

# Особенности аналоговых интерфейсов датчиков

## Часть 2

**Олег Дворников, Владимир Чеховский, Валентин Дятлов (г. Минск, Беларусь), Николай Прокопенко (г. Шахты, Ростовская обл.)**

В первой части статьи, опубликованной в предыдущем номере, рассмотрены основные требования к микроэлектронным интерфейсам датчиков и особенности подключения к удалённым приборам. Там же приведены схмотехнические решения и параметры интерфейсов, реализованных на операционных усилителях. Во второй части рассматриваются специализированные микросхемы интерфейсов от ведущих производителей.

### УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕЙС для датчиков AD8555

Микросхема AD8555 [18, 19] (см. рис. 12) предназначена для работы с датчиками напряжения или тока. ИС представляет собой дифференциальный усилитель с малым дрейфом напряжения смещения (менее 10 мкВ в диапазоне температур  $-40...125^{\circ}\text{C}$ ); программной установкой постоянного уровня выходного напряжения и коэффициента передачи (в диапазоне от 70 до 1280 В/В с шагом менее 1); высоким КОСС (80 дБ); возможностью реализации ФНЧ при подключении одного внешнего конденсатора к выводу FILT/DIGOUT (см. рис. 13а). При ис-

пользовании внешних резисторов ИС AD8555 допустимо применять для работы с чувствительными пьезоэлектрическими элементами ( $C_3$  на рисунке 13б).

Микросхема имеет следующие особенности:

- требуемый коэффициент передачи ИС вначале может быть установлен программным путём и после наладки зафиксирован с помощью плавких перемычек из поликристаллического кремния (ПКК);
- коэффициент передачи изменяется отдельно в первом и втором каскадах, в первом – от 4,0 до 6,4 В/В (128 значений усиления устанавливаются

потенциометрами  $P_1, P_2$  на рис. 12), во втором – от 17,5 до 200 В/В (8 значений усиления устанавливаются потенциометрами  $P_3, P_4$ );

- уровень постоянного выходного напряжения задается программным способом с дискретностью  $0,004(V_{DD} - V_{SS})$  и изменяется пропорционально суммарному напряжению питания  $V_{DD} - V_{SS}$ . При настройке этот уровень напряжения может быть выбран программным путём, а потом зафиксирован с помощью «пережигания» ПКК-перемычек;
- к входу ИС подключен источник вытекающего тока, а к выводу VCLAMP – втекающего, что позволяет обнаружить оборванные и короткозамкнутые цепи по входу и выводу VCLAMP;
- для корректного управления АЦП с низким напряжением питания уровень ограничения выходного сигнала устанавливается внешним источником опорного напряжения, соединённым с выводом VCLAMP.

### ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ИНТЕРФЕЙС для датчиков MLX90314AB

Специализированный микроконтроллер MLX90314AB [20] предназначен для обработки сигналов мостовых датчиков. Входной сигнал микросхемы MLX90314AB (см. рис. 14) усиливается и сдвигается по постоянному уровню, а затем преобразуется в сигнал требуемой формы в одном из выходных каскадов. Величина усиления и сдвига определяется ЦАП, управляемым от встроенного микроконтроллера.

Область применения MLX90314AB аналогична AD8555, но главным преимуществом является возможность цифровой коррекции характеристик датчиков. Микросхема MLX90314AB позволяет:

- уменьшить нелинейность температурных и передаточных характеристик датчиков за счёт программирования коэффициента переда-

