

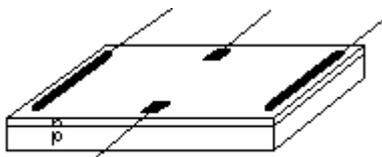
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ХОЛЛА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе
по дисциплине «Физические основы получения информации»
для студентов направления 12.03.01 "Приборостроение"
(направленность "Приборостроение") всех форм обучения



Воронеж 2016

Составители: канд. техн. наук А.В. Турецкий,
канд. техн. наук Н.В. Ципина,
канд. техн. наук В.А. Шуваев

УДК 621.3.049.7.002 (075)

Исследование характеристик датчиков Холла: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Физические основы получения информации» для студентов направления 12.03.01 "Приборостроение" (направленность «Приборостроение») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.В. Турецкий, Н.В. Ципина, В.А. Шуваев. Воронеж, 2016. 23 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы по курсу «Физические основы получения информации». Основной целью указаний являются выработка навыков работы с датчиками Холла, уяснение их принципа действия, характеристик и параметров. Методические указания предназначены для бакалавров техники и технологии по направлению 12.03.01 «Приборостроение» всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле «LR5 FOP1.pdf».

Ил. 6. Библиогр.: 2 назв.

Рецензент д-р. техн. наук, проф. О.Ю. Макаров

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.В. Муратов

Издается по решению редакционно–издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», 2016

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Цель работы

Изучение теории датчиков Холла и проведение экспериментальных исследований выдаваемых ими сигналов.

1.2. Содержание работы

Датчики Холла широко применяются в устройствах для подсчитывания количества оборотов вращения, системах зажигания двигателей внутреннего сгорания а также измерения параметров магнитных полей.

1) изучить принцип действия, конструкцию, характеристики датчиков Холла различного типа;

2) освоить методику работы с USB осциллографом;

3) изучить форму сигнала, поступающего с датчика Холла, применяемого в системах управления двигателем;

4) составить отчет о выполненной лабораторной работе.

При выполнении лабораторной работы техника безопасности должна соблюдаться при работе со стендом лабораторной установки.

2. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание № 1

Изучить принцип действия, конструкцию, характеристики датчиков Холла.

Для выполнения домашнего задания следует проработать содержание настоящего раздела.

В основе датчиков э. д. с. Холла лежит явление искривления пути носителей заряда в полупроводниках, находящихся

в магнитном поле [1]. Это явление впервые было открыто американским физиком Эдвином Холлом в 1876 г.

Рассмотрим прямоугольную пластину полупроводника с электропроводностью n-типа, расположенную, как показано на рис. 1, а.

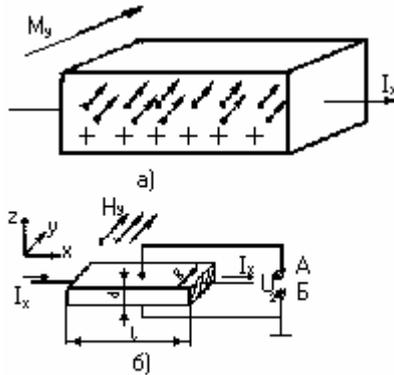


Рис. 1. Схема возникновения э.д.с. Холла

В направлении оси x протекает ток I_x от внешнего источника. Пластина помещена в магнитное поле H_y , перпендикулярное направлению тока.

В отсутствие магнитного поля электроны движутся в пластине в направлении электрического поля E_x . В магнитном поле электроны отклоняются под действием силы Лоренца:

$$F = -e(v_x B_y), \quad (1)$$

где e - заряд электрона; B_y - индукция магнитного поля, направленного вдоль оси y ; $v_x = -\mu_n E_x$ - скорость электрона в направлении тока; μ_n - подвижность электронов. Эта сила направлена перпендикулярно как направлению магнитного поля, так и направлению тока (вдоль оси Z , рис. 1). Поэтому электроны смещаются перпендикулярно направлению их первоначального движения. При условиях, показанных на рис. 1, на зажиме А должен быть отрицательный потенциал относительно

