

Современные промышленные датчики тока

Андрей Данилов (Москва)

В статье приведён обзор промышленных датчиков тока, основанных на различных физических принципах и работающих в диапазонах токов от единиц микроампер до десятков килоампер.

Достоверное измерение токов в энергетическом и управляющем оборудовании является важным аспектом обеспечения высокой надёжности и безопасности промышленных систем и электронных приборов. Специализированные датчики также применяются для определения разбаланса токов, мониторинга и диагностики цепей, запуска схем защиты, обнаружения отказов электрооборудования и аварийных состояний различных типов нагрузок.

Существует множество методов измерения тока, однако в промышленности наиболее широко применяются три: резистивный, на основе эффекта Холла и трансформатора тока; последний может быть использован только в цепях переменного тока. Датчики тока, реализованные на базе указанных методов, имеют свои достоинства и недостатки, определяющие области их применения. В таблице 1 представлены основные характеристики перечисленных методов измерения.

Резистивные датчики – самые дешёвые, линейные и точные. Однако им присущи потери, вносимые в цепь измерения, отсутствие гальванической развязки, ограничение полосы пропускания, обусловленное паразитной индуктивностью большинства мощных резисторов, а также саморазогрев и термоЭДС при больших токах, снижающие точность измерения. Низкоиндуктивные измеритель-

ные резисторы существенно дороже, но могут быть использованы для измерения токов в диапазоне частот до нескольких мегагерц. Для усиления или обработки напряжения, выделяющегося на токочувствительном резисторе, необходим дифференциальный усилитель или компаратор, обладающий достаточным КОСС, особенно вблизи питающих напряжений.

Первые промышленные датчики на основе эффекта, открытого в 1897 г. американским физиком Эдвином Холлом (Edwin H. Hall, 1855–1938), были разработаны в конце 1960-х. Однако широкое использование интегральных и гибридных датчиков тока на основе эффекта Холла долгое время сдерживалось их высокой стоимостью. К началу 1990-х были разработаны новые технологии, позволившие значительно снизить себестоимость производства самих ячеек Холла и интегральных схем на их основе. Это обусловило бурный рост предложения промышленных датчиков тока и других магниточувствительных полупроводниковых приборов.

Эффект Холла заключается в появлении напряжения на концах полоски проводника или полупроводника, помещённого перпендикулярно силовым линиям магнитного поля (см. рис. 1). Для меди напряжение Холла составляет ± 24 мкВ/кГс, для полупроводника – свыше ± 110 мВ/кГс (с учётом направлений магнитного по-

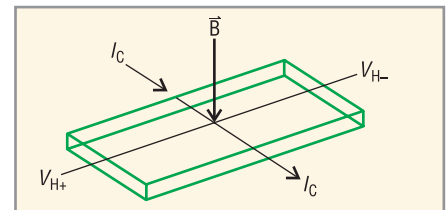


Рис. 1. Возникновение ЭДС Холла (VH)

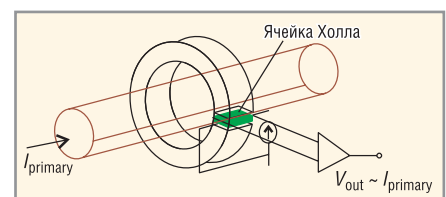


Рис. 2. Холловский датчик тока разомкнутого типа

ля и тока), что вполне достаточно для построения промышленных датчиков тока, главными преимуществами которых является отсутствие вносимых потерь и «естественная» гальваническая развязка. В линейных датчиках Холла выходное напряжение пропорционально приложенному магнитному полю, за исключением режимов симметричного насыщения. По сравнению с резистивными датчиками тока, приборы на основе ячейки Холла имеют более узкий частотный диапазон, паразитное напряжение смещения (в некоторых конструкциях), низкую точность, высокую стоимость и требуют для работы внешний источник питания.

На рис. 2 и 3 схематически представлены две основные разновидности датчиков тока на основе эффекта Холла – разомкнутого и замкнутого типов соответственно, где $I_{primary}$ – ток в первичной цепи, $I_{secondary}$ – ток во вторичной цепи, V_{out} – выходное напряжение усилителя, пропорцио-

Таблица 1. Сравнительные характеристики распространённых методов измерения тока

Датчик	Ток	Диапазон измерения, А	Гальваническая развязка	Вносимые потери	Внешний источник питания	Частотный диапазон, кГц	Погрешность измерения тока, %	Относительная стоимость
Резистор	Постоянный	<20	Нет*	Есть	Нет	~100	<1	Очень низкая
	Переменный	Нет*				>500		Низкая
Ячейка Холла	Постоянный и переменный	<1000	Есть	Нет	Есть	~200	<10	Средняя/высокая
Трансформатор тока	Переменный	<1000	Есть	Есть	Нет	Сеть переменного тока	<5	Высокая

* Возможна с внешним источником питания

нальное току в первичной цепи. Датчики замкнутого типа (с компенсирующей обмоткой) обеспечивают высокую точность, в несколько раз более широкую полосу пропускания и, как правило, не имеют выходного смещения при нулевом токе. Их чувствительность прямо пропорциональна числу витков компенсирующей обмотки. Однако по стоимости они приближаются к трансформаторам тока.

Датчики на базе трансформаторов тока (ТТ) обычно работают на сетевой частоте (50, 60 или 400 Гц) и, естественно, не могут использоваться в цепях постоянного тока. Их стоимость превышает стоимость приборов на основе эффекта Холла. К преимуществам трансформаторных датчиков тока следует отнести отсутствие вносимых потерь и напряжения смещения при нулевом токе, а также гальваническую развязку с высоким пробивным напряжением. Кроме того, они не нуждаются в дополнительном источнике питания. Недостатком ТТ является насыщение сердечника при наличии в первичном токе постоянной составляющей, что приводит к необратимой деградации точности преобразования. Для решения этой проблемы при изготовлении сердечника используют материалы с высокой магнитной проницаемостью, что, однако, увеличивает фазовый сдвиг в цепи измерения, уменьшает динамический диапазон и термостабильность.

Серьезную конкуренцию резистивным датчикам по точности могут составить магнитооптические датчики, в которых измеряемый ток пропорционален поляризации света либо разности фаз когерентного излучения, а также оптические датчики на основе эффекта Фарадея.

