

# Датчики тока

## с дополнительными интеллектуальными функциями

**В статье описывается новая серия датчиков тока прямого усиления на эффекте Холла, в которой применена специализированная интегральная схема (ИС) нового поколения, обеспечивающая малое время отклика, низкий температурный дрейф, а также имеющая дополнительную функциональность — обнаружение перегрузки по току.**

**Йо Макита**  
(Yo Makita)

**Стефан Ролье**  
(Stéphane Rollier)

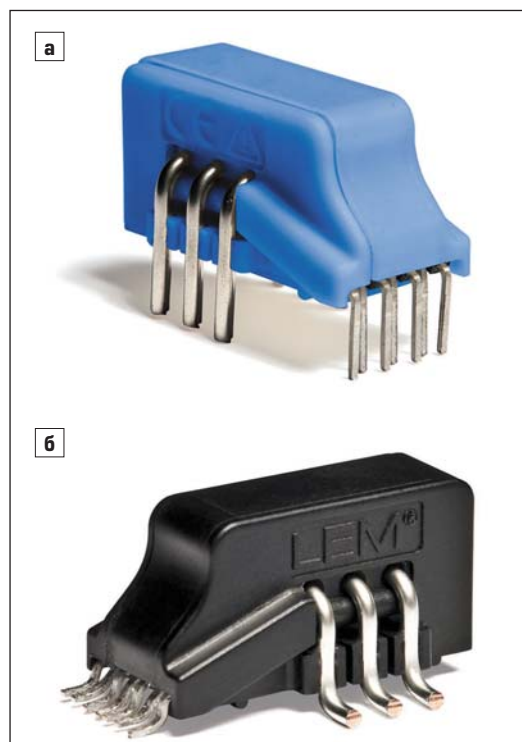
Любой менеджер по логистике оценит комплектующее изделие, которое закрывает сразу несколько позиций в перечне деталей, — например, датчик тока с несколькими диапазонами и несколькими значениями времени отклика и внутреннего опорного напряжения, которые может выбрать пользователь с помощью программирования. Инженеры компании LEM задались целью обеспечить подобную гибкость в своей новейшей разработке. В частности, при проектирова-

нии новой серии датчиков тока стояла задача оптимизировать стоимость, уменьшить размеры и улучшить характеристики этих компонентов в соответствии с текущими тенденциями на рынке силовой электроники. Особое внимание было уделено разработке новой специализированной ИС (ASIC), которая помогла бы в достижении перечисленных целей. Плодом усилий конструкторов стала специализированная ИС нового поколения для датчиков тока прямого усиления на эффекте Холла. Эта ИС вкупе с новым конструктивным исполнением механической части была применена в новой серии HO датчиков тока.

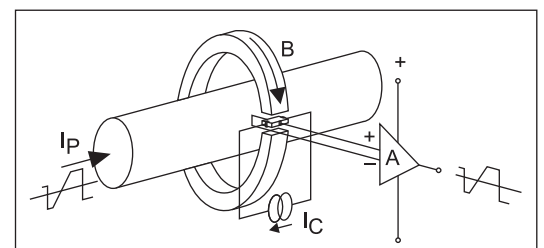
Датчики серии HO (рис. 1) обеспечивают измерение действующих значений тока в номинальном диапазоне 8–25 А, а также наделены дополнительными функциями, такими как обнаружение перегрузки по току (Over Current Detection, OCD) и программирование ряда рабочих параметров (коэффициент усиления, время отклика, опорное напряжение и порог обнаружения перегрузки по току).

