

# Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы

## Часть 2. Технологии, схемотехника, программирование и монтаж интегральных датчиков Холла

Вторая часть статьи продолжает описание линии новых разработок на основе перспективных в данной области интегральных бесконтактных датчиков Холла в комбинации с постоянным магнитом. Дается анализ возможностей новых технологий, излагаются базовые принципы комплексного инженерного дизайна. Специальное внимание уделяется вопросам функциональности — схемотехники и аспектам программирования, важным в практической реализации новых автомобильных датчиков положения.

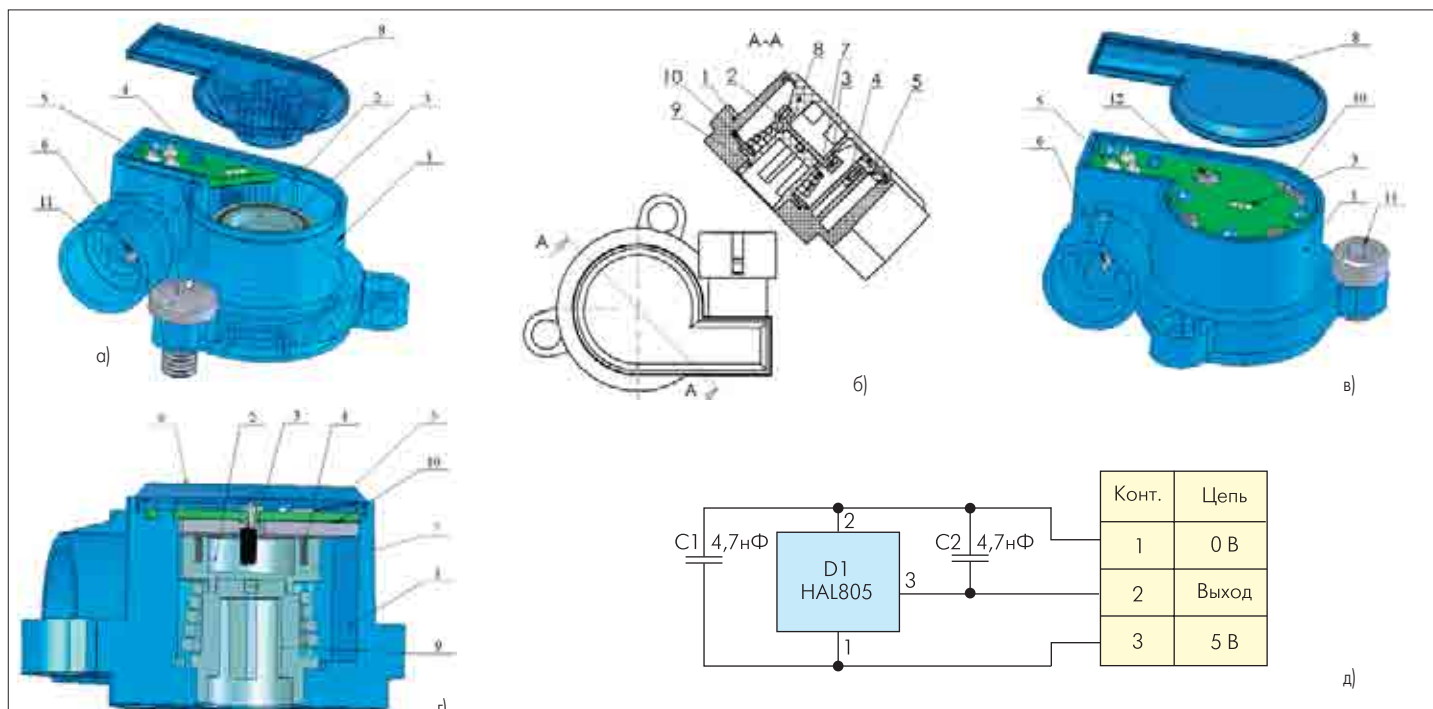
Светлана Сысоева

S.Sysoeva@mail.ru

### Введение

Интегральные датчики помогают инженерам быстрее создавать надежные и точные устройства для автомобильных систем благодаря высокому уровню интегральности компонентов и непрерывным каче-

ственным улучшениям их элементной базы. Специально для разработки автомобильных бесконтактных датчиков положения дросселя, педали, подвески, клапана EGR и положения передачи предназначена развитая элементная база магнитоуправляемых интегральных компонентов — альтернатива потенциоме-



**Рис. 7.** Программируемый датчик положения дроссельной заслонки с классическим датчиком Холла (HAL8x5/810 Micronas) — варианты со слабым магнитом без магнитопровода:

а, б, в, г — варианты конструкции датчика:

а — общий вид устройства; б — конструкция датчика А в разрезе в его симметричном угловом положении с нулевой индукцией магнитного поля;

в — высокочувствительный вариант Б с микросхемой внутри кольцевого магнита; г — симметричное положение датчика Б с нулевой индукцией магнитного поля (вид в разрезе);

1 — корпус датчика; 2 — роторный узел (сборочная единица, включающая также поз. 7 и 9; выполняется на основе деталей, жестко связанных между собой, например, при их двухэтапной обливке или термоосадке); 3 — кольцевой постоянный магнит; 4 — программируемый датчик Холла (HAL805); 5 — печатная плата;

6 — контакты разъема; 7 — пружина кручения; 8 — крышка датчика; 9 — установочная втулка роторного узла; 10 — ограничитель осевых перемещений (верхнее днище корпуса в варианте А или вспомогательная крышка в варианте Б); 11 — крепежные винты датчика; 12 — крепеж ограничителя;

д — принципиальная электрическая схема датчика с HAL805 Micronas.

Таблица 3. Технические характеристики ряда известных линейных ИС Холла

Линейная ИС Холла	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА	Выходной интерфейс	Ратометричность (в процентах от напряжения питания)	Среднеквадратическое выходное напряжение $U_{\text{ср}}$ , В при (0 мТл)	Магнитная чувствительность, мВ/В/мТл (мВ/мТл при $U_{\text{ср}} = 5 \text{ В}$ ) <sup>1</sup>	Нелинейность, % $U_{\text{ср}}$	Дрейф $U_{\text{ср}}$ в рабочем температурном диапазоне, мТл, мВ, %	Максимальная частота срабатывания, кГц	Выходной импеданс, Ом	Техника динамической отмены сдвигов (choffer – stabilization)	Защита от короткого замыкания выхода	Защита от перенапряжения	Защита от обратного напряжения питания	Рабочий температурный диапазон, °С	Температурный коэффициент, ppm/°С	Типы корпусов	Производитель
A3503 (UGN3503)	4,5...6	9...13	Линейный выход	•	2,5 (2,25...2,75)	13 (7,5...17,5)	±2	–*	23	50...220	Нет	Нет	Нет	Нет	–20...+85	–*	UA (SIP-3), LT (SOT-89/TO-243AA)	Allegro Microsystems
A1321 (A3515/7)	4,5...5,5	5,6...8	Линейный выход	• (±1,5%)	$U_{\text{ср}}/2$ ; 2,5 (2,425...2,575)	25	по ±1,5 положительная и отрицательная линейность	±1 мТл	30	1,5...3	• (150 кГц)	Нет	•	До –0,1 В	–40...+85 (E) –40...+150 (L)	–*	UA (SIP-3; TO-92), LH (SOT-23W)	Allegro Microsystems
A1322						31,25												
A1323 (A3516/8)						50												
AD22151	4,5...6	6...10	Линейный выход; интегрированный термистор; два выхода и один выход-вход температурной компенсации	• (±1%)	$U_{\text{ср}}/2$	4	0,1...1	±0,6 мТл	5,7	–*	• (50 кГц)	•	• (до 12 В)	Нет	–40...+150	Регулируемый (950 – некомпенсированный)	8-пиновый SOIC	Analog Devices
HAL401	4,8...12	14,5 (9...18,5)	Дифференциальный выход	•	Специфицируется выходное напряжение обычного режима $U_{\text{вых}} = (U_{\text{out1}} + U_{\text{out2}})/2$	46,5 (37,5...55) – дифференциальная магнитная чувствительность	0,5...2 – дифференциального выхода; 2 – одночного выхода	±1,5 мТл	10 (Постоянный ток и низкочастотные магнитные поля)	30...50	• (147 кГц)	–*	•	•	–40...+170 (A) –40...+140 (K)	–*	SF (SOT-89B SMD)	Micronas Intermetall
MLX90242*–CC03 (BC03); (MLX90242LUA–CC03; MLX90242LVA–CC03; MLX90242ESO–BC03; MLX90242ESO–CC03)	4,5...5,5	1,8...4,5	Линейный выход	•	$U_{\text{ср}}/2$ ; 2,5 ±0,1 В	40 – CC03; 15 – BC03	0,5	±25 мВ	–*	20	•; вместе с квадратичной техникой отмены сдвигов	•; до 7В	Нет	Нет	–40...+150 – MLX90242LUA–CC03; MLX90242LVA–CC03; –40...+85 – MLX90242ESO–BC03; MLX90242ESO–CC03	680	SOT-23, 4-SIP-VA, TO-92	Melexis
SS495/6 (MRL с улучшенными характеристиками)	4,5...10,5	7	Линейный выход	•	$U_{\text{ср}}/2$ ; 2,5±0,075 (A, A1); 2,5±0,10 (A2); 2,5±0,150 (B)	31,25 ±0,125	–1...–1,5	±3%	–*	–*	Нет (квадратичный дизайн и тонкопленочные резисторы с лазерной подгонкой)	Нет	Нет	До –0,1 В	–40...+150	–*	Стандартный транзисторный корпус, опционно-пов. монтаж	Honeywell
OHS3150U, OHS3151U	4,5...6	5,5...10	Линейный выход	•	$U_{\text{ср}}/2$ ; 2,5 (2,25...2,75)	25 (22,5...27,5)	<5	3,5 мТл (5 мТл – 3151)	–*	–*	Нет (квадратичный дизайн)	–*	•	Нет	–40...+150	–*	Стандартный транзисторный корпус	Optek Technology, Inc.
A1301, A1302	4,5...6	11	Линейный выход	•; с симметрией ±3%	$U_{\text{ср}}/2$ ; 2,2...2,8	25 (A1301), 13 (A1302)	±2,5%	±3%	20	2...5	Нет (интегрированная подгонка)	–*	Нет (до 8 В)	До –0,1 В	–40...+85 (E); –40...+125 (K)	–*	3-выводный SOT23W; SIP-3	Allegro Microsystems

трам, позволяющая минимизировать проблемы загрязнения и износа. Современные линейные магнитоуправляемые ИС имеют новые функциональные возможности, увеличенную чувствительность, малый размер, удовлетворяют требованиям совместимости с электронными системами и как нельзя более адаптированы для эксплуатации в условиях автомобильной среды с ее механической вибрацией, переменными температурами, перепадами напряжения питания и электромагнитными помехами.

