

# Программируемые формирователи сигналов мостовых датчиков серии ZMD31xx от компании ZMD

Михаил ВИНОГРАДОВ  
onixelectro@rambler.ru

**В статье дан обзор и приведены примеры применения микросхем для построения аналоговых и цифровых датчиков серии ZMD31xx, которые выпускает компания ZMD (Германия). Они предназначены для программируемой цифровой коррекции подключаемых к ним первичных мостовых сенсорных элементов и формирования выхода сигналов в соответствии с заданным протоколом. Применение формирователей сигнала от ZMD позволяет получить высокие метрологические характеристики датчиков с минимальными усилиями и затратами времени, средств и оборудования.**

## Введение

Как известно, мостовые датчики, к которым относятся, например, широко распространенные пьезорезистивные датчики давления, магниторезистивные или ГМР-устройства, часто поставляются их производителями в виде не усиленных и не скомпенсированных сенсорных элементов с мостовым выходным сигналом. Первичный сигнал нуждается в усилении, компенсации (температурной) и калибровке, причем это встроенные функции большинства современных датчиков. Кроме того, входная схема разрабатываемого устройства обычно жестко регламентирует применение какого-либо стандартного униполярного аналогового или цифрового интерфейса. Выполнение всех этих функций обеспечивают специализированные мостовые сигналообработчики — формирователи сигналов, к входам которых подключается первичный мостовой сенсор.

Микросхемы ZMD31xxx, которые производит немецкая компания ZMD ([www.zmd.de](http://www.zmd.de)),

представляют собой программируемые формирователи сигналов. Выполненные на основе комбинации современных аналоговых и цифровых технологий, они обеспечивают высокоточное преобразование радиометрического дифференциального сигнала мостового сенсорного элемента в стандартный аналоговый или цифровой интерфейс. Наличие внутреннего микропроцессора обеспечивает, посредством цифровых вычислений, точную регулировку чувствительности, компенсацию «нуля», линеаризацию и температурную компенсацию. Возможность проведения цифровой «one-shot» (за один проход) калибровки позволяет получить высочайшую точность измерений и требует минимальных усилий, соответственно, минимум оборудования и затрачиваемого времени. Микросхемы ZMD31xxx обеспечивают точность 0,15% (F.S.O.) в индустриальном и 0,25% (F.S.O.) в автомобильном температурном диапазоне.

Процедура калибровки достаточно проста. Она представляет собой проведение ряда из-

**Таблица 1.** Семейство программируемых микросхем ZMD31xxx для формирования сигналов мостовых датчиков

Наименование микросхемы	Назначение
ZMD31010	Недорогой программируемый формирователь сигнала
ZMD31012	Два ZMD31012 в одном корпусе
ZMD31014	Формирователь сигналов с I <sup>2</sup> C и SPI выходом
ZMD31015	ZMD31010 с добавленными функциями диагностики ограничения уровня выходного сигнала. Эффективен для автомобильных применений
ZMD31020	Формирователь сигналов датчика
ZMD31030	Формирователь сигналов LIN-интерфейсом
ZMD31035	Формирователь сигналов для автомобильных применений
ZMD31050	Многофункциональный формирователь сигналов. Эффективен для датчиков давления с токовым выходом
ZMD31150	Быстродействующий формирователь сигналов для автомобильных применений
ZMD21013	3-канальный сенсорный интерфейс. Эффективен для мобильных устройств

мерений в заранее определенных точках характеристики сенсора, вычисление калибровочных коэффициентов и подстройку программного обеспечения. После записи кали-

**Таблица 2.** Основные характеристики микросхем ZMD31xx

Наименование микросхемы	Оптимизирован для сенсоров	Входной диапазон, мВ/В	АЦП, разрешение / частота выборки	Опции интерфейса аналог. / цифр. (разрешение ЦАП)	Диапазон температуры, °С	Напряжение питания, В	Защита
ZMD31010 (недорогой)	пьезорезистивных	1,2–60	14 бит / до 1,0 кГц	(0–1 или 5) в ZACwire™ (11 бит DAC)	–40...+150	2,7–5,5 (> 5,5 В с внешним JFET-транзистором)	нет
ZMD31015 (недорогой, с функцией диагностики)	пьезорезистивных	<1–60	14 бит / до 1,0 кГц	(0–1 или 5) в ZACwire™ (12 бит DAC)	–40...+150	2,7–5,5 (> 5,5 В с внешним JFET-транзистором)	нет
ZMD31030 (для автомобильных применений)	пьезорезистивных	20–90	12 бит / > 100 Гц	ШИМ / LIN	–40...+125	8,0–18,0	- обратное напряжение - высокое напряжение - короткое замыкание
ZMD31050 (многофункциональный)	пьезорезистивных, толстопленочных керамических, магниторезистивных и др.	1–275	9–15 бит / до 3,9 кГц	(0–5) или (0–10) В (4–20) мА ШИМ I <sup>2</sup> C ALARM I <sup>2</sup> C & SPI & ZACwire™ (11 бит DAC)	+40... 150	2,7–5,5 (> 5,5 В с внешним JFET-транзистором)	нет
ZMD31150 (быстрый, для автомобильных применений)	пьезорезистивных, толстопленочных керамических, магниторезистивных и др.	1–275	13–16 бит / до 7,8 кГц	rationetnc (0–5 В) I <sup>2</sup> C & ZACwire™ (12 бит DAC)	+40...150	4,5–5,5	- обратное напряжение - высокое напряжение - короткое замыкание

бровочных коэффициентов в EEPROM процедура калибровки закончена. Отсутствие итерационных шагов выгодно отличает данную методику калибровки от других и позволяет легко автоматизировать калибровочную процедуру.

