

Новое семейство миниатюрных, быстродействующих и точных датчиков

для изолированного измерения тока

Конструкция изолированных датчиков тока постоянно изменяется, что обусловлено требованиями снижения стоимости и размеров. В соответствии с этой тенденцией было разработано новое семейство интегральных сенсоров, не нуждающихся в магнитной цепи и размещаемых в стандартных малогабаритных корпусах интегральной микросхемы. Тщательная проработка конструкции позволила обеспечить точность, соизмеримую с показателями обычных датчиков при незначительном снижении напряжения изоляции. Кроме того, они обладают некоторыми дополнительными функциями.

Дэвид Джоблинг
(David Jobling)

Дэвид Барбагалло
(David Barbagallo)

Джулиен Феньон
(Julien Feignon)

Перевод:
Андрей Карташев

Введение

Изолированные датчики тока, как правило, детектируют магнитное поле измеряемого тока; дополнительное преимущество этого состоит в возможности измерения как постоянного так и переменного токов. Компания LEM в последние годы следует двум тенденциям развития датчиков тока прямого усиления:

снижение стоимости и размеров. Кроме того, использование специально разработанной микросхемы CMOS ASIC в качестве чувствительного элемента позволяет обеспечить основные параметры, такие как точность и время отклика, на уровне более сложных датчиков компенсационного типа [1]. Обычно микросхема ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) размещается в воздушном зазоре небольшой магнитной цепи, которая обеспечивает усиление магнитного поля протекающего тока, тем самым уменьшая уровень шумов, а также экранирование от внешних помех. Большинство обычных датчиков LEM прямого усиления измеряет токи в пределах от 3 А до сотен ампер при напряжении изоляции до 8 кВ и времени отклика от 2 мкс.

Некоторые применения, особенно электроприводы, предъявляя те же требования по быстродействию, имеют меньшие требования к диапазону измеряемых токов и прочности изоляции при очень сильном давлении. В таких применениях, как, например, бытовая техника, приводы оконных жалюзи и кондиционеры, низкая стоимость и небольшие размеры датчиков особенно важны. Для этих случаев LEM разработала новую серию датчиков GO, размер которых дополнительно уменьшен за счет устранения магнитной цепи. Вместо этого первичный ток проходит непосредственно через выводы корпуса датчика, где производится измерение его магнитного поля с помощью новой микросхемы ASIC, разработанной на основе ASIC, используемой в стандартных датчиках.

На рис. 1 показано два примера исполнения таких устройств. Один датчик размещен в корпусе SOIC-8, где четыре вывода предназначены для подклю-

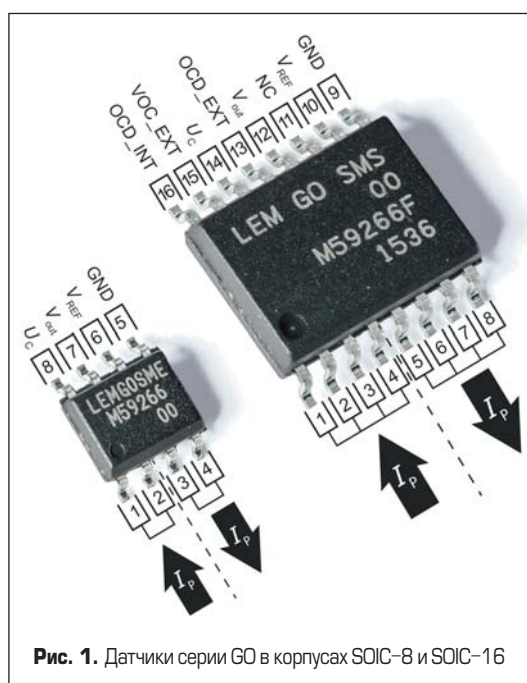


Рис. 1. Датчики серии GO в корпусах SOIC-8 и SOIC-16

ния питания, выходного напряжения V_{OUT} и опорного напряжения V_{REF} . Другой имеет корпус SOIC-16, где восемь вторичных выводов дают возможность организовать выходы двух детекторов тока перегрузки (OCD) с двумя разными уровнями перегрузки по току: один является очень быстрым, второй имеет меньшую скорость, но большую точность. Показатели быстродействия и точности датчиков GO схожи с характеристиками, которые обеспечивают датчики с магнитной цепью. Отсутствие магнитной цепи у GO, конечно, означает и отсутствие погрешности из-за магнитного смещения.