но зажима Б, так как верхняя поверхность полупроводника, к которой отклоняются электроны, будет заряжаться отрицательно, а противоположная поверхность - положительно. Заряды создают в пластине поперечное электрическое поле, названное по имени ученого полем Холла. Процесс образования объемных зарядов у поверхностей прекратится лишь тогда, когда напряженность поля Холла будет полностью компенсировать действие на электроны силы Лоренца. Условие равенства сил, действующих на электрон со стороны электрических и магнитных полей, может быть записано в виде

$$-e(v_x B_y) = eE_z, \quad (2)$$

откуда может быть определено поле Холла

$$E_z = -(v_x B_y) = -\mu_n B_y E_x \quad (3)$$

или э. д. с. Холла

$$U_z = -\frac{\mu_n B_y}{d} E_x, \quad (4)$$

где d — толщина пластины (рис. 1, б). Возникновение э. д. с. Холла называется эффектом Холла.

Протекающий через образец с шириной b и сечением S ток плотностью j_x , обусловленный действием электрического поля, связан с концентрацией и скоростью электронов соотношением:

$$I_x = j_x S = env_x S = env_x b d. \quad (5)$$

Решая совместно уравнения (4) и (5), получим

$$U_z = -\frac{1}{en} \cdot \frac{B_y I_x}{d} = R_x \frac{B_y I_x}{d}, \quad (6)$$

где $R_x = -1/en$ - коэффициент Холла, связывающий поперечную разность потенциалов с индукцией магнитного поля. Величина его зависит от материала пластины, содержания примесей и температуры.

Из выражения (6) следует, что величина э. д. с. Холла зависит от физических свойств материала пластины, от ее размеров, а также, от величины протекающего через нее тока и от воздействующего на этот ток магнитного поля.

Если пластина имеет электропроводность р-типа, то основная часть тока создается дырками, движущимися слева направо, тогда в левой части уравнения (2) следует поставить знак плюс. Траектории дырок в этом случае будут смещаться вверх, верхняя поверхность будет накапливать положительный заряд и э. д. с. Холла будет положительной.

Вывод выражения для э. д. с. Холла сделан без учета хаотического теплового движения электронов и их распределения по скоростям. Более строгий расчет дает формулу для коэффициента Холла в полупроводнике с электропроводностью n-типа:

$$R_x = -\frac{3\pi}{8ne}$$

и в полупроводнике с электропроводностью р-типа

$$R_x = \frac{3\pi}{8pe}$$

Для полупроводников, имеющих собственную электропроводность или содержащих носители заряда обоих типов в

сравнимых концентрациях, коэффициент Холла описывается выражением

$$R_x = \pm \frac{3\pi}{8e} \cdot \frac{n\mu_n^2 - p\mu_p^2}{(n\mu_n + p\mu_p)^2} \quad (7)$$

Если концентрации электронов и дырок в образце равны и равны их подвижности, то э. д. с. Холла будет равна нулю, так как направление движения дырок противоположно направлению движения электронов и электроны и дырки будут смещаться магнитным полем в одну и ту же сторону. В действительности в полупроводниках подвижность электронов больше подвижности дырок, поэтому в собственном полупроводнике э.д. с. Холла соответствует по знаку электронному образцу. При переходе от собственной электропроводности к дырочной э. д. с. Холла проходит через нуль и изменяет знак.

Параметры и характеристики датчиков Холла.

Датчик Холла представляет собой магнитоэлектрический полупроводниковый прибор, основанный на использовании эффекта Холла, На рис. 2, а показаны схемы включения датчика Холла.

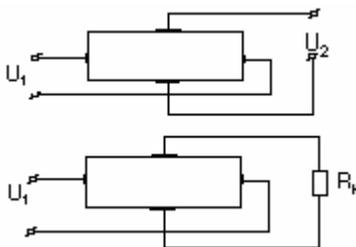


Рис. 2. Схемы включения датчика Холла

Напряжение, подаваемое на управляющие электроды U_1 , называется входным напряжением датчика Холла, а сопротивление R_1 между этими электродами называется входным сопротивлением.

Величина этого сопротивления при отсутствии магнитного поля определяется по формуле

$$R_1 = \frac{\rho l}{bd}, \quad (8)$$

где ρ — удельное сопротивление полупроводника.

С ростом напряженности магнитного поля входное сопротивление

увеличивается.

