

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
информационных технологий
и электроники
наименование факультета

Кафедра
Нано – и микроэлектроника
наименование кафедры

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и микроэлектроника»
код и наименование

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ 02. 11.03.04. 019 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Автоматизированная система намотки прецизионных проволочных резисторов
тема бакалаврской работы

Студент группы 19ПД1
номер группы

15.06.23
подпись, дата

Фролов А.А.
фамилия, иниц.

Руководитель К.т.н, доцент
должность

16.06.23
подпись, дата

Доросинский А.Ю.
фамилия, иниц.

ПГУ
наименование организации

Нормоконтролер ст. преподаватель
должность

16.06.23
подпись, дата

Рыжова Т.Н.
фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 15.06 № 11)

Заведующий кафедрой

18.06.23
подпись, дата

Пронин И.А.
фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой удовл. (протокол ГЭК от 28.06.23 № 12)

Секретарь ГЭК

28.06.23
подпись, дата

Вольсков А.А.
фамилия, иниц.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Прецизионные проволочные резисторы и особенности их изготовления	4
1.1 Понятие резистора	4
1.2 Технология изготовления проволочных резисторов.....	6
1.3 Применяемое оборудование для изготовления чувствительного элемента постоянных и переменных резисторов	9
1.4 Методика контроля метрологических параметров потенциометров	12
2 Разработка электрических схем и выбор основных элементов системы	17
2.1 Предъявление требований устройства для коррекции шага намотки.....	17
2.2 Алгоритм коррекции шага намотки	20
2.3 Выбор элементов и комплектующих	23
2.4 Разработка схемы электрической принципиальной	35
3 Нормативно техническое обеспечение разработки	39
3.1 Описание работы с устройством	39
3.2 Методика калибровки системы	46
3.3 Расчет показателей надежности устройства.....	48
4 Необходимые требования к рабочему месту оператора	53
4.1 Организация рабочего места с учетом эргономических требований.....	53
Заключение.....	58
Список использованных источников	59
Приложение А. Задание на выпускную квалификационную работу.....	60
Приложение Б. Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ».....	64
Приложение В. Презентация ВКР.....	68

ВВЕДЕНИЕ

Прецизионные резисторы являются существенным компонентом множества электронных и электромеханических устройств, применяемых в области автоматизации, вычислительной и измерительной техники. Их роль заключается в обеспечении высокой точности и надежности работы этих приборов. Производство прецизионных резисторов подвергается строгим требованиям с целью обеспечить высокую точность и надежность в эксплуатации.

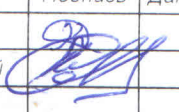
Решение задачи по повышению тактико-технических характеристик потенциометров зависит от множества факторов, включая технологические и конструктивные особенности. Это является важной задачей для научной и инженерной областей.

Для улучшения характеристик проволочных потенциометров можно использовать различные методы. Один из возможных способов - улучшение качества намотки резистивного элемента. Это можно достичь путем введения обратной связи в процесс изготовления. Такая обратная связь позволит обеспечить высокую точность формирования функциональной характеристики потенциометра за счет секционной коррекции шага.

Данная задача является актуальной, поскольку электрическая коррекция шага является экономически более выгодной по сравнению с повышением точных параметров самого станка, так как это напрямую связано с усложнением конструкции и повышенными требованиями изготовления конструктивных элементов станка.

Это было определяющим фактором при выборе темы квалификационной работы.

Работа выполнена в соответствии с техническим заданием на дипломное проектирование и соответствует по оформлению требованиям ГОСТ 2.105.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ		
Из	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Фролов			Лит.	Лист	Листов
Пров.		Доросинский					4
					ВВЕДЕНИЕ		
Н. контр.		Рыжова		16.06			
Утв							

1 Прецизионные проволочные резисторы и особенности их изготовления

1.1 Понятие резистора

Резистор - это пассивный электронный компонент, предназначенный для ограничения потока электрического тока в электрической цепи. Он обладает сопротивлением, которое определяет его способность сопротивляться прохождению электрического тока.

Резисторы характеризуются такими основными параметрами:

- 1) номинальным значением сопротивления;
- 2) допустимым отклонением сопротивления от номинального значения;
- 3) номинальной (допустимой) мощностью рассеяния;
- 4) максимальным рабочим напряжением;
- 5) температурным коэффициентом сопротивления;
- 6) собственными шумами и коэффициентом напряжения;
- 7) Номинальное значение сопротивления R .

По виду резистор может быть:

1. Постоянным. "Обычный" резистор с четко установленным номинальным сопротивлением, которое не меняется, во всяком случае при допустимых режимах работы.

2. Переменным. Используются в качестве регуляторов-крутилок или ползунков, а также как датчиков положения.

3. Подстроечным. Почти то же самое, что переменный, но более точный и не рассчитанный на частую регулировку, а потому, обычно, более мелкий и "под отвертку".

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ		
Из	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Фролов				Прецизионные проволочные резисторы и особенности их изготовления		
Пров.	Доросинский						
Н.контр.	Рыжова			16.06	Лит. Лист Листов 4 89 гр. 19ПД1		
Утв.							

4. Термистором. Сопротивление меняется в зависимости от температуры, применяется как грубый, но надежный “градусник” в измерительных приборах и системах автоматизации.

5. Фоторезистором. Сопротивление меняется в зависимости от освещенности. Применений масса, от управления освещением, до датчиков охранных систем.

6. Тензорезистором. Сопротивление зависит от деформации, которая, в свою очередь, зависит от приложенной нагрузки. Используются в весах и прочих приборах для измерения физических воздействий.

7. Варистором. Сопротивление зависит от приложенного напряжения, незаменим в качестве локального предохранителя. При превышении заданного порога напряжения резко увеличивает сопротивляемость, тем самым спасая остальные элементы цепи от мучительного и, порой, недешевого сгорания.

Виды резисторов по способу изготовления и их особенности
Постоянные сопротивления изготавливают несколькими способами. От способа производства в некоторой степени меняются свойства, поэтому приходится знать еще и виды резисторов по способу изготовления. Они бывают:

- проволочные;
- непроволочные;
- металлические;
- композиционные;
- фольговые (металлофольговые);
- графитные.

Прецизионные резисторы – это пассивные электронные компоненты, имеющие более высокую точность номинального сопротивления и стабильность параметров при изменении окружающей среды по сравнению с обычными резисторами.

Прецизионные резисторы используют точной измерительной аппаратуре, к примеру измерительные приборы, промышленные и цифровые преобразователи, радиоэлектроника, медицинское оборудование и другие.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.2 Технология изготовления проволочных резисторов

Резистивный элемент проволочных потенциометров воплощен в форме каркаса, на который намотана и укреплена резистивная проволока.

Многооборотные резистивные элементы, например, потенциометры, имеют каркас из провода круглого сечения, свитого в спираль. Основным компонентом сопротивления является резистивная проволока, которая обеспечивает контроль тока в цепи. Для обеспечения точности и стабильности сопротивления, производители используют качественную проволоку и специальные технологии производства. Это позволяет создавать потенциометры с высокой точностью и надежностью работы.

Резистивная проволока для потенциометров и других приборов изготавливается из различных резистивных сплавов. Они включают сплавы никеля и меди, сплавы хрома и никеля, а также сплавы железа и благородных металлов. Каждый сплав имеет свои уникальные свойства, такие как стабильность сопротивления и термическая устойчивость. Процесс изготовления резистивной проволоки требует сложных технологий и высокой точности для обеспечения требуемых электрических характеристик.

Резистивная проволока, применяемая в точных потенциометрах, обладает рядом важных характеристик. Она обеспечивает постоянное удельное сопротивление на всей своей длине, имеет низкий температурный коэффициент сопротивления, высокую стойкость к коррозии, истиранию и механическому износу, а также обладает хорошей растяжимостью и высокой прочностью на разрыв. Проволока должна быть легко для пайки и сварки, а также обладать стабильностью свойств со временем.

Особенно проволока из сплавов благородных металлов, например, палладий-вольфрамового сплава типа ПдВ-20, наилучшим образом удовлетворяет указанным требованиям. У неё практически не образуется окисная пленка на поверхности, а удельное сопротивление очень высоко. Кроме того, данный сплав обладает относительно низким температурным коэффициентом сопротивления. Это позволяет использовать эту проволоку в

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

потенциометрах, которые должны функционировать в экстремальных условиях эксплуатации.

Для защиты резистивного элемента и создания многовыводных потенциометров используется метод заливки элемента в корпус из пластической массы. Используется компаунд на основе смолы ЭД-20, который заливается в специальные формы. В формы вставляется каркас с резистивным элементом, намотанным на оправку. После заливки и отверждения пластической массы получается компактный и защищенный корпус, обеспечивающий надежность и долговечность потенциометра.

Контактный узел является важной деталью потенциометра, которая обеспечивает непрерывный съем потенциала с рабочей части элемента сопротивления. Он состоит из основания, соединенного непосредственно с осью потенциометра, и из двух контактов. Один контакт перемещается по элементу сопротивления, а второй – по токосъемному кольцу в корпусе потенциометра. Размеры контакта зависят от диаметра и шага резистивной проволоки. Особенно важно, чтобы контакт закорачивал не менее одного, но не более двух-трех витков намотки проволоки. Радиус скругления также имеет значение для проволочных потенциометров.

Упругий элемент сделан из упругой проволоки, а свободному концу придана форма токосъемный контакт, это сделано для повышения надежности контакта

Сплав ЗлМ-800, состоящий из благородного металла, является оптимальным выбором для контактов прецизионных проволочных потенциометров, так как он отвечает основным требованиям, связанным с образованием оксидной пленки. Этот сплав обладает высокой стойкостью к механическому износу и обгоранию, обеспечивает хорошую электропроводность и теплопроводность, содержит минимальное количество неметаллических примесей, а также имеет низкое удельное сопротивление, высокую плотность и твердость материала

Данная конструкция имеет ряд преимуществ:

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– корпус потенциометра выполнен из прочного, изоляционного материала, жестко фиксирующего резистивный элемент;

– за счет удлинения резистивного элемента, который свит по винтовой линии, получена высокая разрешающая способность и точность при малых размерах;

– увеличена точность, износоустойчивость за счет изготовления резистивного и токосъемных элементов из сплавов благородных металлов;

Технологическая схема изготовления разрабатываемого потенциометра включает следующие основные элементы:

1) изготовление резистивного элемента:

– намотка резистивной проволоки на каркасный эмалированный провод и изготовление, в процессе намотки, отводов;

– навивка резистивного элемента на оправку резьбовую;

– пайка выводов к отводам резистивного элемента и заливка его в спец. форме;

– разбраковка полученного узла статор по погрешности номинального сопротивления.

2) изготовление потенциометра:

– изготовление деталей и узлов;

– сборка;

– разбраковка по погрешности номинального сопротивления;

– разбраковка по погрешности рабочего угла;

– разбраковка по погрешности линейности;

– разбраковка по непрерывности контактирования;

– маркировка;

– технический контроль.

В рамках технического контроля осуществляется проверка метрологических характеристик потенциометра.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.3 Применяемое оборудование для изготовления чувствительного элемента постоянных и переменных резисторов

Намоточные станки, предназначены для навивки проволоки на тороидальный каркас или на каркасный провод. Используются для изготовления резистивного элемента. Тип каркаса, на который наматывается проволока, зависит от конструктивного исполнения потенциометра.

Для контроля характеристик потенциометра используется специальное оборудование. Одним из его элементов является станок *KWM-PLE-mini* от компании *RUFF GmbH*, который используется для изготовления многооборотного резистивного элемента. Внешний вид данного станка представлен на рисунке 1



Рисунок 1– Вид станка *KWM-PLE-mini*

Эта автоматическая высокоскоростная спиральная намоточная машина для непрерывной намотки на бесконечный несущий материал с постоянным шагом проволоки или с несколькими различными длинами с каждым независимым шагом.

Характеристики станка:

- источник питания: 230 В постоянного тока, 50/60 Гц;
- мощность двигателя: 400 Вт;

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- масса станка: 140 кг;
- размер машины: 2700 мм х 900 мм.

Станок состоит из:

- 1) основания машины с серводвигателем для перемещения с шагом 0-5,0 мм об/мин, серводвигателя для привода головки намоток с до 6 об/мин, защитного кожуха из плексигласа;
- 2) намоточного наконечника и одного набора намоточных рычагов;
- 3) программируемого логического контроллера (ПЛК) с 2 линиями программирования;
- 4) сигнальная лампа для отображения состояния работы;
- 5) память на 10 программ;
- 6) интерфейс для ПК;
- 7) дополнительное программное обеспечение для обмена данными.

Для изготовления резистивных элементов в постоянных резисторах используют Станок намоточный СНПУ-2 - показанный на рисунке 2

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 2-Станок СНПУ-2

Станок СНПУ-2 специально разработан для проведения открытой рядовой намотки катушек электро- и радиоэлементов. Он предлагается в различных конфигурациях, в зависимости от требований и конструкции наматываемых катушек. Это позволяет использовать станок для серийного, мелкосерийного или индивидуального производства.

Станок СНПУ-2 находит применение в различных отраслях, включая электронику, радиотехнику, автоматизацию и другие области, где требуется намотка катушек с высокой точностью и производительностью. Благодаря его гибкости и адаптивности, он может быть использован для выполнения разнообразных задач намотки в различных условиях производства. СНПУ-2 имеет следующие характеристики:

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- частота вращения шпинделя - 3000 об/мин;
- диаметры наматываемых проводов -0,09-2,5мм;
- диаметры наматываемых катушек -120мм;
- длина раскладки -150мм;
- мощность привода -0,75кВт.

Привод станка осуществляется асинхронным двигателем с частотным регулированием скорости. Управление - программируемым контроллером и двумя педалями.

1.4 Методика контроля метрологических параметров потенциометров

Одни из важнейших характеристик потенциометра является рабочий угол, полное сопротивление, линейность функциональной характеристики, по сколько эти параметры обеспечивают качество работы потенциометра как датчика угла поворота.

Для контроля линейности используют эталонный датчик угла поворота

Рабочий угол потенциометра измеряют с применением оптической делительной головки с точностью отсчета угла не хуже 1 и омметра класса точности не хуже 1,5 и следующей последовательности:

- шкалу оптической делительной головки устанавливают на нуль;
- ось потенциометра зажимают в цанге, установленной в оси оптической делительной головки;
- к выводам начала обмотки и токосъемника потенциометра подключают омметр;
- вращая корпус, добиваются минимальных показаний омметра. При этом токосъемник устанавливается на начальном выводе. Корпус потенциометра фиксируют в этом положении;
- перебрасываю один их выводов омметра с начального вывода на конечный;
- вращая ручку оптической делительной головки, добиваются

минимальных показаний омметра, что соответствует установке токосъемника потенциометра на конечный вывод;

– производят отсчет величины рабочего угла по оптической шкале головки.

При проверке потенциометров с отводами осуществляется дополнительная проверка углов отводов. Сопротивление потенциометра измеряется при помощи моста постоянного тока класса не хуже 0,05 или другим методом, обеспечивающим требуемую точность, например, прецизионными омметрами, такими как Щ301 и БСЗ-010.

Подключение потенциометров происходит согласно ТУ.

Относительное отклонение сопротивления от номинального в процентах вычисляют по формуле 1:

$$\delta R = \left| \frac{R_{\phi} - R_n}{R_n} \right| \cdot 100\%, \quad (1)$$

где R_{ϕ} – фактическое сопротивление потенциометра;

R_n – номинальное сопротивление потенциометра.

Относительное изменение сопротивления в результате воздействия на потенциометр различных факторов таких как температура и влажность (δR_u) в процентах вычисляют по формуле 2:

$$\delta R_u = \left| \frac{R_2 - R_1}{R_1} \right| \cdot 100\%, \quad (2)$$

где R_1 – сопротивление, измеренное до испытания, в Ом

R_2 – сопротивление, измеренное после испытания, в Ом

Для проверки функциональной зависимости потенциометра необходимо иметь следующее оборудование: угломерное устройство, эталонный делитель, индикатор и источник питания. Проверка осуществляется путем сравнения действительного значения коэффициента деления проверяемого потенциометра с заданным номинальным значением коэффициента деления.

Любое устройство с точностью отсчета угла не хуже 1 может быть использовано в качестве угломерного устройства для однооборотных

потенциометров с отклонением от функциональной зависимости в диапазоне 0,01-0,20 t и для однооборотных потенциометров с отклонением от функциональной зависимости в диапазоне 0,20% и выше. Кроме того, это устройство может использоваться для всех многооборотных потенциометров.

Любой реостатный делитель, у которого можно установить коэффициент деления и отсчитать его с точностью не хуже $1/3$ отклонения от функциональной зависимости потенциометра, может быть использован в качестве эталонного делителя для проверки.

В качестве индикатора можно, применять любой прибор, дающий возможность определять рассогласование диагонали моста 0,01 %.

