

УДК

# Разработка стенда для автоматизированного тестирования магнитометрического сенсора с использованием системы колец Гельмгольца

Д.Е. Степнов<sup>1</sup>, Д.О. Блохин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

<sup>2</sup>ООО «АПСТЕК Лабс»

**Аннотация:** в данной работе представлен процесс разработки специализированного стенда, который позволяет проводить автоматизированное тестирование магнитометрического сенсора с использованием системы колец Гельмгольца. В работе рассматриваются вопросы, связанные с выбором оборудования и технологий для создания стенда, описываются принципы работы феррозондовых магнитометров и способ их функционального тестирования. Работа дает представление о том, как автоматизированное тестирование может повысить эффективность процесса разработки и производства магнитометрических сенсоров, что может быть полезно для коммерческого производства.

**Ключевые слова:** функциональное тестирование, феррозондовый магнитометр, автоматизированное тестирование, программное тестирование

## 1. Введение

Функциональное тестирование является неотъемлемой частью процесса производства электронных устройств. Однако, узкая специфика тестируемых устройств и требование индивидуального подхода к каждой плате часто приводят к высоким затратам на тестирование и долгим циклам разработки. В этой связи автоматизация функционального тестирования является актуальной темой, направленной на повышение эффективности производства.

В данной работе представлен подход к автоматизации функционального тестирования магнитометрических сенсоров, который позволил стандартизировать процесс тестирования, ускорить его и уменьшить затраты на тестирование. Для этого был разработан программно-аппаратный стенд с инструкцией по тестированию, которая имеет низкий порог входа и позволяет быстро освоить стенд любому работнику.

Также в работе представлены технические решения, направленные на снижение затрат на разработку стенда, такие как определение оптимальных геометрических параметров системы колец Гельмгольца.

Работа наглядно иллюстрирует подход к автоматизации функционального тестирования, который может быть полезен для предприятий, занимающихся производством электронных устройств.

## 2. Разработка стенда и тестирование программного обеспечения

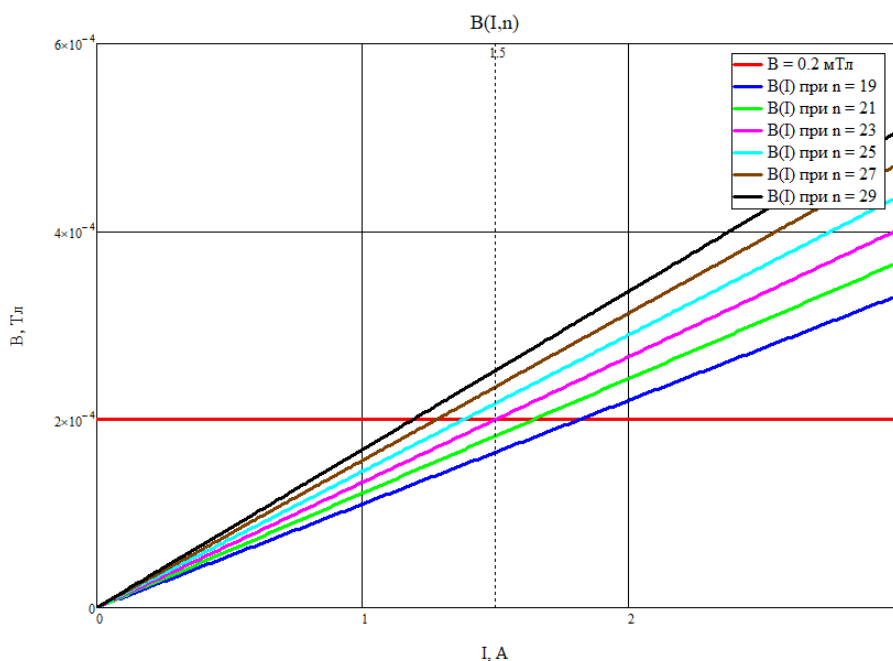
В соответствии с технической задачей был спроектирован стенд автоматизированного тестирования. Ключевым элементом стенда является система колец Гельмгольца, позволяющая генерировать однородное магнитное поле в центре системы. Однородное магнитное поле имитирует рабочую среду магнитометрического сенсора, благодаря чему возможно реализовать функциональное тестирования сенсора. Функциональное тестирование подразумевает

анализ данных, получаемых с сенсора. Анализ данных производится с использованием специально разработанного программного обеспечения.