Основные типы микросхем компании ZMD, предназначенных для цифровой калибровки и термокомпенсации значений выходного сигнала мостовых сенсоров, и их основные характеристики, приведены в таблицах 1 и 2.

### ZMD31010 — преобразователь с функциями диагностики и ограничения значений выходного сигнала

Микросхема ZMD31010 — это CMOS интегральная схема, с помощью которой можно легко и точно калибровать резистивные мостовые сенсоры через EEPROM.

Для резистивных сенсоров возможна цифровая корректировка нуля, коэффициента усиления и температурная компенсация. Для температурных коэффициентов усиления и сдвига нуля, а также линейности моста возможна компенсация второго порядка. Микросхема имеет внутренний датчик температуры.

Выходной сигнал снимается с вывода Signal. В зависимости от программирования, он может быть абсолютный (от 0 до 1 В), ратиометрический (10–90% напряжения питания) или цифровой (последовательный ZACwire™).

Достоинством микросхемы является то, что ее программирование осуществляется через тот же вывод, с которого снимается и выходной сигнал — вывод Sig. Однопроводной интерфейс позволяет сократить количество внешних цепей, требуемых для подключения микросхемы к внешним устройствам.

Микросхема работает в широком температурном диапазоне от  $-40$  до  $+150$  °C и отличается быстрым временем ответа — порядка 1 мс.

Другие преимущества ZMD31010: низкий ток потребления порядка 250 мкА для батарейных применений, 14-битовое разрешение выходного цифрового сигнала по давлению, возможность вывода сигнала, как по давлению, так и по температуре в цифровом виде.

Пример построения схемы на базе микросхемы ZMD31010 и ее функциональная блок-схема изображена на рис. 1.

### ZMD31012 — двойной формирователь сигналов

Микросхема представляет собой два чипа ZMD31010 в одном корпусе. Она имеет те же характеристики, что и ZMD31010, но позволяет подключать два мостовых датчика. Наличие двух независимых каналов измерения дает возможность эффективно использовать ZMD31012 в схемах измерения дифферен-

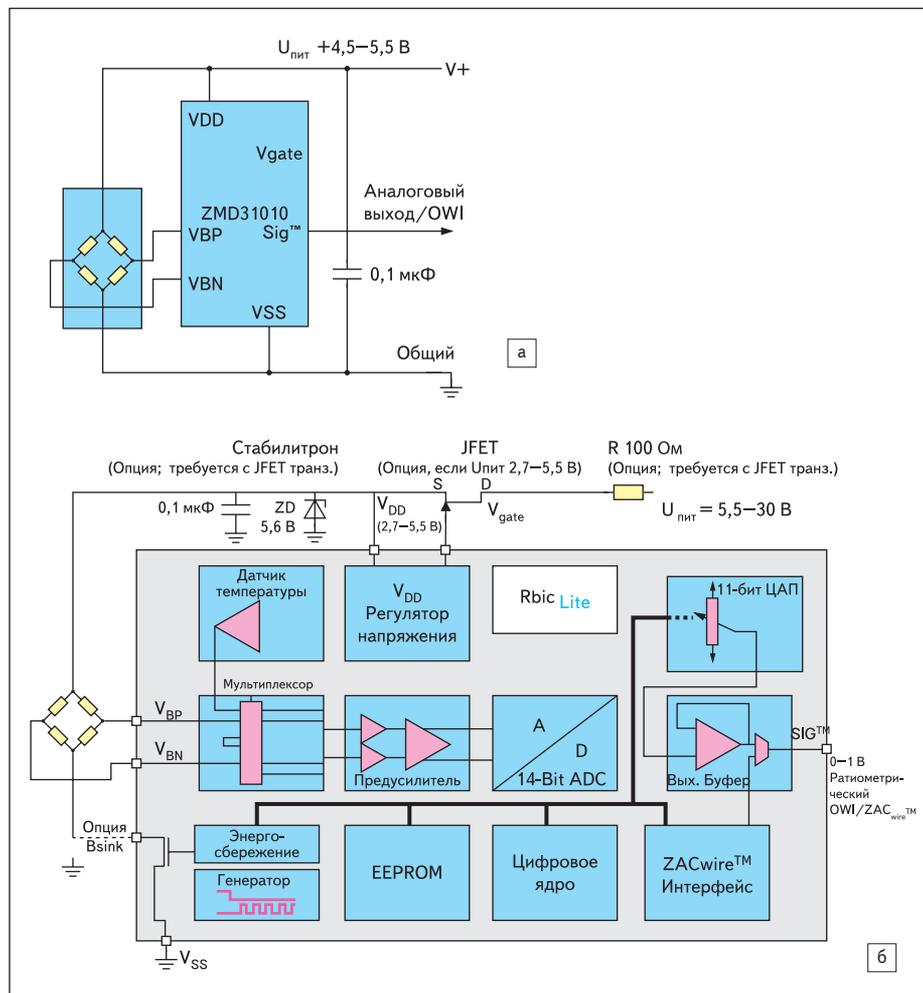


Рис. 1. ZMD31010: а) пример применения микросхемы; б) функциональная блок-схема

циального давления, в датчиках расхода и приложениях, требующих наличия резервных каналов. Пример применения показан на рис. 2.

### ZMD31014 — формирователь сигналов с I<sup>2</sup>C- и SPI-выходом

Микросхема ZMD31014 оптимизирована для устройств, построенных на базе микро-

процессоров. Она сочетает высокую точность усиления с аналогово-цифровым преобразованием дифференциального входного сигнала. Идеально подходит для всех типов микроконтроллеров, используемых в портативном оборудовании, таких как бытовая техника, беспроводные датчики давления, медицинское оборудование, а также в устройствах, предназначенных для температурных измерений.