### Принцип работы

Датчики тока прямого усиления — простейший вариант датчиков на эффекте Холла (рис. 2). Они имеют наименьшие размеры, вес и стоимость при очень низком энергопотреблении. Ток, протекающий в проводнике, создает вокруг него магнитное поле. Это поле концентрируется в ферромагнитном сердечнике. Сердечник имеет зазор, в котором рас-



**Рис. 1.** Датчики тока прямого усиления на эффекте Холла серии HO, в которых применена специализированная ИС нового поколения: а) HO xx-NP и -NPPR (для монтажа в сквозные отверстия); б) HO xx-NSM и -NSMPR (для поверхностного монтажа)



**Рис. 2.** Принцип работы датчика тока прямого усиления на эффекте Холла

полагается элемент Холла, чувствительный к плотности магнитного потока в зазоре. Выходной сигнал элемента Холла преобразуется таким образом, чтобы он был в точности пропорционален величине тока в проводнике.

**Новые интерактивные интеллектуальные датчики тока прямого усиления серии НО с применением специализированной ИС нового поколения**

Во многих областях электроники, где есть потребность в миниатюризации и удешевлении компонентов при одновременном повышении точности и надежности их работы, ключом к удовлетворению этой потребности служит интеграция. Если не существует серийно выпускаемых интегральных схем, отвечающих предъявляемым требованиям, приходится разрабатывать специализированные ИС, объединяющие на одном кристалле все дискретные цепи преобразователя [1]. Преимущества специализированной ИС в части миниатюризации очевидны. Трудность заключается в том, чтобы по максимуму использовать возможности такой ИС для повышения точности.

Перед компанией LEM стояла цель как минимум вдвое улучшить важнейшие параметры по сравнению с датчиками предыдущего поколения, и эта цель была достигнута. Конечная конфигурация устройства может быть выбрана в любой момент, в том числе и конечным пользователем готового изделия.

Фотография кристалла специализированной ИС нового поколения HG2 приведена на рис. 3. В центре кристалла можно видеть восемь ячеек Холла, расположенных в оптимальном симметричном порядке, позволяющем достичь требуемых улучшений в измерительных характеристиках.

программным (цифровым) или схемным способом. Их основные преимущества:

- три программируемых диапазона действующих значений тока — 8, 15 и 25 А (по умолчанию выбран диапазон 25 А);
- множество программируемых функций, в том числе режим низкого энергопотребления, режим ожидания и управление ЭСППЗУ (EEPROM);
- питание от однополярного источника напряжением +3,3 или +5 В (две различные модификации датчика НО);
- дрейф смещения и коэффициента усиления вдвое ниже, чем у датчиков предыдущего поколения;
- программируемая функция OCD с отдельным выходом (до  $5 \times I_{PN}$ , где  $I_{PN}$  — номинальное значение первичного тока);
- программируемое время отклика (2–6 мкс), устанавливаемое путем выбора соответствующего выходного фильтра;
- четыре программируемых значения внутреннего опорного напряжения — 2,5, 1,65, 1,5 или 0,5 В;
- внешний доступ к источнику опорного напряжения;
- диапазон измерения до  $2,5 \times I_{PN}$ ;
- диапазон рабочих температур  $-40...+115$  °С;
- высокая точность измерения при +25 °С (1% от  $I_{PN}$ ) и +85 °С (2,8% от  $I_{PN}$ );
- длина пути утечки и воздушный зазор 8 мм, сравнительный индекс трекинговости (СТТ) 600;
- габариты 12×23×12 мм (Ш×Д×В);
- корпуса для монтажа в сквозных отверстиях и поверхностного монтажа.

В новой специализированной ИС имеются ячейки памяти с тремя записанными в них значениями чувствительности, которые можно выбирать в любой момент времени. Кроме

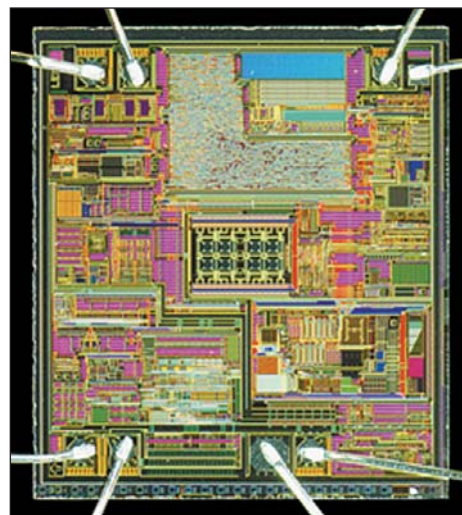


Рис. 3. Кристалл новой специализированной ИС — интегрального датчика тока прямого усиления на эффекте Холла