Магнитометрический сенсор включает в себя три феррозондовых датчика (fluxgate – в иностранных источниках) [1]. В датчике используется две катушки индуктивности с сердечниками. Намотка катушек производится одним и тем же проводником таким образом, что при подаче электрического тока магнитные поля этих катушек будут равны, но противоположны по направлению, результирующее поле будет нулевым. Магнитное поле Земли будет взаимодействовать с полями катушек усиливаясь при взаимодействии с сонаправленным полем и ослабляясь при взаимодействии с противоположно направленным полем. Индукционный ток результирующего магнитного поля фиксируется третьей намоткой. Нахождение рядом с датчиком ферромагнитного измеряемого объекта изменяет магнитное поле и ток соответственно, таким образом происходит детектирование [2].

Важным параметром стенда является геометрический размер системы колец Гельмгольца. Геометрические размеры системы определяют область однородности магнитного поля. Геометрические размеры сенсора можно описать цилиндром высотой  $h = 6,1$  см и радиусом  $a = 1,85$  см. При заданных параметрах области и требовании максимальной однородности поля в центре системы, расчётный радиус колец составляет  $R = 15,5$  см [3]. Среднее магнитное поле земли находится в пределах 25 – 65 мкТл. В реальных условиях эксплуатации, окружение стенда может содержать металлические конструкции, в связи с чем среднее значение постоянного магнитного поля было принято равным  $B = 0,1$  мТл, в соответствии с этим значением магнитометрический сенсор был сконструирован на динамический диапазон магнитного поля  $B = 0 – 0,2$  мТл. Выходной ток лабораторного источника питания может быть отрегулирован в пределах  $I = 0 – 3$  А. Далее приведен расчёт зависимости индукции магнитного поля системы колец Гельмгольца заданного радиуса (расстояние между центрами колец принято брать равным радиусу)  $R = 15,5$  см от входного тока  $I$  и числа витков  $n$ . В соответствии с выбранными параметрами закон Био-Савара-Лапласа для системы колец Гельмгольца принимает следующий вид:

$$B(I, n) = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu n I}{x},$$

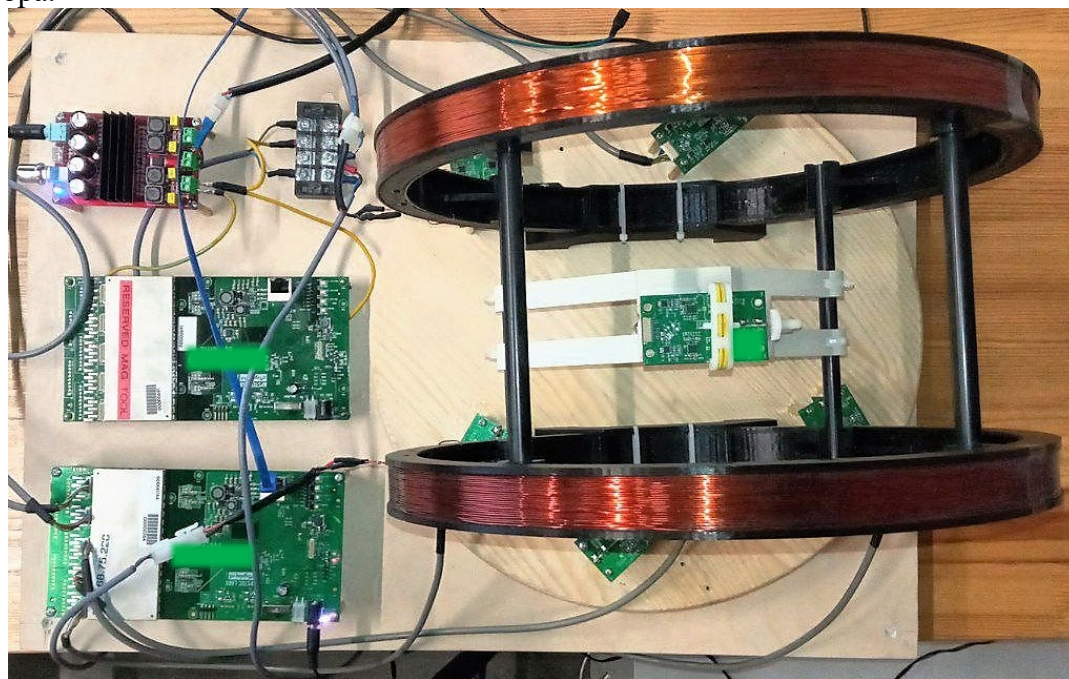


**Рисунок 1** – Семейство зависимостей индукции магнитного поля  $B$  системы колец Гельмгольца от входного тока  $I$  и числа витков катушки  $n$