Всё большую популярность приобретают магниторезистивные (МР) датчики тока (на базе анизотропного МР-эффекта), которые обеспечивают точность и линейность до 0,1...0,2% при измерении постоянных и переменных (до 500 кГц) токов до 200 А и не вносят потерь. Однако для работы им требуется внешний источник питания и отсутствие внешних магнитных полей. Последняя проблема в значительной мере снимается применением пар магниторезисторов, расположенных последовательно для магнитного поля проводника и

встречно – для магнитного поля внешней помехи. Для получения приемлемой температурной стабильности и высокой помехоустойчивости магниторезисторы ИС датчика, как правило, соединяются по мостовой схеме, а МР-датчики замкнутого типа снабжаются компенсаторами (см. рис. 4). Дополнительными преимуществами магниторезистивных датчиков тока являются: значительно меньшие размеры и вес, а также существенно более высокая чувствительность по сравнению с холловскими датчиками и трансформаторами тока, отсутствие остаточной намагниченности после перегрузки, широкий частотный диапазон благодаря низкой индуктивности магниторезисторов.

В качестве датчиков переменного тока используются и катушки Роговского, которые обрели «второе дыхание» в сочетании с современными недорогими цифровыми процессорами обработки сигналов (ЦПОС, DSP), оборудованными встроенными АЦП и используемыми в данном случае для точного цифрового интегрирования. В результате были разработаны промышленные датчики, в которых погрешность измерения тока в диапазоне от 70 мА до 70 А не превышает 0,1% при 25°C. Принцип работы этих датчиков основан на измерении напряжения на выводах прямоугольной проводящей рамки, размещённой рядом с проводником. Ток, протекающий по проводнику, создаёт вокруг него пропорциональное магнитное поле, изменения которого наводят ЭДС в измерительной рамке (см. рис. 5). Плоскость каждой из соединённых последовательно рамок перпендикулярна силовым линиям поля. Для вычисления тока необходимо проинтегрировать напряжение по

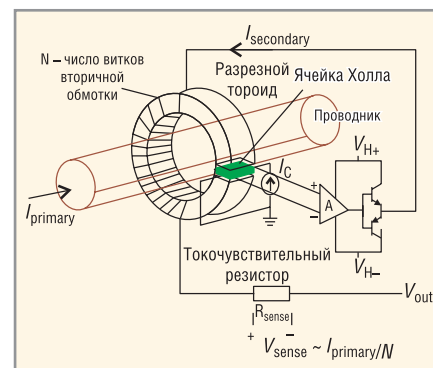


Рис. 3. Холловский датчик тока замкнутого типа

времени. Основной проблемой датчиков на базе катушки Роговского является обеспечение надёжной защиты от внешних магнитных полей, особенно низкочастотных (экранирование здесь неэффективно), которые могут существенно увеличить погрешность измерения. По сравнению с ТТ эти датчики компактнее, легче, дешевле, обеспечивают весьма широкую полосу частот и, поскольку сердечник отсутствует, не насыщаются при больших токах.

Рассмотрим более подробно различные датчики тока, предлагаемые ведущими мировыми производителями.

Практически невозможно найти или придумать электронное устройство, в котором бы не использовались резистивные датчики тока. Высококачественные низкоомные токоизмерительные резисторы выпускают компании Vishay (Vishay Intertechnology), IRC (TT Electronics), Panasonic (Electronic Components Division of Panasonic Industrial Company) и KOA (KOA Speer Electronics). Наиболее популярными являются безвыводные резисторы для поверхностного монтажа с номиналами от 0,01 до 1 Ом, паспорт-

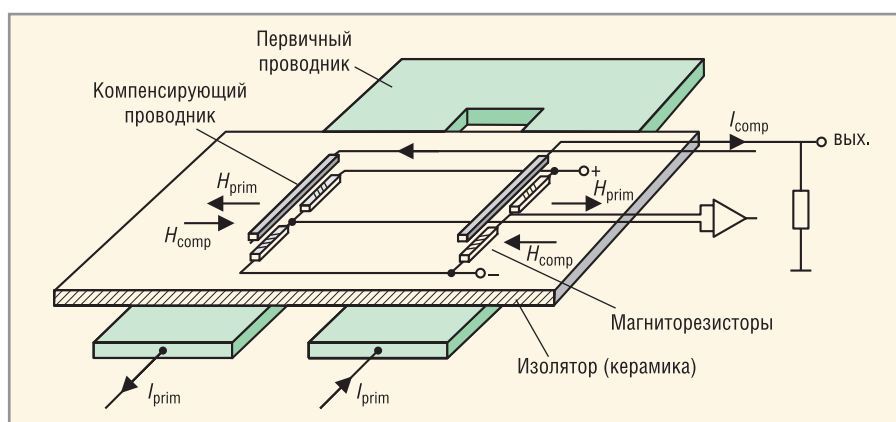


Рис. 4. Магниторезистивный датчик тока

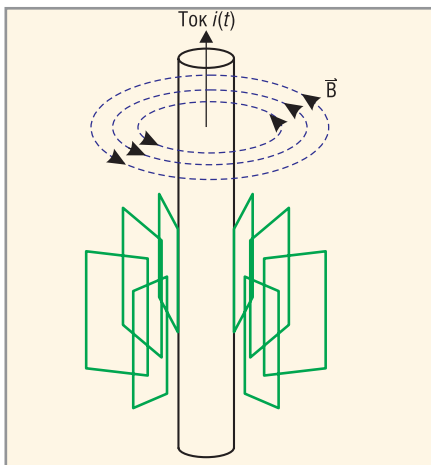


Рис. 5. Схематическое изображение датчика тока с использованием катушки Роговского

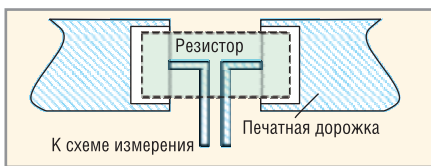


Рис. 6. Посадочное место токоизмерительного резистора (SMD) на печатной плате

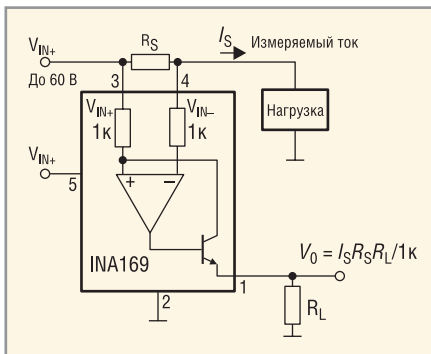


Рис. 7. Измерение тока при помощи специализированного усилителя INA169

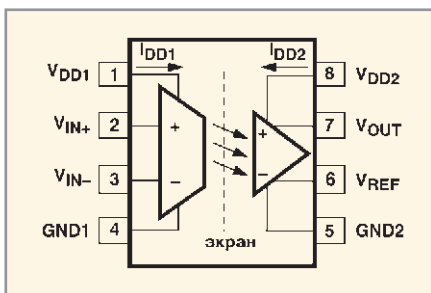


Рис. 8. Цоколёвка ИС типа HCPL-7510/7520

ной мощностью до 5 Вт и допуском $\pm 0,5\%$ и $\pm 1\%$. Номинал, рассеиваемая мощность и ТКС, как правило, выбираются таким образом, чтобы в реальных условиях эксплуатации уход сопротивления резистивного датчика из-за саморазогрева не превышал $0,1\%$ (1000 ppm) при максимальном падении напряжения порядка 100 мВ. Для обеспечения высокой разрешающей способности измере-

ния, с учетом шумовых параметров большинства специализированных ИС для измерителей тока предпочтительным является номинал $0,02 \text{ Ом}$, вносящий минимальное возмущение в измеряемую цепь с током 5 А. В цепях с большими токами используют резисторы $0,00025...0,01 \text{ Ом}$. Для особо точных измерений применяют резисторы с четырьмя выводами, два из которых являются токовыми, а два других – потенциальными (т.н. схема Кельвина), либо выполняют специальный рисунок печатной платы с отводами для измерительной схемы (см. рис. 6). В таблицах 2 и 3 представлены основные серии токоизмерительных резисторов упомянутых выше производителей.