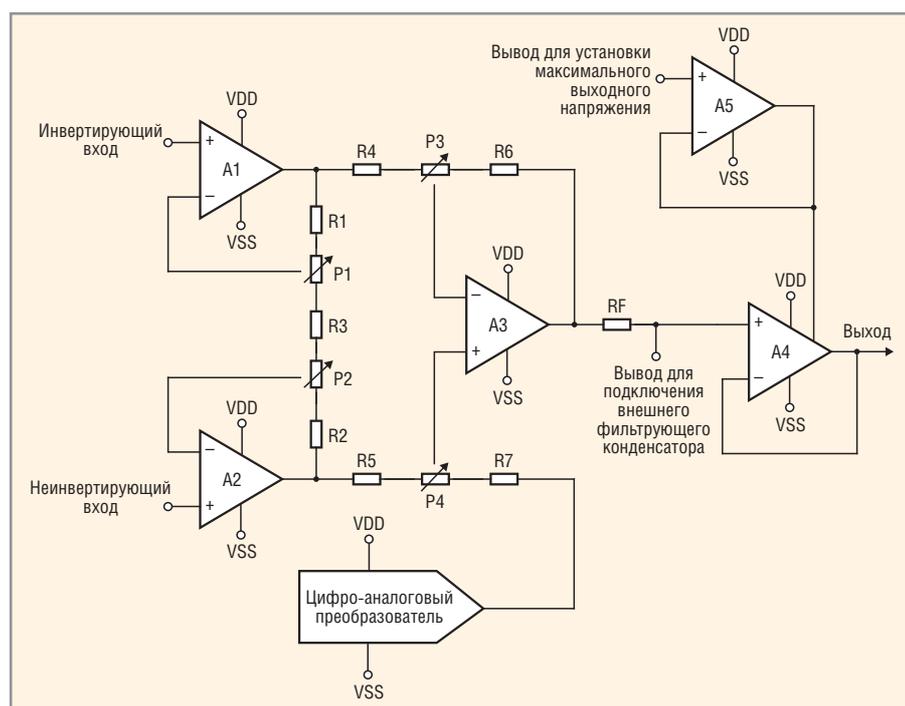


Рис. 12. Упрощённая схема ИС AD8555

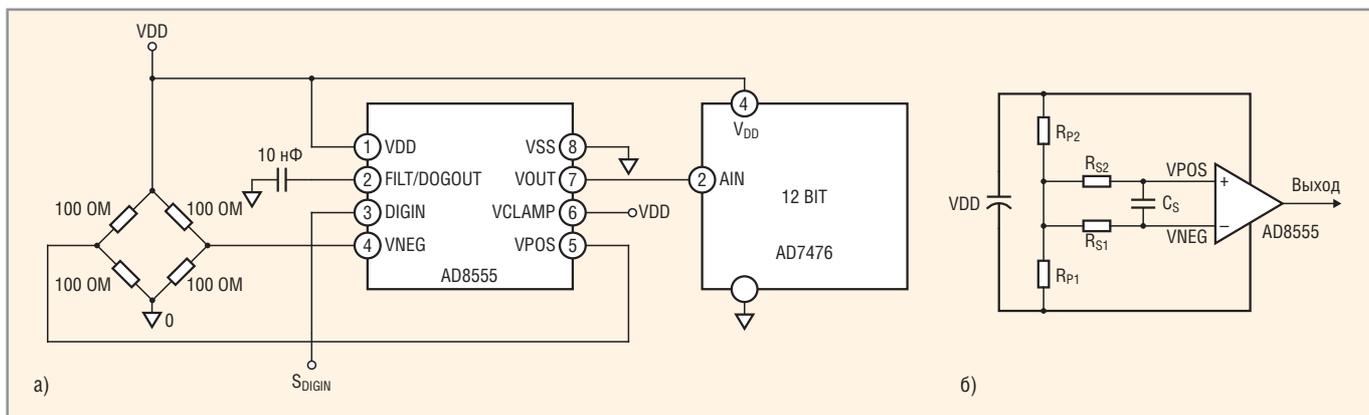


Рис. 13. Схема включения ИС AD8555 для:

а – чувствительных резистивных элементов, соединённых по мостовой схеме, с ФНЧ; б – пьезоэлектрических чувствительных элементов

