

## АКСЕЛЕРОМЕТР С ДВУХПРОВОДНЫМ ВЫХОДОМ И ОДНОВРЕМЕННЫМ ИЗМЕРЕНИЕМ ВИБРАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Г.В. Зусман

**Реферат:** Описан акселерометр со стандартным двухпроводным выходом, который позволяет одновременно измерять вибрационное ускорение и температуру. Измерение ускорения не отличается от обычных двухпроводных моделей, а измерение температуры реализовано за счет линейного роста напряжения смещения пропорционально температуре. Таким образом, напряжение смещения, обычно используемое только для контроля исправности кабеля, выполнено прецизионным и, если требуется, может использоваться так же для измерения температуры в точке установки акселерометра. Такое сочетание позволяет использовать стандартные разъемы и кабели для мониторинга обоих параметров.

**Ключевые слова:** вибрация, температура, акселерометр, двухпроводный выход.

**Введение:** Настоящая публикация посвящена описанию нового датчика – акселерометра (пьезоэлектрического или микроэлектромеханического) с двухпроводным стандартным выходом IEPЕ/ICP®. ICP - это сокращение от "integrated circuit piezoelectric" и зарегистрированное название - марка (№. 1 603 466 в США), принадлежащее PCB Group, Inc. Существуют аналогичные стандартные двухпроводные интерфейсы такие как IEPЕ – это сокращение от "integrated electronics piezoelectric" [1] или интерфейс называемый линия постоянного тока CLD (Current Line Drive) [2].

Все вышеперечисленные двухпроводные интерфейсы работают по существу одинаково. Например для IEPЕ/ICP работа происходит следующим образом: двухпроводная конструкция обеспечивается питанием (обычно 24 В) через элемент постоянного тока (обычно используется токовый диод, обеспечивающий постоянный ток с номиналом от 2 мА до 20 мА; в большинстве конструкций используется 4 мА). При этом на двухпроводном выходе датчика образуется постоянное напряжение смещения (обычно в диапазоне 8-14 В), которое модулируется сигналом вибрационного ускорения и собственно представляет собой выходной сигнал. Таким образом, переменная составляющая этого сигнала пропорциональна вибрации, а постоянная составляющая традиционно используется как средство контроля исправности кабеля – при обрыве или коротком замыкании напряжение смещения выходит за пределы диапазона 8-14 В.

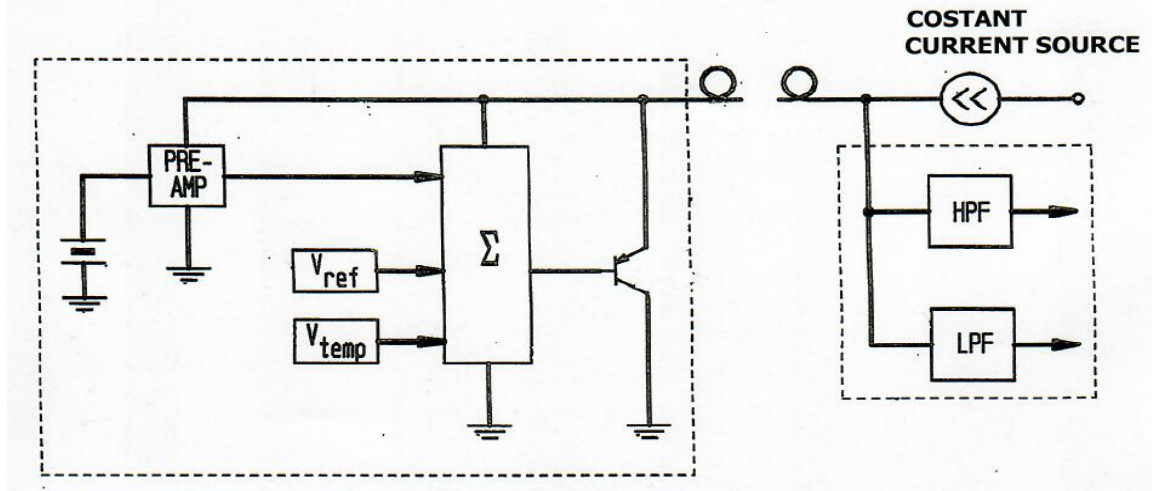
Суть предлагаемого нового датчика состоит в том, чтобы использовать постоянную составляющую напряжения смещения не только для контроля исправности кабеля, но и для измерения температуры путем обеспечения линейного и точного изменения постоянной составляющей напряжения смещения пропорционально температуре [3].

