

Новые компенсационные датчики тока —

достижение отличных характеристик без увеличения затрат

Компенсационные датчики тока на эффекте Холла, при всех своих достоинствах, обладают и присущими «холловским» датчикам недостатками. В статье описана новая серия компактных компенсационных датчиков тока LEM на эффекте Холла, в которых, благодаря примененным новым технологическим решениям, эти недостатки были преодолены.

Стив Муро
(Steve Moureaux)

Диего Гутьеррес
(Diego Gutierrez)

Перевод: Олег Капусткин

OKa@lem.com

Введение

Изолированные датчики тока построены на использовании магнитных систем различных технологий, начиная с простых датчиков прямого усиления на эффекте Холла и заканчивая сложными компенсационными датчиками с феррозондовым магниточувствительным элементом¹. Чем выше точность датчика и сложнее применяемая технология, тем выше его стоимость. Для каждой из используемых технологий задачей при разработке новой серии датчиков является достижение лучших параметров, не выходя при этом из рамок стоимости, обусловленной данной технологией. В статье описаны новые компенсационные датчики на небольшие токи от 1,5 до 50 А для монтажа на печатную плату, на эффекте Холла, с применением специализированной микросхемы ASIC. Их параметры близки к параметрам феррозондовых датчиков. Также была разработана новая современная технологическая линия для их производства, так что новые датчики отвечают высочайшим стандартам качества и повторяемостью характеристик.

Концепция новых датчиков

Простейшие датчики тока представляют собой датчики прямого усиления, в которых магнитное поле от первичного тока считывается и усиливается; им присущи недостатки любых систем прямого усиления, и особенно — отсутствие стабилизирующей цепи обратной связи, жестко задающей чувствительность.

Компенсационные датчики являются более сложными, но в них есть компенсация первично-

го магнитного потока с помощью вторичной обмотки, имеющей N витков. Таким образом, у них лучшие параметры: чувствительность жестко задана числом витков N и поэтому является точной и стабильной величиной; на частотах свыше нескольких килогерц датчик начинает работать как трансформатор тока, поэтому у него шире частотный диапазон; благодаря тому, что магнитная система датчика работает при близких к нулю магнитных полях, он имеет значительно лучшую линейность. Быстродействие (время отклика) благодаря трансформаторному эффекту также значительно лучше.

Для удобства в большинстве серий датчиков последнего поколения реализован выход по напряжению, при этом выходной ток преобразуется в выходное напряжение V_{OUT} с помощью прецизионного измерительного резистора и последующего усилительного каскада, с использованием опорного напряжения V_{REF} .

В простейшем варианте в компенсационных датчиках в качестве магниточувствительного элемента используется элемент Холла. При этом такие датчики имеют все описанные выше преимущества компенсационных датчиков, но у такого решения есть и недостаток: начальное выходное напряжение ($V_{OUT} - V_{REF}$ при отсутствии тока на входе) и его дрейф. Потребители, которым требуются датчики с низким начальным выходным напряжением и его дрейфом, предпочитают использовать датчики на феррозондовой технологии, но они сложнее и дороже.

Как уже говорилось выше, в новой серии компактных компенсационных датчиков тока LEM недостатки, присущие «холловским» датчикам, преодолены, и достигнуты основные параметры,

¹Для примера см. www.lem.com/images/stories/files/Products/1-3_applications/CH24101.pdf

присущие датчикам, построенным по феррозондовой технологии.

Сердцем новых датчиков является эксклюзивная специализированная микросхема ASIC с интегрированными элементами Холла, имеющая следующие особенности:

- применение новой патентованной симметричной топологии матриц элементов Холла, интегрированной с первым каскадом усиления;
- использование сложной методики компенсации начального смещения во всех электронных блоках, входящих в контур формирования выходного тока, а также в выходном усилителе напряжения V_{OUT} ;
- использование встроенной памяти для измерения и последующей компенсации начального смещения и других отклонений для каждого конкретного датчика на этапе его производства.