Располагая сведениями о текущем состоянии элементной базы, можно подобрать автомобильный линейный интегральный датчик, идеально подходящий для решения практически любой задачи (не только для определения положения, но и, например, ускорения, уровня жидкости или давления). Интегральный датчик обеспечивает готовый выход, совместимый с внешней схемой обработки сигнала — аналоговый или ШИМ, при этом постоянное повышение степени интегральности компонентов сводит к минимуму количество необходимых внешних схем защиты.

Аналоговый магнитоуправляемый датчик образует выходной сигнал, пропорциональный магнитному полю, образованному внешним линейно движущимся или вращающимся

ся постоянным магнитом, а также электрическим током. Поскольку магнит может быть механически связан с детектируемым объектом, этот тип датчиков подходит для широкого диапазона автомобильных задач определения положения, расстояния или угла.

Практические принципы, заложенные в механику магнитоуправляемых датчиков положения и энкодеров, ориентированы на развитие электронных технологий, доступных сегодня в интегральном исполнении: эффекта Холла, АМР, ГМР. Технологии на основе эффекта Холла с их самым высоким уровнем интегрирования компонентов, улучшенными возможностями программирования в рабочих условиях после сборки датчика, минимальным гистерезисом и широким диапазоном угловых измерений, дополненные новым потенциалом датчиков и энкодеров параллельных магнитных полей, являются в настоящее время безусловными лидерами.

**Стандартные и программируемые линейные датчики Холла. Необходимость программирования**

Основные принципы аналоговых измерений с применением классического датчика Холла в комбинации с дипольным магнитом изложе-

ны в первой части статьи и проиллюстрированы рис. 6. Другие примеры конфигураций датчика Холла и дипольного магнита также можно найти в описаниях патентов [23–25].

Еще два варианта конструкции автомобильного датчика углового положения с уменьшенным зазором между магнитом и ИС, специально разработанные для слабых магнитов (<500 мТл), показаны на рис. 7 а и б (вариант А), в и г (вариант Б). На рис. 7 д приведен пример реализации принципиальной электрической схемы устройства на основе элементной базы КМОП-семейства программируемых в EEPROM ИС Micronas HAL 8xx (HAL805) с минимальным набором внешних интерфейсных компонентов.

Текущее состояние коммерчески доступной элементной базы линейных датчиков Холла классического типа, альтернативно подходящих для данного типа конструкций, отражено в таблицах 3 и 4.

Линейный датчик Холла при повороте магнита (см. рис. 7) обеспечивает на выходе аналоговое напряжение  $U_{\text{вых}}$ , пропорциональное (рис. 8):

- плотности магнитного потока В, пронизывающего элемент Холла;
- на линейном участке данной выходной характеристики — углу φ поворота магнита;

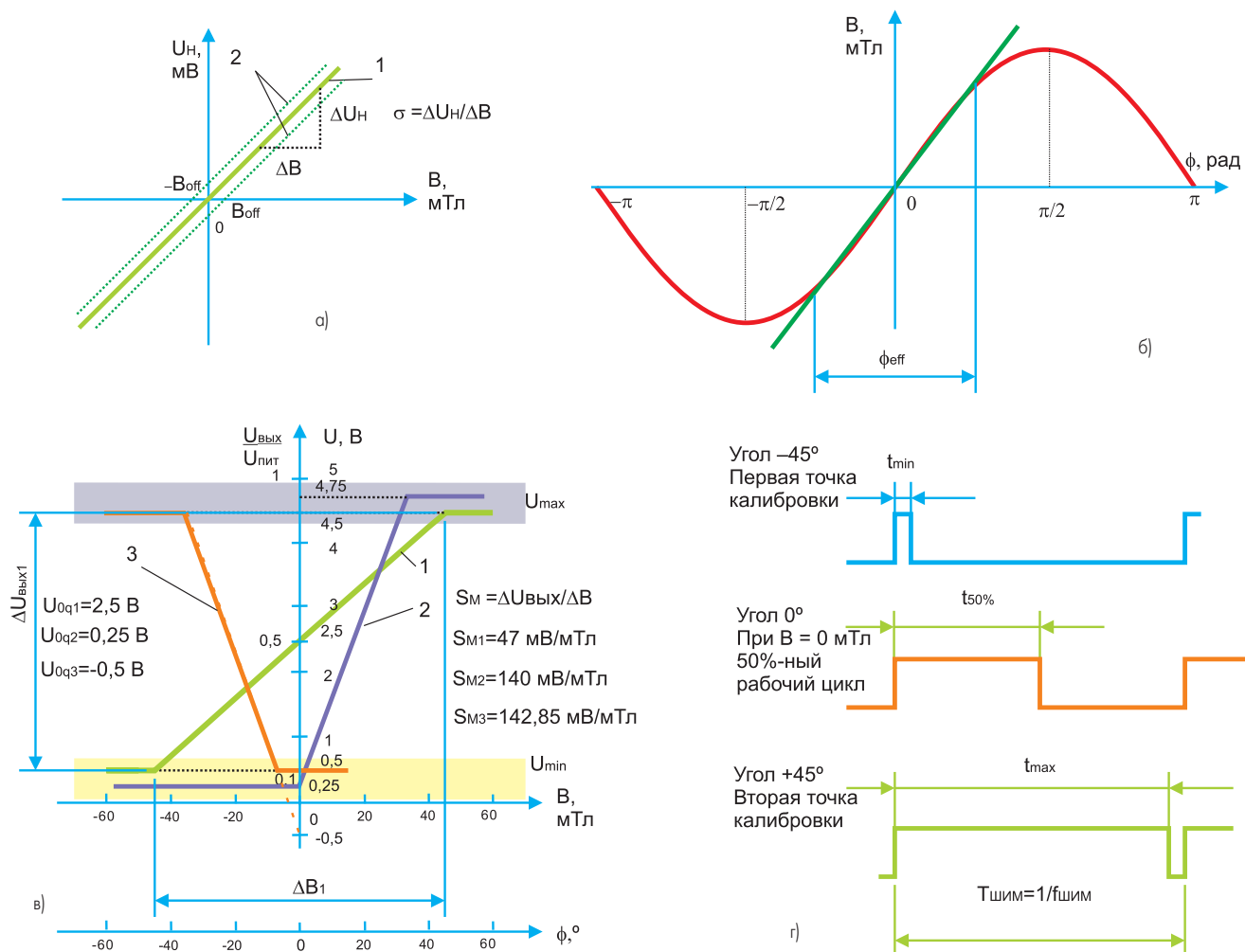
Таблицы 4. Основные технические характеристики современных программируемых ИС Холла

Программируемая линейная ИС Холла	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА	Выходной интерфейс	Ратометричность (в процентах от направления питания)	Диапазон среднеквадратического выходного напряжения U <sub>q</sub> , В при (0 мТл)	Диапазон магнитной чувствительности, мВ/мТл (мВ/мТл при U <sub>cc</sub> = 5 В)	Нелинейность, % U <sub>cc</sub>	Смещение V <sub>0q</sub> в рабочем температурном диапазоне, мТл, мВ, %	Максимальная частота срабатывания, кГц	Выходной импеданс, Ом	Техника динамической отмены сдвигов («Shopper – stabilization»)	Защита от короткого замыкания выхода	Защита от перенапряжения	Защита от обратного напряжения питания	Программируемые параметры	Рабочий температурный диапазон, °С	Типичный температурный коэффициент, ppm/°С	Тип корпуса	Производитель
TLE4990	4,5...5,5	3,5...5,5	Линейный выход	• (±0,1)	3...19%U <sub>dd</sub> или 40...60%V <sub>dd</sub>	15...180	±0,1	±10...40мВ	2,3	3...6	•	• до 16В	• до 24В	• до -18 В	• Среднеквадратическое напряжение • Чувствительность • Температурная компенсация	-40...+150		PSSO-4-1	Infinion
MLX90215	4,5...5,5	2,5...6,5	Линейный выход	•	0,5...4,5	5...140	—*	±0,4%V <sub>dd</sub> (±20мВ)	—*	6		—*	• до 18 В		• Среднеквадратическое напряжение • Чувствительность • Температурный коэффициент чувствительности • Направление наклона		-300...-600 (программируется)		
MLX90251		3...9	Линейный выход	•	100...200%U <sub>dd</sub>	2,6...210	0,2	±0,4%V <sub>dd</sub> (<10мВ)	—*	—*	• квадратичный элемент Холла и стабилизируемое усиление	• до 30 В	• до -14,5 В		• Среднеквадратическое напряжение • Внутренняя смещающая точка • Чувствительность • ФНЧ • Конфигурация выхода • Ограничивающие уровни • Температурный коэффициент чувствительности • Направление наклона • Серийный номер	-40...+150 (L); -40...+85 (E)	0...2300	VASIP-4	Melexis
A1373/4	4,5...5,5	8,2...10	Линейный выход	•; оценка U <sub>0q</sub> – ±0,25%; чувствительности ±1%; ограничивающих уровней ±1,5%; с выходной симметрией ±0,35%	0,7...4,5	17,5...117,5	±0,5	±40мВ	2,5 (A1373) 20 (A1374)	1,5	•; техника динамической отмены сдвигов на 200 кГц	• до 18 мА к цепи питания и до 4 мА к земле	• до 16 В	• до -16 В	• Среднеквадратическое напряжение • Чувствительность (усиление) • Ограничивающие уровни • Магнитный диапазон • Униполярная или биполярная работа • Выходная полярность • Температурный коэффициент чувствительности	-40...+85 (E) -40...+150 (L)	0,07%/°... 0,016%/°	SIP-3	Allegro Microsystems
HAL805	4,5...5,5	7...10	Линейный выход	•; ±0,5%	-U <sub>dd</sub> ...+U <sub>dd</sub>	—*; рассчитывается при программировании в диапазоне -4...4	±0,5	±0,5мТл			•	•	• до 14,5 В		• Среднеквадратическое напряжение • Чувствительность и полярность • Ограничивающие уровни • Магнитный диапазон • ФНЧ • Температурный коэффициент чувствительности и квадратичный температурный коэффициент • Направление наклона • Блокирующий регистр		-400...400		
HAL810	4,5...5,5	7...10	ШИМ	—	—*; рассчитывается как U <sub>0cc</sub> при программировании в диапазоне -100...100%U <sub>dd</sub>	—*; рассчитывается как S <sub>0cc</sub> при программировании в диапазоне -4...4	±0,5	±0,5мТл	2	1...10	•	•	• до -14,5 В		• Среднеквадратическое значение рабочего цикла • Чувствительность • Ограничивающие уровни рабочего цикла • ФНЧ • Магнитный диапазон • Температурный коэффициент чувствительности и квадратичный температурный коэффициент • Блокирующий регистр			TO292UT-1 и TO292UT-2	Micronas Intermetall
HAL815	4,5...5,5	7...10	Линейный выход	•; ±0,5%	-U <sub>dd</sub> ...+U <sub>dd</sub>	—*; рассчитывается при программировании в диапазоне -4...4	±0,5	±0,5мТл			•	•	• до 8,5 В		• Среднеквадратическое напряжение • Чувствительность • Ограничивающие уровни • Магнитный диапазон • ФНЧ • Температурный коэффициент чувствительности и квадратичный температурный коэффициент • Направление наклона • Блокирующий регистр	-40...+150 (A); -40...+125 (K)	-400...400		
HAL855	4,5...14	7...10	Выход с открытым стоком		—*; устанавливается как сдвиг (смещение) при программировании в диапазоне -100...100%U <sub>dd</sub>	—*; рассчитывается как наклон при программировании в диапазоне -4...4	—*; предельная ошибка точности – 2%	±1мТл	2	—*	•	—*	• до 18 В	• до -14,5 В	• Выходной формат • Среднеквадратическое значение рабочего цикла • Чувствительность (наклон) • Выходная характеристика • Магнитный диапазон • ФНЧ • Период ШИМ • Высокий и низкий уровни тока • Температурный коэффициент чувствительности и квадратичный температурный коэффициент • Серийный номер • Блокирующий регистр		-3100...400	TO292UT-1 и TO292UT-2	Micronas Intermetall
HAL856			2-проводной (ШИМ, Split ШИМ, двухфазный последовательный M-выход)	Нет															