Архитектура и особенности

ASIC для серии GO является производной от микросхемы, использованной в датчиках тока LEM прямого усиления, имеющих магнитную цепь. У компании имеется большой опыт разработки таких ASIC, что позволило ввести некоторые дополнительные функции в имеющиеся блоки обработки сигнала. В этом разделе описана конструкция датчиков GO и некоторые ее отличия от конструкции датчиков с магнитной цепью.

На рис. 2 показана упрощенная блок-схема сенсора GO в 16-выводном корпусе. Матрицы элементов Холла, имплантированные в ASIC, размещаются по обеим сторонам первичного проводника с током для детектирования его магнитного поля. Их начальное смещение вместе со смещением входных усилителей сводится к нулю с помощью специальной технологии дискретного модулирования выходного сигнала элементов Холла в напряжение переменного тока. После усиления этот сигнал демодулируется к своей первоначальной форме, а затем поступает на выходной усилитель и фильтр. Малое время отклика достигается за счет использования высокой тактовой частоты модулятора и внутренней фильтрации, которая убирает шумы в полосе пропускания системы. В процессе производства каждый датчик проходит индивидуальную калибровку. При трех различных температурах производится измерение дрейфа чувствительности и выходного смещения, соответствующие поправки сохраняются в памяти EEPROM в ASIC. Это гарантирует, что точность датчика не будет меняться из-за изменения температуры, и со временем, в течение срока службы.

Микросхема ASIC отделена от проводника с первичным током набором изолирующих слоев (оптимальная изоляция была выбрана с учетом наилучшего компромисса между высокой прочностью изоляции при толстом слое изоляции и высоким уровнем магнитного поля в элементах Холла при тонком слое изоляции). Матрицы элементов Холла, расположенные на противоположных сторонах относительно проводника с током, чувствительны к полям с противоположным направлением, поэтому датчик невосприимчив к однородным магнитным полям, образуемым другими, внешними источниками, не связанными с измеряемым током. Точное поперечное положение элементов Холла по отношению

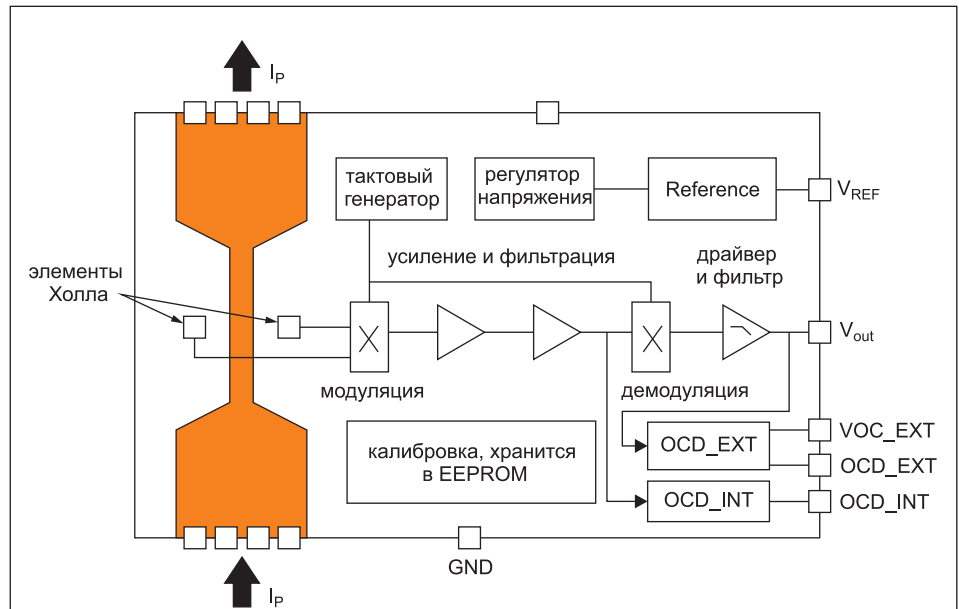


Рис. 2. Блок-схема датчика GO в корпусе SOIC-16

к направлению тока не критично, поскольку используются разница между выходными сигналами элементов на противоположных сторонах. Другими словами, элементы Холла здесь сконфигурированы как датчик градиента.