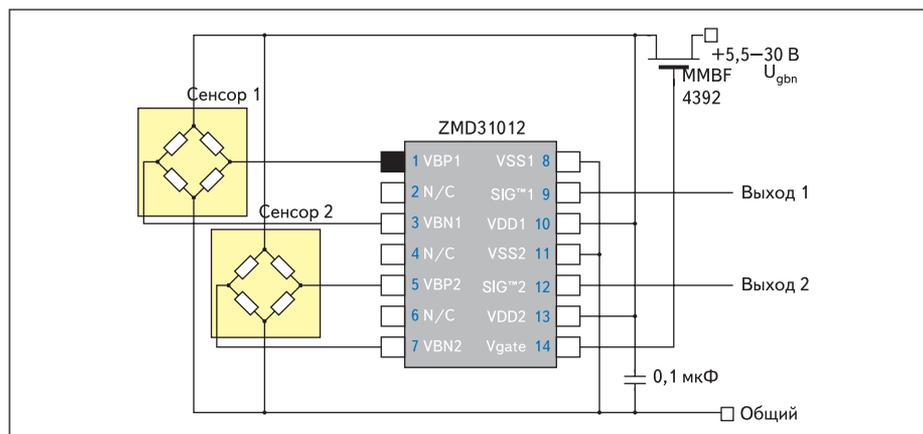


Рис. 2. Пример применения микросхемы ZMD31012

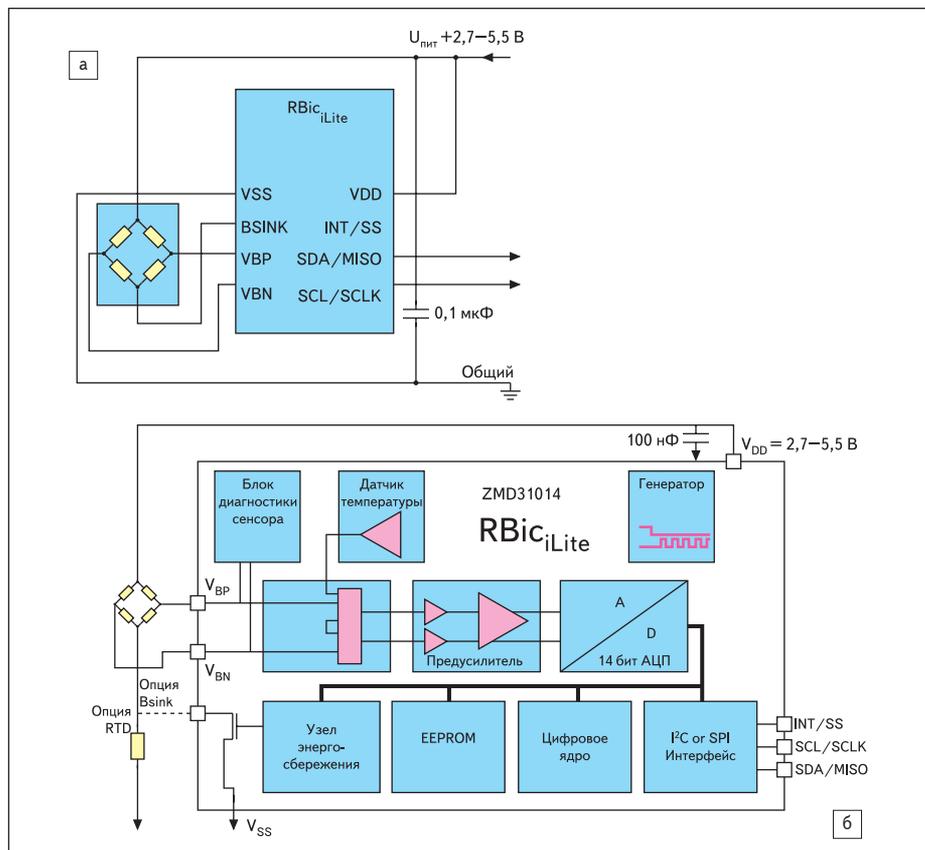


Рис. 3. ZMD31014: а) пример применения микросхемы; б) функциональная блок-схема

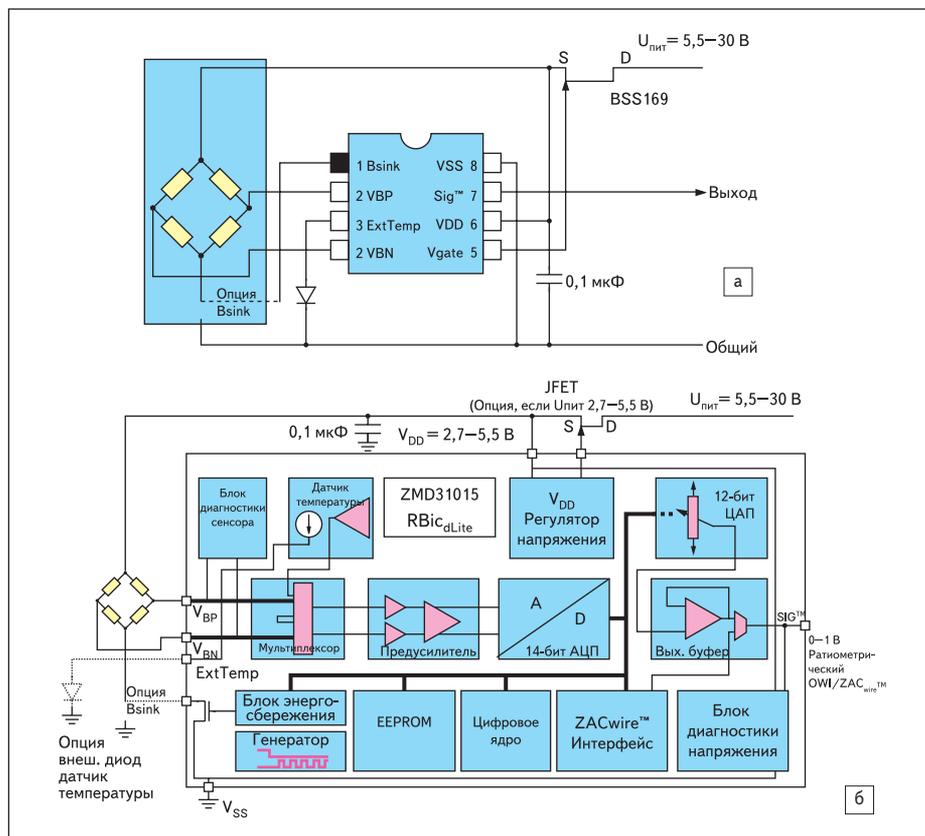


Рис. 4. ZMD31015: а) пример применения (схема с абсолютным аналоговым выходом с температурной компенсацией через внутренний датчик температуры и внешним регулятором напряжения на базе JFET-транзистора); б) функциональная блок-схема

Для получения высокой точности используется 14-битовый АЦП с низким уровнем шумов. Это обеспечивает точность в четыре раза лучше, чем 12-битовые АЦП, применяемые в большинстве приборов этого класса. Микросхема обеспечивает коррекцию ошибок второго порядка для температуры, сдвига и нелинейности. В ZMD31014 снижено потребление мощности, в рабочем активном режиме потребление — порядка 150 мкА, в неактивном режиме — порядка 2 мкА, что позволяет эффективно использовать ее в устройствах с батарейным питанием.

Важно отметить, что в ZMD31014 не включены какие-либо дополнительные функции, расширяющие диапазон ее применения. Она подразумевает однозначность использования, что делает ее идеальным решением для устройств с большим объемом производства.