того, в датчиках серии НО первичный ток протекает по трем шинам, которые могут соединяться параллельно или последовательно для выбора трех номинальных диапазонов измерения. Комбинации этих вариантов дают в общей сложности девять диапазонов измерения, которые обеспечивает одно изделие. В таблице 1 показаны всевозможные диапазоны измерения для модели НО 25-NPPR с различными схемами включения (рис. 4) первичных шин.

Столь высокая степень программной управляемости и гибкости серии НО позволяет проектировщикам использовать один и тот же компонент в цепях самой разной конфигурации, за счет чего упрощается конструкция и сокращается номенклатура ком-

Таблица 1. Диапазоны измерения для модели НО 25-NPPR с различными схемами включения первичных шин

Количество витков первичной обмотки	Первичный ток, А		
	Диапазон 1 $I_{PN} = 8$ А	Диапазон 2 $I_{PN} = 15$ А	Диапазон 3 $I_{PN} = 25$ А
1	8	15	25
2	4	7,5	12,5
3	2,67	5	8,33

**Серия НО**

Устройства этой серии предназначены для измерения действующего значения тока в номинальном диапазоне 2,67–25 А и имеют девять диапазонов токов, которые можно выби-

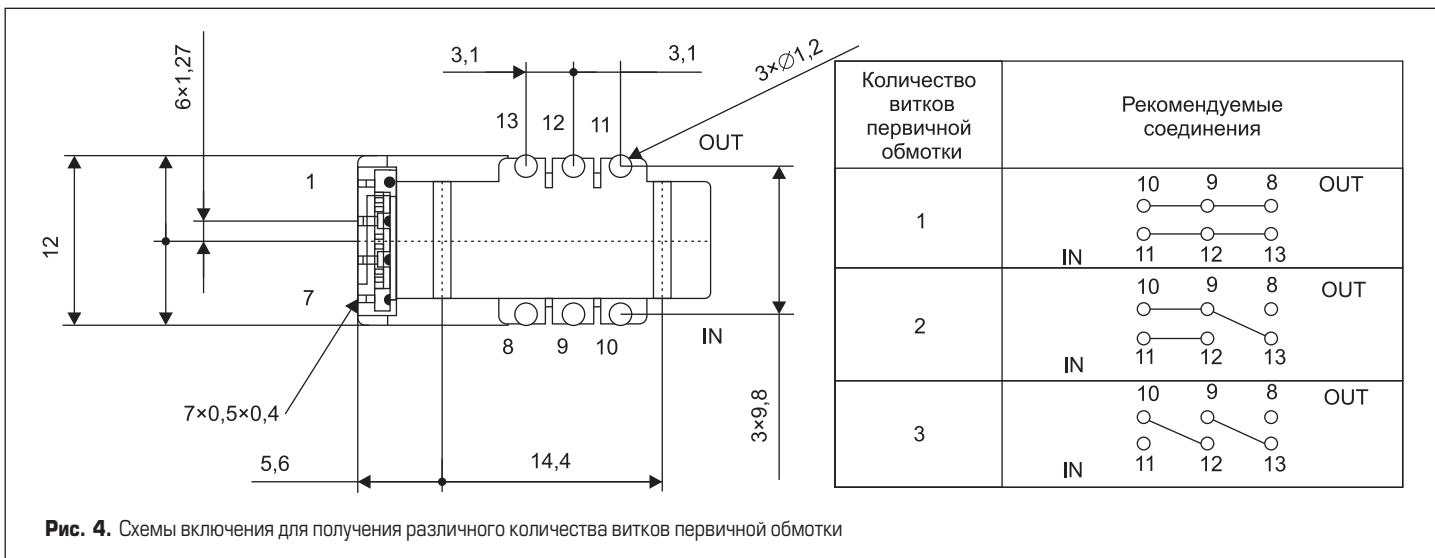


Рис. 4. Схемы включения для получения различного количества витков первичной обмотки

плекующих изделий, которые необходимо держать на складе. Специалистам по логистике теперь достаточно будет одного артикула вместо девяти, а ЭСППЗУ специализированной ИС можно многократно перезаписывать по мере необходимости.