Технология Power Metal Strip® (серии WSL, WSR), разработанная и запатентованная компанией Vishay, обеспечивает паспортную мощность в диапазоне температур до 70°C и половину мощности при температуре 175°C (серия WSR). Паразитная индуктивность резисторов серии WSL составляет $0,5...5 \text{ нГн}$, ТКС – от ± 50 до $\pm 275 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ (± 15 для серий WSLxxxxE). Резисторы серии WSK-2512 имеют четырёхвыводную конструкцию и ТКС от ± 35 до $\pm 250 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. Металлопленочные резисторы серии WSF обеспечивают ТКС от ± 25 до $\pm 100 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. Проволочные резисторы серии WSC герметизированы эпоксидной смолой или термопластиком, а новейшей серии WSZ – цементом или кремнием. Паразитная индуктивность проволочных резисторов серии WSN снижена при помощи бифилярной намотки.

Металлофольговые резисторы серии CSM обеспечивают ТКС не более $\pm 15 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, долговременную стабильность $\pm 0,1\%$ и оборудованы несимметрично раздвоенными полосковыми выводами (только CSM3637).

Высокотемпературные резисторы серии ERJ-M1W производства компании Panasonic имеют паразитную индуктивность не более 1 нГн. Керметные толстопленочные резисторы серий ERJ-L и ERJ-R снабжены трёхслойными электродами.

Керамические огнестойкие проволочные резисторы серии 4LPW производства компании IRC оборудованы четырьмя выводами, имеют ТКС не более $\pm 40 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ и выдерживают постоянный ток до 20 А.

В таблице 4 приведены основные параметры четырёхвыводных токоизмерительных резисторов большой мощности американской компании KERSO. При установке на алюминиевый теплоотвод площадью 950 см^2 и толщиной 5 мм резисторы могут работать в измерительных схемах с падением напряжения до 1 В.

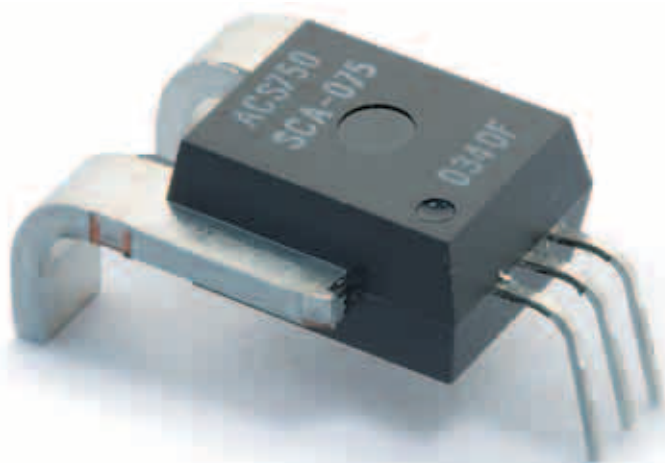
Высокочастотные проволочные четырёхвыводные резисторы серии SM-4 производства американской фирмы Precision Resistor имеют номиналы $0,005...0,03 \text{ Ом}$ и паспортную мощность от 1,25 Вт до 7,5 Вт. Отличительными особенностями этих резисторов являются исключительно малый допуск $\pm 0,005\%$, очень низкий ТКС ($0... \pm 15 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$) и высокая долговременная стабильность ($\pm 0,005\%$ за год).

Для обработки напряжения на токоизмерительных резисторах применяются как стандартные дифференциальные измерительные усилители, например, INA118, MAX4372 и аналогичные, так и специализированные ИС, например, типа INA169 фирмы Texas Instruments/Burr-Brown, схема включения которой приведена на рис. 7. Потребляемый ток ИС составляет всего 60 мкА, полоса пропускания – до 440 кГц, типовое значение КОСС = 115 дБ на постоянном токе. В диапазоне падения напряжения $V_{\text{SENSE}} = 10...150 \text{ мВ}$ на токочувствительном резисторе R_s крутизна преобразования равна 1 мА/В (выходное сопротивление 1 ГОм), погрешность линейности не превышает $\pm 0,1\%$ (типичное значение $0,01\%$), максимальное значение полной погрешности измерения составляет $\pm 2\%$ (типичное $0,5\%$).

Компания International Rectifier выпускает высоковольтные (до 600 В) специализированные ИС типа IR2170/2175, предназначенные для работы в резистивных датчиках тока. ИС преобразуют падение напряжения в ШИМ-сигнал с несущей частотой 130 кГц, что удобно для построения схем управления двигателями, а также активными нагрузками.

Для обеспечения гальванической развязки резистивного датчика тока и схемы управления компания Agilent Technologies выпускает микросхемы HCPL-7510/7520, цоколёвка которых приведена на рис. 8. Испытательное напряжение ИС составляет 3750 В.с.к. в течение 1 мин. Гальва-

Высокая точность измерений, хорошая повторяемость характеристик



Датчики тока фирмы ALLEGRO
серии ACS750 на эффекте Холла

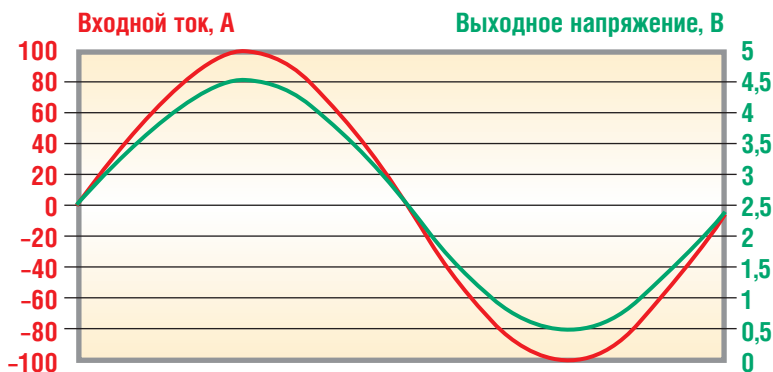
ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА

- Высокое напряжение изоляции 2500 В
- Малое внутренне сопротивление 120 мОм
- Погрешность измерений менее 1%
- Датчики на 50, 75 и 100 А
- Расширенный температурный диапазон -40...+150°C

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- Датчик имеет интегрированную силовую шину
- Напряжение на выходе датчика пропорционально току на его входе
- Возможность измерения постоянного и переменного тока

ЗАВИСИМОСТЬ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДАТЧИКА ОТ ТОКА



ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

- Автомобильная электроника
- Бытовая техника
- Источники питания
- Управление электроприводом

Таблица 2. Токоизмерительные резисторы, выпускаемые ведущими мировыми производителями для поверхностного монтажа (SMD)

Производитель	Серия	Паспортная мощность, Вт	Диапазон сопротивлений, Ом	Допуск, ±, %
Vishay	WSL0805	0,125; 0,5	0,01...0,2	0,5; 1
	WSL1206	0,25; 0,5	0,002...0,2	
	WSL2010	0,5; 1	0,001...0,5	
	WSL2512	1; 2	0,001...0,5; 0,01	
	WSL1506E	0,25	0,5...10K	
	WSL2010E	0,5	0,5...10K	
	WSL2512E	1	0,5...10K	
	WSR-2	2	0,001...1	0,5; 1; 5
	WSR-3	3	0,001...0,2	
	WSC-1/2	0,5	0,1...4,99	
	WSC-1	1	0,1...2,77K	
	WSC-2	2	0,1...4,92K	
	WSC2515	1	0,1...2,77K	
	WSC4527	2	0,1...4,92K	
	WSC6927	3	0,1...8K	
	WSF2012	0,5	5...1,43K	
	WSF2515	1	26,5...10K	
	WSF4527	2	10...100K	
	WSL3637	3	0,003...0,01	
	WSK2512	1	0,001...0,025	
WSZ6720	1,8	1...3,3K	1; 2; 5; 10	
WSZ7532	3,75	1...15K	1; 2; 5; 10	
CSM2512	1	0,003...0,2	0,1; 0,5	
CSM3637	2; 3	0,002...0,2	0,1; 0,5	
IRC	LR(F)1206	0,5	0,005...1	1; 2; 5
	LR(F)2010	1	0,003...1	
	LR(F)2512	2		
	LRF3W	3		
	SC3	3	1...350	
	D2PAK (T0263)	25	0,2...1K	1
	WSML1	1	0,005...10K	1; 5
	WSML2	2		
	OARS	1	0,003...0,05	1; 2; 5
	CSS		0,0005...0,002	1; 3; 5
	PWC0805	0,125	1...10M	0,5; 1; 5
	PWC1206	0,33		
	PWC2010	0,75		
	PWC2512	1,5		
	CSC/GSL	5	0,001...0,005	1; 5
	OLV	1; 3; 5	0,003...0,03	5; 10
	WSM1	1	0,01...1K	1; 5
WSM2	2	0,01...2K		
WSM3	3	0,01...10K		
KOA	SR73	-	0,024...10	1; 2; 5
	SL1	1	0,005...1M	1; 5
	SL2	2		
	NPR1	1		
	NPR2	2		
	TLR3A	1	0,001...0,004	
	TLR2B	0,5	0,002...0,02	1
	UR732A	0,125	0,033...0,1	1; 5
	UR732B	0,25	0,002...0,02	
	LR72	0,25; 0,5; 1	0,002...0,008	5
CSR	1; 2	0,005...0,05	0,5; 1	
Panasonic	ERJ-M1W	1	0,002...0,02	1; 5
	ERJ-xR	-	0,1...9,1	1; 2; 5
	ERJ-LOx	-	0,047...0,1	5
	ERJ-Lxx	-	0,002...0,1	1; 5

ническая развязка выдерживает синфазную помеху до 15 кВ/мкс при постоянном синфазном напряжении 1000 В. Полоса пропускания равна 100 кГц, погрешность линейности 0,06%, погрешность коэффициента передачи ±3% (7510) и ±5% (7520). ИС выполнены в стандартных корпусах DIP8.

Компания Sypris предлагает широкую номенклатуру функционально законченных холловских датчиков тока разомкнутого и замкнутого типов производства F.W.Bell, основные характеристики которых приведены в таблицах 5 и 6 соответственно.

Компания Allegro MicroSystems выпускает разнообразные датчики Холла с логическим и линейным выходами, а также прецизионные линейные датчики тока разомкнутого типа. В таблице 7 приведены основные параметры ИС датчиков Холла с линейным выходом, со стабилизацией прерыванием, компенсирующей постоянное смещение в канале измерения (серии A132xx и A351xx), и без стабилизации прерыванием (модель UGN3503). В данном случае эквивалентная точность ИС определена как изменение выходного напряжения в рабочем диапазоне температур, поделенное на типовую чувствительность.

На рис. 9 приведена функциональная схема малогабаритных интегрированных (со встроенной магнитной цепью) датчиков тока серий ACS750/752 компании Allegro MicroSystems, реализованных на основе ИС датчиков Холла со стабилизацией прерыванием (Dynamic Offset Cancellation). Стабилизация прерыванием заключается в периодическом (с частотой 170 кГц) переключении квадратных (перпендикулярных друг другу) выводов ячейки Холла при помощи входного коммутатора, последующим дифференциальным усилением, стробированием и запоминанием плоского участка импульса при помощи устройства выборки-хранения и НЧ-фильтрацией полезного сигнала. Фактически переключаются выводы питания и сигнала ячейки Холла, что позволяет компенсировать некоторые составляющие напряжения смещения (в том числе при нулевом токе), обусловленные градиентами сопротивления, геометрическими неоднородностями, пьезорезистивными эффектами и т.д. Высо-

кая точность датчиков обеспечивается оригинальным технологическим процессом самосовмещения, используемым при сборке, и заводской подстройкой резисторов на кристалле ИС, в ходе которой с большой точностью совмещаются линейные области усилителя и магнитной цепи.