Напряжение между двумя другими (холловскими) контактами называется выходным и обозначается U_2 (рис. 2). Сопротивление между холловскими контактами называется выходным и обозначается R_2 . Величина его при отсутствии магнитного поля определяется выражением

$$R_2 = \frac{\rho b}{ld}. \quad (9)$$

Здесь не учтена неравномерность распределения тока по сечению датчика. Выходное сопротивление, так же как и входное, с увеличением магнитного поля растет.

На рис. 3 приведено семейство вольт-амперных характеристик датчика для одного и того же значения входного тока и для нескольких значений индукции магнитного поля. С возрастанием поля крутизна возрастает вследствие того, что возрастает внутреннее сопротивление датчика R_2 .

Одной из важных характеристик датчика, позволяющей оценить его эффективность, является коэффициент передачи K . Он определяется как отношение выходного напряжения к

входному при заданном значении управляющего магнитного поля:

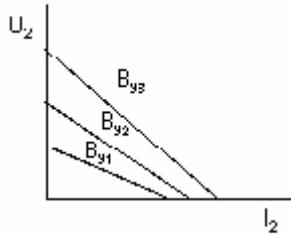


Рис. 3. Семейство вольтамперных характеристик датчика Холла

$$K = \frac{U_2}{U_1}. \quad (10)$$

Учитывая выражения (9), (10) и что $I_1 = U_1/R_1$, можно найти коэффициент передачи:

$$K = \frac{R_x B_d}{\rho l}. \quad (11)$$

Коэффициент передачи с увеличением индукции магнитного поля возрастает.

Обычно датчик э.д.с. Холла работает на внешнюю нагрузку. Схема включения показана на рис. 2 (нижний рисунок). Подводимая к датчику мощность от внешнего источника тока равна

$$P_1 = \frac{I_1^2 \rho b}{ld} \quad (12)$$

где R_H — сопротивление нагрузки. Мощность, отдаваемая в нагрузку,

$$P_n = I_2^2 R_n = \frac{U_2^2 R_n}{(R_2 + R_n)^2}. \quad (13)$$

При согласовании выходного сопротивления и нагрузки достигается максимальная мощность, отдаваемая в нагрузку,

$$P_n = \frac{U_2^2}{4R_2} = \frac{U_2^2 l d}{4\rho b}. \quad (14)$$

Учитывая (6), получим

$$P_n = \frac{R_x^2 I_1^2 B^2 l}{4\rho b d} \quad (15)$$

Максимальная отдаваемая мощность ограничивается предельно допустимой мощностью рассеяния на датчике. Коэффициент полезного действия датчика Холла определяется как отношение мощности, отдаваемой в нагрузку P_n к мощности на его входе:

$$\eta = \frac{P_n}{P_1}.$$

При согласованной нагрузке, учитывая (12) и (15), к. п. д. датчика

$$\eta = \left(\frac{R_x B l}{2\rho l} \right)^2 \quad (16)$$

К. п. д. датчика Холла обычно не превышает 20 %. Величина его не зависит от входного тока.

Для увеличения э.д.с. Холла и выходной мощности необходима увеличивать входную мощность.

Важной характеристикой датчика Холла является чувствительность γ . Определяется она как э. д. с., возникающая на холловских контактах при единичном управляющем токе и единичном значении магнитной индукции:

$$\gamma = \frac{U_2}{BI_1} = \frac{R_x}{d} \quad (17)$$

Выражение (6) с учетом (18) примет вид

$$U_2 = \gamma I_1 B \quad (18)$$

Важным параметром датчика Холла является отношение, характеризующее э. д. с. Холла, приходящееся на единицу магнитной индукции. Этот параметр называется магнитной чувствительностью:

$$\gamma_n = \frac{U_2}{B} = \frac{R_x I_1}{d} \quad (19)$$

Конструкции и применение датчиков Холла.

Для изготовления датчиков Холла необходимо добиваться следующих основных показателей:

а) высокого значения R_x , когда необходимо получить высокое значение э. д. с. Холла в режиме холостого хода;

б) высокой проводимости при заданном значении коэффициента Холла, когда датчик работает на внешнюю нагрузку, потребляющую ток, и часть э.д.с. Холла падает на

внутреннем сопротивлении датчика между электродами Холла, обуславливая вредные потери;

в) низкого температурного коэффициента, коэффициента Холла и проводимости.

Материал, из которого изготавливают датчик Холла, должен иметь максимальную подвижность носителей заряда с минимальными температурными зависимостями подвижности и концентраций носителей заряда.

