

К.В. Гундырев – научный сотрудник (НИЛ КСА)

Р.А. Берчук – аспирант (НИЛ КСА)

ДАТЧИКИ ХОЛЛА В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЭЛЕКТРОПИТАЮЩИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ

Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики [1], преобразуя электрическую энергию первичных источников в выходные аналоговые величины с различным напряжением, частотой и другими параметрами, осуществляет питание таких устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) как: рельсовые цепи, светофоры, стрелочные электропривода, аккумуляторные батареи, реле, табло и ряда других устройств. Питание аппаратуры осуществляется как от источников переменного напряжения, так и от аккумуляторных батарей, работающих в буферном режиме с выпрямителями. От качества аппаратуры электропитания существенно зависят: стабильность работы устройств ЖАТ, их надёжность и конечно же безопасность функционирования, капитальные и эксплуатационные затраты систем железнодорожной автоматики.

Учитывая, что одной из основополагающей стабильной и надёжной работы систем электрической централизации выступают устройства электропитания, то возрастает необходимость постоянного диагностирования и контроля основных приборов электропитания. Такой подход позволяет существенно упростить:

- работы по техническому обслуживанию, связанные с измерением напряжения, фаз и токов фидеров питания, токов заряда-разряда аккумуляторных батарей и других параметров, подвергая измерения автоматизации;
- поиск отказов при условии постоянной записи информации о состоянии приборов электропитания за счет доступного и понятного способа представления этой информации;
- предсказание возможного появления отказов на основании оценки состояния приборов электропитания по полученной диагностической информации устройств телеметрии.

Многие современные системы диагностики устройств ЖАТ, широко применяемые на сети железных дорог России имеют возможность отслеживать состояние установок электропитания. Однако все они требуют дополнительных устройств для осуществления качественного анализа, не все могут измерять такие параметры как всплески, провалы питающего напряжения, чередование фаз, токи фаз, представлять форму питающего напряжения во временной, частотной областях и др. Не многие из систем имеют простой способ согласования с системами вышестоящего уровня (например, с устройства диспетчерского контроля, системами передачи данных). Не во всех системах есть возможность безопасного, быстрого, надёжного и удобного подключения измерительных средств как к проектируемым системам электропитания, так и к уже существующим.

В данной статье затронем вопросы, связанные с измерением токов питающих установок. На данный момент для диагностирования приборов электропитания по току

широко используются только два способа измерения: токовые трансформаторы и шунты. Рассмотрим подробнее каждый из них.

Токовые трансформаторы являются штатными устройствами для многих панелей питания, с их помощью достаточно просто включиться в измеряемую цепь, и снимаемые с них данные достаточно достоверны. Однако такие трансформаторы имеют ряд недостатков: большие габариты и вес, сложность изготовления, монтажа, регулировки. Такие устройства требуют своевременного обслуживания и калибровки, потребляют незначительную мощность из измеряемой цепи, с их помощью невозможно измерить параметры постоянного тока.

Измерительные шунты также являются одной из составляющей панелей электропитания, с их помощью можно измерять параметры постоянного тока, они достаточно дешевы, не требуют постоянного обслуживания и регулировки, просты и надёжны в эксплуатации. Но для измерения, к примеру, тока в трёхфазной питающей цепи требуется три независимых канала диагностики, что ведёт к удорожанию системы в целом, за счет падения напряжения они, как и токовые трансформаторы, потребляют незначительную энергию из измеряемой цепи.

По результатам исследования для решения задач измерения предложены датчики тока, построенные на эффекте Холла – датчики Холла. Использование таких датчиков дает следующие преимущества:

- производить постоянные измерения (время ответа датчика на приложенное воздействие составляет 3 мкс);
- бесконтактного способа измерения, а это значит, что датчик не будет потреблять энергию из измеряемой цепи;
- обеспечения высокой изоляции измерительной цепи относительно измеряемой;
- обеспечения высокой точности измерения;
- малого потребления датчиком энергии от внешнего источника питания (однако применение внешнего дополнительного источника питания можно расценивать как недостаток);
- малый вес и габариты;
- простота, безопасность обслуживания и монтажа;
- невысокая стоимость и хорошее качество.

Следует немного разъяснить принцип работы предлагаемых датчиков.

