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 наноэлектроника»*
код и наименование

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ *02. 11.03.04. 017* ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Контроль шумов перемещения подстроечных резисторов
тема бакалаврской работы

Студент группы 19ПД1 (подпись, дата 18.06.23) Степуков Н.А.
номер группы — подпись, дата — фамилия, иниц.

Руководитель к.т.н. доцент (подпись, дата 19.06.23) Доросинский А.Ю.
должность — подпись, дата — фамилия, иниц.

ПГУ
наименование организации

Нормоконтролер ст. преподаватель (подпись, дата 19.06.23) Рыжова Т.Н.
должность — подпись, дата — фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 15.06.23 № 11)
Заведующий кафедрой (подпись, дата 19.06.23) Пронин И.А.
подпись, дата — фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой удовл. (протокол ГЭК от 28.06.23 № 15)
Секретарь ГЭК (подпись, дата 28.06.23) Вольсков А.А.
подпись, дата — фамилия, иниц.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит: 69 страниц, 36 рисунков, 3 таблиц, 10 слайдов презентации, 21 используемый источник и 4 приложения.

Ключевые слова: подстроечный резистор, подвижный контакт, установка, автоматизированная система, схемы, шумы, измерения, контакт, плавное изменения сопротивления, подвижная система , проволочный резистор.

Объектом разработки является автоматизированная система измерения параметров подстроечных и переменных резисторов.

Целью работы является разработка и проектирование автоматизированной системы измерения параметров подстроечных и переменных резисторов.

Проведен обзор различных параметров и свойств переменных и подстроечных резисторов. Разработана и спроектирована схема автоматизированной системы измерения параметров подстроечных и переменных резисторов. Разработана и спроектирована функциональная, структурная и принципиальная схемы устройства. Рассмотрены правила при установки.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 6

1. Анализ современного состояния и проблем в области контроля шумов перемещения 7

1.1 Понятие переменного и подстроечного резистора 7

1.2 Контролируемые параметры подстроечных резисторов 9

1.3 Методы контроля шумов перемещения 16

1.4 Сущность статистического состояния и проблем в области контроля шумов перемещения 28

2. Разработка автоматизированной системы контроля шумов перемещения 30

2.1 Разработка структурной схемы устройства 30

2.2 Выбор электронной компонентной базы 31

2.3 Разработка функциональной схемы устройства 33

2.4 Разработка принципиальной схемы устройства 46

3 Методическое и алгоритмическое обеспечение системы 53

3.1 Анализ установки в режиме измерения полногосопротивления 53

3.2 Анализ установки в режиме измерения функциональной характеристики 55

4. Мероприятия по обеспечению безопасных условий труда при эксплуатации прибора дляизмерения параметров подстроечных резисторов 59

Заключение 67

Список использованных источников 68

Приложение А Задание на бакалаврскую работу 70

Приложение Б Презентация 75

Приложение В Заявление и протокол проверки ВКРна оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» 86

ВВЕДЕНИЕ

Переменные резисторы широко используются при построении датчиков перемещения в системах управления и регулирования. Требования к параметрам данных резисторов (потенциометров) постоянно растут. Исходя из этого, важно количественно определять те его характеристики, которые до этого момента оценивались только качественно, хотя для некоторых применений нормирование параметра просто необходимо.

Переменные резисторы имеют несколько электрических параметров, большинство из них оцениваются количественно. В данный момент качественно оценивается плавность изменения сопротивления переменного резистора, так как пока нет обоснованных критериев оценки плавности. В данной работе была сделана попытка создать единый критерий плавности, а также предложен ряд методов, позволяющих оценивать плавность согласно данному критерию.

1 Анализ современного состояния и проблем в области контроля шумов перемещения

1.1 Понятие переменного и подстроечного резистора

Переменный резистор - это устройство, которое изменяет электрическое сопротивление между своим подвижным контактом и выводами резисторного элемента при перемещении подвижного контакта. Они используются приуправлении напряжением и управлении током в цепях а также для подстройки сопротивления элементов в схемах. Переменные резисторы подразделяются на два типа резисторов, а именно на подстроечные резисторы и регулировочные резисторы. Особую группу прецизионных переменных резисторов специального назначения составляют так называемые потенциометры, отличающиеся высокой точностью воспроизведения функциональной характеристики. Они применяются в следящих системах, в вычислительных и измерительных устройствах и т. п.

