

# Новые датчики тока прямого усиления,

## сравнимые по характеристикам с компенсационными

Датчики тока прямого усиления на базе кремниевых элементов Холла имеют простую конструкцию и недороги в производстве, но их простота оборачивается несколько ограниченными характеристиками. Улучшить характеристики можно путем использования компенсационной схемы в некоторых диапазонах рабочих токов, однако это увеличивает стоимость и габариты датчика. В этой статье описывается новый тип датчиков прямого усиления на базе специализированной ИС (ASIC), которая сокращает разрыв в характеристиках между современными датчиками прямого усиления и компенсационными.

Давид Джоблин  
(David Jobling)

Switzerland.djo@lem.com

### Введение

На рис. 1 продемонстрирован принцип работы датчиков тока прямого усиления и компенсационного типа, построенных на основе измерения создаваемого первичным током магнитного поля. В датчиках обоих типов может использоваться элемент Холла, встроенный в специализированную ИС в качестве магниточувствительного элемента. Преимущества обеих схем — гальваническая развязка и возможность измерения тока в широкой полосе частот, в том числе и постоянного.

В датчике прямого усиления выходное напряжение элемента Холла, пропорциональное

измеряемому току, усиливается для получения выходного напряжения датчика. Но любое изменение чувствительности элемента Холла (например, из-за колебаний температуры) будет вносить погрешность в измерения. Выходное напряжение элемента Холла очень мало, поэтому попытка обеспечить малое время отклика датчика обернется высоким уровнем выходного шума, так как для этого нужно усиливать сигнал в широком диапазоне частот. Как правило, полоса частот сигнала специализированной ИС должна быть шире, чем у измеряемого тока, поскольку, чтобы минимизировать начальное смещение и  $1/f$  фликкершум элемента Холла, необходимо модулировать его выходной сигнал с высокой частотой путем

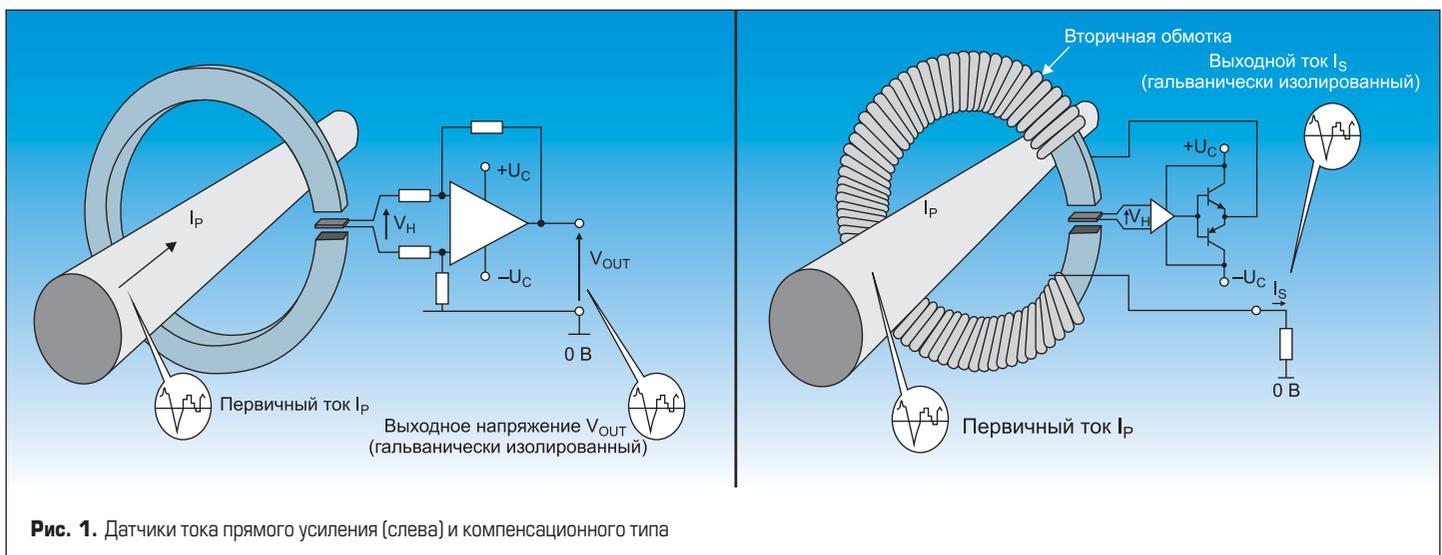


Рис. 1. Датчики тока прямого усиления (слева) и компенсационного типа

последовательного придания элементу смещения в четырех ортогональных направлениях («вращение» [1]), а затем усилить и демодулировать результирующий сигнал.