Эффект Холла был обнаружен доктором Холлом в 1879 году, в то время он был кандидатом в доктора Университета им. Джона Хоркинса [2]. Холл пытался проверить теорию электронного потока, предложенную Кельвином тридцатью годами раньше. Доктор Холл обнаружил, что при помещении магнита рядом с тонким прямоугольником золота, по которому протекает электрический ток, таким образом, что магнитный поток был перпендикулярен одной грани прямоугольника, то на противоположных гранях появилась разница потенциалов. Он выяснил, что эта разность потенциалов пропорциональна электрическому току, протекающему через проводник, и углу наклона магнита к проводнику.

Эксперименты Холла были довольно успешны для того времени, однако не получили теоретического обоснования в области физики явления, которые были получены лишь спустя 70 лет.

С появлением в 1950-х годах полупроводниковых материалов эффект Холла впервые нашёл применение. Однако применение было ограничено высокой стоимостью. В 1965 году старшие инженеры отдела MICRO SWITCH Sensing and Control Эверетт Ворфманн и Джо Мопин объединились для поиска на практике дешёвого твёрдотельного датчика. Было исследовано много концепций, но они выбрали эффект Холла по

одной причине: датчик легко интегрировался на одном кремниевом кристалле, а кремний - основа построения полупроводников. Это крупное достижение привело к первому дешёвому крупномасштабному применению эффекта Холла в клавиатурах. Инженеры изготовили и продали огромное количество датчиков и клавиатур. Несмотря на солидный успех бесконтактных клавиатур, основное своё применение элементы Холла нашли в измерительных приборах, таких как токовые датчики (датчики Холла), токовые клещи, бесконтактные системы зажигания, системы автоматического регулирования и др.

Когда проводник с током помещен в магнитное поле, то сгенерированное напряжение будет перпендикулярно и протекающему току и магнитному потоку. Этот принцип известен как эффект Холла. На рис.1 иллюстрируется основной принцип эффекта Холла. На нём показан полупроводниковый элемент (элемент Холла) через который протекает ток. Выводы датчика подключены перпендикулярно направлению протекающего тока. Когда нет магнитного потока, плотность тока в полупроводнике равномерная и разница потенциалов на выходе отсутствует. Когда присутствует перпендикулярное магнитное поле (рис. 2) на электрический ток действует сила Лоренца. Она изменяет направление силовых линий тока, в результате этого на выходе появляется разность потенциалов. Это напряжение и является напряжением Холла (U_H). Во взаимодействии магнитного потока и протекающего тока определяется выражением (1):

$$U_H \propto I \times B, \quad (1)$$

где: U_H – напряжение Холла, I – ток, протекающий по элементу Холла, B – магнитный поток, проходящий через элемент Холла.

Напряжение Холла пропорционально векторному произведению протекающего тока I и магнитного тока B . Напряжение Холла устанавливается порядка десятка мкВ и зависит от $U_{пит}$ датчика и размера кварца, эта величина мала и требует дальнейшего увеличения для использования в схемах вышестоящего каскада.

Однако кремний обладает пьезоэффектом, который не нужен в датчике Холла. Убрать этот эффект можно используя схемы подключения, приведенные на рис .3.