ZMD31014 поддерживает два наиболее широко используемых интерфейса — I<sup>2</sup>C и SPI. Эти интерфейсы поддерживают адресацию, что позволяет легко создавать мультисенсорные системы, не меняя внешней схмотехники. В ZMD31014 включены функции диагностики (контроль обрыва и короткого замыкания цепей моста). Дополнительно ZMD31014 имеет 32-битное программируемое поле для хранения пользовательского ID.

Микросхема работает в широком температурном диапазоне (−40...+125 °С) и обеспечивает точность 0,1% (F.S.O.) в диапазоне 0...70 °С и 0,25% (F.S.O.) в полном температурном диапазоне. На рис. 3 показаны пример применения и блок-схема ZMD31014.

### ZMD31015 — преобразователь с функциями диагностики и ограничения значений выходного сигнала

В отличие от ZMD31010, микросхема ZMD31015 имеет дополнительные функции:

- Более высокий коэффициент усиления (96 вместо 48) позволяет калибровать сенсоры с входным диапазоном меньше чем 1 мВ/В.
- Дополнительные диагностические функции (контроль напряжения, контроль цепей моста, сигнатура EEPROM и др.).
- Возможность внешних температурных измерений.
- 12-разрядный ЦАП (вместо 11-разрядного).
- 3 EEPROM регистра для пользовательских целей.
- Защиту выхода от короткого замыкания.
- Программирование уровней ограничения выходного аналогового/цифрового сигнала.

Микросхема по цоколевке совместима с ZMD31010 (кроме вывода для внешней температуры). Для тестирования можно использовать те же аппаратные средства, но с другим программным обеспечением. Пример применения и блок-схема микросхемы ZMD31015 показаны на рис. 4.