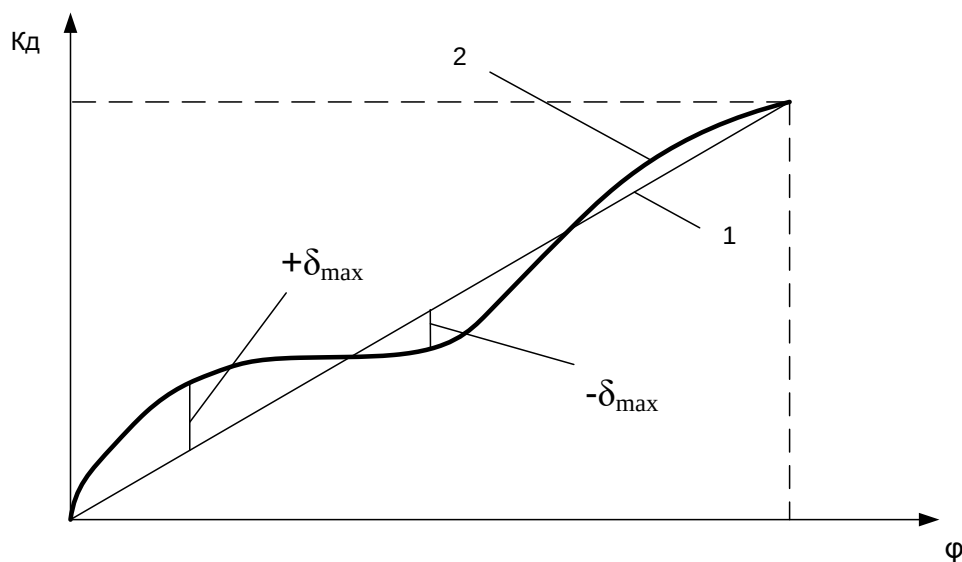
Функциональную зависимость проверяют путем включения потенциометра в мостовую схему, состоящую из потенциометра и делителя напряжения.

Порядок проверки функциональной зависимости следующий:

- диск оптической делительной головки и все декады эталонного делителя устанавливают в начальное положение;
- токосъемник проверяемого потенциометра устанавливают в начальное положение таким образом, чтобы между ним и начальным выводом потенциометра было минимальное сопротивление;
- устанавливают значение угла по угломерному устройству которое, как правило, расположено на оптической делительной головке;
- переключателем декад эталонного делителя добиваются баланса моста (нулевого показания индикатора в измерительной диагонали моста). При этом коэффициент деления потенциометра равен коэффициенту деления эталонного делителя;
- указанную проверку повторяют последовательно для сорока точек;
- вычисляют отклонение от функциональной зависимости;

График с изображением отклонения функциональной зависимости от линейной изображен на рисунке 3;

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



1 – заданная характеристика

2 – реальная характеристика

Рисунок 3 – график отклонения функциональной зависимости от линейной зависимости

- для линейных потенциометров отклонение от функциональной зависимости определяют как среднее арифметическое абсолютных величин максимального положительного и отрицательного отклонения по формуле 3

$$\delta_{\text{лин}} = \frac{|\delta_{\text{max}}^+| + |\delta_{\text{min}}^-|}{2}, \quad (3)$$

где δ_{max}^+ – максимальное положительное отклонение от линейной характеристики определяемое как $\langle \delta K(\alpha) \rangle > 0 \rightarrow \max$; δ_{min}^- – максимальное отрицательное отклонение от минимальной характеристики определяемое как $\langle \delta K(\alpha) \rangle < 0 \rightarrow \min$.

Схематично, алгоритм для проведения проверки функциональной зависимости представлен на рисунке 4.

На предприятии в качестве эталонного делителя применяют делитель напряжения Р3028, оптическую делительную головку типа ОДГ-20 и цифровой прибор Щ31. В рамках данной работы на данной установке были проведены замеры вышеописанных характеристик потенциометров.

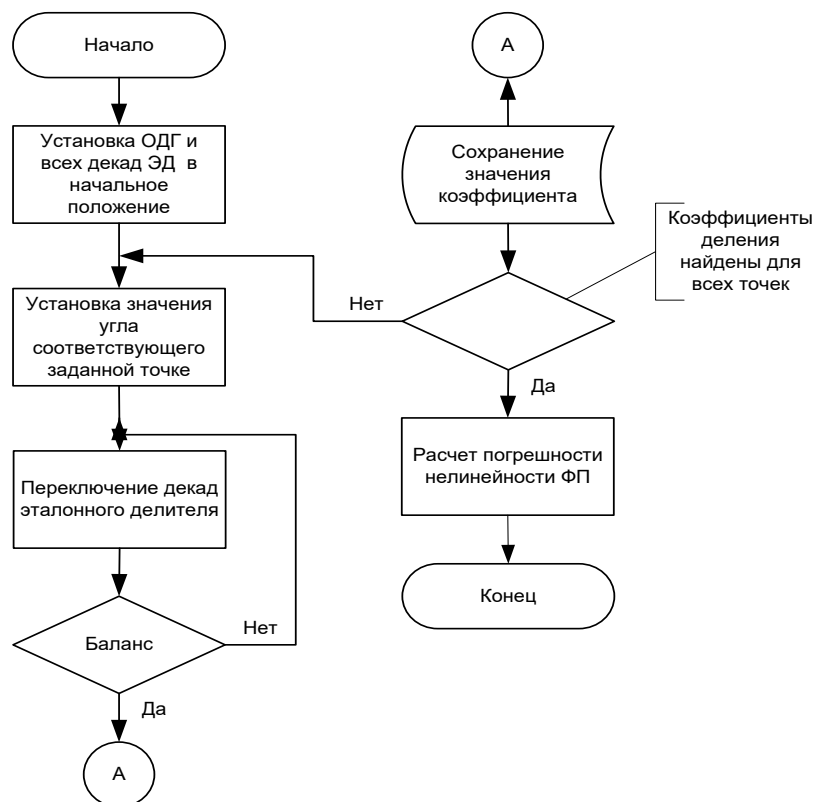


Рисунок 4 – Алгоритм проверки функциональной зависимости
потенциометра

Таким образом, необходимо разработать установку которая позволит измерять целый комплекс параметров в автоматическом режиме, что существенно упростит процедуры выходного и цехового контроля параметров потенциометров.

2 Разработка электрических схем и выбор основных элементов системы

2.1 Предъявление требований устройства для коррекции шага намотки

Устройство предназначено для измерения сопротивления резистивного элемента потенциометра в процессе его намотки и перерасчета шага намотки. Оно применяется при изготовлении многооборотных прецизионных потенциометров с использованием спиральных проволочных резистивных элементов.

При этом устройство должно монтироваться на станок *KWM-PLE-mini* фирмы *RUFF GmbH* для измерения сопротивления спиральной намотки резистивного элемента многооборотного прецизионного потенциометра.

Рабочие условия эксплуатации устройства:

- температура воздуха окружающей среды, °C от 15 до 35;
- атмосферное давление, кПа от 84,0 до 106,7;
- относительная влажность воздуха, %, не более 80 при 25°C;
- напряжение сети питания, В от 198 до 242;
- частота сетевого питания, Гц от 49 до 51.

Устройство выполнено в виде конструктивно законченного блока управления настольного типа, кабеля измерительного и сетевого.

Устройство потребляет не более 5 ВА мощности от сети и может работать непрерывно в течение 8 часов. Оно быстро прогревается за 1 минуту после включения. Устройство контролирует от 1 до 80 равномерно распределенных секций для намотки резистивного элемента потенциометра.

Значения полных сопротивлений резистивных элементов имеют следующие, выбираемые из ряда E192, значения, кОм: 1, 2, 5, 10, 20, 40, 50.

Устройство обеспечивает высокую частоту смены показаний для измеряемого сопротивления, не менее 0,5 Гц. Это позволяет быстро и точно получать данные о сопротивлении, обеспечивая оперативность и надежность.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ			
Из	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Разработка электрических схем и выбор основных элементов системы	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Фролов							
Пров.	Доросинский						17	89
Н.контр.	Рыжова					гр. 19ПД1		
Утв.								

Кроме того, устройство разработано с учетом требований 3 группы по ГОСТ 22261. Это означает, что оно способно функционировать в условиях применения, характеризующихся повышенными требованиями к надежности и стабильности работы. Устройство прошло соответствующие проверки и испытания, чтобы обеспечить свою работоспособность в таких условиях.

Питание устройства должно осуществляться от промышленных сетей с напряжением от 207 до 253 В и частотой от 49 до 51 Гц.

Габариты устройства должны быть 185×130×54 мм. Масса устройства не более 1 кг.

Относительная погрешность измерения сопротивления в пределах от 1 до 50 кОм, не более ±0,02 %.

Устройство последовательно измеряет сопротивления намотанных секций резистивного элемента потенциометра типа ППМЛ в цифровой форме. На основе измеренных значений, оно автоматически перерасчитывает шаг намотки для достижения заданной функциональной характеристики с определенной точностью. Это обеспечивает точность и эффективность в производстве потенциометров.

Измерение сопротивления секции осуществляется логометрической схемой включения намотанного участка резистивного элемента R_x и эталонного сопротивления R_0 .

Значение измерительного тока определяется по формуле 4 значением выходного напряжения U_0 источника напряжения (ИН) и суммой сопротивлений R_x и R_0

$$I_{\text{изм}} = \frac{U_0}{R_x + R_0} \quad (4)$$

Значение измеряемого тока выбирается исходя из допускаемой мощности, рассеиваемой на контролируемом резисторе при протекании $I_{\text{изм}}$ по формуле 5

$$I_{\text{изм}} \times R_x \leq 0,1 \times P_{\text{доп}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{доп}}$ — допускаемое значение рассеиваемой мощности на контролируемом потенциометре.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Работа измерительной части устройства поясняется схемой электрической функциональной, представленной на рисунке 5

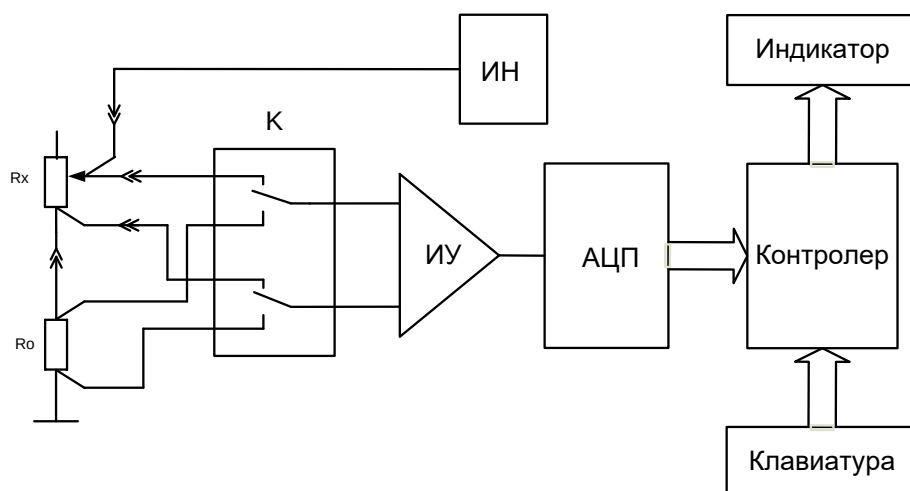


Рисунок 5 – Функциональная схема измерительной части

При измерении сопротивления R_x измерительный ток $I_{изм}$ протекает через резистивный элемент R_x . Падение напряжения от протекания $I_{изм}$ через R_x воспринимается инструментальным усилителем ИУ и подаётся на вход АЦП

$$U_{x \text{ АЦП}} = R_x \times I_{изм} \times K_{иу} \quad (6)$$

где $K_{иу}$ – коэффициент усиления инструментального усилителя ИУ.

Далее, АЦП преобразует напряжение $U_{x \text{ АЦП}}$ в код N_x . Для определения измерительного тока ключ К переключается и на измерительный тракт подается падение напряжения на резисторе R_0

$$U_{0 \text{ АЦП}} = R_0 \times I_{изм} \times K_{иу} . \quad (7)$$

Далее, АЦП преобразует напряжение $U_{0 \text{ АЦП}}$ в код N_0 .

Микроконтроллером рассчитывается значение сопротивления R_x по формуле 8

$$R_x = R_0 \frac{N_x}{N_0} . \quad (8)$$

Таким образом мы рассмотрели требования нужные для коррекции шага намотки а также описали работу измерительную часть прибора и показали ее схему.

2.2 Алгоритм коррекции шага намотки

При коррекции шага намотки для достижения требуемой точности потенциометра учитываются значения сопротивлений, присутствующих в каждой намотанной секции резистивного элемента. Это позволяет установить соответствие между шагом намотки и функциональной характеристикой потенциометра, обеспечивая необходимую точность изготовления.

Для этого в устройстве задается полное сопротивление, которое должен иметь резистивный элемент R_n^H , количество точек n в которых будет происходить коррекция шага (при этом количество секций равно $s=n+1$) и начальное значение шага намотки $\ell_{ш1}$. Процесс коррекции функциональной характеристики при секционной намотке проиллюстрирован рисунком 6.

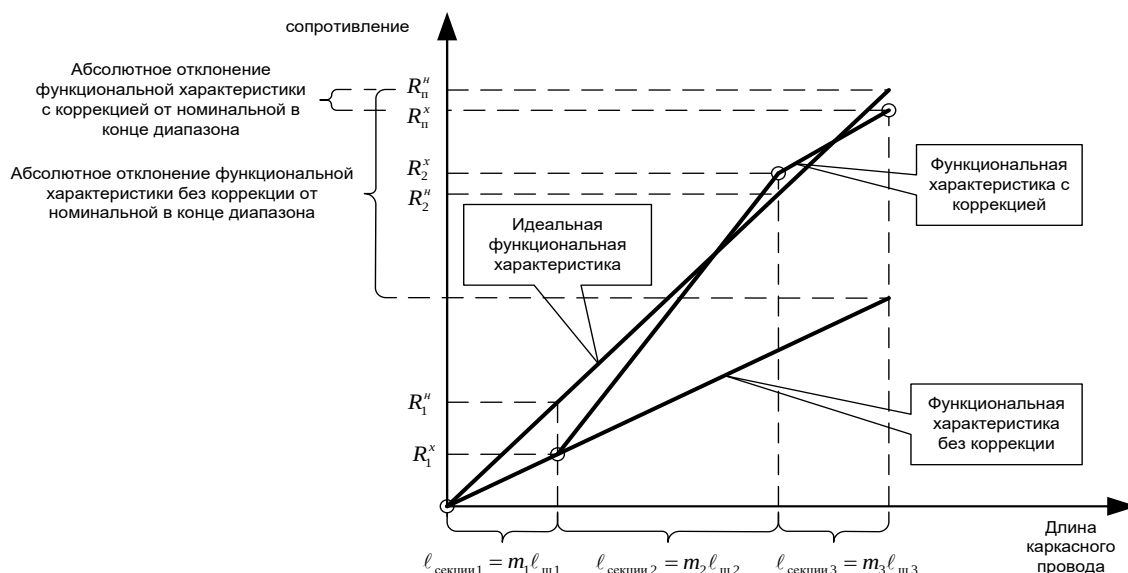


Рисунок 6 – Коррекция функциональной характеристики

Для корректировки функциональной характеристики потенциометра необходимо измерить сопротивление в контрольных точках и пересчитать шаг намотки, чтобы приблизить реальную функциональную характеристику к идеальной. Весь диапазон значений сопротивления от 0 до R_n^H максимального значения разбивается на несколько участков, между которыми расположены контрольные точки. Для определения значений сопротивлений в этих точках применяется соответствующее выражение (9). На рисунке 6 иллюстрируется данный процесс.

$$R_i^H = \begin{cases} 0 & \text{если } i = 0 \\ \frac{R_H}{n}(i - 0,5) & \text{если } i \leq n \\ R_H & \text{если } i > n \end{cases} \quad \text{где } i \in [0..n+1] - \text{номер} \quad (9)$$

контрольной точки

После выполнения намотки каждой секции станок останавливается оператором и по измеренному значению фактического сопротивления в каждой контрольной точке R_i^x производится перерасчет шага по формуле:

$$\ell_{ш i+1} = \lambda(i) \cdot \ell_{ш i} \cdot \frac{R_i^x - R_{i-1}^x}{R_{i+1}^H - R_i^x}, \text{ где } \lambda(i) = \begin{cases} 2 & \text{если } i = 1 \\ 1 & \text{если } 1 < i < n \\ 0,5 & \text{если } i = n \end{cases} \quad (10)$$

Данная формула обосновывается тем, что значение шага при намотке секции длиной $\ell_{\text{секции } i}$ определяет количество витков резистивной проволоки m_i , которые в свою очередь определяют сопротивление секции.

Контрольная точка $n+1$ является дополнительной и находится в конце диапазона, сопротивление которой равно R_H .

С целью уменьшения отклонения от номинального значения сопротивления первой контрольной точки рекомендуется для определения начального значения шага воспользоваться формулой 11

$$\ell_{ш 1} = \frac{(r_{кп} + r_{рп})}{\pi} \cdot \frac{1}{\left(\frac{R_H}{\rho L_{рз} \pi^2}\right)^2 - \frac{1}{16}} \left[\frac{R_H}{\rho L_{рз} \pi^2} + \sqrt{\frac{1}{\pi^2} \left(\frac{R_H}{\rho L_{рз}}\right)^2 + \frac{(1 - \pi^2)}{16}} \right] \quad (11)$$

где $r_{кп}$ – радиус каркасного провода;

$r_{рп}$ – радиус резистивной проволоки;

ρ – удельное сопротивление резистивной проволоки; $\lambda(i) = 1$

$L_{рз} = \sum_{i=1}^s \ell_{\text{секции } i}$ – длина резистивного элемента. $\lambda(i)$

На рисунке 6 схематично представлен график скорректированной

функциональной характеристики по двум точкам. Как видно из формулы (9) точки выбираются таким образом, что первая и последняя (в данном случае третья) секции в два раза короче по длине, чем остальные. Отсюда поправочная функция $\lambda(i)$ в формуле (10) принимает значения 2 при $i=1$ так как коррекция шага для намотки второй секции выполняется с учетом того, что предыдущая секция была в два раза короче. Аналогично происходит и при коррекции шага последней секции. В дано случае поправочная функция $\lambda(i)$ принимает значения 0,5 при $i=n$ так как коррекция шага для намотки третьей секции выполняется с учетом того, что предыдущая секция была в два раза длиннее. Частный случай представляет коррекция функциональной характеристики по одной контрольной точке, которая, согласно (6) приходится на середину диапазона. В данном случае коррекция шага для намотки второй секции осуществляется на основании формулы (10) при значении поправочной функции $\lambda(i) = 1$.