В компенсационной схеме магнитное поле, наведенное измеряемым (первичным) током, точно компенсируется вторичным током, который меньше первичного строго в число раз, равное отношению числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной, и легко измеряется по падению напряжения на прецизионном резисторе  $R_M$ . При этом точное значение чувствительности элемента Холла здесь уже не важно. Более того, полосу частот усилителя выходного сигнала элемента Холла можно сузить (соответственно снизив уровень шума) частотой в несколько килоггерц, поскольку на частотах выше нескольких килоггерц выходной ток, протекающий через  $R_M$ , непосредственно обусловлен трансформаторным эффектом между первичным проводником и вторичной обмоткой датчика. Но эти преимущества требуют более дорогостоящей конструкции датчика, а также ограничивают его минимальные габариты. Вдобавок максимальное измеряемое значение первичного тока ограничивается максимальным практически достижимым вторичным током и числом витков во вторичной обмотке.

В датчиках, описываемых в этой статье, применяется специализированная ИС, которая приближает датчик прямого усиления по характеристикам к компенсационным датчикам, но при этом все сложные

аспекты конструкции сосредоточены в ИС, а не в датчике. Такая ИС, будучи однажды спроектированной, может использоваться в ряде недорогих датчиков прямого усиления с различными функциональными возможностями.

**Устройство специализированной ИС и датчика**

Блок-схема специализированной ИС приведена на рис. 2. С помощью восьми элементов Холла отношение сигнал/шум в начале сигнальной цепочки повышается в  $\sqrt{8}$  раз. «Вращение» (модуляция) на частоте 1,5 МГц устраняет начальное смещение элементов Холла. На тех участках, где уровень сигнала мал, применяется дифференциальная схема, чтобы обеспечить устойчивость к внешним синфазным помехам ( $dv/dt$ ). После преобразования дифференциального сигнала в несимметричный для экономии места на кристалле избирательно экранируются ответственные узлы без использования дополнительных металлических слоев, чтобы сохранить устойчивость к упомянутым выше помехам. Полосовой фильтр на частоте «вращения» снижает общий уровень шума, ограничивая полосу частот шума такой, какая необходима для достижения заданного времени отклика, и предотвращая проникновение высокочастотных шумовых помех дискретизации в полосу частот полезного сигнала.

Стандартами качества в автомобилестроении, а теперь все чаще и в промышленности

предписывается после корпусирования подвергать специализированную ИС всеобъемлющим испытаниям при двух или, лучше, трех значениях температуры. Мы пользуемся этой возможностью, чтобы измерить погрешности, свойственные методу прямого усиления, и записать соответствующие поправки во встроенное ЭСППЗУ специализированной ИС. Таким образом компенсируются погрешности, связанные с температурной зависимостью чувствительности элементов Холла и смещением усилителей после демодуляции.

Наличие ЭСППЗУ также позволяет настраивать датчики в соответствии с предпочтениями пользователя, например выбирать различные значения опорного напряжения и регулировать ширину полосы частот выходного фильтра (сужать для снижения шума или расширять для сокращения времени отклика).

Новый функциональный элемент этой ИС — цифровой детектор перегрузки по току (OCD) с выходом на промежуточном участке сигнальной цепочки. Это позволяет устанавливать пороговый уровень тока выше того значения, которое вызывает насыщение аналогового выходного каскада. Опять же, предусмотрена возможность выбирать и записывать в ЭСППЗУ различные значения порогового уровня тока перегрузки в зависимости от конкретных нужд пользователя.

