

Современные магниточувствительные датчики Холла и приборы на их основе

Г. ПОРТНОЙ,
заместитель Главного конструктора
ОАО «НИИЭМ»,
канд. техн. наук,
г. Истра, Московская обл., РФ

Задача измерения и контроля токов всегда была, есть и будет оставаться актуальной для многих поколений разработчиков новой техники. На сегодняшнем этапе развития можно перечислить основные методы измерения и выделить те из них, которые, в силу разных причин, стали наиболее популярными. При этом следует подчеркнуть, что все большее число механических технических решений заменяется на полностью электронные. Это и понятно, поскольку в этом случае повышается надежность, точность контроля и регулирования, энергоэффективность. А надежное и точное преобразование тока просто необходимо во многих отраслях техники. Например, точное преобразование тока позволяет создавать новейшие системы инверторного управления. В настоящее время ~ 15% всех электроприводов имеют инверторное управление, и это управление способно сохранить до 50% расходуемой электроэнергии. Так частная задача преобразования тока позволяет решить более общую задачу и открыть значительный потенциал для энергосбережения предприятиям и целым отраслям промышленности.

Существует множество методов измерения токов и в рамках одной статьи подробно остановиться на них нет возможности. Наиболее распространенными сегодня являются три метода, каждый из которых, естественно, обладает своими достоинствами и недостатками.

Метод прямого измерения или резистивный метод

Пожалуй, это наиболее часто применяемый метод, что объясняется простотой его использования и относительной дешевизной. Кроме того, резистивные датчики отличаются хорошей линейностью и точностью, способностью измерять постоянный и переменные токи. Прямое измерение тока обеспечивается включением в схему токочувствительного резистора, который имеет стабильный температурный коэффициент (ТКС менее 0,01%). Такой датчик не требует внешнего источника питания, что является его дополнительным преимуществом. Однако практическую ценность данного метода снижает его главный недостаток: отсутствие гальванической развязки. Кроме того, резистивным датчикам присущи потери, вносимые в цепь измерений, что обусловлено неприемлемым возрастанием температуры. При низких токах используемый шунт должен иметь высокое сопротивление, чтобы падение напряжения на нем имело достаточную величину. А это уже приводит к необходимости применения усилителя и т.д. Наличие паразитной индуктивности у большинства мощных резисторов также приводит к ограничению полосы пропускания данного метода.

Все эти недостатки заставляют искать другие методы измерения токов. Хорошей альтернативой в этом смысле является способ измерения с помощью трансформаторов тока. Он свободен от описанных выше недостатков, поскольку является косвенным методом измерения тока. Переменное магнитное

поле, которое возникает вокруг проводника с измеряемым током, вызывает ток во вторичной обмотке. Далее измеряется напряжение во вторичной обмотке и делится на коэффициент передачи. Измеряемый ток в этом случае проходит через обмотку с очень низким коэффициентом потерь, что обеспечивает высокую точность измерений данным методом. Это преимущество, а также гальваническая развязка с высоким пробивным напряжением делают метод трансформатора тока весьма популярным.

Аналогичный метод измерений используется в датчиках, получивших название «пояс Роговского». Различие только в том, что пояс Роговского не имеет сердечника и поэтому его индуктивность меньше, чем у трансформаторов тока. Однако датчики на базе трансформаторов тока работают обычно на сетевой частоте и, к сожалению, не могут использоваться в цепях постоянного тока. Этот недостаток заставляет разработчиков обращаться к иным способам измерения тока. Начиная с 1990 года, наиболее распространенным способом измерения тока становятся измерения с помощью датчиков, основанных на эффекте Холла. Чтобы разобраться, почему этот способ стал популярным только в конце XX столетия, необходимо вспомнить основные этапы, которыми отмечено его развитие.

Эффект Холла и датчики на его основе

Эффект, открытый Э. Холлом еще в 1897 г., получил свое первое промышленное воплощение только в конце 1960 г. Суть эффекта заключается в появлении напряжения на концах проводника с током, который помещен в магнитное поле. Разность потенциалов возникает перпендикулярно линиям напряженности этого поля.

С появлением полупроводников – сначала германия, а затем и кремния – стала возможной реализация эффекта в приборах, которые получили название «датчиков или преобразователей Холла». Напряжение Холла у таких полупроводниковых датчиков было свыше ± 120 мВ/кГс (в зависимости от направления магнитного поля) и эти датчики уже обладали рядом существенных преимуществ. Основное из них – это наличие гальванической развязки. Кроме того, датчики Холла практически не вносят потерь при измерении постоянных и переменных токов, а напряжение Холла пропорционально приложенному магнитному полю, что весьма удобно для дальнейшей обработки.

Несмотря на столь явные преимущества, дискретные датчики Холла долгое время выпускались и в нашей стране и за рубежом в ограниченном количестве, производились, в основном, научно-исследовательскими институтами и подразделениями полупроводниковых фирм.