• напряжению питания U<sub>пит</sub> (ратиметричная характеристика).  
Перпендикулярные компоненты внешнего магнитного поля генерируют напряжение Холла U<sub>Н</sub> на интегрированном в ИС элементе Холла, чувствительном к северному и южному полюсу магнита (рис. 8 а). Это напряжение представляет собой готовую аналоговую характеристику, поэтому стандартная линейная ИС Холла является самым простым устройством и немногим отличается от дискретного линейного элемента: например, в ИС типа MLX90242 (рис. 9 а) это напряжение усиливается и перенаправляется на выходной драйвер [26–29].

Рабочее магнитное поле В, считываемое датчиком при вращении магнита, относительно выбранной нулевой отметки (рис. 8) математически моделируется выражением:  
$$B = B_{\max} \times \sin(\omega \times t + \varphi) + B_{\text{off}} \quad (7)$$
  
где В<sub>max</sub> — амплитудное значение магнитного поля, φ — фазовый сдвиг магнитного поля от нулевой оси (измеряемый угол поворота), ω — угловая скорость вращения, t — независимая переменная (время), В<sub>off</sub> — ненулевое смещение поля.  
При использовании стандартного линейного датчика в конструкциях, показанных на

рис. 6–7, как минимум возможны следующие механические ошибки — компоненты, наводящие В<sub>off</sub> и усиливающие эффекты нелинейности (7):  
• неидеальное положение ИС;  
• неидеальное положение магнита;  
• допуски расположения магнитопровода;  
• влияние остаточной намагниченности магнита;  
• неоднородность напряженности рабочего поля;  
• величина и допуски рабочего зазора;  
• эксцентриситет вращения;  
• влияние частоты вращения;  
• механическая вибрация;



**Рис. 8.** Рабочие характеристики датчика Холла:

а — рабочее магнитное поле  $B$  (сигнал напряжения Холла  $U_H$ ):

1 — идеальный сигнал с нулевым  $B_{off}$ ; 2 — ненулевое смещение  $B_{off}$  и  $(-B_{off})$  чувствительного элемента;

$\sigma$  — чувствительность элемента Холла;

б — синусоидальное рабочее магнитное поле  $B$  в зависимости от угла поворота  $\phi$  магнита, линейно аппроксимируемое в диапазоне эффективного электрического угла  $\phi_{eff}$ ;

в — примеры выходных характеристик линейного датчика Холла, пропорциональных напряжению питания (5 В для данных примеров):

1 — биполярная характеристика (классическая); 2 — униполярная характеристика; 3 — инвертированная униполярная характеристика;

$U_{0q1}$ ,  $U_{0q2}$ ,  $U_{0q3}$  — среднеквадратические напряжения сигналов 1, 2 и 3;  $S_{M1}$ ,  $S_{M2}$ ,  $S_{M3}$  — магнитные чувствительности сигналов, соответственно;

$U_{max}$ ,  $U_{min}$  — ограничивающие уровни выходного напряжения;  $\phi$  — нормализованная шкала отсчета углового положения;

г — определение минимального, среднеквадратического и максимального рабочего цикла ШИМ — сигнала абсолютного углового положения (HAL810, HAL85x).

- электромагнитные помехи;
- температурные коэффициенты и ИС, и магнита.

К стандартным техникам компенсации прецизионных датчиков относятся:

- квадратичная техника элемента Холла (чувствительный элемент на самом деле представляет собой четыре элемента Холла, включенных в схему моста Уитстона);
- динамическая отмена смещений (chopper-stabilization) чувствительного элемента Холла и усилителей;
- температурная компенсация (как правило, методом лазерной подгонки).

Все они улучшают адаптивность электрических свойств элемента Холла и усилительной части, но не обеспечивают эффективную динамическую компенсацию внешних механических воздействий и рабочих условий, к которым относятся также требуемые уровни выходного напряжения (рис. 8 в).

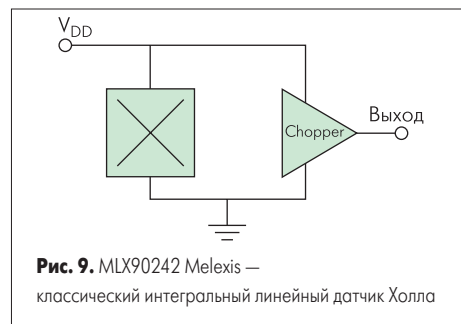
В результате применение стандартной линейной ИС не гарантирует отсутствие оши-

бок чувствительности, смещения и температурного коэффициента. (Кроме того, при реализации датчиков, показанных на рис. 6–7, на основе стандартной линейной ИС будет требоваться не только более тщательный расчет, настройка и регулировка магнитной системы, но, и, вероятно, могут последовать изменения в конструкции в сторону ее усложнения.)

Поэтому новые разработки ориентируются на непрерывно развивающуюся концепцию программируемых датчиков Холла, преимущественно со встроенной цифровой коррекцией нелинейности.

В данной части статьи предполагается обсуждение темы новых автомобильных датчиков, для разработки которых существует достаточная элементная база полностью интегрированных программируемых датчиков Холла (табл. 4). Необходимо пояснить, что программируемая схема может быть собрана и на основе любого стандартного интегрального датчика или элемента Холла из дискретных компонентов, размещаемых на плате ав-

томобильного датчика — микроконтроллера, EEPROM, АЦП и ЦАП. Многие программируемые датчики Холла, продаваемые сегодня на автомобильном рынке, часто используют этот вариант. Одно из таких устройств — датчик углового положения класса «smart» с электронной схемой для автоматической компенсации ошибок выходного сигнала интегрального датчика, включающей электронную память для хранения компенсационных значений [30].



**Рис. 9.** MLX90242 Melexis — классический интегральный линейный датчик Холла



Типичная программируемая схема использует три базовых блока:

- усилитель с программируемым усилением и смещением;
- АЦП;
- ЦАП.

Имеются два метода осуществления программирования:

- Чисто аналоговый с применением усилителя с программируемым усилением и смещением (MLX90215 и TLE4990, а также новинки 2005 года A1373 и A1374 Allegro Microsystems с OTPROM, MLX90251 с EEPROM).
- Оцифровка сигнала, цифровая обработка сигнала с его последующей конвертацией обратно в аналоговый сигнал (HAL8xx).

Оба метода, как правило, обеспечивают в результате скомпенсированный аналоговый сигнал. Альтернативная внешняя компенсация может быть реализована в схеме на плате датчика или обрабатывающего блока. Например, для улучшения характеристик датчиков Холла может использоваться программируемый интерфейсный микроконтроллер MLX90308 [31], поддерживающий оба метода.

### Обработка сигналов в аналоговом тракте передачи данных

Кроме стандартных техник компенсации чувствительного элемента Холла и усилителей для устранения нежелательных эффектов при чисто аналоговом прохождении сигнала в программируемых ИС предназначена автоматическая регулировка усиления и следующие техники отмены сдвигов, различаемые фактически в зависимости от производителя ИС:

- Внешняя цифровая компенсация (обработка сигнала с использованием внешнего микропроцессора).
- Интегрированная активная схема цифровой коррекции аналогового сигнала (MLX90215, MLX90251).
- Интегрированная модуляция и последующая демодуляция сигнала (TLE4990, A1373, A1374).
- Интегрированная техника динамической отмены сдвигов аналогового сигнала с программируемым усилением, среднеквадратическим напряжением, последующей фильтрацией (A1373, A1374).

Программирование датчиков осуществляется с помощью стендовых блоков программирования, соединенных с ПК, как правило, по интерфейсу RS-232 или USB, и специального программного обеспечения.

