

УДК 621.389

**СЕНСОРЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
SENSORS AND MEASURING DEVICES**

Д.В. Кухновец, С.А. Афанасьев

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская ст. преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Kuhnovets, S. Afanasev

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Современное общество находится в постоянном поиске более точных и надежных методов измерения различных параметров, таких как температура, давление и влажность. Это обусловлено необходимостью точных данных для научных и инженерных исследований, а также для обеспечения качественного контроля процессов в промышленности. Одним из ключевых элементов в области измерений являются сенсоры и измерительные устройства. Настоящая научная работа посвящена разработке новых типов сенсоров и усовершенствованию методов калибровки для обеспечения более точных и надежных измерений.

Abstract: Modern society is in a constant search for more accurate and reliable methods of measuring various parameters such as temperature, pressure and humidity. This is due to the need for accurate data for scientific and engineering research, as well as to ensure quality control of processes in industry. One of the key elements in the field of measurements are sensors and measuring devices. The present research work focuses on the development of new types of sensors and improved calibration methods to provide more accurate and reliable measurements.

Ключевые слова: Сенсоры, Эффект Холла, Трансформатор, Датчик Холла, Измерительные устройства.

Keywords: Sensors, Hall effect, Transformer, Hall sensor, Measuring devices.

Введение

Сенсоры и измерительные устройства играют важную роль в современном мире, обеспечивая сбор и анализ данных о различных параметрах окружающей среды. Разработка новых типов сенсоров и усовершенствование методов их калибровки имеют решающее значение для точности и надежности измерений. В данной научной работе будут рассмотрены основные аспекты разработки новых сенсоров и совершенствования методов калибровки и калибровочных устройств.

Основная часть

Разработка новых типов сенсоров.

Температурные сенсоры. Температурные сенсоры являются одними из наиболее распространенных типов сенсоров. Для повышения их точности и функциональности проводится исследование новых материалов для изготовления терморезисторов и термопар, а также разработка инновационных методов измерения температуры.

Как известно, термопара содержит два спая, поэтому для правильного и точного измерения температуры на одном (первом) из спаев, необходимо поддерживать другой (второй) спай при известной постоянной температуре, чтобы измеренная ЭДС оказывалась явной функцией температуры только первого спая – главного рабочего спая.

Так, с целью поддержания в термоизмерительном контуре условий, при которых паразитное влияние ЭДС второго («холодного спая») было бы исключено, необходимо как-то компенсировать в любой рабочий момент времени напряжением (рисунок 1).

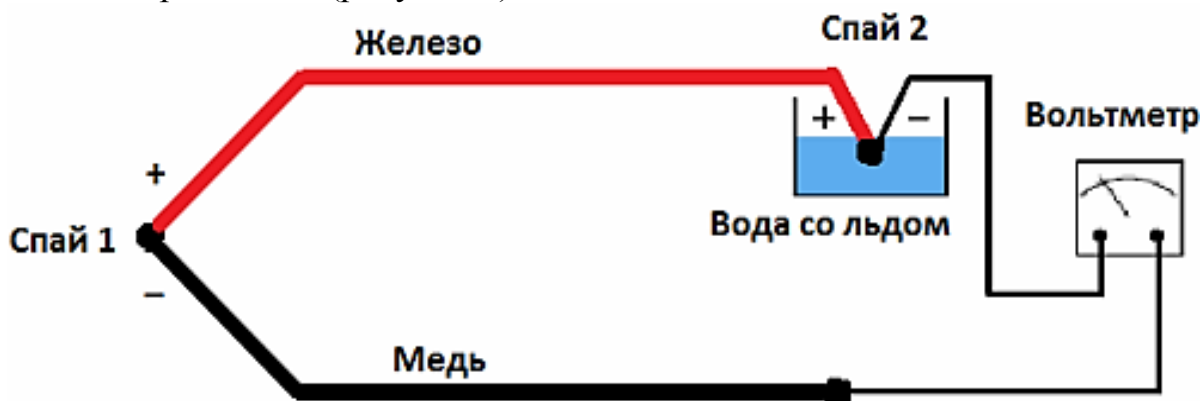


Рисунок 1 – Термоизмерительный контур, в котором 2 спай погружен в воду со льдом.