По значению сопротивления в дополнительной контрольной точке $R_{n+1}^x = R_n^x$, которое определяет полное сопротивление резистивного элемента, рассчитывается относительное отклонение полученного сопротивления от номинала:

$$\delta R_n = \frac{R_n^x - R_n^H}{R_n^H} \cdot 100\% \quad (12)$$

Для получения информации о соответствии электрическим параметрам резистивного элемента, можно использовать данное расчетное значение в качестве промежуточной информации о его качестве.

Помимо расчета относительного отклонения полного сопротивления от своего номинального значения в устройстве предусмотрен предварительный расчет погрешности линейности функции преобразования согласно ГОСТ В 25 21-86 и ОСТ В 25 27-87. Данное значение также является промежуточным и основывается на отклонениях сопротивлений в контрольных точках от своих номинальных значений, допуская, что в этих точках отклонения будут максимальны. Абсолютные отклонения в контрольных точках рассчитываются на основании выражения:

					ПГУ 2. 11.03.04. 19ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Delta_i = R_i^x - R_i^H \quad (13)$$

Далее определяются Δ^+ как максимальное положительное отклонение на основании $\langle \Delta_1.. \Delta_{n+1} \rangle > 0 \rightarrow \max$, и Δ^- как максимальное отрицательное отклонение определяемое как $\langle \Delta_1.. \Delta_{n+1} \rangle < 0 \rightarrow \min$.

При этом значение нелинейности потенциометра вычисляется на основании выражения:

$$\delta_{\text{лин}} = \frac{|\Delta^+| + |\Delta^-|}{2R_{\Pi}^x} \cdot 100\% \quad (14)$$

Для более достоверного определения погрешности нелинейности рекомендуется увеличение количества контролируемых точек.

Алгоритм коррекции параметров катушки представлен на рисунке 7.

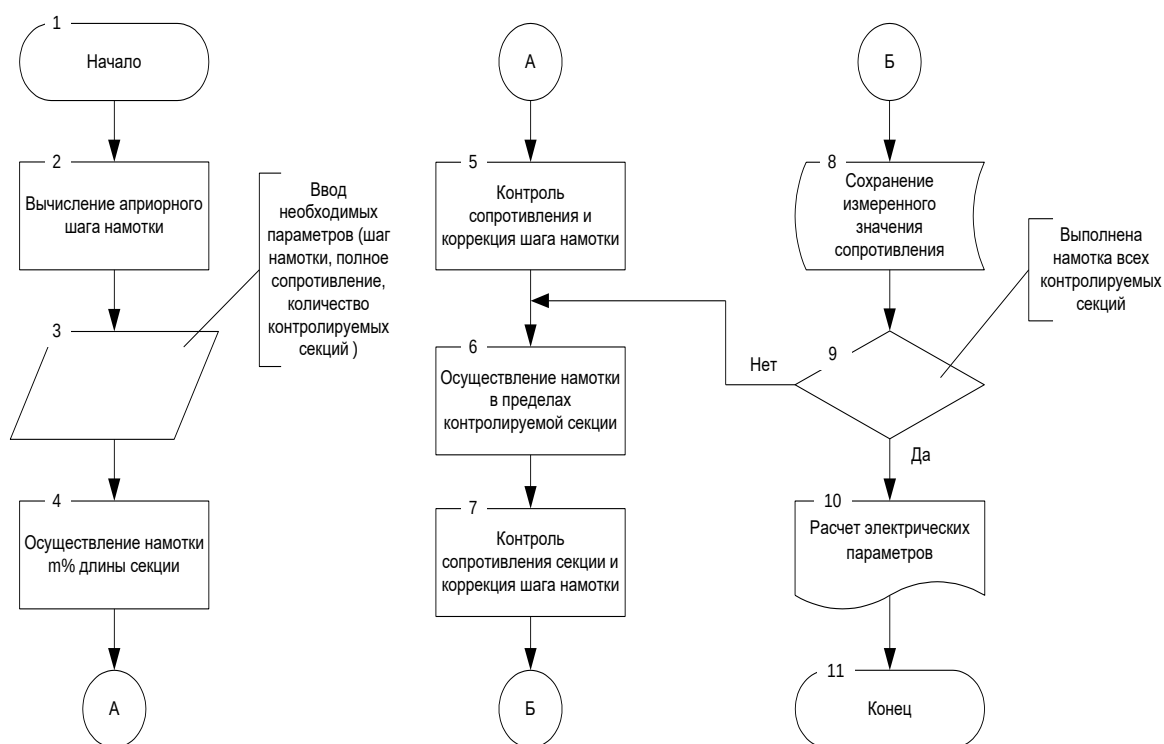


Рисунок 7 – Алгоритм коррекции функциональной характеристики

В данной части мы описали процедуру коррекции шага катушки для достижения необходимой точности изготавливаемого потенциометра.

2.3 Выбор элементов и комплектующих

Для изображения знаков на символьном экране ЖКИ производится

деление матрицы пикселей на подматрицы, где каждая подматрица отвечает за отображение отдельного символа, будь то цифра, буква или знак препинания. Для обеспечения удобного взаимодействия между микропроцессорной системой и ЖКИ используется специализированная микросхема, называемая контроллером или драйвером ЖКИ. Этот контроллер управляет пикселями ЖК-дисплея и интерфейсной частью индикатора, и обычно он встроен в сам ЖКИ. В общем, символьный ЖКИ представляет собой печатную плату с установленным на ней дисплеем, контроллером и необходимыми электронными компонентами.

В данном устройстве применен двухстрочный шестнадцатисимвольный ЖКИ. Структурная схема показана на рисунке 9.

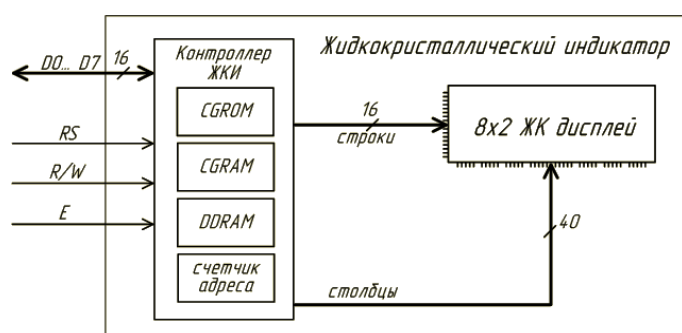


Рисунок 9 – Структурная схема ЖКИ

В состав контроллера ЖКИ входят три различных типа памяти: *CGROM*, *CGRAM* и *DDRAM*. При работе с символьным ЖКИ, микроконтроллер передает *ASCII*-коды символов контроллеру ЖКИ. Затем эти коды записываются в *DDRAM*, который представляет собой оперативную память (ОЗУ) для хранения *ASCII*-кодов отображаемых символов. *DDRAM* выполняет функцию видеопамати или видеобуфера. В символьных индикаторах обычно видеобуфер содержит 80 ячеек памяти, что превышает количество знакомест на самом дисплее.

Для расположения ячеек на дисплее используются адреса от 0x00 до 0x27 для верхней строки и от 0x40 до 0x67 для нижней. Изменить области видеопамати на дисплее можно путем сдвига окна относительно *DDRAM*. Синхронный сдвиг окна индикатора происходит для верхней и нижней строк, как показано на рисунке 10, с учетом видеобуфера. Чтобы увидеть курсор на

дисплее, он должен находиться в зоне видимости, а также должна быть подана команда на его отображение.

В контроллере ЖКИ имеются различные типы памяти для хранения матриц начертания символов. Одной из таких памятей является *CGROM*, которая содержит предустановленные матрицы начертания символов для таблицы *ASCII* и не может быть изменена. Однако, чтобы пользователь мог создавать собственные символы, используется специальное оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) - *CGRAM*. Первые 16 адресов таблицы кодов отведены для ячеек *CGRAM*, где можно определить пользовательские символы и их матрицы начертания. Это позволяет настраивать и использовать свои собственные символы в символьном ЖКИ.

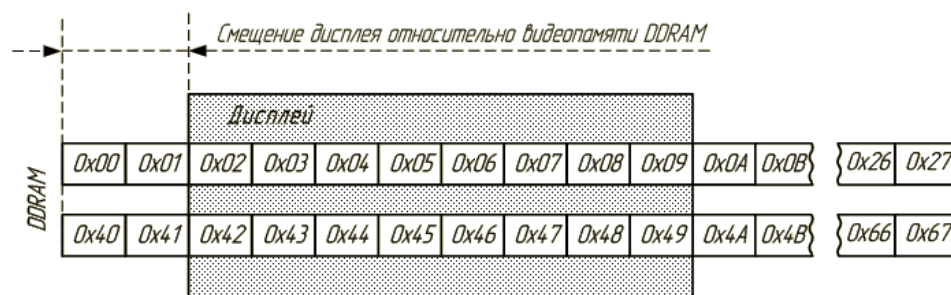


Рисунок 10 – Отображение символов из видеобуфера

Для соединения индикатора с микроконтроллером используется параллельный интерфейс, который состоит из 11 линий, включая 8 линий передачи данных (*D0 - D7*) и 3 линии управления. Линия *RS* используется для передачи информации контроллеру индикатора, указывая тип передаваемого сигнала ($RS = 1$ для передачи данных и $RS = 0$ для передачи команд). Сигнал строба, передаваемый по линии *E*, сигнализирует о начале операции записи или чтения данных. При изменении сигнала на линии *E* с высокого уровня (1) на низкий уровень (0), данные передаются во входной буфер микроконтроллера индикатора для обработки.

Запись информации в ЖКИ осуществляется при переходе сигнала на управляющем выводе *R/W* (*Read/Write*) с высокого уровня на низкий уровень. Это сигнализирует о направлении передачи данных в память индикатора. Если $R/W = 0$, информация записывается в память индикатора, а если $R/W = 1$, происходит чтение из памяти.

Для подачи питания на ЖКИ используются три линии: VDD (положительное напряжение), GND (земля) и напряжение смещения, которое регулирует контрастность дисплея. Эти линии обеспечивают необходимые электрические параметры для правильного функционирования ЖКИ.

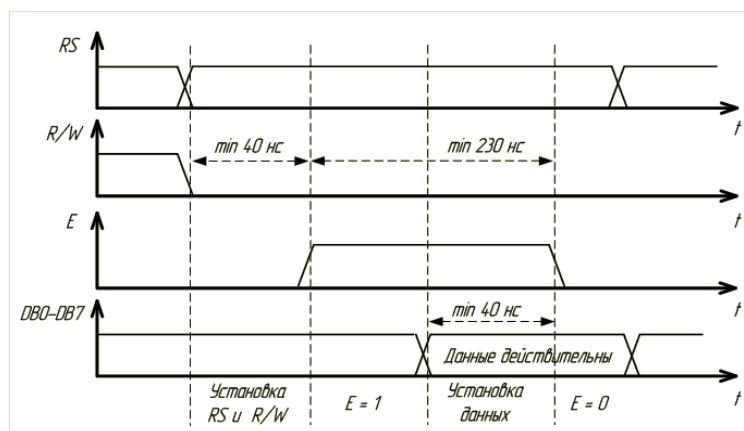


Рисунок 11 – Диаграмма передачи информации контроллеру ЖКИ

Диаграммы передачи данных от управляющего микроконтроллера к контроллеру ЖКИ и от контроллера ЖКИ в управляющий микроконтроллер показаны на рисунках 11 и 12 соответственно.

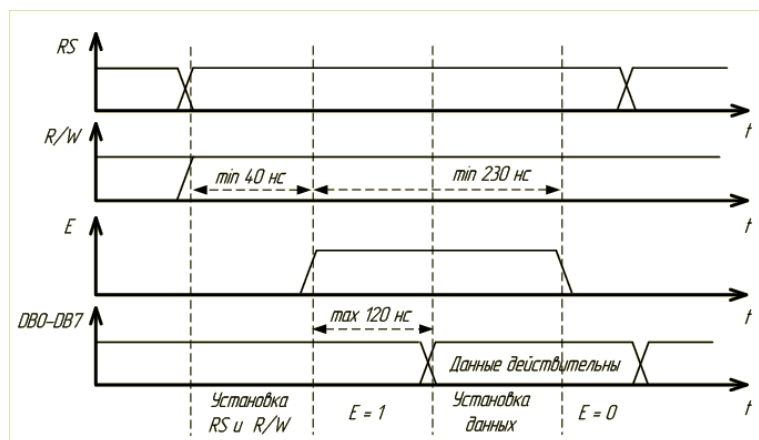


Рисунок 12 – Диаграмма чтения информации из контроллера ЖКИ

После получения информации контроллером ЖКИ требуется определенное время на обработку и выполнение команд. В этот период управляющий контроллер должен ожидать завершения операции и не должен передавать следующую команду или данные. В таблице 1 приведены команды контроллера ЖКИ и время, необходимое для их выполнения. Это время зависит от конкретной команды. Важно соблюдать задержку перед передачей следующей команды, чтобы обеспечить корректное выполнение операций.

Для отслеживания завершения внутренних операций ЖКИ, контроллер использует специальный флаг, называемый *BUSY (BF)*. Если контроллер выполняет операции, *BF* устанавливается ($BF = 1$), и только после завершения операций он сбрасывается ($BF = 0$) для возможности принять следующую команду. Управляющий микроконтроллер может организовать обмен, зная время, необходимое для обработки каждой команды на ЖКИ, и ожидать соответствующее время после передачи информации. С точки зрения удобства использования, этот метод является более простым.

Перед началом работы требуется произвести инициализацию ЖКИ согласно алгоритму, показанному на рисунке 13,

Программа для работы с ЖКИ состоит из различных функций, которые выполняют определенные действия. Некоторые из этих функций являются простыми и могут быть включены в состав более сложных функций. Например, есть функции, отправляющие команду контроллеру дисплея, устанавливающие счетчик адреса или записывающие данные в *DDRAM*. Эти простейшие подпрограммы выполняют основные операции, необходимые для управления ЖКИ. Более сложные функции могут комбинировать и использовать эти простейшие подпрограммы для реализации более сложных операций, таких как отображение текста, рисование графики и управление курсором

Устанавливающая счетчик адреса, или функция, которая записывает данные в *DDRAM*, являются простейшими подпрограммами.

Для определения последовательности действий при передаче информации в ЖКИ мы можем использовать диаграмму передачи информации. Первым шагом является установка требуемого значения *RS*, затем устанавливаем логический ноль на линию *R/W*. После этого выводим логическую единицу на линию *E* и передаем значение передаваемого байта на шину данных (*D*). Контроллер ЖКИ считывает этот байт и учитывает состояние управляющих линий (*RS*, *R/W*) только после того, как на линию *E* был подан логический ноль. Если временные задержки на диаграмме меньше длительности машинного цикла, то их можно пренебречь. Для записи байта данных в память ЖКИ можно использовать следующий код программы.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

```

RS = 1;    // выбираем команды или данные
RW = 0;    // выбираем направление передачи
E = 1;
Data = symbol; // выводим байт данных на шину D
E = 0;      // переводим сигнал на линии E из 1 в 0
delay ();   /* ждем, пока контроллер выполняет внутренние операции */

```

В приведенном участке программы подразумевается, что переменные *RS*, *RW* и *E* объявлены как *sbit*, а переменная *Data* – как *sfr*. Аналогично будет происходить передача любой команды контроллеру ЖКИ.