### MLX90215

Программируемый линейный датчик MLX90215 содержит 37-битный сдвиговый регистр, PROM, RAM и 3 АЦП (рис. 10). Главным признаком MLX90215 является способность регулировать нулевое положение или среднеквадратическое напряжение  $U_{0q}$  с очень низким дрейфом  $\pm 1,5$  мВ (см. табл. 4), хотя в пределах автомобильного температурного диапазона остается смещение порядка  $\pm 20$  мВ, что эквивалентно дрейфу  $U_{0q}$  менее  $0,4\%$   $U_{dd}$ .

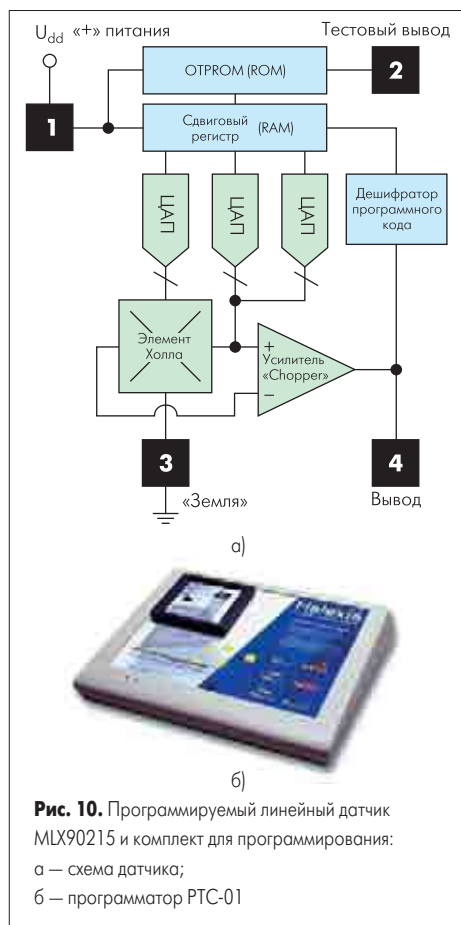


Рис. 10. Программируемый линейный датчик MLX90215 и комплект для программирования:  
а — схема датчика;  
б — программатор PTC-01

В нерегулируемых системах смещение может оцениваться в 200 мВ [31, 32].

С отключенной функцией HALFVDD  $U_{0q}$  может быть запрограммировано в пределах диапазона 10–90%  $U_{dd}$  с пошаговым разрешением 5 мВ. С включенной функцией HALFVDD устройство может программироваться в диапазоне 2–3 В с пошаговым разрешением менее 1 мВ.

Другими отличительными признаками MLX90215 являются:

- Инвертирование наклона (см. рис. 8 в).
- Двухэтапное программирование чувствительности (грубая 3-битная и точная 10-битная регулировка).
- Программирование величины дрейфа чувствительности в зависимости от температуры (менее  $\pm 1\%$  в полном диапазоне).

MLX90215 с возможностью 5-битной (32 шага) программируемой регулировки дрейфа чувствительности может быть запрограммирован на увеличение чувствительности ИС при увеличении температуры (положительный температурный коэффициент ИС в диапазоне от 0 до 3125 ppm/°C), так как большинство магнитов имеет отрицательный температурный коэффициент рабочей магнитной индукции В в диапазоне от 0 до 3000 ppm/°C.

В зависимости от условий работы, программируемая температурная компенсация MLX90215 допускает использовать температурный коэффициент в более широких пределах: от  $-700$  до 3125 ppm/°C с разрешением  $\pm 100$  ppm/°C.

MLX90215 также поддерживает двухбитную функцию состояния ограничивающих уровней CLAMP, не зависящую от усиления

и не влияющую на чувствительность, с четырьмя возможными состояниями:

- 0 (без ограничивающих уровней);
- 1 (5–45%  $U_{dd}$ );
- 2 (0–90%  $U_{dd}$ );
- 3 (5–95%  $U_{dd}$ ).

Программирование MLX90215 осуществляется через выходной вывод передач в PROM 37-битного цифрового слова через сдвиговый регистр ИС. Загрузка сдвигового регистра происходит в так называемом загрузочном режиме выхода (LOAD-mode) и выполняется при повышении напряжения питания  $U_{dd}$  до 13–18 В; любые интерфейсные компоненты в схеме датчика также должны выдерживать этот диапазон.

Пока напряжение питания находится в режиме программирования, выходной вывод является входом для сдвигового регистра, через который осуществляется перемещение данных для временного хранения в RAM. В процессе поиска оптимальных цифровых коэффициентов сдвиговый регистр может перезагружаться неопределенное число раз, но только при включенном питании ИС, которая находится в режиме LOAD-mode. Переменные, измененные в программной оболочке, загружаются по синхронизирующим импульсам микроконтроллера программатора. Как только слово будет загружено, результаты будут проверяться ИС наблюдением напряжения питания (внешним вольтметром или внешним АЦП программатора).

После определения кода он может быть постоянно записан в память PROM в процессе однократного программирования (ZAP-mode). Данные передаются из сдвигового регистра в PROM увеличением уровня напряжения питания до уровня выше 18 В, необходимого для однократного программирования. После программирования ИС будет функционировать с учетом коэффициентов коррекции, хранящихся в его регистрах OTPROM.

MLX90215 выпускается в корпусе SIP-4(VA) толщиной 1,2 мм.

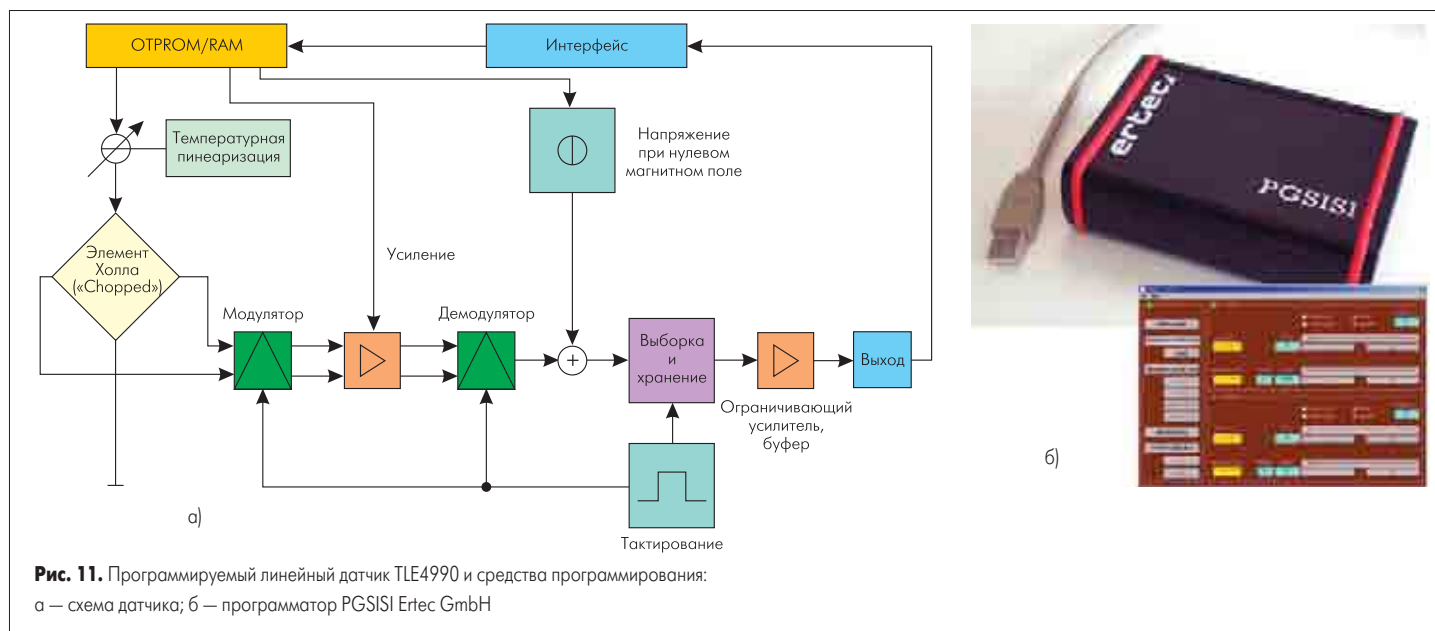
Melexis выпускает программатор PTC-01 для программирования MLX90215 по интерфейсу RS232, а также осуществляет его программную поддержку (пакет SWPTC-01). Программатор и программный пакет позволяют пользователю загружать настройки MLX90215, выполнять измерения, калибровку и программирование [33].

### TLE4990

TLE4990 — высокочувствительный датчик Холла с линейностью порядка 0,1% (см. табл. 4), разработанный Infineon специально для высокоточного детектирования углового или линейного положения в автомобильных системах, а также для измерения тока [34].

Отличительными признаками цифровой компенсации аналогового сигнала в ИС со смешиванием сигнала TLE4990 являются (рис. 11 а):

- программирование среднеквадратического напряжения;
- двухэтапная — грубая и точная регулировка магнитной чувствительности;
- программируемая температурная компенсация чувствительности;



- программируемая температурная компенсация усиления;
- дополнительные возможности регулировки ограничивающих уровней.

Диапазон магнитного поля и выходное напряжение в отсутствие поля регулируется пользователем для достижения оптимальной точности. Программирование среднеквадратического напряжения осуществляется передачей информации в OTPROM через интерфейс аналогового выходного напряжения. Выходной сигнал ячейки Холла в отсутствие поля усиливается и представляет собой среднеквадратическое напряжение, к которому добавляется значение, определенное пользователем.

В зависимости от условий эксплуатации и значения бита биполярности TLE4990 может быть запрограммирована либо на биполярную работу (аналогично кривой 1 на рис. 8 в) с 50%-ным нулевым смещением, низкой чувствительностью и ограничивающими уровнями, либо на униполярную работу (аналогично кривой 2 на рис. 8 в) с высокой чувствительностью, без смещения и ограничивающих уровней.

Программируемый бесконтактный датчик TLE4990 выпускается в тонком (1 мм) корпусе P-SSO-4-1. Программирование и калибровка температурной компенсации выполняются для каждой ИС индивидуально в процессе сборки готового датчика, и записываются в OTPROM.