Из формулы (6) видно, что для получения наибольшего значения э. д. с. Холла необходимо выбирать материал с небольшой электропроводностью.

Для этой цепи используют пленки селенида и теллурида ртути, антимонида индия и твердые растворы этих соединений. Они обладают высокой подвижностью носителей заряда даже в тонких монокристаллических пленках. Тонкопленочные датчики, полученные методом испарения из этих материалов, обладают слабой зависимостью коэффициента Холла и сопротивления от температуры и от напряженности магнитного поля, что определило их широкое применение, несмотря на сравнительно низкую э. д. с. Холла.

Для изготовления датчиков Холла применяют также монокристаллический германий и кремний, легированные мышьяком, фосфором и сурьмой. Датчики, изготовленные из этих материалов, имеют высокий коэффициент Холла и низкий температурный коэффициент (особенно кремниевые). Максимальная величина э.д.с. Холла достигает 1В.

Применяется для изготовления датчиков Холла антимонид индия, арсенид индия, а также сплав антимонида индия и антимонида галлия. Датчики, изготовленные из этих материалов, имеют сильную зависимость сопротивления и коэффициента Холла от температуры и магнитного поля. Это ограничивает их применение.

Из формулы (6) видно, что э.д.с. Холла будет тем выше, чем тоньше образец полупроводника. Поэтому датчики э. д. с. Холла изготавливают в виде пластинок или тонких пленок, тем

более, что с их помощью производится измерение магнитных полей в малых зазорах.

Для получения высокого коэффициента передачи геометрические размеры необходимо выбирать в соотношении $l/b = 2 \div 3$.

Полупроводниковый слиток разрезается на пластины, которые посредством шлифовки доводятся до требуемой толщины. Далее пластины разрезают на прямоугольники нужных размеров, которые снабжают четырьмя омическими контактами. Два из них предназначены для подведения к датчику напряжения от внешнего источника. Они выполняются по всей ширине пластины, чтобы получить равномерное распределение входного тока по сечению пластины на всей ее длине. Два других электрода предназначены для регистрации э. д. с. Холла.

Эти контакты должны быть расположены строго в одном сечении, в противном случае между ними будет возникать разность потенциалов и при отсутствии магнитного поля за счет протекания тока.

Учитывая, что выходной ток очень мал, иногда выходные электроды выполняют точечными. Из теллурида и селенида ртути датчики Холла могут быть изготовлены также прессованием порошков при температуре около 500 К.

Пленочные датчики изготавливают посредством нанесения тонких пленок на подложку методом вакуумного испарения исходного материала.

Материалом подложки могут служить слюда, керамика или другие изоляционные материалы. Материал подложки должен обеспечить хорошую адгезию напыляемого материала и иметь с ним близкий температурный коэффициент линейного расширения.

Контакты пленочных датчиков наносят испарением в вакууме.

Для стабилизации параметров готовую пленку в течение нескольких часов подвергают термостарению при темпе-

ратуре 100°C . Пленочные датчики тоньше пластиночных. Их толщина определяется в основном подложкой. Преимуществом их является высокое сопротивление, что удобно при согласовании с нагрузкой.

Получили развитие два новых прогрессивных метода изготовления датчиков Холла. Это метод диффузии, примеси и метод эпитаксиального выращивания. Оба эти метода широко применяют при изготовлении диодов и транзисторов.

Посредством диффузии примеси на материале р-типа образуется р- n-переход. На диффузионном n-слое размещаются электроды, а р- n-переход служит изолирующим слоем (рис. 4).

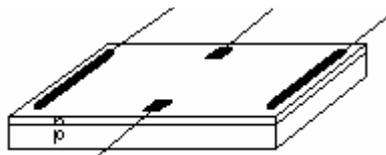


Рис. 4. Диффузионный датчик Холла

При эпитаксиальном выращивании подложкой может быть как монокристаллическая пластина того же материала, так и изоляционные материалы.

Датчики Холла, полученные этими методами, имеют преимущества монокристаллических датчиков (высокий коэффициент Холла и хорошую стабильность) и преимущества пленочных (высокую чувствительность). Толщина рабочего слоя у них не более, чем у пленочных.