Однако за последние 30 лет ситуация с датчиками Холла претерпела весьма наглядную эволюцию, которая объясняется, прежде всего, увеличением спроса на эти приборы. Дополнительным стимулом также явилось повышение качества полупроводниковых материалов и расширение их номенклатуры.

Первые датчики Холла, созданные на основе германия и кремния [1,2], сменились датчиками на основе тонких эпитаксиальных слоев. Появились датчики Холла на основе гомо- и гетероэпитаксиальных слоев группы А3В5: GaAs, InAs, InSb и др. [3,4]. При этом, скажем, выпуск дискретных датчиков Холла на InSb, например, только одной японской фирмы «Victor Company of Japan Ltd.» составил 50 тысяч штук в месяц [5].

Название рубрики!

И, наконец, взрывной рост производства и продаж датчиков Холла произошел, когда стало возможным производство недорогих интегральных схем с ячейкой Холла (или несколькими ячейками) и схемой обработки сигнала.

Типовые интегральные схемы, кроме датчика Холла, содержат, как правило, усилитель выходного сигнала, стабилизатор напряжения, схему термокомпенсации, калибровки и защиты от обратного подключения полярности. Часто схема датчика включает в себя и концентратор магнитных полей. Выходной каскад датчика может представлять собой усилитель на биполярном транзисторе с открытым коллектором (PNP) или двухтактную схему (PNP+NPN). Такой датчик смело можно назвать устройством на эффекте Холла, поэтому этот класс приборов необходимо описать отдельно.

Интегральные устройства с датчиками Холла

Эволюцию от дискретных датчиков Холла до сложных интегральных устройств на эффекте Холла можно проследить на примере одного из старейших производителей этих устройств компании «Honeywell» (США). Она известна с 1927 г., когда Марк Хоневелл стал президентом двух слившихся компаний. Сегодня холловские датчики Honeywell – это интегральные приборы в различных корпусах для поверхностного или сквозного монтажа. Как правило, в этих корпусах три вывода: два вывода питания и один аналоговый или цифровой. Внешний вид таких датчиков приведен на рис. 1, а основные технические характеристики представлены в табл. 1. Датчики серии SOT предназначены для поверхностного монтажа, а серия SIP – для сквозного. Уже из таблицы видно, что все датчики в зависимости от вида передаточной функции делятся на линейные и цифровые. Выходной каскад линейных датчиков выполнен таким образом, что напряжение $V(0)$ при отсутствии магнитного поля составляет половину напряжения питания. Выходной каскад большинства цифровых датчиков выполнен по схеме с открытым коллектором. Дополняют этот ассортимент датчики с повышенной степенью интеграции: SS421 и VF526. Последний уже содержит два датчика Холла и специальную логику. (Более подробно датчики представлены на сайте www.honeywell.com/sensing).

Основной областью применения этих датчиков является промышленная автоматика: это магнитоуправляемые коммутаторы, датчики скорости, положения, частоты вращения и др.

Относительно низкая стоимость интегральных датчиков Холла способствовала широкому распространению этих приборов. Однако максимальный рост производства датчиков произошел благодаря внедрению их в автомобильной промышленности. Сегодня насчитывается до 100 автомобильных применений холловских датчиков – это контроль дросселя, педали, антиблокировочной системы, электронное рулевое управление, автоматическая трансмиссия и многое другое. Согласно данным компании «HIS iSuppli» (www.isuppli.com), в 2010 г. общемировые продажи интегральных датчиков Холла составили \$1,18 млрд. В середине 2012 года они уже составляли более \$1,5 млрд.

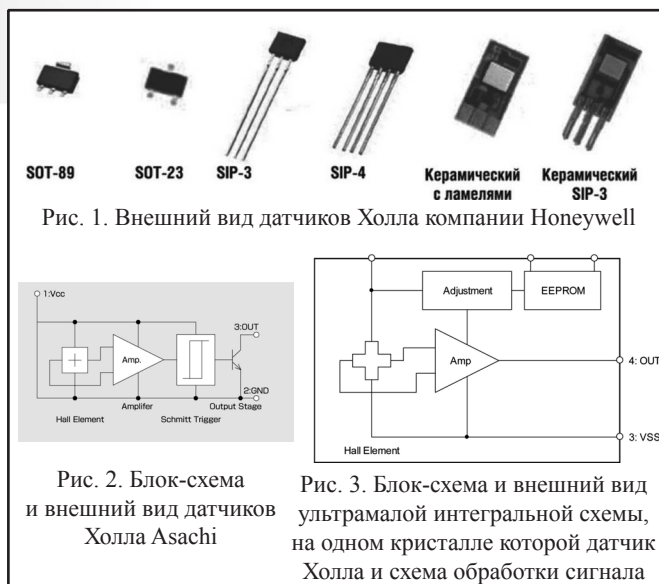


Рис. 1. Внешний вид датчиков Холла компании Honeywell

Рис. 2. Блок-схема и внешний вид датчиков Холла Asachi

Рис. 3. Блок-схема и внешний вид ультрамалой интегральной схемы, на одном кристалле которой датчик Холла и схема обработки сигнала

Такое резкое увеличение рынка сбыта датчиков стимулировало рост производства этих приборов у известных мировых производителей, способствовало появлению на нем новых крупных игроков. Например, японская фирма «Asachi Kasei MicroSystems» за 2009-2010 гг. увеличила выручку от реализации датчиков на 58%, что составило примерно \$300 млн.