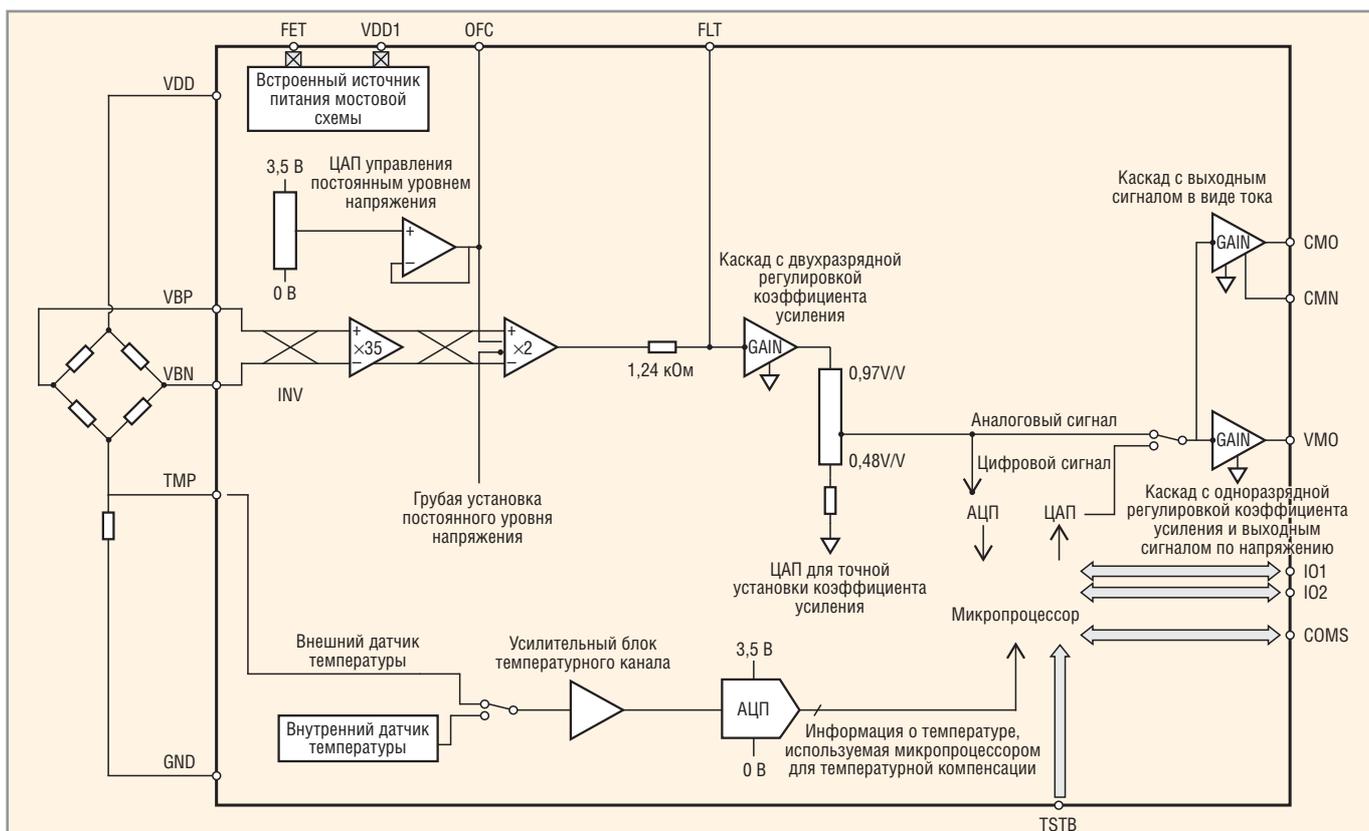


Рис. 14. Упрощённая схема ИС MLX90314AB

- ИС и применения внешнего или внутреннего датчика температуры. Выбранная величина коэффициента передачи сохраняется во встроенном электрически-стираемом программируемом постоянном запоминающем устройстве (ЭСПЗУ);
- установить требуемый уровень постоянного выходного напряжения и необходимый диапазон изменения выходного сигнала по напряжению (4, 5, 10, 11 В) и току (аналоговая токовая петля 4...20 мА);
- встроенный стабилизатор обеспечивает питание мостовой схемы напряжением или – с помощью внешнего МОП-транзистора – током;

- ослабить влияние входной перегрузки стандартными цепями ESD-защиты КМОП-схем [21].

### ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ ИК-ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ MLX90313

Микросхема MLX90313 [22] (см. рис. 15) содержит два малошумящих аналоговых канала с малым напряжением смещения и программируемым коэффициентом передачи (programmable gain amplifier, PGA на рисунке 15); 12-разрядный АЦП в каждом канале; схему линеаризации; различные типы выходных каскадов для обоих каналов, в том числе: 12-разрядный цифровой выход через последовательный

интерфейс (Serial Peripheral Interface, SPI), аналоговый (Linear, Lin) выход с восьмиразрядным разрешением, десятиразрядный выход с ШИМ (PWM). Питание ИС осуществляется через встроенный стабилизированный источник с входным напряжением в диапазоне от 7 до 80 В.