По полученным данным (рисунок 1) было принято решение использовать систему колец с числом витком  $n = 23$ . Данная конфигурация позволяет при входном токе  $I = 1,5$  А получить требуемое значение индукции магнитного поля  $B = 0,2$  мТл. По графику видно, что индукции магнитного поля  $B$  прямо пропорционально зависит от входного тока  $I$ . Ток  $I$  в свою очередь может зависеть от остальных параметров системы (в частности от используемого в качестве генератора сигналов аудио усилителя и его источника питания).

С точки зрения процесса автоматизации целесообразно использовать 3-х осевую систему колец, но в то же время такая система значительно сложнее и дороже одноосевой системы. Было принято решение использовать одноосевую систему колец. Магнитометрический сенсор имеет 3 магнитометрических датчика каждый из которых расположен вдоль определенной проекции магнитного поля. Для тестирования сенсора использовался специальный фиксатор, позволяющий позиционировать сенсор вдоль оси системы колец. Для достижения сонаправленности системы с магнитным полем земли и его компенсации в процессе тестирования использовался поворотный столик (магнитное поле земли не должно влиять на измерения в процессе тестирования).

Разработанный стенд представлен на рисунке 2, в центре системы колец находится тестируемый магнитометрический сенсор, сенсор подключается к плате сбора данных. Через Ethernet порт платы сбора данных происходит анализ регистрируемого сигнал с сенсора.



**Рисунок 2** – Разработанный стенд для автоматического тестирования магнитометрического сенсора с использованием системы колец Гельмгольца

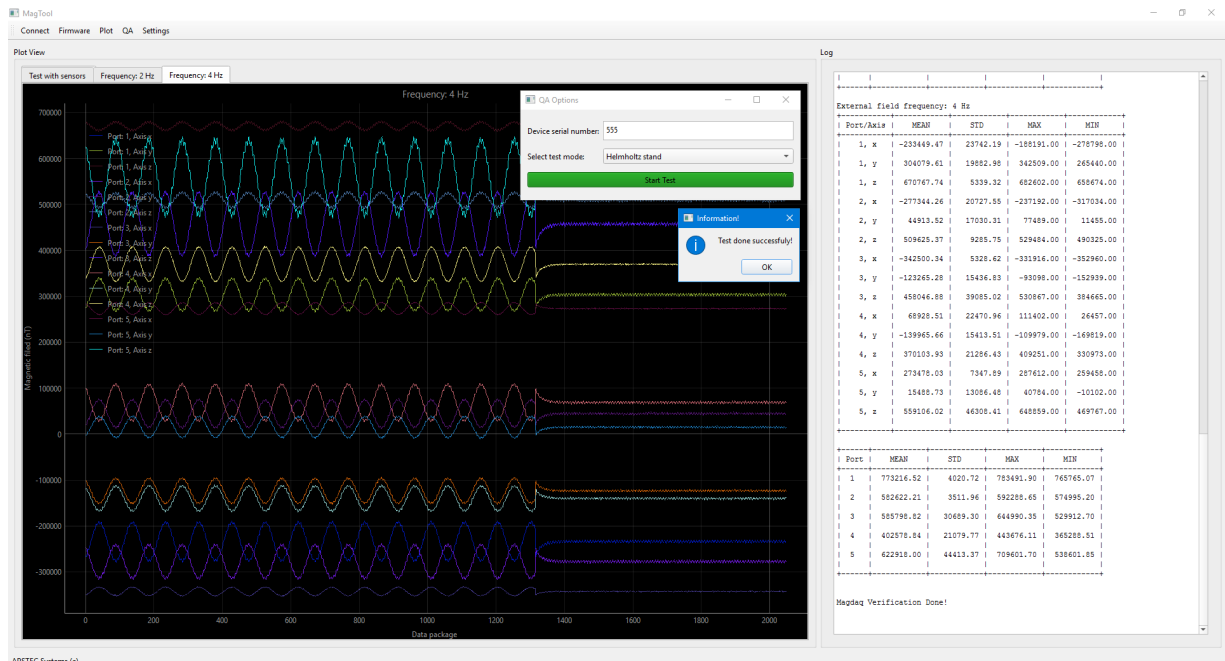
Автоматизированное тестирование невозможно без использования сопутствующего программного обеспечения. Было разработано приложение на языке программирования Python с использованием библиотеки PyQt. Гибкость языка и кроссплатформенность позволяют разворачивать программное обеспечение на любой доступной операционной системе и мгновенно приступать к тестированию. Кроме того, приложение многофункциональное, позволяет отдельно тестировать плату сбора данных. Архитектура программы позволяет легко расширить функционал и добавить возможность тестирования новых устройств.