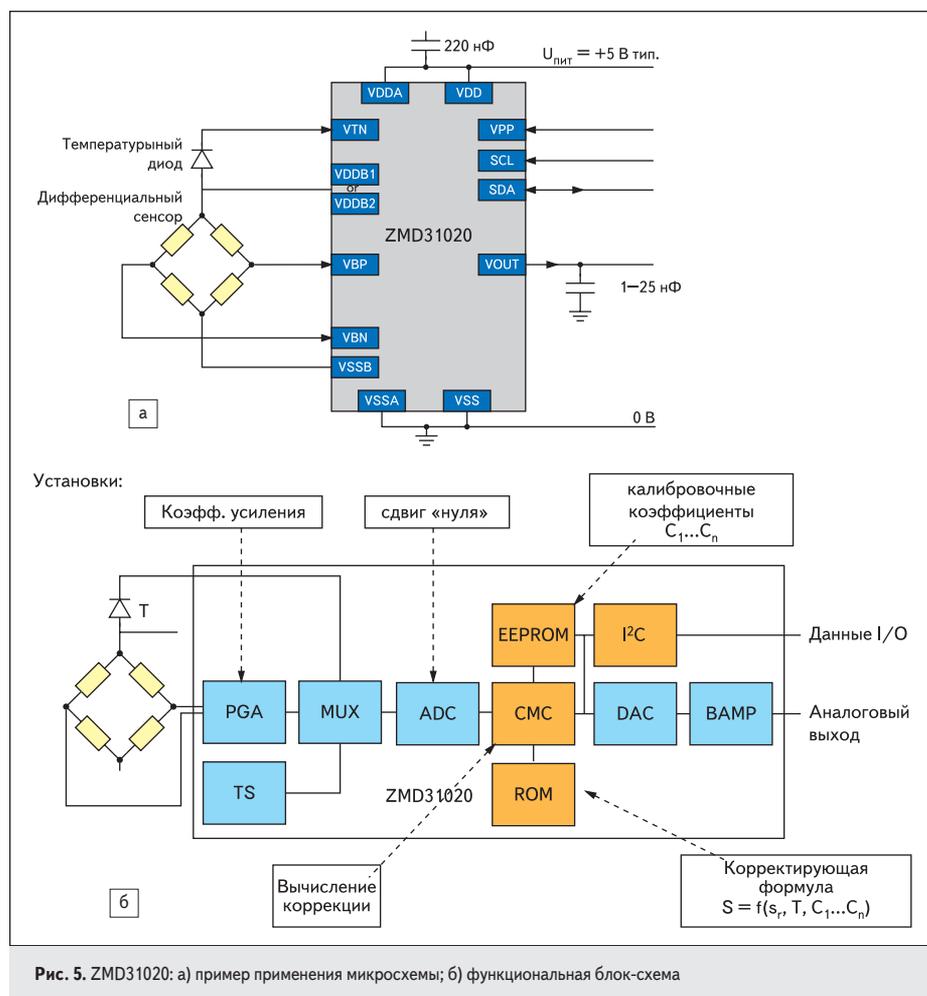


Рис. 5. ZMD31020: а) пример применения микросхемы; б) функциональная блок-схема

### ZMD31020 — формирователь сигналов датчика

Особенности микросхемы ZMD31020:

- Минимальный диапазон входного сигнала 20 мВ/В.
- Коэффициент усиления PGA от 15,66 до 42.
- 12-разрядный АЦП.
- Внутренний или внешний температурный диод.
- 10-разрядный ЦАП.
- Аппроксимация второго порядка по 7 точкам.
- Выходной сигнал: аналоговый ратиметрический (от 0 до 5 В) или цифровой I<sup>2</sup>C (12-битовое разрешение).

Микросхема выпускается для коммерческого, промышленного или автомобильного применения. Ее используют в автомобильных системах управления давлением холодильных установок, в датчиках давления в газовых баллонах и системах подачи воздуха. Пример применения и блок-схема показаны на рис. 5.

### ZMD31030 — преобразователь с LIN-интерфейсом

Микросхема ZMD31030 обеспечивает выходной сигнал в формате ШИМ или LIN-интерфейса. Она оптимизирована для автомо-

бильных применений, имеет защиту выходных цепей и отличную электромагнитную совместимость. Применима для всех типов пьезорезистивных сенсоров. Есть возможность выбора источника температурной компенсации, через внутренний или внешний диод. Цифровая калибровка осуществляется через LIN-интерфейс.

Примеры применения микросхемы ZMD31030:

- определение низкого или повышенного давления в топливных баках;

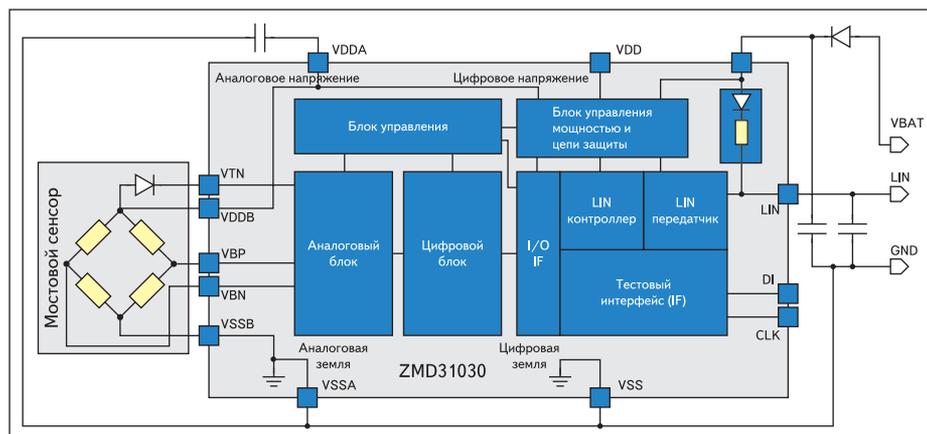


Рис. 6. Функциональная блок-схема ZMD31030

- MAP-сенсоры;
- управление давлением в гидравлических резервуарах;
- ABS;
- усилители руля;
- управление двигателем.

Блок-схема ZMD31030 представлена на рис. 6.

### ZMD31035 — формирователь сигналов для автомобильных применений

Микросхема оптимизирована для автомобильных применений. Выходной сигнал или аналоговый (0–5 В), или однопроводной интерфейс (совместимый с LIN-протоколом). Пример применения показан на рис. 7.

### ZMD31050 — многофункциональный преобразователь

Микросхема работает практически с любыми типами сенсоров (например, пьезорезистивными, керамическими, сенсорами, выполненными на стальной мембране, резистивными и магниторезистивными сенсорными элементами). Микросхема может обрабатывать сигнал отдельного температурного сенсора. Двухнаправленный интерфейс (I<sup>2</sup>C, SPI, ZACwire) можно использовать для простого управления от компьютера процедурой калибровки.

Микросхема специально спроектирована для применения с датчиками давления. Но она может применяться и с датчиками силы, момента, ускорения, угла, положения и другими.

ZMD31050 обладает уникальными характеристиками:

- Возможность выбора источника температурной компенсации: мостовой сенсор, внутренний диод, внешний диод или термистор.
- Выбор типа питания моста: ратиметрическим напряжением, постоянным напряжением или постоянным током.
- Возможность проведения коррекции нелинейности 3-го порядка.

