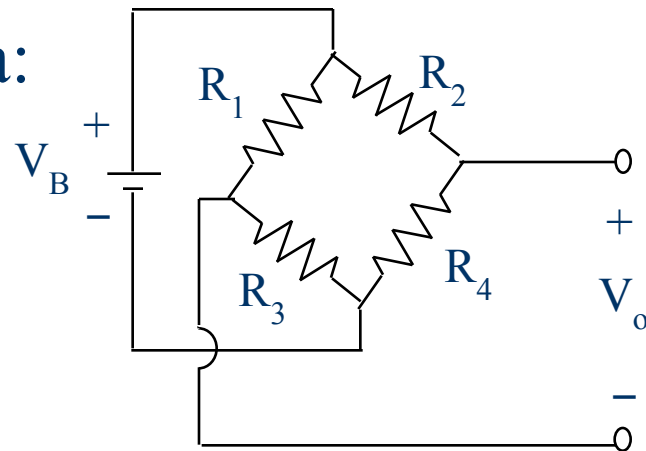


Мост Уитстона

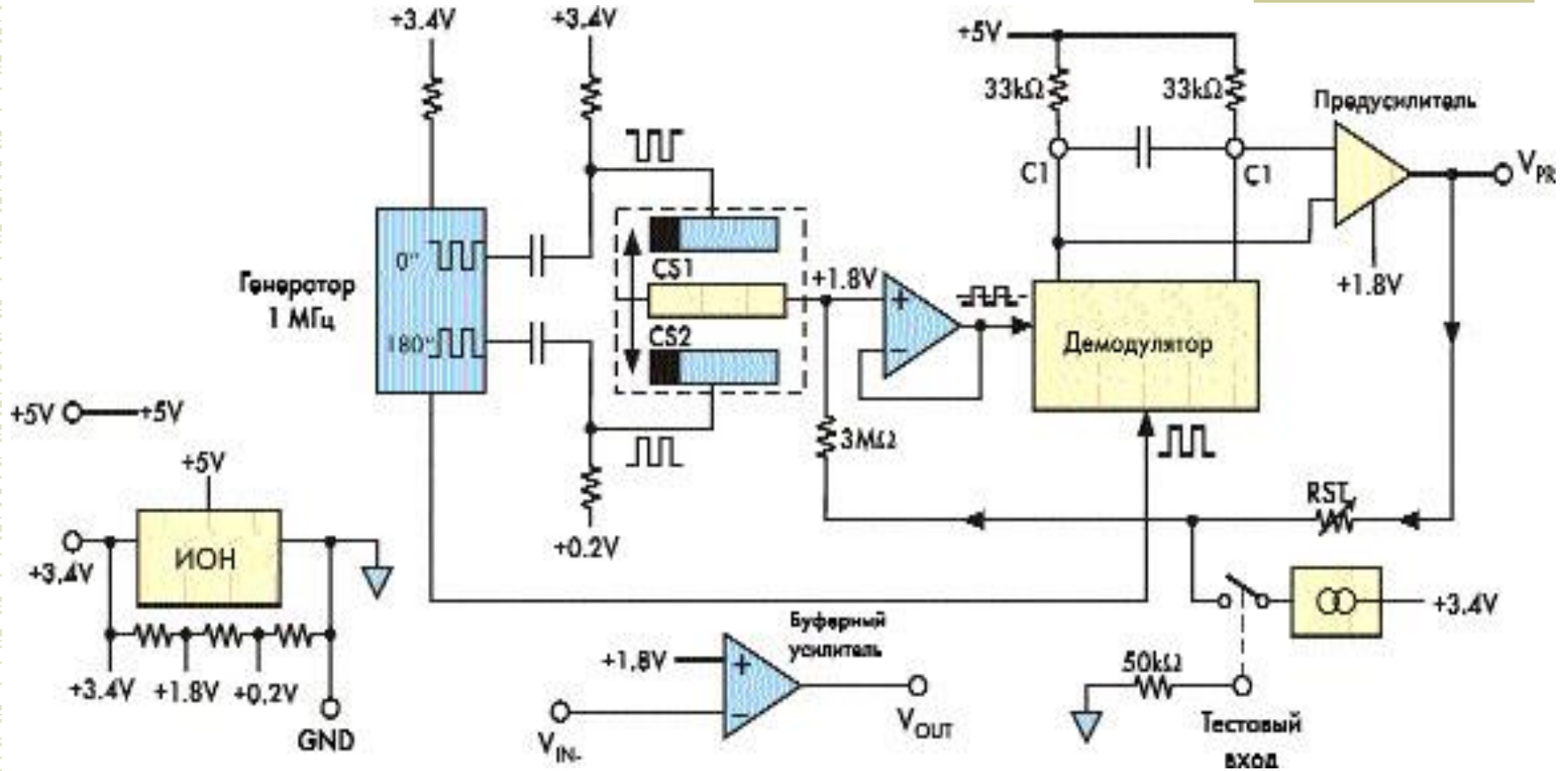
- ◆ Базовая схема моста Уитстона:
- ◆ Уравнение для выходного напряжения :

$$V_o = \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) V_B$$

- ◆ Применение:
 - нуль-детектор,
 - непосредственное измерение разности потенциалов.
- ◆ Для схем датчиков, разница напряжения из-за отклонения одного или нескольких резисторов моста от начального значения, как правило, измеряется.