Стандартный датчик Холла от «Asachi» содержит 4 вывода и представлен на рис. 2. Но это только один из простейших элементов. Поскольку фирма использует все виды доступных сегодня полупроводников – Si, InAs, InSb и GaAs, то и линейка датчиков у нее весьма широка. А это, в свою очередь, представляет пользователям широкие возможности при создании новой аппаратуры с датчиками Холла. На рис. 3 представлена схемотехника интегральных датчиков Холла и разновидности корпусов, в которых они изготавливаются. В этих корпусах выпускаются

Таблица 1

Ассортимент датчиков Холла Honeywell

Наименование	Передаточная функция	Напряжение питания, В	Потребляемый ток, мА (не более)	Направление выходного тока	Корпус	Рабочий температурный диапазон, °С
SS30AT SS40A SS50AT	Цифровая биполярная	4,5 ... 24	10	втекающий	SOT-23 SIP-3 SOT-89B	-40 ... 125
SS31PT SS41IP	Цифровая биполярная	2,7 ... 7	14	втекающий	SOT-23 SIP-3	-40 ... 150
Серия SS340RT	Цифровая униполярная	3 ... 24	8	втекающий	SOT-23 SIP-3	-40 ... 150
Серия SS440R	Цифровая униполярная	3 ... 24	8	втекающий	SOT-23 SIP-3	-40 ... 150
SS351AT SS451A	Цифровая всеполярная	3 ... 24	9	втекающий	SOT-23 SIP-3	-40 ... 150
SS361RT SS461R	Цифровая истинная биполярная	3 ... 18	8	втекающий	SOT-23 SIP-3	-40 ... 150
Серия SS400	Цифровая униполярная, биполярная или истинная биполярная	3,8 ... 30	10 8,7 (5 В)	втекающий	SIP-3 SOT-89	-40 ... 150
Серия SS41	Цифровая биполярная	4,5 ... 24	15	втекающий	SIP-3 SOT-89	-40 ... 150
Серия SS51T	Цифровая биполярная	4,5 ... 16	15	втекающий	SIP-4	-40 ... 105
Серия SS421	Цифровая биполярная	4,5 ... 16	15	втекающий	SIP-4	-40 ... 105
SS42R	Цифровая истинная биполярная (симметричная)	4,5 ... 16	11	втекающий или втекающий	SIP-4	0 ... 100
SS46	Цифровая истинная биполярная (симметричная)	4,5 ... 24	10	втекающий	SIP-3	-40 ... 150
VF526DT	Цифровая истинная биполярная (2 канала)	3,4 ... 24	14	втекающий (2 канала)	SOT-89	-40 ... 125
Серия 9ISS	Линейная	8 ... 16	19	втекающий	Керамический SIP-3, керамич. с ламелями	-40 ... 150
Серия SS490	Линейная	4,5 ... 10,5	10	втекающий или втекающий	SIP-3	-40 ... 150
Серия SS491B	Линейная	4,5 ... 10,5	10	втекающий или втекающий	SIP-3	-40 ... 150
Серия SS49E	Линейная	2,7 ... 6,5	10	втекающий	SIP-3 SOT-89	-40 ... 100
Серия SS59ET	Линейная	2,7 ... 6,5	10	втекающий	SIP-3 SOT-89	-40 ... 100
Таблица 1						
Серия SS94	Линейная	4,5 ... 12,6	30	втекающий или втекающий	Керамический SIP-3, керамич. с ламелями	-40 ... 150

Таблица 2

ИС ячеек Холла Allegro

Серия (модель)	Напряжение питания, В	Типовая чувствительность при 25°C, мВ/Гс	Эквивалентная точность, не менее, +/-, %	Рабочий температурный диапазон, °C	Корпус
A1321x	4,5 ... 5,5	5	10	-40 ... 85 (E) -40 ... 150 (L)	LH, UA
A1322x		3,125			
A1323x		2,5			
UGN3503	4,5 ... 6	1,3	-	-20 ... 85 (S)	LT, UA
A3515x	4,5 ... 5,5	5	10	-40 ... 85 (E) -40 ... 150 (L)	UA
A3516x		2,5			
A3517x		5	20	-20 ... 85 (S) -40 ... 150 (L)	
A3518x		2,5			

интегральные схемы с датчиками Холла серий EM, AK, EZ и EW в виде цифровых ключей, защелок, программируемых датчиков.

Другим ведущим поставщиком интегральных магниточувствительных датчиков является фирма «Allegro MicroSystems» (США) www.allegromicro.com. Поставка этих датчиков для потребительского и промышленного рынка, и особенно для автомобильной электроники, позволила компании в 2011 г. получить доход в \$254 млн. [8,9]. Датчики от «Allegro» также выпускаются с логическим и линейным выходами, и часть из них представлена в табл. 2.