С целью достижения правильных условий, можно прибегнуть к незамысловатой хитрости: поместить второй спай (места присоединения проводов первого спая с измерительным прибором) в емкость с ледяной водой – в заполненную водой ванночку, в которой еще плавает лед. Таким образом получим на втором спая фактически постоянную температуру таяния льда.

После чего останется, отслеживая результирующее напряжение на термопаре, вычислять температуру первого (рабочего) спая, ибо второй спай будет находиться в неизменном состоянии, напряжение на нем будет константой. Цель в итоге будет достигнута, влияние «холодного спая» окажется скомпенсировано. Но если так делать, то получится громоздко и не удобно (рисунок 2).



Рисунок 2 – Термоизмерительный контур, в котором влияние «холодного спая» скомпенсировано.

Чаще термопары применяются все же в мобильных портативных устройствах, в переносных лабораторных приборах, поэтому нежен другой вариант, ванночка с ледяной водой разумеется нам не подходит.

И такой иной способ есть – метод компенсации напряжения от изменяющейся температуры «холодного спая»: присоединить последовательно к измерительному контуру источник дополнительного напряжения, ЭДС которого будет иметь противоположное направление и по величине будет всегда точно равна ЭДС «холодного спая».

В случае, если ЭДС «холодного спая» непрерывно отслеживается путем измерения его температуры иным способом нежели термопара, - тогда равную компенсирующую ЭДС можно непрерывно тут же прикладывать, сводя суммарное напряжение паразитного участка цепи к нулю.

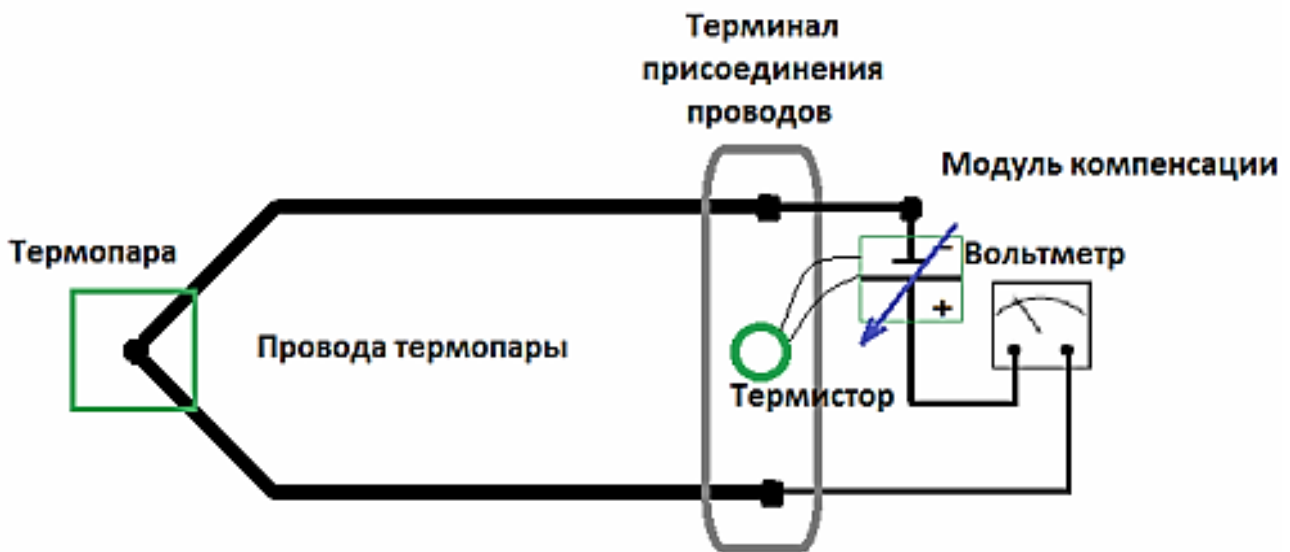


Рисунок 3 – Термоизмерительный контур соединенный с типовой электроникой

Для этого подойдет термистор или термометр сопротивления, соединенный с типовой электроникой, которая и будет автоматически формировать компенсирующее напряжение необходимой величины. И хотя «холодный спай» не обязательно может быть буквально холодным, его температура, как правило, не такая уж экстремальная, какая может быть у рабочего спая, поэтому обычно подходит даже термистор.