Еще одним структурным элементом является матричная клавиатура, которая работает в режиме опроса столбцов и строк по стандартному алгоритму

Таблица 1 – Команды контроллера ЖКИ

Команда	Код										Описание	Время исполнения команды
	S	/W	7	6	5	4	3	2	1	0		
Очистка дисплея											Записывает код 0x20 (пробел) во все ячейки DDRAM, устанавливает счетчик адреса DDRAM в 0x00.	1,5 мс
Возврат в начальную позицию											Устанавливает счетчик адреса DDRAM в 0x00 и возвращает курсор в начальную позицию. Содержимое DDRAM не изменяется.	1,5 мс
Режим ввода									/R	H	Задаёт направление перемещения курсора (L/R) и разрешает сдвиг сразу всех символов (SH).	38 мс
Включение-выключение дисплея											Устанавливает/отключает биты, отвечающие за включения дисплея (D), отображение курсора (C), мерцание курсора (B).	38 мкс
Сдвиг курсора или видимой области дисплея							/C	/L			Бит D/C определяет то, что будет перемещаться – видимая область дисплея или курсор (при D/C = 1 перемещается видимая область, при D/C = 0 – курсор), R/L задает направление перемещения. DDRAM не изменяется	38 мкс
Начальные установки						L					Определяет разрядность шины интерфейса (DL = 1 8-бит, DL = 0 4-бита), количества строк на дисплее (N = 1 – две строки, N = 0 – одна строка) и размера символов (F = 1 – 5×11 точек, F = 0 5×8 точек).	38 мкс

Продолжение таблицы 1

Команда	Код										Описание	Время исполнения команды
	S	/W	7	6	5	4	3	2	1	0		
Установка адреса CGRAM					5	4	3	2	1	0	Установка счетчика адреса CGRAM	38 мкс
Установка адреса DDRA M				6	5	4	3	2	1	0	Установка счетчика адреса DDRAM	38 мкс
Чтение BF и счетчика адреса			F	6	5	4	3	2	1	0	Если BF = 1 то контроллер ЖКИ выполняет внутреннюю операцию. A6 - A0 – текущее значение адреса DDRAM.	0
Запись данных в RAM			7	6	5	4	3	2	1	0	Запись данных в ОЗУ (DDRAM или CGRAM)	38 мкс
Чтение данных из RAM			7	6	5	4	3	2	1	0	Чтение данных из ОЗУ (DDRAM или CGRAM)	38 мкс

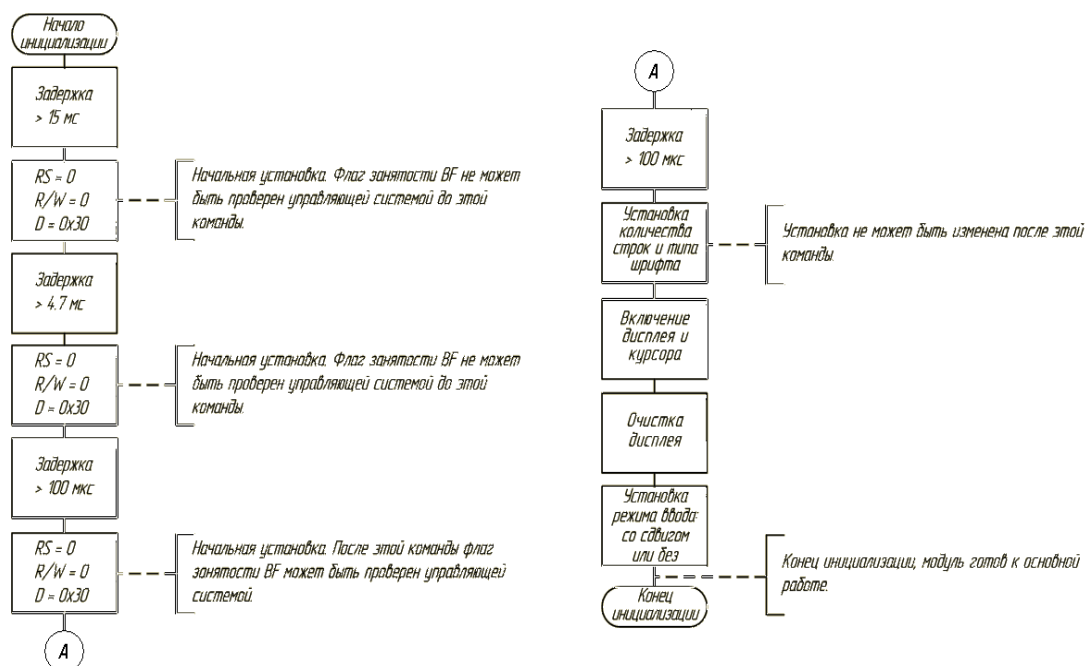


Рисунок 13 – Алгоритм инициализации ЖКИ..

Для организации коммуникационного интерфейса RS-232 была выбрана микросхема ADM232. На рисунке 14 представлено условно-графическое изображение этой микросхемы, а также принципиальная схема ее работы. Микросхема ADM232 обеспечивает преобразование уровней сигналов между RS-232 и другими логическими уровнями, что позволяет эффективно передавать данные между устройствами, работающими по стандарту RS-232.



Рисунок 14— Условно-графическое изображение ADM232
и его принципиальная схема

Для обеспечения быстрой передачи данных по стандарту RS-232 были разработаны микросхемы ADM222, ADM232A и ADM242. Эти микросхемы представляют собой быстродействующие драйверы/приемники RS-232 и способны поддерживать скорость передачи данных до 200 кбит/с. Они оснащены высокоэффективной интегрированной схемой накачки заряда, которая позволяет формировать биполярные уровни сигналов RS-232 из единственного напряжения питания +5 В. Для работы этой схемы требуются внешние конденсаторы малого номинала (0.1 мкФ), которые обеспечивают необходимую функциональность и эффективность передачи данных.

Для производства компонентов используется продвинутая технология изготовления схем со смешанными сигналами BiCMOS. Эта технология объединяет в себе преимущества малопотребляющих схем на КМОП транзисторах и быстродействующих схем на биполярных транзисторах. Результатом является минимальный рабочий потребляемый ток, который

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

составляет менее 5 мА.

Использование схем со смешанными сигналами *BiCMOS* позволяет достичь оптимального баланса между потреблением энергии и быстродействием. Малопотребляющие схемы на КМОП транзисторах обеспечивают низкое энергопотребление, что особенно важно для портативных и низкоэнергетичных устройств. В то же время, быстродействующие схемы на биполярных транзисторах обеспечивают высокую скорость работы и эффективную обработку сигналов.

ADM232A - это функциональный аналог *AD232* и *ADM232L*. *ADM232A* доступна в нескольких корпусах, включая 16-выводный корпус *DIP* (*Dual In-Line Package*) и корпуса типа *SOIC* (*Small Outline Integrated Circuit*), включающие широкий и узкий варианты. Это обеспечивает различные варианты монтажа и интеграции микросхемы в различные проекты.

Благодаря своим быстродействующим характеристикам и совместимости с предыдущими моделями, *ADM232A* является удобным и гибким выбором для реализации интерфейсов *RS-232*. Она поддерживает передачу данных со скоростью до 200 кбит/с и позволяет создавать надежные и эффективные коммуникационные системы.

Для элементов реализующих гальваническую развязку используем оптроны 6n137.

Микроконтроллер *ADuC824* был выбран для построения схемы измерения сопротивления. Он предлагает два независимых модуля сигма-дельта АЦП (аналого-цифрового преобразователя), которые специально предназначены для измерения напряжения в области низких частот с высокой точностью и в широком динамическом диапазоне.

Архитектура микроконтроллера *ADuC824* основана на общей идеологии, где модули АЦП с их аналоговой периферией являются основными компонентами, а процессорное ядро и цифровая периферия выполняют вспомогательные функции. В данном случае основной АЦП модуль был использован для реализации функциональности измерения сопротивления.

В данной реализации использован модуль основного АЦП, который

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

преобразует сигналы от первичных датчиков. Модуль имеет восемь диапазонов входных сигналов, от ± 20 мВ до $\pm 2,56$ В, и поддерживает три дифференциальные пары входов: $AIN1-AIN2$, $AIN3-AIN4$ и $AIN3-AIN2$. Для данной реализации выбрана пара $AIN1-AIN2$, что означает, что сигналы для измерения подаются на эти два входа.

Один из преимуществ модуля основного АЦП заключается в наличии буферов на входах, что позволяет подключать источники сигналов с высоким выходным сопротивлением. Также, на входах можно установить RC -фильтры для снижения внешних шумов и помех, при необходимости. Это означает, что между делителем напряжения и модулем АЦП не требуется использовать дополнительный согласующий элемент, наподобие повторителя напряжения. В результате делитель может быть подключен напрямую к модулю АЦП.

Для достижения высокого разрешения в 24 бита без пропуска кодов, модуль основного АЦП использует принцип сигма-дельта преобразования. Этот принцип преобразует аналоговый входной сигнал в последовательность цифровых импульсов, где информация о величине сигнала содержится в скважности импульсов. Для обработки результатов преобразования встроен модуль низкочастотного аппаратного фильтра с характеристикой $(\sin(x)/x)$, который позволяет программно установить частоту обновления данных.

Однако, 24-разрядный модуль основного АЦП не обеспечивает полное разрешение в 24 двоичных разряда из-за шумов, присутствующих при измерениях. Это может приводить к изменению («дрожанию») младших 5-6 разрядов при каждом последующем преобразовании. Для увеличения реального разрешения рекомендуется использовать программную обработку результатов, такую как усреднение по выборке или программные фильтры со скользящим окном.

Модуль основного АЦП работает в биполярном режиме, что позволяет измерять как положительные, так и отрицательные сигналы.

Для обеспечения точности результата при преобразовании необходимо сделать программную задержку после переключения входных линий, чтобы

убедиться в установлении напряжения на входе АЦП. Это особенно важно, если устройство работает в биполярном режиме.

Кроме того, для модуля основного АЦП существует ограничение диапазона входных напряжений. Диапазон ограничен значением от уровня $AGND + 100 \text{ мВ}$ до уровня $AVDD - 100 \text{ мВ}$. Если измеряемое входное напряжение выходит за пределы этого диапазона, то результаты преобразования не могут быть гарантированно точными.

Для правильной работы модуля основного АЦП важно не заземлять одну из линий в дифференциальном входе. Коэффициент усиления встроенного усилителя (PGA) установлен на значение 1, но может быть программно выбран из восьми возможных значений. Это поможет обеспечить точные результаты измерений.

Встроенный модуль ЦАП в МК представляет собой 12-битный преобразователь, который преобразует цифровой код в аналоговое напряжение на выходе. Цифровой вход доступен программно через специальные регистры. ЦАП обладает буферным усилителем напряжения на выходе, который обеспечивает широкий диапазон выходного сигнала в пределах питающего напряжения. Выход усилителя может быть подключен к нагрузке сопротивлением не менее 10 кОм и емкостью не более 100 пФ. ЦАП предлагает два программно выбираемых диапазона выходного напряжения: от 0 до $VREF$ (где $VREF = 2,5 \text{ В}$, это внутреннее напряжение опоры ЦАП) и от 0 до $AVDD$ (питающее напряжение МК). Эти возможности позволяют гибко настраивать выходное напряжение ЦАП в соответствии с требованиями приложения.

Для управления ЦАП используются специальные регистры $DACCON$, $DACL$ и $DACH$. Модуль ЦАП может работать в двух режимах: 12-битном и 8-битном. В программе можно выбрать, какой вывод микроконтроллера будет использоваться для выходного напряжения ЦАП: вывод 3 или вывод 12. В данном случае выбран вывод 12, который является выходом ЦАП и подключен к выводу $REF+$ (опорному напряжению). Это решение обосновано тем, что ЦАП выполняет функцию источника опорного напряжения для АЦП. На выходе ЦАП обеспечивается напряжение $+2,5 \text{ В}$ благодаря его конфигурации. Такое решение

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

позволяет удобно использовать ЦАП в системе и обеспечить нужные опорные значения для АЦП.

Для получения независимых напряжений +5 В были использованы две схемы, основанные на диодных мостах, которые обеспечивают двухполупериодное выпрямление. Дополнительно в схемах были включены стабилизаторы напряжения линейного типа. Это позволяет обеспечить стабильное напряжение питания для микроконтроллера и других компонентов системы. Для питания самого микроконтроллера была выбрана интегральная микросхема *LM2905*, которая предоставляет стабильное напряжение стабилизации 5 В. Это обеспечивает надежную работу микроконтроллера в пределах заданного напряжения питания.

2.4 Разработка схемы электрической принципиальной

Для определения полного состава элементов изделия и получения детального представления о его принципе работы используется принципиальная схема. Функциональная схема является основой для её построения. В соответствии с требованиями технического задания на проектируемое устройство, модификация микроконтроллера и других СБИС и БИС конкретизируются, а базовая серия интегральных схем малой и средней степени интеграции выбирается. Также обоснованно выбираются или рассчитываются параметры остальных элементов схемы устройства.

В процессе разработки принципиальной схемы можно определить параметры работы отдельных блоков схемы, а также значения электрических параметров в узлах и цепях схемы. При выборе элементной базы и разработке существенными факторами являются предполагаемая конструкция устройства и экономические факторы. Классически для измерения электрического сопротивления в измерительных преобразователях применяются следующие методы:

– измерение падения напряжения на сопротивлении при заданном значении тока;

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- мостовой метод измерения;
- логометрический метод измерения.

В процессе выбора метода измерения электрического сопротивления в измерительной схеме учитываются различные требования, которым должен соответствовать измерительный преобразователь. Некоторые из таких требований включают точность измерения, диапазон входных значений, уровни падения напряжения, значения измерительных токов и другие факторы. Выбор определенного метода зависит от соответствия этих требований.

В дополнение к техническим требованиям, также важны практические аспекты, такие как себестоимость, технологичность и надежность конечного устройства. Среди различных методов измерения электрического сопротивления, логарифмический метод является наиболее перспективным, поскольку он обладает простотой реализации и позволяет достичь высокой точности измерения при правильной реализации.

Данный метод применяется практически во всех схемах измерения сопротивлений среднего диапазона от 10 Ом до 100 кОм. Выбранная схема включения представлена на рисунке 15.

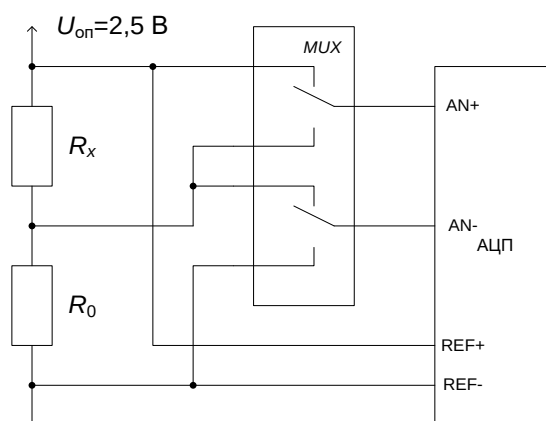


Рисунок 15–Схема измерения сопротивления на основе логометрического подхода

В предложенной схеме логометр состоит из измеряемого R_x и образцового R_0 сопротивления, которое выступает в качестве датчика тока.

Для обеспечения данной реализации преимущественным подходом является сложение падений напряжений U_x и U_0 для формирования опорного

сигнала. Оба напряжения измеряются одним аналого-цифровым преобразователем (АЦП) в разные моменты времени. Этот подход позволяет обеспечить высокую точность измерений сопротивления в широком диапазоне, без ограничений по измеряемым значениям.

Коммутация сигналов осуществляется с помощью мультиплексора, встроенного в микроконтроллер. Микроконтроллер использует цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) в качестве источника опорного напряжения. Этот подход обеспечивает стабильность измерений, поскольку точность выходного сигнала ЦАП не требует высокой точности, благодаря компенсации нестабильности с помощью логарифмического принципа измерения.

Однако, следует учитывать ограничения использования ЦАП, в частности, максимального выходного тока, чтобы обеспечить надлежащую работу системы.

Для данного микроконтроллера минимально допустимое выходное сопротивление не должно быть менее 10 кОм. Отсюда при нулевом входном сопротивлении R_0 должен быть больше 10 кОм.

. Так как R_x находится в пределах от 1 до 50 кОм, то для обеспечения высокой точности необходимо минимизировать разницу в падениях напряжений

U_0 и U_x . Так как, для логотрической схемы, имеет место отношение $\frac{U_x}{U_0} = \frac{R_x}{R_0}$,

то минимальные значения отношений будут при значении сопротивления рассчитанного по формуле 15 и равно 25 кОм

$$R_0 = \frac{R_{x\max} + R_{x\min}}{2} \quad (15)$$

При коэффициенте усиления входного напряжения 1 и установленном бите разрешения внешнего ИОН (который выполняет роль ЦАП) с напряжением 2,5 В имеем диапазон измерений $\pm 2,56$ В относительно выводов AN1-AN2 и AN3-AN4 для входного биполярного напряжения.

Поскольку падение напряжения на измеряемом резисторе подчиняется условию $\begin{cases} U_x \leq 2,5 \text{ В} \\ U_x \leq U_{REF} \end{cases}$, опорное напряжение, для обеспечения наибольшей чувствительности должно быть не менее 2,5 В. Данным напряжением,

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

формируемым ЦАП, питается логометр и оно же является опорным. Данный подход выгоден тем, что обеспечивает высокую стабильность измерений при высокой чувствительности. U_0 и U_x .

Для избежания существенного ухудшения отношения сигнал/шум во всей схеме, нецелесообразно использовать встроенный усилитель входного сигнала. Вместо этого следует искать альтернативные подходы.

Для повышения точности схемы и уменьшения погрешности, связанной с одновременным измерением U_0 и U_x , рекомендуется выбирать время между измерениями таким образом, чтобы оно было кратным периоду сетевой помехи. Это поможет частично компенсировать погрешность и повысить точность измерений.

Использование ЦАП в качестве опорного напряжения при реализации имеет дополнительное преимущество - возможность контроля напряжения насыщения для максимального преобразования входных сигналов. Например, если в цепь вводится сопротивление r^* для снижения помех или из-за паразитных сопротивлений соединительных линий, целесообразно увеличить $U_{\text{ЦАП}}$ с помощью ЦАП, чтобы обеспечить необходимое условие.

$$U_{\text{ЦАП}} = 2.5 \text{ В} + I \cdot r^* \quad (16)$$

где $I \approx \frac{2,5}{R_0 + r^*}$ – ток в цепи.