На рис. 10 показан внешний вид и цоколевка датчиков. Они выпускаются на номинальный ток ± 50 , ± 75 и ± 100 А, который указан в их обозначении, например, ACS750хСА-100, где буква «х» заменяет буквы S, L или E, соответствующие температурному диапазону прибора (см. табл. 6). Датчики не требуют какой-либо подстройки в конечном устройстве и вносят очень малые потери в измеряемую цепь, поскольку сопротивление между выводами 4 и 5 первичной цепи (см. рис. 10) равно всего 130 мкОм. Максимально допустимый ток составляет 225 А при длительности импульса 1 с и скважности 10. Микросхемы выдерживают в течение 1 мин испытательное напряжение 3000 В с.к.з./60 Пд, приложенное между выводами 1, 2, 3 и 4, 5. Полоса пропускания ИС составляет 13 кГц, время задержки 4 мкс, время нарастания выходного напряжения 26 мкс. Типовая чувствительность 100-амперных приборов равна 19,75 мВ/А, 50-амперных – 40 мВ/А. Размах шумового напряжения на выходе, измеренный в полосе 24 кГц, составляет 14 мВ для ИС с номинальным током 50 А и пропорционально снижается при расширении диапазона измерения тока. Полная погрешность измерения при окружающей температуре 25°C составляет $\pm 1\%$ для приборов ACS752-100 и $\pm 1,5\%$ для приборов ACS750-100. Максимальное напряжение питания равно 16 В. Встроенная схема обеспечивает защиту ИС при импульсных перенапряжениях на выводах.

Фирма Sentron производит недорогой линейный холловский датчик типа CSA-1V, размещенный в корпусе SOIC-8 и оптимизированный для измерения постоянного и переменного (до 100 кГц) тока. ИС выполнена по стандартной КМОП-технологии с дополнительным ферромагнитным слоем, который используется в качестве концентратора магнитного потока и обеспечивает повышение чувствительности схемы измерения. Датчик предназначен для установки непосредственно над печатной дорожкой

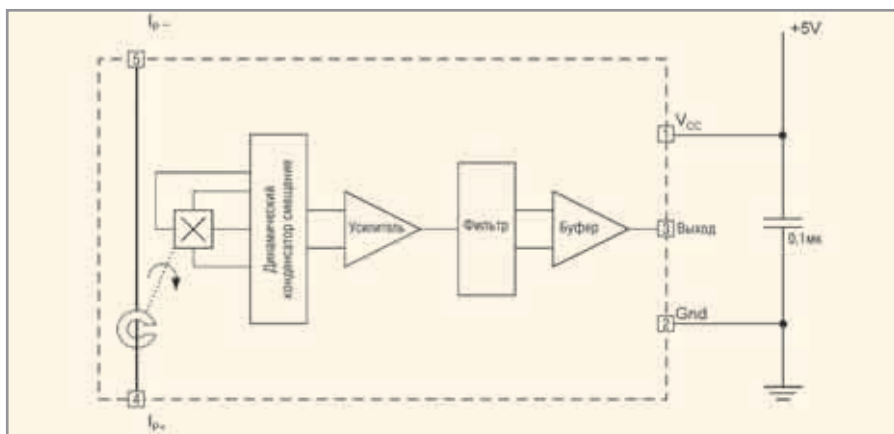


Рис. 9. Функциональная схема интегрированных датчиков тока серии ACS75х фирмы Allegro MicroSystems

(строго параллельно её поверхности), ток которой необходимо измерять. Максимальный ток, регистри-

руемый прибором, составляет ± 30 А и может быть подстроен путем изменения геометрии проводника печатной

Таблица 3. Токоизмерительные резисторы, выпускаемые ведущими мировыми производителями для навесного монтажа

Производитель	Серия	Паспортная мощность, Вт	Диапазон сопротивлений, Ом	Допуск, ±, %
Vishay	SR5	5	0,004...0,05	1; 5
	SPU	1; 2; 4; 5	0,001...0,5	1; 0,25; 0,5; 1; 3; 5
	CPL	3; 5; 7; 10; 15	0,01...0,1	1; 2; 3; 5; 10
	CPSL			3; 5; 10
	SPR	1; 3; 5	0,0005...0,25	0,5; 1; 1,5
	LVR	1; 3; 5; 10	0,005...0,8	1; 3; 5; 10
IRC	OAR	1; 2; 3	0,005...0,1	1; 5
	TFP (T0220)	20	0,01...1K	1; 5; 10
	LOB	1; 3; 5	0,005...0,1	1; 5
	PLW	3; 5; 7; 10; 15	0,005...0,18	1; 2; 3; 5; 10
	4LPW			
	PWRL	3; 5; 7; 10	0,01...0,18	
	CSL	5	0,00025...0,0025	1

Таблица 4. Токоизмерительные резисторы компании КЕРСО

Модель	Сопротивление, Ом	Конструкция выводов	Максимальная рассеиваемая мощность, Вт
KT1915	1,0	Под пайку	50
KT1385	0,67		
KT1399	0,5		
KT1386	0,333		
KT1598	0,2		
KT2356	0,1		
KT2713	0,01		
KT2537	0,0625		
KT2536	0,05		
KT2480	0,033		
KT2330	0,02		
KT2325	0,01		
KT2536	0,05		
KT2714	0,001		
KT3146	1,0	Под винт	100
KT3126	0,1		
KT3130	0,01		
KT3131	0,001		

платы в месте установки ИС. Время срабатывания датчика не превышает 6 мкс. Номинальное напряжение питания +5 В, линейный диапазон выходного сигнала 2,5±2,0 В.

Компания Asahi Kasei Electronics предлагает широкий выбор холловских датчиков. Линейные датчики тока выпускаются в шести сериях и рассчитаны на ток от 200 мА до 800 А. Датчики тока разомкнутого типа серии FO обеспечивают диапазон изме-

рения от 100 А до 500 А (макс. 800 А). Для измерения малых токов до 200 мА (макс. 1 А) предназначены приборы серии FS, также разомкнутого типа. Малогабаритные (20×20×18 мм) датчики серии TD замкнутого типа предназначены для монтажа на печатную плату (в отверстия), обладают высокой точностью (±1% плюс смещение при нулевом токе ±30 мВ) и линейностью (коэффициент нелинейности не более 0,3%), широкой полосой

пропускания (0...100 кГц), малым временем срабатывания (не более 1 мкс при скорости изменения первичного тока 100 А/мкс) и работают в диапазоне от 5 А до 50 А (макс. 125 А). Напряжение питания ±14...17 В. Испытательное напряжение составляет 2500 В/60 Гц в течение 1 мин. Более крупные (30×30×15,5 мм) приборы серии ТВ имеют близкие точностные и динамические характеристики, но рассчитаны на диапазон измерения от 50 А до 150 А (макс. 375 А). Датчики серии FB (от 100 А до 500 А) и SB (от 25 А до 120 А) также реализованы по замкнутой схеме, выполнены в том же конструктиве, но имеют более высокую линейность (лучше 0,2%) при аналогичных динамических параметрах и полной точности ±1%; напряжение питания ±12...15 В.

Компания Inductive Technologies, LLC (i-tech), выпускает малогабаритные трансформаторы тока сетевой частоты (50...400 Гц) серии TR, предназначенные для вертикальной установки на печатную плату. Диаметр отверстия для проводника первичного тока (макс. 100 А с.к.з.) составляет 14,22 мм. Габариты трансформатора 35×35×14,3 мм. Приборы серии TR имеют 5 модификаций, отличающихся числом витков вторичной обмотки (от 300 до 3000).