Блок-схема системы детектирования перегрузки по току (OCD) представлена на рис. 3. Цель состоит в задании двух различных уровней детектирования перегрузки. Назначением первого уровня, немного превышающего максимальный измеряемый уровень тока, является предупреждение, например, о том, что ток выходит из ожидаемого диапазона. Этот узел OCD должен быть достаточно точным, но не обязательно быстрым, каждому пользователю может потребоваться задание своего уровня. Отсутствие требований по высокому быстродействию позволяет подключить вход первого OCD к выводу датчика и задавать уровень с помощью внешних резисторов, отсюда и его название — OCD_EXT.

Второй уровень предназначен для предупреждения опасно высоких токов, возникающих, например, при коротком замыкании. Отклик при этом должен быть очень быстрым, но значение порогового уровня и точность его задания не являются критическими. Чтобы получить малое время отклика и задать порог OCD за пределами нормального рабочего диапазона, вход второго OCD должен быть подключен до демодулятора. Его уровень устанавливается внутри системы и хранится в памяти EEPROM, поэтому детектор называется OCD_INT. Как правило, этот порог равен трехкратному номинальному току I_{PN} .

Блок-схема на рис. 3 является упрощенной: в ней отсутствует узел, обеспечивающий реакцию обоих блоков OCD на положительные и отрицательные перегрузки по току.

Обе схемы OCD проверяют, что состояние перегрузки сохраняется, по крайней мере, в течение 1 мкс для исключения ложных срабатываний, и состояние обоих выходов после

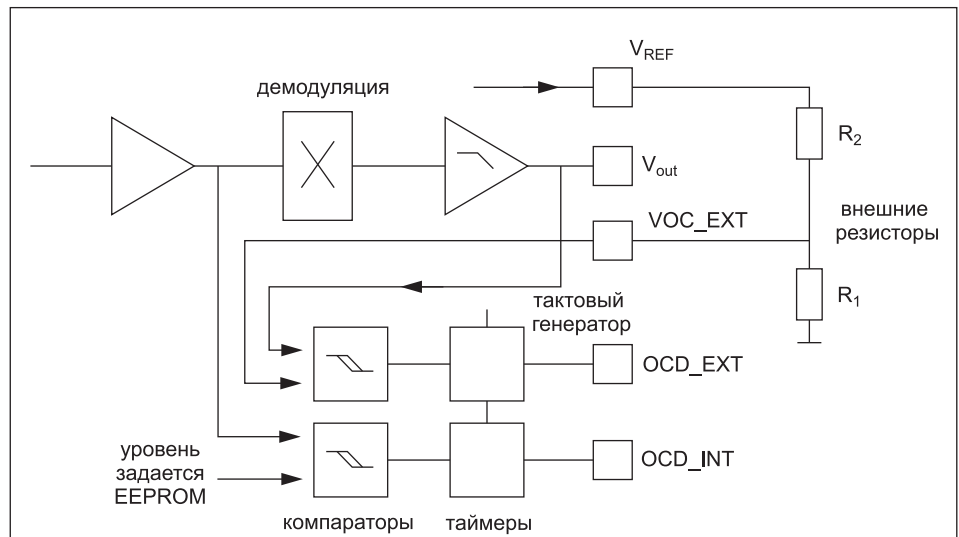


Рис. 3. Блок-схема системы детектирования перегрузки по току

Таблица 1. Сравнение основных параметров датчика серии GO и датчика с магнитопроводом

	Датчик GO	Датчик с магнитопроводом
Номинальный измеряемый ток, А	4–30	3–50
Напряжение питания, В	3,3 или 5 (19 мА)	
Иммунитет к внешним полям	Есть: датчик градиента	Есть: магнитопровод
Прочность изоляции (50 Гц, 1 мин), кВ	3	4,3
Импульсная прочность изоляции (50 мкс), кВ	4	8
Длина пути тока утечки по корпусу и по воздуху, мм	4 (SOIC-8) и 7 (SOIC-16)	>8
Погрешность при +25 °С, %	1	
Погрешность в диапазоне температур +25...+105 °С, %	3	3,4
Сопротивление первичной цепи, мОм	0,7	0,2
Детектирование перегрузки	Есть, время отклика 10 мкс	Нет
Детектирование КЗ	Есть, время отклика 2,1 мкс	Есть в некоторых моделях, время отклика 2,1 мкс
Время отклика, мкс	<2,5	
Дрейф начального тока (модель 10 А), мА/К	0,9	
Дрейф чувствительности, ppm/К	150	200
Магнитное смещение	0	0,25 А после 10xIPN
Площадь основания, мм ²	50–100	400 и более
Высота, мм	2,5	12 и более