Повышение точности возможно благодаря данному подходу без необходимости использования дорогостоящих и труднодоступных элементов, что не увеличивает стоимость схемы.

Для использования встроенного ЦАП в качестве внешнего источника опорного напряжения, микроконтроллер предоставляет соответствующие ножки $REFIN(+)$ и $REFIN(-)$. Эти входы работают как дифференциальные, и диапазон синфазных сигналов на них должен быть в пределах от $AGND$ до $AVDD$.

Для определения параметров модулей АЦП рекомендуется установить номинальное рабочее напряжение на входах $REFIN(+)$ и $REFIN(-)$ на уровне 2,5 В. Минимальное опорное напряжение на этих входах должно быть не менее 1 В

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

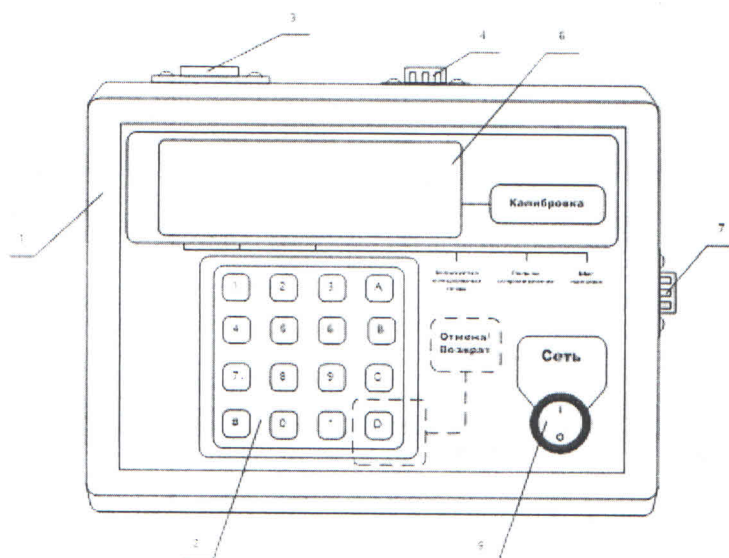
3 Нормативно техническое обеспечение разработки

3.1 Описание работы с устройством

Устройство в базовой комплектации состоит из: блока измерительного, и измерительного кабеля. Блок измерительный (БИ) предназначен для сбора и обработки измерительной информации.

Ориентировочный внешний вид передней панели блока измерительного с указанием коммутационных разъемов и основных элементов управления и индикации представлен на рисунке 16.

Измерительный кабель должен состоять из контактрона, предназначенного для подключения выводов контролируемого потенциометра, кабеля и штекера, подключаемого к разъёму 4, расположенному в задней части блока измерительного.



1 – корпус; 2 – клавиатура; 3 – разъем для подключения сетевого кабеля; 4 – разъем для подключения измерительного кабеля; 5 – сетевой выключатель; 6 – ЖК индикатор; 7 – разъем для связи с персональным компьютером через интерфейс RS232.

Рисунок 16 – Блок измерительный с указанием основных элементов

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ		
Из	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Нормативно техническое обеспечение разработки		
Разраб.	Фролов						
Пров.	Доросинский						
Н.контр.	Рыжова			16.06			
Утв.							
					Лит.	Лист	Листов
						39	89
					гр. 19ПД1		

Для работы с устройством необходимо произвести его включение, установив выключатель 5 измерительного блока, в положение «Включено» (вверх - индикатор горит). При этом на экране 6 (на рисунке 16) должно появиться изображение, эквивалентное рисунку 17.

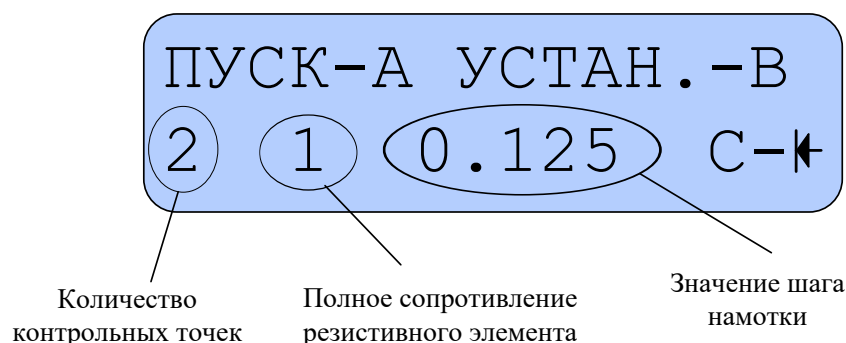


Рисунок 17 – Изображение на индикаторе при включении устройства

При этом нижняя строка отображает начальные параметры, которые были установлены при последнем использовании устройства. Наличие или отсутствие потенциометра, характеристики которого подлежат оценке не принципиально. Перед началом работы устройство необходимо прогреть в течение 10 минут. При включении устройства на индикатор выводится основное меню которое предлагает две основных функции к которым можно перейти посредством нажатия соответствующих кнопок:

- ввод исходных данных;
- коррекция функциональной характеристики;
- калибровка.

Для перехода в режим ввода исходных данных необходимо нажать кнопку «В», после чего экран должен принять вид изображенный на рисунке 18.

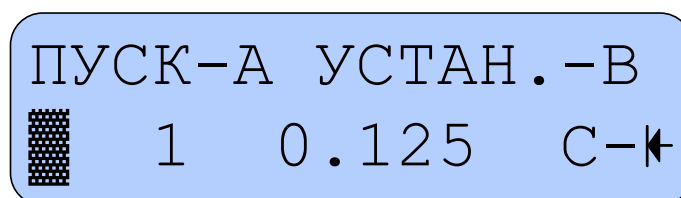


Рисунок 18 –Режим ввода исходных данных

К исходным данным, в данном случае, относятся: количество контрольных точек, полное сопротивление резистивного элемента и шаг намотки с которым будет намотана первая секция.

В данном режиме в том месте где отображается количество контрольных точек появляется мигающий курсор. Клавишами от «0» до «9» можно установить требуемое количество контрольных точек.

Курсор устанавливается на месте разряда десятков, поэтому устанавливаемая цифра должна соответствовать разрядной цифре десятков. После этого курсор смещается вправо на место разряда единиц. При введении разрядной цифры для единиц курсор опять устанавливается в разряд десятков.

Для того чтобы перейти к установке полного сопротивления резистивного элемента необходимо воспользоваться кнопкой «#», так как при этом курсор переходит на параметр расположенный справа от устанавливаемого.

Выбор значения полного сопротивления осуществляется нажатием кнопки «A». При каждом нажатии значение будет меняться на большее. Отображение значения полного сопротивления осуществляется в кОм. При достижении значения 50 кОм и последующем нажатии кнопки «A», значение устанавливается на номинал 1 кОм и процесс повторяется. Для ввода значения шага намотки необходимо также перейти на соответствующее значение нажатием кнопки «#». Значение шага намотки вводится аналогично числу контролируемых точек. Отображение значения шага осуществляется в миллиметрах.

При последующем нажатии на кнопку «#» курсор перейдет в режим установки количества контрольных точек. Таким образом, кнопка «#» циклически смещает курсор на параметр расположенный правее.

В свою очередь, кнопка «*» работает аналогично кнопке «#» с той лишь разницей, что циклически смещает курсор на параметр расположенный левее.

После завершения установки значений исходных данных необходимо нажать кнопку «C». После этого данные будут сохранены в энергонезависимую память. Для отмены установки необходимо нажать кнопку «D».

Для перехода в режим коррекции функциональной характеристики необходимо из основного меню нажать кнопку «A». При условии того, что исходные данные соответствуют данным на рисунке 17 (количество контрольных точек – 2, полное сопротивление – 1 кОм и шаг намотки – 0,125 мм) экран примет вид соответствующий рисунку 19.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

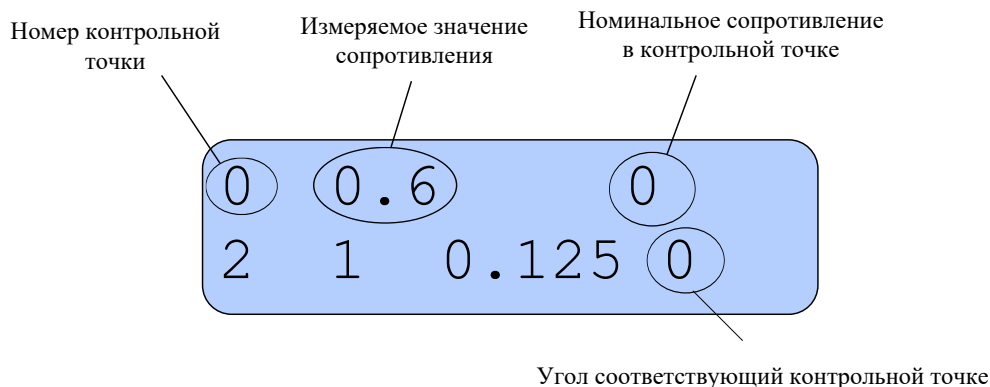


Рисунок 19 – Режим коррекции функциональной характеристики

Номер контрольной точки равный 0 указывает на то, что необходимо измерить нулевое значение сопротивления, которое впоследствии будет использовано как поправка к последующим измерениям (данное значение будет автоматически вычитаться из измеренных в дальнейшем).

Измеряемое значение сопротивления представляет собой результат непрерывного измерения сопротивления в определенной точке катушки резистивного элемента. В данном случае нулевой точки. Если измеряемое сопротивление больше 51 кОм на индикаторе, на месте отображения непрерывно измеряемого значения сопротивления появляется надпись (рисунок 20).

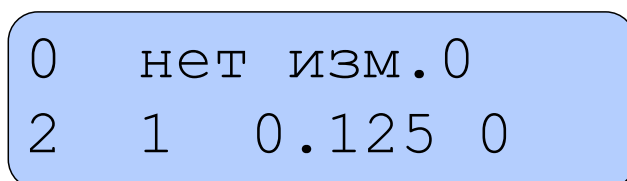


Рисунок 20 – Превышение сопротивлением порогового значения

Данный факт может иметь место, например, при плохом контакте щупов измерительного кабеля с объектом измерения. Когда измеряемое сопротивление возвращается в диапазон от 0 до 51 кОм измеряемые значения начинают отображаться в штатном режиме.

После необходимых манипуляций с намоточным станком (связанных с закреплением каркасного провода, катушки технологического участка и пр.) для сохранения измеряемого значения сопротивления в качестве поправки необходимо нажать и удерживать около 1 секунды (до фиксации на экране измеряемого значения) кнопку «#». При этом экран будет соответствовать рисунку 21.

1	0.0	250
2	1	0.125 1800

Рисунок 21 – Сохранения значения сопротивления в качестве поправки

Установление номера контрольной точки в «1» говорит о том, что устройство перешло в режим измерения первой контрольной точки, для чего необходимо осуществить намотку первой секции, с номинальным значением по сопротивлению 250 Ом при угле поворота 1800°. При этом измеряемое значение сопротивления должно установиться в 0 за счет сохранения в памяти поправки на сопротивление.

В случае если измерение было произведено некорректно или необходимо внести коррективы в связи с перенастройкой намоточного станка существует выполнить предыдущее измерение повторно, для чего необходимо нажать и удерживать около 1 секунды (до фиксации измеряемого значения сопротивления на индикаторе) кнопку «*».

Если повторного измерения не требуется то необходимо осуществить намотку первой секции для чего оператору необходимо остановить намотку при достижении каркасного провода угла 1800°. Значение угла поворота каркасного провода при намотке соответствующей секции рассчитывается из формулы

$$\alpha = \begin{cases} 0 & \text{если } i = 0 \\ \frac{7200^\circ}{n} (i - 0,5) & \text{если } i \leq n, \\ 7200^\circ & \text{если } i > n \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{где } i \in [0..n+1] - \\ \text{номер контрольной} \\ \text{точки} \end{matrix} \quad (17)$$

Если значение сопротивления секции составит, например, 246,1 Ом индикатор будет иметь вид аналогичный рисунку 22.

1	246.1	250
2	1	0.125 1800

Рисунок 22-Вид индикатора для заданного сопротивления

Для сохранения фактического значения сопротивления намотанной секции

и перерасчета шага намотки необходимо нажать и удерживать около 1 секунды (до фиксации измеряемого значения сопротивления на индикаторе) кнопку «#». При отпускании кнопки «#» индикатор примет вид соответствующий рисунку 23.

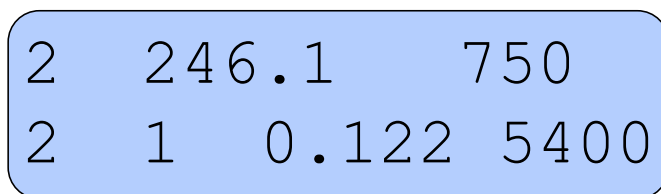


Рисунок 23 – Запуск на намотку второй секции

В данном случае индикатор отображает информацию о том, что намотка второй секции соответствующей углу поворота каркасного провода 5400° должна быть осуществлена с шагом 0,122 мм. Общее сопротивление намотанного участка (а именно, первой и второй секции) должно быть равно 750 Ом.

По окончании намотки второй секции, если значение сопротивления секции составит, например, 754,1 Ом индикатор будет иметь вид, представленный на рисунке 24.

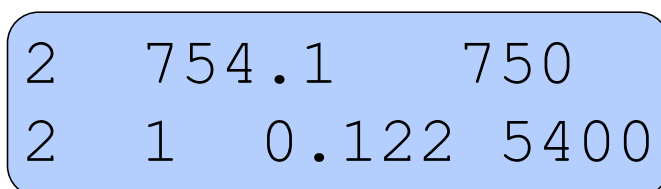


Рисунок 24– Результат намотки второй секции

Количество повторений данного процесса эквивалентно количеству контрольных точек. После введения поправки на шаг намотки и переходе на намотку третьей секции индикатор примет вид соответствующий рисунку 25.

Индикатор отображает информацию о том, что намотка третьей секции соответствующей углу поворота каркасного провода 7200° , по результатам измерения сопротивления должна быть осуществлена с шагом 0,126 мм. Общее сопротивление намотанного участка (а именно, первой и второй секции) должно быть равно 1000 Ом (т.е. полному сопротивлению).

3	754.1	1000
2	1	0.126 7200

Рисунок 25 – Экран при намотке третьей секции

По окончании намотки последней секции, если значение сопротивления секции составит, например, 1002,5 Ом индикатор будет иметь вид, представленный на рисунке 26.

3	1002.5	1000
2	1	0.126 7200

Рисунок 26-Вид индикатора после окончания намотки

При отпускании кнопки «#» индикатор примет вид соответствующий рисунку 27.

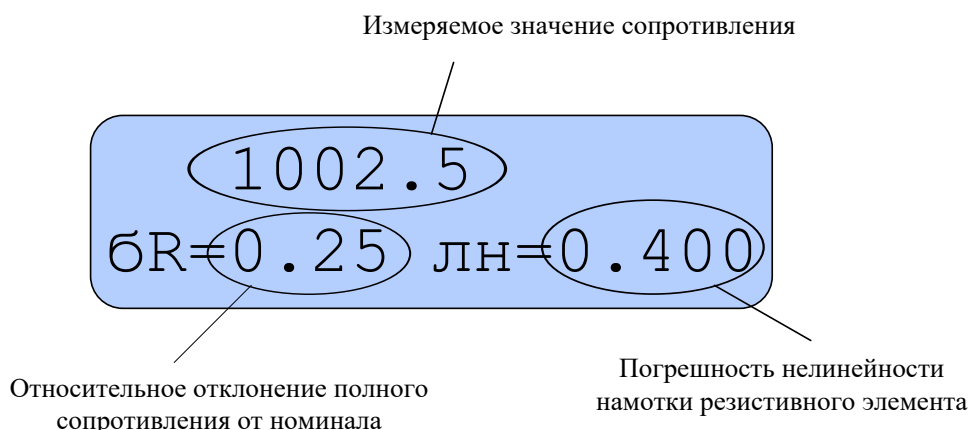


Рисунок 27 – результат изготовления резистивного элемента

На индикаторе отображается значение относительного отклонения полного сопротивления от номинала, рассчитанного по измеренному значению сопротивления согласно (12), и погрешности нелинейности резистивного элемента, по формулам (13) и (14).

Для возврата в основное меню необходимо нажать и удерживать около 1 секунды (до фиксации измеряемого значения сопротивления на индикаторе) кнопку «#». При отпускании кнопки «#» устройство перейдет в основное меню (рисунок 16).

Процесс коррекции функциональной характеристики можно прервать, нажав и удержав около 1 секунды (до фиксации измеряемого значения сопротивления на индикаторе) кнопку «D». При отпускании кнопки «D» устройство опять переходит в основное меню.

3.2 Методика калибровки системы

При проведении калибровки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °C от 20 до 30;
- относительная влажность воздуха при 20°C, % не более 80;
- атмосферное давление, Па от 96 до 104;
- напряжение питающей сети для остальных устройств, В от 198 до 242;
- частота тока питающей сети, Гц от 49 до 51.