Температурный дрейф смещения и коэффициента усиления снижен в новых датчиках вдвое по сравнению с датчиками на базе ИС предшествующего поколения. С ростом температуры на 50 °С максимальный дрейф смещения составляет 0,5% от номинального значения. Дрейф коэффициента усиления, выраженный в процентах от измеренного значения, достигает в худшем случае 1,0%. Для датчиков тока прямого усиления на эффекте Холла это великоленные характеристики. В достижении такого уровня точности первостепенную роль играет специализированная ИС. Каждая из этих ИС испытывается сначала при экстремально низких и высоких температурах, а в завершение — при комнатной температуре: это позволяет измерить дрейф коэффициента усиления и смещения и сохранить поправочные коэффициенты в ЭСППЗУ устройства. Во время работы эти данные используются совместно с результатами внутреннего измерения температуры: на выходах аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) вырабатываются точные значения аналоговых поправок для компенсации дрейфа коэффициента усиления и смещения, который неизбежен в полупроводниковых приборах, изготовленных по стандартному технологическому процессу.

Еще один параметр датчиков серии НО, который может настраиваться пользовате-

лем, — это время отклика на входной переходный процесс с высокой скоростью нарастания тока ( $di/dt$ ). Пользователь может устанавливать это значение в диапазоне 2–6 мкс в зависимости от частоты среза внутреннего противополюсочного фильтра. Частоте среза 600 кГц соответствует время отклика менее 2 мкс, 250 кГц — менее 3,5 мкс, а 100 кГц — менее 6 мкс.

Новой функцией этой специализированной ИС является функция OCD. Сигнал перегрузки по току выводится на специальный вывод датчика, и пользователь может программно установить одно из 16 дискретных значений порога обнаружения вплоть до  $5,2 \times I_{PN}$ . Выход OCD срабатывает с установлением на нем низкого уровня (0 В) вместо высокого (5 В) в течение 2 мкс после того, как входной ток превысит запрограммированный порог. Порог OCD определяется с точностью 10%. При необходимости пользователь может задать минимальную длительность импульса на выходе OCD равной 1 мс, чтобы короткие перегрузки также могли регистрироваться внешним микроконтроллером. Осциллограммы сигнала на выходе OCD, выходного напряжения  $V_{out}$  преобразователя и первичного тока приведены на рис. 5.

Обнаружение перегрузки по току реализовано отдельно от основной функции измерения тока. Использовать один и тот же диапазон для OCD и измерений нецелесообразно: если, например, установленный порог обнаружения впятеро превышает номинальный верхний предел шкалы, то диапазон измерения должен простираться до самого этого порога, но тогда снижается точность в номинальном диапазоне. Отдельная схема OCD с программируемым порогом срабатывания обеспечивает максимальное разрешение при измерении вплоть до номинального верхнего предела шкалы.

Выходной сигнал датчика серии НО представляет собой аналоговое напряжение, пропорциональное входному току. В большинстве систем этот сигнал переводится в цифровую форму АЦП, для работы которого необходимо опорное напряжение. Датчик тока серии НО компании LEM позволяет программно выбрать один из четырех уровней опорного напряжения (0,5; 1,5; 1,65 или 2,5 В), которое выводится на специальный контакт. Эти уровни подходят для АЦП с номинальным напряжением 3,3 В. Вместо этого можно также настроить датчик для измерений с ис-

пользованием внешнего источника опорного напряжения от 0,5 до 2,65 В. Внешнее опорное напряжение 0,5 В обеспечивает более широкий диапазон при однополярном измерении. В этом режиме работы производится измерение только одной полувоны входного тока (положительной или отрицательной).