В зависимости от материала резистивного элемента переменные резисторы делятся на проволочные и непроволочные. Существует множество типов резисторов, которые можно классифицировать на основе их конструкции, материала и способа изготовления. Одним из таких видов являются составные резисторы. Они бываю как фольгированные, так и объемные. Композиционные резисторы могут быть керметными, пластиковыми, металлоокисными или металлизированными в зависимости от используемых материалов.

Керметные резисторы отличаются составом своего резистивного элемента, который состоит из композиционного слоя диэлектрика и металла. Металл в резистивном элементе керметных резисторов представлен окислами металлов, что обеспечивает необходимую проводимость.

Керметные резисторы также могут быть объемными или пленочными и применяются в электронных устройствах для ограничения тока.

Пластиковые резисторы имеют пластиковый корпус, который заполнен специальным составом, обеспечивающим необходимую проводимость. Данный тип резисторов характеризуется высокой стабильностью во времени и может иметь очень малые габариты, благодаря чему широко применяется в миниатюрных электронных устройствах.

Металлоокисные резисторы изготавливаются путем нанесения тонкого металлического слоя на керамический подложку, на которую затем наносятся окисные слои. Данный тип резисторов характеризуется высокой точностью и устойчивостью.

Металлизированные резисторы выполняются путем нанесения металлических пленок на керамическую подложку. Этот тип резисторов широко применяется в электронной промышленности благодаря своим характеристикам и универсальности использования. Резистивный элемент керметных резисторов представляет собой композиционный слой из диэлектрика и металла (окислов металлов). По существу это тоже композиционные резисторы.

Проволочные резисторы являются важным компонентом в электронной аппаратуре благодаря своим положительным особенностям. Одной из таких особенностей является возможность изготовления резистора с малым отклонением от номинального сопротивления. Кроме того, они обладают высокой стабильностью параметров в условиях воздействия различных внешних факторов, таких как температура и влажность. Другой характеристикой, важной для электронной техники, является малое значение ТКС и низкий уровень собственных шумов. Кроме того, проволочные резисторы имеют высокую термостойкость и способность к перегрузкам. Благодаря всем этим особенностям, переменные проволочные резисторы находят широкое применение в электронной технике. Промышленность предлагает широкий выбор проволочных резисторов.Резистивный элемент

находящийся в переменных проволочных резисторах как правило представляет из себя провод, который намотан на изоляционный каркас. Соответственно контакт перемещается по заранее зачищенному участку резистивного элемента касаясьпри этом последующего витка прежде, чем он сам сходит с предыдущего, чтобы обеспечить надежное контактирование.

Чаще всего в качестве резистивных материаловвыступают сплавы на основе никеля, хрома, меди, марганца, и в том числеи из драгоценных металлов. Как правило ониимеют виде проволоки или чаще микропровода с диаметром до 10 микрон.

Подвижный контакт как и пружина выполняется из одного материала. Материалом для подвижного контакта в конструкциях используют различные сплавы благородных металлов. Использование данных материалов обусловлено их уникальными свойствами, которые обеспечивают долговечность и стабильность работы конструкций, а также защищают их от внешних факторов. Комбинация высокой устойчивости и особой прочности редких металлов и их сплавов позволяет создавать подвижные контакты высокого качества и эффективности. Большинство выпускаемых резисторов построенныв соответствии с установленным рядом номинальных мощностей рассеяния (ГОСТ 9663—75).

1.1 Контролируемые параметры подстроечных резисторов

Параметры и характеристики переменных резисторов представляют важную информацию об свойствах и надежности изделия. Номинальное сопротивлениепоказатель сопротивления для которого собственно и предназначен резистор и превышение которого может привести к выходу из строя. Как правило номинальное сопротивление указывается на самом резисторе, а также оно обязано указываться в сопроводительной документации резистора.

В соответствии с МЭК и СЭВ стандартизируются большинство

сопротивлений резисторов. В России принято 6 рядов, а именно*E6, E12, E24, E48, E96* и *E192*. Плюсом к этому также используется ещё и ряд *E3*исходя из стандарта СЭВ 1076-78. Эти ряды есть ничто иное как геометрические прогрессии с десятичными интервалами в которых цифра после буквы *E* указывает количество номинальных значений в каждом интервале.Ряды *E3, E6, E12* и *E24* возникают в результате построения номинальных значений сопротивлений в ряды по аналогии с рядами *E6, E12* и другие.