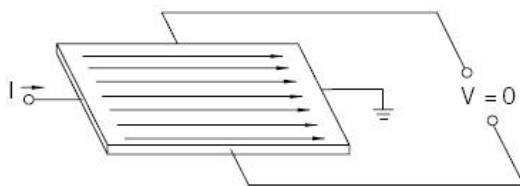


Рисунок 1. Элемент Холла вне магнитного поля

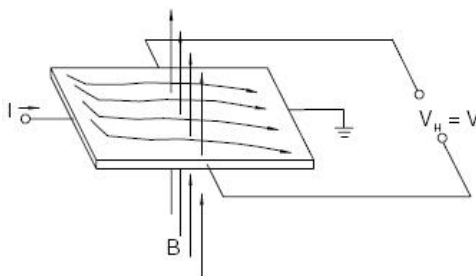
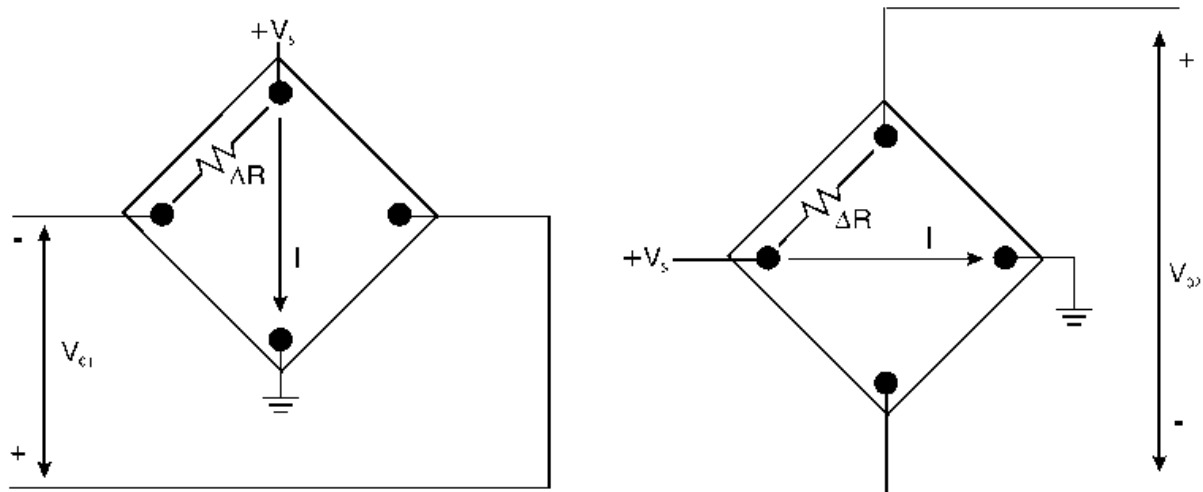


Рисунок 2. Элемент Холла в магнитном поле



$+V_S$ – напряжение питания, ΔR – сопротивление между точками подключения напряжения питания и снимаемым напряжением, I – ток, протекающий по элементу Холла.

Рисунок 3. Способы подключения элемента Холла

Одинаковые элементы подключены к одному источнику напряжения, у первого элемента напряжение приложено по вертикальной оси, у второго – по горизонтальной. Снимаемые напряжения Холла получились одинаковыми по амплитуде, но противоположными по знаку. Обычно в таких схемах используют два или четыре элемента Холла.

Для удобства дальнейшего использования полученных результатов дополнительно к элементу Холла подключают усилители и другие устройства. Они, в свою очередь, могут интегрироваться на один кристалл с элементом Холла.

В лабораторных условиях были проведены различные опыты над одним из датчиков Холла зарубежного производства [3]. При проведении опытов были поставлены следующие задачи:

- определение пределов измерения конкретного датчика;
- проверка точности и достоверности измеряемых параметров;
- линейность передаточной функции датчика;
- влияние положения проводника относительно датчика;
- влияние величины напряжения питания и его нестабильности на точность измерения;
- способы начальной регулировки датчика;
- влияние перегрузок на датчик.

Испытываемый датчик представляет законченное устройство, его внешний вид и установочные размеры показаны на рис.4.

Этот датчик преобразует измеряемый магнитный поток на входе в напряжение на выходе, но это не единственный способ измерения. Существуют датчики Холла, выдающие на выходе ток. Таким образом, есть два подхода измерения тока с использованием преобразования магнитного потока в ток или в напряжение.

Испытания датчика проводились по схеме, представленной на рис. 5.

Заявленное производителем напряжение питания датчика составляет $8 \div 16$ В. Пределы измерений – $0 \div 80$ А.