Еще один программируемый пользователем параметр — это возможность отключения внутреннего источника опорного напряжения: его можно полностью отключить, чтобы снизить общее энергопотребление датчика при использовании внешнего источника опорного напряжения, как показано на рис. 6.

К другим программируемым функциям относятся режим ожидания (позволяющий снизить энергопотребление, когда все изделие находится в режиме ожидания) и доступ к ЭСППЗУ специализированной ИС для проверки правильности загрузки данных при программировании.

Для программирования датчик НО подключается к микроконтроллеру: когда на контакте  $V_{REF}$  датчика принудительно устанавливается напряжение питания, измерительный выход становится портом ввода/вывода однопроводной шины интерфейса. По этому интерфейсу последовательно передаются данные в виде 12-разрядных слов, в которых закодированы настройки датчика, в том числе диапазон, внутреннее опорное напряжение и порог OCD. Скорость передачи данных равна 10 кбит/с, и программирование длится несколько сотен микросекунд. Датчик НО можно перепрограммировать в любое время — даже в процессе работы в готовом изделии.

В таблице 2 приведены ключевые параметры датчика НО 25-NPPR/-NSMPPR. Как показано на рис. 1, датчики выпускаются в корпусах для монтажа в сквозных отверстиях и для поверхностного монтажа.

Серия датчиков тока НО задает новые стандарты рабочих характеристик, программной управляемости и простоты в использовании при проектировании электроприводов и инверторов последнего поколения. Ряд параметров и функций этих датчиков могут программироваться пользователем по простому цифровому последовательному интерфейсу с главного микроконтроллера системы. Благодаря двукратному снижению дрейфа смещения и коэффициента усиления, датчики серии НО обеспечивают типовую погрешность

