

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
Направление подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Кафедра систем управления и мехатроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Устройство экспресс-диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов

УДК 621.318.122:537.6.002.56

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е31	Кривошеева Евгения Алексеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры СУМ	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Тухватулина Лилия Равильевна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Невский Егор Сергеевич	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой СУМ	Губин Владимир Евгеньевич	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Разрабатывать математические модели составных частей объектов профессиональной деятельности методами теории автоматического управления.
Р2	Применять необходимые для построения моделей знания принципов действия и математического описания составных частей мехатронных и робототехнических систем (информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных элементов и средств вычислительной техники).
Р3	Определять характеристики объектов профессиональной деятельности по разработанным моделям.
Р4	Разрабатывать макеты информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных и микропроцессорных модулей мехатронных и робототехнических систем.
Р5	Применять контрольно-измерительную аппаратуру для определения характеристик и параметров макетов.
Р6	Выполнять расчетно-графические работы по проектированию информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных и микропроцессорных модулей мехатронных и робототехнических систем.
Р7	Разрабатывать конструкторскую проектную документацию электрических и электронных узлов

	(включая микропроцессорные) мехатронных и робототехнических систем, принципиальные электрические схемы, печатные платы, схемы размещения, схемы соединения.
P8	Участвовать в проведении предварительных испытаний составных частей опытного образца мехатронной или робототехнической системы по заданным программам и методикам и вести соответствующие журналы испытаний
<i>Универсальные компетенции</i>	
P9	Обладать способностью владеть культурой мышления, способен к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения
P10	Обладать способностью уметь использовать нормативные правовые документы в своей деятельности.
P11	Обладать способностью иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией.
P12	Обладать способностью владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P13	Обладать способностью владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.
P14	Обладать способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы

	математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P15	Обладать способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.
P16	Обладать способностью владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
Направление подготовки (специальность) 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Кафедра систем управления и мехатроники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Губин В.Е.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8Е31	Кривошеева Евгения Алексеевна

Тема работы:

Устройство экспресс-диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№3935/с от 05.06.2017г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом проектирования является устройство экспресс-диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов. Режим работы периодический. Объектом контроля являются изделия из ферромагнитных материалов (магнитопровод электродвигателя).

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор существующих решений 2. Разработка структурной схемы 3. Выбор компонентов структурной схемы 4. Разработка электрической принципиальной схемы 5. Разработка конструкции устройства 6. Разработка алгоритма управления устройства 7. Разработка алгоритма обработки результатов измерения устройства
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Структурная схема 2. Электрическая принципиальная схема 3. Программа управления устройством 4. Программа обработки результатов измерения устройства

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Тухватулина Лилия Равильевна
Социальная ответственность	Невский Егор Сергеевич

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры СУМ	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е31	Кривошеева Евгения Алексеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 104 с., 15 рис., 24 табл., 7 источников, 5 прил.

Ключевые слова: магнитная дефектоскопия, преобразователь на эффекте Холла, напряжённость магнитного поля, магнитопровод, экспресс-диагностика.

Объектом исследования являются ферромагнитные изделия, в частности магнитопровод, используемый в синхронных электродвигателях.

Цель работы – разработать и собрать макет устройства экспресс-диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов.

Устройство экспресс-диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов предназначено для измерения и регистрации индукции магнитного поля от исследуемого объекта с помощью преобразователей Холла, с последующим преобразованием микроконтроллером в оцифрованный сигнал для ввода в компьютер, в котором обрабатывается сигнал от датчиков и определяется качество изделия.

Устройство относится к области неразрушающего контроля и может быть использовано для дефектоскопии ферромагнитных изделий, например деталей электромеханических систем.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В работе используются следующие термины с соответствующими определениями:

Магнитная дефектоскопия – это выявление дефектов типа нарушения сплошности материала объекта контроля методом магнитного неразрушающего контроля;

Магнитопровод – деталь, предназначенная для прохождения с определенными потерями магнитного потока, возбуждаемого электрическим током, протекающим в обмотках устройств, в состав которых входит магнитопровод;

Метод интегрирования по источникам поля – метод, заключающийся в использовании интегро-дифференциального уравнения, выражающего напряженность поля в точке наблюдения через векторные характеристики источников поля (намагниченность вещества);

Преобразователь магнитного поля – это устройство, служащее для преобразования параметров магнитного поля в электрический сигнал;

Преобразователь на эффекте Холла – гальваномагнитный полупроводниковый прибор, основанный на эффекте Холла, который основан на явлении возникновения разности потенциалов на краях металлической пластины под действием магнитного поля при пропускании через неё электрического тока;

Приложенное магнитное поле – это внешнее магнитное поле, в котором находится объект магнитного неразрушающего контроля;

ФЮРА. 411723: код организации разработчика проекта (ТПУ); 411723 – это код классификационной характеристики проектной продукции по ГОСТ 3.1201-85 (в соответствии с шестизначной классификационной характеристикой ОКП этот код означает полуавтоматические установки для измерения электрических и магнитных величин на постоянном токе);

Ферромагнитный материал – это материал, обладающий самопроизвольной намагниченностью, которая изменяется под влиянием внешних воздействий – магнитного поля, деформаций, температуры;

Экспресс-диагностика – оперативная диагностика качества изготовления изделий, позволяющая оценить возможные отклонения и нарушения технологии производства изделий.

В представленной работе используются следующие обозначения и сокращения:

ДС/ДС: преобразователь постоянного напряжения;

АЦП: аналого-цифровой преобразователь;

МВИ: методика выполнения измерений;

МК: микроконтроллер;

ПМ: постоянный магнит;

ПО: программное обеспечение;

СКВИД (Superconducting Quantum Interference Device): сверхпроводящее квантовое интерференционное устройство;

ШД: шаговый двигатель;

ЭВМ: электронно-вычислительная машина.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	13
1 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ	15
1.1 Основные задачи и цели создания устройства	15
1.2 Назначение внедряемого устройства.....	15
1.3 Характеристика объекта проектирования	16
1.4 Требования к функциям, выполняемым системой.....	17
1.5 Требования к техническому обеспечению	17
1.6 Требования к метрологическому обеспечению.....	17
1.7 Требования к программному обеспечению	18
2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ	20
2.1 Обзор существующих решений.....	20
2.2 Конструкция магнитопровода и его характеристики.....	30
2.3 Описание объекта проектирования.....	32
3 РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ	35
3.1 Выбор измерительных устройств.....	35
3.2 Выбор исполнительных устройств	36
3.2.1 Выбор типа двигателя	36
3.2.2 Выбор драйвера двигателя.....	42
3.3 Выбор контроллерного оборудования.....	44
3.4 Разработка электрической принципиальной схемы устройства	45
3.5 Разработка конструкции устройства.....	47

4 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ ЧАСТИ УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ	49
4.1 Разработка методики измерения	49
4.2 Математическая модель системы.....	52
4.3 Программная реализация проекта.....	57
4.5 Обработка измерений	61
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	65
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности	65
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	65
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	66
5.1.3 SWOT – анализ.....	67
5.2 Планирование научно-исследовательских работ	72
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	72
5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	73
5.3 Бюджет научно-технического исследования	76
5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	76
5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	77
5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	78
5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнительной системы	78
5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	79
5.3.6 Накладные расходы	80

5.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	80
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	82
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	88
6.1 Производственная безопасность	89
6.2 Электробезопасность.....	89
6.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте	91
6.4 Магнитное излучение	92
6.5 Экологическая безопасность	93
6.6 Чрезвычайная ситуация на рабочем месте.....	95
6.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	98
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	99
Приложение А. Электрическая принципиальная схема и спецификация устройства.....	100
Приложение Б. Стандартная развязка источника питания STM32F303VCT6	102
Приложение В. Стандартное подключение кварцевого резонатора STM32F303VCT6	103
Приложение Г. Программа для управления платформой и регистрации параметров магнитного поля	104
Приложение Д. Расчётный модуль обработки измерений устройства	105

Введение

В производстве электротехнических изделий уровень использования материалов не всегда оптимален. Много материала уходит в отходы, в самих конструкциях далеко не в полной мере используются его свойства. Характеристики электротехнических материалов изменяются от партии к партии. Причиной этому являются производственные дефекты, которые могут возникнуть вследствие отступления от размеров и допусков на изготовление и ремонт деталей, нарушения технологии механической или термической обработки деталей, нарушения технологических процессов сборки или регулировки изделия или его узлов и блоков и т.д. Все эти факторы вынуждают рассчитывать конструкции с учетом больших запасов.

Чтобы исключить проблему изменения магнитных характеристик изделий прибегают к быстродействующим приборам диагностики магнитных характеристик. Магнитный вид контроля относится к одному из первых видов неразрушающего контроля, который стал использоваться для диагностики продукции и промышленных объектов. Существует несколько десятков методов, позволяющих реализовать данный вид контроля. Все они основаны на зависимости физических параметров ферромагнетиков от напряженности магнитного поля (принципе вихревых токов, изменении магнитного потока, изменения силы притяжения магнита и т.п.). Если ранее магнитные методы применяли, в основном, для неразрушающего контроля изделий из ферромагнитных материалов, находящихся в намагниченном состоянии, то теперь научно технический прогресс расширил границы применимости этих методов и на немагнитные материалы. Стандартные магнитные методы являются недорогими и не требуют значительного времени для измерений. К магнитным методам испытаний металлов относятся: магнитная дефектоскопия; магнитный анализ; магнитные измерения; испытания готовых магнитов. В основу магнитных методов дефектоскопии положено измерение параметров магнитных полей и

магнитных характеристик ферромагнитных материалов, способных существенно изменять их под действием внешнего (намагничивающего) магнитного поля. При этом измерения могут проводиться как в приложенных, так и остаточных полях. По данным снятых характеристик магнитного поля потоков рассеяния, восстанавливая намагниченность материала, можно получить оценку качества изготовления ферромагнитных изделий.

По методу магнитной дефектоскопии будет разработано устройство экспресс – диагностики, которое позволит обнаружить недопустимые дефекты и определить этап технологического процесса, на котором была нарушена технология производства.

1 Техническое задание

1.1 Основные задачи и цели создания устройства

Устройство экспресс-диагностики магнитных характеристик – это устройство, используемое для оперативной диагностики качества изготовления ферромагнитных изделий, позволяющее оценить возможные отклонения и нарушения технологии производства изделий.

Целью разработки устройства является выявление в прецизионной магнитной системе неоднородности магнитного поля в результате воздействия на него механических нагрузок и определение степени неоднородности магнитных характеристик.

Устройство реализует следующие задачи:

- равномерное намагничивание магнитной системы (магнитопровода);
- измерение и регистрация индукции магнитного поля магнитопровода;
- обработка измеренных информационных сигналов по математической модели, в результате которой будет определено отклонение индукции магнитного поля вблизи дефекта намагниченной системы.

1.2 Назначение внедряемого устройства

Устройство относится к области неразрушающего контроля и может быть использовано для дефектоскопии ферромагнитных изделий, например деталей электромеханических систем.

Устройство экспресс-диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов предназначено для измерения и регистрации индукции магнитного поля от исследуемого объекта с помощью преобразователей Холла, с последующим преобразованием микроконтроллером в оцифрованный сигнал для ввода в компьютер, в

котором обрабатывается сигнал от датчиков и определяется качество изделия.

Устройство должно быть связано по интерфейсу с внешним компьютером для управления прибором, обеспечения его работы в режиме измерения магнитного поля, сохранения измерительной информации и реализации требуемых алгоритмов ее обработки. Программа обработки должна сохранить измеренные данные магнитного поля над изделием и продиагностировать эти данные на их неоднородность.

В состав устройства входят: корпус, измерительная часть (датчики Холла), подвижная часть измерительного механизма (сочленение ходовым винта и гайки с двигателем), часть намагничивания (площадка из постоянных магнитов), блок обработки информации (МК, соединённый с компьютером).

1.3 Характеристика объекта проектирования

Объектом контроля являются изделия из ферромагнитных материалов. Допускается исследование контролируемых деталей имеющих размеры: шириной не более 80 мм, длиной не более 100 мм. Размеры образцов и напряжённость внешнего магнитного поля от постоянных магнитов вводятся оператором с клавиатуры перед началом измерения.

Технические характеристики устройства:

- измеряемая характеристика образцов: остаточная индукция В, мТл;
- диапазон измерения: -67...67 мТл, -670...670 Гс;
- максимальная чувствительность: 3,1 мВ/Гс;
- диапазон рабочих температур: -40...150°C;
- время нарастания сигнала: 3 мкс;
- температурная погрешность: $\pm 0,04\%$;
- напряжение питания от сети постоянного тока: 12В;
- габаритные размеры установки: 350x280x300 мм.

1.4 Требования к функциям, выполняемым системой

Основные функции системы:

- равномерное линейное перемещение измерительной площадки;
- измерение индукции магнитного поля по площади изделия с заданным шагом 5 мм;
- регистрация измеренного магнитного поля;
- обработка в математической среде и отображение информации о наличии дефекта.

1.5 Требования к техническому обеспечению

Устройство, устанавливаемое в лабораториях и цехах предприятий, т.е. в закрытом отапливаемом и вентилируемом помещении, должно быть устойчиво к воздействию температур от +10 до +35°C, влажности воздуха 80 % при температуре +35°C.

Контроллеры должны иметь модульную архитектуру, позволяющую свободную компоновку каналов ввода/вывода. Количество выводов АЦП контроллера должно быть не менее 8. Программно-технический комплекс устройства должен допускать возможность наращивания, модернизации и развития системы, а также иметь резерв по каналам ввода/вывода не менее 20%.

Для разработки системы необходимо измерительное устройство мультиметр для измерения значения напряжения и тока на выводах датчиков, двигателя и микроконтроллера.

1.6 Требования к метрологическому обеспечению

Типы средств измерений, применяемых при проведении испытаний для целей обязательной сертификации, должны быть утверждены Госстандартом России. Испытательное оборудование должно быть аттестовано в соответствии с ГОСТ Р 8.568 с учетом требований нормативных документов на методы испытаний.

Методики выполнения измерений, применяемые при испытаниях для целей подтверждения соответствия, должны быть аттестованы или стандартизованы в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563.

Измерительные каналы устройства должны обеспечивать получение результатов измерения с нормируемой точностью. В качестве нормируемой метрологической характеристики принимается предел допускаемой погрешности измеренной индукции магнитного поля изделия в нормальных условиях эксплуатации. Форма представления метрологической характеристики измерительного канала – абсолютная погрешность, выраженная в процентах относительно диапазона измерения.

Метрологическое обеспечение осуществляется в целях создания основы обеспечения качества получения измерения и, соответственно, достоверности заключений о однородности/неоднородности магнитного поля исследуемого изделия и вывода от наличия дефектов.

Требуемые нормы погрешности измерения датчиков: абсолютная погрешность измерений магнитной индукции постоянного магнитного поля в диапазоне:

- от 1 до 500 мкТл, мкТл $\Delta = \pm (0,3 + 0,075 \cdot V_{и})$, где $V_{и}$ – измеренное значение магнитной индукции (показание измерителя), мкТл;
- от 0,3 до 50 мТл, мТл $\Delta = \pm (0,1 + 0,1 \cdot V_{и})$;
- от 0,3 до 2000 мТл, мТл $\Delta = \pm (0,1 + 0,1 \cdot V_{и})$, где $V_{и}$ – измеренное значение магнитной индукции (показание измерителя), мТл.

1.7 Требования к программному обеспечению

ПО устройства обеспечивает функционирование его в целом, интерфейс с оператором и алгоритм контроля магнитных характеристик изделий.

Обновление ПО осуществляется фирмой–производителем сред MexBios и MatLAB посредством ПЭВМ. Для получения обновленной версии ПО следует связаться с фирмой-производителем.

Взаимодействие измерительного блока и ПЭВМ гарантируется при условии, что в ПЭВМ установлена операционная система Windows (XP, 7, 8) или 64-битная система Linux.

2 Анализ методов и способов измерения параметров магнитных систем

2.1 Обзор существующих решений

Для измерения магнитных характеристик изделий из ферромагнитных материалов необходимо разработать устройство на основе преобразователей магнитного поля, которое преобразует параметры магнитного поля в электрический сигнал. В магнитной диагностике наиболее перспективно применение первичных преобразователей магнитного поля, которые в соответствии с классификацией в справочнике по методам неразрушающего контроля В. В. Ключева подразделяются на индукционные, феррозондовые, гальваномагнитные и сверхпроводниковые [1].

Индукционные преобразователи – преобразователи пассивного типа, в которых чувствительным элементом является катушка индуктивности с ферромагнитным сердечником или без него. В индукционном преобразователе реализуется преобразование изменяющегося во времени магнитного потока в ЭДС.