При проведении калибровки должны применяться средства измерения и вспомогательные устройства, указанные в таблице 2

Таблица 2 – необходимые для калибровки средства измерения и вспомогательные устройства

Наименование средства поверки	Наименование и обозначение МХ	Нормированное значение МХ
1 Магазин сопротивлений Р 327 ГОСТ 7003-74	Диапазон воспроизведения сопротивлений, Ом	от 0,1 до 111111,1
	Класс точности	0,01/1,5·10 ⁻⁶

1. Для калибровки устройства необходимо перейти в режим калибровки из основного меню нажать кнопку «С». При этом экран должен принять вид в соответствии с рисунком 28.

Типовая –С
Системная –А

Рисунок 28-Выбор режима калибровки

2. Для выполнения типовой калибровки необходимо повторно нажать кнопку «С».

3. Для выполнения системной калибровки необходимо повторно нажать кнопку «А». При этом на экране должна появиться информация в соответствии с рисунком 29

$R_{ном} = 50 \text{ кОм}$

Рисунок 29-Вид индикатора при выборе системной калибровки

4. Системная калибровка применяется, когда необходимо скорректировать метрологические характеристики на основании некоего эталонного значения.

5. Подключить к устройству магазин сопротивлений в соответствии с рисунком 30 и установить на нем значение 50 кОм.

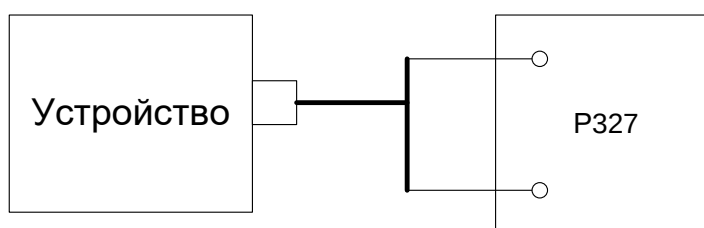


Рисунок 30-Схема подключения магазина сопротивления к устройству

6. Подождать секунд 5-10 для завершения переходных процессов.

7. Нажать кнопку «С», после чего надписи на индикаторе должны соответствовать рисунку 31.

$R_{ном} = 50 \text{ кОм}$
Измерение...

Рисунок 31-Начало калибровки

После выполнения измерения устройство вернется в основное меню. Для проверки качества системной калибровки выполнить 1,2.

Если показания на индикаторе (рисунок 32) находятся в диапазоне от

49997,00 до 50003,00 калибровка проведена успешна. В противном случае необходимо провести системную калибровку повторно. Для выхода из режима типовой калибровки нажать кнопку «D».

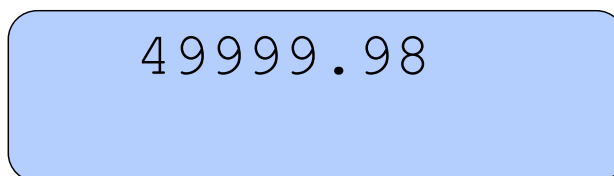


Рисунок 32-Результат калибровки

В этом разделе был описан этап калибровки устройства.

3.3 Расчет показателей надежности устройства

При создании ЭА стремятся достичь оптимальных соотношений между заданными техническими характеристиками изделия, надежностью в заданных условиях эксплуатации и технологичностью конструкции, чтобы получить идеальную конструкцию.

Во время эскизного проектирования учитывается только количество и типы используемых ЭРИ при проведении ориентировочных расчетов для обеспечения надежности. Однако на этапе технического проекта расчеты проводятся на более точном уровне, учитывая реальные электрические и тепловые режимы работы на уровне ячейки.

Для расчета надежности необходимо учитывать характеристики составляющих компонентов (ЭРИ, ПП, паяные соединения, соединитель) и условия эксплуатации, чтобы определить показатели надежности ЭА.

Интенсивность отказа элементов с учетом условий эксплуатации ЭА вычисляется по формуле 18:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} \cdot k \cdot a_i(T, k_n) \quad (18)$$

где λ_{0i} – номинальная интенсивность отказов;

k – поправочный коэффициент на условия эксплуатации;

Поправочный коэффициент на условия эксплуатации является расчетной величиной и определяется на основании выражения 19:

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4, \quad (19)$$

где k_1 и k_2 – поправочные коэффициенты в зависимости от воздействия механических факторов;

k_3 – поправочный коэффициент в зависимости от воздействия влажности и температуры;

k_4 – поправочный коэффициент в зависимости от давления воздуха.

Для учета влияния температуры на расчет надежности применяют коэффициенты электрической нагрузки k_n и температуру блока. При проведении ориентировочных расчетов, температуру блока можно считать равной 40-50 °С выше температуры помещения, где используется устройство.

$a_i(T, k_n)$ – поправочный коэффициент в зависимости от температуры T и коэффициента нагрузки k_n .

Для разрабатываемого стационарного устройства мы проведем расчет его надежности. В данной системе все элементы последовательно включены, поэтому она не является резервированной. Количество паяных соединений, то есть количество выводов элементов, которые припаиваются к плате, составляет 193.

Составим сводную таблицу данных (таблица 3).

Таблица 3 – интенсивность отказов элементов устройства

Наименование элемента	Количество, шт.	Номинальная интенсивность отказа, $\lambda_0 \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Поправочный коэффициент на условия эксплуатации, k	Поправочный коэффициент для интенсивностей отказов, $a_i(T, k_n)$	Интенсивность отказа элемента с учетом условий эксплуатации, $\lambda_0 \cdot 10^{-6}$, 1/ч
Большая интегральная схема	1	0,01	2,14	0,65	0,014
Микросхемы средней степени интеграции	3	0,013	2,14	0,65	0,072
Конденсаторы керамические	17	0,15	2,14	0,46	2,8
Конденсаторы электролитические алюминиевые	4	0,035	2,14	1,73	0,52
Индуктивность	1	0,02	2,14	-	0,04
Диодный мост	2	0,2	2,14	-	0,86
Резонатор	1	0,16	2,14	-	0,68
Резисторы композиционные	9	0,043	2,14	1,17	2,04
Контакты соединителя	37	0,062	2,14	-	4,51
Плата печатная	1	0,7	2,14	-	1,5
Пайка печатного монтажа	193	0,01	2,14	-	4,4
Интенсивность отказов системы					16,53

По справочным данным выбираем $k_1=1,04$ и $k_2=1,03$, что соответствует стационарным условиям эксплуатации устройства.

Значение $k_3=2,0$ соответствует влажности 90-98% при температуре 20-25°C. Значение $k_4=1,0$, что соответствует нормальному атмосферному давлению ≈ 100 кПа.

Следовательно, поправочный коэффициент на условия эксплуатации будет равен $k = 1,04 \cdot 1,03 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \approx 2,14$.

Полученное значение заносится в столбец 4 таблицы 3.4 и является одинаковым для всех элементов. Заполнение столбца 5 рассмотрим на примере микросхем средней степени интеграции.

По справочным данным выбираем рекомендуемое значение k_H при работе в импульсном режиме, которое составит $k_H=0,7$. Затем выбираем поправочный коэффициент в зависимости от температуры T и коэффициента нагрузки k_H , который находится на пересечении столбца 0,7 (рекомендуемое значение k_H для ИМС при работе в статическом режиме) и строки 50°C (температура блока, которую при ориентировочных расчетах можно принять равной 40 – 50°C), т.е. в данном случае $a(T, k)$ будет равно 0,65.

Значение столбца 6 таблицы 3.4 рассчитывается для каждого элемента.

Интенсивность отказов системы рассчитывается по формуле 20:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (20)$$

где n – число типов элементов в схеме.

Для большой интегральной схемы она составит $\Lambda = 0,014 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{ч}\right)$. Для микросхем средней степени интеграции $\Lambda = 0,29 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{ч}\right)$. Для керамических конденсаторов $\Lambda = 5,33 \cdot 10^{-5} \left(\frac{1}{ч}\right)$. Для электролитических конденсаторов $\Lambda = 2,07 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{ч}\right)$. Для индуктивности $\Lambda = 0,02 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{ч}\right)$. Для диодного моста $\Lambda = 0,43 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{ч}\right)$. Для резонатора оно составит $\Lambda = 1,37 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{ч}\right)$. Для композиционного резистора $\Lambda = 3,9 \cdot 10^{-5} \left(\frac{1}{ч}\right)$. Для контактов соединителя

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$\Lambda = 1,53 \cdot 10^{-4} \left(\frac{1}{\text{ч}} \right)$. Для печатной платы оно составит $\Lambda = 1,5 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{\text{ч}} \right)$. Для пайки печатного монтажа оно составит $\Lambda = 9,08 \cdot 10^{-4} \left(\frac{1}{\text{ч}} \right)$. Рассчитаем среднее время наработки на отказ по формуле $T_{\text{ср.расч.}} = \frac{1}{\Lambda}$.

Расчетное значение составит:

Для большой интегральной схемы $T_{\text{ср.расч.}} = 7,2 \cdot 10^7 \text{ ч}$. Для микросхем средней степени интеграции $T_{\text{ср.расч.}} = 3,45 \cdot 10^6 \text{ ч}$. Для керамических конденсаторов $T_{\text{ср.расч.}} = 1,87 \cdot 10^4 \text{ ч}$. Для электролитических конденсаторов $T_{\text{ср.расч.}} = 4,82 \cdot 10^5 \text{ ч}$.

Для индуктивности $T_{\text{ср.расч.}} = 25 \cdot 10^5 \text{ ч}$. Для диодного моста $T_{\text{ср.расч.}} = 2,33 \cdot 10^5 \text{ ч}$. Для резонаторов $T_{\text{ср.расч.}} = 7,3 \cdot 10^5 \text{ ч}$. Для композиционного резистора $T_{\text{ср.расч.}} = 2,57 \cdot 10^4 \text{ ч}$. Для контактов соединителя $T_{\text{ср.расч.}} = 6,52 \cdot 10^3 \text{ ч}$. Для печатной платы $T_{\text{ср.расч.}} = 6,67 \cdot 10^5 \text{ ч}$. Для пайки печатного монтажа $T_{\text{ср.расч.}} = 1,1 \cdot 10^3 \text{ ч}$.

Для большой интегральной схемы рассчитаем вероятность безотказной работы в течение среднего времени наработки на отказ исходя из выражения $P(T_{\text{ср.расч.}}) = -\exp(\Lambda \cdot T_{\text{ср.расч.}})$. Результаты расчета представим в виде графика (рисунок 33).

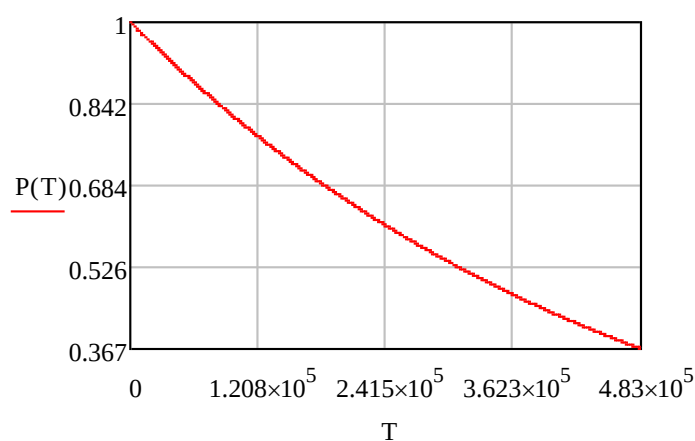


Рисунок 33 – Зависимость вероятности безотказной работы устройства от времени

Примерно 55 лет - среднее время работы устройства до отказа. Однако, анализируя зависимость вероятности безотказной работы от времени, можно заключить, что гарантировать безотказную работу устройства возможно только

в течение 11-15 лет. В этот период вероятность его безотказной работы находится в пределах 0,75-0,8

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 Необходимые требования к рабочему месту оператора

Любой вид деятельности может служить источником негативных воздействий или вреда, может привести к травматизму, заболеваниям, к полной потере трудоспособности или смерти. Работа на производстве (трудовая деятельность) не лишена всех вышеперечисленных отрицательных факторов, влияющих на жизнедеятельность человека.

Определим общие правила организации рабочего места с учетом эргономических требований.

Обеспечение безопасности такой деятельности будет заключаться в реализации комплекса мер защиты от различных видов опасностей, возникающих в процессе труда.

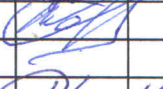
Все виды опасностей разделяют в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 на следующие группы: физические, химические, биологические и психофизиологические (социальные).

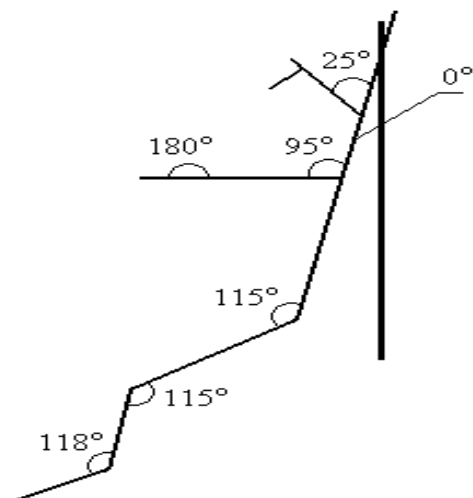
4.1 Организация рабочего места с учетом эргономических требований

Рабочее место оператора – это место человека в системе, которое оснащено средствами отображения информации, органами управления и вспомогательным оборудованием и на котором осуществляется его трудовая деятельность (ГОСТ 21.0.34-75). В зависимости от числа одновременно работающих операторов различают соответственно индивидуальное или коллективное рабочее место.

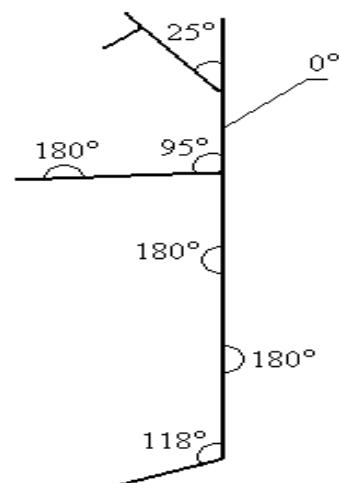
В данном случае рабочее место оператора рассчитано на работу оператора, сидя и стоя попеременно.

Это позволяет избегать длительно фиксированных рабочих поз, что способствует перераспределению статической нагрузки на мышцы.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ		
Из	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Фролов				Необходимые требования к рабочему месту оператора	Лит.	Лист
Пров.	Доросинский						53
Н.контр.	Рыжова			16.06		гр. 19ПД1	
Утв.							



а). эпюра позы сидя;



б). эпюра позы стоя.

Рисунок 34 – Оптимальные значения углов в суставных сочетаниях тела

При любом рабочем положении оператора его поза должна быть физиологически правильно обусловленной. Для этого, прежде всего, должны быть обеспечены оптимальные положения частей тела, как показано на рисунке 34 (а, б).

При конструировании рабочих мест необходимо учитывать ряд основных условий для обеспечения эффективной работы оператора и его безопасности.

1. Достаточное рабочее пространство: Рабочее место должно обеспечивать достаточное пространство для свободного перемещения и выполнения необходимых движений оператором при эксплуатации и обслуживании стенда.

2. Физические, зрительные и слуховые связи: Важно обеспечить хорошие связи между оператором и оборудованием, чтобы оператор мог эффективно взаимодействовать с системой. Это может включать использование удобных положений рабочих мест, удобную расстановку элементов управления и индикаторов.

3. Оптимальное размещение и проходы: Рабочие места должны быть размещены оптимально в помещении, чтобы обеспечить оперативную работу и безопасные проходы для операторов.

4. Четкое обозначение элементов оборудования: Органы управления, индикаторы и другие элементы оборудования должны быть ясно обозначены,

чтобы оператор мог легко находить и управлять ими.

5. Освещение: Необходимо обеспечить достаточное естественное и искусственное освещение для выполнения оперативных задач, обслуживания и тренировок. Распределение яркостей в поле восприятия также должно быть оптимальным.

6. Простота сборки и разборки оборудования: Рабочие места должны быть спроектированы с учетом простоты и быстроты сборки и разборки оборудования для удобства обслуживания и замены элементов.

7. Инструкции и предупредительные знаки: Необходимо предусмотреть инструкции и предупредительные знаки, которые информируют операторов о возможных опасностях и мерах предосторожности.

8. Защита персонала: В случаях, где присутствуют опасности, такие как радиация, термические или токсические факторы, необходимо предусмотреть соответствующие средства защиты персонала.

9. Предотвращение утомления и ошибок: Рабочие места должны быть спроектированы таким образом, чтобы предотвращать преждевременное утомление операторов, сон.

10. Эргономика рабочего места: Важным аспектом является эргономика рабочего места, которая должна соответствовать физиологическим и психологическим потребностям оператора. Это включает правильное расположение и высоту рабочей поверхности, удобные кресла с поддержкой спины, регулируемые элементы управления и индикаторы для адаптации к различным физическим параметрам операторов.

11. Электробезопасность: При конструировании рабочих мест необходимо уделять особое внимание электробезопасности. Это включает правильное размещение электрооборудования, предусмотрение заземления, защиты от короткого замыкания и других электрических рисков.

12. Акустический комфорт: Рабочие места должны быть спроектированы с учетом акустического комфорта. Это включает звукоизоляцию помещений, использование шумоподавляющих материалов, а также предоставление средств для регулировки уровня звука.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

13. Вентиляция и климатические условия: Рабочие места должны быть обеспечены необходимой вентиляцией, поддержанием комфортной температуры и влажности. Это способствует удобству и производительности операторов.

