

Е.А. СЕДОВА, ст. преподаватель, НТУ "ХПИ", Харьков

МЕТОДЫ КОСВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТОКОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Приведено результати аналізу вимірювальних систем, що використовують датчики Холла для непрямого виміру параметрів силового кола електричних апаратів.

Приведены результаты анализа измерительных систем, использующих датчики Холла для косвенного измерения параметров силовой цепи электрических аппаратов.

Введение. Проблема надежности коммутирующих электрических аппаратов и реле является актуальной. Исследование контактного сопротивления требует большого числа замеров с высокой достоверностью результатов измерения. Проверка электрического сопротивления производится специальными измерительными приборами по методам, изложенным в инструкциях или описаниях на эти приборы. Для контроля состояния контактов главной цепи или полюсов аппарата с помощью микроомметров измеряют электрическое сопротивление контактов или полюса. Одним из наиболее часто используемых является метод амперметра-вольтметра [1]. Он заключается в том, что по контактам (полюсам) аппарата во включенном состоянии пропускают постоянный ток и измеряют ток и падение напряжения на контактах (полюсах) аппарата. Этот метод применяется также наряду с неуравновешенными мостами постоянного тока, при определении сопротивления на других участках (токовые катушки, резисторы, катушки реле и др.). В настоящее время измерение и контроль контактного сопротивления осуществляется с помощью прямых методов, таких как методы с шунтами и трансформаторами тока [1]. Известные методы прямого отсчета, являющиеся наиболее производительными и простыми в работе, имеют низкий класс точности и при больших токах их погрешность измерения возрастает.

В современной энергетике такие большие погрешности (до 5%) недопустимы. Требуемые погрешности должны находиться на уровне 0,1%. Особенно это сказывается в аварийных режимах, когда начинают проявляться эффект многофазных систем (влияние одной фазы с наибольшим током на токи в других фазах) и присутствие высших гармонических составляющих тока. В этих случаях погрешность мо-

жет достигать 15 %.

В электроустановках (электрических аппаратах типа распределительные устройства, распределительные щиты, шкафы полупроводниковых преобразователей) для измерения тока применяются измерительные системы, использующие датчики Холла [1]. Однако эти системы имеют как достоинства, так и недостатки.

Цель работы – анализ существующих устройств на основе датчика Холла, используемых для контроля параметров электрических аппаратов.

Анализ устройств на основе датчика Холла. Принцип действия датчиков основан на эффекте Холла. Эффект Холла заключается в возникновении электрического поля на концах кристалла с током в магнитном поле. Пространственное направление этого электрического поля перпендикулярно направлению тока и магнитному потоку, а величина напряжения электрического поля пропорциональна магнитному потоку. После усиления это напряжение используется для управления выходными каскадами датчиков и внешними схемами [2].

Выходные каскады датчиков могут быть различных типов – аналоговые, когда выходной сигнал пропорционален магнитному потоку через датчик, и цифровые, имеющие два уровня сигнала на выходе. Аналоговые каскады могут быть выполнены по схеме "открытый коллектор" (NPN) и "источник тока" (PNP). По реакции на магнитное поле датчики распределяются по трем группам: биполярные, однополярные и униполярные. Для включения биполярного датчика требуется воздействие поля положительной полярности, а для выключения – отрицательной. Однополярные датчики измеряют поля любой полярности, а униполярные – только одной (обычно положительной).

Магнитное поле может быть сформировано постоянными магнитами или электромагнитами. Изменение напряженности поля достигается путем перемещения магнита, изменения тока электромагнита или внесением магнитного материала в зазор между датчиком и магнитом. Выпускаются датчики, в которых используются внешние или встроенные в корпус магниты. В последнее время в выходные каскады датчиков Холла вводятся специальные схемы снижения температурной нестабильности датчиков и магнитов, а также схемы линеаризации аналоговых выходов. Для достижения высокой повторяемости параметров от датчика к датчику в процессе производства используется лазерная калибровка элементов схем. Это позволяет производить замену вышедших из строя приборов без последующих подстроек.

Основные преимущества этих датчиков заключаются в отсутствии механических движущихся частей и высоком быстродействии (до

100 кГц). Благодаря этому датчики Холла отличаются высокой надежностью, долговечностью и не требуют физического контакта с измеряемой средой. Датчики Холла широко используются там, где требуются высокая точность и надежность.

По сравнению с другими датчик Холла имеет уникальную особенность: выходной эффект определяется произведением входных эффектов.

Благодаря этому области применения датчиков Холла обширны. Основные направления:

- 1) считывание данных с магнитных карточек;
- 2) датчики приближения;
- 3) датчики скорости вращения;
- 4) измерение мощности;
- 5) перемножители;
- 6) измерение магнитного поля;
- 7) измерение тока;
- 8) линейные (угловые) преобразователи;
- 9) магнитные головки;
- 10) измерение воздушных зазоров;
- 11) измерение температуры.