Принцип действия основан на законе электромагнитной индукции. Согласно этому закону в проводящем контуре, находящемся в магнитном поле, наводится электродвижущая сила в случае изменения величины магнитного потока, проходящего через поверхность, ограниченную этим контуром. Магнитный поток изменяется в результате перемещения контура или поля друг относительно друга, или в результате изменения токов в цепях, создающих магнитный поток. В постоянном магнитном поле его изменение в пространстве осуществляется вращением или перемещением преобразователя. Таким образом, входным сигналом в данном преобразователе является ЭДС, возникающая в проводнике при его движении в магнитном поле, которая пропорциональна скорости изменения магнитного поля, пронизывающего катушку.

Поскольку индукционный датчик регистрирует лишь изменение магнитного потока, то для диагностики необходимо обеспечить взаимное перемещение исследуемого объекта и преобразователя, поэтому данным преобразователем невозможно будет определить точную координату дефекта.

Феррозондовые преобразователи – преобразователи активного типа, которые содержат ферромагнитные сердечники стержневого или кольцевого типа, в которых возникает выходная ЭДС в результате воздействия двух магнитных полей разных частот.

Феррозонд представляет собой сердечник и находящиеся на нём две катушки: катушка возбуждения и измерительная (или сигнальная катушка). Действие такого преобразователя заключается в следующем. От генератора на катушку возбуждения подаётся переменное напряжение с определённой частотой. При отсутствии измеряемого магнитного поля и под действием переменного магнитного поля, которое создаётся током в катушке возбуждения, сердечник перемагничивается по симметричному циклу. При изменении магнитного поля, которое вызвано перемагничиванием сердечника по симметричной кривой, в катушке наводится ЭДС, изменяющаяся по гармоническому закону. Если на сердечник одновременно действует медленно меняющееся магнитное поле и постоянное измеряемое, то кривая перемагничивания меняет форму, размеры и становится несимметричной. В этом случае будет меняться гармонический состав и величина ЭДС в сигнальной катушке, а именно, появляются чётные гармонические составляющие ЭДС, величина которых пропорциональна напряжённости измеряемого магнитного поля и которые при симметричном цикле перемагничивания отсутствуют.

Недостатком данного метода является малая зона контроля и, следовательно, низкая производительность. Также, так как устройство

предназначено только для постоянных и медленно меняющихся магнитных полей, то возникает необходимость организации прецизионных технологий изготовления и сложность настройки измерительных схем. К тому же, предъявляются жёсткие технические требования диагностики к шагу и направлению сканирования детали преобразователем.

Сверхпроводниковые преобразователи представляют собой сверхпроводящее кольцо с одним или двумя джоузефсоновскими переходами, называемое сверхпроводящим квантовым интерферометром — СКВИД.

Сверхпроводниковые магнитоизмерительные преобразователи используются в качестве преобразователей параметров постоянных и переменных магнитных полей в электрический ток или напряжение, частота которых пропорциональна изменению измеряемой магнитной величины. СКВИД является преобразователем изменений магнитного потока или индукции в количество периодических изменений напряжения, снимаемого с преобразователя [2].

При температуре близкой к абсолютному нулю (критическая температура перехода в сверхпроводящее состояние) электрическое сопротивление в некоторых материалах исчезает, в этом и состоит явление сверхпроводимости. Принцип действия основан на эффекте Джозефсона. При соединении двух сверхпроводников «слабым» контактом (например, тончайшей полоской из диэлектрика) через него пойдёт сверхпроводящий туннельный ток. Благодаря этому два сверхпроводника свяжутся между собой. Магнитное поле, необходимое для управления током, зависит от площади контура и может быть очень мало, поэтому СКВИДы применяются там, где нужна большая чувствительность.

СКВИД-системы для неразрушающего контроля имеют ряд значительных преимуществ перед аналогичными: высокую чувствительность, широкую полосу пропускания.

Однако недостаток заключается в следующем: СКВИД датчики работают только при криогенных температурах, поэтому их применение относительно дорого для рутинного использования. Недостатками сверхпроводящих магнитометров являются: очень сложная конструкция и эксплуатация, которая требует высокого профессионализма, высокая стоимость криогенного обеспечения и связанные с этим технические неудобства.

К гальваномагнитным преобразователям относятся:

- магниторезистивные преобразователи, с использованием изменения внутреннего сопротивления (проводимости) преобразователя под действием магнитного поля, т.е. эффекта Гаусса;
- преобразователи Холла, основанные на эффекте Холла, выходной величиной которых является ЭДС при наличии электрического тока и внешнего магнитного поля, приложенных определенным образом.

У магниторезистивных преобразователей магнитного поля в качестве чувствительного элемента служит магниторезистор. Принцип действия преобразователей заключается в изменении сопротивления материала в зоне действия магнитного поля.

Магниторезистивный эффект заключается в изменении удельной проводимости полупроводника при изменении воздействующего на него магнитного поля. При помещении полупроводника во внешнее поперечное магнитное поле по нему пропускается ток. Действие силы Лоренца вызывает искривление траектории носителей заряда и приводит к удлинению пути, что

приводит к возрастанию удельного сопротивления полупроводника. Увеличение сопротивления полупроводника происходит и тогда, когда внешнее магнитное поле направлено перпендикулярно протеканию электрического тока, и когда оно параллельно направлению тока. Изменение длины траектории носителей зарядов обусловлено взаимным положением векторов намагниченности этого поля и поля протекающего тока. Изменение угла между векторами поля и тока пропорционально изменению сопротивления. Таким образом, зная величину сопротивления датчика можно судить о количественной характеристике магнитного поля.

К недостаткам следует отнести малый рабочий диапазон напряженности измеряемых полей и сравнительно большая зависимость ЭДС от температуры.

Эффект Холла заключается в возникновении поперечной разности потенциалов (ЭДС Холла) на боковых гранях полупроводниковой пластины при помещении ее в магнитное поле и пропускании через нее электрического тока.

Измерительные цепи преобразователей Холла имеют простую схему и находят широкое применение для измерений магнитной индукции постоянных и переменных полей. Рассмотрим конструкцию прибора МПЧ-01.

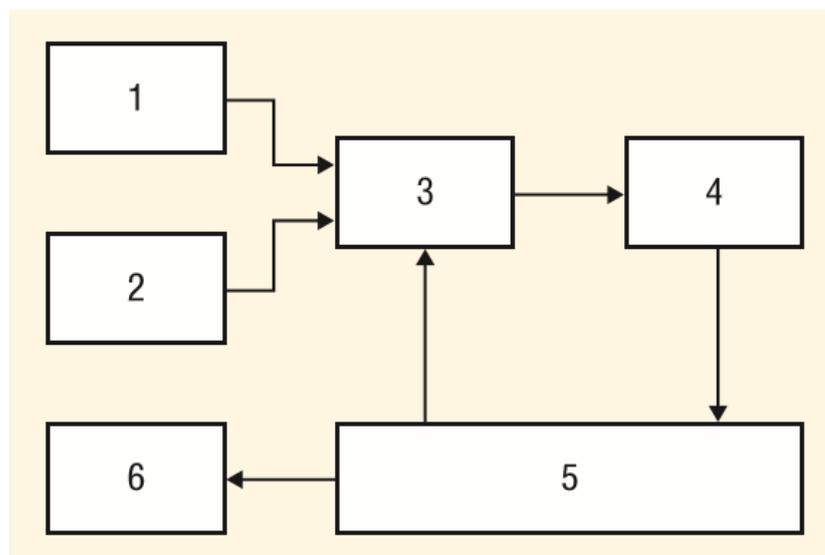


Рисунок 1 – Блок-схема устройства магнитометра МПЧ-01

Устройство прибора иллюстрируется блок-схемой. При помещении преобразователей в постоянное или переменное магнитное поле на выходе каждого из трёх элементов Холла 1 возникает сигнал, пропорциональный соответствующему компоненту индукции этого поля. Через блок ключей 3 сигнал поступает на усилитель 4, масштабирующий его до необходимой величины. Затем усиленный сигнал поступает на вход встроенного в микропроцессор 5 аналого-цифрового преобразователя и преобразуется в цифровой код. Полученный код микропроцессор пересчитывает в значение соответствующего компонента измеряемой индукции, а также вычисляет модуль индукции. На индикаторное табло 6 выводятся значения трёх компонентов и модуля магнитной индукции в мкТл или мТл.

Устройство имеет измерительный блок и два выносных трёхкоординатных первичных преобразователя магнитного поля на основе трёх элементов Холла, расположенных в ортогональных плоскостях. Трёхкоординатные первичные преобразователи магнитного поля закреплены на соответствующих штангах с рукоятками и имеют разную чувствительность к магнитному полю. Высокочувствительный первичный преобразователь магнитного поля отличается от первичного преобразователя тем, что три элемента Холла вставлены в узкие зазоры ферромагнитных

концентраторов магнитного потока. Для измерения компонентов (составляющих V_x , V_y и V_z) индукции постоянных и переменных магнитных полей используются три взаимно ортогональных элемента Холла, каждый из которых измеряет только одну из них.



Рисунок 2 – Общий вид магнитометра МПЧ-01

Принцип действия магнитометра, разработанный в ЗАО "НИИИИИ МНПО "Спектр" г. Москва, основан на магнитных измерениях с использованием преобразователя Холла. Структурная схема магнитометра приведена на рисунке 3.

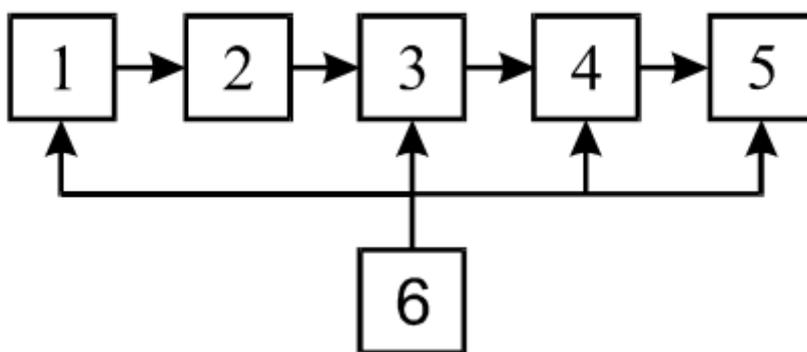


Рисунок 3 – Структурная схема магнитометра МХ-10

(1 - источник тока, 2 - преобразователь Холла, 3 - измерительный усилитель, 4 - блок тарировки, 5 - цифровой вольтметр, 6 - стабилизированный блок питания)

Магнитометр работает следующим образом. Источник 1 тока питает постоянным стабилизированным током линейный преобразователь 2 Холла. Выходная разность потенциалов преобразователя Холла, пропорциональная индукции магнитного поля, пересекающей плоскость кристалла под прямым углом, поступает на вход измерительного усилителя. С выхода измерительного усилителя, обеспечивающего масштабное преобразование сигнала преобразователя Холла, напряжение поступает в блок 4 тарировки, позволяющий установить однозначную связь между измеряемой величиной индукции и напряжением, которое затем измеряется цифровым вольтметром 5. Все узлы магнитометра питаются постоянным током от стабилизированного источника 6 напряжения. Внешний вид магнитометра показан на рисунке 4.



Рисунок 4 – Внешний вид магнитометра МХ-10

Измерительный преобразователь содержит микросхему с преобразователем Холла и две рабочие плоскости А и В. Плоскость кристалла преобразователя Холла параллельна плоскости А измерительного преобразователя, и центр кристалла расположен на расстоянии 3 мм от рабочей плоскости В и на расстоянии 0,6 мм от рабочей плоскости А. Измерительный преобразователь 2 необходимо прижать к поверхности плоскостью А для измерения нормальной составляющей индукции к поверхности изделия, а для измерения тангенциальной составляющей индукции МП необходимо прижать измерительный преобразователь 2 к этой поверхности плоскостью В.

Следующий, более современный, пример прибора на основе преобразователя магнитного поля Магнитометр НВ1200Б, разработанный на предприятии ООО "Магнитные приборы" в г. Санкт-Петербург.

Магнитометр предназначен для измерения постоянной и переменной составляющих индукции магнитного поля, а также преобразования индукции в оцифрованный сигнал для ввода в компьютер. Магнитометр выполнен в виде переносного прибора и может быть использован при контроле магнитного поля различного рода технических объектов. В качестве датчика использован преобразователь Холла. Датчик размещается на конце штока.



Рисунок 5 – Общий вид магнитометра НВ1200Б

В магнитометре НВ1200Б в качестве первичного преобразователя использован датчик Холла. Структурная схема прибора приведена на рисунке 6.

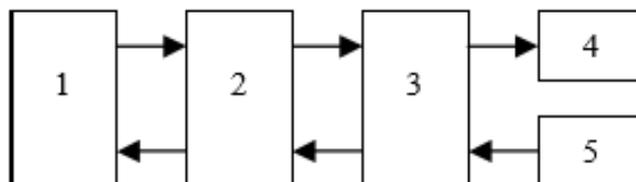


Рисунок 6 – Структурная схема магнитометра НВ1200Б

(1 – датчик Холла, 2 – устройства магнитоизмерительного канала, 3 – микроконтроллер, 4 – жидкокристаллический индикатор, 5 – кнопки управления.)

Устройства магнитоизмерительного канала 2 обеспечивают работу датчика Холла 1. Выходной сигнал магнитоизмерительного канала поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера 3. В МК происходит оцифровка и его необходимая обработка сигнала в цифровой форме. Программное обеспечение МК 3 выполняет измерения в фиксированных диапазонах 25 мТл или 250 мТл или с автоматическим переключением диапазонов измерения. К портам МК 3 подключен двухстрочный жидкокристаллический индикатор 4.

Поскольку требования предъявляются к точности прибора, простоте использования и конструкции, а также стоимости в данной работе был сделан вывод, что наиболее перспективным методом измерения напряженности магнитного поля в образце являются использование преобразователя Холла.

Для разработки устройства возьмём магнитометр НВ1200Б, описанный выше. Магнитометр НВ1200Б диагностирует детали с помощью штока, на котором закреплен преобразователь магнитного поля, т.е. диагностика ведётся вручную, что может привести к низкой точности. Поэтому необходимо разработать устройство, которое улучшит параметры точности прибора (координаты дефекта в ферромагнитном материале).

2.2 Конструкция магнитопровода и его характеристики

Магнитопроводом называется деталь магнитных систем, предназначенная для прохождения с определенными потерями магнитного потока, который возбуждается электрическим током в обмотках устройств.

Магнитопроводы являются составными частями электротехнических устройств: трансформаторов, электродвигателей, генераторов и других подобных устройств. Они предназначены для пропускания магнитного потока, возбуждённого прохождением электрического тока, и дальнейшего преобразования электрической энергии. Вид, форма и физические свойства магнитопроводов для этих устройств обусловлены конструктивными особенностями и назначением схемного элемента.

Объектом исследования данной работы является магнитопровод синхронного двигателя с электромагнитной редукцией, который выполнен в виде монолитного тороида. Магнитопровод такого двигателя изготовлен методом порошковой металлургии из магнитомягкого материала пермендюра (сплав 49КФ). Пермендюр относится к сплавам системы Fe-Co с добавками ванадия, который улучшает технологические свойства сплава при механической обработке.

Технологический процесс изготовления деталей методом порошковой металлургии основан на четырёх основных операциях: смешивание, формование, спекание и калибрование.

Смешивание заключается в приготовлении однородной механической смеси из смеси металлических порошков с неметаллическими или металлических порошков различного химического и гранулометрического состава. Формование осуществляется холодным прессованием, обычно в закрытых пресс-формах, под высоким давлением (30–1000 МПа) в металлических формах. Полученная прессовка имеет форму и размер готового изделия, а также достаточную прочность для перегрузки и транспортировки к печи для спекания. Спекание изделий из однородных металлических порошков проводится при температуре 70–90% температуры плавления металла. При повышении температуры и увеличении продолжительности спекания увеличиваются усадка, плотность и улучшаются контакты между зернами. Спекание проводится в восстановительной атмосфере, в атмосфере нейтральных газов или в вакууме во избежание окисления. При калибровании изделий достигается нужная точность размеров, улучшается качество поверхности и повышается прочность.

Изготовление магнитопроводов с использованием технологии пресс-форм позволяет организовать безотходное производство (потери сырья составляют не более 5%) и тем самым снизить себестоимость продукции. Кроме того, изготовление деталей методом порошковой металлургии обеспечивает высокую точность изделий в пределах 8го качества, широкий диапазон получаемых свойств: возможность регулирования физических, механических, электрических, магнитных и других свойств производимой продукции.

Магнитопровод должен обладать высокой магнитной проницаемостью, малой коэрцитивной силой, а также большой индукцией насыщения, т.е. пропускать максимальный магнитный поток через заданную площадь поперечного сечения. Выполнение последнего требования позволяет уменьшить массу и габаритные размеры магнитопровода.