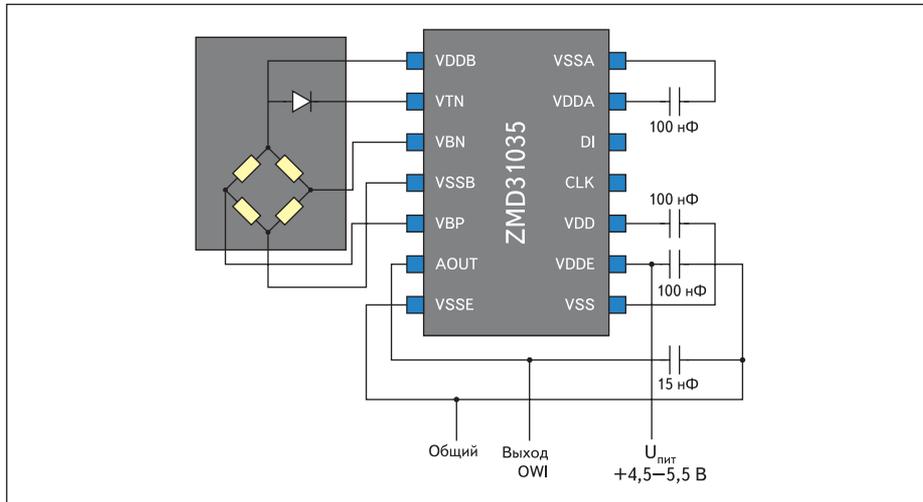


Рис. 7. Пример применения ZMD31035

- Широкий диапазон опций выходного сигнала: напряжение (0–5 В), ток (4–20 мА), ШИМ, SPI, ZACwire (однопроводной), релейный.
- Программно выбираемое разрешение АЦП (до 15 бит) при частоте выборки до 3,9 кГц.
- Встроенные функции диагностики.

### ZMD31150 — быстродействующий преобразователь сигнала для автомобильных применений

Оптимизированная для быстро изменяющейся динамики автомобильных систем управления, ZMD31150 может найти применение

во многих системах автомобиля, например, в топливных инжекторах, ABS, рулевом приводе с усилителем, системах кондиционирования, в системе управления подушкой безопасности. ZMD31150 в 2,7 раза быстрее, чем другие чипы, при аналогичной точности диагностики.

Микросхема обеспечивает высокую точность усиления и необходимую цифровую коррекцию сигнала мостового сенсора. Функциональная схема включает аналоговый блок (analog front-end), содержащий программируемый усилитель (PGA), мультиплексор, АЦП, а также ROM, EEPROM, микроконтроллер, ЦАП, выходной буфер для аналогового и цифрового интерфейса.

ZMD31150 имеет коэффициент усиления до 420, что позволяет подключать к ней сенсоры с чувствительностью 1 мВ/В. Частота выборки 16-разрядного АЦП составляет 7,8 кГц. Калибровка микросхемы осуществляется через последовательный интерфейс.

Микросхема имеет встроенные функции диагностики. Отличается высокой надежностью за счет защиты выхода от короткого замыкания, обратного напряжения и перенапряжения до 33 В.