Следует отметить, что аналогичная идея может быть реализована для дуальных двухпроводных датчиков с питанием от источника постоянного напряжения и с полезным сигналом в виде модуляции тока питания, т.е. для датчиков с интерфейсом типа CLD.

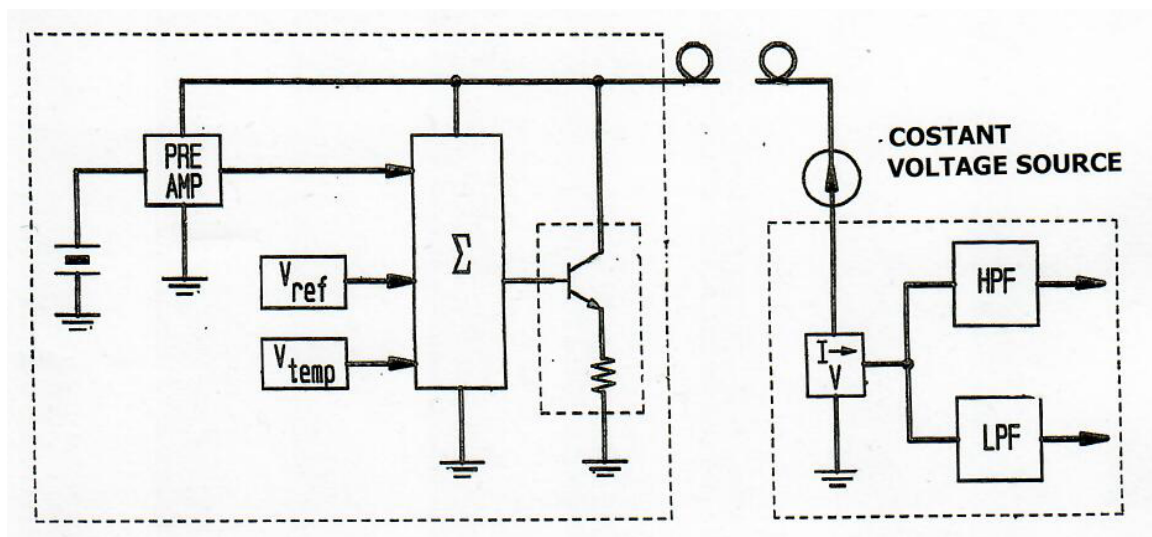
**Описание:** Предлагаемый датчик имеет традиционную конструкцию в виде корпуса из нержавеющей стали с двухпроводным разъемом. Динамическая составляющая напряжения смещения, как и в стандартных акселерометрах, пропорциональна сигналу ускорения. В схему добавлены элементы, обеспечивающие стабильность напряжения смещения и температурно зависимые элементы, которые позволяют получить линейную пропорциональность роста постоянной составляющей напряжения смещения с ростом температуры (в нашем случае 25 мВ/Град С). Те же элементы могут использоваться (и в нашей конструкции используются) для компенсации изменения чувствительности

акселерометра по ускорению – это важно для некоторых применений стандартных акселерометров с пьезоэлектрическими элементами, у которых обычные изменения чувствительности в диапазоне рабочих температур достигают нескольких десятков процентов, тогда как в предлагаемом датчике такие изменения составляют единицы процентов.

На Рис. 1 приведена схематичная диаграмма, иллюстрирующая конструкцию и работу датчика с питанием через элемент постоянного тока и с полезным сигналом в виде напряжения смещения и его изменения и модуляции, а на Рис. 2 приведена схематичная диаграмма, иллюстрирующая конструкцию и работу дуального датчика с питанием постоянным напряжением и с полезным сигналом в виде тока питания (смещения) и его изменения и модуляции.