Магнитный материал, который используется в переменных полях, должен иметь возможно меньшие потери на перемагничивание, которые складываются в основном из потерь на вихревые токи. Для уменьшения таких потерь выбирают магнитомягкие материалы, которые обладают повышенным удельным сопротивлением. Описанным выше требованиям отвечает прецизионный материал 49КФ. Также он имеет высокую коррозионную стойкость и высокую стойкость к окислению.

Важным требованием к магнитомягким материалам является обеспечение стабильности их свойств как во времени, так и по отношению к внешним воздействиям, таким, как температура и механические напряжения и т.д. Экспериментальные исследования данного проекта направлены на выявление такой нестабильности, т.е. неоднородности магнитного поля магнитопровода, в результате воздействия на него механическим воздействием.

2.3 Описание объекта проектирования

Для проведения исследований магнитопровода необходимо разработать макетный образец устройства экспресс-диагностики магнитных характеристик. Рассмотрев аналоги магнитных преобразователей на эффекте Холла, была разработана схема устройства, которая с помощью преобразователей Холла, формирует электрические сигналы, пропорциональные величине индукции магнитного поля магнитопровода. Эти сигналы поступают на вход блока обработки, который оценивает напряжённость магнитного поля и анализирует их по принятому алгоритму. Далее восстанавливая намагниченность материала по данным характеристик магнитного поля потоков рассеяния, можно будет получить «грубую» оценку качества изготовления ферромагнитных изделий.

Разработаем структурную схему такого устройства. Измерительная часть прибора (рисунок 7) состоит из линейки датчиков Холла, которые необходимо передвигать линейно и равномерно над поверхностью

исследуемого образца. Для этого площадка с датчиками прикрепляется к валу двигателя, в свою очередь на вал двигателя помещается ходовой винт (передача винт-гайка), который преобразует вращательное движение винта в поступательное движение платформы с датчиками Холла. Для того чтобы обработать сигнал с датчиков, он через АЦП подаётся на микроконтроллер, который отправляет данные в персональный компьютер. Для измерения магнитного поля исследуемого образца (магнитопровода) необходимо внешнее намагничивающее поле, которое реализуется с помощью площадки постоянных магнитов.

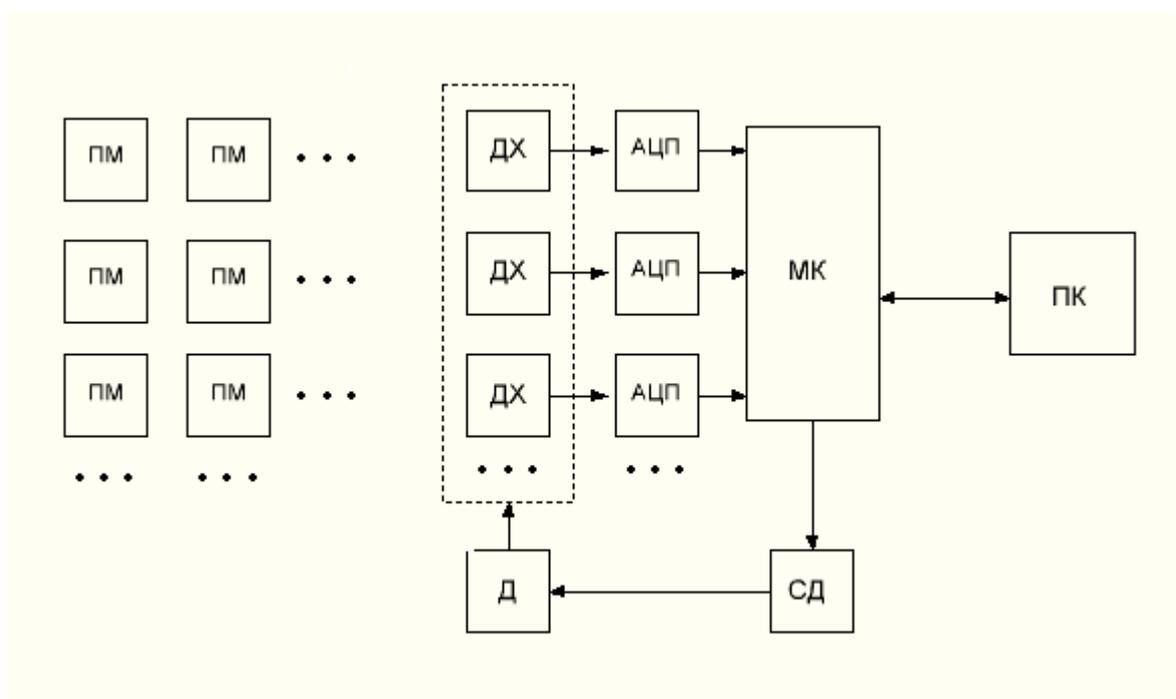


Рисунок 7 – Структурная схема устройства.

(ДХ – датчик Холла, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, МК – микроконтроллер, Д – двигатель, СД – силовой драйвер, ПМ-постоянный магнит)

Интерфейсная оболочка управляет исходными данными, запускает расчетные модули и проводит обработку результатов измерений с датчиков Холла. По окончании замеров полученные данные с микроконтроллера переносят в программу для обработки через USB-порт. В программе для

решения математических задач будет составлена «эталонная» математическая модель в виде общего интегрального выражения напряжённости через намагниченность элементов магнитных систем. Данная модель будет сравниваться с экспериментальными данными, снятыми устройством. В результате система будет определять отклонения параметров намагничивания системы от «эталонной», и выводить максимальное отклонение.

3 Разработка аппаратной части устройства диагностики

Задачей выбора программно-технических средств реализации устройства является анализ вариантов, выбор компонентов и анализ их совместимости.

Программно-технические средства разрабатываемого устройства включают в себя: измерительные, исполнительные устройства и контроллерное оборудование.

Измерительные устройства осуществляют сбор информации о магнитном поле магнитной системы. Исполнительные устройства преобразуют электрическую энергию в механическую для осуществления передвижения измерительных устройств в соответствии с алгоритмом управления. Контроллерное оборудование осуществляет выполнение задач преобразования измеренного аналогового сигнала в цифровой с последующей передачей этих данных в ПК.

3.1 Выбор измерительных устройств

Для регистрации магнитного поля магнитопровода выберем аналоговый датчик Холла, который преобразует индукцию магнитного поля в напряжение, величина показаний которого зависит от силы поля и его полярности. Выбор датчиков проходил из следующих вариантов: датчиков серии DRV50 от Texas Instruments и серии SS490 производителя Honeywell Solid State Electronics Center. Сравним технические характеристики аналоговых датчиков данных вариантов (таблица 1).

Датчики серии DRV50 от Texas Instruments дешевле, имеют высокую чувствительность, но такие датчики устарели и их использование не целесообразно, поскольку напряжение с датчика необходимо усиливать операционным усилителем, а, следовательно, этим усложняется схема, увеличиваются габариты платформы и стоимость устройства.

Таблица 1– Сравнительная таблица аналоговых датчиков Холла

Технические характеристики	SS495A	DRV5053EAQDBZT
Максимальный выходной ток, мА	10	2,3
Рабочая температура, °С	-40...125	-40...125
Рабочее напряжение питания	4,5...10,5	2,5...38
Выходное напряжение, В	$U_{пит} - 0,4$	0,2...1,8
Максимальная чувствительность, мВ/Гаусс	3,1	4,5
Температурная погрешность, %/°С	$\pm 0,06$	$\pm 0,5$
Цена, руб.	160	80

Таким образом, были выбраны интеллектуальные датчики Холла производителя Honeywell. Такие датчики имеют в своей конструкции встроенный усилитель выходного сигнала, который выдаёт необходимое напряжение с выхода датчика для контроллера и поможет избежать усложнения и увеличения схемы. Также, датчики SS495A имеют высокую точность, чувствительность, специальные встроенные схемы для увеличения температурной стабильности.

3.2 Выбор исполнительных устройств

3.2.1 Выбор типа двигателя

Как говорилось ранее, платформу будет перемещать двигатель, но для реализации точного перемещения необходимо сделать выбор конкретного типа двигателя. Рассмотрим шаговый и вентильный двигатели.

Шаговые двигатели - это электромеханическое устройство, которое преобразует электрические импульсы сигналов управления в угловые перемещения ротора (дискретные механические перемещения) с фиксацией его в заданном положении.

Шаговый двигатель позволяет осуществлять точное позиционирование и регулировку скорости без датчика обратной связи. Это больше подходит для систем, которые работают при малом ускорении и с относительно постоянной нагрузкой. Если нагрузка шагового двигателя превысит его момент, то информация о положении ротора теряется и система требует базирования с помощью, например, концевого выключателя или другого датчика.

Вентильный двигатель – это синхронный двигатель, содержащий многофазную обмотку статора, ротор с постоянными магнитами и встроенный датчик положения.

Вращение вентильного электродвигателя обеспечивает специальная электронная система управления — инвертор (преобразователь). Инвертор в данном случае это электронная система, осуществляющая подачу напряжения, частота которого не зависит от частоты питающего напряжения на обмотки электродвигателя.

Составим сравнительную таблицу двух двигателей и на основании неё выберем более подходящий для нашей задачи.

Для решения задачи медленного равномерного перемещения с постоянной скоростью хорошо подходят вентильные двигатели, но по сравнению с шаговыми двигателями они обладают более сложной системой подключения и управления и являются дорогостоящими, поэтому предпочтительным приводом является шаговый двигатель. Недостатки шаговых двигателей связанные с небольшой скоростью и потерей шагов при повышенных нагрузках и скоростях не учитываем, поскольку скорость необходима небольшая.

Таблица 2 – Сравнительная таблица двигателей

	Достоинства	Недостатки
Шаговый двигатель	Точное позиционирование и регулировка скорости без датчика обратной связи; простота подключения и дальнейшего обслуживания; более низкая стоимость сравнительно с серводвигателями	Ограничение по скорости (максимум 1000 об/мин); эффект потери шагов иногда может наблюдаться при повышенных нагрузках, при превышении допустимых скоростей.
Вентильный двигатель	Высокое быстродействие и динамика, точность позиционирования; большая перегрузочная способность по моменту; высокие энергетические показатели (КПД более 90 %); большой срок службы, высокая надёжность и повышенный ресурс работы.	Довольно сложное управление электродвигателем; относительно высокая цена устройства из-за применения в его конструкции ротора, который имеет дорогостоящие постоянные магниты; высокий уровень шума;

Для выбора типа шагового двигателя необходимо знать крутящий момент двигателя. Так как платформа с датчиками Холла должна двигаться поступательно, то в устройстве будем использовать передачу винт-гайка, которая преобразует вращательное движение одного из звеньев в поступательное движение другого звена. Определим требуемый крутящий

момент для систем с винтовыми передачами при заданной массе платформы равной 100 гр.

Система винт-гайка состоит из винта диаметром d и гайки. Определим момент M , действующий на вращающийся винт для передвижения по нему гайки (рисунок 8).

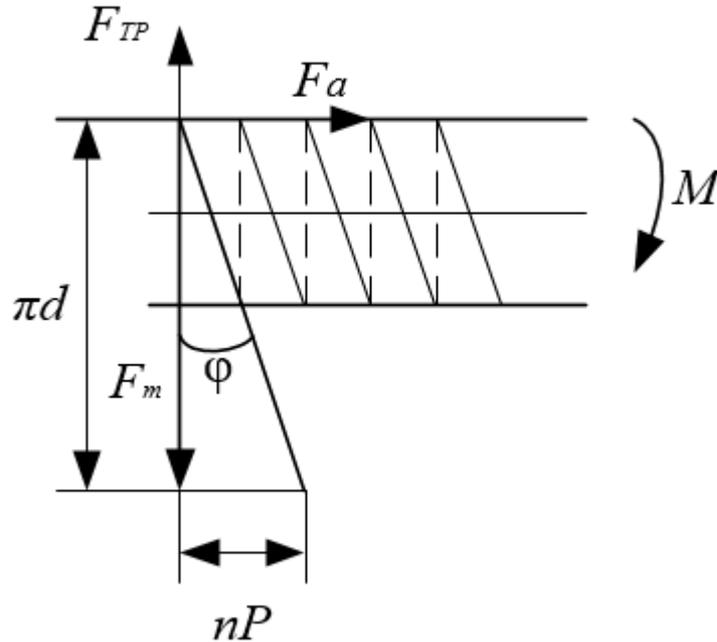


Рисунок 8 – Система с винтовой передачей

(d - диаметр винта, P - шаг винта, n - число заходов, φ – угол подъёма резьбы, F_m - нагрузка на гайке, $F_{тр}$ – сила трения винта о гайку (окружная сила), F_a - осевая сила)

Крутящий момент определяется формулой:

$$M = F_p \cdot \frac{d}{2},$$

где F_p – равнодействующая системы внешних сил.

Рассмотрим взаимодействие сил между винтом и гайкой для витка треугольного профиля (рисунок 9).

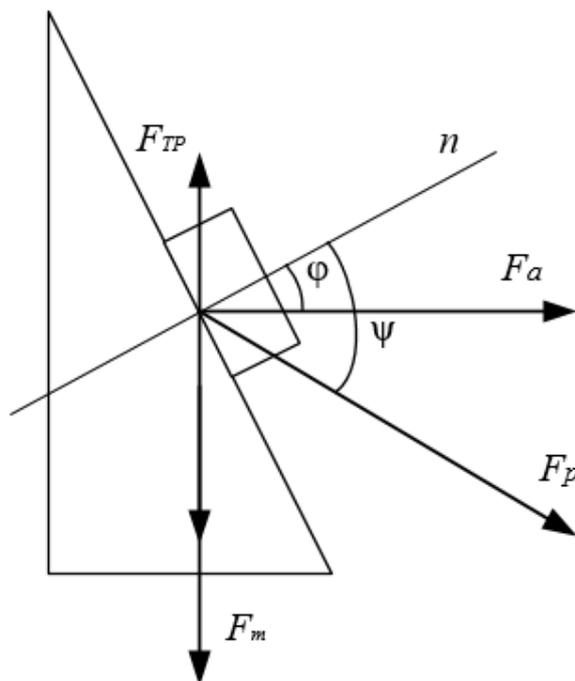


Рисунок 9 – Силы взаимодействия между винтом и гайкой

(φ – угол подъёма резьбы, ψ – приведённый угол трения в резьбе, F_m - нагрузка на гайке, F_{TP} – сила трения винта о гайку (окружная сила), F_a - осевая сила, F_p – равнодействующая системы внешних сил, n - нормаль)

Из треугольника сил, действующих на гайку (рисунок 9) с учетом дополнительного сопротивления для его подъема по витку, коэффициент трения определяется по зависимости [3]:

$$\mu = tg(\varphi + \psi),$$

где φ – угол подъёма винтовой линии, ψ – приведённый угол трения в резьбе.

Приведённый угол трения в резьбе определяется как

$$\psi = arctg\left(\frac{f}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right),$$

где f – коэффициент трения скольжения в резьбе (в зависимости от материала гайки), α – угол профиля резьбы (для метрической резьбы 60°). Зная материал гайки и винта (сталь), возьмём значение коэффициента трения скольжения по сухой поверхности $f = 0,11$.

Угол подъёма резьбы определяется по формуле:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{n \cdot P}{\pi d} \right),$$

где P – шаг винта, n – число заходов резьбы. Шаг резьбы для данного винта 1 мм, число заходов резьбы равно 1 (из документации на резьбовую шпильку М6).

Осевой момент винта определяется формулой:

$$M_{\text{ос}} = F_m \cdot f_{\Gamma} \cdot \frac{D_{\text{ср}}}{2},$$

где f_{Γ} – коэффициент трения на торце гайки, $D_{\text{ср}}$ – приведённый радиус ($D_{\text{ср}} = \frac{D+d}{2}$, D – внутренний диаметр гайки, d – внешний диаметр гайки).

Таким образом, момент сопротивления в резьбе определяется выражением:

$$M = mg \cdot \left(-\frac{d}{2} \cdot \left(\operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \left(\frac{n \cdot P}{\pi d} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{f}{\cos \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \right) \right) + 1 + f_{\Gamma} \cdot \frac{D_{\text{ср}}}{2} \right).$$

$$M = 0,1 \cdot 9,8 \cdot \left(\frac{6 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \left(\frac{10^{-3}}{3,14 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{0,11}{\cos \left(\frac{60}{2} \right)} \right) \right) + 1 + 0,003 \cdot \frac{(6+4) \cdot 10^{-3}}{2} \right) =$$

$$= 0,98 \cdot (3 \cdot 10^{-3} (0,053 + 0,714) + 1 + 1,5 \cdot 10^{-3}) = 0,98 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Следовательно, крутящий момент передачи винт-гайка должен быть больше $0.98 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Для требуемого вращающего момента выбираем шаговый двигатель типоразмера NEMA 16, модели двигателей представлены в следующей таблице 3 [4].