Для связи с ЭСППЗУ служит однопроводная шина, выведенная на выходной контакт ИС. Это удобно при использовании в конеч-

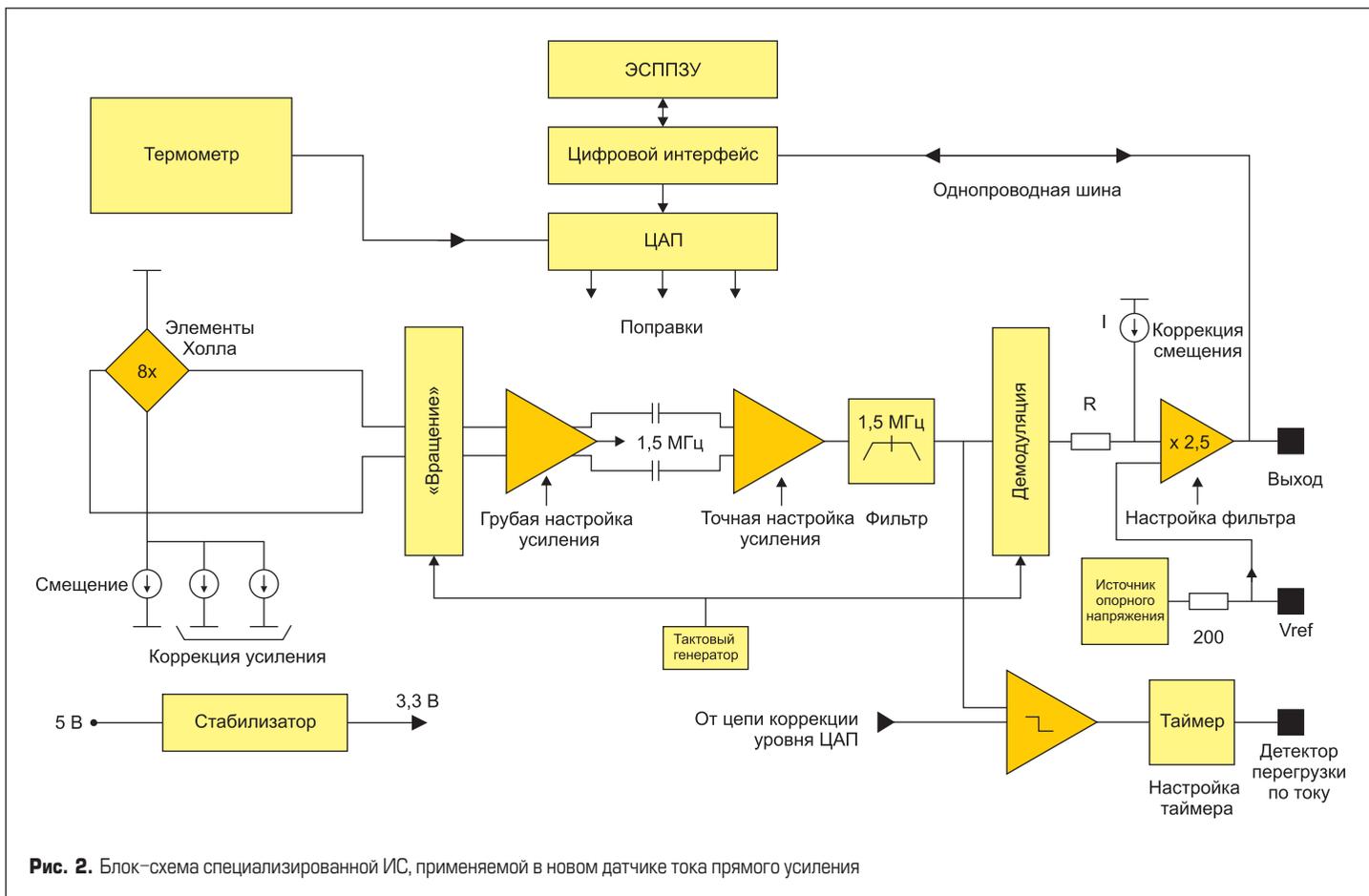


Рис. 2. Блок-схема специализированной ИС, применяемой в новом датчике тока прямого усиления