$$U_{\text{вольтметра}} = U_{\text{спая1}} - U_{\text{спая2}} + U_{\text{компенсации}}, \quad (1)$$

Доступны специальные электронные компенсирующие модули «температуры таяния льда» для термопар, задача которых в том и состоит, чтобы подавать точное противоположное напряжение в измерительную цепь.

Значение компенсирующего напряжения от такого модуля поддерживается на таком значении, чтобы точно компенсировать температуру точек присоединения проводников термопары к модулю. Температура точек присоединения (на терминале) измеряется термистором или термометром сопротивления, и точно необходимое напряжение автоматически прикладывается последовательно в цепь.

Электрические датчики давления. Электрические датчики давления применяются во многих отраслях, включая авиацию, медицину и промышленность. Разработка микромеханических сенсоров с использованием нанотехнологий позволяет создавать более компактные и высокочувствительные датчики давления. Кроме того, исследования направлены на улучшение устойчивости к воздействию агрессивных сред и высоких температур.

Любой электрический датчик давления включает в себя: чувствительный элемент, служащий для передачи воздействия на первичный преобразователь, схему обработки сигнала и корпус. Принципиально электрические датчики давления подразделяются на:

- Резистивные (тензорезистивные);
- Пьезорезонансные;
- Индуктивные (магнитные);
- Оптоэлектронные.

Резистивный или тензорезистивный датчик давления – это устройство, чувствительный элемент которого изменяет свое электрическое сопротивление под действием деформирующей нагрузки. Тензорезисторы устанавливаются на чувствительную мембрану, которая под давлением изгибается, и изгибает прикрепленные к ней тензорезисторы. Сопротивление тензорезисторов меняется, и соответственно меняется величина тока цепи первичного преобразователя. Тензорезистивные датчики отлично подойдут для оценки уровня давления, силы нажатия и измерения веса.

Далее рассмотрим пьезорезонансные датчики давления. В пьезорезонансных датчиках давления работает обратный пьезоэффект, при котором пьезоэлектрик деформируется под действием подаваемого напряжения, и чем больше напряжение, тем сильнее деформация. В основе датчика – резонатор в форме пластины из пьезоэлектрика, с двух сторон которой нанесены электроды. При подаче на электроды переменного напряжения, материал пластины вибрирует, изгибаясь то в одну, то в другую сторону, и частота вибрации равна частоте подаваемого напряжения.

Еще один тип электрических датчиков давления, отдаленно похожих на емкостные – индуктивные или магнитные датчики. Проводящая мембрана, чувствительная к давлению, расположена на некотором расстоянии от тонкого Ш – образного магнитопровода, на среднем керне которого намотана катушка. Между мембраной и магнитопроводом выставлен воздушный зазор.

Последний тип датчиков давления, который мы рассмотрим – оптоэлектронные датчики. Они довольно просто детектируют давление, имеют высокую разрешающую способность, обладают высокой чувствительностью, и термостабильны. Работающие на основе интерференции света, использующие для измерения малых перемещений интерферометр Фабри-Перо, эти датчики особо перспективны. Кристалл оптического преобразователя с диафрагмой, светодиод, и детектор, состоящий из трех фотодиодов – вот основные части такого датчика.

Датчики Холла. Эффект Холла служит достаточно верным методом определения типа носителей заряда (дырочный или электронный) в полупроводнике или металле.