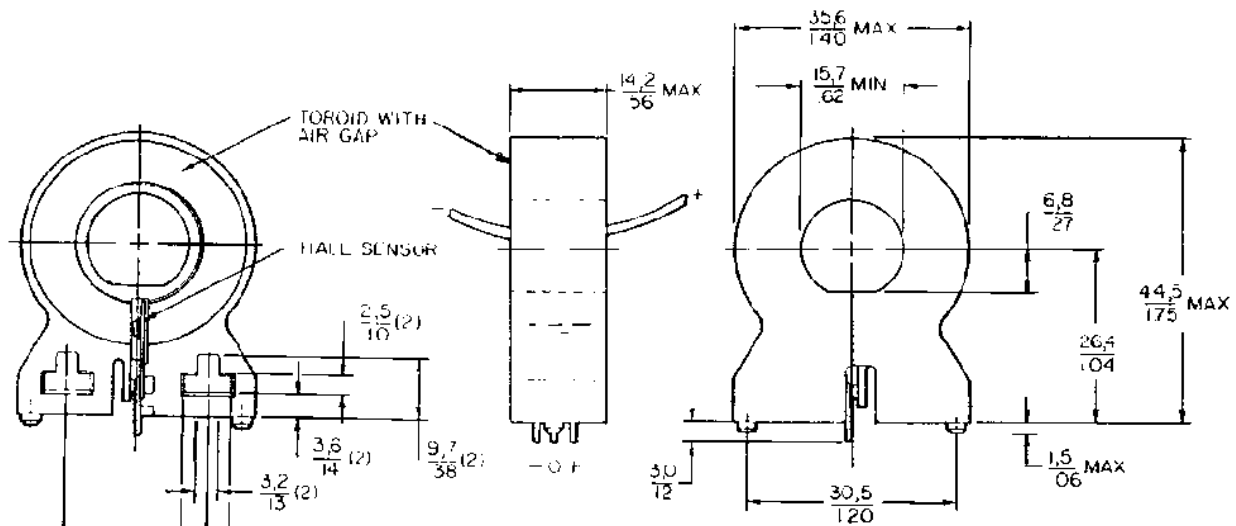
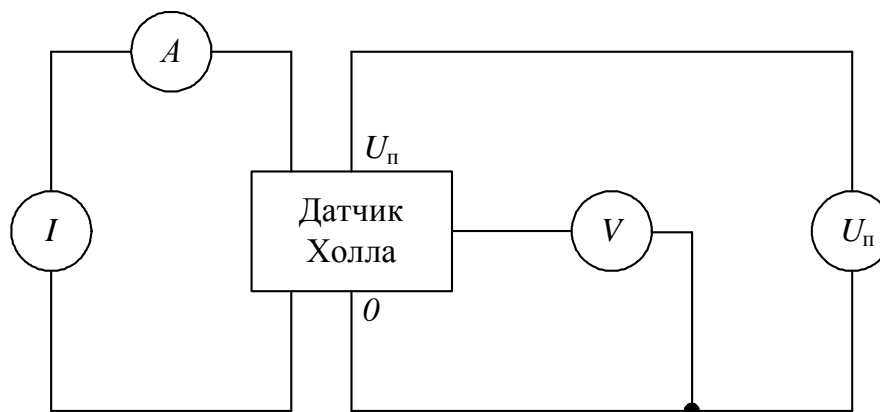


Рисунок 4. Внешний вид датчика Холла



A – амперметр, V – вольтметр, I – источник измеряемого тока, $U_{П}$ – источник питания датчика.

Рисунок 5. Схема испытаний

Напряжение начального смещения вычисляется по формуле:

$$U_{смещ} = U_{пит} / 2, \quad (2)$$

где: $U_{смещ}$ – напряжение начального смещения напряжения на выходе датчика без измеряемой цепи, $U_{пит}$ – напряжение питания датчика Холла.

Коэффициент передачи находим по выражению:

$$K_{пер} = I / U, \quad (3)$$

где: I – величина измеряемого тока, U – напряжение, снимаемое с датчика Холла, $K_{пер}$ – коэффициент передачи датчика.

Средний коэффициент передачи находим по выражению:

$$K_{пер_ср} = \sum K_{пер} / N, \quad (4)$$

где: $K_{пер_ср}$ – средний коэффициент передачи датчика, N – число проведённых опытов.

Погрешность находим следующим образом:

$$\delta = (1 - K_{пер_ср} / K_{пер}) * 100\%, \quad (5)$$

где: δ – относительная погрешность измерения.

В результате проведённых опытов были получены данные, приведённые в Табл. 1.