Таблица 1. Сравнительные характеристики датчиков различного типа

Параметр	Датчик прямого усиления предыдущего поколения	Новый датчик прямого усиления	Компенсационный датчик
Время отклика, мс	5	2	0,4
Погрешность при 25 °С, %	±1	±1	±0,7
Дрейф чувствительности, ppm/К	500	200	50
Дрейф тока смещения, мА/К	4	1,5	1–4
Спектральная плотность шума, мкА/Гц <sup>1/2</sup>	525	350	44
Обнаружение перегрузки по току	Нет	Есть	Возможно
Устойчивость к переходным процессам напряжения	Требуется экранирование	Встроенные экраны	Датчик экранирован

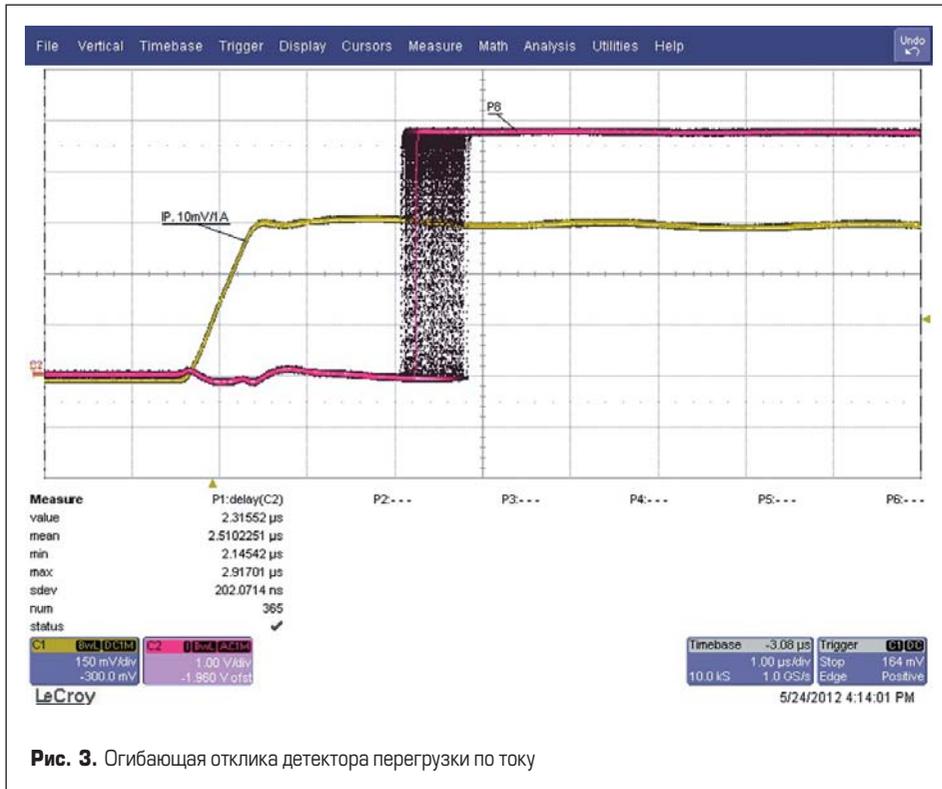


Рис. 3. Огибающая отклика детектора перегрузки по току

ном изделия, поскольку такой контакт, скорее всего, подключают к микропроцессору для обработки сигналов.

В табл. 1 дается сравнение ключевых параметров новых 25-А датчиков с другими

датчиками прямого усиления и компенсационного типа по ряду ключевых параметров. Принцип действия всех датчиков основан на эффекте Холла. Можно видеть, что по своим характеристикам новые дат-

чики прямого усиления приближаются к компенсационным датчикам, а в некоторых случаях и превосходят их. Итоговый выбор датчика для конкретной цели зависит от того, какие его параметры наиболее важны.

На рис. 3 показан отклик цифрового детектора перегрузки по току на ступенчатое изменение входного тока датчика. Время отклика, приблизительно равное 2 мкс, отчасти обусловлено задержкой магнитной цепи датчика, а отчасти — цепью, которая проверяет, что длительность перегрузки по току составляет не менее 1 мкс, во избежание срабатывания детектора по коротким выбросам. Ширина огибающей отклика — около 600 нс, так как ступенька тока не синхронизирована с внутренним тактовым сигналом специализированной ИС, частота которого равна 1,5 МГц.