срабатывания сохраняется в течение 10 мкс, чтобы быть уверенными в том, что состояние перегрузки может быть обнаружено. Выходы детекторов имеют открытый сток, что удобно для объединения блоков OCD нескольких датчиков. Время срабатывания триггера OCD_INT менее 2,1 мкс; типовое время отклика OCD_EXT составляет 10 мкс.

Монтажная площадь датчиков серии GO в 16-выводном корпусе составляет около 100 мм², в восьмивыводном корпусе — примерно в два раза меньше. Соответствующее значение для самых маленьких датчиков с магнитной цепью, предназначенных для монтажа на печатную плату, — около 400 мм². Высота составляет 2,5 и 12 мм соответственно. Однако для обоих типов сенсоров, работающих в более высоких токовых диапазонах, необходимо предусмотреть меры для отвода тепла, генерируемого измеряемым током. Тепловыделение будет больше в датчиках серии GO, поскольку у них выше внутреннее сопротивление первичной цепи.

Основные параметры и результаты тестирования

В таблице 1 приведены основные электрические параметры датчиков серии GO, а также значения тех же параметров датчика прямого усиления с магнитопроводом. Для сравнения был выбран малогабаритный датчик; датчик с большими габаритами будет иметь другие характеристики.

Таблица 1 показывает, что многие ключевые электрические параметры остались без изменений или немного улучшились по сравнению с характеристиками датчика с магнитопроводом, тогда как некоторые, такие как габариты и прочность изоляции, отличаются, что позволяет применять различные серии датчиков в разных областях и на различных рынках.

На рис. 4 показано измеренное время отклика после скачка первичного тока в течение 0,3 мкс. Компактный размер и отсутствие магнитных элементов в датчике обеспечивает очень малый уровень перерегулирования и звона. Утверждение, сделанное ранее о том,