Датчики, предназначенные для контроля вращения ротора, содержат в компактном корпусе оптимизированную интегральную схему с элементами Холла, самарий-кобальтовый магнит и магнитопровод. Такое устройство допускает срабатывание в присутствии ферромагнитных цепей распределительного вала сразу после включения и на нулевой скорости. Примером устройства может служить датчик ATS657 из семейства устройств Allegro True Power – On State (TPOS).

Линейка датчиков от «Allegro» настолько обширна, что вряд ли может быть описана в рамках одной статьи. Заинтересованного читателя можно отослать к детальному обзору [9], в котором более подробно рассматриваются типы и характеристики интегральных датчиков Холла. В этом же обзоре приводится подробный анализ продукции и других крупных игроков рынка интегральных датчиков Холла: «Infilon Technologies» (Германия), «Micronas» (Швейцария) и «Melexis N.V.» (Бельгия). Разработчики узлов и аппаратуры для автоматизации, контроля параметров и т.д. найдут много интересного, изучая базовые продукты и обновленную продукцию этих компаний.

Ограниченная цель настоящей статьи заключается в том, чтобы рассмотреть только одно из многих возможных применений датчиков Холла: использование их в качестве ключевого элемента устройств для контроля и измерения тока и напряжения.

Датчики тока и напряжения

Измерение тока и напряжения – это, пожалуй, наиболее интересное и перспективное направление использования датчиков Холла. Объясняется это тем, что сегодня существует стабильно растущий спрос на современные автоматизированные системы (АС) контроля и управления предприятиями и технологическими процессами. Работа АС управления и контроля основывается на показаниях первичных датчиков и, прежде всего, датчиков тока и напряжения. Наличие таких датчиков позволяет не только повысить стабильность техпроцессов и качество готовой продукции, но и снизить цену изделий и количество брака. Однако специфика различных видов производств приводит к тому, что к датчикам тока и напряжения предъявляют самые разные, иногда даже взаимоисключающие требования. И тем не менее сегодня производители этих приборов предлагают настолько широкий спектр датчиков тока, что он способен удовлетворить требования самых взыскательных потребителей.

Ниже описываются основные принципы создания и реализации датчиков тока и напряжения, приводятся данные о зарубежных и российских поставщиках, доминирующих на этом рынке, и основные характеристики базовых моделей датчиков этих компаний.

Описание принципа работы датчиков тока (иногда «преобразователей тока») на основе датчиков Холла обычно сопровождается схемой, приведенной на рис. 4. Первичный проводник с измеряемым током проходит через чувствительный элемент, в качестве которого чаще всего используется магнитопровод из магнитомягкого материала. Создаваемый этим током магнитный поток концентрируется в магнитной цепи и преобразуется в воздушном зазоре с помощью находящегося там датчика Холла. Сигнал с датчика Холла усиливается и подается в обмотку на магнитопроводе. Магнитное поле, создаваемое током этой обмотки, компенсирует магнитное поле измеряемого тока. Датчик Холла в этом случае работает как элемент сравнения в очень узкой области характеристики преобразования, что обеспечивает малую нелинейность преобразования и низкую зависимость от индивидуального разброса параметров датчиков Холла. Компенсирующий ток является одновременно выходным током датчика с линейным токовым выходом.

В датчиках с пропорциональным среднеквадратичным выходным напряжением (обозначение RMS) описанная выше схема обработки сигнала дополнена детектором истинных среднеквадратических значений (True RMS). Сигнал, выделенный схемой получения линейного токового выхода, преобразуется этим детектором в положительное напряжение, значение которого пропорционально истинному среднеквадратичному значению измеряемого тока. В датчиках со стандартным интерфейсом «токовая петля 4-20 мА» схема с пропорциональным среднеквадратичным выходным напряжением дополнена схемой передатчика токового интерфейса «токовая петля 4-20 мА (0-20 мА)», формулирующего выходной токовый сигнал, пропорциональный истинному среднеквадратичному значению измеряемого тока.

Для устройства, схематично описанного на рис. 4, справедлива формула:

$$N_p I_p = N_s I_s,$$

где N_p и I_p – соответственно число витков и ток первичной обмотки датчика;

N_s и I_s – соответственно число витков и ток вторичной (компенсационной) обмотки датчика.