Новый датчик более устойчив к быстрому изменению входного напряжения ( $dv/dt$ ) по сравнению с традиционной конструкцией, в которой для достижения сходных характеристик требовалось бы внешнее экранирование или заземление магнитопровода (рис. 4). Крутизна входного сигнала равна 5 кВ/мкс, амплитуда — 1 кВ. Разница во времени между сигналом  $dv/dt$  и откликом на выходе датчика обусловлена задержкой внутренней функции выборки и запоминания, а также блока фильтров.

На рис. 5 показан отклик нового датчика на ступенчатое изменение первичного тока. Время отклика этого датчика менее 2 мкс. Однако полосу частот выходного фильтра НЧ второго порядка можно сузить до 1/6 от ее наибольшего значения. При этом время отклика увеличится, зато соответственно уменьшится уровень выходного шума.

На рис. 6 приведены примеры двух различных датчиков тока с применением специализированной ИС, описанной в настоящей статье. Других электрических или электронных компонентов, помимо ИС, не требует-

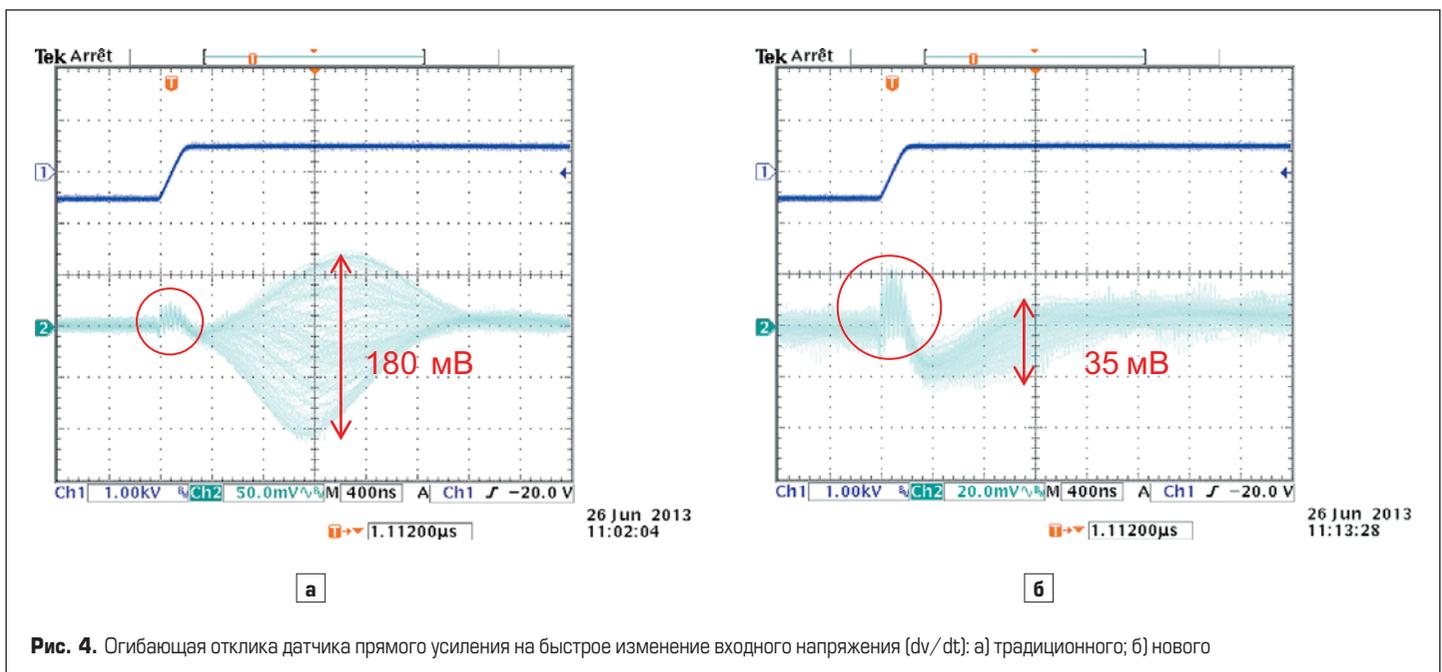


Рис. 4. Огибающая отклика датчика прямого усиления на быстрое изменение входного напряжения ( $dv/dt$ ): а) традиционного; б) нового

ся, поэтому физический объем конструкции получается очень малым. Магнитопровод, сосредотачивающий магнитное поле в месте расположения специализированной ИС, изготовлен из недорогого феррита, который можно не заземлять благодаря свойственной специализированной ИС устойчивости к быстрым изменениям напряжения.