Для защиты от механических и климатических воздействий изготовленный датчик покрывают синтетической смолой и приклеивают к изоляционной подложке или помещают в бронзовый корпус. Последний способствует отводу от датчика тепла.

На рис. 5 приведено несколько конструктивных исполнений датчика Холла. На рис. 5, а показан датчик, выпускаемый без корпуса и подлежащий заливке компаундом после ус-

тановки в воздушный зазор магнитопровода. На рис. 2.5, в приведен датчик с оболочкой из эпоксидной смолы. На рис. 2.5, б показан датчик, заключенный в ферритовую оболочку с симметричной магнитной системой.

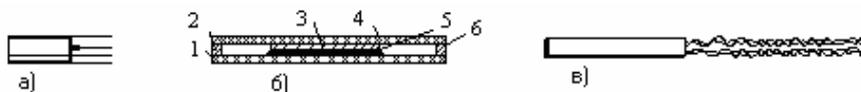


Рис. 5. Конструкции датчиков Холла

Ферритовое основание 1 и крышка 4 имеют одинаковые размеры. Полупроводниковая пластина 5 наклеена прямо на ферритовое основание. Ферритовый стержень 3 концентрирует магнитный поток на поверхность датчика. Стенки 6 и 2 выполнены из немагнитного материала и обеспечивают необходимый зазор между ферритовым стержнем и полупроводниковой пластиной (обычно 2—3 мкм).

На основе эффекта Холла можно создать ряд устройств и приборов, обладающих ценными и даже уникальными свойствами и занимающих важное место в измерительной технике, автоматике, радиотехнике и т. д.

Так как э. д. с. Холла пропорциональна току I и индукции магнитного поля, то при постоянной величине тока величина э. д. с. будет пропорциональна только индукции магнитного поля. Это позволяет использовать датчики Холла для измерения индукции магнитных полей.

Одним из приборов, в которых используется это свойство, является магнитометр, измеряющий как малые, так и большие поля (10 — 100 А/м).

Кроме того, датчики э. д. с. Холла применяют для измерения токов и мощностей. Если поддерживать постоянной напряженность магнитного поля, то э. д. с. Холла будет изменяться пропорционально величине тока, протекающего через датчик. Если датчик Холла поместить в магнитное поле, пропорциональное протекающему через нагрузку току, и на вход

его подать напряжение, пропорциональное напряжению на нагрузке, то э. д. с. Холла будет пропорциональна мощности, выделяемой в нагрузке.

Датчики Холла могут применяться для измерения силы, давлений, углов, перемещений и других неэлектрических величин.

Если, например, датчик Холла перемещать в неоднородном магнитном поле, поддерживая входной ток постоянным, то э. д. с. Холла будет изменяться пропорционально напряженности магнитного поля, а следовательно, и местоположению датчика.

В полупроводниковом производстве эффект Холла используется для измерения подвижности и концентрации носителей полупроводникового материала. Для этой цели на специальном подготовленном образце измеряют э. д. с. Холла и по его величине судят о подвижности и концентрации носителей заряда материала, используемого для изготовления полупроводниковых приборов.

Точностные характеристики датчиков Холла

Лучшими метрологическими характеристиками обладают преобразователи Холла типа ПХЭ на основе гетероэпитаксиальных структур антимионида индия, которые в зависимости от метрологических характеристик разделяются на классы А, Б и В. Некоторые разновидности этих преобразователей характеризуются очень малым температурным коэффициентом чувствительности $(5 \div 10) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, малым остаточным напряжением (10—70 мкВ), малой погрешностью линейности при магнитных индукциях до 15 Тл и широким диапазоном рабочих температур (от $-271,5$ до $+100^\circ\text{C}$). Для работы при повышенных температурах (до $127\text{-}327^\circ\text{C}$) наиболее пригодны преобразователи Холла из арсенида галлия, которые имеют относительно малые температурные коэффициенты постоянной Холла и удельные сопротивления.

Остаточным напряжением преобразователя Холла называется напряжение, которое возникает между Холловыми электродами при прохождении через преобразователь тока в

отсутствии магнитного поля. Причиной остаточного напряжения в первую очередь является расположение Холловых электродов в неэквипотенциальных точках пластины.