Конструкции с датчиками Холла. Для измерения слабых токов применяют конструкцию, в которой проводник с током обвивает тороидальный сердечник с зазором, в зазоре устанавливают датчик Холла [1]. Для измерения сильных токов (более 25 А) применяют конструкцию, в которой проводник с током пропускают через тороидальный сердечник. Материал сердечника – альсифер или (на высоких частотах) феррит.

На переключателе Холла можно построить токовое реле. Магнитное поле катушки с током замыкается через переключатель Холла. Если порог срабатывания переключателя Холла составляет 0.02 Тл (200 Гс), то количество витков катушки для заданного тока I рассчитывают по формуле

$$w = 33/I . \quad (1)$$

Например, в соответствии с (1), для тока 100 мА необходимо намотать 330 витков.

Для иллюстрации возможных вариантов исполнения датчиков Холла приводится описание серийных цифровых и аналоговых датчиков фирмы Хонейвелл (Honeywell). Фирма Хонейвелл выпускает несколько базовых серий цифровых датчиков. Это специальная высокочувствительная серия 2SSP-датчиков, использование которых позволяет располагать магнит на расстоянии 2 см и более от датчика. Датчики выполнены в пластиковом корпусе с размерами 4,5×4,5×1,5 мм. Вы-

пускаются модификации для поверхностного монтажа с короткими формованными выводами – серия 2SSP-S.

Две серии биполярных цифровых датчиков SS41 и SS11 изготавливаются в миниатюрных корпусах, имеющих размеры 4×3×1,5 мм. Датчики серии SS11 выпускаются в корпусах типа SOT89, предназначенных для поверхностного монтажа (SMD – Surface Mount Device). Все датчики имеют защиту от неправильного подключения и диапазон быстрого действия от 0 до 100 кГц.

Датчики серий SS400 и SS100 представляют собой приборы, состоящие из собственно датчиков поля и выходных усилителей, и имеющие выход типа "открытый коллектор". Они выпускаются в миниатюрных пластиковых корпусах с тремя выводами. Специальная конструкция корпуса (Quad-Hall-дизайн) позволяет полностью исключить внутренние механические напряжения. Для компенсации температурного дрейфа параметров предусмотрена специальная схема коррекции. Датчики предусматривают различные варианты работы:

- под действием одного полюса магнита (SS411A, SS413A, SS111A, SS113A);
- обоих полюсов (SS441A, SS443A, SS449A, SS141A, SS143A, SS149A);
- триггер (SS461A, SS466A, SS161A, SS166A, SS561AT, SS566AT).

Серия SS400 (с индексом S) имеет корпус с формованными для поверхностного монтажа выводами, а серия SS100 – миниатюрный безвыводной SMD-корпус.

Приборы серий 103SR и SR3 представляют собой полностью закрытые датчики в алюминиевом или пластиковом корпусе (диаметр 12 мм, длина 25 мм с резьбой), имеющие защиту от неправильного включения. Внутри серии датчики отличаются друг от друга величиной измеряемого поля и типами выхода.

Фирма Хонейвелл использует лазерную подгонку при изготовлении аналоговых датчиков Холла, что позволяет получать идентичные параметры от образца к образцу и производить замены вышедших из строя приборов без последующих подстроек. Аналоговые датчики представлены сериями SS49, SS19, SS495, SS94 и 103SR.

Датчики серий SS49 и SS19 имеют параметрический линейный выход. Они изготавливаются в миниатюрных корпусах с выводами (серия SS49) и для поверхностного монтажа (SMD) - серия SS19.

Приборы серии SS495 имеют размеры корпуса 3×4 мм. Эти датчики отличаются низким энергопотреблением (7 мА при напряжении

питания 5 В) и линеаризованным выходом. Температурная ошибка для разных датчиков этой серии составляет:

SS495A + 0,06 %;

SS495A1 + 0,04 %;

SS495A2 + 0,07 %.

Датчики серии SS94 имеют специальные встроенные схемы для увеличения температурной стабильности.

Серию аналоговых датчиков Холла 103SR отличает исполнение последних в алюминиевом корпусе с резьбой.

Возможность применения микроэлектронных преобразователей Холла. Микроэлектронные преобразователи Холла представляют собой уникальные конструкции и могут быть использованы в качестве чувствительных элементов бесконтактных малогабаритных датчиков. По физической природе преобразователи Холла (далее – ПХ) являются самыми простыми и, следовательно, надежными функциональными устройствами, осуществляющими практически безинерционное аналоговое перемножение двух независимых физических параметров: управляющего тока, протекающего в активной области (канале) ПХ и магнитного поля, воздействующего на ПХ. К тому же это не скалярное, а векторное умножение, т.е. дополнительно учитывающее угол между направлением управляющего тока в элементе проводника, ориентированного определенным образом в пространстве, и вектором магнитной индукции поля. Благодаря этим качествам ПХ нашли широкое применение при построении оригинальных функциональных устройств, а также в качестве чувствительных элементов перспективных датчиков целого ряда физических величин [3-5]:

- в *бесконтактных* датчиках положения, конфигурации и размера ферромагнитных деталей, частоты вращения, малых линейных и угловых перемещений, гироскопах;
- в *бесконтактных* датчиках тока, ваттметрах и счетчиках электрической энергии;
- в *бесконтактных* датчиках уровня агрессивных жидкостей;
- в *электронных коммутаторах*, кнопках, концевых выключателях, сельсинах, бесколлекторных электродвигателях;
- в высококачественных *магнитных головках*, в специальных модуляторах и демодуляторах;
- в быстродействующих *измерителях индукции* постоянных и переменных магнитных полей;
- в аналоговых *анализаторах Фурье-спектра*, генераторах синусоидального напряжения инфранизких частот, генераторах импульсов

специальной формы и т.п.