14. Доступность для инвалидов: При проектировании рабочих мест следует учитывать доступность для инвалидов. Это включает удобные пандусы, лифты, а также размещение оборудования и элементов управления на доступной высоте.

15. Безопасность и предотвращение аварий: Рабочие места должны быть спроектированы с учетом безопасности операторов и предотвращения аварийных ситуаций. Это включает предусмотрение систем предупреждения, аварийных остановок, защитных кожухов и других средств безопасности.

Все эти условия и меры помогают создать оптимальные рабочие места, которые удовлетворяют требованиям операторов, обеспечивают их безопасность и повышают эффективность работы.

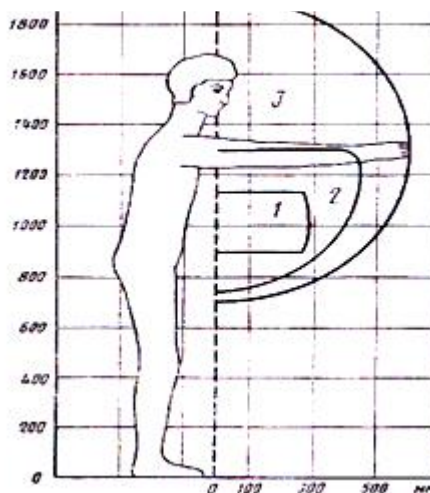
Рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Зоны досягаемости моторного поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях для средних размеров тела человека приведены на рисунке 35 (а, б).

Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела работающего или наклон его вперед не более чем на 15°.

Конструкцией производственного оборудования и организацией рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием:

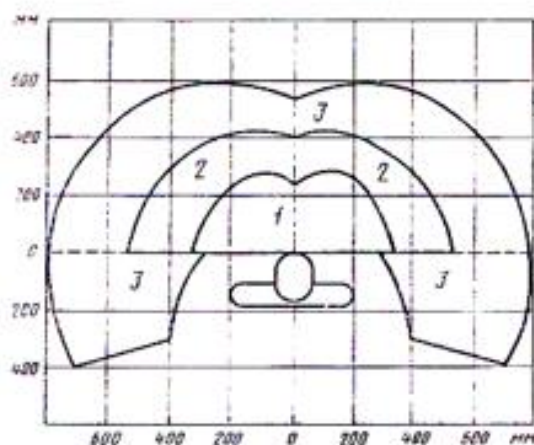
- высота рабочей поверхности
- подставки для ног при нерегулируемой высоте рабочей поверхности.

Для обеспечения удобного, возможно близкого подхода к столу, станку или машине должно быть предусмотрено пространство для стоп размером не менее 150 мм по глубине, 150 мм по высоте и 530 мм по ширине.



а) - в вертикальной плоскости

Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления в горизонтальной плоскости



б) - в горизонтальной плоскости

Рисунок 35 - Зоны досягаемости моторного поля

Общие требования к размещению органов управления по ГОСТ 22.2.69-76.

Органы управления, используемые до 5 раз в смену, допускается располагать за пределами зоны досягаемости моторного поля.

Общие требования к размещению средств отображения информации - по ГОСТ 22.2.69-76.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы были обозначены технические проблемы при изготовлении резистивного элемента многооборотных потенциометров.

Рассмотрены методы улучшения параметров намотки резистивных элементов. Рассмотрен алгоритмический метод повышения качества намотки резистивного элемента, путем коррекции шага намотки, по результатам измерения сопротивления намотанной секции. Получено выражение позволяющее рассчитать начальный шаг намотки. Предложен алгоритм коррекции параметров намотки.

На основании этого выполнена разработка варианта установки осуществляющей коррекцию функции преобразования.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Домрачев В. Г. Цифровые преобразователи угла: Принципы построения, теория точности, методы контроля / В. Г. Домрачев, Б. С. Мейко. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 328 с.
2. РД 11 8.0021-88 Система обеспечения единства измерений в министерстве. Средства измерений и контроля параметров изделий. Нормируемые метрологические и точностные характеристики и методы их определения
3. Четверков И.И., Коросько Н.М. Потенциометры. М.: Сов.радио, 1978.
4. Белевцев А.Т. Потенциометры. М., «Машиностроение», 1969.
5. А.Е. Скуратов. Анализ точности изготовления проволочных кольцевых потенциометров, МВТУ им. Баумана, Сб. научных трудов № 30, Машгиз, 1955.
6. ОСТ В 25 21-86 "Потенциометры прецизионные проволочные. Общие технические условия" с дополнениями и уточнениями, изложенными в ОСТ В 25 26-87
7. Шляндин В.М. Цифровые измерительные устройства: учебник для ВУЗов. 2-е издание – М.: Высшая школа, 1981.
8. Масленников М.Ю. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база. – М.: ИТАР-ТАСС, 1993.
9. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справ./Н. Н. Акимов, Е. П. Ващуков, В. А. Прохоренко, Ю. П. Ходоренко – Мн.: Беларусь, 1994. – 591 с.: ил.
10. Волочий Б. Ю., Калашников И. Д., Мазепа Р. Б., Мандзий Б. А. Проектирование отказоустойчивых микропроцессорных информа-ционно-измерительных систем — Львов: Виша школа, 1987.
11. 24 Шевкоплеев Б. В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения: Справочник. — М.: Радио и связь, 1990. — 512 с.: ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Задание на выпускную квалификационную работу.

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

«Утверждаю»

Зав. кафедрой НиМЭ

 Пронин И.А.

(фамилия, инициалы)

«09» июня 2023 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

1. Студент(ка) гр. 19ПД1 факультета информационных технологий и электроники

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Фролов Алексей Артемович

(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Доросинский Антон Юрьевич

(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы Автоматизированная система намотки прецизионных
проволочных резисторов

Тема утверждена приказом ПГУ № 359 а/о от «4» апреля 2023 г.

4. Техническое задание на бакалаврскую работу (вид работы: разработка, проектирование, исследование, и т.д.; назначение; основные параметры; условия функционирования и т.д.)

Разработка устройства, для секционного измерения сопротивления резистивного
элемента потенциометра в процессе выполнения его спиральной намотки и последующим
перерасчетом шага намотки для обеспечения требуемых параметров функциональной
характеристики потенциометра. основные параметры: мощность не более 5 ВА, время
непрерывной работы 8 часов, Количество контролируемых секций равномерно
распределенных по диапазону, от 1 до 80. Условия эксплуатации: температура воздуха
окружающей среды, °С от 15 до 35, давление атмосферы, кПа от 84 до 106,7 относительная
влажность воздуха, %, не более 80 при 25 °С

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

1 Прецизионные проволочные резисторы и особенности их изготовления

1.1 Понятие резистора

1.2 Технология изготовления проволочных резисторов

1.3 Применяемое оборудование для изготовления чувствительного элемента постоянных и
переменных резисторов

1.4 Методика контроля метрологических параметров потенциометров

2 Разработка электрических схем и выбор элементов системы.

2.1 Предъявление требований устройства для коррекции шага намотки

2.2 Алгоритм коррекции шага намотки

2.3 Выбор элементов и комплектующих

2.4 Разработка схемы электрической принципиальной

3 Алгоритм работы системы

3.1 Описание работы с устройством

3.2 Методика калибровки системы

3.3 Расчет показателей надежности устройства

4 Необходимые требования к рабочему месту оператора

4.1 Организация рабочего места с учетом эргономических требований

5.2. Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)

1 Титульный листа Слайд 1

2 Цель работы Слайд 2

3 Задачи Слайд 3

4 Технологический процесс изготовления резистивного элемента Слайд 4

5 Станки для изготовления резистивного элемента Слайд 5

6 Основные технические параметры устройства Слайд 6

7 Алгоритм коррекции шага намотки Слайд 7

8 Процесс коррекции функциональной характеристики Слайд 8

9 Формулы используемые для коррекции шага Слайд 9

10 Схема электрическая функциональная Слайд 10

11 Схема электрическая принципиальная Слайд 11

12 Макетный образец устройства Слайд 12

13 Автоматизированная система намотки прецизионных проволочных резисторов

13 Слайд 13

14 Необходимые требования к рабочему месту оператора Слайд 14

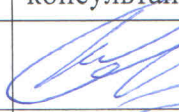
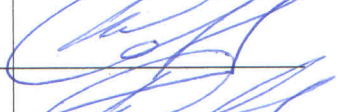
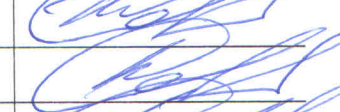
15 Вывод Слайд 15

6. Консультанты и содержание дополнительных разделов

6.1.

Консультант

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Прецизионные проволочные резисторы и особенности их изготовления	20%	10.06.23	
Разработка электрических схем и выбор основных элементов системы	30%	11.06.23	
Нормативно техническое обеспечение разработки	20%	12.06.23	
Необходимые требования к рабочему месту оператора	10%	13.06.23	
Графическая часть	10%	13.06.23	
Оформление пояснительной записки	10%	14.06.23	

Руководитель бакалаврской работы

подпись

Доросинский А.Ю.

фамилия, инициалы

Дата выдачи задания

«9» июня

2023г.

Задание к исполнению принял

подпись

Фролов А.А.

фамилия, инициалы

«9» июня

2023 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета

подпись

Кревчик В.Д.

фамилия, инициалы

« 22 » июня

2023 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе
«Антиплагиат.ВУЗ»

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Ректору Пензенского государственного
университета Гулякову А.Д.
студента 4 курса ФИТЭ очной формы
обучения
Фролова Алексея Артемовича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Фролов Алексей Артемович, студент(ка) 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, Микроэлектроника и твердотельная электроника, прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Автоматизированная система намотки прецизионных проволочных резисторов», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

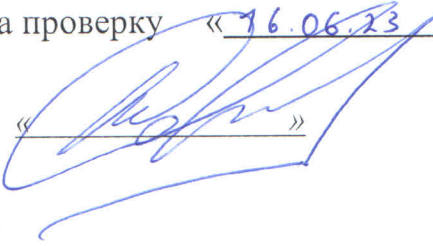
Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен(а) с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.

16.06.23 « 22 »

ВКР представлена на проверку « 16.06.23 »

Руководитель ВКР

«  »

Доросинский А.Ю.

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной бакалаврской работы на тему «Автоматизированная система намотки прецизионных проволочных резисторов»

студента (ки) 4 курса Фролов А.А.

направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника,

профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Руководитель ВКР

Доросинский А.Ю.



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Пензенский государственный университет

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ «АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ»

Автор работы: Фролов Алексей Николаевич
Самодитирование: Фролов Алексей Николаевич
рассчитано для: Фролов Алексей Николаевич
Название работы: Автоматизированная система намотки прецизионных проволочных резисторов
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра Нанoeлектроника

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОПИРОВАНИЯ: Сводная таблица результатов проверки документа

СОВПАДЕНИЯ	55.71%	КОВПАДЕНИЯ	47.26%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	44.29%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	52.74%
ЦИТИРОВАНИЯ	2.45%	ЦИТИРОВАНИЯ	2.45%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

Дата проведения проверки: 16.06.2023

Дата и время корректировки: 16.06.2023 13:26

Структура документа:
Модуль поиска

Проверенные ресурсы: Поддержка с 1, основная часть с 2-58

ИПС Аджид, Библиография, Сводная коллекция СРС, Интернет Плюс, Сводная коллекция РГБ, Цитирование, Переводные заимствования (RuEn), Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Гарант, аналитика, Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Переводные заимствования по Интернету (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Переводные заимствования издательства Wiley, eLIBRARY.RU, СПС ГАРАНТ, аналитика, СПС ГАРАНТ, нормативная правовая документация НПА, Медицина, Диссертации НББ, Коллекция НББ, Перефразирование по eLIBRARY.RU, Перефразирование по СПС ГАРАНТ, аналитика, Перефразирование по Интернету, Перефразирование по Интернету (En), Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Перефразирование по коллекции

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

Рис. 1

Дата подписи:

16.06.23

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться в подлинности справки, сканируйте QR-код, который помещен на эту страницу.

Система защиты от подделки документов. Система защиты от подделки документов. Система защиты от подделки документов. Система защиты от подделки документов.

Руководитель ВКР

« 16 » 06 2023 год

подпись

Доросинский А.Ю.

фамилия, инициалы



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Фролов Алексей Артемович
Самоцитирование
рассчитано для: Фролов Алексей Артемович
Название работы: Автоматизированная система намотки прецизионных проволочных резисторов
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	50.71%	СОВПАДЕНИЯ	47.26%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	46.84%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	50.28%
ЦИТИРОВАНИЯ	2.45%	ЦИТИРОВАНИЯ	2.45%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 16.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 16.06.2023 13:26

Структура документа: Проверенные разделы: содержание с.1, основная часть с.2-58
Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley ; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Головашкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 16.06.23

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)
Презентация ВКР

					ПГУ 2. 11.03.04. 19 ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Министерство образования и науки Российской Федерации
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра «Нано – и микроэлектроника»

Выпускная квалификационная работа:

«Автоматизированная система намотки прецизионных
проволочных резисторов»

ПГУ 02. 11.03.04. 016

Автор : Фролов А.А.

Руководитель:

к. т. н. доцент Доросинский А. Ю.

Пенза 2023

Цель работы

Повышение точности изготовления резистивного элемента за счет разработки устройства, для секционного измерения сопротивления в процессе выполнения его спиральной намотки и последующим перерасчетом шага намотки для обеспечения требуемых параметров функциональной характеристики потенциометра.

Задачи:

1. Проанализировать вопросы повышения точности изготовления резистивных элементов для прецизионных потенциометров
2. Разработать алгоритм коррекции шага намотки резистивной проволоки за счет промежуточного контроля намотанных секций
3. Разработать устройство для измерения сопротивления намотанного участка резистивного элемента с последующим перерасчетом шага намотки.

Технологический процесс изготовления резистивного элемента

Технология изготовления резистивного элемента состоит из следующих пунктов:

- 1) намотка резистивной проволоки на каркасный эмалированный провод и изготовление, в процессе намотки, отводов;
- 2) навивка резистивного элемента на оправку резьбовую;
- 3) пайка выводов к отводам резистивного элемента, и заливка его в спец. форме;
- 4) разбраковка полученного узла статор по погрешности номинального сопротивления.

Станки для изготовления резистивного элемента

Станок *KWM-PLЕ-mini*



Станок *СНПУ-2*



Основные технические параметры устройства

1 Количество контролируемых секций равномерно распределенных по диапазону, от 1 до 80.

2 Значения полных сопротивлений резистивных элементов имеют следующие, выбираемые из ряда, значения, кОм: 1, 2, 5, 10, 20, 40, 50.

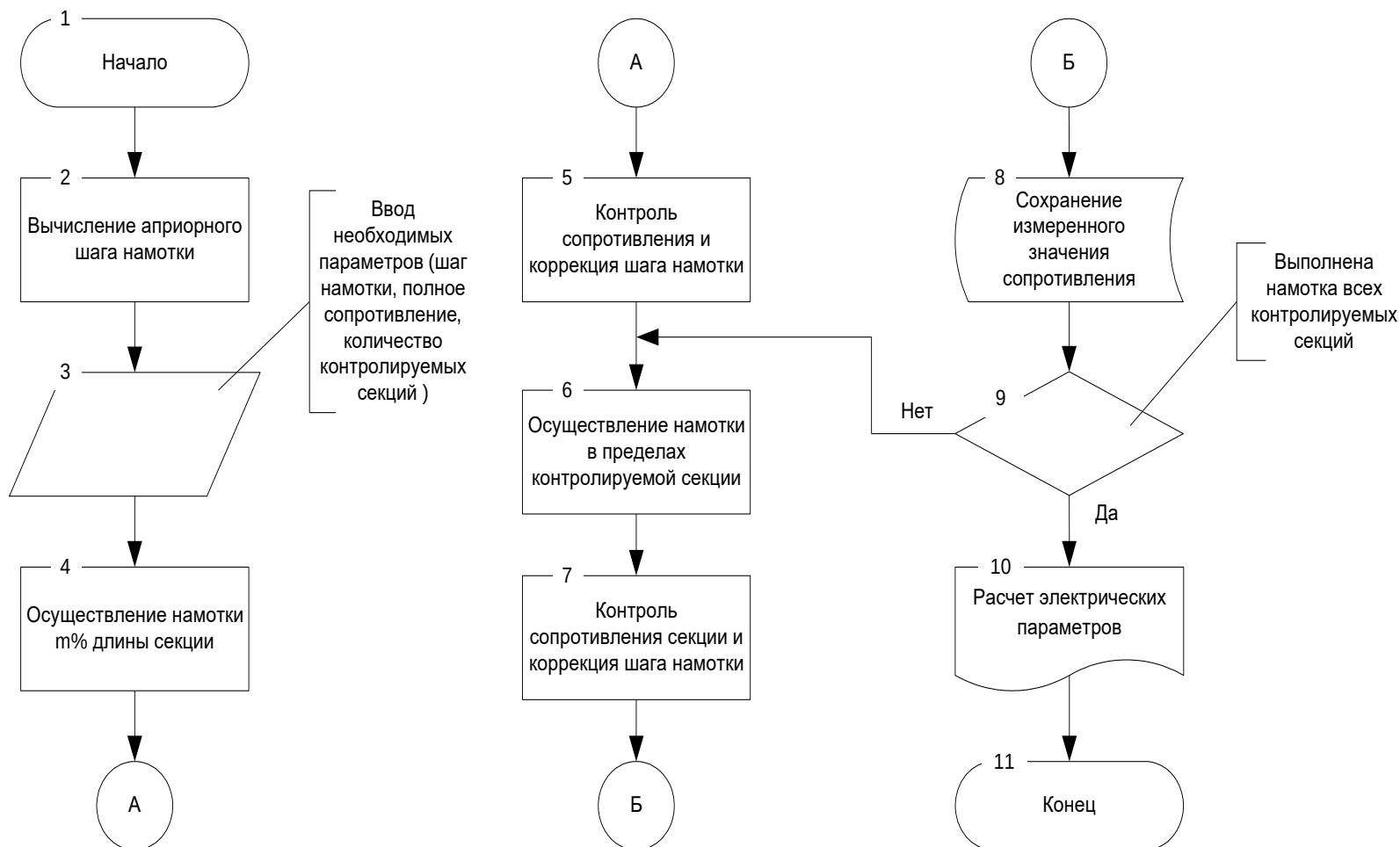
3 Частота смены показаний измеряемого сопротивления не менее 0,5 Гц.