Таблица 1

Результаты опытов

I, A	U, B	$U_{пит}, B$	$U_{смещ}, B$	$K_{пер}$	$K_{пер_ср}$	$\delta, \%$
5,52	0,098	15	6,4	56,32653	56,55735	-0,41%
8,88	0,157			56,56051		0,01%
11,28	0,199			56,68342		0,22%
36,24	0,637			56,89168		0,59%
56,76	1,005			56,47761		-0,14%
64,08	1,134			56,50794		-0,09%
75,14	1,331			56,45379		-0,18%
18	0,261			12,5		5,18
25,68	0,373	68,84718	-0,58%			
38,4	0,558	68,8172	-0,62%			
51,36	0,744	69,03226	-0,31%			
66,84	0,961	69,55255	0,44%			
93,12	1,336	69,7006	0,65%			
112,61	1,613	69,81401	0,81%			
13,8	0,091	8	3,1		151,6484	
23,76	0,157			151,3376	-0,54%	
37,44	0,246			152,1951	0,02%	
55,56	0,367			151,3896	-0,51%	
69,72	0,457			152,5602	0,26%	
100,92	0,659			153,1411	0,64%	
121,68	0,796			152,8643	0,46%	

Результаты измерений удобно представить в виде графиков, приведенных на рис. 5.

Как видно из графиков коэффициент передачи достаточно линейный (разрывы функций обусловлены переключением пределов измерений лабораторных приборов), при этом погрешность измерения тока не превышает одного процента. Это говорит о том, что исследуемый датчик можно использовать для измерения тока в источниках питания устройств железнодорожной автоматики (лучи питания, токи фаз фидеров питания, токи стрелок с различными схемами управления, токи нагрузки-заряда контрольной батареи). Коэффициент передачи датчика существенно зависит от напряжения питания, следовательно, для достоверности измерения необходимо стабильное, неменяющееся питание датчика, чего легко можно добиться использованием современных импульсных источников питания, точность выходного напряжения которых должна лежать в пределах одного процента. Современные источники питания позволяют добиться такого результата. Также источник питания должен обладать высокой стабильностью работы при широком диапазоне входного напряжения 9÷36 В, такие источники питания уже существуют и доступны для разработчиков.