Микросхема «ИК-термометра» MLX90313 ориентирована на работу с термопарами, термоэлементами, объединёнными с терморезисторами, но может быть применена для обработки, линеаризации и температурной коррекции сигналов различных мостовых датчиков.

При использовании MLX90313 необходимо учитывать, что:

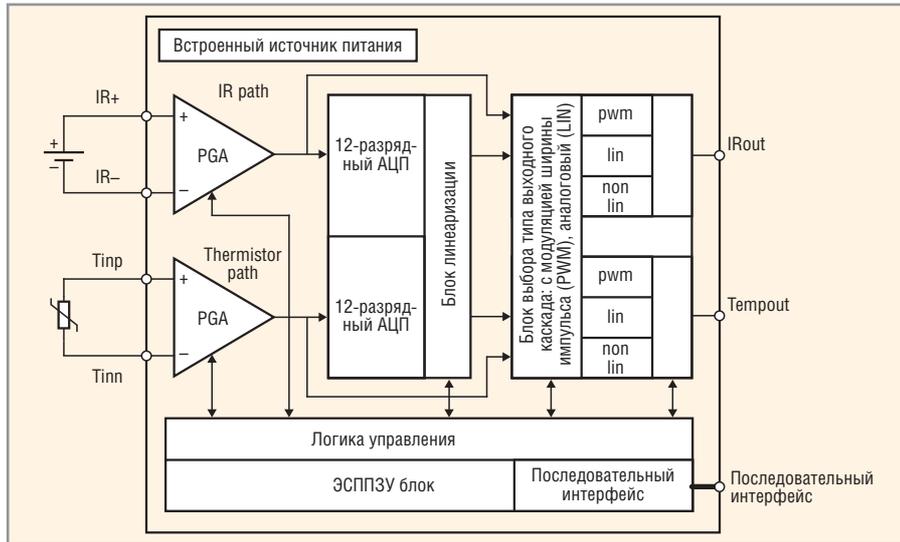


Рис. 15. Упрощённая схема ИС MLX90313

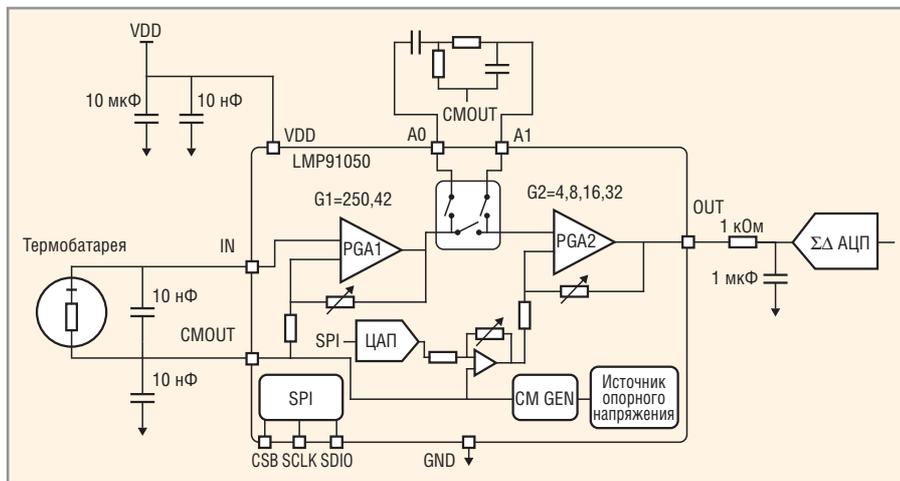


Рис. 16. Упрощённая схема ИС LMP91050 и схема её подключения

- диапазон программирования коэффициента передачи составляет от 55 до 5500 В/В для инфракрасного канала (IR path на рисунке 15) и от 1 до 40 В/В для канала термистора (Thermistor path);
- питание терморезистора, подключённого между выводами  $T_{INP}$  и  $T_{INN}$ , осуществляется с помощью источника тока, величина которого определяется сопротивлением внешнего резистора между выводами  $C_{REF}$  и  $V_{CC}$  и масштабирующим коэффициентом в диапазоне от 1/7 до 1. Напряжение на выводе  $C_{REF}$  устанавливается от внутреннего источника опорного напряжения 2 В;
- установка необходимых параметров, конфигурации и калибровка системы осуществляются через интерфейс SPI.

**ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ ИК-ДАТЧИКОВ LMP91050**

Микросхема LMP91050 [23, 24] предназначена для согласования ИК-датчи-

ка с микроконтроллером, позволяет программировать параметры и оптимизирована для работы с термобатареями (см. рис. 16).

К особенностям структуры и параметров ИС можно отнести следующее:

- программируемый усилитель (PGA) позволяет устанавливать коэффициент передачи в диапазонах от 167 до 1335 В/В (низкое усиление) и от 1002 до 7986 В/В (высокое усиление). Усилитель состоит из двух последовательно включённых каскадов PGA1 с двумя значениями усиления (250 и 42) и PGA2 с четырьмя значениями усиления (4, 8, 16, 32);
- возможность компенсации влияния постоянной («темновой») составляющей входного сигнала за счёт изменения уровня сигнала на входе второго каскада;
- подстраиваемый (от 1,15 до 2,59 В) источник синфазного напряжения (CM GEN на рисунке 16), используемый для увеличения выходного динамического диапазона;

- допустимо выполнение ВЧ- или НЧ-фильтрации сигнала с помощью внешних цепей, соединённых с выводами микросхемы A0 и A1;
- конфигурирование ИС и установка требуемых параметров осуществляется через встроенный интерфейс SPI и при необходимости через программно-аппаратный комплекс LMP91050 Design Kit.

**СЕРИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ФИРМЫ MAXIM**

Фирма Maxim создала серию полупроводниковых интерфейсов для мостовых датчиков с малым уровнем выходного сигнала [25, 26]. Хотя ИС были разработаны для пьезорезистивных датчиков давления, гибкая внутренняя структура и возможность программирования параметров позволяют применять их для работы с датчиками ускорения, деформаций и др. Все микросхемы серии осуществляют компенсацию температурных изменений и нелинейности передаточных характеристик датчиков и различаются по степени интеграции и погрешности обработки сигнала.

Серия состоит из следующих микросхем:

- MAX1458 – функционально полная СБИС аналого-цифрового формирователя сигналов датчиков включает аналоговый канал обработки сигнала датчика, четыре 12-разрядных ЦАП для управления уровнем постоянного напряжения и усиления, один трёхразрядный ЦАП для грубой установки постоянного напряжения, встроенное ЭСППЗУ для хранения информации о калибровке;
- MAX1457 – высококачественный формирователь сигналов с температурной коррекцией и линейризацией выходного сигнала датчика путём установления кусочно-линейной передаточной характеристики ИС из 120 сегментов. В отличие от MAX1458, он содержит 12-разрядный АЦП, который оцифровывает информацию датчика для хранения во внешнем ЭСППЗУ, и шесть 16-разрядных ЦАП;
- MAX1450 – упрощённый вариант формирователя сигналов (см. рис. 17 и 18), содержащий только аналоговый канал, без АЦП, ЦАП и ЭСППЗУ. Содержит подстраиваемый источник тока для возбуждения мостовых датчиков и трёхразрядный PGA, поз-

воляющий компенсировать сдвиг постоянного уровня и его температурный уход, нелинейность передаточной характеристики и её температурное изменение для пьезорезистивных датчиков с помощью внешних подстраиваемых резисторов, потенциометров или ЦАП.

Аналоговый канал микросхемы MAX1450 является полностью дифференциальным и состоит из трёх последовательно соединённых каскадов: трёхрядный PGA с величиной передачи, выбираемой из ряда 39, 65, 91, 117, 143, 169, 195, 221 В/В; суммирующая схема и выходной буфер с преобразованием дифференциального сигнала в однофазный. При этом PGA характеризуется следующими особенностями: КОСС = 90 дБ, диапазон допустимого синфазного сигнала от отрицательного ( $V_{SS}$ ) до положительного ( $V_{DD}$ ) напряжения питания; выводы A0, A1, A2 позволяют установить коэффициент передачи от 39 до 221 В/В с шагом 26.