Таблица 3 –Перечень параметров двигателей NEMA 16

Модель	Угол шага	Количество проводов	Номинальный ток фазы, А	Сопротивление фазы, Ом	Индуктивность фазы, мГн	Инерция ротора, г·см ²	Удерживающий момент, Н·см	Крутящий момент, Н·см	Длина мотора, мм
39HS20044	1,8	4	0,42	18	12	12	8	0,5	20
39HS26064	1,8	4	0,6	9	10	14	14	0,8	26
39HS34064	1,8	4	0,6	12	13	19	18	1	34
39HS34124	1,8	4	1,2	3,2	3	19	16	1	34
39HS34046	1,8	6	0,4	30	14	19	12	1	34
39HS40064	1,8	4	0,6	12	20	24	24	1,2	40
39HS40124	1,8	4	1,2	3,8	6,5	24	24	1,2	40
39HS40046	1,8	6	0,4	30	22	24	18	1,2	40

Из представленного перечня (таблица 3) был выбран шаговый двигатель 39HS34064, который обладает крутящим моментом равным $1 \text{ Н} \cdot \text{м}$, что удовлетворяет рассчитанной величине момента.

3.2.2 Выбор драйвера двигателя

Для управления двигателями необходимо устройство, которое бы преобразовывало управляющие сигналы малой мощности в токи, достаточные для управления моторами. Такое устройство называют драйвером двигателей.

Наиболее часто применяемыми являются драйверы двигателей TEXAS INSTRUMENTS L293 и L298 который отличаются мощностью. L293 содержит два драйвера для управления электродвигателями малой мощности (четыре независимых канала, объединенных в две пары). Имеет две пары

входов для управляющих сигналов и две пары выходов для подключения электромоторов. Кроме того, у L293 есть два входа для включения каждого из драйверов. Эти входы используются для управления скоростью вращения электромоторов с помощью широтно модулированного сигнала (ШИМ).

L293 обеспечивает разделение электропитания для микросхемы и для управляемых ею двигателей, что позволяет подключить электродвигатели с большим напряжением питания, чем у микросхемы. Разделение электропитания микросхем и электродвигателей может быть также необходимо для уменьшения помех, вызванных бросками напряжения, связанными с работой моторов.

Характеристики микросхемы L293D:

- напряжение питания двигателей (V_s) - 4,5...36 В;
- напряжение питания микросхемы (V_{ss}) – 5 В;
- допустимый ток нагрузки – 600 мА (на каждый канал);
- пиковый (максимальный) ток на выходе - 1,2 А (на каждый канал);
- логический "0" входного напряжения - до 1,5 В;
- логическая "1" входного напряжения - 2,3...7 В;
- скорость переключений до 5 кГц;
- защита от перегрева.

Для управления более мощными двигателями существует драйвер L298N, по функционалу L298N полностью идентична L293D.

Характеристики микросхемы L298N:

- напряжение питания двигателей (V_s) - 4,5...50 В;
- напряжение питания микросхемы (V_{ss}) – 5 В;
- допустимый ток нагрузки – 2 А (на каждый канал);

- пиковый (максимальный) ток на выходе - 3А (на каждый канал);
- логический "0" входного напряжения - до 1,5В;
- логическая "1" входного напряжения - 2,3...7 В;
- скорость переключений до 5 кГц;
- защита от перегрева.

Для управления выбранным шаговым двигателем 39HS20044 выберем с драйвер L298N, так как номинальный ток фазы для данного двигателя составляет 420 мА, а ток нагрузки для L298N составляет 2 А для нормального режима работы. Выбран драйвер с запасом по номинальному току, приходящемуся на каждый канал, поскольку данный драйвер в случае замены двигателя может подойти практически к каждому маломощному двигателю (в таблице 3 можно увидеть двигатели, у которых номинальный ток больше 1 А).

3.3 Выбор контроллерного оборудования

В основе управления перемещением платформы с датчиками и снятием данных магнитного поля магнитопровода будем использовать микроконтроллер. Выбор его должен осуществляться исходя из требований к количеству выводов АЦП, наличию интерфейса USB, быстродействию и стоимости.

На рынке существует огромный выбор плат различных фирм. Проанализируем и выберем микроконтроллер двух доступных и распространённых фирм: ATMEL (Atmega16 на отладочной плате PINBOARD II R3) и STMicroelectronics (STM32F303VCT6 на отладочной плате STM32F3DISCOVERY) (таблица 4).

Для разрабатываемого устройства была выбрана отладочная плата с МК STM32F303VCT6. Как видно из сравнительной таблицы, она подходит к предъявленным требованиям и имеет интерфейс USB, который осуществляет связь между контроллером и компьютером, и позволяет

осуществить питание МК без внешних источников питания. Также МК производителя STMicroelectronics обладает большим быстродействием, большим количеством каналов АЦП, что может позволить модернизировать устройство, и меньшей стоимостью.

Таблица 4 – Сравнительная таблица микроконтроллеров

Техническая характеристика	PINBOARD II R3	STM32F3DISCOVERY
Интерфейсы подключения	I ² C, SPI, UART/USART	CAN, USB 2.0, USART/UART, SPI, I2C
Разрядность АЦП	10	12
Количество каналов АЦП	8	16
Цена, руб.	3500	2000

3.4 Разработка электрической принципиальной схемы устройства

В качестве датчиков измеряемых магнитное поле исследуемого образца были применены датчики Холла аналогового типа (SS495A). Датчики Холла реагируют на магнитное поле, создаваемое намагниченным образцом, и подают сигнал на АЦП выводы микроконтроллера (PA0...PA7).

Для точного позиционирования измерительной части устройства был выбран шаговый двигатель и соответствующий к нему драйвер. Микросхема L298N представляет собой сдвоенный мостовой драйвер двигателей и предназначена для управления двигателями постоянного тока и шаговыми двигателями. Драйвер содержит встроенный стабилизатор на напряжение 5 В, защитные диоды, конденсаторы, разъемы и индикатор. Драйвер выполняет следующие функции: обеспечение необходимого тока и напряжения на фазных обмотках двигателя; коммутация обмоток; включение, выключение, смена полярности двигателя; защита коммутирующих элементов от напряжения самоиндукции обмоток. В L298 существует разделение

электропитания для логической схемы и для нагрузки, что позволяет подключить нагрузку с меньшим или большим напряжением питания, чем у микросхемы, а также уменьшает помехи. Для управления двигателем подключаем выходы МК (PE10... PE13) соответственно к входам драйвера (IN1...IN4). Выводы шагового двигателя подключаем на выходы драйвера (первая обмотка подключается к выходам OUT1-OUT2, а вторая – OUT3-OUT4).

Питание микроконтроллера STM32 осуществляется за счет USB-порта, присоединенного к ПК, посредством 3,3 В. Для правильного и чёткого преобразования сигналов АЦП необходимо чтобы питание АЦП было стабильным, а поскольку питание самого МК достаточно зашумлённое, производитель контроллера предлагает использовать два параллельно включенных фильтрующих конденсатора – электролитический емкостью 1мкФ, и керамический 10нФ (см. приложение Б. На схеме они обозначены одним как 1μF//10nF). Также для временной и температурной стабильности, точности системы, был использован внешний источник тактового сигнала (кварцевый резонатор или генератор), который подключен к выходам OSC_IN и OSC_OUT МК с параллельно подключенными к нему конденсаторами C7 и C8 (см. приложение В).

Питание измерительной части и исполнительной осуществляется по общей шине от 12В с блока питания. При подаче напряжения питания на датчики Холла необходимо снизить его с 12В до 5В. Решить данную задачу поможет стандартный блок стабилизации напряжения на схеме MC34063A, который значительно облегчит изготовление макета устройства с требуемыми параметрами. Импульсный регулятор напряжения MC34063A представляет собой электронную схему управления DC/DC – преобразователем. Схема имеет источник опорного напряжения, генератор импульсов и регулятор их ширины, измерительный компаратор, схему

ограничения по току, выходной каскад и сильноточный ключ. На компаратор подаётся напряжение с выхода схемы, образуя делитель напряжения, через резисторы R_4 - R_6 . Коэффициент деления зависит от положения подстроечного резистора R_5 , который устанавливает требуемое выходное напряжение ($5B$). Диод VD_3 рассчитывается на требуемый ток нагрузки. L_1 – накопительная и фильтрующая индуктивность. C_3 – времязадающий конденсатор, который определяет частоту преобразования. C_1 и C_2 , C_4 - соответственно, выходной и входной фильтры. Емкость выходного фильтра определяет величину пульсаций выходного напряжения.

Электрическая принципиальная схема и спецификация к ней приведена в приложении А.

3.5 Разработка конструкции устройства

Для проверки, настройки и испытаний работы устройства, а также для исследований, был разработан испытательный образец (макет) устройства. Данный макет состоит из трёх платформ соединённых друг над другом стержнями. Для измерения магнитного поля исследуемого образца (магнитопровода) необходимо внешнее намагничивающее поле, которое реализуется с помощью площадки постоянных магнитов, которые располагаются на нижней платформе макета. Вторая (средняя) платформа, расположенная над площадкой магнитов, предназначена для размещения на ней исследуемого образца. Верхняя платформа предназначена для размещения на ней исполнительного и измерительного механизма. На этой платформе размещён шаговый двигатель с ходовым винтом, который закреплён двумя втулками по бокам. Для того чтобы закрепить измерительную часть, была сделана площадка для размещения на ней датчиков, которая передвигается по направляющим и валу двигателя. Так как датчики должны измерять магнитное поле над образцом, то на верхней платформе было сделано отверстие для площадки с датчиками. Расстояние между датчиками Холла и образцом установлено менее 1 см, поскольку у

данных датчиков сигнал является аналоговым, а, следовательно, чем ближе объект к датчику, тем сильнее сигнал. На стержни, которые скрепляют конструкцию, надеты трубки. Эти трубки укрепляют конструкцию, что необходимо при работе двигателя, так как он создаёт вибрации, а также, чтобы не создавать помех для датчиков Холла, поскольку стержни выполнены из стали. Также на верхней платформе есть место для расположения микроконтроллера, блока стабилизации питания для датчиков и блока питания, который обеспечивает питание всей конструкции.

4 Разработка программной части устройства диагностики

4.1 Разработка методики измерения

Разработка методики измерений осуществляется на основе технического задания, в котором приведены исходные данные на разработку устройства. К этим данным относятся:

- область применения – диагностика изделий из ферромагнитных материалов, имеющих размеры: шириной не более 80 мм, длиной не более 100 мм;
- измеряемая характеристика образцов: остаточная индукция B , мТл;
- область использования - лаборатории и цеха предприятий;
- требования к показателям погрешности измерений - абсолютная погрешность измерений магнитной индукции постоянного магнитного поля в диапазоне: от 1 до 500 мкТл, $\Delta = \pm (0,3 + 0,075 \cdot B_{и})$, где $B_{и}$ – измеренное значение магнитной индукции (показание измерителя), мкТл; от 0,3 до 50 мТл, $\Delta = \pm (0,1 + 0,1 \cdot B_{и})$; от 0,3 до 2000 мТл, $\Delta = \pm (0,1 + 0,1 \cdot B_{и})$, где $B_{и}$ – измеренное значение магнитной индукции (показание измерителя), мТл;
- предел допускаемой относительной погрешности измерений магнитной индукции постоянного магнитного поля: $\delta = \pm 5 \%$;
- требования к условиям выполнения измерений: должно быть устойчиво к воздействию температур от +10 до +35°C, влажности воздуха 80 % при температуре +35°C.

Разработаем методику выполнения измерений (МВИ), т.е. совокупность операций, выполнение которых обеспечит получение результатов измерений по установленным показателям точности.

Средством измерения магнитного поля является преобразователь Холла, относящийся к гальваномагнитному методу измерения, который

основан на преобразовании магнитной величины в электрическую величину. В качестве измерительного устройства используется микроконтроллер с АЦП выводами.

Измерения проводятся бесконтактным методом, при отсутствии контакта между объектом измерения (магнитопроводом) и чувствительным элементом (датчиком Холла).

Получение результатов измерения осуществляется косвенным методом измерений, т.е. итоговое значение напряжённости магнитного поля определяется, учитывая измеренное напряжение с датчиков Холла, которое преобразовано в индукцию магнитного поля, которое связано известной зависимостью с напряжённостью магнитного поля.

Последовательность операций при выполнении измерений и обработка результатов измерений:

- установить исследуемый объект в рабочую область измерений установки (таким образом, чтобы край детали был под датчиками, при учёте, что платформа с датчиками установлена в нулевом положении);
- включить программу измерений;
- после того как платформа переместилась до конца детали и измерила магнитное поле объекта, измеренные значения с каналов АЦП МК преобразовать из цифрового представления выходного значения АЦП во входное напряжение в соответствии с формулой:

$$U_i = \frac{VoltRef \cdot N_i}{4095},$$

где $VoltRef$ – опорное напряжение, N_i – результат оцифровки канала;

- значения напряжения с каналов АЦП МК преобразовать в магнитную индукцию в Теслах по формуле:

$$B_i = \frac{3 \cdot U_i}{K \cdot I_x},$$

где K – чувствительность в мВ/Т, I_x – значение управляющего тока

в мА;

- значение индукции пересчитать в напряжённость магнитного поля по формуле:

$$H_i = \frac{B_i}{\mu \cdot \mu_0},$$

где μ – магнитная проницаемость, μ_0 – магнитная постоянная ($4\pi \cdot 10^{-7}$ Н/А²);

- сравнить полученные измеренные значения напряжённости магнитного поля с моделью, принятой за эталонную;
- определить максимальное отклонение измеренной напряжённости поля от рассчитанной.

Требования к характеристикам погрешности являются основными исходными требованиями для разработки МВИ. Установим процедуру контроля точности получаемых результатов измерений. Точность измерения – качество измерения, отражающее близость его результатов к истинному значению измеряемой величины. Точность измерения – величина, обратная его относительной погрешности.

Для оценки точности измерения используем абсолютную и относительную погрешность. Абсолютная погрешность измерения понимается как отклонение результата измерений магнитной индукции от его истинного значения, которая вычисляется по формуле:

$$\Delta B_i = B_i - B_{и},$$

где ΔB_i – абсолютная погрешность i – го измерения, B_i – результат i – го измерения, $B_{и}$ – истинное значение измеряемой величины. Показатели абсолютной погрешности измерений магнитной индукции постоянного магнитного поля должны быть не выше: в диапазоне от 1 до 500 мкТл, $\Delta = \pm (0,3 + 0,075 \cdot B_{и})$; в диапазоне от 0,3 до 50 мТл, $\Delta = \pm (0,1 + 0,1 \cdot B_{и})$; в диапазоне от 0,3 до 2000 мТл, $\Delta = \pm (0,1 + 0,1 \cdot B_{и})$, где $B_{и}$ в мТл (в соответствии с ГОСТ 8.030-91. Государственная система обеспечения

единства измерений. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений магнитной индукции постоянного поля).

Абсолютная погрешность не полностью характеризует точность произведенных измерений, поэтому вычисляется относительная погрешность. Относительная погрешность это отношение абсолютной погрешности измерения к значению измеряемой величины:

$$\delta = \frac{\Delta}{B_{и}} \cdot 100 \%$$

Относительная погрешность непосредственно связана с точностью измерения. Точность измерения – величина, обратная его относительной погрешности. Малая относительная погрешность соответствует высокой точности измерений.

4.2 Математическая модель системы

Выведем математическую модель устройства, которая необходима для обработки результатов измерения магнитного поля образца и последующего анализа на изменение напряжённости магнитного поля в результате влияния механических нагрузок на материал, термической обработки и других факторов, которые являются причиной производственного дефекта.

Данная модель позволяет рассчитать магнитное поле магнитопровода с учётом нелинейности характеристик ферромагнитных материалов, она применима для элементов магнитной системы, что даёт возможность описать открытую магнитную систему. Математическая модель представляет собой численное решение уравнения методом интегрирования по источникам поля, который заключается в решении интегрального выражения напряжённости через намагниченность элементов магнитной системы.

Электромагнитное поле в электрических машинах описывается системой уравнений Максвелла, но задача решения их очень сложна. Этим диктуется принятие некоторых допущений. Не учитываются: контактные

ЭДС, ЭДС Томсона, ЭДС Толмена, токи проводимости в диэлектриках, токи смещения и запаздывания, влияние температуры и механических напряжений на параметры и размеры сред, линейная скорость движущихся частей машины, которая мала по сравнению со скоростью света.