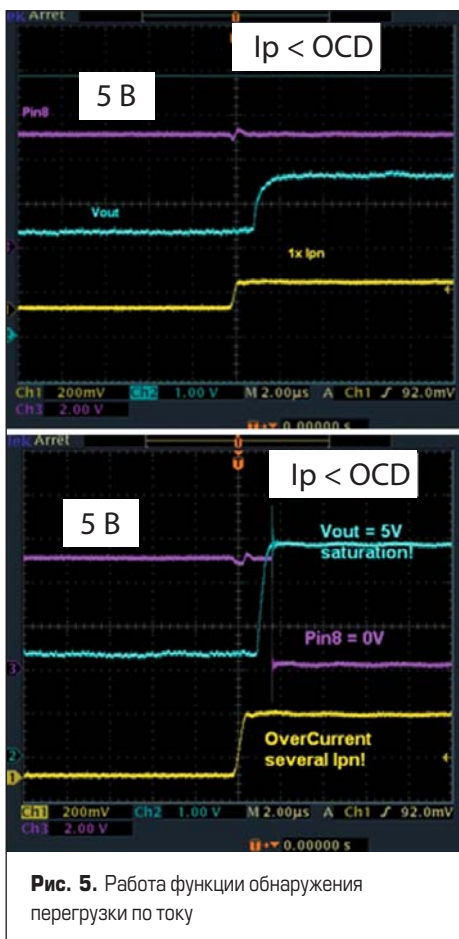


Рис. 5. Работа функции обнаружения перегрузки по току

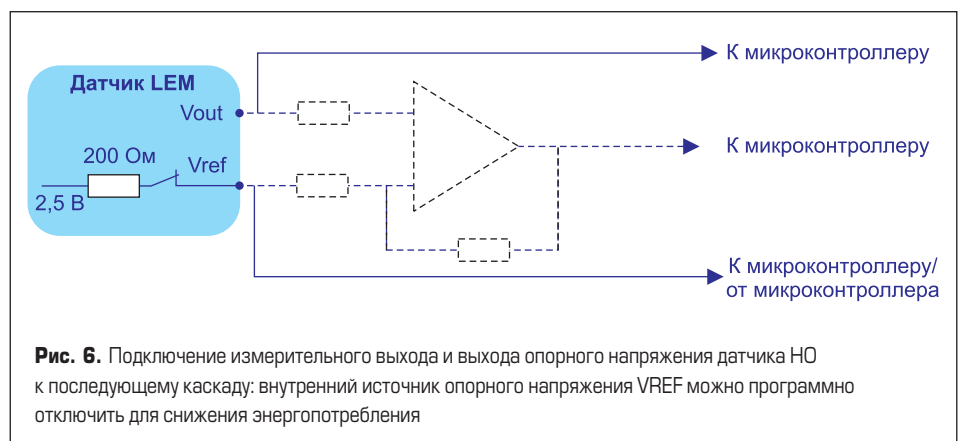


Рис. 6. Подключение измерительного выхода и выхода опорного напряжения датчика НО к последующему каскаду: внутренний источник опорного напряжения VREF можно программно отключить для снижения энергопотребления

Таблица 2. Ключевые параметры моделей HO 25-NPPR/-NSMPR

Программируемое номинальное действующее значение тока $I_{PN}$ , А	8, 15 или 25	Погрешность при температуре +25 °С (% от $I_{PN}$ )	1
Диапазон измерения $I_{PM}$ , А	$\pm 2,5 \times I_{PN}$	Погрешность при температуре +115 °С (% от $I_{PN}$ )	3,7
Погрешность линейности (% от $I_{PN}$ )	0,5	Программируемое внутреннее опорное напряжение $V_{Ref out}$ , В	0,5, 1,5, 1,65 или 2,5
Напряжение питания, В	+3,3 или +5 ( $\pm 10\%$ )	Полоса частот по уровню -3 дБ, кГц	От пост. тока до 100-600
Аналоговое выходное напряжение при $I_{PM}$ , В	0,8	Дрейф смещения, мВ/К	$\pm 0,075$
Программируемое время отклика при 90% от $I_{PN}$ , мкс	2, 3,5 или 6	Дрейф коэффициента усиления, ррт/К	$\pm 200$

измерения 1% при температуре +25 °С и 2,8% при температуре +85 °С, без учета начального тока смещения, при высоком уровне развязки между первичной и измерительной цепями (длина пути утечки и воздушный зазор 8 мм, сравнительный индекс трекинговости 600). По этим показателям они стоят очень близко к традиционным датчикам тока компенсационного типа на эффекте Холла, отличаясь от последних более низкой ценой.

Эти датчики питаются от однополярного источника напряжением 3,3 или 5 В, имеют

малый вес (5 г) и занимают мало места на печатной плате (12 мм в ширину, 23 мм в длину и 12 мм в высоту). Расширенный диапазон рабочих температур (-40...+115 °С) открывает большие перспективы для эффективного применения этих датчиков в промышленности, бытовой технике, солнечных инверторах, сервоприводах, электроприводах с регулируемой скоростью, источниках бесперебойного питания, импульсных источниках питания, погрузчиках, кондиционерах, аппаратуре контроля тока и сварочном оборудовании.

Благодаря новым возможностям программного управления один и тот же датчик серии HO можно использовать в разных по характеристикам изделиях, точно настраивая его функциональность и рабочие параметры под конкретное применение. В результате пользователь получает экономическую выгоду за счет возможности держать гораздо меньшее число комплектующих на складе. Помимо снижения издержек, достигается также высокий уровень гибкости в части снабжения.

Пользователям, которым требуются датчики с фиксированными рабочими параметрами и функциональностью, компания LEM может также предложить модели с соответствующими заводскими предустановками.

### Литература

1. S. Rollier Current Transducers with ASIC Technology // Power Systems Design Europe. December 2004.
2. D. Jobling Advances in ASICs for Open Loop Hall-Effect Based Current Transducers // Bodo's Power Systems. May 2012.