При наличии температурного градиента между Холловыми контактами, каждый из которых является соединением медного вывода с полупроводниковым материалом, в цепи возникает термо-ЭДС. При разности температур между контактами $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ возникает термо-ЭДС $e_T = 10\div 100\text{ мкВ}$. Для уменьшения градиента температур преобразователь следует укреплять на подложке из материала с хорошей теплопроводностью. Суммарное остаточное напряжение может составлять от единиц микровольт до десятков милливольт. У серийно выпускаемых преобразователей значения $U_{\text{ост}}/I$ лежат в пределах $10^{-6}\text{—}0,4\text{ Ом}$.

Коррекцию остаточного напряжения также можно осуществить при совместном использовании преобразователя Холла и операционного усилителя с дифференциальным входом. Особенно пригодны для этой цели операционные усилители, которые имеют малый температурный дрейф (менее 1 мкВ/К) и независимую цепь коррекции выходного смещения, при помощи которой осуществляется компенсация остаточного напряжения.

Погрешности преобразователей Холла.

Погрешность нуля, обусловленная дрейфом остаточного напряжения, является одной из наиболее трудно устранимых составляющих погрешности преобразователей Холла. Дрейф главным образом связан с колебаниями температуры преобразователя и наличием градиента температур между его электродами. Одной из причин возникновения градиента температур является эффект Пельтье, который имеет место при питании преобразователя постоянным током.

Погрешность нуля является основной характеристикой, определяющей применимость преобразователей Холла для измерения слабых магнитных полей.

Погрешность линейности у различных типов преобразователей при изменении магнитной индукции от 0 до 10 Тл составляет 1—10 %.

Хорошей линейностью характеристик отличаются преобразователи Холла из антимонида индия, у которых погрешность линейности составляет 0,1—1% в диапазоне $B=0\div 2$ Тл и 1 % при $B=0,1\div 10$ Тл. Малую погрешность линейности (0,2 %) при магнитной индукции до 1 Тл имеют преобразователи из арсенида-фосфида индия (InAsP).

Погрешность от собственного магнитного поля преобразователя. При прохождении через преобразователь тока возникает магнитное поле. Если это поле асимметрично, то интегральное по площади пластины значение индукции не будет равно нулю, а составит некоторую величину B_{ac} . Асимметрия поля может иметь место, если обратный провод токового вывода расположен вблизи преобразователя и асимметрично по отношению к нему. Возникающая в результате взаимодействия индукции B_{ac} и тока I дополнительная ЭДС Холла пропорциональна квадрату тока I . Если преобразователь находится на значительном расстоянии от ферромагнитных деталей, то магнитная индукция собственного поля преобразователя обычно не превышает 10^{-6} — 10^{-4} Тл. При нахождении преобразователя вблизи полюсных наконечников индукция этого поля может достигать $5\cdot 10^{-4}$ — 10^{-3} Тл, что приводит к существенной погрешности. Основным путем уменьшения влияния собственного магнитного поля — правильный монтаж преобразователя.

Погрешность направленности обусловлена зависимостью выходного сигнала преобразователя Холла от его пространственного расположения по отношению к вектору магнитной индукции. Напряжение Холла имеет максимальное значение, когда вектор магнитной индукции направлен параллельно магнитной оси преобразователя, указывающей направление наибольшей чувствительности. В идеальном случае маг-

нитная ось совпадает с нормалью к плоскости преобразователя.

Вопросы стабильности преобразователей Холла еще недостаточно изучены. По имеющимся данным, нестабильность чувствительности у некоторых типов преобразователей составляет 0,1 — 1 % в год. Существенное влияние на стабильность могут оказать механические напряжения, возникающие в процессе изготовления преобразователя и при его монтаже в датчике, а также температурные деформации. Преобразователи без подложки более стабильны, чем наклеенные на подложку.

Температурная погрешность преобразователей Холла обусловлена зависимостью от температуры постоянной Холла, сопротивления преобразователя и остаточного напряжения. Температурный коэффициент чувствительности у лучших типов преобразователей составляет $(5 \div 10) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Малые значения температурной погрешности характерны для преобразователей на основе гетерозпитаксильных структур InSb тройного соединения $\text{InAs}_{0,8}\text{P}_{0,2}$ ($\gamma_{\Theta} \leq 0,0003 \text{ K}^{-1}$), из арсенида галлия ($\gamma_{\Theta} \leq 0,0006 \text{ K}^{-1}$ в диапазонах температур 20—300 °C), а также для некоторых типов преобразователей из германия ($\gamma_{\Theta} \leq 0,0003 \text{ K}^{-1}$), предназначенных для работы в относительно узком диапазоне температур.