Два новых комплекта программирования и калибровки выпускаются компанией Ertec — недорогая стандартная версия PGSISI (\$399) для лабораторных и оценочных исследований и производственная версия для массового производства [35]. Стандартная версия включает поддержку чтения, калибровки, программирования и верификации двух параллельно включенных датчиков в дополнение к одно- и двухточечной калибровке и 12-битному измерению напряжения. Комплекты поставляются в металлических корпусах. Обновление программного обеспечения поддерживается через Интернет. Данные передаются по интерфейсу USB (RS-232 дополнительно). Универсальная аппаратная платформа ориентиро-

на на будущие разработки и поддержку других типов датчиков.

### MLX90251

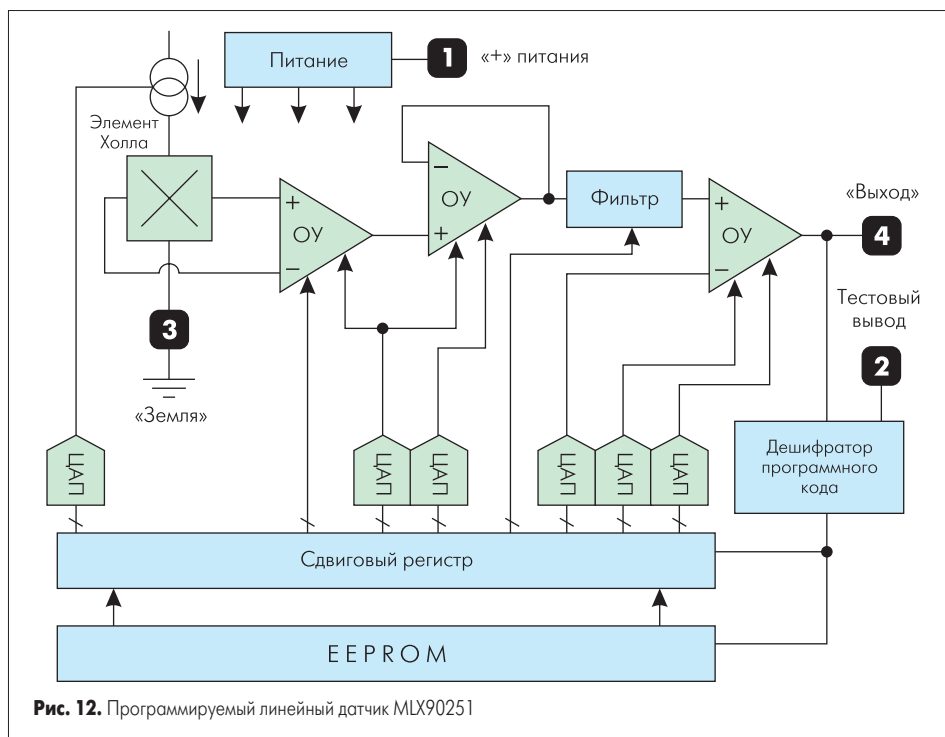
MLX90251 — более комплексная и высокоточная версия линейного датчика Холла от Melexis, полностью совместимая по назначению выводов с MLX90215, но с улучшенными возможностями программирования практически всех возможных параметров выходной характеристики (см. табл. 4) и хранения корректирующих коэффициентов в энергонезависимой памяти EEPROM. MLX90251 включает активную схему цифровой коррекции аналогового сигнала с 6 ЦАП и дополнительным ФНЧ (рис. 12) [36].

Программирование после сборки датчика позволяет осуществлять калибровку усиления, смещения и ограничивающих уровней в широких пределах с возможностью блокировки значений в регистре MEMLOCK EEPROM.

Температурная компенсация смещения и чувствительности (первого и второго порядка) гарантирует точность в автомобильном температурном диапазоне. Программирование 24-битного идентификационного номера упрощает технологический процесс массового производства.

Среднеквадратическое напряжение  $U_{0q}$  в MLX9251 (OFFSET) регулируется с 10-битным разрешением. Внутренняя смещающая точка AGND регулируется изменением соответствующего 10-битного кода  $U_{0q}$  и допускает сдвиг регулируемого смещения в диапазоне  $-100\% U_{dd} \dots 200\% U_{dd}$ , что обеспечивает правильную передаточную характеристику и в строго униполярном магнитном диапазоне.

Чувствительность MLX90251 контролируется различными параметрами, связанными с соответствующими усилительными ступенями. Грубая регулировка чувствительности RG выполняется с 4-битной коррекцией. Частота восстановления автоматически адаптируется к на-



стройке RG для согласования ширины полосы частот усилителя с техникой активной динамической компенсации «chopper».

Точная настройка усилительной ступени (FG) осуществляется с 10-битной коррекцией. Диапазон усиления FG находится в пределах 1,0–2,5. Бит INVERTSLOPE может быть использован при этом для фиксации знака чувствительности.

Наклон (INVERTSLOPE) может быть фиксированным в данной системе или инвертированным еще на этапе генерирования напряжения Холла в ИС (с битом INVERTSLOPE, установленным в 0, напряжение будет увеличиваться с приближением южного полюса магнита). Минимальное и максимальное значения ограничивающих уровней MLX90251 CLAMP-LOW и CLAMP-HIGH регулируются также десятью битами каждое, что соответствует шагу разрешения в 5 мВ.

EEPROM-память MLX90251 из соображений безопасности содержит дополнительный самодиагностический бит четности, который переводит выход в «сбойное» состояние в случае ошибки (также программируется). Для минимизации влияния выходной нагрузки этот сбойный уровень FAULTLEV может быть отведен к «Земле» или  $V_{dd}$ . Программируемая память EEPROM дополнительно состоит из ячеек с проверкой избыточности.

MLX90251 включает два программируемых ФНЧ, контролируемых 4-битным кодом и размещенных на ступенях усиления «chopper», и точной регулировки чувствительности. Код 0 соответствует минимальной фильтрации и максимальной скорости переключения, но максимальным шумам. Код 15 обеспечивает максимальную фильтрацию, то есть минимальную скорость и минимальные шумы.

Температурный коэффициент чувствительности в MLX90251 компенсирует температурное поведение целой системы вокруг датчика Холла (отрицательный температурный коэффициент магнита, вариации воздушного зазора, механические допуски). Для оптимальной компенсации температурный коэффициент чувствительности регулируется настройкой трех параметров.

Все комбинации TCW (3 бита) и TC (первый порядок компенсации — 5 битов) относятся к диапазону компенсации 0–2000 ppm/°C.

Выходная конфигурация буфера также может быть выбрана для регулировки времени срабатывания усилителя, с тем чтобы применять любую емкостную нагрузку и улучшать напряжение насыщения.

Температурный дрейф  $U_{oq}$  регулируется 4 битами на этапах заводского производства и устанавливается в 10 мВ для температурного диапазона 25–150 °C.

Температурный коэффициент чувствительности второго порядка TC2ND (6 битов) позволяет грубую температурную компенсацию полного температурного диапазона; параметр устанавливается Melexis в процессе фабричного тестирования ИС.

Для программирования MLX90251 предназначен программатор PTC-03 и специальное программное обеспечение с возможностями ручной настройки или автоматического решения и библиотекой подпрограмм [37].

Программирование MLX90251 выполняется с использованием функциональных выводов ИС  $V_{dd}$  («Питание»),  $V_{ss}$  («Земля») и Out («Выход») через выходной вывод с повышением напряжения питания до 9 В (внешние компоненты схемы также должны выдерживать это напряжение).

### Новинки 2005 года

#### A1301/2 Allegro Microsystems

Начало 2005 года отмечено появлением четырех микросхем от Allegro Microsystems.

A1301 и A1302 — семейство стандартных линейных датчиков, доступных в корпусе SOT23W, предназначенное для работы при температурах до 125 °C. Среднеквадратическое напряжение программируемых в фабричных условиях ИС составляет 50%  $V_{dd}$ , чувствительность — 13 мВ/мТл (ИС A1302, предполагаемая как замещение A3503) и 25 мВ/мТл (A1301) [38].

#### A1373/4 Allegro Microsystems

Новинки февраля 2005 года A1373 и A1374 [39] — однократно программируемые линейные датчики Холла, использующие для программирования выходной вывод. Нацеленные на автомобильный и рынок промышленных систем, A1373 и A1374 выпускаются в 3-проводном линейном корпусе SIP-3 и характеризуются малыми выходными шумами.

Гарантирующая прецизионность в полном температурном диапазоне и диапазоне напряжения питания техника «chopper — stabilization» от Allegro Microsystems, называемая «dynamic quadrature offset cancellation», обеспечивает минимальное начальное смещение и его минимальный температурный дрейф (рис. 13).

Техника снижения сдвигов основана на последовательных этапах модуляции и демодуляции сигнала, в котором смещения удаляются через модуляцию в частотной области. Демодуляция представляет собой модуляцию смещений, в результате чего магнитный сигнал восстанавливает свой оригинальный спектр на данной базовой полосе частот, а смещения, наведенные постоянным током, обра-

зуют высокочастотный сигнал. Магнитный сигнал фильтруется ФНЧ и модулированные смещения подавляются.

Для демодуляции используется ступень выборки и хранения, в которой выборка выполняется с частотой вдвое большей, чем для динамического переключения (400 кГц). Высокая скорость оценки обеспечивает высокую точность и быстродействие схемы.

Программирование позволяет разработчику регулировать усиление (чувствительность) и среднеквадратическое напряжение с возможностью грубой и точной (с шагом 5 мВ для  $U_{oq}$  и 5 мВ/мТл для чувствительности) регулировки, а также температурный коэффициент, что минимизирует эффекты механических и магнитных смещений вследствие сборки. Оба устройства могут быть запрограммированы на униполярную или биполярную работу.

Различие между устройствами — в ширине их полосы рабочих частот: верхняя частота A1374 выше и, таким образом, образуется несколько более высокий выходной шум (14–26 мВ по сравнению с 6–16 мВ у A1373).

Программирование A1373 и A1374 с использованием выходного вывода специально предусмотрено для устранения потенциальных конфликтов в течение программирования, которые случаются, когда пиковые значения высоких уровней связываются с  $U_{cc}$ , где могут находиться дискретные компоненты.