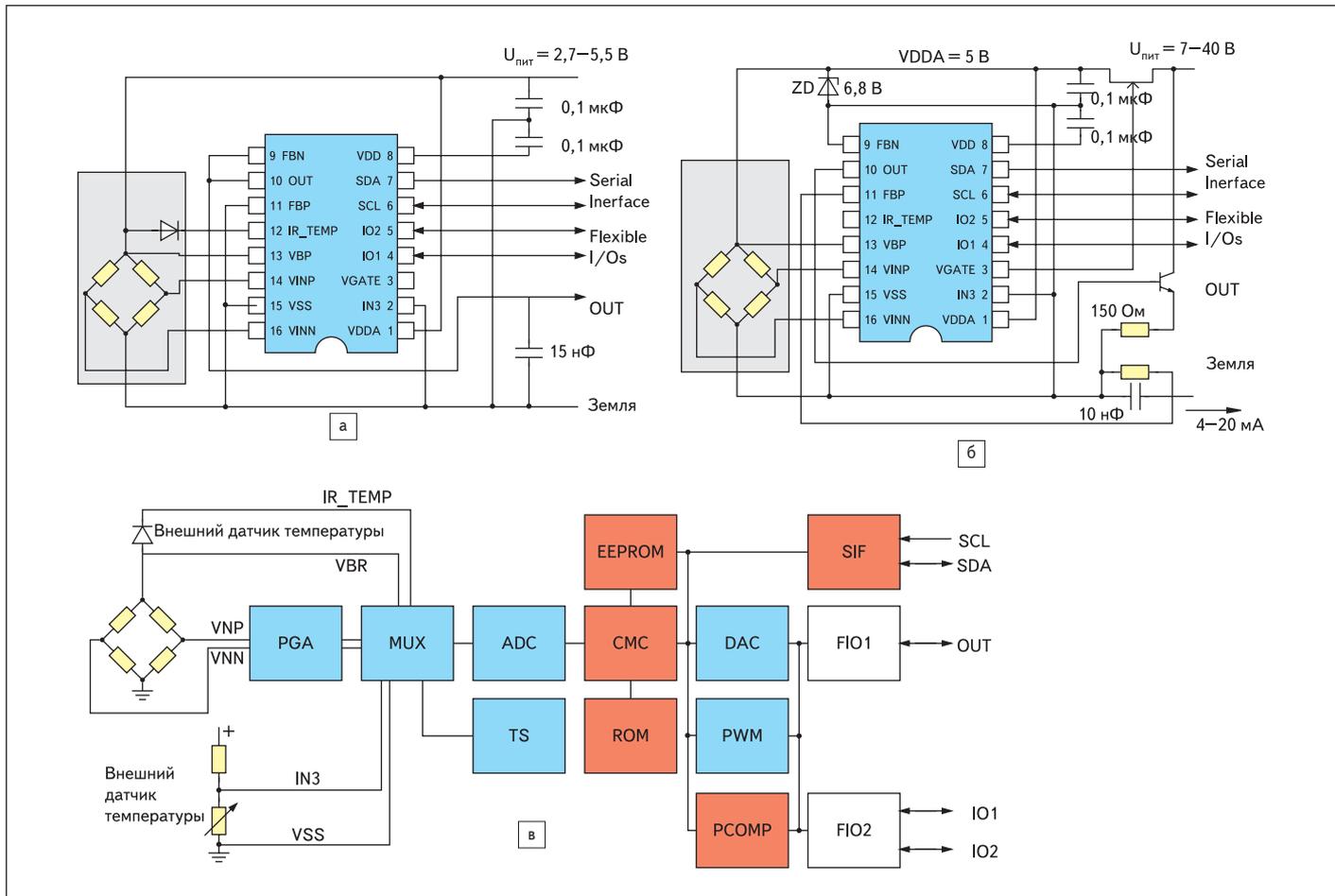


Рис. 8. ZMD31050: а) Схема с ратиометрическим выходом по напряжению с температурной компенсацией через внешний диод; б) двухпроводная схема с токовым выходом 4–20 мА (5–40 В) с внешним JFET-транзистором и температурной компенсацией через внутренний диод; в) функциональная схема ZMD31050

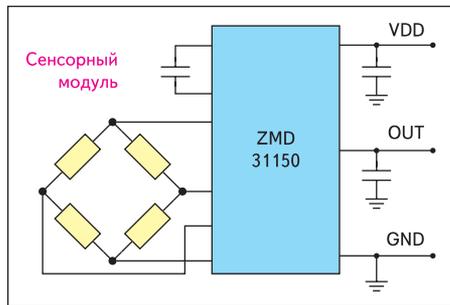


Рис. 9. Пример применения в составе сенсорного модуля ZMD31050

Выходной сигнал может быть сконфигурирован как аналоговый выход (напряжение с 12-битовым разрешением) или как цифровой (ZACwire или I<sup>2</sup>C).

Достоинство микросхемы — и ее отличные параметры электромагнитной совместимости

Пример применения показан на рис. 9.

### ZMD21013 — многоканальный сенсорный интерфейс

ZMD21013 — первый член семейства многоканальных микросхем сенсорных интерфейсов (MUSIC). Данное семейство микросхем сфокусировано для работы с сенсорами в устройствах с батарейным питанием, в основном в мобильных электронных устройствах. Эти микросхемы усиливают и оцифровывают сигналы напряжения присоединенных сенсоров. Микросхема ZMD21013 может гибко адаптироваться почти к любым сенсорам резистивного типа. Она оптимизирована для (резистивных) сенсоров мостового типа. Стандартная микросхема позволяет подключить до трех сенсоров.

ZMD21013 содержит усилитель с программируемым коэффициентом усиления, 16-разрядный АЦП и схему энергосбережения. Разрешение и время аналого-цифровых преобразований, входной диапазон и чувствительность, так же как и режим измерения, программируются. Измеренные величины выводятся в цифровом виде через стандартный SPI последовательный интерфейс.

При наличии высокого уровня интеграции и продвинутой схемотехники энергосбережения применение микросхем ZMD21013 может существенно уменьшить стоимость материалов и потребляемую мощность. Средняя ультранизкая мощность потребления составляет только 25–30 мкВт в течение рабочего цикла и меньше чем 1 мкВт в режиме бездействия (ожидания). Микросхема ZMD21013 поддерживает режим измерения температуры и автоподстройку нуля, которая позволяет управлять долговременной стабильностью сдвига нуля для целей компенсации и коррекции.