Если температурные коэффициенты постоянной Холла и сопротивления имеют одинаковые знаки и близки по значению, коррекцию температурной погрешности можно осуществить при питании преобразователя от источника стабильного напряжения. Такой режим питания целесообразно применять для преобразователей Холла из антимонида индия. Уменьшение температурной погрешности достигается также при применении схем коррекции с использованием терморезисторов. Однако, поскольку напряжение Холла сложным образом зависит от ряда температурно-зависимых параметров, осуществить точную коррекцию температурной погрешности практически невозможно, особенно для широкого диапазона рабочих температур.

Динамические характеристики преобразователей Холла

Время установления ЭДС Холла характеризуется временем релаксации $\tau = \epsilon / \gamma$, где ϵ — диэлектрическая проницаемость, а γ — удельная проводимость материала преобразователя. Для обычно используемых материалов $\tau = 10^{-11} \div 10^{-13}$ с, поэтому постоянная Холла частотно-независима при частотах до 10^{11} Гц. Межэлектродные емкости у преобразователей Холла составляют единицы пикофарадов, поэтому их влияние скрывается при частотах порядка десятков и сотен мегагерц.

Динамические свойства непосредственно преобразователя Холла, казалось бы, позволяют использовать его при измерениях индукции в переменных магнитных полях очень высокой частоты. Однако при работе в переменных магнитных полях возникают ограничения несколько иного рода. В переменном магнитном поле в выходной цепи преобразователя появляется дополнительная ЭДС, индуцируемая переменным магнитным полем, $e_{\text{инд}} = \omega V_m S \cos \omega t$, где ω — частота; V_m — амплитуда индукции и S — площадь контура, пронизываемого магнитным потоком. Индуцируемая ЭДС сдвинута по отношению к ЭДС Холла на 90° . Уменьшение индуцируемых ЭДС осуществляется рациональным расположением выводов преобразователя и включением дополнительных компенсационных обмоток. Возможно также питание преобразователя переменным током, частота которого значительно больше частоты переменного магнитного поля, и использование узкополосных усилителей для усиления выходного напряжения. Кроме того, в переменном магнитном поле в пластине преобразователя возникают вихревые токи, магнитное поле которых изменяет основное поле и тем самым ЭДС Холла. Вектор наведенной магнитной индукции сдвинут относительно вектора индукции внешнего поля примерно на 90° , и поэтому изменение ЭДС Холла происходит не только по значению, но и по фазе. Вихревые токи приводят также к дополнительному разогреву преобразователя. При питании преобразователя Холла постоян-

ным током и нахождении его в переменном магнитном поле с частотой до 1,5 МГц и индукцией до 0,5 Тл зависимость ЭДС Холла от частоты имеет вид

$$E_{xH} = R_{xH} BI \sqrt{1 + (\omega \mu \gamma b^2)^2 / 48} e^{j(\omega t + \phi)} / d ,$$

где γ — электрическая проводимость материала преобразователя; μ — магнитная проницаемость среды, окружающей преобразователь; $\phi = \arctg \omega \mu \gamma b^2 / 8$ — фазовый сдвиг.

Как видно, характеристика ЭДС Холла сильно зависит от ширины преобразователя b . Так, например, при расположении преобразователя Холла толщиной 100 мкм и шириной 6 мм между двумя ферритовыми наконечниками ($\mu \approx 2000 \mu_0$) ЭДС Холла увеличивается в 1,5 раза при изменении частоты магнитного поля от 0 до 1,5 МГц, а сдвиг фазы между ЭДС Холла и магнитной индукцией достигает 57° . При уменьшении ширины преобразователя в два раза ($b=3$ мм) и неизменных прочих условиях увеличение ЭДС Холла составляет всего 3%.

При питании преобразователей током высокой частоты имеет место поверхностный эффект, который приводит к уменьшению эффективной толщины преобразователя и к увеличению его чувствительности. Для серийно выпускаемых преобразователей поверхностный эффект мало сказывается при частотах до 10^7 Гц. Для работы при более высоких частотах питающего тока необходимо использовать пленочные преобразователи толщиной 5—10 мкм.