На основе эффекта Холла теперь изготавливают датчики Холла, приборы для измерения напряженности магнитного поля и определения силы тока в проводнике. В отличие от трансформаторов тока, датчики Холла дают возможность измерять и постоянный ток (рисунок 4).

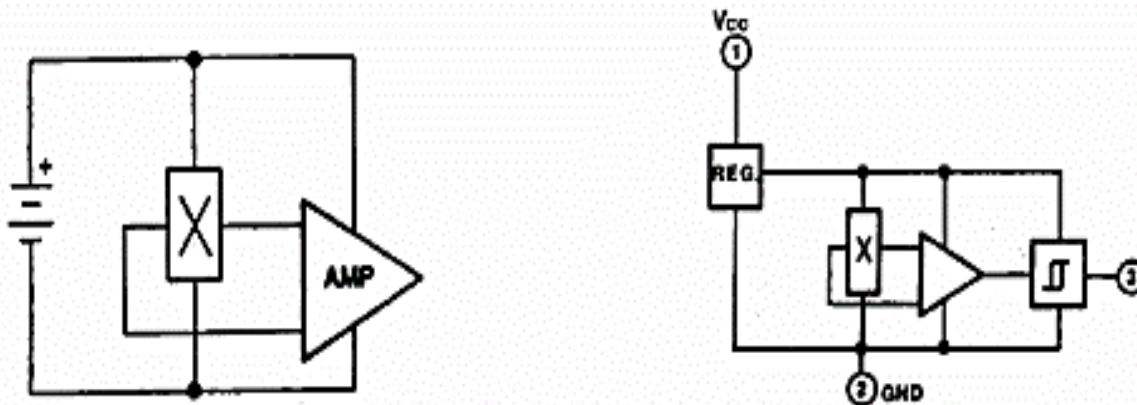


Рисунок 4 – Схема: Переключатели Холла

Так как напряжение Холла мало, вполне логично, что к выводам напряжения Холла подключают операционный усилитель. Для подключения к цифровым узлам, схему дополняют триггером Шмита, и получается пороговое устройство, которое срабатывает при заданном уровне напряженности магнитного поля. Такие схемы называют переключателями Холла. Часто датчик Холла используется в паре с постоянным магнитом, и срабатывание происходит при приближении постоянного магнита к датчику на определенное, заданное заранее расстояние. Довольно широко распространены датчики Холла в бесколлекторных, или вентильных, электродвигателях (сервомоторах), где датчики устанавливаются прямо на статоре двигателя и играют роль датчика положения ротора (ДПР), который обеспечивает обратную связь по положению ротора, примерно как коллектор в коллекторном двигателе постоянного тока. Закрепив постоянный магнит на валу, получим простой счетчик оборотов, а иногда достаточно экранирующего воздействия самой ферромагнитной детали на магнитный поток от постоянного магнита. Магнитный поток, от которого обычно срабатывают датчики Холла, составляет 100-200 Гауссов.