Американская компания CR Magnetics специализируется на изготовлении различных магнитопроводов, трансформаторов и функционально законченных датчиков на их основе. Новая серия датчиков тока повышенной точности CR4100 (см. рис. 11) реализована на базе трансформаторов тока, позволяет измерять «настоящее» с.к.з. переменного тока (до 150 А) с повышенным содержанием гармоник и удовлетворяет всем международным стандартам. Диапазон измерения двух- и трёхканальных приборов ограничен током 30 А. Датчики данной серии имеют потенциальный выход 0...5 В или токовый выход 4...20 мА и питаются от 24-В источника постоянного тока. Полоса рабочих частот составляет 20 Гц...5 кГц, максимальное время срабатывания 250 мс, основная погрешность измерения 0,5%, температурный диапазон 0...60°C, температурный дрейф выходного сигнала 500 ppm/°C, напряжение изоляции – 2500 В с.к.з.

Малогабаритные трансформаторы тока серии CR8750 предназначе-

Таблица 5. Холловские датчики тока компании F.W.Bell (разомкнутого типа)

Модель	Номинальный ток, А	Номинальное выходное напряжение, В	Погрешность линейности, ±, %	Полоса пропускания, кГц (от постоянного тока)	Диаметр отверстия, мм	Конструктивное исполнение		
MS-15	15	1,7	1	20	1,024	Для печатного монтажа		
MS-30	20	1,2			1,828			
BB-25	25	1		60	10,16			
BB-100	100	5						
BB-150	150	6	0,6	10	20,32	Приборное		
BB-300	300		0,7					
BB-600	600		1,25					
BVP-150F	150		0,6	60				
BVP-300F	300		0,7	10				
BVP-600F	600		1,25	10				
BVP-150H	150		0,6					
BVP-300H	300		0,7					
BVP-600H	600		1,25	50			9,652	Универсальное
IHA-25	25		1					
IHA-100	100		5					
IHA-150	150		0,2	1,5			1	20,32
PI	350	2						
PI-600	600	10	–	0	42,418	Приборное		
IA-0100	100		0,5				1	
IA-0250	250							
IA-0500	500							
IA-1000	1000							
IA-2000	2000							
IA-3000	3000							
IF-0100	100		4	0,6			25	32,004
IF-0250	250							
IF-0500	500							
IF-1000	1000							
IF-2000	2000							
IF-3000	3000							
RS-100-A	100	1,6	0,7	25	32,004			
RS-200-A	200							
RS-300-A	300							
RS-400-A	400							
RS-500-A	500							
RS-600-A	600							
RS-1000-A	1000							
RSS-100-A	100							
RSS-200-A	200							
RSS-300-A	300							
RSS-400-A	400							
RSS-500-A	500							
RSS-600-A	600							
RSS-1000-A	1000							

ны для горизонтального монтажа на печатную плату, при этом их высота не превышает 12 мм. Выходное напряжение и диапазон измерения тока сетевой частоты (60...400 Гц) зависят от числа витков вторичной обмотки (230 или 1000) и нагрузочного резистора (10...1000 Ом) и могут достигать 7 В с.к.з. и 50 А с.к.з. соответственно. Напряжение изоляции 600 В. Диаметр отверстия для проводника первичного тока равен 6,35 мм.

Кроме большой номенклатуры трансформаторов тока компания CR Magnetics выпускает одно-, двух- и трёхканальные цифровые датчики тока серии Data Stream с интерфейсом RS485 (GPIB), рассчитанные на диапазоны 1, 5, 15 и 25 А с.к.з. Базовая погрешность датчиков не превышает 0,5%, диапазон рабочих частот составляет 45...65 Гц, рабочая температура 0...50°C, напряжение изоляции 2500 В, коэффициент перегрузки по измеряемому току 20 дБ, напряжение питания 24 В ± 10%, потребляемая мощность менее 250 мВт. Встроенный дельта-сигма-АЦП имеет разрешающую способность 16 разрядов. Результаты заводской калибровки датчиков заносятся во встроенную энергонезависимую память. Скорость передачи данных через интерфейс RS485 выбирается пользователем из ряда 1200, 2400, 4800, 9600, 19 200 бит/с, предустановленное значение – 9600 бит/с. Выводы интерфейса оборудованы схемами подавления импульсных помех и защиты от статического разряда до 15 кВ. Внешний вид цифровых датчиков аналогичен внешнему виду приборов, показанных на рис. 11. Единственное отличие – два светодиодных индикатора на верхней панели, отражающие текущее состояние датчика и интерфейса.

Фирма Manutech выпускает малогабаритные высокочастотные (1...150 кГц) трансформаторы тока серии MN420, предназначенные для вертикальной установки на печатную плату. По специальному заказу изготавливаются ТТ, работающие в диапазоне частот 20 кГц...20 МГц (!). Различные модификации приборов содержат от 50 до 1000 витков вторичной обмотки (точность ±1%) с индуктивностью от 5 до 2000 мГн. Диаметр отверстия для проводника первичного тока составляет 4,57 мм. Напряжение

изоляции 3000 В с.к.з. Габариты трансформаторов 20,32 × 17,02 × 9,53 мм.

Компания NK Technologies (США) предлагает большую номенклатуру промышленных датчиков тока и релейной автоматики на их основе. В сериях ATQ, AT/ATR, ATP и DT представлены линейные датчики переменного и постоянного тока до 2000 А как на базе трансформаторов тока, так и ячейки Холла (серия DT). Приборы имеют выход по напряжению (от 0 до 3 В, 5 В или 10 В) или току (4...20 мА), диапазон выходного сигнала выбирается переключками. Все датчики калибруются на заводе-изготовителе до погрешности менее 1%. Датчики серии ATQ (максимальный ток 5, 50 или 200 А, полоса частот 10...400 Гц, время срабатывания 100 мс) оборудованы цифровым частотным выходом (до 10 кГц) с оптической развязкой и обеспечивают разрешающую способность 0,01% при напряжении изоляции 5000 В с.к.з.