Иногда используются разновидности датчиков тока, содержащие два тороидальных магнитопровода и две величины

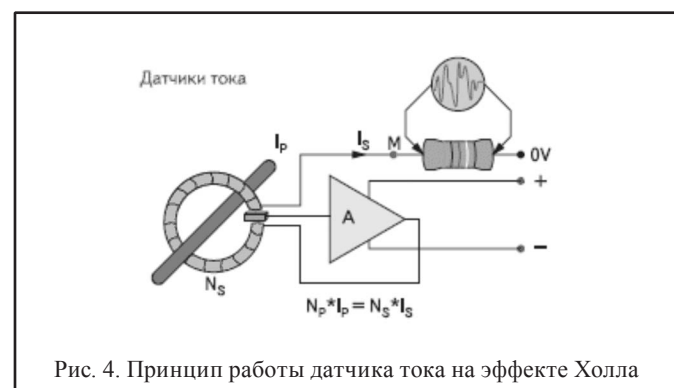


Рис. 4. Принцип работы датчика тока на эффекте Холла



Рис. 5. а) датчик LASS-TP и LA100-TP (в каталоге LEM они под номером 27 и 28); б) датчик EL100P2 и EL100P2BB; в) датчик ДТХ-50 и ДТХ-100

обмотки. В этом случае датчик работает на принципе компенсации Ампер-витков. Все чаще используются также датчики на основе полностью электронных технологий, т.е. не требующие обязательного использования магнитопроводов. Понятно, что датчики, не имеющие магнитопровода, гораздо легче и удобней в установке, они могут работать продолжительное время при максимальном токе без снижения точностных характеристик.

Резюмируя, можно еще раз перечислить основные преимущества устройств измерения тока на датчиках Холла: высокая точность в широком частотном диапазоне, отличная линейность и низкий температурный дрейф, небольшая масса и предельно низкое энергопотребление. И, главное, наличие гальванической развязки измерительного сигнала от первичной цепи.

Описанный выше принцип измерения тока с помощью датчика Холла позволяет также решить и проблему измерения напряжения. Для этого внутри или снаружи датчика напряжения в первичную цепь включается резистор. Если резистор встроен внутрь датчика, то измеряемое напряжение непосредственно прикладывается к входным контактам датчика. В этом случае ток резистора трансформируется во вторичный ток, пропорциональный первичному напряжению.

Сегодня большинство фирм, выпускающих датчики тока, включают в свою линейку и датчики напряжения, которые либо используют эффект Холла, либо сделаны по полностью электронной технологии. Безусловным лидером на рынке токовых датчиков является швейцарская фирма «LEM» (www.lem.com/ru).

Таблица 3

Основные характеристики типовых моделей датчиков тока фирмы Lem и их аналоги

№	Тип датчика	Основные технические характеристики датчиков				Соответствующий аналог	
		Номинальный входной ток, А	выходной ток/напряжение	Точность, %	Рабочий диапазон температур, °С	ABB	ОАО «НИИЭМ»
1.	LA55-P/S	50	50 мА	0,5	-25 ... +85	EL50P1	ДТХ-50 ДТТ-50
2.	LA100-P/SP13	100	100 мА	0,5	-25 ... +70	ES100C	ДТХ-100 ДТТ-100
3.	LA150-P	150	75 мА	0,9	-10 ... +80	HBO100	ДТХ-150 ДТТ-150
4.	LF205-S/SP1	200	100 мА	0,4	-40 ... +85	HBO200	ДТХ-Т-200
5.	LF305-S/SP10	300	150 мА	0,3	-40 ... +85	HBO300	ДТХ-300 ДИТ-300
6.	LA305-T/SP1	500	250 мА	0,3	-10 ... +85	HBO500	ДТХ-500 ДИТ-500
7.	HAT-800-S	800	4 В	1,8	-10 ... +85	HBO600	ДТХ-750 ДИТ-750
8.	LF1005-S	1 000	200 мА	0,3	-10 ... +85	CS1000-9940	ДТХ-1000 ДТХ-1000Ж
9.	LF2005-S	2 000	400 мА	0,2	-25 ... +70	CS2000BR	ДТХ-2000 ДТХ-2000Ж
10.	LT4000-T	4 000	800 мА	0,3	-25 ... +70	NCS125(T)-6AF	ДТХ-3000 ДТХ3000Ж
11.	LT10000-S	10 000	1 А	0,3	-25 ... +70	NCS125(T)-10AF	ДБТ-10 ДБТ15

Созданная в феврале 1972 г., она уже в 1973 г. внедрила датчик тока на 300 А в электрическую схему швейцарского троллейбуса. Сегодня LEM имеет 17 филиалов и офисов продаж в разных странах мира. При этом компания в 1999, 2003 и 2005 гг. последовательно избавлялась от непрофильного бизнеса и с 2006 г. занимается единственным бизнесом, обеспечивающим новые решения в области датчиков тока и напряжений. При этом динамика общего объема сбыта датчиков составила: в 2006 г. – 150 млн. швейцарских франков, в 2008 г. – 203 млн., в 2011-2012 гг. – 236,3 млн.

В области мировой торговли датчиками тока и напряжения конкуренцию этой фирме может составить, разве что компания «ABB», точнее, подразделение этого концерна во Франции [7]. Но эта компания кроме датчиков производит также контакторы, переключатели и логические контроллеры.

Конечно, на мировом рынке датчиков присутствуют и другие игроки, такие как «Honeywell Technologies», «Allegro» (США), «Sentron AG» (Швейцария) и китайские фирмы «3E Sensor Co.Ltd», «Ningbo CSR». Но детальное представление всех продуктов этих фирм просто невозможно. Поэтому в дальнейшем описании будут представлены только базовые, наиболее типичные датчики двух ведущих производителей – LEM и ABB – и, что немаловажно для российских потребителей, образцы отечественных датчиков.