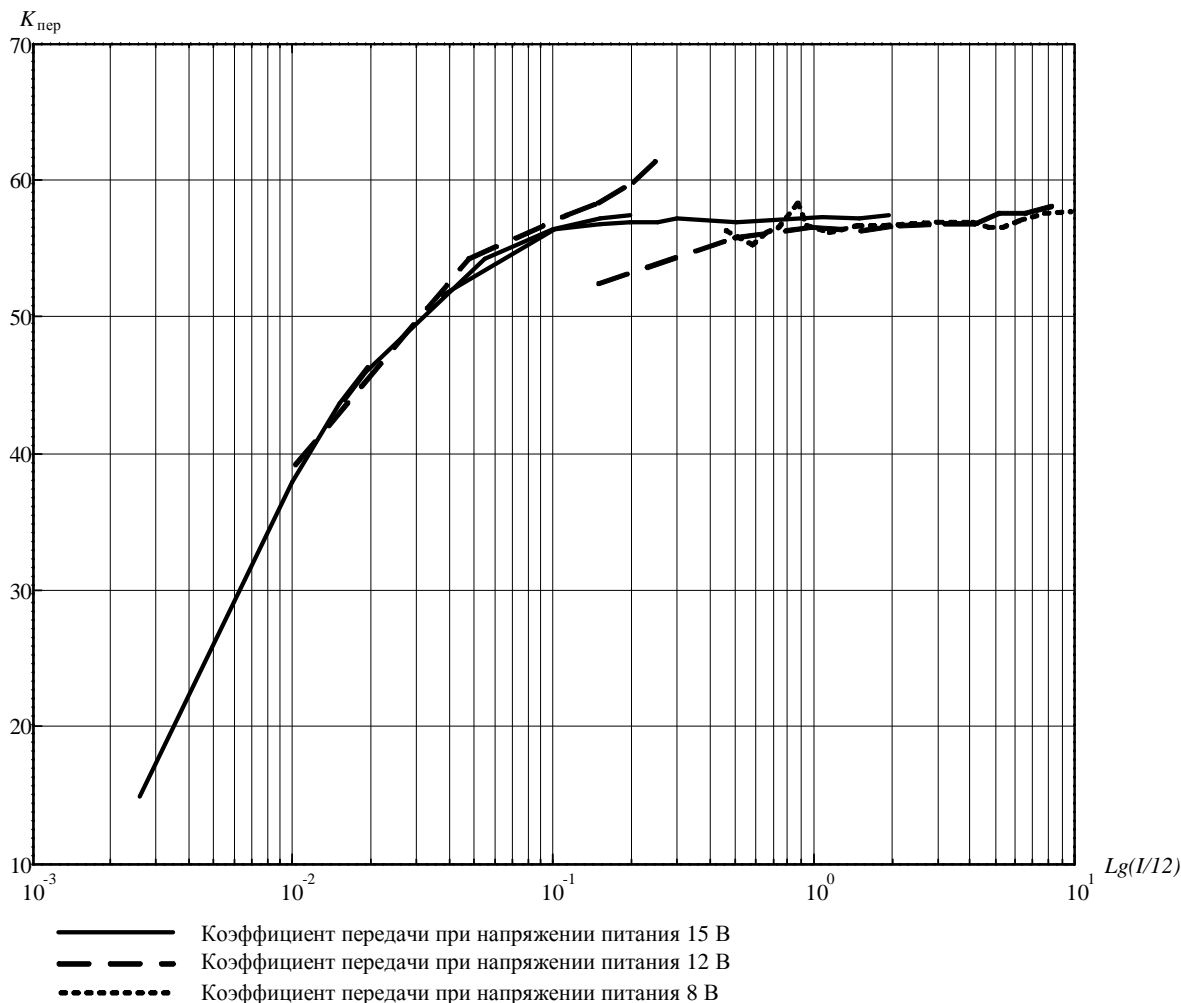


Рисунок 5. Зависимость коэффициента передачи от измеряемого тока

Заявленный производителем температурный диапазон стабильной работы датчика составляет $-25...+85^{\circ}\text{C}$, что позволяет разместить предложенные датчики непосредственно в панелях питания поста электрической централизации. Датчик не требует дополнительной температурной стабилизации, так как изменение выходного напряжения при изменении окружающей температуры на 1°C составляет всего $\pm 0,02\%$. Это не окажет значительного влияния на точность измерения, так как укладывается в температурный диапазон помещения питающей. Такая точность по температуре достигается тем, что на кристалл датчика вместе с элементом Холла интегрирована схема температурной стабилизации.

Конструкция датчика позволяет достаточно легко разместить его на измеряемых силовых проводах, в любом удобном месте. Как показали исследования, положение провода относительно датчика практически не влияет на точность измерения, главное требование, чтобы провод проходил согласно инструкции внутри измерительного кольца. То, каким образом он будет изгибаться дальше, не повлияет на достоверность получаемых результатов.

Датчик не требует постоянного профилактического обслуживания, его легко монтировать и демонтировать. Даже перепутывание полярности питания не окажет губи-

тельного влияния на сам датчик, однако, это скажется на точности результатов (точнее никаких результатов не будет), что сразу укажет на неправильность монтажа – есть возможности для самодиагностики первичных датчиков, что в большинстве случаев ставит нетривиальную задачу в существующих системах электропитания. После смены полярности питания на правильную, датчик будет готов к дальнейшему использованию, не теряя своих начальных свойств и способности достоверно выполнять заявленные производителем функции.

Конструкция датчика позволяет ему выдерживать значительные механические нагрузки, такие как вибрация, удары небольшой мощности (во время проведения опытов датчик был неоднократно им подвержен).

Выходное напряжение датчика составляет от 0,25 до 0,75 напряжения питания, такие уровни позволяют достаточно просто связать датчик с другими устройствами дальнейшей переработки информации. Также, меняя напряжение питания датчика, легко добиться изменения диапазонов выходного напряжения для удобства дальнейшего его использования.

Данные, полученные с испытуемого датчика, несложно переводятся в цифровой вид с помощью современных аналогово-цифровых преобразователей, что легко позволяет использовать диагностическую информацию в стандартных протоколах передачи многих современных систем диагностики. Таким образом, датчики Холла с первичными измерителями легко интегрируются в практически любую уже существующую систему технической диагностики, в управляющие и контролирующие системы ЖАТ.

Литература

1. Коган Д.А., Молдавский М.М. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики. – М.:ИКЦ «Академкнига», 2003. – 438с.: ил.
2. Теория эффекта Холла. <http://www.industry.su/img/honeywellpdf2/chapter2.pdf>.
3. Конструкторская документация датчиков Холл, серии CSLA. <http://content.honeywell.com/sensing/products>, сентябрь 2005 г.