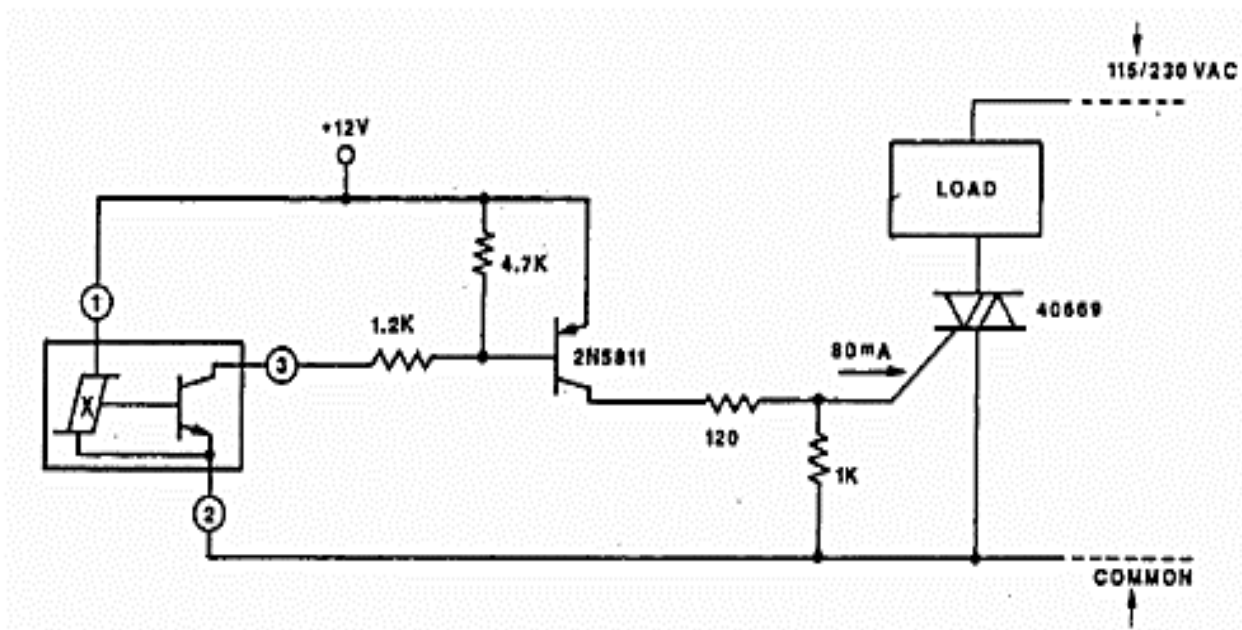


Рисунок 5 – Трехвыводной датчик Холла, имеющий в своем корпусе n-p-n транзистор с открытым коллектором

Выпускаемые современной электронной промышленностью, трехвыводные датчики Холла имеют в своем корпусе n-p-n транзистор с открытым коллектором. Зачастую ток через транзистор такого датчика не должен превышать 20 мА, поэтому для подключения мощной нагрузки необходимо устанавливать усилитель тока. Магнитное поле проводника с током, обычно, недостаточно интенсивное для срабатывания датчика Холла, поскольку чувствительность таких датчиков составляет 1-5 мВ/Гс, и поэтому для измерения слабых токов проводник с током навивают на тороидальный сердечник с зазором, а в зазор уже устанавливают датчик Холла(рисунок 6). Так при зазоре в 1,5 мм магнитная индукция составит уже 6 Гс/А.

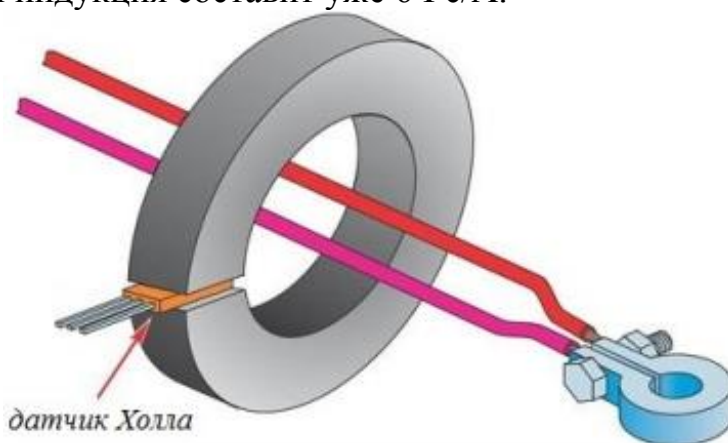


Рисунок 6 – Датчик Холла

Для измерения токов более 25 А, проводник с током пропускают прямо через тороидальный сердечник. Материалом сердечника может служить альсифер или феррит, если измеряется ток высокой частоты.

На основе эффекта Холла работают некоторые ионные реактивные двигатели, и работают весьма эффективно.

Индукционные датчики. Индукционные (трансформаторные) датчики предназначены для преобразования линейных или угловых перемещений в электрический сигнал переменного тока.