Большинство российских производителей представлены датчиками на основе трансформаторов тока. Примером здесь могут служить датчики тока московской фирмы ЗАО «НПФ «Агрострой» (ДТ «ИПТ», ИПН и датчик напряжения «ДНД-1»), ООО «Гаммамет» из Екатеринбурга (датчики ДТ 124Н1-20/0,02, ДТ 424Н1-400/0,1) или белгородской фирмы ТПК «Электромашина» (датчики ДТ-1+ДТ-8).

Датчики тока и напряжения на основе эффекта Холла уже длительное время разрабатывает и производит ОАО «НИИЭМ». Эта фирма в г. Истра, Московской обл., как производитель прецизионной электротехнической аппаратуры для космических исследований, хорошо известна еще с 1960 г. Начиная с 1985 года, в рамках созданного Отделения датчиков, в ОАО «НИИЭМ» разработано и запущено в производство более 300 модификаций различных датчиков (www.niie46.ru). Эти приборы позволяют измерять и контролировать любые виды токов от единиц миллиампер и до десятков килоампер, напряжение постоянного и переменного токов до 5000 В.

В табл. 3 приведены основные технические характеристики базовых моделей датчиков тока LEM и соответствующих аналогов этих датчиков компаний ABB и ОАО «НИИЭМ». Сегодня на основе базовых моделей созданы многочисленные разновидности датчиков, отличающихся корпусом, вариантами расположения и подключения выводов, надежностью, степенью изоляции и т.д. Однако у современных датчиков тока видна и общая тенденция:

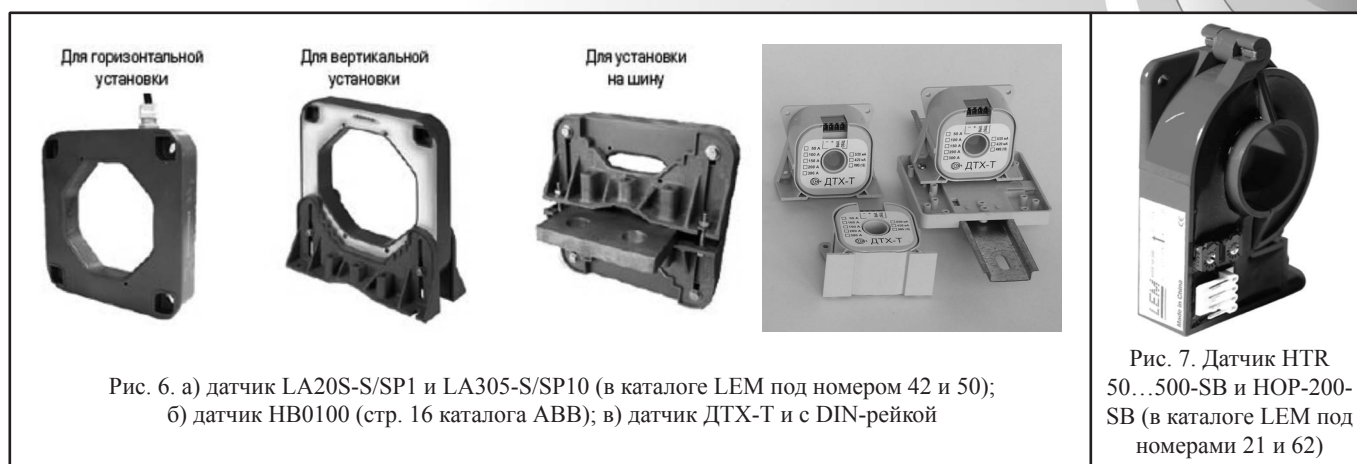


Рис. 6. а) датчик LA20S-S/SP1 и LA30S-S/SP10 (в каталоге LEM под номером 42 и 50); б) датчик HB0100 (стр. 16 каталога ABB); в) датчик ДТХ-Т и с DIN-рейкой

Рис. 7. Датчик НТР 50...500-SB и НОР-200-SB (в каталоге LEM под номерами 21 и 62)

они становятся все более интеллектуальными. Для этого в корпус датчика помимо чувствительного элемента интегрируются все необходимые схемы обработки, предназначенные для приведения выходного сигнала к одному из стандартных типов, а также для обеспечения стабильности и повторяемости функций преобразования.

В табл. 3 датчики №1-3 предназначены для монтажа на печатную плату (рис. 5 а, б, в), что весьма важно для производителей, поскольку для снижения затрат времени электронные компоненты, как правило, монтируются автоматически на линиях сборки печатных плат. Датчики в этом случае могут быть как с отверстием для первичного проводника, так и со встроенной токовой шиной. При этом, например, для снижения цены, НИИЭМ разработал кроме универсальных датчиков ДТХ серию приборов ДТТ для измерения только переменных токов. Фирма LEM разработала и комплектует свои приборы специализированной микросхемой ASIC, которая позволяет снизить величину и дрейф начального смещения, уменьшить энергопотребление благодаря использованию микроконтроллера (серия датчиков LTS).