Одна и та же специализированная ИС используется в датчиках двух типов, характеристики которых существенно различаются вследствие разных настроек в ЭСПЗУ, а также разного расположения первичного проводника и магнитопровода.

### Заключение

В настоящей статье представлены новые датчики тока прямого усиления, по своим характеристикам приближающиеся к компенсационным датчикам. Достичь столь высоких характеристик удается с помощью ИС, разработанной специально для этой цели. Измеренные характеристики датчика соответствуют ожидаемым. Благодаря этому расширяется область, в которой можно применять датчики прямого усиления вместо более сложных решений.

### Литература

1. Popovic R.S. Hall Effect Devices/ Institute of Physics Publishing, 2004. ISBN 0 7503 0855 9.

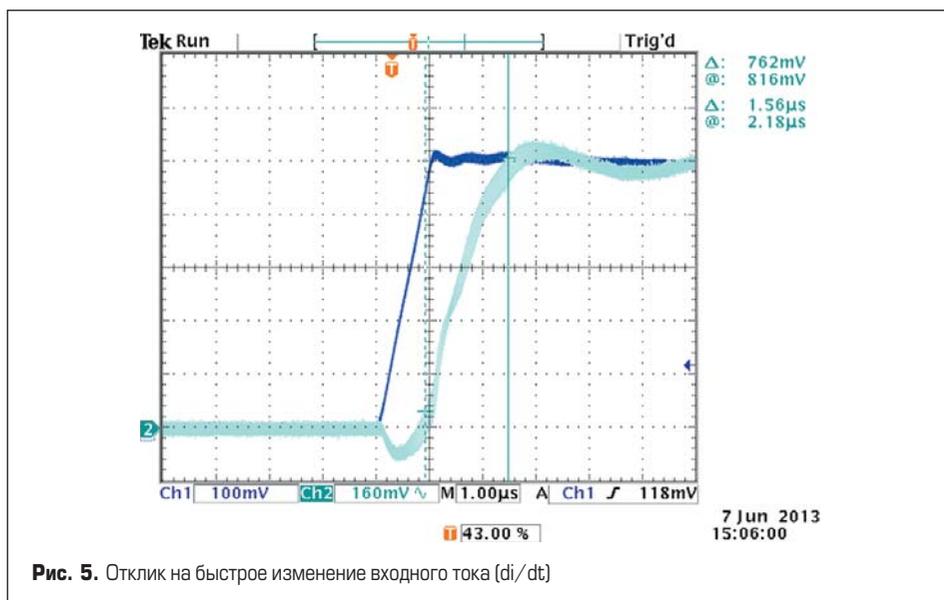


Рис. 5. Отклик на быстрое изменение входного тока ( $di/dt$ )

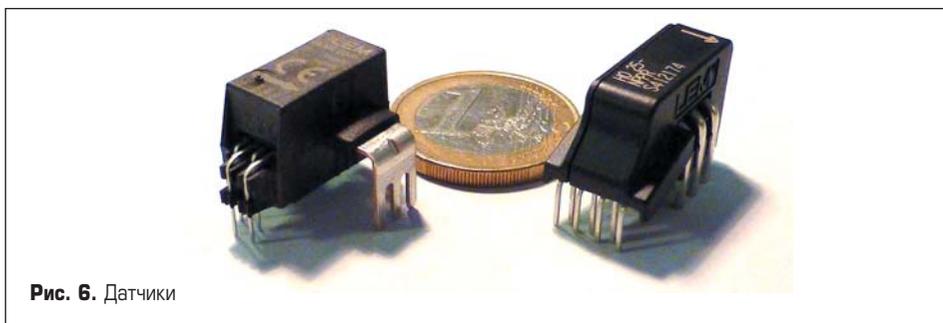


Рис. 6. Датчики