В результате появилась серия датчиков с дрейфом смещения в диапазоне 4–14 ppm/°C, в зависимости от чувствительности датчика².

Это более чем в четыре раза меньше, чем у предыдущего поколения компенсационных «холловских» датчиков, и очень близко к параметрам феррозондовых датчиков.

В новом ASIC появилась возможность встроить быстродействующий детектор тока перегрузки, который позволяет увидеть, когда измеряемый ток превышает заданный порог, или отключить питание в случае короткого замыкания.

Датчики новой серии

Таблица 1 дает представление обо всех датчиках, входящих в новую серию LEM.

В предыдущих сериях (CAS, CASR и CKSR) использована феррозондовая технология, а LTS(R) — «холловский». Все новые серии основаны на эффекте Холла.

В таблице 2 приведены электрические параметры датчиков на 25 А.

Согласно данным таблицы 2, параметры нового LKSR 25-NP схожи с параметрами феррозондового CKSR 25-NP и значительно лучше параметров LTSR 25-NP предыдущего поколения на эффекте Холла. Наиболее значительно улучшен такой параметр, как начальное выходное напряжение $V_{OUT}-V_{REF}$ при $I_P = 0$ (и его дрейф). Для 25-А датчиков этот параметр улучшен почти в 10 раз.

Производство

С самого начала философия производственного процесса новой серии задумывалась как полностью автоматизированная, полностью автономная, на основе концепции Industry 4.0.

С целью повышения качества применены две последовательно соединенные вторичные катушки, для получения лучших частотных характеристик, использована

Таблица 1. Соответствие датчиков новой серии датчикам предыдущих серий.

Старый дизайн	Старое обозначение	Новый дизайн	Новое обозначение	Вторичные выводы	Длина пути тока утечки и воздушный зазор, мм	Диапазон рабочих температур, °C
	CAS 6-NP		LES 6-NP	+5 B GND V_{out}	dcl 7,7 dcp 7,7	-40...+105
	CAS 15-NP		LES 15-NP			
	CAS 25-NP		LES 25-NP			
	CAS 50-NP		LES 50-NP			
	CASR 6-NP		LESR 6-NP	+5 B GND V_{out} V_{ref}	dcl 7,55 dcp 7,55	
	CASR 15-NP		LESR 15-NP			
	CASR 25-NP		LESR 25-NP			
	CASR 50-NP		LESR 50-NP			
	CKSR 6-NP		LKSR 6-NP	+5 B GND V_{out} V_{ref}	dcl 9,9 dcp 9,9	
	CKSR 15-NP		LKSR 15-NP			
	CKSR 25-NP		LKSR 25-NP			
	CKSR 50-NP		LKSR 50-NP			
	нет		LPSR 6-NP	+5 B GND V_{out} V_{ref} OCD	dcl 9,5 dcp 9,5	
	нет		LPSR 15-NP			
	нет		LPSR 25-NP			
	нет		LPSR 50-NP			
	LTS 6-NP		LXS 6-NPS	+5 B GND V_{out}	dcl 7,7 dcp 7,7	-40...+85
	LTS 15-NP		LXS 15-NPS			
	LTS 25-NP		LXS 25-NPS			
	LTSR 6-NP		LXR 6-NPS	+5 B GND V_{out} V_{ref}	dcl 7,55 dcp 7,55	
	LTR 15-NP		LXR 15-NPS			
	LTSR 25-NP		LXR 25-NPS			