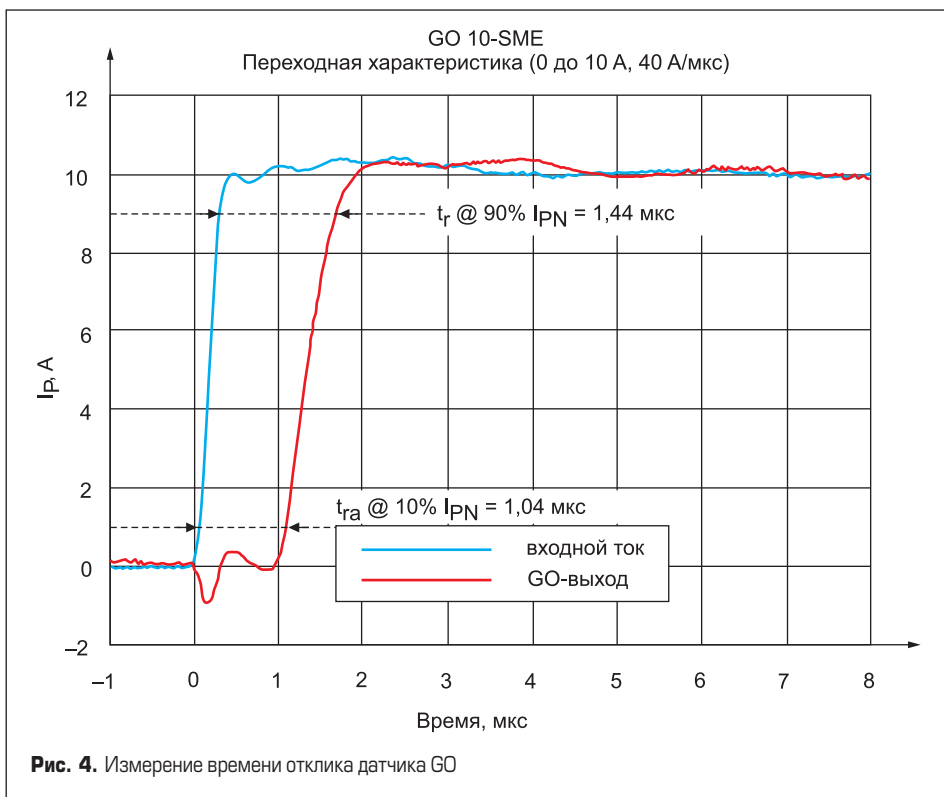


Рис. 4. Измерение времени отклика датчика GO

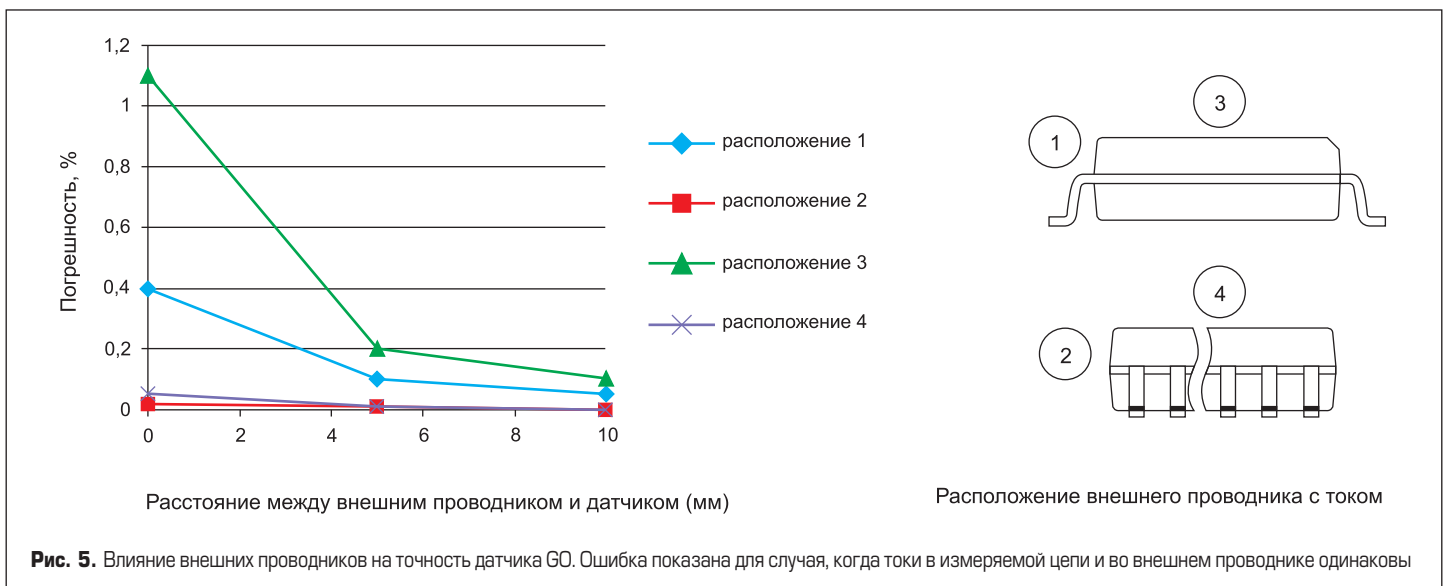


Рис. 5. Влияние внешних проводников на точность датчика GO. Ошибка показана для случая, когда токи в измеряемой цепи и во внешнем проводнике одинаковы

что датчики GO не чувствительны к внешнему магнитному полю, справедливо в том случае, если усиленные электрические сигналы элементов Холла с обеих сторон одинаковы, поскольку в схеме используется разница напряжений между двумя выходами. Для этого требуется выполнение следующих условий:

- чувствительность элементов Холла по обе стороны проводника с током (и усилителей, к которым они подключены) должна быть одинаковой, т. е. их характеристики должны совпадать;
- магнитное поле должно быть одинаковым и однородным по обеим сторонам проводника с током.

Относительно первого пункта можно сказать, что, поскольку элементы Холла и усилители сделаны в ходе одного технологического процесса, они имеют отличное соответствие. Воздействие однородного внешнего магнитного поля на датчик GO почти идеально подавляется.