Суммирующая схема предназначена для сдвига постоянного уровня напряжения ( $V_{OFF-SET}$ ) и компенсации его температурного ухода ( $V_{OFFTC}$ ) с учё-

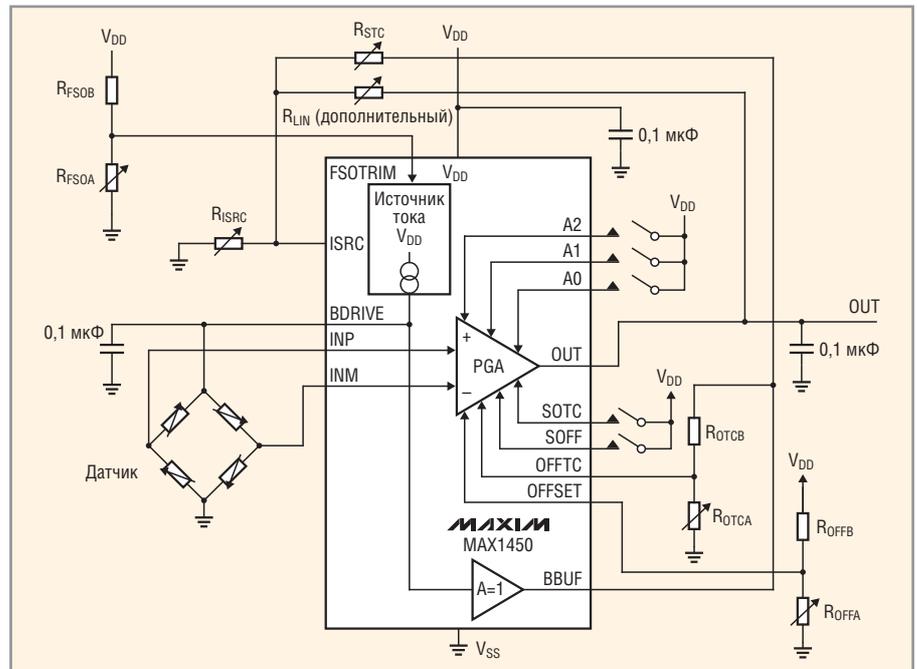


Рис. 17. Упрощённая схема ИС MAX1450 и схема её подключения

том знака сдвига ( $S_{OFF}$ ) и температурного изменения ( $S_{OTC}$ ). Выходной повторитель напряжения обеспечивает ток в нагрузке, равный 1 мА, на положительной и отрицательной полуволне выходного напряжения с амплитудой в пределах от  $V_{SS} + 0,25$  В до

$V_{DD} - 0,25$  В и диапазон выходного напряжения от  $V_{SS} + 0,05$  В до  $V_{DD} - 0,05$  В в режиме холостого хода.

Управление питанием мостового датчика поясняет рисунок 186. Напряжение на выводе FSO<sub>TRIM</sub> совместно с резистором R<sub>ISRC</sub> устанавливает вели-