4 Устройство обеспечивает выполнение своих функций в условиях применения, соответствующих 3 группе по ГОСТ 22261.

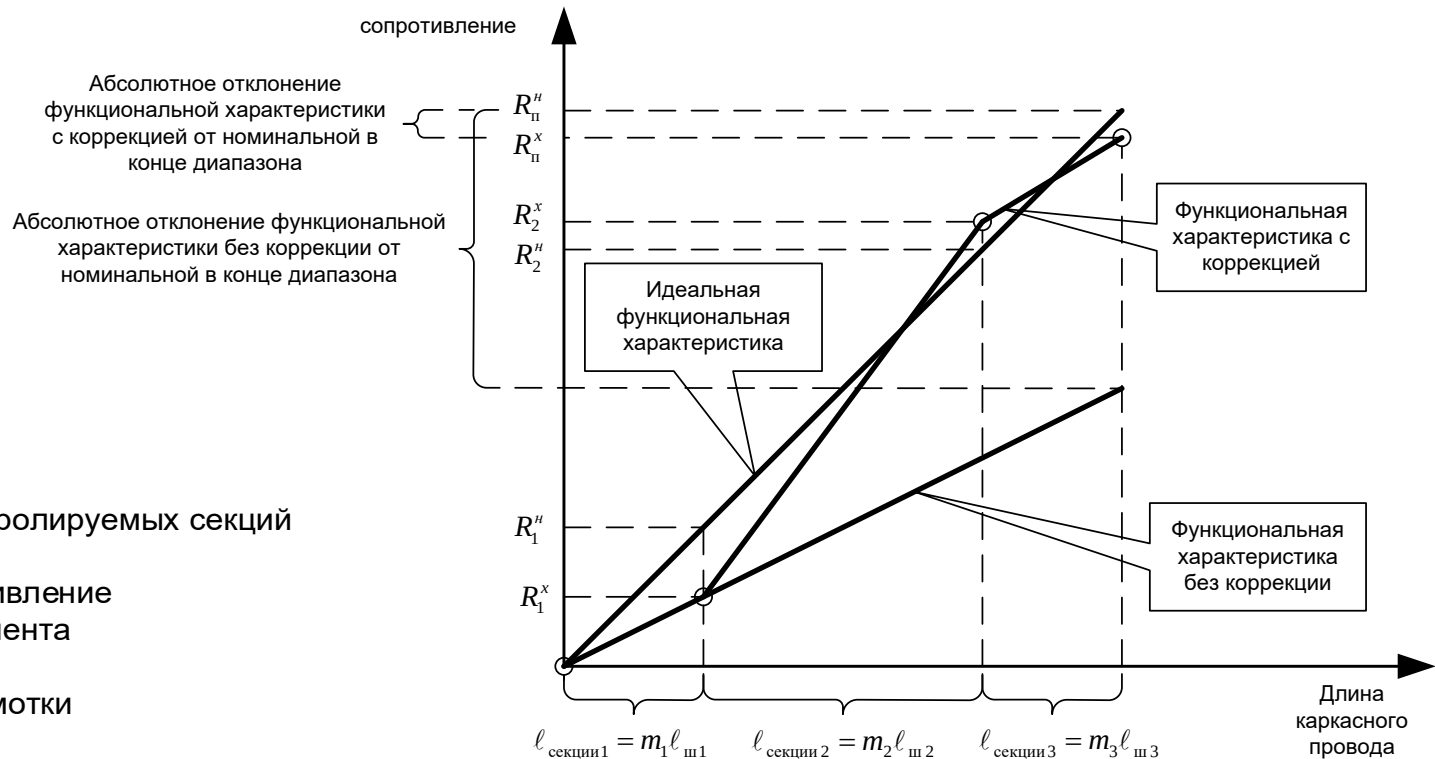
5 Питание устройства осуществляется от промышленных сетей с напряжением от 207 до 253 В, частотой от 49 до 51 Гц.

6 Устройство должно отвечать требованиям техники безопасности классу I по ГОСТ Р 51350.

Алгоритм коррекции шага намотки



Процесс коррекции функциональной характеристики

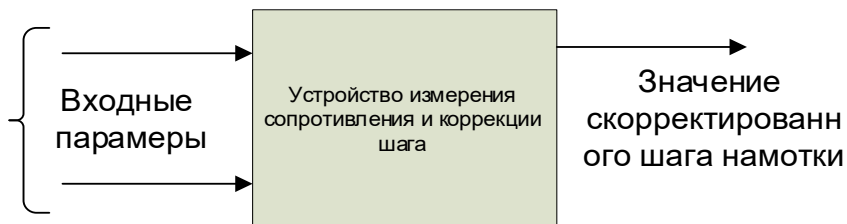


1 Количество контролируемых секций

2 Текущее сопротивление резистивного элемента

3 Текущий шаг намотки

4 Значение полного сопротивления



Формулы используемые для коррекции шага

1 Формула для нахождения сопротивления на контрольных точках

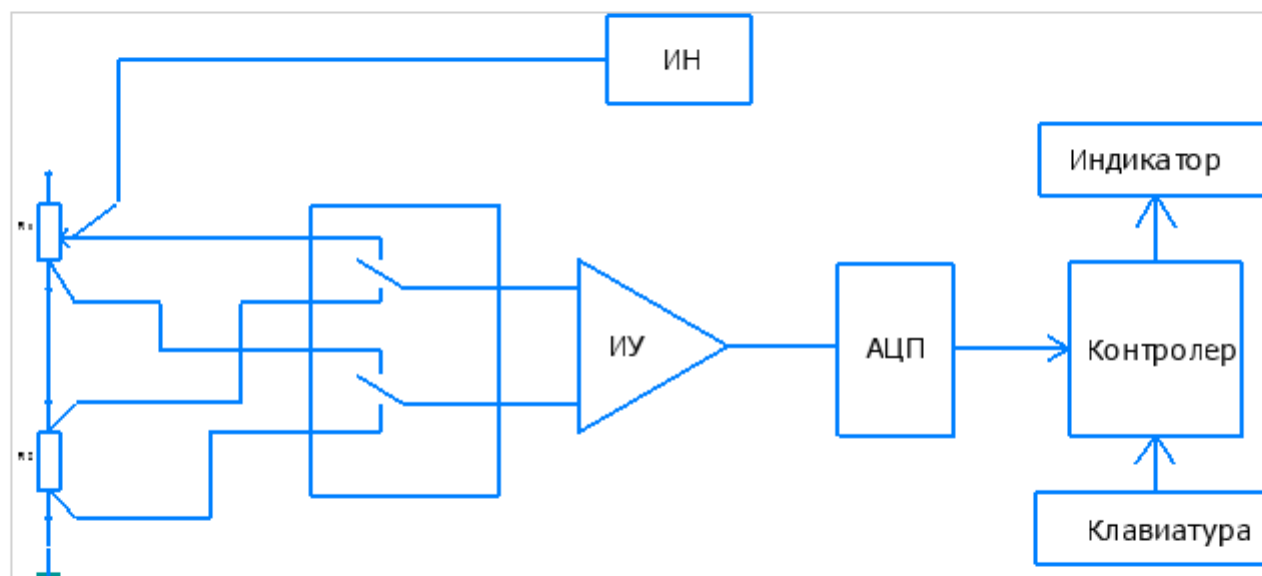
$$R_i^H = \begin{cases} 0 & \text{если } i = 0 \\ \frac{R_H^H}{n} (i - 0,5) & \text{если } i \leq n \\ R_H^H & \text{если } i > n \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{Где } i \in [0.. n + 1] \text{ -} \\ \text{Номер контрольной точки} \end{array}$$

2 Формула для перерасчета шага по измеренному значению фактического сопротивления в каждой контрольной точке

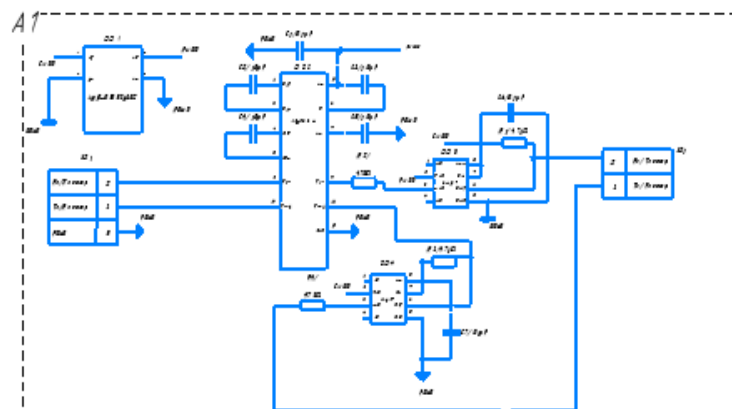
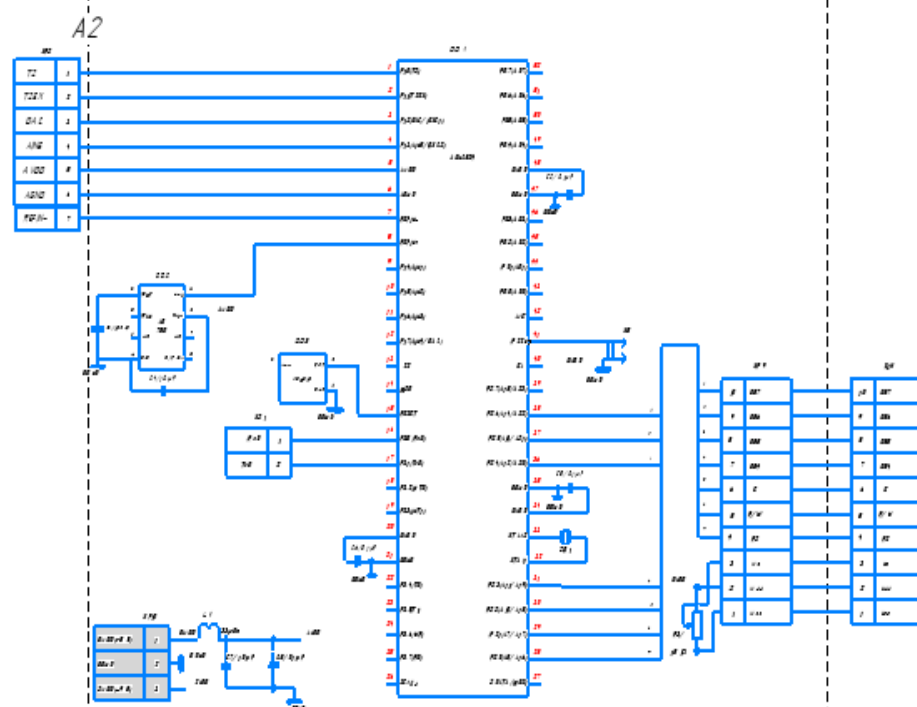
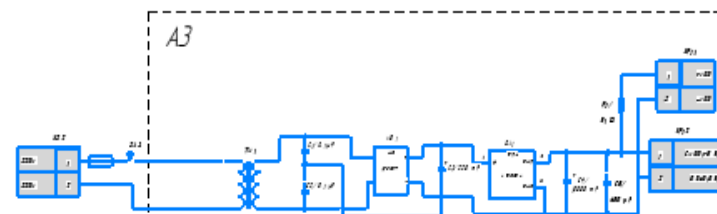
$$\ell_{ш i+1} = \lambda(i) \cdot \ell_{ш i} \cdot \frac{R_i^x - R_{i-1}^x}{R_{i+1}^H - R_i^x} \quad \text{Где } (i) = \begin{cases} 2 & \text{если } i = 1 \\ 1 & \text{если } 1 < i < n \\ 0,5 & \text{если } i = n \end{cases}$$

3 Формула для определения начального значение шага

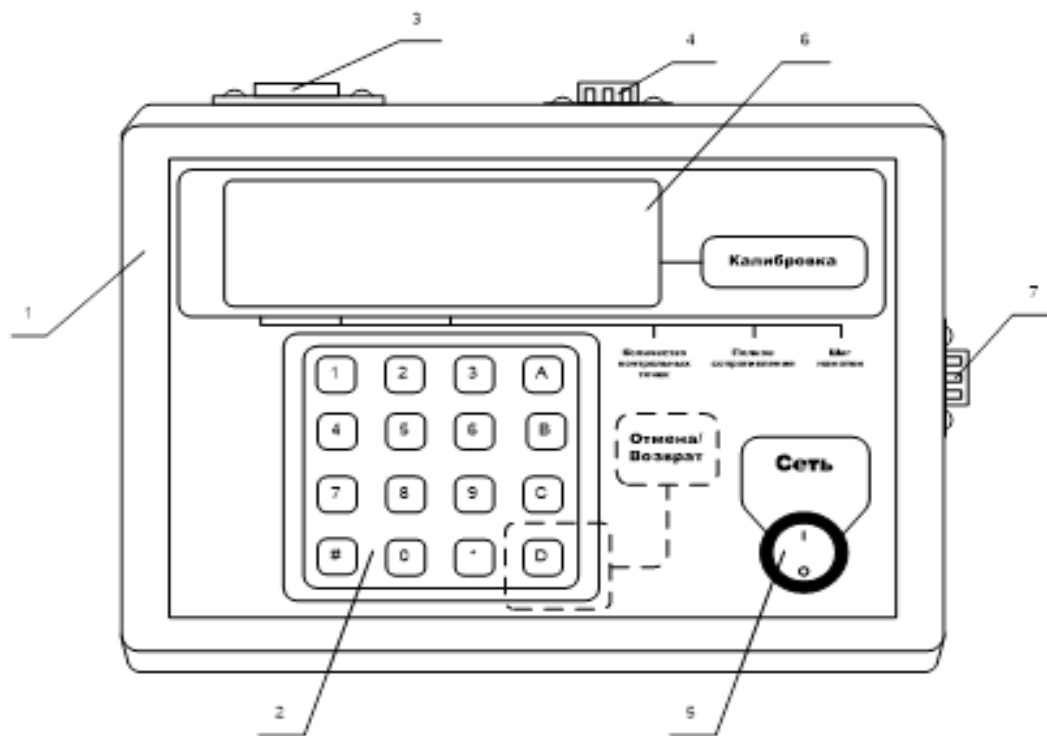
$$\ell_{нач} = \frac{1}{\left(\frac{R_H^H}{\rho L p \varepsilon \pi^2}\right)^2 - \frac{1}{16}} \left[\frac{R_H^H}{\rho L p \varepsilon \pi^2} + \sqrt{\frac{1}{\pi^2} \left(\frac{R_H^H}{\rho L p \varepsilon}\right)^2 + \frac{(1 - \pi^2)}{16}} \right]$$



				ПГУ2.11.0304.19-32			
Итого	Всего	Число	Сумма	Схема электрическая функционирования			
Итого	Всего	Число	Сумма	Итого	Всего	Число	Сумма
Итого	Всего	Число	Сумма	Итого	Всего	Число	Сумма
Итого	Всего	Число	Сумма	Итого	Всего	Число	Сумма



Макетный образец устройства



- 1 – корпус; 2 – клавиатура; 3 – разъем для подключения сетевого кабеля;
4 – разъем для подключения измерительного кабеля;
5 – сетевой выключатель; 6 – ЖК индикатор;
7 – разъем для связи с персональным компьютером через интерфейс RS232.

Автоматизированная система намотки прецизионных проволочных резисторов



Необходимые требования к рабочему месту оператора

Рабочее место оператора — это место человека в системе, которое оснащено средствами отображения информации, органами управления и вспомогательным оборудованием и на котором осуществляется его трудовая деятельность (ГОСТ 21.0.34-75). В зависимости от числа одновременно работающих операторов различают соответственно индивидуальное или коллективное рабочее место.

При любом рабочем положении оператора его поза должна быть физиологически правильно обусловленной. Для этого, прежде всего, должны быть обеспечены оптимальные положения частей тела

Вывод

В ходе работы была разработана автоматизированная система намотки прецизионных проволочных резисторов способная существенно повысить точность выполнения функциональной характеристики резистивных элементов, за счет установки на намоточный станок устройства выполняющего измерение сопротивления резистивного элемента потенциометра с последующей коррекцией шага намотки на этапе намотки каждой секции.

Спасибо за внимание!