Тестирование сенсора в центре системы производится путём анализа получаемой зависимости данных АЦП от генерируемой индукции магнитного поля системой

колец Гельмгольца. Зависимость должна носить линейных характер в пределах некоего отклонения. При увеличении индукции магнитного поля, показания сенсора на конкретной оси, вдоль которой размещается датчик, должны аналогичным образом линейно увеличиваться. При этом данные должны быть идентичны при перемещении сенсора на другую ось и повторении измерений.

Для демонстрации работы разработанного приложения выполним иной, более наглядный тест, демонстрирующий работоспособность стенда. Подадим на кольца Гельмгольца синусоидальный сигнал, а к плате сбора данных подключим 5 магнитометрических сенсоров расположенных вне системы колец на поворотном столе (на рисунке 2 вы можете наблюдать их на поворотном столике под системой колец). Эти сенсоры расположены таким образом, что форма сигнала, подаваемая на систему колец отчётлива видна на каждом из 3-х феррозондовых датчиков.

Ниже приведен график (рисунок 3) данных (отсчёты АЦП от времени) полученных с каждого сенсора. На графике представлено 15 линий соответственно, по 3 для каждого сенсора. Как видно по рисунку, при генерации магнитного поля синусоидальной формы, каждый датчик регистрирует это поле. Когда генерация поля прекращается сигнал датчиков принимает константное значение, соответствующее проекции магнитного поля земли на ось каждого датчика.



**Рисунок 3** – Рабочее окно приложения для тестирования магнитометрического сенсора

Это лишь малая часть полного функционала приложения. Приложение можно настраивать под требуемые версии и ревизии печатных плат. Существует возможность сохранения результатов тестирования в текстовом формате.

### 3. Заключение

В работе представлен лишь один из подходов к автоматизации функционального тестирования. Проблематика функционального тестирования заключается в узкой специфике тестируемых устройств. Каждая печатная плата требует индивидуального рассмотрения, и своего исключительного подхода к имитации рабочей среды. В случае магнитометрического сенсора, его ручное тестирования заключается в анализе напряжений на тестовых площадках при воздействии на сенсор магнитным полем, например, с помощью сильного магнита. В работе был представлен способ

тестирования, позволяющий автоматизировать процесс функционального тестирования.

Стенд был успешно передан на производство и позволил оперативно протестировать новую партию магнитометрических сенсоров. Вместе со стендом работникам предприятия предоставлено сопутствующее программное обеспечение и полноценная инструкция по тестированию. Инструкция по тестированию имеет низкий порог входа, позволяя любому работнику быстро освоить стенд и приступить к тестированию. Возможность сохранения данных позволяет вести отчётность по результатам тестирования. Гибкая настройка программы позволяет сопровождать цикл тестирования на протяжении многих лет.

Данный подход к функциональному тестированию позволяет добиваться финансовой выгоды и увеличения скорости тестирования. Но в то же время требует вложений для разработки стенда и сценария тестирования. В работе было приведено несколько технических решений позволяющих сократить стоимость разработки. Одним из них является определение оптимальных геометрических параметров системы колец Гельмгольца. Кроме того, гибкое приложение позволит поддержать процесс тестирования на годы вперёд. А возможность расширения функционала позволит сократить затраты на разработку планов тестирования других печатных плат в будущем.

Разработка была реализована на базе ООО “АПСТЕК Лабс”.

#### Список литературы

1. Способ измерения полного вектора магнитного поля, а также устройство для его осуществления: пат. 2218577 Рос. Федерация. № 2001130411/09; заявл. 09.11.01; опубл. 10.12.03, Бюл. № 34. – 587с.
2. S. A. Cohen, R. E. Suess. Principles and Applications of Fluxgate and Other Low-frequency Magnetic Sensors //Journal of Applied Physics. – 1985. – Т. 57. – №. 10. – С. 4018-4028.
3. М. М. Дорогиницкий. Расчёт катушки Гельмгольца //Казанский федеральный университет.