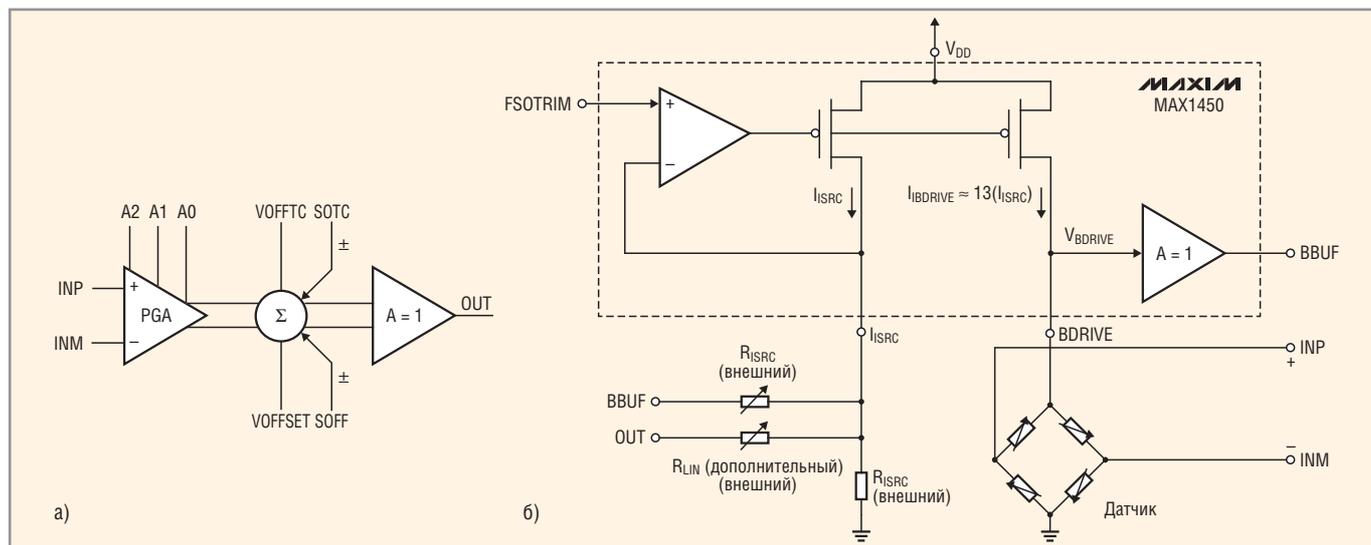


Рис. 18. Упрощённые схемы некоторых блоков MAX1450

а – аналоговый канал; б – схема управления мостом

чину номинального тока  $I_{ISRC}$ , который определяет FSO. Величина  $I_{ISRC}$  при необходимости дополнительно изменится внешними резисторами  $R_{STC}$  и  $R_{LIN}$ . Резистор  $R_{STC}$  применяется для возвращения части напряжения питания моста ( $V_{BBUF}$ ) и компенсации температурного изменения FSO путём изменения тока питания моста в температурном диапазоне. Для компенсации нелинейности FSO возвращаемая часть выходного напряжения преобразуется в ток питания моста с помощью резистора  $R_{LIN}$ . Подробно функционирование и выбор параметров внешних цепей рассмотрены в [26].

Основные характеристики описанных выше микросхем сведены в таблицу.

### Выводы

Наиболее широкое применение находят датчики с выходным сигналом в виде амплитуды напряжения или тока, а также чувствительные ёмкостные

и резистивные элементы, включённые в мостовые схемы. Интерфейс датчика должен обеспечить выполнение следующих функций:

- усиление переменного сигнала и сдвиг постоянного уровня напряжения для согласования диапазона выходных значений датчика с диапазоном входного напряжения устройства последующей обработки сигнала (АЦП);
- линейризацию передаточной функции датчика;
- компенсацию температурного изменения характеристик системы «датчик – интерфейс»;
- ограничение полосы пропускания;
- защиту входа от перегрузки;
- обнаружение неисправности датчика.

Интерфейс удалённых датчиков целесообразно выполнять с дифференциальным входом и высоким коэффициентом ослабления синфазного сигнала, защитой входа от перегрузки

выбросами напряжения и радиопомех. Особое внимание следует уделить правильному соединению шин нулевого потенциала и экранов.

Обработку сигналов чувствительных пьезоэлектрических элементов рекомендуется осуществлять с помощью зарядочувствительных усилителей, применение которых позволяет минимизировать влияние паразитной ёмкости монтажа и соединительных кабелей.

Несмотря на широкое распространение устройств обработки сигналов датчиков на основе ОУ, в ряде случаев значительное улучшение технико-экономических параметров достигается при использовании специализированных микросхем интерфейсов датчиков.

Изученные микроэлектронные интерфейсы датчиков выполнены с дифференциальным входом, высоким входным сопротивлением и обычно содержат или допускают:

Таблица 1. Характеристики микросхем интерфейсов датчиков

Наименование параметра	Наименование микросхемы интерфейса					
	AD8555	AS1716	MLX90314	MLX90313	LMP91050	MAX1450
Тип входного датчика	Мостовой	Ёмкостной	Мостовой	Мостовой	Мостовой	Мостовой
Входной ток (сопротивление)	22,0 нА	(70 кОм)	8,0 нА	Не нормируется	0,2 нА	(1 Мом)
Напряжение смещения, мВ	0,01	10,0	Не нормируется	0,004	0,17	Не нормируется
Диапазон изменения коэффициента передачи, В/В	От 70 до 1280	От 0,5 до 4,0	От 98 до 2100	От 55 до 5500	От 167 до 7986	от 39 до 221
Полоса пропускания, кГц	>40	16,0	2,8	0,5	18,0	0,16
КОСС, дБ	80,0	55,0	60,0	75,0	Нет данных	90,0
Диапазон допустимого выходного напряжения, В	От 0,03 до 4,94	От 0,05 до 4,95	От -0,2 до 4,5	От 0 до 4,3	От 0,20 до 3,10	От 0,25 до 4,75
Максимальная нагрузка	5,0 мА	25,0 мА	2,0 мА	1,0 мА	1 кОм + 1 мкФ	1,0 мА
Напряжение питания, В	5,0	5,0	От 6,0 до 35	От 4,5 до 80	3,3	5,0
Ток потребления, мА	2,5	9,0	5,0	5,6	3,7 (0,085 в ждущем режиме)	3,5
Диапазон рабочих температур, °С	-40...125	-45...125	-40...140	-40...125	-40...85	-40...125

- ФНЧ с полосой пропускания, определяемой ёмкостью внешнего конденсатора;
- схему преобразования парафазного сигнала в однофазный;
- схему сдвига постоянного уровня напряжения;
- источник стабильного напряжения, предназначенный для задания режима работы внутрикристалльных аналоговых блоков, внешней мостовой схемы или чувствительного пьезоэлектрического элемента. Желательно, чтобы в таком источнике было два уровня выходного напряжения –  $V_{CC}$ , достаточный для питания аналоговых блоков, и  $V_{CC}/2$ . В некоторых ИС возбуждение внешней мостовой схемы выполняется источником постоянного вытекающего тока;
- выходной буферный каскад, обеспечивающий необходимую нагрузочную способность, в том числе, при работе на емкостную нагрузку;
- встроенный датчик температуры (в некоторых устройствах);
- два последовательно соединённых каскада с программируемым коэффициентом передачи напряжения, обычно не более 10 000 В/В. Для

оптимизации отношения сигнал/шум следует первый каскад выполнять с двумя большими значениями коэффициента передачи (например, 40 и 200 В/В), а во втором каскаде предусматривать многоступенчатую регулировку;

- изменение коэффициента передачи напряжения осуществляется за счёт подключения КМОП-ключами различных резисторов в цепи обратной связи усилителей или путём использования каскадов с электронной регулировкой усиления и цифро-аналоговых преобразователей;
- изменение уровня постоянного напряжения обычно обеспечивают суммирующие схемы и цифро-аналоговые преобразователи;
- в некоторых ИС требуемый уровень изменяемых параметров вначале устанавливается программным способом, а потом фиксируется с помощью плавких поликремниевых перемычек.

Для микросхем интерфейсов рекомендуется обеспечить высокий коэффициент ослабления синфазного сигнала (не менее 80 дБ) и малый входной ток (не более 1 нА).

## ЛИТЕРАТУРА

- AD8555. Zero-Drift, Digitally Programmable Sensor Signal Amplifier.
- Могими Р. Инструментальный усилитель AD8555: измерительные системы на мостовых тензодатчиках становятся проще и совершеннее. Компоненты и технологии. 2005. № 2. С. 78.
- MLX90314AB. Programmable Sensor Interface ([www.datasheetcatalog.org/datasheets2/50/507742\\_1.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets2/50/507742_1.pdf)).
- Эннс В.И. Проектирование аналоговых КМОП-микросхем. Краткий справочник разработчика. Горячая линия – Телеком, 2005.
- MLX90313. Programmable IR Sensor Interface.
- LMP91050. Configurable AFE for Nondispersive Infrared (NDIR) Sensing Applications. Texas Instruments ([www.ti.com/lit/ds/sn517c/sn517c.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/sn517c/sn517c.pdf)).
- User's Guide for the LMP91050 Evaluation Board with Sensor AFE Software. Texas Instruments ([www.ti.com/lit/ug/snau119/snau119.pdf](http://www.ti.com/lit/ug/snau119/snau119.pdf)).
- New ICs Revolutionize The Sensor Interface. Maxim, AN695 ([www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/695](http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/695)).
- Ракович Н. Формирователи сигналов датчиков Maxim. Компоненты и технологии. 2003. № 7. С. 82.