На рис. 12 показано семейство функционально законченных магниторезистивных датчиков постоянно-

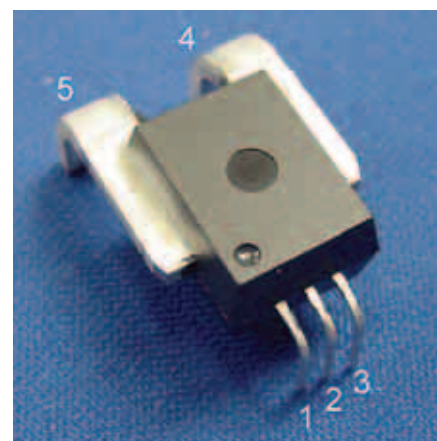


Рис. 10. Внешний вид и цоколёвка датчиков ACS775х

го и переменного (до 100 кГц) тока серии NT, выпускаемых компаний F.W.Bell, а на рис. 13 приведена их цоколёвка. Цифры в названии датчика (см. рис. 12) обозначают номинальный ток. Максимальный ток в течение 3 с может быть втрое больше номинального, т.е. ±150 А для датчика NT-50 или ±15 А для NT-5. Сопротивление первичной цепи не превышает 12 мОм для NT-5 и 150 мкОм для NT-

Таблица 6. Холловские датчики тока компании F.W.Bell (замкнутого типа)

Модель	Номинальный ток, А	Номинальный выходной ток, мА	Точность при 25°C, ±, %	Полоса пропускания, кГц (от постоянного тока)	Первичное отверстие, мм	Конструктивное исполнение
CLS-25	25	25	0,5	200	Нет (выводы)	Для печатного монтажа
CLN-25						
CLN-50	50	150			13,462 × 9,909	
CLN-100	100					
CLN-50SP1	50				Нет (выводы)	
CLN-100SP1	100					
CLN-200	200	100		∅23,012		
CLN-300	300				150	
CLN-300SP1				100		Нет (шина)
CLN-500SP1	500	100		∅25,984	Приборное	
CLN-500	100					
CLN-1000	1000	200	0,3	150	∅43,942	
GLO-300	300	150				0,5
GLO-500	500	100	0,3	100	∅26,01	
LS-300	300					200
LS-1000	1000	200	0,3	100	∅43,942	

Таблица 7. ИС ячеек Холла с линейным выходом компании Allegro MicroSystems

Серия (модель)	Напряжение питания, В	Типовая чувствительность при 25°C, мВ/Гс	Эквивалентная точность, не менее, ±, Гс	Рабочий температурный диапазон, °С	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		
A3518x		2,5			
A3518x		2,5			



Рис. 11. Внешний вид датчиков тока повышенной точности CR4100 компании CR Magnetics

50. Номинальное выходное напряжение датчиков составляет $\pm 2,5$ В, испытательное напряжение – 3500 В. При комнатной температуре полная погрешность измерения не превышает $\pm 0,8\%$, погрешность линейности не более $\pm 0,1\%$. Температурный дрейф чувствительности составляет $\pm 0,01\%/^{\circ}\text{C}$. Максимальное напряжение смещения в рабочем диапазоне $-25..85^{\circ}\text{C}$ равно ± 35 мВ. Датчики серии NT обеспечивают превосходные динамические характеристики: при скорости нарастания первичного тока 100 А/мкс время срабатывания не превышает 150 нс, а время нарастания – 1 мкс для NT-50 и 1,7 мкс для NT-5 и NT-15. Напряжение питания $\pm 12..15$ В, потребляемый ток не более 40 мА. Масса приборов составляет 4..6,5 г, габариты $35 \times 23,5 \times 7,3$ мм.

Компания Honeywell International производит полностью герметизированные магниторезистивные датчики замкнутого типа серии



Рис. 12. Магниторезистивные датчики тока серии NT производства компании F.W.Bell

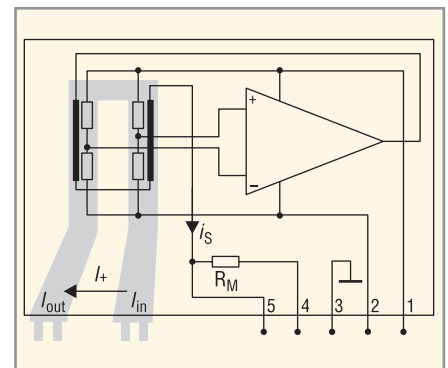


Рис. 13. Цоколёвка датчиков серии NT

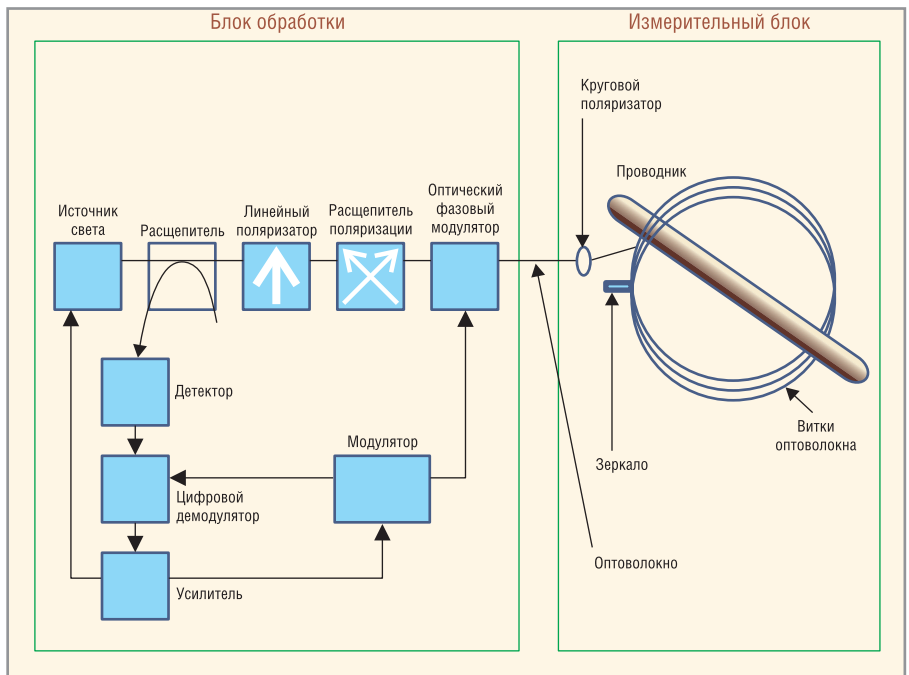


Рис. 14. Функциональная схема измерителя тока на базе датчика NXCT

CSNX, выполненные по патентованной технологии. В датчиках использованы заказная бескорпусная ИС и МР-сборка. Номинальный ток прибора CSNX25 составляет 25 А с.к.з. и может корректироваться переключателями до 12 А или 8 А, максимальный ток ± 56 А. Номинальный выходной ток 12,5 мА с.к.з. Токовый выход позволяет использовать различные нагрузочные резисторы для получения эквивалента напряжения, определяемого потребностями дальнейшей обработки сигнала. Погрешность датчика при 25°C и номинальном токе не превышает $\pm 0,24\%$, в рабочем диапазоне температур $-40..85^{\circ}\text{C}$ – $\pm 0,32\%$. Дрейф напряжения смещения не более 3,2 ppm/ $^{\circ}\text{C}$. Погрешность линейности менее 0,1%. Испытательное напряжение равно 5000 В с.к.з./50 Гц в течение 1 мин. Напряжение питания $+5 \text{ В} \pm 5\%$, потребляемый ток 12 мА (без нагрузки); имеется встроенный источ-

ник опорного напряжения $+2,5$ В (погрешность ± 10 мВ). Время срабатывания датчика не превышает 200 нс при скорости изменения тока более 100 А/мкс. Полоса пропускания по уровню -1 дБ равна 200 кГц. Габариты прибора $34 \times 12,6 \times 25,5$ мм, масса 20 г. Компания Honeywell также выпускает холловские датчики тока замкнутого типа (серия CSNA).