Принцип действия индукционных датчиков аналогичен принципу действия трансформатора, однако, в отличие от последнего, в индукционных датчиках коэффициент взаимной индуктивности вторичной и первичной обмоток изменяется в зависимости от положения подвижной и неподвижной частей датчика.

Все индукционные датчики подразделяются на две основные группы в зависимости от способа изменения взаимной индуктивности:

- датчики с поворотным (перемещающимся) якорем;
- датчики с поворотной (перемещающейся) обмоткой.

Их основные недостатки - наличие нулевого сигнала из-за магнитной и электрической асимметрии, наличие момента обратного воздействия на источник измеряемых перемещений, а также подверженность воздействию внешних магнитных полей.

Достоинствами датчиков с поворотной обмоткой являются большой диапазон измеряемых перемещений, незначительный момент обратного воздействия.

Емкостные датчики. Емкостным датчиком называют преобразователь параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение емкостного сопротивления.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили датчики приближения (присутствия), которые помимо своей надежности, имеют широкий ряд преимуществ. Имея сравнительно низкую стоимость, датчики приближения охватывают огромный спектр направленности по своему применению во всех отраслях промышленности.

Емкостные датчики обладают целым рядом преимуществ по сравнению с датчиками других типов. К их достоинствам относятся:

- простота изготовления, использование недорогих материалов для производства; - малые габариты и вес; - низкое потребление энергии; - высокая чувствительность;
- отсутствие контактов (в некоторых случаях – один токосъем);
- долгий срок эксплуатации;
- потребность весьма малых усилий для перемещения подвижной части емкостного датчика;
- простота приспособления формы датчика к различным задачам и конструкциям.

К недостаткам емкостных датчиков следует отнести:

- сравнительно небольшой коэффициент передачи (преобразования);
- высокие требования к экранировке деталей;
- необходимость работы на повышенной (по сравнению с 50 Гц) частоте;

Обычно емкостный датчик представляет собой плоский или цилиндрический конденсатор, одна из обкладок которого испытывает

подвергаемое контролю перемещение, вызывая изменение емкости. Пренебрегая краевыми эффектами, можно выразить емкость для плоского конденсатора следующим образом:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \quad (2)$$

Где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заключенной между обкладками, S и d – площадь поверхности рассматриваемых обкладок и расстояние между ними соответственно.

Емкостные преобразователи могут быть использованы при измерении различных величин по трем направлениям в зависимости от функциональной связи измеряемой неэлектрической величины со следующими параметрами:

- переменной диэлектрической проницаемостью среды ε ;
- площадью перекрытия обкладок S ;
- изменяющимся расстоянием между обкладками d .

Заключение

Разработка новых типов сенсоров и усовершенствование методов калибровки и калибровочных устройств играют ключевую роль в обеспечении точности и надежности измерений различных параметров. Эти исследования имеют важное значение для научных и инженерных задач, а также для промышленных приложений. Дальнейшие исследования и инновации в этой области будут способствовать развитию современных технологий и улучшению качества жизни.

С учетом быстрого развития технологий и научных достижений, можно ожидать, что будущее принесет еще более точные и надежные сенсоры, инновационные методы калибровки и более широкий спектр применений для измерительных устройств. Эти усовершенствования будут способствовать повышению эффективности и точности процессов контроля, мониторинга и научных исследований, содействуя развитию общества и индустрии в целом.

Литература

1. Электрические аппараты [Электронный ресурс]/ емкостные датчики. -Режим доступа: <https://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/440-emkostnye-datchiki.html> – Дата доступа: 23.09.2023.
2. Электрические [Электронный ресурс]/ применение датчика Холла - Режим доступа: <https://electricalschool.info/electronica/1557-primenenie-datchikov-kholla.html> – Дата доступа: 23.09.2023.
3. Электронное учебное пособие по курсу физики «Электростатика. Электродинамика. Электромагнетизм. Электромагнитные колебания и волны» - Режим доступа: <https://moodle.kstu.ru/mod/book/view/php?id=31680>