Принятые допущения позволяют записать систему уравнений Максвелла в следующем виде:

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \bar{H} = \bar{J}_{\text{полн}}; & \operatorname{rot} \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}; \\ \operatorname{div} \bar{B} = 0; & \operatorname{div} \bar{D} = \rho. \end{cases}$$

где \bar{H} – напряженность магнитного поля, А/м; \bar{B} – магнитная индукция, Тл; \bar{E} – напряженность электрического поля, В/м; \bar{D} – электрическое смещение (электрическая индукция), Кл/м²; $\bar{J}_{\text{полн}}$ – полная плотность тока, А/м²; ρ – объемная плотность электрического заряда, Кл/м³; t – время, с.

Описанное выше уравнение Максвелла характеризует меняющееся с течением времени электромагнитное поле. Перейдём к описанию стационарного магнитного поля, поскольку в нашем случае поле создаётся постоянными магнитами. Стационарная модель магнитного поля описывается уравнением:

$$\operatorname{div} B = 0,$$

и уравнением связи

$$B = \mu_0 \mu_r H = \mu_0 (M + H),$$

где M – намагниченность материала, А/м; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная постоянная, Гн/м; μ_r – относительная магнитная проницаемость, H – напряжённость магнитного поля.

В определении значения напряженности H или индукции B заключается задача расчета магнитного поля, которая может быть решена методами теории электромагнитного поля. Метод расчета должен учитывать реальную конфигурацию детали, так как параметры, определяющие

энергетические возможности детали (магнитопровода), т.е. ее эффективность, зависят от конструктивного исполнения активной зоны.

Воспользуемся методом интегрирования по источникам поля, который заключается в использовании интегро-дифференциального уравнения, выражающего напряженность поля в точке наблюдения через векторные характеристики источников поля (намагниченность вещества).

Определение интегральных характеристик магнитного поля выполняется путем разбиения занимаемого исследуемой областью пространства на элементарные трубки магнитного потока, в пределах которых магнитное поле считается однородным. В результате интегрирования распределенных характеристик магнитного поля в исследуемой области пространства возможно определение магнитного потока, магнитного напряжения.

На первом этапе расчёта производится разбиение магнитной системы на конечные элементарные объёмы с описанием свойств и исходного состояния материала в пределах каждого элементарного объёма. Далее выполняется расчёт магнитного поля с помощью выражения для вычисления напряжённости магнитного поля через намагниченность элементов магнитной системы:

$$\bar{H}_q = -\frac{1}{4\pi} \operatorname{grad}_q \int_{V_s} \frac{\bar{M}_p \bar{r}_{pq}}{r_{pq}^3} dV_p, \quad (1)$$

где \bar{H}_q - вектор напряженности магнитного поля в точке наблюдения q ; \bar{M}_p - намагниченность объема dV_p ; \bar{r}_{pq} - радиус-вектор, проведенный из элемента объема dV_p в точку наблюдения q ; r_{pq} - модуль соответствующего радиус-вектора.

Решение уравнения (1) производится численным методом. При этом пространство, занимаемое намагниченным веществом, разбивается на малые объёмы, в пределах каждого из которых намагниченность считается постоянной и сосредоточенной в центре элементарного объёма (рисунок

10). При переходе к скалярным величинам получается следующая система уравнений:

$$\begin{aligned}
 H_{xq} &= -\frac{1}{4\pi} * \sum_{i=1}^m \left[M_{xi} \frac{\partial}{\partial x} \int \frac{r_{pqx}}{r_{pq}^3} dV_p + M_{yi} \frac{\partial}{\partial x} \int \frac{r_{pqy}}{r_{pq}^3} dV_p + M_{zi} \frac{\partial}{\partial x} \int \frac{r_{pqz}}{r_{pq}^3} dV_p \right], \\
 H_{yq} &= -\frac{1}{4\pi} * \sum_{i=1}^m \left[M_{xi} \frac{\partial}{\partial y} \int \frac{r_{pqx}}{r_{pq}^3} dV_p + M_{yi} \frac{\partial}{\partial y} \int \frac{r_{pqy}}{r_{pq}^3} dV_p + M_{zi} \frac{\partial}{\partial y} \int \frac{r_{pqz}}{r_{pq}^3} dV_p \right], \quad (2) \\
 H_{zq} &= -\frac{1}{4\pi} * \sum_{i=1}^m \left[M_{xi} \frac{\partial}{\partial z} \int \frac{r_{pqx}}{r_{pq}^3} dV_p + M_{yi} \frac{\partial}{\partial z} \int \frac{r_{pqy}}{r_{pq}^3} dV_p + M_{zi} \frac{\partial}{\partial z} \int \frac{r_{pqz}}{r_{pq}^3} dV_p \right],
 \end{aligned}$$

где m – количество разбиений на элементарные объемы намагниченного вещества; r_{pqx} , r_{pqy} , r_{pqz} – проекции радиус-вектора \bar{r}_{pq} на оси декартовой системы координат; M_{xi} , M_{yi} , M_{zi} – проекции вектора намагниченности \bar{M}_i малого объема ΔV_i ; H_{xq} , H_{yq} , H_{zq} – проекции вектора напряженности поля в точке наблюдения q .

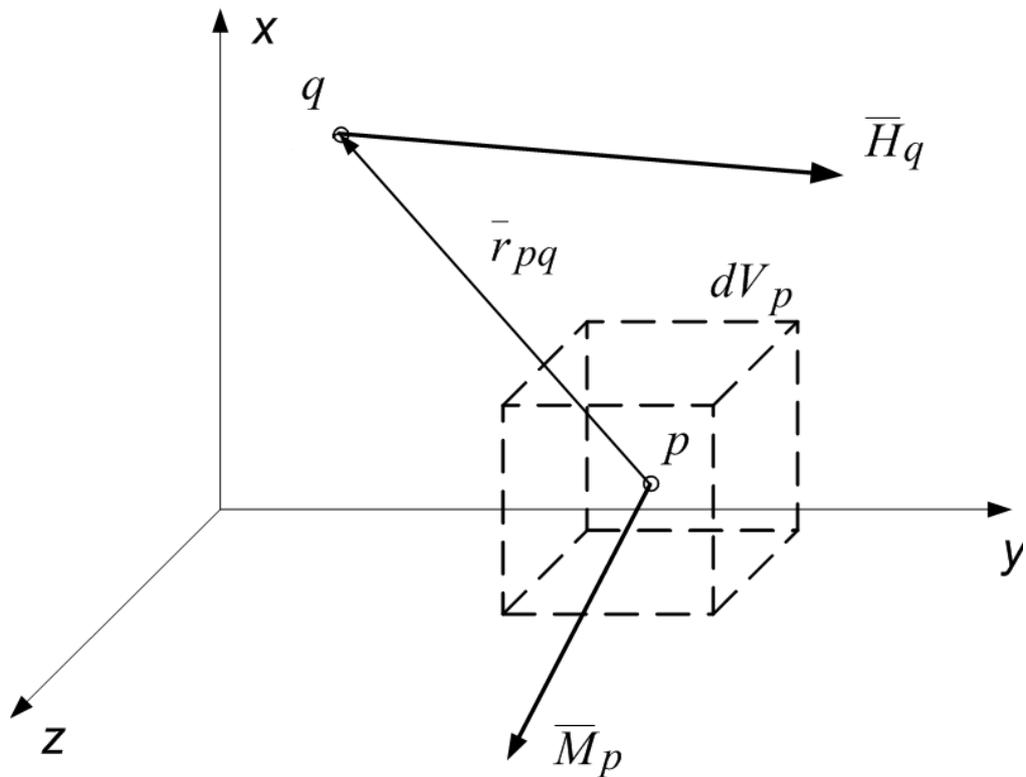


Рисунок 10 – Магнитное поле, создаваемое элементарным намагниченным объемом

Система уравнений (2) после дифференцирования по частным производным и перехода к конечным разностям в матрично-векторной форме принимает вид:

$$\bar{H} = -A_{qi} \cdot \bar{M}_{qi} \cdot \mu_0, \quad (3)$$

$$\text{где } \bar{M}_{qi} = [M_{x1}, M_{y1}, M_{z1}, \dots, M_{zn}]^T,$$

$$A_{qi} = \begin{bmatrix} \frac{(r_{pqy_i}^2 + r_{pqz_i}^2 - 2r_{pqx_i}^2)M_{x_i}\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} & - \frac{3r_{pqx_i}r_{pqy_i}M_{y_i}\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} & \dots & - \frac{3r_{pqx_i}r_{pqz_i}M_{z_i}\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} \\ \frac{(r_{pqx_i}^2 + r_{pqz_i}^2 - 2r_{pqy_i}^2)M_{y_i}\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} & - \frac{3r_{pqy_i}r_{pqx_i}M_{x_i}\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} & \dots & - \frac{3r_{pqy_i}r_{pqz_i}M_{z_i}\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} \\ \frac{(r_{pqx_i}^2 + r_{pqy_i}^2 - 2r_{pqz_i}^2)M_{z_i}\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} & - \frac{3r_{pqz_i}r_{pqx_i}M_{x_i}\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} & \dots & - \frac{3r_{pqz_i}r_{pqy_i}M_{y_i}\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} \end{bmatrix},$$

где A_{qi} – матрица коэффициентов, в которой первый индекс переменной означает номер точки и показывает по какой оси рассматривается влияние намагниченности, а второй – точку оси, на которую это воздействие создаётся.

В данном проекте рассматривается магнитное поле только в одной плоскости, а также применяются постоянные магниты в качестве намагничивающего устройства магнитопровода, в связи с этим уравнение (3) принимает вид:

$$\bar{H} = -A_{qi} \cdot M \cdot \mu_0,$$

$$A_{qi} = \left[\frac{(r_{pqy_i}^2 + r_{pqz_i}^2 - 2r_{pqx_i}^2)\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} \quad - \frac{3r_{pqx_i}r_{pqy_i}\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} \quad \dots \quad - \frac{3r_{pqx_i}r_{pqz_i}\Delta V_i}{r_{pq_i}^5} \right],$$

где M – намагниченность постоянных магнитов.

Система уравнений в матрично-векторной форме является основой при создании стационарных математических моделей и дает возможность исследовать протекающие в устройстве магнитные процессы при изменении основных характеристик магнитной системы, размеров геометрии и свойств материалов [5].

4.3 Программная реализация проекта

Для передвижения платформы с датчиками и снятия данных магнитного поля исследуемого образца необходимо разработать программу для управления платформой и для регистрации параметров магнитного поля. С этой целью была выбрана среда MexBios, разработанная компанией «НПФ МЕХАТРОНИКА-ПРО». Данная среда программирования является визуальной, что позволяет легко, быстро адаптироваться к данному программному продукту и не требует знания языков программирования, а также она позволяет выполнить моделирование разработанного проекта, которое помогает в разработке, отладке и проверке программы работы. К тому же MexBios поддерживает микроконтроллеры производства STMicroelectronics и для выбранного в данной работе МК STM32F303VCT6 имеется библиотека, которая содержит блоки управления двигателем, драйвера (в том числе АЦП), блоки для работы с памятью и др.

Для создания системы управления шаговым двигателем необходимо определиться со способом его управления. Существует несколько способов управления ШД: попеременной коммутацией фаз, управления фазами с перекрытием и полушаговый режим. Первый способ, называемый волновым или полношаговым, осуществляет коммутацию фаз, при которой они не перекрываются, в каждый момент времени включена только одна фаза (рисунок 11а). Данный способ использует 50% обмоток для биполярного двигателя, для униполярного – 25%, что означает, что он не обеспечивает полного момента. Способ управления с перекрытием фаз включает две фазы одновременно, обеспечивая фиксацию ротора в промежуточных между полюсами статора позициях (рисунок 11б). Этим способ обеспечивается такой же угол шага, но больший момент (примерно на 40%) в сравнении с предыдущим способом. Полушаговый метод управления реализует шаг в половину основного, осуществляется это при каждом первом шаге коммутацией двух обмоток, а втором шаге коммутацией одной фазой

(рисунок 11в). Также этот способ позволяет частично избавиться от явления резонанса и позволяет получить полный момент. Однако, несмотря на достоинства последних двух методов, выберем более простой метод с попеременной коммутацией фаз, поскольку в поставленной задаче управления двигателем не требуется максимальный момент и удвоенная точность позиционирования двигателя (для выбранного двигателя достаточно мелкий угол шага равный 1,8).

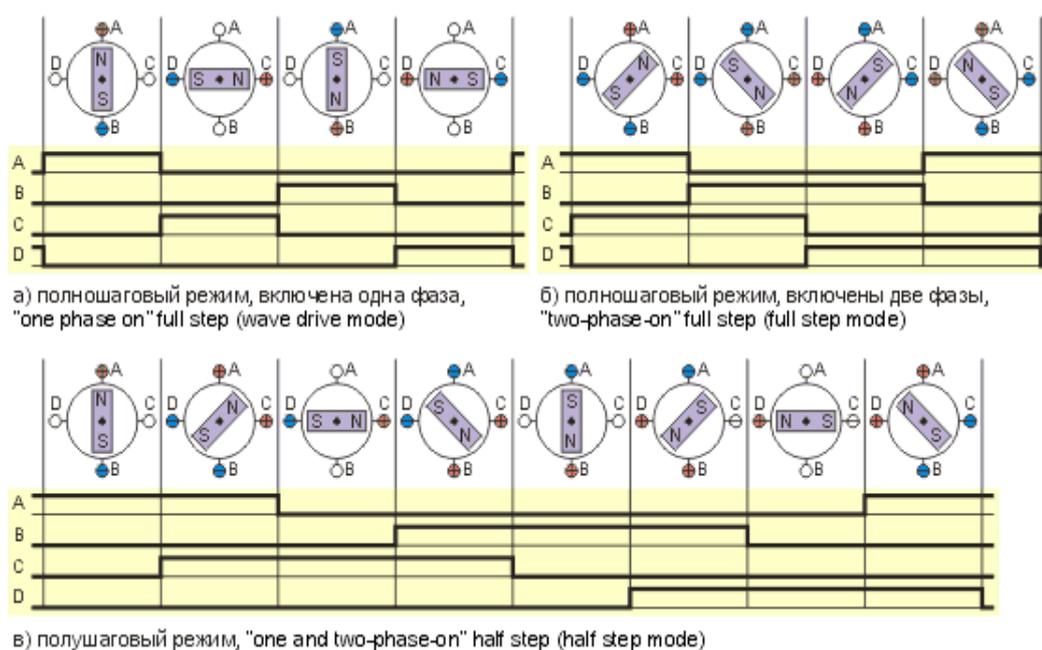


Рисунок 11 - Различные способы управления фазами шагового двигателя

Для выбранного способа управления шаговым двигателем была разработана программа, в основу которой взяты блоки: генератор последовательности импульсов, счётчик импульсов, переключатель входных сигналов, драйвер дискретного ввода/вывода. Рассмотрим основные блоки программы и их параметры.

Для подачи импульсов на обмотки двигателя понадобится генератор последовательности импульсов, который формирует импульсы с заданной длительностью, паузой и количеством повторений. Данный блок имеет следующие параметры: период дискретизации, длительность импульса в

секундах, длительность паузы в секундах и время паузы между двумя группами импульсов. Данные параметры для оптимального движения (скорость вращения двигателя подобрана таким образом, чтобы не возникло проблемы потери шага) были подобраны опытным путём. На вход блока EN подключена кнопка, с помощью которой включается программа работы двигателя (при нажатии кнопки USER на МК). На второй вход N подаётся константа, которая задаёт количество импульсов, в данном случае количество циклов подачи импульсов на каждую из фаз по очереди.

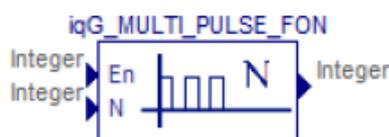


Рисунок 12– Блок iqG_MULTI_PULSE_FPN (генератор последовательности импульсов)

Выход блока генератора импульсов подаётся на ещё один генератор, который задаёт цикл импульсов. Цикл импульсов на обмотки двигателя представляет подачу импульсов последовательно на входы IN1...IN4 драйвера двигателя. Второй генератор импульсов соединён с реверсивным счётчиком импульсов (рисунок 13), который позволяет вести счёт импульсов по передним и (или) задним фронтам с логическим выходом, определяющий пороговый уровень.

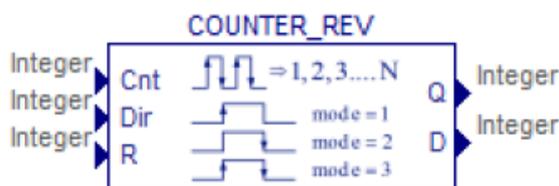


Рисунок 13 – Блок COUNTER_REV (реверсивный счётчик импульсов)

На вход Cnt, счётный вход, блока COUNTER_REV подключается выход блока генератора. Выход блока Q соединяется с входом R, что

позволяет при достижении порогового уровня счётчика сбросить его в начальное положение. Выход D соответствует состоянию счётчика. Параметры настройки блока включают в себя: выбор режима учёта фронтов (выбран счёт по переднему фронту сигнала), пороговый уровень включения выхода логического Q (установлен 2), пороговый уровень выключения выхода логического Q (установлена 5), начальное состояние счётчика (установлена 1).