В процессе программирования A1373/4 задействуются четыре относительных уровня выходного напряжения:

- $U_{RH}$  — высокое напряжение программирования (строб уровнем 28 В и длительностью 1–35 мкс, соответствующий выбору режима, регистра и генерации в ИС внутренних импульсов изменения состояния);
- $U_{RM}$  — среднее напряжение программирования (нейтральный уровень в 15 В для разделения  $U_{RH}$  и  $U_{RL}$ );
- $U_{RL}$  — низкое напряжение программирования (кодовые импульсы уровнем 5 В для индикации адресов настраиваемых битовых областей регистров и записи значений);

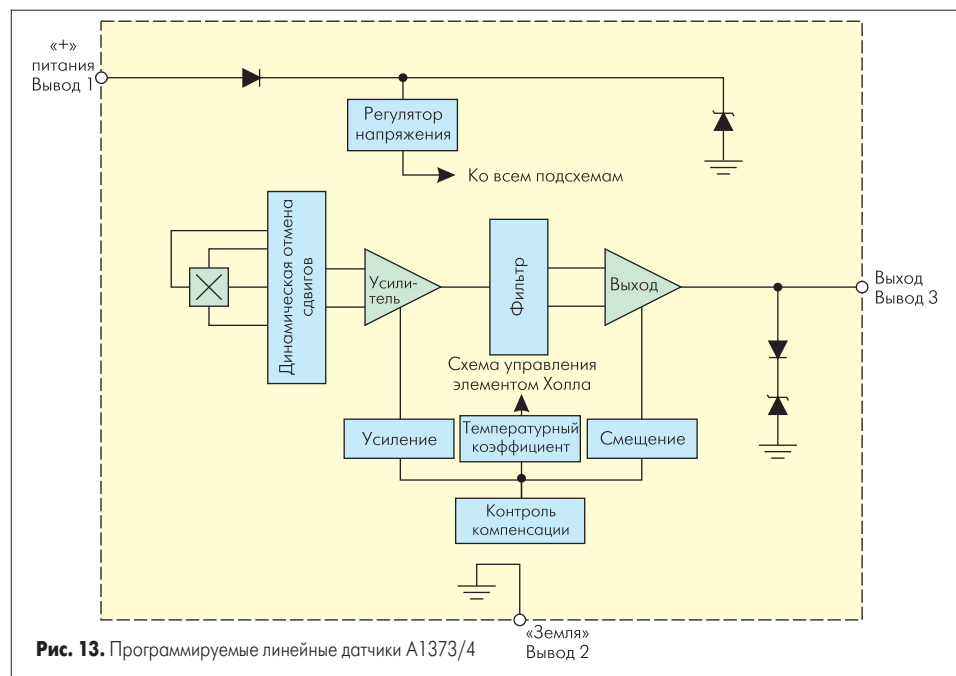


Рис. 13. Программируемые линейные датчики A1373/4



- $U_R$  — напряжение очень низкого уровня (близкое к нулю) для инициализации битовых областей.

Для программирования датчиков предназначен комплект ASEK-01 (Allegro Sensors Evaluation Kit), включающий аппаратное ASEK Board Rev. 2 и программное ASEK software Rev. 1.5.4 средства, а также дополнительную калибровочную плату Calibration Board Rev. 2. Комплект рассчитан на программирование небольших объемов датчиков и использование преимущественно в исследовательских и демонстрационных целях.

Кроме A1373/4, данный комплект поддерживает также программирование точек переключения двухпроводных ключей A118x и униполярных коммутаторов с открытым коллектором A325x, а также униполярных смещаемых модулей ATS635/6.

### Интегрированная обработка сигнала с использованием двойного преобразования АЦП — ЦАП на примере HAL805

Данный способ позволяет с более высокой точностью корректировать нелинейность, усиление и смещение (см. табл. 4). Например, в программируемой ИС Холла типа HAL805 [40] напряжение Холла оцифровывается АЦП и обрабатывается в интегрированном блоке цифровой обработки сигнала в соответствии со значениями регистров перепрограммируемой памяти EEPROM, а затем вновь преобразуется ЦАП в рatiометричное аналоговое напряжение, которое стабилизируется выходной двухтактной транзисторной ступенью (рис. 14 а и б).

Пока регистр блокировки в EEPROM не содержит запрещающих битов, выходная характеристика датчика может программироваться и перепрограммироваться установкой значений остальных регистров. Программирование HAL805 осуществляется модуляцией напряжения питания, при этом никакого дополнительного, даже тестового вывода, не требуется (MLX90215 с OTPROM и MLX90251 с EEPROM, а также TLE4990 снабжаются специальным тестовым выводом, преимущественно для тестирования в заводских условиях). К одним и тем же шинам питания и «земли» могут параллельно подключаться несколько датчиков с возможностью индивидуального программирования, с выбором устройства через его выходной вывод.

Когда диапазон входного напряжения ранжирован  $U_{dd}$  от 4,5 до 5,5 В, датчик (HAL805/815) образует аналоговое выходное напряжение. После детектирования команды программирования на входе датчик читает и записывает регистры памяти и формирует цифровой выходной сигнал.

Дополнительные элементы датчиков HAL805 — схема детектирования обрыва шины  $U_{dd}$  или «Земли», интегрированная схема температурной компенсации и техника динамической отмены сдвигов, минимизирующие дрейф точности и обеспечивающие высокую стабильность смещения. Схема датчика также сбрасывает дрейф смещения вследствие механических напряжений, возникающих в корпусе ИС.

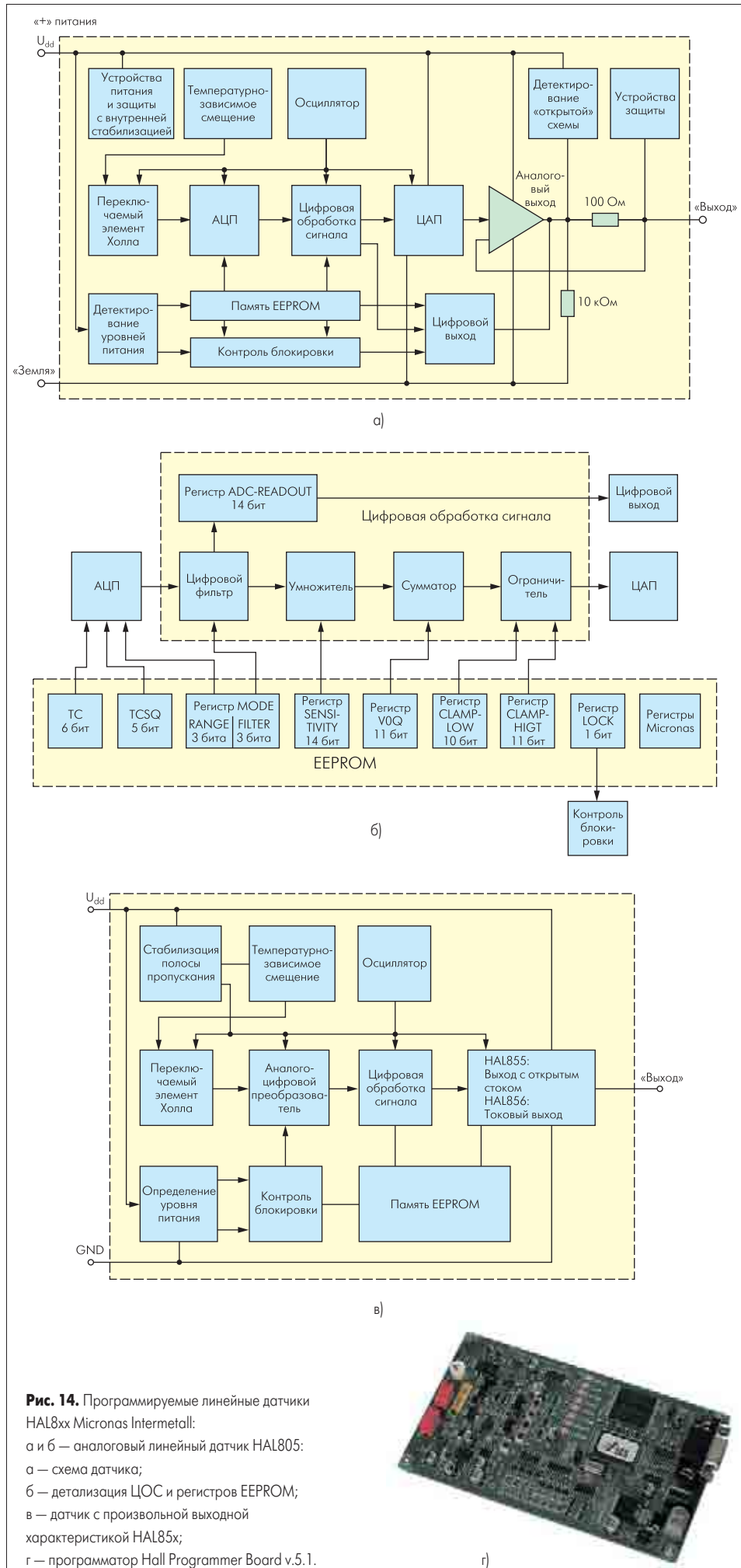


Рис. 14. Программируемые линейные датчики HAL8xx Micronas Intermetall:

а и б — аналоговый линейный датчик HAL805;

а — схема датчика;

б — детализация ЦОС и регистров EEPROM;

в — датчик с произвольной выходной

характеристикой HAL85x;

г — программатор Hall Programmer Board v.5.1.

г)



ЦОС является главной частью датчика и выполняет обработку сигнала. Параметры ЦОС записываются в регистрах EEPROM, объединенных в три группы:

- Группа 1 — регистры для адаптации датчика к магнитной системе:
  - MODE — выбор магнитного диапазона RANGE и частоты ФНЧ на уровне 3 дБ (FILTER);
  - температурные коэффициенты TC и TCSQ для регулировки температурных характеристик чувствительности.
- Группа 2 — регистры для определения передаточной характеристики:
  - SENSITIVITY — магнитная чувствительность;
  - $U_{0q}$  — выходное среднеквадратическое напряжение в отсутствие поля (при  $B = 0$  мТл);
  - CLAMP-LOW, CLAMP-HIGH — минимальный и максимальный ограничивающие уровни выходного напряжения (полезны также для детектирования сбоев — например, закорачивания  $U_{dd}$  на землю и обрывов);
- Группа 3 — кодовые регистры со специальными настройками Micronas (доступные только для чтения) и регистр блокировки LOCK.

Из соображений безопасности память EEPROM состоит из ячеек с избыточностью.