Действительные показания сопротивлений имеют возможность отличаться от номинальных показаний в пределах используемыхдопусков. Допуски как правило для отдельного ряда установлены в процентах.

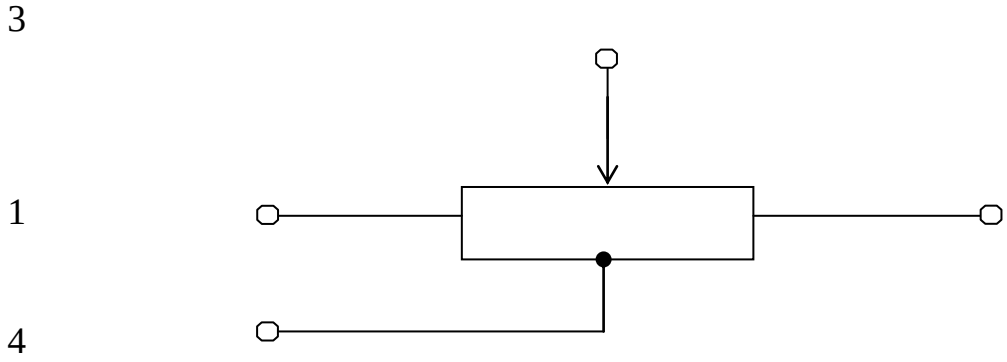


Рисунок 1.1 – Схематическое изображение переменного резистора

Полное сопротивление резистора *Rn* выражает сумму всех его сопротивлений при установлении подвижной системы в крайнее положение, и может несколько отличаться от номинального значения, установленного при производстве. Вверенные технологические процессы и особенности производства могут оказать влияние на отклонение сопротивления *Rn*, поэтому необходимо установить допустимое отклонение Δ*R* от номинального значения. Это значение процентное отношение полного сопротивления *Rn* к его номинальному значению. Допустимое отклонение Δ*R* регулируется нормативной документацией. Измерение *Rn* происходит между выводом 1 и другим выводом 2 во время доведения подвижного контакта в егокрайнее положение. Фиксирование полного сопротивления происходитпо

достижениитемпературы в 25 градусов с допустимым отклонением ±10 градусов, при достижении влажности воздуха составляющую 65% с допустимым отклонением максимально в ±15%, и допустимом атмосферном давлении приблизительно в 105±4·10³ Па или в другом измерении 750±30 мм рт.ст.

Иногда переменные резисторы производятся вместе с дополнительными выводами, состоящие из участков резистивного элемента, между выводами 1 и *R*доп.отв. Сопротивление между выводом 1 и дополнительным выводом при установке подвижной системы в крайнее положение называется сопротивлением дополнительного вывода. Переменный резистор можноохарактеризовать параметрами *R*н, Δ*R*, *R*доп.отв. Установленное сопротивление переменного резистора является электрическим сопротивление между выводом 1 и выводом 2. Минимальное сопротивление *R*мин переменного резистора это сопротивление, измеренное при доведении подвижной системы до упора при вращении против часовой стрелки.

В случае если у резистора нет упора, то минимальное сопротивление соответствует наименьшему значениюсопротивления. *R*мин.доп.отв. определяется как наименьшее сопротивление, измеренное между выводом 2 подвижного контакта и выводом дополнительного отвода. установленного Начальный скачок *R*н.с это резкое изменение сопротивления.

Начальный скачок сопротивления *R*н.с. - это значение сопротивления, с которого наблюдается плавное увеличение сопротивления в соответствии с перемещением подвижного контакта. Начальный скачок сопротивления происходит когда подвижной контактпереходит на токопроводящий слой.Это приводит к увеличению сопротивления *R*мин до *R*н.с. Начальный скачок обозначается в долях или процентах. Большинство переменных резисторов имеют ограниченный угол поворота или в случае движковых резисторов ход подвижной системы. Механический угол поворота -это полный угол поворота подвижной системы переменного резистора от упора до упора. Электрический угол поворота $\alpha_э$ – это угол поворота подвижной системы, в пределах которого

происходит изменение электрического сопротивления переменного резистора. Рабочий угол поворота α_p – это угол поворота подвижной системы, в пределах которого воспроизводится заданная функциональная характеристика переменного резистора.

Функциональная характеристика переменного резистора определяет зависимость сопротивления или напряженияот положения подвижного контакта. Переменные резисторы подразделяются на линейные типа А и нелинейные типов Б, В, Е и других. На рисунке 1.2 изображена функциональная характеристика.