**Рис. 1.** Схематичная диаграмма, иллюстрирующая конструкцию и работу IERE датчика с питанием через элемент постоянного тока и с полезным сигналом в виде напряжения смещения и его линейного изменения пропорционально температуре и модуляции пропорционально ускорению.



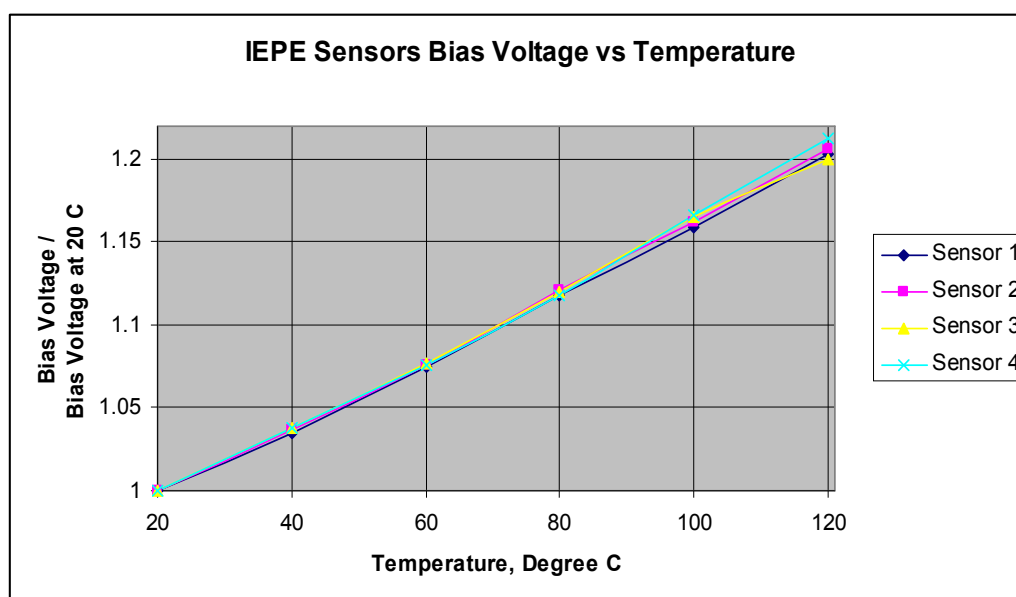
**Рис. 2.** Схематичная диаграмма, иллюстрирующая конструкцию и работу дуального CLD датчика с питанием постоянным напряжением и с полезным сигналом в виде тока смещения и его линейного изменения пропорционально температуре и модуляции пропорционально ускорению.

Суть работы датчиков состоит в суммировании переменного сигнала ускорения с постоянными составляющими: одна из которых стабильна, а вторая линейно меняется с температурой. В целом это наделяет стандартный промышленный интерфейс дополнительной возможностью измерения температуры без замены кабелей и разъемов, а просто мониторингом уровня постоянной составляющей сигнала, которая измеряется в современных системах только для контроля исправности кабеля.