Анализ основных метрологических характеристик преобразователей Холла показывает, что основная погрешность большинства приборов, в которых используются преобразователи Холла, составляет 0,5—1,0 % и более. Только при применении сложных методов коррекции можно снизить погрешность измерения до 0,1—0,2 % при работе в узком диапазоне температур.

2.2. Контрольные вопросы к домашнему заданию

1. В чем сущность эффекта Холла ?
2. Каково назначение датчиков Холла ?
3. Каково устройство датчиков Холла ?
4. Какие параметры датчиков Холла Вы знаете ?
5. Каким образом изготавливаются датчики Холла ?
6. Где применяются датчики Холла ?

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Задание

- 1) Изучить теоретическую часть работы. Ознакомиться с принципом действия датчика Холла.
- 2) Получить сигнал с датчика Холла. Изучить его форму.
- 3) Сделать заключение по выполненной лабораторной работе.

3.2. Описание лабораторной установки

Внешний вид лабораторной установки приведен на рис. 6. Она состоит из лабораторного блока питания 1 с возможностью регулировки тока и напряжения. Электродвигатель постоянного тока 2 запитывается от блока питания. На вал двигателя насажен поводок с небольшим магнитом. Перпендикулярно колесу располагается Датчик Холла 3. К датчику Холла подключается USB осциллограф для наблюдения за формой сигнала. Установка запитывается от блока питания 4.

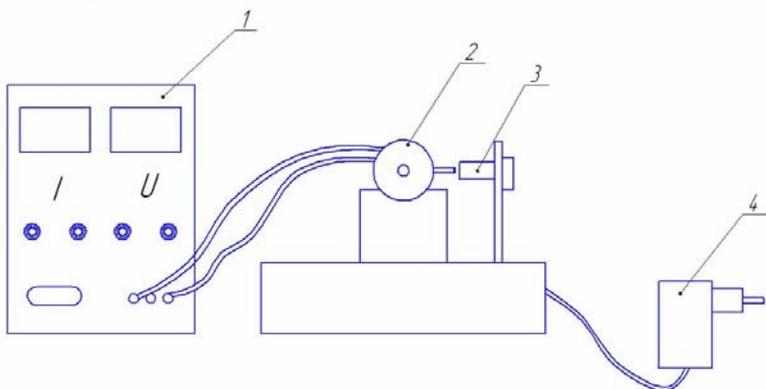


Рис. 6. Схема лицевой панели лабораторной установки

3.3. Методика проведения эксперимента

Наблюдение за формой сигнала

1. Подключить блок питания и USB осциллограф к установке.
2. Включить блок питания в сеть.
3. Регулировкой напряжения на блоке питания добиться равномерного вращения шпинделя двигателя.
4. Добиться устойчивой картинке на USB осциллографе. Определить частоту и амплитуду сигнала.

Составить отчет по работе, в содержании которого привести:

1. теоретическую часть;
2. конструкцию датчиков Холла;
3. осциллограммы сигнала;
4. построенные характеристики.

3.4. Контрольные вопросы.

1. Каковы достоинства и недостатки датчиков Холла ?
2. Каковы области применения датчиков Холла ?
3. Дайте оценку погрешностей, вносимых при использовании датчиков Холла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шишмарев, В.Ю. Физические основы получения информации: учеб. пособие для студ. высш. проф. образования [Текст] / В.Ю. Шишмарев. -М.: Академия, 2010. - 448 с.
2. Дресвянников, А.Ф. Физические основы измерений [Текст] / А.Ф. Дресвянников, Е.В. Петрова, Е.А. Ермолаева. - М.: ЛЕНАНД, 2011. - 296 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие указания.....	1
2. Домашние задания и методические указания по их выполнению.....	1
3. Лабораторные задания и методические указания к его выполнению.....	20
Библиографический список.....	22

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ХОЛЛА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе
по дисциплине «Физические основы получения информации»
для студентов направления 12.03.01 "Приборостроение"
(направленность "Приборостроение") всех форм обучения

Составители:
Турецкий Андрей Владимирович
Ципина Наталья Викторовна
Шуваев Владимир Андреевич

В авторской редакции
Компьютерный набор А.В. Турецкого

Подписано к изданию 08.11.2016.
Уч.-изд. л. 1,4.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14