Однако по второму пункту: магнитные поля, создаваемые проводами, расположенными вблизи датчика, не являются однородными, и выходные сигналы с двух сторон не будут подавляться полностью. Этот вопрос был исследован для проводников, находящихся в четырех различных положениях рядом с датчиком GO (рис. 5). Худшим является положение 3, когда внешний проводник соосен с внутренним проводником тока в датчике GO. Если ток в нем равен измеряемому (10 А), то выходная ошибка датчика, обусловленная влиянием внешнего проводника с током, будет всего около 1% от измеряемого тока даже при нулевом расстоянии между внешним проводником и датчиком. Это исследование показывает, что при минимальной оптимизации дизайна печатной платы внешние проводники с током будут иметь пренебрежимо малое влияние на точность датчиков серии GO.

Еще одним важным фактором в работе миниатюрных датчиков является влияние скачков первичного напряжения на выходной сигнал. Эту проблему лучше всего решать на уровне ASIC. На этом уровне все

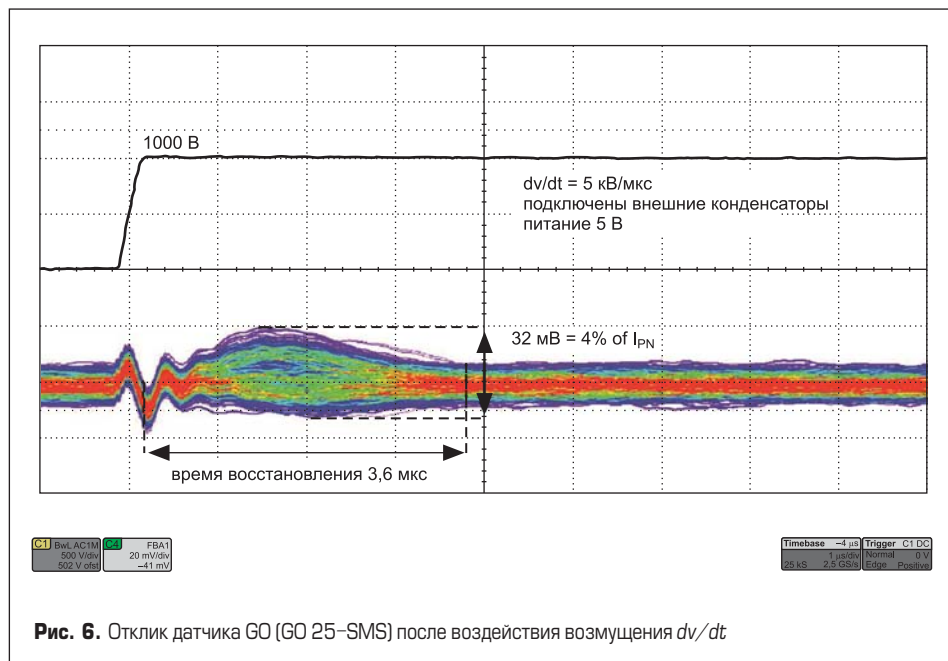


Рис. 6. Отклик датчика GO (GO 25-SMS) после воздействия возмущения dv/dt

слабосигнальные цепи являются дифференциальными, и поэтому синфазные помехи из-за внешних переходных процессов имеют небольшое влияние. Чувствительные зоны могут быть защищены с помощью небольших заземленных экранов в верхнем металлическом слое. Экранирование используется только на небольших участках, где оно необходимо. Такое решение имеет массу преимуществ по сравнению с большими экранами: там, где они не нужны, верхний металлический слой можно использовать для промежуточных соединений; кристалл ASIC не закрыт, и поврежденные части могут быть проанализированы; также отсутствуют вихревые токи, которые могли бы замедлить время отклика.

На рис. 6 показан эффект от воздействия скачка напряжения с $dv/dt = 5$ кВ/мкс на выходной сигнал 25-А датчика GO (GO 25-SMS). Пик возмущения на выходе составляет 4% от IPN при времени восстановления около 3,6 мкс.

Заключение

В статье представлена новая серия миниатюрных, быстрых и точных датчиков для изолированного измерения токов AC и DC. Некоторые из их электрических параметров аналогичны характеристикам датчиков с магнитопроводом, ряд параметров отличается. Различные датчики подходят для разных применений, и появление новой серии датчиков в каталоге LEM расширяет возможности разработчиков в оптимизации их системы и выборе наиболее экономичного и эффективного способа изолированного измерения тока.

Литература

1. David Jobling: New open-loop current transducers with near closed-loop performance // Proceedings of the PCIM Conference. May, 2014.