Параллельно генератору подключен второй блок реверсивного счётчика импульсов, который отвечает за реверсивное движение двигателя. Блок подключен аналогично предыдущему, но для того, чтобы на двигатель приходили импульсы в обратной последовательности, необходимо изменить направление счёта, т.е. на вход Dir (направление счёта) блока подключить константу со значением 1.

Выходы D счётчиков импульсов, которые определяют состояние счётчика, подаются на входы переключателя входных сигналов A_MUX (рисунок 14). Данный блок переключает входной сигнал в зависимости от входных сигналов In0 и In1, количество входов определяется параметром NumIn.

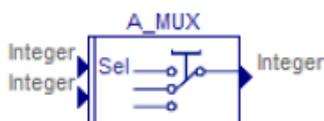


Рисунок 14 – Блок A_MUX (переключатель входных сигналов)

Далее выход переключателя подаётся на вход Sel блока D_MUX (переключатель входного сигнала), который переключает входной сигнал в зависимости от задания входа Sel на один из выходов. В параметре NumOut устанавливается число выводов, которое в программе задано 4. На вход In подключаем блок T_DELAY_OFF (задержка выключения со входом сброса),

включенный с выхода первого генератора импульсов. Данный блок выключает переключатель по истечению заданного времени, что позволяет после отработки всех заданных импульсов снять напряжение с обмоток двигателя. Каждый из выходов подключается к драйверу дискретного ввода/вывода (GPIO). В блоке устанавливается его тип, т.е. если выбирается значение 0:Input, то блок работает на ввод информации, если 1:Output, то на вывод, в нашем случае блок должен работать на выход. Также в каждом блоке устанавливается выбор линии МК, у нас драйвер к МК подключен на выходы PE10...PE13. На выходы блоков GPIO подключены лампочки для моделирования и проверки работы программы, они не являются обязательными элементами программы.

Следующая функция, которую должна выполнять программа, это снятие данных с АЦП выводов МК и сохранение их. В библиотеке для STM32F3 имеется драйвер АЦП (ADC), который выполняет конфигурирование и опрос АЦП микроконтроллера. В параметрах блока были установлены: количество выходов блока - каналов АЦП равное 8, длительность паузы между двумя оцифровками (задаётся равным суммарным временем всех импульсов, приходящихся на шаг перемещения платформы), событие для запуска оцифровки каналов (установлен режим непрерывной оцифровки) и выбор используемых входов МК. С выходов драйвера АЦП поставлены блоки GRID_OUT, которые заносят оцифрованные значения в таблицу.

Разработанная программа представлена в приложении Г.

4.5 Обработка измерений

После снятия данных магнитного поля исследуемого образца необходимо обработать эти данные с целью выявления неоднородности магнитного поля. Для обработки данных был выбран инструмент MatLab, который поддерживает математические вычисления и визуализацию

результатов. Данный прикладной пакет хорошо изученный и позволит легко составить программу обработки и адаптировать её к нашей задаче. К тому же MatLab удобен и для студентов тем, что данная операционная среда предоставляет лицензионную бесплатную версию.

В среде MatLab Simulink был разработан расчётный модуль обработки измеренных значений датчиками Холла (приложение Д). Измеренное магнитное поле, зарегистрированное датчиками, представляет собой разность потенциалов на боковых гранях датчика, которую необходимо преобразовать в индукцию магнитного поля. С этой целью в расчётном модуле первым ставится блок Gain, в который заводятся измеренные в исследовании значения, в след за которым подключается такой же блок, в котором преобразуются эти величины в индукцию МП. Для пересчета в индукцию в блоке введенная матрица со значениями поэлементно домножается на коэффициент, который рассчитывается как: $\frac{3}{K \cdot I_x}$ ($B_i = \frac{3 \cdot U_i}{K \cdot I_x}$), где K – чувствительность в мВ/Т, I_x – значение управляющего тока в мА. Далее необходимо значение индукции пересчитать в напряжённость магнитного поля, поставив блок Gain и установив в нём коэффициент: $\frac{1}{\mu \cdot \mu_0}$ ($H_i = \frac{B_i}{\mu \cdot \mu_0}$), где μ – магнитная проницаемость, μ_0 – магнитная постоянная ($4\pi \cdot 10^{-7}$ Н/А²).

Для определения отклонения от модели, принятой за эталонную, необходимо сначала отнять напряженность измеренного МП от рассчитанного и данную разность разделить на напряжённость рассчитанного МП, тем самым вычислить относительную погрешность измерений. Это обеспечивается сумматором Add, в котором блок с напряжённостью рассчитанного МП подключается на положительный вход блока, а блок с измеренными значениями – к отрицательному. Далее выход блока сумматора подключается на вход блока поэлементного деления Divide, в числитель которого подаётся рассчитанная разность, а в знаменатель матрица с рассчитанными значениями напряжённости. Выход блока Divide

подключаем на вход блока MinMax для определения максимального значения отклонения измеренных величин. Для отображения вычисленного отклонения был поставлен блок Display на выход составленной системы.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Е31	Кривошеева Евгения Алексеевна

Институт	Кафедра	Уровень образования	Направление/специальность
		Бакалавр	Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Рассчитана общая стоимость всех ресурсов научного исследования, которая составила 111480 рублей (с учетом материальных, энергетических, накладных затрат и т.д.).</i>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составлен календарный план НИ. Рассчитаны затраты НИ.</i>
<i>2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>С позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения было рассмотрено два вида исполнения системы и выбрано наиболее выгодное.</i>

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	30.03.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Тухватулина Лилия Равильевна	Кандидат философских наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е31	Кривошеева Евгения Алексеевна		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования являются коммерческие организации, в которых ведётся производство электродвигателей, а также организации, где изготавливают детали, обладающие магнитными свойствами. На данных предприятиях для производства ферромагнитных изделий необходим контроль магнитных характеристик, которым они должны соответствовать. Для контроля этих характеристик нужен прибор, который поможет регистрировать магнитное поле.

В таблице 5 приведены основные сегменты рынка, которые могут быть заинтересованы в приобретении данного прибора, по следующим критериям: размер компании-заказчика и направление деятельности. Анализ рынка проводился на основе следующих компаний: ООО "НПО Сибэлектромотор" (средняя компания), АО «ИСС» (крупная компания), ОАО НПО «МАГНЕТОН» (мелкая компания).

Согласно карте сегментирования рынка, можно выбрать следующие сегменты рынка: отбраковка изделий, несоответствующих требованиям магнитных характеристик и рекомендации по улучшению (устранению брака) качества изделий.

Таблица 5 – Карта сегментирования рынка

		Направление деятельности			
		Измерение магнитного поля изделий	Регистрация и анализ магнитного поля изделий	Отбраковка изделий, несоответствующих требованиям	Рекомендации и по улучшению качества изделий
Размер компании	Мелкая	+	+	-	-
	Средняя	+	+	+	-
	Крупная	+	+	+	-

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Конкуренция служит важнейшим способом повышения эффективности, как целой экономической системы, так и всех ее звеньев. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты (таблица 6), в которой рассматриваются разработанное и два конкурирующих устройства (Магнитометр ИМП-6 и магнитометр МФ-23ИМ).

По результатам оценочной карты можно убедиться, что в сравнении с конкурирующими устройствами разработанное устройство является эффективней по техническим и экономическим критериям. Конкурентными преимуществами разработки являются: высокое качество интеллектуального интерфейса, возможность подключения в сеть ЭВМ, потребность в ресурсах памяти и низкая цена.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес	Баллы			Конкурентоспособность		
		Разрабатываемое устройство	Конкурентный магнитомер 1	Конкурентный магнитомер 2	Разрабатываемое устройство	Конкурентный магнитомер 1	Конкурентный магнитомер 2
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Удобство и простота в эксплуатации	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
Помехоустойчивость	0,15	3	4	4	0,45	0,6	0,6
Потребность в ресурсах памяти	0,15	5	4	1	0,75	0,6	0,15
Качество интеллектуального интерфейса	0,2	5	3	2	1	0,6	0,4
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,15	5	4	1	0,75	0,6	0,15
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
Конкурентоспособность	0,05	2	3	1	0,1	0,15	0,05
Уровень проникновения на рынок	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
Цена	0,1	5	1	2	1	0,1	0,2
Итого	1	33	28	19	4,95	3,6	2,35

5.1.3 SWOT – анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Такой метод применяют для исследования внутренней и внешней среды проекта.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон, возможностей и угроз для реализации проекта (таблица 7).

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивные матрицы проекта (таблицы 8, 9, 10, 11).

Таблица 7 – Матрица SWOT

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
Внутренняя среда	<p>С1.Взаимоотношения с потребителями</p> <p>С2.Более низкая стоимость</p> <p>С3.Энергоэкономичность</p> <p>С4.Простота использования</p>	<p>Сл1.Сложности в приобретении комплектующих деталей для установки</p> <p>Сл2.Узкая направленность</p> <p>Сл3.Отсутствие навыков в ключевых областях деятельности</p> <p>Сл4.Недостаток финансовых средств для осуществления необходимых стратегических инициатив</p>
Внешняя среда	<p>Возможности:</p> <p>В1.Взаимоотношения с поставщиками</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1.Отсутствие потребности</p>

	комплектующих деталей В2.Ёмкий рынок потенциальных потребителей В3.Повышение стоимости конкурентных разработок	устройстве У2.Увеличение конкуренции У3.Появление более дешёвых технологий
--	--	--

Таблица 8 – Интерактивная матрица для сильных сторон и возможностей

Сильные стороны					
Возможности		С1	С2	С3	С4
	В1	-	+	0	-
	В2	+	-	0	0
	В3	+	+	0	0

Таблица 9 – Интерактивная матрица для слабых сторон и возможностей

Слабые стороны					
Возможности		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	+	-	0	+
	В2	0	-	-	+
	В3	0	-	0	-

Таблица 10 – Интерактивная матрица для сильных сторон и угроз

Сильные стороны					
Угрозы		С1	С2	С3	С4
	У1	+	0	0	0
	У2	-	+	+	+
	У3	+	+	-	0

Таблица 11 – Интерактивная матрица для слабых сторон и угроз

Слабые стороны					
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	+	-
	У2	-	+	+	+
	У3	+	+	+	+

На третьем этапе составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 12).

Таблица 12 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1.Взаимоотношения с потребителями</p> <p>С2.Более низкая стоимость</p> <p>С3.Энергоэкономичность</p> <p>С4.Простота использования</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1.Сложности в приобретении комплектующих деталей для установки</p> <p>Сл2.Узкая направленность</p> <p>Сл3.Отсутствие навыков в ключевых областях деятельности</p> <p>Сл4.Недостаток финансовых средств для осуществления необходимых стратегических инициатив</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Взаимоотношения с поставщиками</p>	<p>Обеспечение ёмкого рынка потенциальных потребителей за счет</p>	<p>Взаимоотношения с поставщиками комплектующих деталей</p>

<p>комплектующих деталей</p> <p>В2. Ёмкий рынок потенциальных потребителей</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>низкой стоимости, энергоэкономичности и простоты использования.</p>	<p>может упростить приобретение деталей для установки и сэкономить часть финансовых средств.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие потребности в устройстве</p> <p>У2. Увеличение конкуренции</p> <p>У3. Появление более дешёвых технологий</p>	<p>Взаимоотношения с потребителями могут избавить от угрозы отсутствия потребности в устройстве.</p> <p>Взаимоотношения с потребителями и низкая стоимость могут избавить от угрозы появления дешёвых технологий, которые могут привести к снижению спроса на устройство.</p>	<p>Узкая направленность и отсутствие навыков в ключевых областях деятельности может привести к отсутствию потребности в устройстве.</p> <p>Узкая направленность, отсутствие навыков в ключевых областях деятельности и недостаток финансовых средств для осуществления необходимых стратегических инициатив может привести к опережению конкурентов в спросе на устройство.</p>

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В реализации данного проекта участвовало два исполнителя – руководитель (Р) и студент-дипломник (СД). Разделение выполнения данного проекта на этапы представлено в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение обязанностей между участниками проекта

Основные этапы	№ раб.	Содержание работы	Должность исполнителя	Загрузка
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Р	100%
Выбор направления исследования	2	Изучение исходных данных и материалов по тематике	СД	100%
	3	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	СД	100%
	4	Календарное планирование работ	Р, СД	50% / 50%
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка структурной и функциональной схем	Р, СД	50% / 50%
	6	Разработка конструкции устройства и сбор макета	СД	100%
	7	Разработка интерфейсной оболочки устройства	СД	100%
	8	Исследования с помощью устройства	Р, СД	50% / 50%
Оформление отчёта по НИР	9	Составление пояснительной записки	СД	100%

5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения диаграммы Гранта, которая представляет ленточный график работ, представленных отрезками во времени, необходимо перевести длительность каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни. Для этого необходимо рассчитать коэффициент календарности по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48 ,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году, $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году, $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Ниже приведен пример расчёта временных показателей проведения научного исследования для первого этапа работы, остальные выполняются аналогично.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости $t_{\text{ож}i}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5} ,$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн (так как исполнители работали одновременно, то минимально и максимально возможную, а также ожидаемую трудоёмкость учитываем общими для исполнителей).

$$t_{\text{ож}1} = \frac{3t_{\text{min}1} + 2t_{\text{max}1}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел. -дней.}$$

Определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{ч_i} ,$$

где $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

$$T_{p1} = \frac{t_{ож1}}{Ч_1} = \frac{1,8}{1} = 1,8.$$

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях.

$$T_{k1} = T_{p1} \cdot k_{кал} = 1,8 \cdot 1,48 \approx 3.$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 14.

Таблица 14. Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Исполнители	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
		t_{min} , чел. – дни	t_{max} , чел. – дни	$t_{ож}$, чел. – дни		
1	Р	1	3	1,8	1,8	3
2	СД	14	21	16,8	16,8	25
3	СД	7	10	8,2	8,2	12
4	Р, СД	1	3	1,8	0,9	1
5	Р, СД	7	14	9,8	4,9	7
6	СД	14	21	16,8	16,8	25
7	СД	10	14	11,6	11,6	17
8	Р, СД	7	14	9,8	4,9	7
9	СД	14	21	16,8	16,8	25
Итого						122

На основе таблицы 14 построим план-график работ (таблица 15). График строится по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 15 – Календарный план-график проведения ВКР

№ раб.	Вид работ	Испол- нители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																
				февр		март			апрель			май			июнь					
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1					
1	Составление и утверждение задания НИР	Р	3	■																
2	Изучение исходных данных и материалов по тематике	СД	25	■	■															
3	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	СД	12			■	■													
4	Календарное планирование работ	Р, СД	1																	
5	Разработка структурной и функциональной схем	Р, СД	7																	
6	Разработка конструкции устройства и сбор макета	СД	25																	
7	Разработка интерфейсной оболочки устройства	СД	17																	
8	Исследования с помощью устройства	Р, СД	7																	

печать)				
Шаговый двигатель 39HS34064	шт.	1	600	600
Драйвер двигателя L298N	шт.	1	170	170
Итого:				4111

5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данном пункте учитываются затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по данному проекту. Все приобретенное спецоборудование и оборудование, имеющееся в организации и используемое для сбора устройства, приведено в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Количество	Цена единицы оборудования	Стоимость
Мультиметр DT- 832	1	300	300
Осциллограф DS1052E	1	21000	21000
Контроллер STM32F3	1	900	900
Лабораторный источник питания	1	35000	35000

EA-PS 3016-20B			
Итого:			57200

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями;

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

Расчет основной заработной платы сводится в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Тарифная заработная плата	Районный коэффициент	Месячный должностной оклад	Среднедневная заработная плата	Продолжительность работ	Заработная плата основная
Руководитель	23264,86	1,3	30244,3	1273,4	18	22921,2
Студент	1750	1,3	-	-	-	2275
Итого:						25196,2

5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнительской системы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за

отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{допР}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15).

$$Z_{\text{допР}} = 0,15 \cdot 22921,2 = 3438,2 \text{ рублей.}$$

5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. в соответствии с положением ст.58.2 закона №212-ФЗ установлены следующие тарифы страховых взносов: ПФР - 0,22 (22%), ФСС РФ – 0,029 (2,9%), ФФОМС – 0,051 (5,1%).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная	Дополнительная
-------------	---------------------	----------------

	плата	заработная плата
Руководитель проекта	22921,2	3438,2
Студент-дипломник	2275	-
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды, %	27,1	27,1
Итого:	6211,6	931,8

5.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{ир}} = (\text{Затраты на материалы} + \text{затраты на спецоборудование} + \text{основная з/п} + \text{дополнительная з/п}) \cdot k_{\text{ир}},$$

где $k_{\text{ир}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (4111 + 57200 + 25196,2 + 3438,2) \cdot 0,16 = 14391,3 \text{ рублей.}$$

5.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета на научно-исследовательский проект приведено в таблице 20.