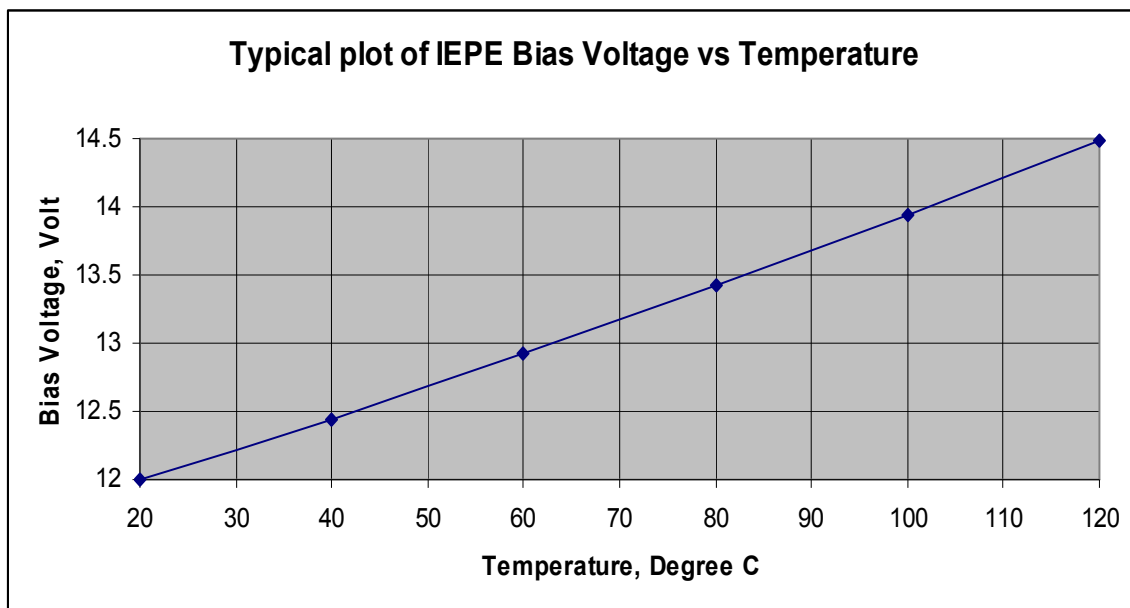
**Результаты испытаний:** На Рис. 3 и Рис. 4 приведены результаты испытаний разработанных датчиков, а типичные технические характеристики сведены в Таблицу 1.

Таблица 1. Технические характеристики предлагаемого акселерометра

Параметр	Значение
Чувствительность, мВ/g	100 мВ/g $\pm$ 5%
Частотный диапазон $\pm$ 3 dB	2...10000 Гц
Динамический диапазон измерения ускорения	0... $\pm$ 50 g pk
Поперечная чувствительность	<3 %
Нелинейность	<1 %
Номинальное напряжение смещения при 20 Град С	(12 $\pm$ 0,1) В
Температурный коэффициент напряжения смещения	25 мВ/Град С
Диапазон измерения температуры С	-40...+120 Град С
Погрешность измерения температуры	< $\pm$ 4 Град С
Диапазон рабочих температур Degree С	-55...+125 Град С
2-х проводный выход	ICP/IEPE
Напряжения питания / постоянный ток	24 В $\pm$ 10% / 2...8 мА



**Рис 3.** IEPE акселерометр – типичная зависимость относительного напряжения смещения от температуры



**Рис 4.** IEPE акселерометр – типичная зависимость абсолютного напряжения смещения от температуры

#### **Заключение:**

В этой публикации описан вибрационный датчик - акселерометр со стандартным двухпроводным выходом и возможностью измерения температуры дополнительно к измерению ускорения без дополнительного третьего провода. Это реализовано путем обеспечения аккуратного и линейного увеличения напряжения смещения пропорционально температуре. Если измерение температуры не требуется, то датчик может быть использован как обычный IEPE/ICP акселерометр, но имеет преимущество по сравнению со стандартными акселерометрами, а именно повышенную стабильность чувствительности в рабочем температурном диапазоне. В любой момент после инсталляции возможность измерения или мониторинга температуры имеется и может быть использована. Стоимость дополнительных элементов, для реализации температурной зависимости напряжения смещения, незначительна и, поэтому, цена такого акселерометра практически мало отличается от цен стандартных акселерометров, используемых в промышленности.

#### **Литература:**

- [1]IEPE Standard [http://www.mmf.de/iepe\\_standard.htm](http://www.mmf.de/iepe_standard.htm)
- [2]В.В. Петрович, Г.В. Зусман “Устройство для измерения вибрации”, Авт. св. СССР № 1545090 от 20 января 1987 г., опубликовано 23 февраля 1990 г.
- [3]G. Zusman “Two wire electronics interface sensor with integrated mechanical transducing and temperature monitoring”, USA Pat. Application 14/821,727. Published Feb. 9, 2017

**Зусман Георгий Владимирович**, д.т.н.,  
Директор PCB Piezotronics, Inc., США [zusger@gmail.com](mailto:zusger@gmail.com)