На основе оптического датчика NXCT построена схема измерителя тока фирмы NxtPhase, использующая эффект Фарадея (рис. 14). Источник света посылает световой поток по световоду на линейный поляризатор, затем на расщепитель поляризации, который создаёт два линейно поляризованных потока, и, наконец, на оптический фазовый модулятор. Световые потоки подаются по оптоволокну на измерительный блок, где они проходят через четвертьволновый круговой поляриза-

тор, придающий им право- и левостороннюю поляризацию, и далее – через токочувствительную петлю вокруг проводника, отражаются от конца оптоволокна и возвращаются тем же путем в блок обработки. Во время прохождения света по петле магнитное поле, наводимое током, протекающим по проводнику, создаёт благодаря эффекту Фарадея пропорциональный току фазовый сдвиг между поляризованными световыми потоками. В блоке обработки световые потоки попадают в оптический детектор, который определяет фазовый сдвиг и преобразует его в аналоговый или цифровой сигнал. Описанная система обеспечивает точность измерения 0,15...0,3% в диапазоне токов 1...3000 А (с.к.з.) и в полосе частот 10 Гц...6 кГц; лабораторные образцы имеют погрешность 0,03%. Аналогичные по принципу действия системы

предлагают компании АВВ (датчик типа FOCT) и KVH, однако их параметры и подробные описания не публикуются. Имеются сообщения о сотрудничестве АВВ и KVH по доведению оптических систем измерения тока до промышленного использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Emerald P.* 'Non-Intrusive' Hall-Effect Current-Sensing Techniques Provide Safe, Reliable Detection and Protection for Power Electronics. Application Information STP98-1. Allegro MicroSystems.
2. Magnetic Cores for Hall Effect Devices. Technical Bulletin HED-01. Magnetics Division of Spang & Company, 1997.
3. *Dickinson R. and Milano S.* Isolated Open Loop Current Sensing Using Hall Effect Technology in an Optimized Magnetic Circuit. Allegro MicroSystems, 2002.

4. *Koon W.* Current Sensing for Energy Metering. Precision Converters Division. Analog Devices (www.analog.com/energymeter).
5. www.vishay.com.
6. www.kepcopower.com.
7. www.precisionresistor.com.
8. www.ti.com.
9. www.maxim-ic.com.
10. www.agilent.com/semiconductors.
11. www.allegromicro.com.
12. www.sypris.com.
13. www.gmv.com/electric_current/Sentron.
14. www.asahi-kasei.co.jp.
15. www.inductech.com.
16. www.crmagnetics.com.
17. www.manutech.us.
18. www.nktechnologies.com.
19. www.fwbell.com.
20. www.honeywell.com/sensing.
21. www.nxtphase.com.
22. www.kvh.com.
23. www.abb.com.



Новости мира News of the World Новости мира

Erpson предлагает крошечный гиросенсор

Корпорация Epson совместно с NGK разработала самый маленький гиросенсор в своём классе. Прибор XV-3500CB размещён в корпусе размером всего 5 × 3,2 × 1,3 мм. Гиросенсор разработан для использования в системах стабилизации изображения видеокамер и цифровых фотоаппаратов.

www.epson.co.jp

Новый усилитель мощности со встроенным фильтром для 802.11 b/g WLAN-сетей

Компания Skyworks Solutions выпустила новый усилитель мощности SKY65006 из семейства PA Plus™ для беспроводных 802.11 b/g систем. Особенность нового усилителя – его универсальность, возможность работы при более высоких напряжениях возбуждения, что позволяет на 15% поднять выходную мощность, а также встроенный фильтр для подавления гармоник. В новом усилителе на 30% улучшена линейность, сокращены размеры, упрощена топология печатной платы.

Выходная мощность усилителя 17 дБм для 802.11g и 20 дБм для 802.11b, ток потребления 100 и 120 мА, рабочее напряжение 3,3 В, входной и выходной импеданс 50 Ом. При питании от источника напряжением 5 В можно дополнительно

увеличить мощность на 3 дБм. Имеется детектор выходной мощности с температурной компенсацией. Усилитель изготовлен по фирменной InGaP-технологии на биполярных HBT-транзисторах, выпускается в корпусе QFN (quad flat no-lead) с размерами 3 × 3 мм.

www.skyworksinc.com

Умножитель частоты с тремя петлями ФАПЧ от Texas Instruments

Умножитель частоты CDC5806 в 20-выводном корпусе TSSOP содержит три петли ФАПЧ и не нуждается в дополнительных внешних компонентах. Прибор питается напряжением 3,3 В, обеспечивает джиттер 150 пс и использует входной сигнал частотой 54 МГц, из которого формирует несколько выходных частот. Стоимость в партии 1000 шт. \$2,15.

www.ti.com

ШИМ-контроллеры повышают параметры конверторов

Разработанные для повышения параметров AC/DC- и DC/DC-конверторов ШИМ-контроллеры ISL6840/1/2/3/4/5 фирмы Intersil имеют полосу пропускания усилителя ошибки 5 МГц и время ре-

акции на пиковое значение тока 40 нс. Микросхемы совместимы по цоколёвке со стандартными аналогами, имеют высокостабильный источник опорного напряжения с точностью 1% и работают на частоте до 2 МГц. Ток управления затвором до 1 А, ток потребления 3 мА, диапазон температур –40...+105°C. Стоимость в 8-выводных корпусах MSOP и SOIC соответственно \$1,43 и \$1,28 в партии 100 шт.

www.intersil.com

Линейка высокоскоростных АЦП от Analog Devices

Семейство АЦП с последовательным выходом AD7274/6 (12 разрядов), AD7277/3 (10 разрядов) и AD7278 (8 разрядов) предназначено для использования в высокоточных высокоскоростных медицинских, оптических системах и системах сбора данных. Микросхемы потребляют 8 мВт от одного источника питания напряжением 2,35...3,6 В, имеют малощумящий высокоскоростной усилитель выборки/хранения, их производительность 3 Msps, нелинейность 1 LSB INL. Выпускаются в корпусах TSOT и MSOP. Стоимость в партиях 1000 шт.: AD7278 – \$1,85; AD7273 – \$3,75; AD7277 – \$3,60; AD7276 – \$6,25; AD7274 – \$6,50.

www.analog.com