При измерении токов свыше 150 А целесообразно использовать датчики в пластмассовых корпусах, которые можно крепить в горизонтальном или вертикальном положении, или на самом кабеле (рис. 6 а, б, в). Датчики серии ДТХ-Т (рис. 6 в) также можно крепить на DIN-рейке.

Если же требуется установить датчики тока в существующую установку, не отсоединяя первичного проводника, или же необходимо использовать датчики на производствах с непрерывным циклом работы – для этих целей незаменимы разъемные датчики тока. Примером таких датчиков LEM могут служить приборы НТР 50...500-SB и НОР 200...600-SB (рис. 7). Разъемные датчики НИИЭМ под круглую шину представляет

серия ДТР (рис. 8 а, б), а под плоскую шину – датчики ДТХ-1000Ж...3000Ж (рис. 8 в).

Как правило, все датчики требуют двуполярного питания ± 15 или ± 24 В и имеют выход в виде тока, пропорционального первичному сигналу. Однако путем выбора нагрузочного резистора можно получить сигнал в виде напряжения. В случае однополярного питания выходной сигнал изменяется относительно ненулевого опорного напряжения.

Датчики тока для промышленной автоматизации имеют нормированный, гальванически развязанный выход, позволяющий непосредственно подключать их к различным системам управления технологическими процессами. Они способны измерять все виды токов и, по требованию заказчика, имеют на выходе пропорциональный сигнал, сигнал эффективного значения (RMS) или истинного эффективного значения (True RMS). Также возможен выбор нормированного диапазона этого сигнала: (0-20) мА, (4-20) мА, (0-5) В, (0-10) В. Некоторые датчики имеют ключевой или релейный выход, т.е. обладают функцией определения порогового уровня. Такой датчик тока – реле подробно описан в работе [10].

Таблица 4 дает представление о типовых моделях датчиков напряжения со встроенным первичным резистором и без него. В первом случае напряжение, которое надо измерить, прикладывается непосредственно к первичным клеммам датчика. При работе с датчиками без встроенного резистора пользователь включает последовательно с датчиком напряжения первичный резистор. Величина этого резистора выбирается в соответствии с измеряемым напряжением. Выходной сигнал датчиков напряжения также нормируется в соответствии с требованиями разработчиков.

Каждая из компаний, представленных сегодня на рынке, работает на опережение и время от времени представляет

Таблица 4

Основные характеристики типовых моделей датчиков напряжения фирмы LEM и их аналоги

№	Тип датчика	Основные технические характеристики датчиков			Соответствующий аналог		
		Номинальное входное напряжение, В	Номинальный выходной ток	Точность, %	Рабочий диапазон температур, °С	ABB	ОАО «НИИЭМ»
1.	LV25-PB (без резистора)	от 10 до 500	25 мА	0,9	0...+70	EM010	ДНХ ДНХ-01 ДНТ-051
2.	LV200-AW/29 (без резистора)	от 100 до 2500	100 мА	0,5	-25...+70	VS250B VS3000B	ДН -03
3.	LV100-500 (со встроенным резистором)	500	50 мА	0,8	0...+70	EM010-9239	-
4.	LV100-4000 (со встроенным резистором)	4000	50 мА	0,8	0...+70	EM010-9318 EM010-9354	ДНХ-3000-Л



Рис. 8. Разъемные датчики ДТР-01 (б) и ДТР-03 (а) под круглую шину и ДТХ-1000Ж...3000Ж (в) под плоскую шину

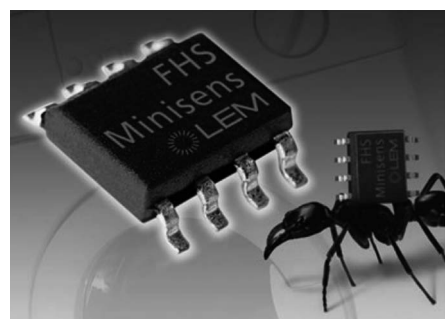


Рис. 9. Миниатюрный датчик тока LEM Минисенс FHS (страница 26 каталога LEM)

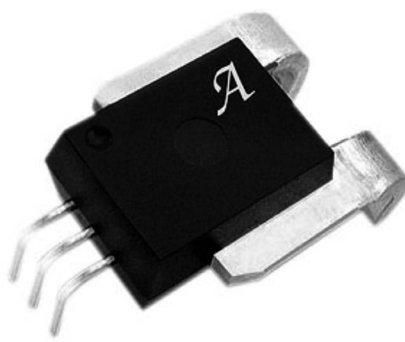


Рис. 10. Датчик тока ACS фирмы Allegro



Рис. 11. Общий вид датчика NCS от ABB

новые инновационные решения. Компания LEM, например, с целью миниатюризации и снижения стоимости, предлагает новый датчик тока, получивший название Минисенс F-HS, который изготовлен в 8 выводном корпусе для поверхностного монтажа (рис. 9) по технологии CMOS. Кроме необходимой электроники, это интегральное устройство содержит датчик Холла и концентратор магнитного поля. Изоляция датчика обеспечивается путем установки его на сторону печатной платы, противоположную проводнику с измеряемым током. Датчик Минисенс способен измерять постоянный и переменный токи в диапазоне от 2 до 100 А.