Другие характеристики микросхемы ZMD21013: альтернативный RC-генератор,

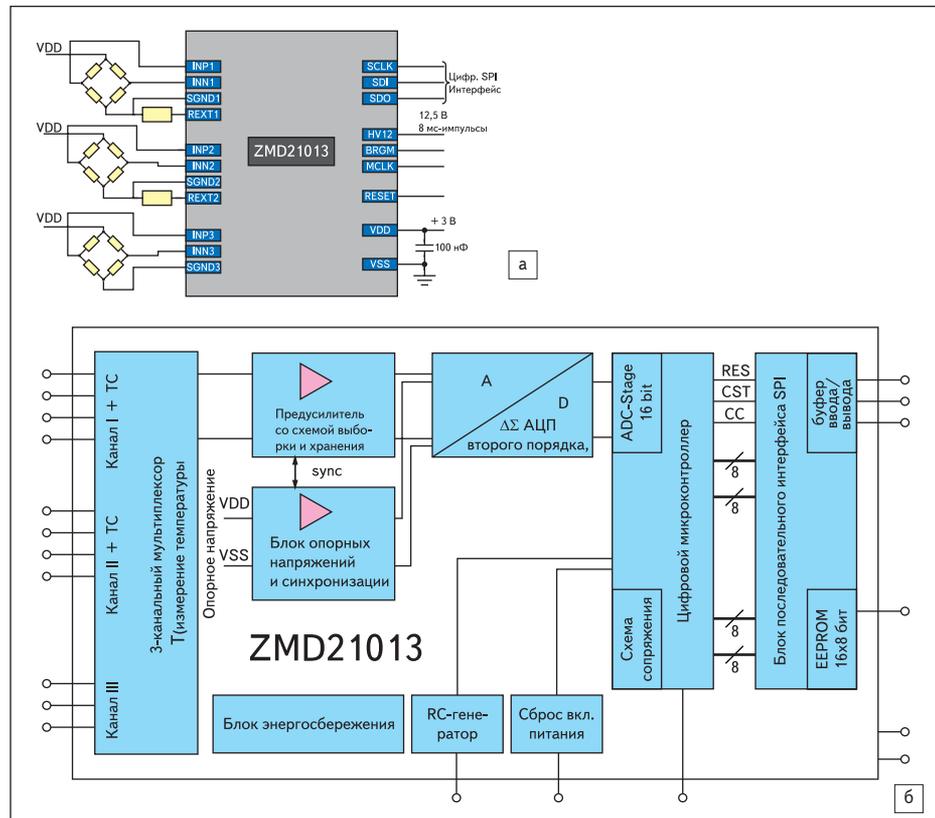


Рис. 10. ZMD21013: а) пример применения микросхемы; б) функциональная блок-схема

широкий диапазон питающего напряжения (2,5–5,5 В) и интегрированная 16×8 бит EEPROM (для непрерывного хранения конфигурационных данных).

Примеры применения:

- измерение ускорений;
  - компас;
  - измерение напряжений (анализ дифференциальных давлений);
  - альтиметры и барометры;
  - измерение скорости и потока;
  - измерение температуры.
- Основные преимущества:
- Экстремально долгое время жизни батареи при токе <100 нА в режиме бездействия и 25–30 мкВт средней мощности потребления при работе.
  - Экономия пространства за счет наличия в одной микросхеме трех входов для подключения мостовых датчика и усилителя с высоким коэффициентом усиления.
  - Высокий коэффициент усиления входных сигналов позволяет использовать широкий диапазон высокочувствительных сенсорных элементов.

### Оценочные средства тестирования

Для всех типов микросхем существуют средства тестирования или оценочные наборы.

Оценочный набор предназначен для первоначального изучения и экспериментирования потребителем микросхем серии ZMD31xx. Дружественный графический интерфейс спе-

циализированного ПО позволяет пользователю управлять такими функциями, как:

- конфигурирование микросхемы, включающее подстройку коэффициента усиления, сдвиг нуля, выбор источника температурной компенсации, разрешения, частоты выборки, опции выхода, режим измерения, уровни ограничения и т. д.;
- чтение и программирование EEPROM и СМЧ (калибровочный микроконтроллер);
- отображение некалиброванных и калиброванных сигналов мостового и температурного сенсоров;
- эмуляция реального сенсорного элемента с помощью платы Sensor Dummy;
- полуавтоматическая калибровка проводимых измерений, вычисление калибровочных коэффициентов и программирование EEPROM.

На рис. 11 показан оценочный набор для ZMD31050 (такие же наборы возможны и для ZMD31010/31015/31020/31030/31035/31150). В комплект поставки также входит тестовая плата (SSC Test Board), USB-кабель, 5 образцов микросхем и диск с программным обеспечением.

К сожалению, в оценочном наборе для ZMD31050 нет возможности скоммутировать микросхему для работы с токовым выходом. Для этого пользователю предоставляется тестовая плата (SSC Test Board), на которой он может смонтировать свое устройство и подключить его к оценочному набору.

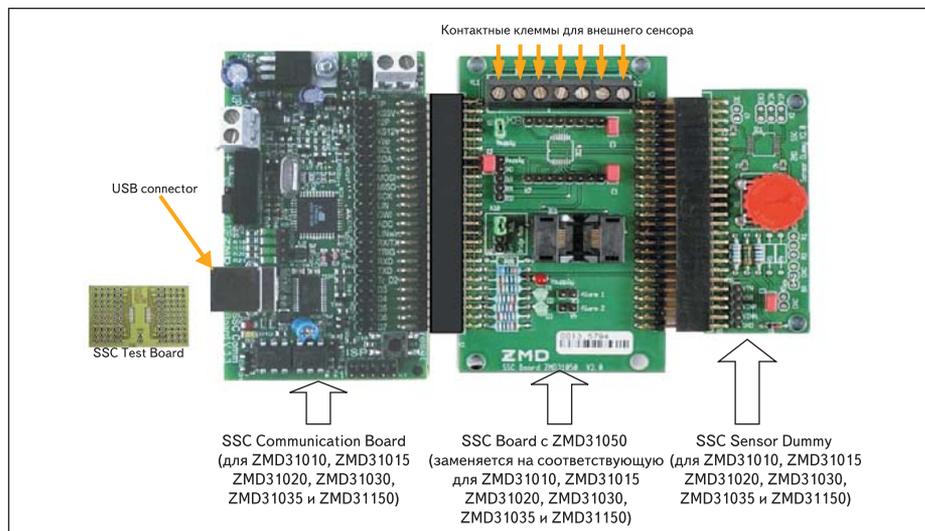


Рис. 11. Оценочный набор для ZMD31050

### Заключение

В статье дан краткий обзор микросхем серии ZMD31xxx, которые производит компания ZMD (Германия). Они обеспечивают высокоточное усиление, калибровку и термокомпенсацию выходного сигнала мостового датчика. Применение данных микросхем в схемах датчиков позволит увеличить эффективность разработок, повысить метрологические характеристики проектируемых уст-

ройств, упростить схемотехнику и повысить надежность. Проведение цифровой и безитерационной калибровки позволяет легко автоматизировать процесс серийного производства датчиков.

Наличие в семействе микросхем с различными характеристиками дает возможность подобрать нужную микросхему для соответствующего применения. Особенно эффективно применение микросхем ZMD в автомобильной промышленности. ■