Исключительной особенностью HAL805 и большинства представителей семейства HAL8xx Micronas (кроме HAL85x — см. далее) является наличие специального 14-битного регистра ADC-READOUT, который осуществляет считывание цифрового значения фактического магнитного поля, воздействующего на датчик, прежде обработки сигнала в блоке ЦОС.

Этот регистр может быть прочитан программным обеспечением, выполняющим сопряжение программатора и ПК, и является основой для проведения процедуры калибровки датчика в рабочем окружении.

АЦП преобразует усиленное положительное (соответствует южному полюсу магнита) или отрицательное напряжение Холла (соответствует северному полюсу) в цифровое значение. Цифровой сигнал фильтруется ФНЧ и считывается регистром ADC-READOUT.

В зависимости от выбранного при программировании магнитного диапазона (содержимое регистра MODE — три младших бита, определяющих параметр RANGE) рабочий диапазон АЦП составляет от  $-30...+30$  мТл до  $-150...+150$  мТл.

В течение последующей обработки этот цифровой сигнал умножается на значение чувствительности и суммируется со среднеквадратическим напряжением, а также ограничивается при этом ограничивающими уровнями. Полученный цифровой результат вновь преобразуется в аналоговое напряжение.

Содержимое регистра ADC-READOUT зависит также от выбранной частоты ФНЧ-кода, определенного тремя старшими битами MODE (80 Гц – 2 кГц).

Температурная компенсация магнитной чувствительности может быть адаптирована к различным магнитным материалам через программирование TC — линейного темпе-

ратурного коэффициента ( $-3100...400$  ppm/K) и TCSQ — квадратичного температурного коэффициента ( $-5...5$  ppm/K<sup>2</sup>). Наклон и кривизна температурной зависимости магнитной чувствительности могут быть согласованы с условиями сборки, выходная характеристика, как результат, может быть фиксированной в полном температурном диапазоне.

Регистр SENSITIVITY содержит параметры множителя ЦОС ( $-4...4$ ). Для  $U_{dd} = 5$  В содержимое регистра может быть изменено с шагом 0.00049. SENSITIVITY = 1 соответствует увеличению выходного напряжения до  $U_{dd}$ , если ADC-READOUT увеличивается на 2048:

$$S_M = \frac{\Delta U_{OUT} \times 2048}{\Delta ADC-READOUT \times U_{dd}} \quad (8)$$

Регистр UOQ содержит параметры сумматора ЦОС (содержимое регистра ADC-READOUT = 0 при  $B = 0$  мТл) и программируется в диапазоне от  $-U_{dd}$  до  $U_{dd}$ . Для  $U_{dd} = 5$  В, содержимое регистра может быть изменено с шагом 4,9 мВ.

$U_{0q}$  в регистре UOQ может быть запрограммировано и как отрицательное напряжение, но при этом максимальное выходное напряжение ограничивается согласно выражению:

$$U_{OUTmax} = U_{0q} + U_{dd} \quad (9)$$

Для калибровки HAL805 в рабочих условиях Micronas рекомендует процедуру двухточечной калибровки, в которой подходящие значения чувствительности SENSITIVITY и UOQ являются вычислимыми индивидуально для каждого калибруемого датчика.

Регистр CLAMP-LOW программируется в диапазоне  $0 \text{ В}...U_{dd}/2$ , регистр CLAMP-HIGH — в диапазоне  $0 \text{ В}...U_{dd}$ . Для  $U_{dd} = 5$  В значение этих регистров может быть изменено с шагом 2,44 мВ.

Установкой 1-битного регистра LOCK все регистры могут быть заблокированы, и датчик не будет далее воспринимать модуляции напряжения питания. Этот бит становится активным после первой последовательности отключения — подачи питания после установки бита LOCK.

### Программирование HAL805

Программирование HAL805 выполняется передачей последовательного кода при модуляции напряжения питания; датчик отвечает цифровым выходным сигналом.

Существуют следующие биты кода, передаваемого по цепям питания и выхода: Sync Bit (логический ноль), 3-битный код команды Command (COM), бит четности команд Command Parity Bit (CP), 4 бита адресного кода Address (ADR) и бит четности адресного кода Address Parity Bit (AP), 14 битов данных Data Bits (DAT), бит четности данных Data Parity Bit (DP), Acknowledge Bit (логический ноль).

Биты последовательного кода характеризуются различным временем передачи по цепям  $U_{dd}$  и выхода. Битовое время цепи  $U_{dd}$  определяется длиной бита Sync, битовое время выхода определяется битом Acknowledge. Логический ноль кодируется отсутствием изменений в напряжении в пределах битового времени. Логическая единица кодируется как изменение в напряжении в пределах 50–80% битового времени. После передачи каждого бита напряжение изменяется.

Различают 4 вида последовательного кода при программировании датчика HAL805:

• Запись значений регистра (за битом AP следуют 14 битов данных DAT и бит четности данных Data Parity Bit (DP), при подтверждении правильности за данными следует Acknowledge Bit.

• Чтение регистра, датчик отвечает последовательным кодом из бита Acknowledge, 14 битами данных и битом четности данных Data Parity на выходе.

• Программирование EEPROM (датчик отвечает битом Acknowledge). После времени задержки  $t_w$  напряжение питания повышается до напряжения программирования.

• Активизация датчика (если более чем один датчик подсоединен параллельно к линии питания, выбор производится с импульсом Activate на выходе датчика с деактивацией остальных датчиков, выходы которых подсоединяются к земле через резисторы 10 кОм).

В течение программирования уровень напряжения программирования по цепи питания составляет 12,5 В (в пределах 100 мс). Все компоненты, подсоединенные к цепи  $U_{dd}$ , также должны выдерживать это напряжение.

### Другие представители семейства HAL8xx Micronas

HAL810, в отличие от прототипа HAL805, характеризуется 8-битным ШИМ выходом, что снимает необходимость интерфейсного АЦП и снижает цену [41].

Принцип обработки сигнала, большинство задействуемых при этом регистров и последовательность программирования HAL810 полностью идентичны HAL805, но с разницей в терминологии, используемой для описания ШИМ-сигнала об абсолютном положении (рис. 8 г), и в содержании и названии регистров группы для индивидуальной калибровки датчиков:

- Параметр DCOQ (выходной среднеквадратический рабочий цикл) — эквивалентен среднеквадратическому напряжению и соответствует  $B = 0$  мТл.
- DCSensitivity определяет магнитную чувствительность:

$$DCSensitivity = \frac{\Delta ADC_{OUT} \times 2048}{\Delta ADC-READOUT \times 100\%} \quad (10)$$

Рабочий цикл выхода рассчитывается как

$$DC_{OUT} = DCSensitivity \times ADC - Readout/2048 \times 100\% + DC_{OQ} \quad (11)$$

Диапазон рабочего цикла выхода ограничивается установкой содержания регистров MIN-DUTY и MAX-DUTY.

HAL815 является расширением HAL805 и характеризуется диагностической функциональностью для гарантированного получения кор-

ректного выхода при вариациях напряжения питания. При превышении уровня напряжения питания 5 В HAL815 вырабатывает специальный предупреждающий сигнал [42].

HAL85x, введенные в 2004 году, являются дальнейшим расширением семейства HAL8x5 и предполагают произвольную выходную характеристику, в том числе двухпроводной выход для HAL856 (рис. 14 в) [43].

Содержимое регистров группы 2 определяет 5 (7 в HAL856) параметров выходной характеристики ИС:

- SLOPE — магнитная чувствительность;
- SHIFT — рабочий цикл  $B = 0$  мТл;
- OUTPUT FORMAT (выбор из форматов ШИМ, так называемого Split-ШИМ, и последовательного протокола Biphas-M);
- OUTPUT PERIOD (BITTIME) — период выходного ШИМ-сигнала;
- OUTPUT CHARACTERISTIC (установка 32 точек калибровки).

В HAL856 дополнительно имеются регистры значений тока потребления: LOW CURRENT и HIGH CURRENT. Параметр SLEW RATE (время спада) ШИМ-выхода HAL855 также программируется.

Кроме того, группа специальных регистров HAL85X включает регистр серийного номера PARTNUMBER. Для считывания цифрового значения после стадий АЦП и ЦОС в блоке DSP предназначен 12-битный регистр DIGITAL OUTPUT. Значения этого регистра доступны «только для чтения» и используются при калибровке HAL85X, аналогичной HAL805.

### Калибровка HAL805 в рабочем окружении

Для осуществления калибровки HAL8xx в рабочем окружении Micronas выпускает комплекты программирования с универсальной аппаратной частью Hall programmer board V 5.1 для осуществления программирования по интерфейсу RS232 ПК (рис. 14 г) и программно-обеспечения для изменения значений регистров, существующего для каждого из поддерживаемых типов датчиков, — HAL8xx, HAL1000, HAL1500 [44].

Предполагается следующая последовательность калибровки датчика:

1. Установка входных значений регистров, общих для данной магнитной системы изделия, индивидуально не регулируемых (магнитные параметры, частота, ограничивающие уровни):
  - FILTER;
  - RANGE;
  - TC, TCSQ;
  - CLAMP-LOW и CLAMP-HIGH.
2. Установка точек калибровки, вычисление среднеквадратического напряжения  $U_{0q}$  и чувствительности:
  - Система (например, датчик положения дроссельной заслонки — см. далее) переводится в первую точку калибровки и считывается содержимое регистра ADC-READOUT. Результатом является значение параметра ADC-READOUT1, соответствующее выходному напряжению датчика  $U_{OUT1}$ .

- Система переводится в точку калибровки 2, снова прочитывается значение регистра ADC-READOUT и присваивается параметру ADC-READOUT2, соответствующему  $U_{OUT2}$ .
- На основе полученных значений регистра ADC-READOUT и целевых  $U_{OUT1}$  и  $U_{OUT2}$  рассчитываются чувствительность  $S$  и среднеквадратическое напряжение  $U_{0q}$ :

$$S = \frac{U_{OUT1} - U_{OUT2}}{ADC-READOUT1 - ADC-READOUT2} \times \frac{2048}{U_{dd}}$$

$$U_{0q} = U_{OUT1} - \frac{ADC-READOUT1 \times S \times U_{dd}}{2048} \quad (12)$$

- Полученные значения  $S$  и  $U_{0q}$  «запасаются» в соответствующих регистрах энергонезависимой памяти датчика.
- 3. Блокировка значений регистров — завершающий шаг программирования, выполняемый активацией LOCK-функции датчика подачей одноименной команды «LOCK». Однажды активированный, регистр LOCK не может быть сброшен (блокировка MLX90215 или MLX90251 может быть снята переключением тестового вывода).