Датчики физических величин, чувствительным элементом которых является ПХ, отличаются:

- исключительно высоким *быстродействием*;
- возможностью контроля как *динамических*, так и *статических* параметров;
- хорошей *линейностью передаточной характеристики* и, что еще более важно, ее стабильностью в широком диапазоне рабочих температур, включая сверхнизкие;
- *идеальной* гальванической, механической и тепловой *развязкой* датчика от контролируемого объекта, которая, в отличие от датчиков на основе оптоэлектронных преобразователей, не зависит от оптических свойств рабочей среды;
- высокой эксплуатационной *надежностью*, превосходящей надежность большинства интегральных микросхем.

Система измерения тока на основе преобразователя Холла.

Преобразователи Холла как чувствительные элементы бесконтактных датчиков тока, нашли широкое применение в современной электротехнике и по праву могут быть примером наиболее успешных измерительных устройств на основе ПХ. Измерительная система простейшего датчика тока выполнена в виде тороидального сердечника из магнитомягкого материала, в узкий поперечный зазор которого вклеен миниатюрный ПХ. При протекании тока по шине, продетой через отверстие сердечника, в последнем наводится магнитное поле, индукция которого пропорциональна величине этого тока. Если управляющий ток в канале ПХ стабилен, то напряжение на его выходе прямо пропорционально абсолютному значению индукции магнитного поля и, соответственно, мгновенному значению измеряемого тока, как переменного, так и постоянного. Верхняя граница частотного диапазона датчиков с ПХ определяется скоростью перемагничивания магнитных доменов материала сердечника и может достигать сотен кГц.

Существенным недостатком ПХ, осложняющим их применение в качестве чувствительных элементов датчиков повышенной точности, является присутствие сравнительно большого остаточного напряжения на выходе преобразователей (т.е. напряжения в отсутствие магнитного поля). Это является прямым следствием технологических погрешностей изготовления ПХ, в частности, из-за наличия дефектов кристаллической структуры первичного полупроводникового материала, неточностей процессов фотолитографии и т.п.

Обычно остаточное напряжение компенсируется на стадии ка-

либровки измерительных и/или управляющих систем, первичным звеном которых является каждый конкретный датчик. Это достигается, например, путем смещения нуля операционных усилителей, применяемых для усиления выходного сигнала ПХ, или коррекцией магнитного поля, непосредственно воздействующего на преобразователь.

Общим недостатком всех таких способов улучшения передаточной характеристики датчиков на основе ПХ является заметное искажение симметрии вторичных усилительно-преобразующих звеньев измерительной системы, или же воздействующего на ПХ магнитного поля, и, как следствие этого, появление дополнительной температурной погрешности контрольно-измерительной системы в целом [4].

Выводы.

1. Преобразователи Холла в настоящее время применяются во многих устройствах косвенного контроля токов электрических аппаратов. Эти преобразователи решают ряд задач, связанных с улучшением характеристик первичных преобразователей, включая температурную компенсацию, расширение диапазона измеряемых переменных токов, симметрирование характеристик передачи для положительно и отрицательно полярных сигналов и др. Основное достоинство этих преобразователей – возможность гальванической развязки с силовой цепью.

2. Датчики Холла являются малогабаритными устройствами, что в принципе позволяет применять их в больших количествах для локального контроля токов силовой цепи, особенно в случае разветвленных цепей.

3. В современных системах контроля множества параметров электрооборудования применение преобразователей Холла является перспективным направлением, эти преобразователи легко интегрируются в сложные измерительные комплексы.

Список литературы: 1. *Петин О.В., Щербаков Е.Ф.* Испытание электрических аппаратов: Учеб. пособие для вузов по спец. "Электрические аппараты". – М.: Высш. шк., 1985. – 215 с. 2. *Хомерики О.К.* Полупроводниковые преобразователи магнитного поля. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с. 3. *Вайсс Г.* Физика гальваномагнитных полупроводниковых приборов и их применение. – М.: Энергия, 1974. 4. *Намитков К.К., Малюк А.Г.* Организация и методы испытаний аппаратов низкого напряжения. – М.: Инфорэлектро, 1979. – 95 с. 5. *Кобу А., Тушинский Я.* Датчики Холла и магниторезисторы: пер. с польского под ред. О.К.Хомерики. – М.: Энергия, 1971.

Поступила в редколлегию 29.09.2010