Таблица 20 – Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	4111
2. Затраты на специальное оборудование	57200
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	25196,2
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта	3438,2
5. Отчисления во внебюджетные фонды	7143,4
6. Накладные расходы	14391,3
Бюджет затрат НТИ	111480

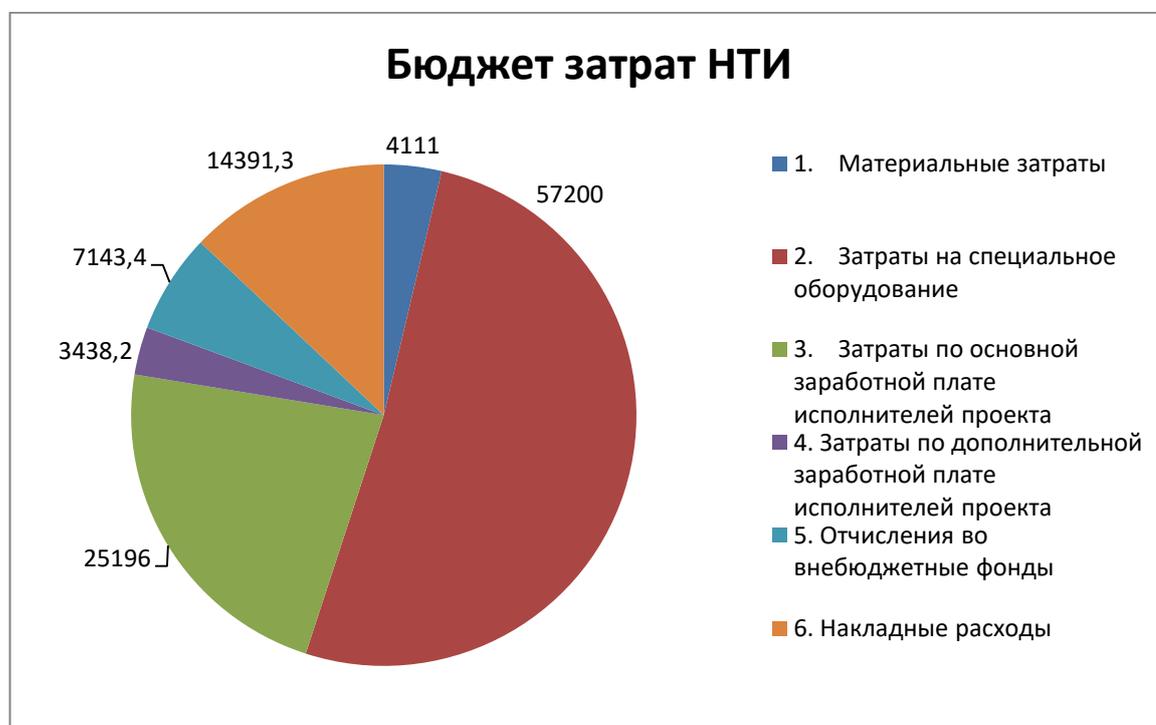


Рисунок 15 – Диаграмма бюджета затрат НТИ

Расчёт бюджета затрат НИИ, представленный в виде диаграммы, показал, что наибольшими затратами являются затраты на специальное оборудование. Так как данное оборудование может обслуживать множество разрабатываемых установок, то в себестоимости продукции можно учесть лишь часть данной статьи, что значительно сократит затраты на устройство.

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Рассмотрим ещё два варианта исполнения проекта. В первом варианте увеличим количество исполнителей проекта (например, до четырёх человек), а во втором варианте изменим закупку деталей конструкции для макета путём приобретения оптом по заказу у поставщиков.

Ниже приведен пример расчета интегральных показателей эффективности научного исследования для первого исполнения, для остальных расчёт выполняется аналогично.

Для разработанного вариант исполнения макета и двух вариантов, рассмотренных выше, определим интегральный финансовый показатель разработки по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{111480}{140080} = 0,8$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

$$I_{p1} = 0,2 * 5 + 0,2 * 5 + 0,2 * 3 + 0,15 * 5 + 0,15 * 3 + 0,2 * 3 = 4,2$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{исп}i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп}1} = \frac{I_{p-\text{исп}1}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп}1}}, I_{\text{исп}2} = \frac{I_{p-\text{исп}2}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп}2}} \text{ и т.д.}$$

$$I_{\text{исп}1} = \frac{I_{p-\text{исп}1}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп}1}} = \frac{4,2}{0,8} = 5,25$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп}1}}{I_{\text{исп}2}}$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}1} = \frac{I_{\text{исп}1}}{I_{\text{исп}2}} = \frac{5,25}{4,7} = 1,11.$$

Выполним сравнительную оценку характеристик вариантов исполнения научно-исследовательской работы (таблица 21).

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой	Исп.1	Исп.2	Исп.3
----------	---------	-------	-------	-------

	коэффициент			
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,2	5	5	5
3. Помехоустойчивость	0,2	3	3	3
4. Энергосбережение	0,15	5	5	5
5. Трудозатраты производителей	0,15	3	5	3
6. Материалоемкость	0,2	3	3	5
Итого:	1			

На основании полученных показателей выполним сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки (таблица 22).

Таблица 22 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	1	0,8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,2	4,7	4,8
3	Интегральный показатель эффективности	5,25	4,7	6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,11	0,78	1,14

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило выявить более эффективный вариант решения поставленной в

бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности, которым является третий вариант исполнения разработки.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8E31	Кривошеева Евгения Алексеевна

Институт	Кибернетики	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>«Устройство экспресс – диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов».</p> <p>Данное устройство состоит из датчиков Холла, операционных усилителей, шагового двигателя, драйвера двигателя, постоянных магнитов и микроконтроллера. Основная работа производится за компьютером.</p> <p>Данное устройство предполагается использовать на предприятиях, изготавливающих электротехнические изделия, для диагностики на дефекты за счёт измерения и последующего анализа магнитного поля.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p>	<p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • повышенный уровень шума на рабочем месте; • повышенный уровень магнитных излучений установки. <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей</p>
---	--

	<p>последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • электробезопасность (незащищенные электрические провода, соединяющие схему с блоком питания).
2. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы) при массовом производстве устройства.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Чрезвычайная ситуация, которая могла бы возникнуть – это появление пожара на рабочем месте.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Требования и мероприятия к организации рабочего места.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.03.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Невский Егор Сергеевич	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е31	Кривошеева Евгения Алексеевна		

6 Социальная ответственность

Создание здоровых и безопасных условий труда основано на учете опасных и вредных факторов данного производства и проведении мероприятий, предотвращающих их воздействие на работающих. Уровни воздействия на работающих вредных производственных факторов нормированы предельно-допустимыми уровнями, значения которых указаны в соответствующих стандартах системы стандартов безопасности труда и санитарно-гигиенических правилах.

Предельно допустимое значение вредного производственного фактора (по ГОСТ 12.0.002-80) - это предельное значение величины вредного производственного фактора, воздействие которого при ежедневной регламентированной продолжительности в течение всего трудового стажа не приводит к снижению работоспособности и заболеванию как в период трудовой деятельности, так и к заболеванию в последующий период жизни, а также не оказывает неблагоприятного влияния на здоровье потомства.

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и опасные факторы при эксплуатации устройства, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях.

При работе с устройством экспресс – диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов работник (инженер) может быть подвергнут ряду опасных и вредных производственных факторов. В данном разделе рассмотрены случаи неблагоприятных производственных факторов и указаны меры, предотвращающие их вредное воздействие на работающих.

Предполагается, что устройство будет применяться в цехах на различных стадиях технологического процесса при изготовлении

электротехнического изделия, которые отапливаются, вентилируется и в которых поддерживается микроклимат производственного помещения.

6.1 Производственная безопасность

В процессе разработки и эксплуатации данного устройства на человека могут воздействовать вредные и опасные факторы.

К вредным производственным факторам следует отнести:

- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание;
- повышенный уровень шума на рабочем месте.

Опасные производственные факторы:

- термические опасности (ожоги при нагреве электронных компонентов в случае подачи большого напряжения с блока питания);
- электробезопасность (незащищенные электрические провода, соединяющие схему с блоком питания).

6.2 Электробезопасность

Во время работы устройства экспресс – диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов возможно поражение электрическим током, проходящим от блока питания к сети 220 В, а также от сети к ПЭВМ.

Электрические установки представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут на расстоянии обнаружить наличие электрического напряжения на оборудовании. В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается.

Не следует работать с электрооборудованием в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%),

высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного соприкосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Таким образом, работа с ПЭВМ и данным устройством может проводиться только в помещениях без повышенной опасности, и возможность поражения током может быть только при прикосновении непосредственно с элементами ПЭВМ.

Используемое устройство и компьютер потребляют напряжение от сети 220 В, которое опасно для жизни, поэтому обязательны следующие меры предосторожности:

- перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;
- при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо не делая никаких самостоятельных исправлений сообщить ответственному за оборудование;
- запрещается загромождать рабочее место лишними предметами.

К мероприятиям по предотвращению возможного поражения электрическим током:

- соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия, ограждения токоведущих частей;
- применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
- использование средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в

электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы.

Повышение электробезопасности в установках достигается применением систем защитного заземления, защитного зануления и защитного отключения.

6.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте

При выполнении работ устройством работник может подвергаться уровням шума от работающего персонального компьютера. Помимо этого, работы производятся в цехе, поэтому источниками шума на рабочем месте могут быть различные станки, кондиционеры.

Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Допустимые шумовые характеристики рабочих мест регламентируются ГОСТ 12.1.003-83 "Шум, общие требования безопасности" (изменение I.Ш.89) и Санитарными нормами допустимых уровней шума на рабочих местах (СН 3223-85) с изменениями и дополнениями от 29.03.1988 года №122-6/245-1. Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

При организации рабочих мест следует принимать все необходимые меры по снижению шума, воздействующего на человека, до значений, не превышающих допустимые.

Так как разработанная установка не производит шум, то при её использовании не потребуются дополнительных мер по снижению шума. Однако установка будет использоваться в цехе, достаточно шумном месте, поэтому возможно применение мер защиты по снижению шума на работающих в цехах.

Во-первых, применимы методы и средства коллективной защиты. Возможно применение звукоизоляционного ограждения от места расположения привода, также эффективным средством защиты работающих от шума оборудования является устройство звукоизолированных кабин и постов управления. Такие кабины представляют собой изолированные помещения, выполненные из кирпича, бетона, шлакобетона или сборных металлических панелей.

Во-вторых, использование индивидуальных средств защиты. Такие средства предупреждают расстройства органов слуха и нервной системы организма. В качестве таких средств используются беруши, наушники, шлемы, специальные костюмы, которые обезопасят пользователя.

6.4 Магнитное излучение

Известно, что длительное воздействие интенсивных магнитных излучений промышленной частоты может вызывать повышенную утомляемость, появление сердечных болей, нарушение функций центральной нервной системы. На сегодняшний день многие специалисты принимают за безопасный уровень магнитного поля менее 0,1 мкТл.

В конструкции устройства предусмотрена площадка из постоянных магнитов с индукцией от 0,2 до 0,43 Тл.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) МП устанавливаются в зависимости от времени пребывания персонала для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия (таблица 24).

Таблица 24 – Предельно допустимые уровни МП

Время пребывания (ч)	Допустимые уровни МП, B [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
1	2000	8000
2	1000	4000
4	500	2000
8	100	1000

Так как от постоянного магнита поле уменьшается обратно пропорционально кубу расстояния до поля, то величина индукции от магнитов не представляет опасности организму человека.

6.5 Экологическая безопасность

В качестве объектов исследований устройством на дефекты были взяты магнитопроводы из магнитодиэлектриков и ферритов. Типовая технология производства изготовления магнитопроводов из ферритов включает следующие основные этапы: приготовление порошков соответствующих окислов металлов, приготовление формовочной смеси, формование; термообработка, пропитка магнитопроводов. В данном случае вредные воздействия на экологию могут происходить на этапах термообработки и пропитки магнитопроводов.

Термообработка магнитопроводов проводится в тех случаях, когда используется метод холодного прессования. Отпрессованные магнитопроводы спекают в печи с использованием газовой среды в зависимости от состава феррита. Спекание на воздухе с последующим охлаждением в инертной среде проводят для ферритов, содержащих

марганец. Спекание в вакууме проводят для марганцево-цинковых ферритов. Магнитопроводы пропитывают в 80%-ном спиртовом растворе бакелитового лака в течение 30 мин с последующей просушкой в термопласте при температуре 413 К в течение 6 ч.

Пропитка магнитопроводов проводится с целью повышения влагостойкости и защиты от окисления. При этом используют различные компаунды, кремнийорганические составы: парафин или церезин.

В результате термообработки в воздухе будут выделяться частицы марганца. Марганец является составляющей промышленной пыли и мигрирует в окружающей среде с частичками пыли. Класс опасности вещества – 2. ПДК – 0,01 мг/м³ (10 мкг/м³).

Бакелитовые лаки - легковоспламеняющиеся жидкости, токсичны. При переработке бакелитового лака выделяются пары фенола и формальдегида. Предельно допустимая концентрация паров в воздухе рабочей зоны производственных помещений: фенола - 0,3 мг/м³; формальдегида - 0,5 мг/м³. Температура вспышки - не менее 15 °С, воспламенения - не менее 20 °С, самовоспламенения - не менее 440 °С. Показатели пожаровзрывоопасности определены по ГОСТ 12.1.044. При загорании бакелитового лака применяют огнетушащие средства: распыленную воду, химическую и воздушно-механическую пену, песок. По взрывопожарной и пожарной опасности производство бакелитового лака относится к категории А.

По степени воздействия на организм человека синтетический высокоплавкий церезин и парафин относится к веществам 4-го класса опасности по ГОСТ 12.1.007-76. Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров предельных углеводородов в воздухе рабочей зоны - 300 мг/м³.

Таким образом, в атмосферу при производстве магнитопроводов выбрасывается значительное количество вредных веществ, которые в свою очередь, оказывают негативное влияние на окружающую среду. При

выявлении бракованных магнитопроводов сократится количество изготавливаемых магнитопроводов, а следовательно сократится их производство и выбросы в результате производства. Отсюда следует, что данное устройство сможет улучшить экологическую безопасность производства.

6.6 Чрезвычайная ситуация на рабочем месте

Наиболее типичной ситуацией, которая может произойти на производстве – это возникновение пожара на рабочем месте. Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, обрыв проводов, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями.

К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

При возникновении ЧС необходимо немедленно сообщить об этом по телефону «01» в пожарную охрану (при этом необходимо назвать адрес, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию и должность); дать сигнал тревоги добровольной пожарной дружине, сообщить руководителю (генеральному директору, начальнику цеха, заведующей магазином и т.п.) или его заместителю о пожаре; принять меры

по организации эвакуации людей (эвакуацию начинать из помещения, где возник пожар, а также из помещений, которым угрожает опасность распространения огня и дыма; одновременно с эвакуацией людей, приступить к тушению пожара своими силами и имеющимися средствами пожаротушения (огнетушители, вода, песок и т.п.).

6.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочее место должно быть организовано с учетом ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования».

Работники, которые проводят рабочий день за компьютерами, не должны сидеть «плечо к плечу». Площадь одного рабочего места, оборудованного монитором с жидкокристаллическим экраном, должна составлять не менее 4,5 м². Расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м.

Для внутренней отделки интерьера помещений с компьютерами должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка — 0,7-0,8; для стен — 0,5-0,6; для пола — 0,3-0,5.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования (монитора, сканера факса, многофункционального устройства и т.п.) с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. Высота компьютерного стола должна быть такой, чтобы во время работы экран располагался несколько ниже линии взгляда. Глубина стола должна быть такой, чтобы расстояние до экрана монитора было не менее 50 см, но не более 60–90 см.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на компьютере, кресло

должно быть с регулируемой высотой, подлокотниками и удобной спинкой, с полумягким нескользящим покрытием, при необходимости под спину можно подложить подушечку для профилактики пояснично-крестцового остеохондроза.

В процессе работы необходим регулярный отдых, поскольку однообразная поза достаточно утомительна для глаз, шеи и спины. Для предупреждения утомляемости пользователей ПЭВМ рекомендуется организовывать свою работу путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него. Продолжительность непрерывной работы с использованием видеодисплейных терминалов без регламентированных перерывов не должна превышать 1 ч.

В помещении должны находиться аптечка первой медицинской помощи, углекислотный огнетушитель для тушения пожара.