Структурная схема ИМС акселерометра



Фазочувствительный демодулятор

- ◆ При ускорении датчика разностный сигнал не равен нулю, причем его амплитуда зависит от величины смещения подвижной обкладки, а фаза определяется знаком ускорения.
- ◆ Фазочувствительный демодулятор преобразует этот сигнал в низкочастотный (полосой от 0 до 1000 Гц), характеризующий величину и знак ускорения. Это напряжение поступает на предусилитель, с выхода которого сигнал идет на внешний вывод ИМС.



Система самотестирования

- ◆ Акселерометры семейства также снабжены системой самотестирования. Тестовый сигнал в виде последовательности прямоугольных импульсов низкой частоты подается на подвижную обкладку. Это вызывает колебания инерционной массы, аналогичные тем, которые вызываются воздействием инерционных сил. Выходное напряжение исправного датчика также будет изменяться с той же частотой.



Точность интегральных акселерометров

- ◆ Точность преобразования ускорения в электрический сигнал акселерометрами так же, как и точность датчиков другого типа, определяется величинами :
 - смещения нуля
 - погрешностью полной шкалы (или чувствительности)
 - температурным и временным дрейфом этих параметров
 - погрешностью линейности (нелинейность)
 - поперечной чувствительностью
 - гистерезиса (то есть неполная восстанавливаемость) при вибрациях и ударах.



Точность интегральных акселерометров

- ◆ Смещение нуля и чувствительность акселерометров при нормальных условиях корректируются при изготовлении. Остаточная погрешность может быть уменьшена путем калибровки и запоминания калибровочных констант в памяти микроконтроллера.
- ◆ Калибровка акселерометра возможна двумя способами: на вибростенде с образцовым датчиком ускорения и с использованием силы тяжести.



Точность интегральных акселерометров

- ◆ Преимущества использования вибростенда:
 - возможность калибровки, в том числе и датчиков, восприимчивых только к переменному ускорению;
 - возможность калибровки датчиков с ускорениями, многократно превышающими g ;
- ◆ Недостатки:
 - требуется дорогостоящий вибростенд;
 - проблема закрепления датчика при калибровке на **высоких g** .



Точность интегральных акселерометров

- ◆ Преимущества применения силы тяжести для калибровки:
 - не требуется дорогостоящее оборудование;
 - метод мало чувствителен к погрешности установки датчика;
- ◆ Недостатки:
 - можно применить только для датчиков, восприимчивых к постоянному ускорению;
 - нельзя калибровать полную шкалу датчиков, способных преобразовывать большие ускорения.



Поперечная чувствительность

- ◆ Поперечная чувствительность характеризует способность датчика преобразовывать в электрический сигнал ускорение, направленное под углом 90° к оси чувствительности датчика (поперечное). У идеального акселерометра поперечная чувствительность равна нулю. В паспортных данных датчика указывается часть (в процентах) поперечного ускорения, которая проходит на выход.



Шум акселерометров

- ◆ Шум, содержащийся в выходном сигнале акселерометра, определяет разрешающую способность устройства, важную при определении малых ускорений. Предельное разрешение в основном определяется уровнем шума измерения, который включает внешний фоновый шум и шум собственно датчика.
- ◆ Уровень шума непосредственно связан с шириной полосы пропускания датчика. Уменьшение полосы пропускания путем включения ФНЧ на выходе датчика приводит к снижению уровня шума. Это улучшает отношение сигнал/шум и увеличивает разрешающую способность, однако вносит амплитудные и фазовые частотные искажения.



Литература

- ◆ 1. Benedict, R. P. Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York, 1984.
- ◆ 2. Plandts, L. Essentials of Fluid Dynamics. Hafner, New York, 1952.
- ◆ 3. Di Giovanni, M. Flat and Corrugate Diaphragm Design Handbook. Marcel Dekker. New York, 1982.
- ◆ 4. Neubert, H. K. P. Instrument Transducers. An Introduction to Their Performance and Design, 2nd ed.. Clarendon Press, Oxford, 1975.
- ◆ 5. Clark, S. K. and Wise, K. D. Pressure sensitivity in anisotropically etched thin-diaphragm pressure sensor. IEEE Trans. Electron Dev., ED-26,1887-1896,1979.