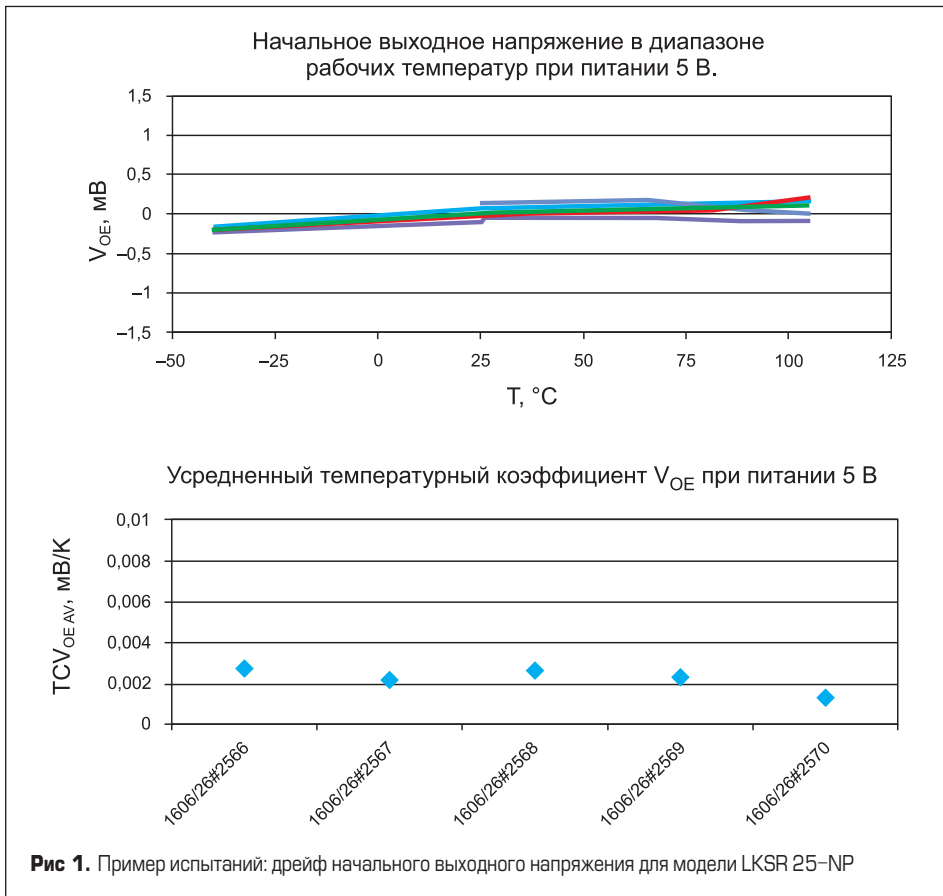
Таблица 2. Отличные характеристики новых датчиков на примере LKSR 25-NP³

	LTSR 25-NP (старые на эффекте Холла)	CKSR 25-NP (феррозондовые)	LKSR 25-NP (новые на эффекте Холла)
Погрешность чувствительности, %	±0,6	±0,7	±0,2
Коэффициент температурного дрейфа чувствительности, ppm/°C	±50	±40	±40
Начальное выходное напряжение, мВ	25	1,4	1
Ток магнитного смещения (мА) после перегрузки $10 \times I_{PN}^*$ (приведенный ко входу)	80	100	90
Опорное напряжение $V_{REF}@I_P = 0$, В	2,475–2,5252	2,495–2,505	2,485–2,515
Температурный коэффициент $V_{REF}@I_P = 0$, ppm/°C (при 2,5 В)	±100	±50	±100
Температурный коэффициент $V_{OUT}-V_{REF}@I_P = 0$, ppm/°C (при 2,5 В)	±37,5	±4	±4
Погрешность нелинейности, %		±0,1	
Время реакции @10% от I_{PN} , нс	100	300	300
Время отклика до 90% I_{PN} step, нс	400	300	400
Общая погрешность при @+25 °C, % от I_{PN}	0,7	1	0,8
Общая погрешность при @T _A = +85 °C, % от I_{PN}	1,9	1,35	1
Общая погрешность при @T _A = +105 °C, % от I_{PN}	Нет	1,45	1,2

Примечание: * I_{PN} — это номинальный ток, 25 А для данной модели

²В этой статье «ppm» — относительно опорного напряжения 2,5 В, средней точки выходного напряжения при питании 5 В.