Такие же малые габариты у датчиков тока ACS 750 (рис. 10) фирмы «Allegro Microsystems», что делает перспективным их использование в бытовой технике и автомобильной электронике. Датчик серии ACS реализован на основе интегральной схемы с датчиком Холла и содержит встроенную магнитную цепь. Основным недостатком такого датчика тока является необходимость разрыва измеряемой токовой цепи, в который интегрируется датчик. Но этот недостаток компенсируется тем, что датчик вносит предельно малые потери в измеряемую цепь (сопротивление между выводами датчика всего 130 мкОм). Он способен измерять токи $\pm 50, 70$ и 100 А и не требует какой-либо подстройки в конечном устройстве, а полная погрешность измерения при температуре 25°C составляет 1%. При этом встроенная схема обеспечивает защиту интегральной схемы при импульсных напряжениях на выводах.

Крупные предприятия электрохимической и электрометаллургической отраслей, использующие большие токи, предъявляют другие, весьма специфические требования к датчикам тока. И здесь представляет интерес полностью электронный датчик тока серии NCS фирмы «ABB». Объявленный датчик NCS165 способен измерять любой вид тока до 20000 А, при этом его масса не более 1,5 кг, а наличие специальных L-образных скоб позволяет упростить его монтаж на токовую шину при максимальном размере окна под шину 165 мм (рис. 11).

В датчике больших токов ДБТ от НИИЭМ размер этого окна увеличен до 400 мм. Надежность таких датчиков ДБТ-10 подтверждена безаварийной промышленной эксплуатацией этих приборов в течение 8 лет на Иркутском алюминиевом заводе в г. Шелехов. Немаловажно также, что конструкция датчиков ДБТ содержит специальную метрологическую обмотку, что позволяет проводить проверку этих приборов без демонтажа непосредственно на токовой шине.

Логическим продолжением описанных выше приборов является датчик измерения активной мощности ДИМ от ОАО «НИИЭМ». Датчик аппаратно реализует вычисление мощности

$P=I \cdot U$ и преобразует активную мощность, потребляемую нагрузкой, в пропорциональный сигнал интерфейса (0-20) мА или (4-20) мА, гальванически изолированного от измерительных цепей. Датчик выпускается в двух модификациях: ДИМ (диапазон мощностей 5-200 кВт) и ДИМ-1Ф (1 кВт). При этом диапазон входных напряжений для ДИМ колеблется от 20 до 380 В, а диапазон входных токов составляет от 20 до 600 А. Коэффициент мощности ($\cos \phi$) на частоте 50 Гц составляет 0,3-1, основная приведенная погрешность 1,5÷2%.

Описанные выше датчики и устройства на их основе, безусловно, не отражают всей широкой номенклатуры этих приборов, тем более, что в статье перечислены далеко не все производители этой техники. Эта статья может служить только стимулом для разработчиков приборов и АСУ, чтобы более подробно ознакомиться с характеристиками новых приборов и, в зависимости от назначения, активно применять их в своей практике.

Литература

1. А. Кобуси др. «Датчики Холла и магниторезисторы». Перевод с польского под ред. Хомерики О.К., М. «Энергия», 1971 г.
2. В. Тихонов и др. «Датчики Холла для бесконтактных электродвигателей постоянного тока». «Труды ВНИИЭМ», 1976 г., т. 44, с. 26-35.
3. Г. Портной и др. «Датчики Холла на основе эпитаксиальных пленочных структур арсенида галлия». «Приборы и системы управления», 1976 г., №3, с. 42-45.
4. Г. Портной и др. Исследование гетероэпитаксиальных слоев InAs и датчиков Холла на их основе». «Электронная техника», 1979 г., сер. 6, вып. 9, с. 44-48.
5. Э. Козн. «Миниатюрные полупроводниковые магнитные датчики Холла». «Электроника», 1979 г., №2, с. 18-20.
6. К. Староверов. «Интегральные датчики Холла компании Honeywell». «Новости Электроники», 2010 г., №1, с. 9-13.
7. А. Чекмарев. «Датчики тока и напряжения ABB – от печатной платы до преобразователей – гигантов». «Силовая электроника», 2006 г., №3, с. 56-57.
8. А. Данилов. «Современные промышленные датчики тока». «Современная электроника», 2004 г., №10, с. 26-35.
9. С. Сысоева. «Датчики магнитного поля». «Компоненты и технологии» 2012 г., №1, с. 19-32.
10. Г. Портной и др. «Новые компоненты на рынке бесконтактных датчиков тока». «Компоненты и технологии» 2012 г., №9, с. 54-55.