Заключение

В результате выполненной работы был разработан и собран макет устройства экспресс-диагностики. Были изучены первичные преобразователи магнитного поля для измерения магнитных характеристик, осуществлен выбор из описанных преобразователей и рассмотрены существующие решения устройств измерения магнитных характеристик. Была описана конструкция исследуемого объекта и его характеристики. Также была разработана структурная схема устройства, осуществлен обоснованный выбор компонентов этой схемы и анализ их совместимости, разработана электрическая принципиальная схема, конструкция устройства. Для измерения и регистрации магнитного поля объекта исследования была осуществлена разработка алгоритма управления устройством, а также разработан алгоритм обработки результатов измерений.

Кроме того, в работе были освещены вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения, в результате которых был построен график выполнения ВКР, оценена конкурентоспособность данного технического решения, с позиций ресурсоэффективности и ресурсосбережения рассмотрены два вида исполнения устройства и выбран наиболее выгодный, а также рассчитан бюджет разработки устройства. Был проведён анализ на выявление вредных и опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого устройства, рассмотрено негативное воздействие при массовом производстве устройства на окружающую среду и установлены организационные моменты по обеспечению безопасности в случае чрезвычайной ситуации.

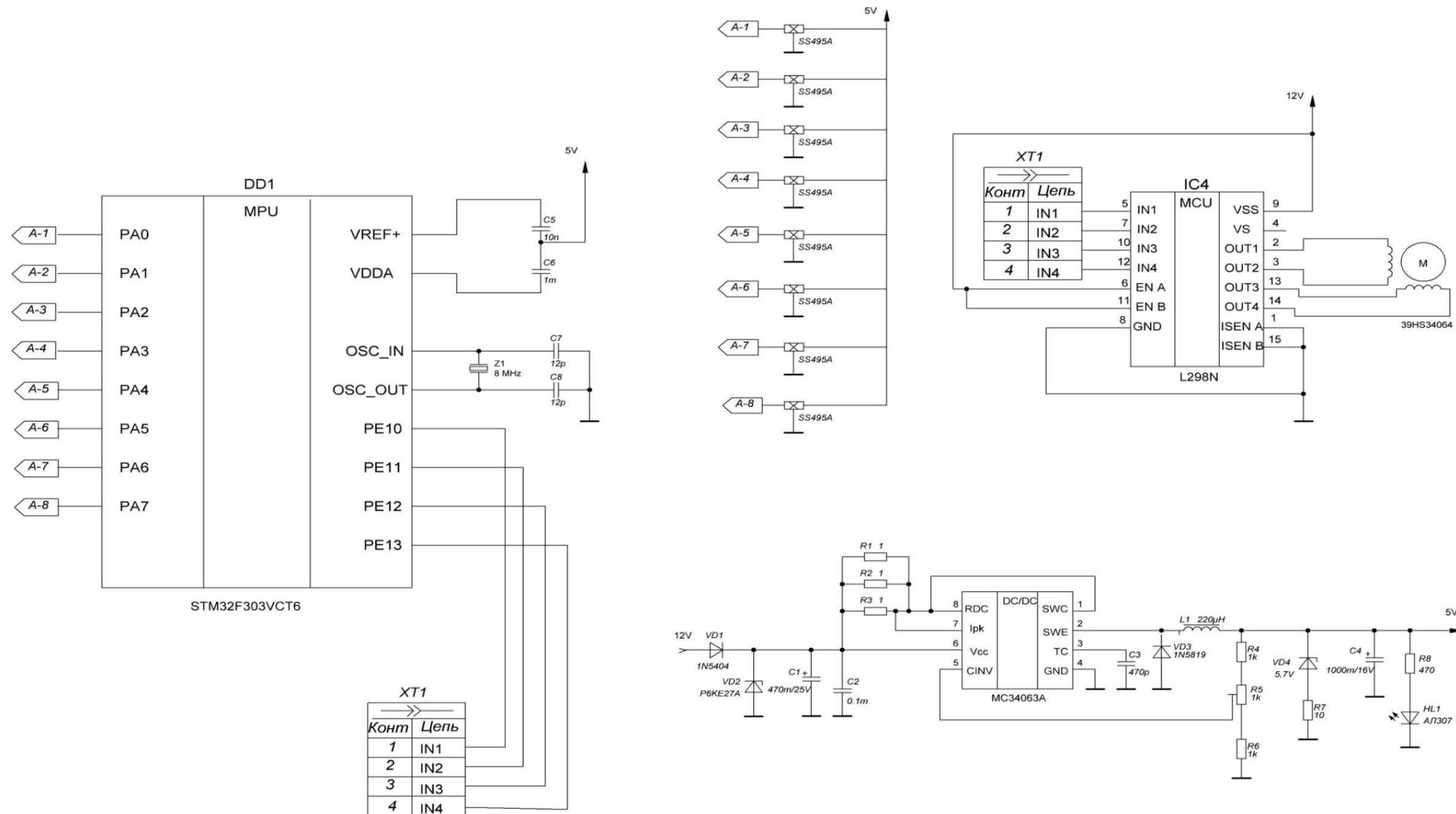
Таким образом, было разработано устройство экспресс-диагностики и собран его макет, который был проверен на работоспособность. Данное устройство позволит обнаружить наличие дефекта и определить этап технологического процесса, на котором была нарушена технология производства.

Список используемых источников

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 6: В 3 кн. Кн. 1: В.В. Клюев, В.Ф. Мужичкий, Э.С. Горкунов, В.Е. Щербинин. Магнитные методы контроля. Кн. 2: В.Н. Филинов, А.А. Кеткович, М.В. Филинов. Оптический контроль. Кн. 3: В.И. Матвеев. Радиоволновой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 832 с.: ил;
2. Магнитные измерительные преобразователи: квантовые магнито-измерительные преобразователи. Метрологические характеристики. Схемы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://studall.org/all4-24265.html> (дата обращения: 10.04.17);
3. Таугер В.М. Конструирование мехатронных модулей : учеб. пособие. — Екатеринбург : УрГУПС, 2009. — 336 с.;
4. Шаговые двигатели стандарта NEMA16 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://220v.biz/shagovyy-dvigatel-sth-39h112-06-standarta-nema16/> (дата обращения: 05.04.17);
5. Каранкевич А.Г. Герметичный источник питания для геофизической скважинной аппаратуры : Дис. ... канд. техн. наук : 05.09.01 : Томск, 2004. – 117 с.;
6. ГОСТ 2.702-2011 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем;
7. ГОСТ 8.030-91. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений магнитной индукции постоянного поля в диапазоне от 1×10^{-12} в ст. минус 12 до 5×10^{-2} в ст. минус 2 Тл, постоянного магнитного потока, магнитной индукции и магнитного момента в интервале частот от 0 до 20000 Гц.

Приложение А.

Электрическая принципиальная схема и спецификация устройства

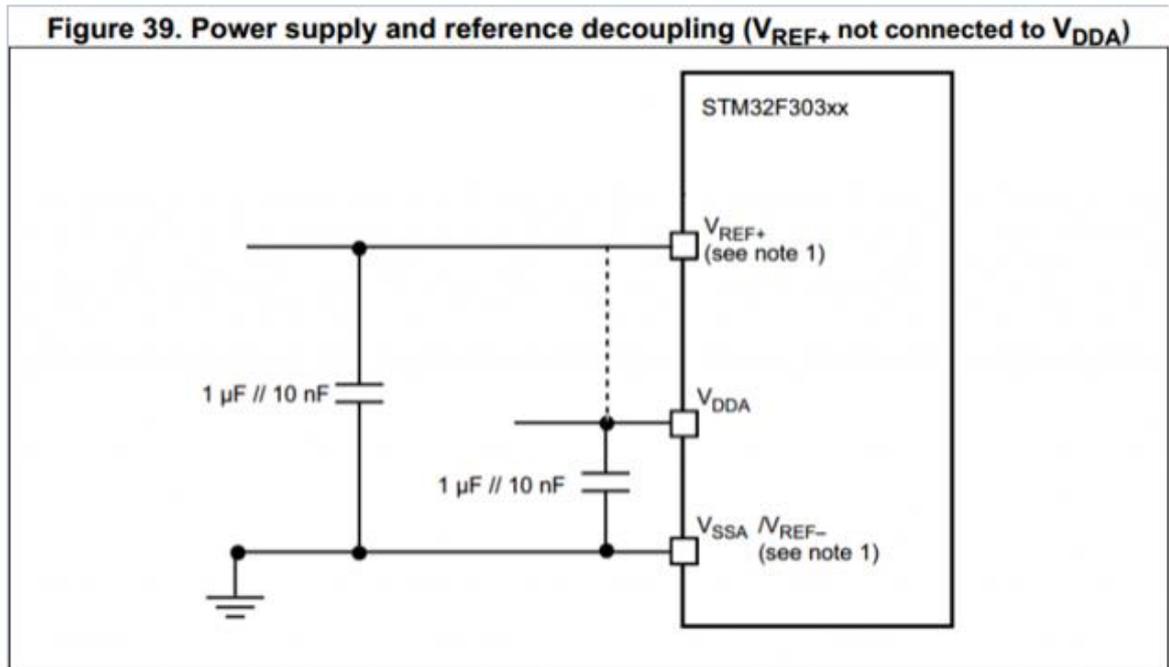


					ФЮРА.411723.001 Э3		
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Устройство экспресс-диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов		
					Лит	Масса	Масштаб
Разраб.		Кривошеева Е.А.		3.04.2017	Э		
Провер.		Леонов С.В.		3.04.2017	Электрическая принципиальная схема		
Т. контр.					Лист 1	Листов 1	
Реценз.					ТПУ ИК		
Н. контр.					Группа 8Е31		
Утверд.							

Поз обозначение	Наименование	Кол.	Примечание					
39HS34064	Биполярный шаговый двигатель (2 обмотки, 4 вывода) с посадочным местом NEMA17	1						
C1	Конденсатор K50-35 25В 470 мкФ 20%	1						
C2	Конденсатор K78-2 50В 0,1мкФ 20%	1						
C3	Конденсатор SMD0805 50В 470 пкФ 10%	1						
C4	Конденсатор K50-35 16В 1000мкФ 20%	1						
C5	Конденсатор K10-17Б 50В 10пФ 5%	1						
C6	Конденсатор K50-9 6,3В 1мкФ 20%	1						
C7-C8	Конденсатор K10-17Б 9 6,3В 12пФ 5%	2						
HL1	Светодиод АЛ307 красный	1						
L1	Дроссель 220мкГн 0,4А 10%	1						
L298N	Драйвер шагового двигателя STMicroelectronics	1						
МС34063А	Импульсный преобразователь напряжения ON Semiconductor DIP8 2,5-40В	1						
R1-R3	Резистор CF-0,125 1 Ом 5%	3						
R4-R6	Резистор МЛТ-0,25-10КОМ-5%	3						
R7	Резистор LT050-50 10 Ом 5%	1						
R8	Резистор CF-100-1 470 Ом 5%	1						
SS495А	Датчик Холла аналоговый Honeywell 670Гц	8						
STM32F303VCT	Микроконтроллер ARM-32bit ST Microelectronics LQFP-100	1						
VD1	Диод выпрямительный 1N54043А 400В	1						
VD2	Диод защитный P6KE27А 600Вм 25В	1						
VD3	Диод Шоттки 1N5819 1А 40В	1						
VD4	Стабилитрон 1N4733А 5,4В 1Вт	1						
Z1	Кварцевый резонатор РК374-7АП-8МГц-16рF	1						
ФЮРА.4.11723.001 ЭЗ								
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат.	Устройство экспресс-диагностики магнитных характеристик ферромагнитных материалов	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Кривошеева Е.А.					Э	1	1
Провер.	Леонов С.В.					ТПУ ИК Группа 8Е31		
Утвердил								

Приложение Б.

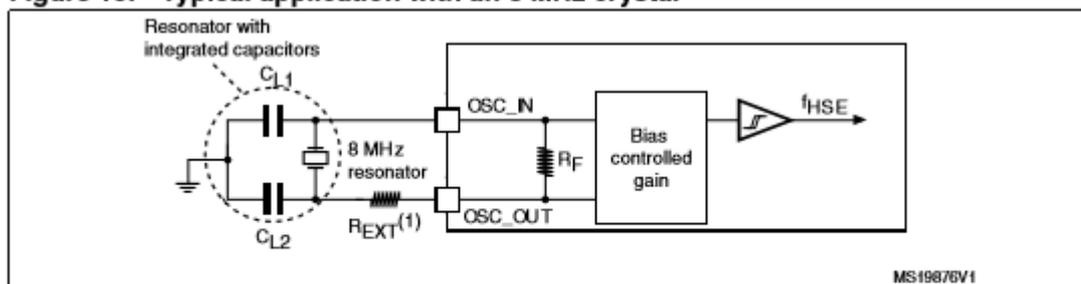
Стандартная развязка источника питания STM32F303VCT6



Приложение В.

Стандартное подключение кварцевого резонатора STM32F303VCT6

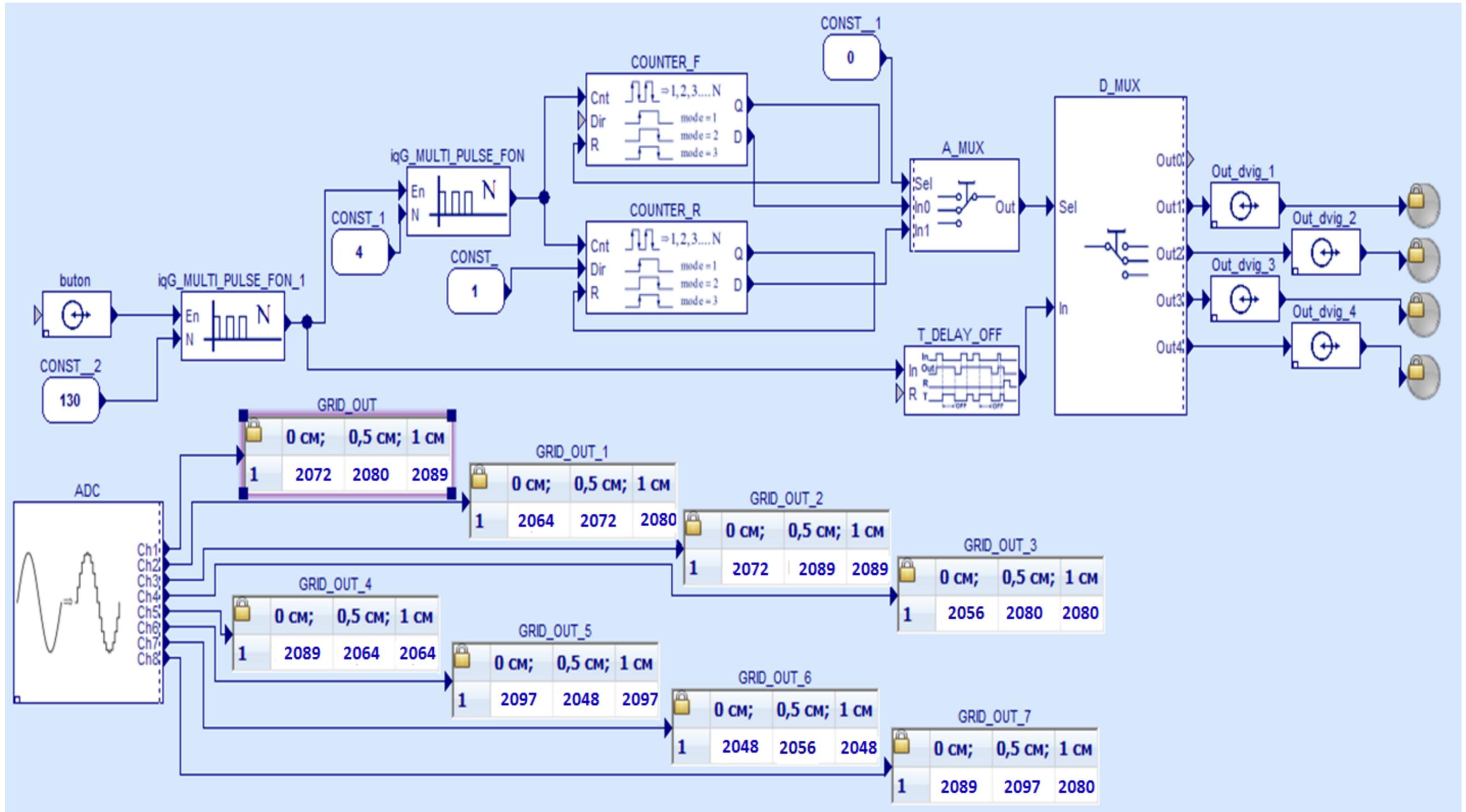
Figure 15. Typical application with an 8 MHz crystal



1. R_{EXT} value depends on the crystal characteristics.

Приложение Г.

Программа для управления платформой и регистрации параметров магнитного поля



Приложение Д.

Расчётный модуль обработки измерений устройства