³Приведены последние, полученные на момент написания статьи, результаты. На тот момент квалификационные испытания новых датчиков находились в завершающей стадии.



специальная технология намотки катушек, позволяющая экономить время производства и исключая паяные соединения двух катушек. Также отсутствуют паяные соединения между катушкой и печатной платой датчика, использовались только соединения методом запрессовки. Каждый датчик калибруется индивидуально, и параметры настройки чувствительности записываются в однократно программируемую память в ASIC. Также в память заносится уникальный ID-номер: историю каждой микросхемы ASIC можно проследить. Пассивные компоненты прослеживаются на уровне партии.

Квалификационные испытания

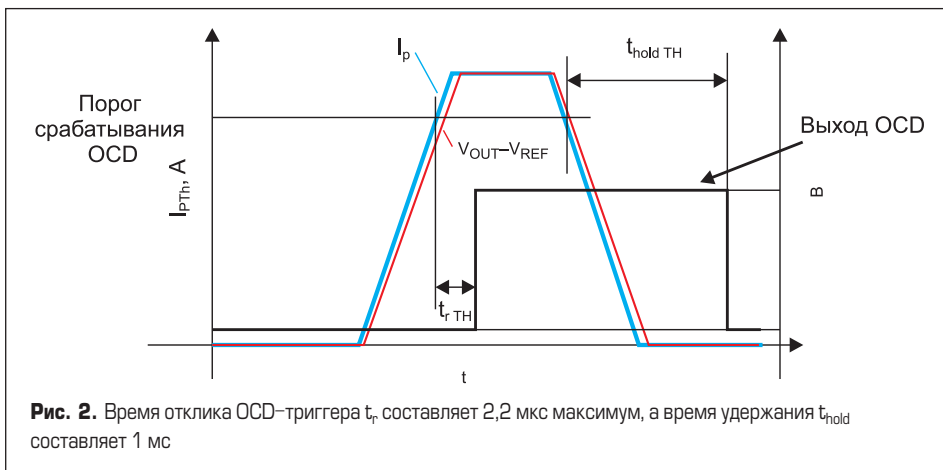
Полные квалификационные испытания новой серии выполняются с учетом всех экстремальных условий эксплуатации. В качестве примера на рис. 1 показаны измерения температурного дрейфа начального выходного напряжения для LKSR 25-NP. Измерения показали, что дрейф составляет менее 4 мкВ/°С, что эквивалентно менее 1,6 ppm/°С (по спецификации не более 4 ppm/°С).

Детектор перегрузки по току (OCD)

Система OCD мониторит выходной ток датчика. За счет этого достигнуто лучшее время отклика по сравнению со снятием сигнала с выхода датчика и, так как контур формирования выходного тока не ограничен напряжением питания 5 В, это позволяет задавать порог срабатывания OCD-триггера по уровню выше, чем диапазон измерения датчика. Порог срабатывания OCD может быть задан между 1,25x и 5x I_{PN} . Детектор реагирует как на положительные, так и на отрицательные токи перегрузки. По умолчанию порог принят равным 2,9x I_{PN} .

На рис. 2 приведены временные диаграммы OCD.

На рис. 3 показано, как выглядят датчики новой серии.



Выводы

Представленная в статье новая серия компенсационных датчиков на эффекте Холла обеспечивает прирост параметров до уровня феррозондовых датчиков, но при этом без увеличения стоимости. Они особенно подойдут для применений, где важно иметь низкий дрейф начального выходного напряжения, как, например, в выходном AC-инверторе установок на солнечных батареях, где стандарты требуют очень низкую величину DC-составляющей в выходном токе. Также это открывает новые применения в сервоприводах моторов. Выдающиеся характеристики этих датчиков были достигнуты за счет специально разработанной для них ASIC в сочетании с передовой и высококачественной технологией производства.