### Калибровка датчика положения дроссельной заслонки

Входными данными для датчика положения дроссельной заслонки, варианты конструкции которого показаны на рис. 1, 6 и 7, с выходной характеристикой, аналогично показанной на рис. 1 б и кривой 1 на рис. 8 в являются:

- полный угловой диапазон  $-60 \dots 60^\circ$ ;
- эффективный угловой диапазон  $-45 \dots 45^\circ$ ;
- функциональный диапазон  $-42 \dots 42^\circ$ ;
- температурный коэффициент магнита  $-500$  ppm/K;
- рабочая частота менее 500 Гц;
- магнитный диапазон  $-30 \dots 30$  мТл.

Калибровка может быть выполнена и вручную, но предпочтительно выполнять ее с использованием программного обеспечения Micronas.

**Шаг 1.** Устанавливаются значения регистров:

- FILTER = 500 Гц;
- RANGE = 30 мТл;
- TC = 6;
- TCSQ = 14;
- CLAMP-LOW = 0,5;
- CLAMP-HIGH = 4,5.

По команде «write and store» данные значения записываются в EEPROM.

**Шаг 2.** Устанавливаются точки калибровки, среднеквадратическое напряжение и чувствительность — по команде CALIBRATE, с вводом значений 4,5 В для  $U_{OUT1}$  и 0,5 В для  $U_{OUT2}$ .

1. Вращением магнита определяется нулевое положение магнита (рис. 6 г, рис. 7 б и г) — тест ориентации путем просмотра содержимого регистра ADC-READOUT (кнопка «Read ADC-READOUT1»). При  $B = 0$  мТл ADC-READOUT = 0.

2. Относительно нулевого положения выполняется поворот магнита против часовой стрелки на угол  $\varphi = -45^\circ$  — первая точка калибровки, в которой прочитывается содержимое регистра ADC-READOUT, запасаемое в ADC-READOUT1 (кнопка «Read ADC-READOUT1»).
3. Механический перевод магнита из первой точки калибровки во вторую осуществляется при его повороте по часовой стрелке на угол  $\varphi = 90^\circ$  ( $+45^\circ$  относительно нуля). Содержимое регистра ADC-READOUT прочитывается повторно и запасается в ADC-READOUT2 (кнопка «Read ADC-READOUT2»).
4. Чувствительность и среднеквадратическое напряжение рассчитываются вручную или автоматически с применением программного обеспечения Micronas (кнопка «Calculate»).

$$S = \frac{4,5 - 0,5}{-2500 - 2350} \times \frac{2048}{5} = -0,3378$$

$$U_{0q} = 4,5 - \frac{(-2500) \times (-0,3378) \times 5}{2048} = 2,438 \quad (13)$$

5. Программирование датчика с записью вычисленных значений регистров выполняется по команде «write and store».

**Шаг 3** (блокировка датчика) является обязательным и в данном устройстве не выполняется.

В конструкции датчика положения дроссельной заслонки (см. рис. 1, 6, 7) применение программируемой ИС Холла типа HAL805 позволяет устанавливать практически произвольное расстояние между ИС и магнитом (определять его целиком из конструктивных соображений), что означает упрощение конструкции устройства, технологии его сборки и монтажа, и, вместе с использованием различных механических средств в конструкции датчика (рис. 1 а, 6, 7), — развитие адаптационных признаков устройства к конкретным условиям работы. Преимущество EEPROM по сравнению с OTPROM очевидно: программирование может выполняться неоднократно, что позволяет минимизировать потери и выявлять ошибки еще в процессе сборки устройства.

Другим удачным примером для применения программируемых датчиков Холла может послужить система пневматической подвески, которая допускает регулировку высоты транспортного средства (амортизаторов) для обеспечения стабильного положения автомобиля на дороге, оптимального комфорта езды и стабильности управления. Система пневматической подвески может использоваться совместно с системами контроля усилия демпфирования; функция ручного выбора высоты машины улучшает управляемость транспортного средства и характеристики вождения на неровных дорогах.

### Заключение

Программируемые датчики положения снижают цену производства и сборки датчиков и улучшают характеристики автомобиля. Их использование позволяет производителю транспортного средства осуществлять электронную

калибровку датчика с использованием специальных стендов как до (датчик положения дроссельной заслонки), так и после его установки в автомобиль (датчик подвески), минимизировать допуски монтажа, снижать цену сборки автомобиля и вводить в эксплуатацию под собственным брендом (ОЕМ-заказ), уменьшая гарантийные издержки и затраты на сертификацию.

Текущее состояние современной элементной базы классических датчиков Холла, доступных в интегральном исполнении для разработки новых изделий, отражено в таблицах 3 и 4.

Автор надеется, что популяризация интегральных программируемых датчиков, сравнительный анализ технологий эффекта Холла на примере новых разработок и информация о последних достижениях в этой области помогут разработчикам эффективно и быстро конструировать новые автомобильные датчики положения, с оптимальным соотношением «цена — качество».

### Литература

23. Rotary position sensor with circular magnet. US Patent 5 818 223. Оpubл. 6.10.1998. (Durakool, Inc.)
24. Contactless linear angular position sensor having an adjustable flux concentrator for sensitivity adjustment and temperature compensation. US Patent 5 332 965. Оpubл. 26.07.1994. (Durakool, Inc.).
25. Mechanically adjustable linear-output angular position sensor. US Patent 5 497 081. Оpubл. 5.03.1994. (Durakool, Inc.).
26. Sensors Overview and System Solutions. <http://www.w.micronas.com/products/overview/sensors/index.php>
27. Hall Effect Sensing And Application. <http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/solidstate/technical/hallbook.pdf>
28. Gilbert J., Dewey R. Linear Hall-Effect Sensors. APPLICATIONS INFORMATION. Application Note 27702A. Allegro Microsystems. <http://www.w.allegromicro.com/techpub2/an/an27702.pdf>
29. MLX90242 Linear Hall Effect Sensor. Data Sheet 3901090242 Rev. 024 Mar 2004. Mar/04. [http://www.w.melexis.com/prodfiles/MLX90242\\_rev024.pdf](http://www.w.melexis.com/prodfiles/MLX90242_rev024.pdf)
30. Electronic circuit for automatically compensating for errors in a sensor with an analog output signal. US Patent 5 757 181. Оpubл. 26.05.1998. (Durakool, Inc.).
31. Steinbeiser C., Riendeau P. Programmable Sensors. [www.sensorsmag.com](http://www.sensorsmag.com).
32. MLX90215 Precision Programmable Linear Hall Effect Sensor. Data Sheet 3901090215 Rev 007. 9.09.03. Melexis. [http://www.w.melexis.com/prodfiles/MLX90215\\_Rev007.pdf](http://www.w.melexis.com/prodfiles/MLX90215_Rev007.pdf)
33. PTC-01 Programmer for Melexis PTC Devices. <http://www.w.melexis.com/prodfiles/ptc1.pdf>. <http://www.w.melexis.com/prodmain.asp?family=PTC-01>
34. TLE4990. Programmable Linear Output Hall Sensor. Data Sheet, V 2.2, Nov. 2004. [http://www.infineon.com/cmc\\_upload/documents/010/3853/TLE4990DataSheet\\_V2\\_2.pdf](http://www.infineon.com/cmc_upload/documents/010/3853/TLE4990DataSheet_V2_2.pdf)
35. Programming and Calibration kit for Infineon Hall Sensor TLE4990. <http://www.ertec.com/pgsisi.htm>, <http://www.ertec.com/pdf/pgsisi.pdf>
36. MLX90251 Programmable Linear Hall Effect Sensor Data Sheet 3901090251 Rev. 003 Jun/04. [http://www.w.melexis.com/prodfiles/MLX90251\\_004.pdf](http://www.w.melexis.com/prodfiles/MLX90251_004.pdf)
37. PTC-03 Programmer for Melexis PTC Devices. <http://www.w.melexis.com/prodmain.asp?search=PTC%2D03&family=PTC-03%20Programmer>, [http://www.w.melexis.com/prodfiles/PTC03\\_manual\\_1.pdf](http://www.w.melexis.com/prodfiles/PTC03_manual_1.pdf)
38. Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors. <http://allegromicro.com/datafile/1301.pdf>
39. High Precision, Output Pin Programmable Linear Hall Effect Sensors. <http://www.allegromicro.com/datafile/1373.pdf>
40. HAL805 Programmable Linear Hall Effect Sensor Data Sheet. Edition June 24, 2004. Micronas. [http://www.w.micronas.com/products/documentation/sensors/hal805/downloads/hal805\\_2ds.pdf](http://www.w.micronas.com/products/documentation/sensors/hal805/downloads/hal805_2ds.pdf)
41. HAL810 Programmable Linear Hall Effect Sensor. DATA SHEET Edition June 24, 2004. Micronas. [http://www.w.micronas.com/products/documentation/sensors/hal810/downloads/hal810\\_3ds.pdf](http://www.w.micronas.com/products/documentation/sensors/hal810/downloads/hal810_3ds.pdf)
42. HAL815 Programmable Linear Hall Effect Sensor. DATA SHEET. Edition June 24, 2004. Micronas. [http://www.w.micronas.com/products/documentation/sensors/hal815/downloads/hal815\\_2ds.pdf](http://www.w.micronas.com/products/documentation/sensors/hal815/downloads/hal815_2ds.pdf)
43. HAL 85x Programmable Linear Hall-Effect Sensor. Advance Information. Edition March 8, 2004. Micronas. [http://www.w.micronas.com/products/documentation/sensors/hal85x/downloads/hal85x\\_1ai.pdf](http://www.w.micronas.com/products/documentation/sensors/hal85x/downloads/hal85x_1ai.pdf)
44. HAL8xx, HAL1000, HAL1500 Programmer Board. Application Note Kits/Boards. Edition Aug. 12, 2004. Micronas. [http://www.w.micronas.com/products/documentation/application\\_notes/hal8xx\\_1000\\_1500\\_1\\_1ak.pdf](http://www.w.micronas.com/products/documentation/application_notes/hal8xx_1000_1500_1_1ak.pdf)