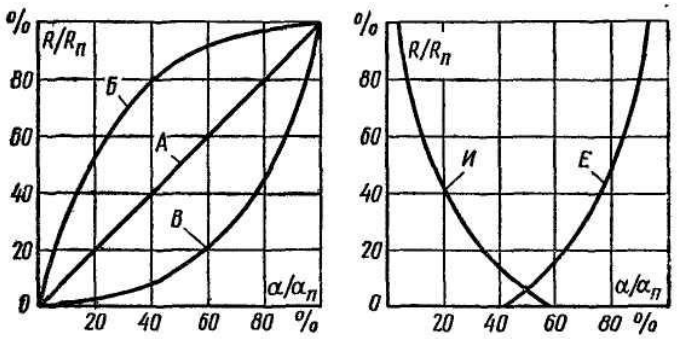


Рисунок 1.2 – Функциональные характеристики переменных резисторов

Отклонения от заданной кривой могут быть определены допусками. Для обычных переменных резисторов допуски как правило в 5-20%, тогда как для прецизионных резисторов они могут быть в пределах 0,05-1%. Отклонение в виде скачка может нарушить плавность регулирования, и может свидетельствовать о дефектах проводящего элемента или подвижного контакта.

Чтобы проверить функциональную характеристикуиспользуют осциллограф и образцовый переменный резистор. Разрешающая способность определяет наименьшее изменение угла поворота или перемещения подвижной системы, при котором изменение сопротивления резистора будет различимо.

Характеристика разрешающей способности выражается в минимально различимом изменении сопротивления резистора при очень малом перемещении подвижного контакта. Отношение скачка сопротивления (или напряжения) при перемещении подвижного контакта к общему сопротивлению (или напряжению) отражает количественную разрешающую способность. Для

выражения данного параметра используют проценты или тысячные доли напряжения. Беспроволочные резисторыобладают высокой разрешающей способностью.

Разрешающая способность переменных проволочных резисторов зависит от числа витков проводящего элемента. Она определяется как изменение сопротивления (или напряжения) при перемещении подвижного контакта на один виток. Угловая разрешающая способность – это угол, на который должен переместиться подвижный контакт, чтобы перейти с витка на виток (угловой градус обмотки).

При равномерном шаге намотки угловая разрешающая способность равна

$$\Delta_{\text{у}} = \frac{\alpha}{n}, \qquad (1.1)$$

где*a* – угол поворота подвижной системы в пределах угла намотки резистивного элемента;*n* – число витков.

Угловая разрешающая способность это параметропределяющий соотношение между величиной угла и числом витков обмотки.

Рабочий электрический угол характеризуется углом поворота подвижной системы, в пределах которого происходит изменение сопротивления напряжения.

Некоторая часть витков обмотки может находиться вне зоны активного участка.Это приводит к различию между рабочим электрическим и механическим углами. Угловая разрешающая способность при не меняется.При перемещении подвижного контакта с витка на виток величина наименьшего приращения выходного напряжения $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ равна $U_{\text{ВХ}}/n$, где $U_{\text{ВХ}}$– рабочее или входное напряжение, подводимое к резистору, n – число витков. Тогда электрическая разрешающая способность будет равна:

$$\Delta = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \cdot 100 = \frac{U_{\text{ВХ}}}{nU_{\text{ВХ}}} \cdot 100 = \frac{1}{n} \cdot 100\,. \qquad (1.2)$$

Переменные проволочные резисторы имеют разрешающую способность от 0,1% до 3%.Всвою очередь прецизионные резисторы обладают разрешающей способностью до тысячных долей процента.

Резисторы имеют собственные шумы состоящие из тепловых и токовых шумов. Уровень шума измеряется путем определения ЭДСшума. Тепловые шумы возникают из-за флюктуационных изменений объемной концентрации электронов в резистивном элементе, вызванных их тепловым движением.

При включении под электрическую нагрузку резистивный элемент испытывает также и токовые шумы, вызываемые флюктуациями контактных сопротивлений между проводящими частицами а также трещинами, неоднородностями и дефектами элемента. Уровень таких шумов не зависит от протекающего тока, а определяется температурой и сопротивлением элемента.

Токовые шумы зависят от материала и конструкции резистивного элемента причем в большей степени это утверждение верно для непроволочных резисторов значение ЭДС шумов которых может достигать нескольких десятков мкВ/В.

Уровень шумов Д определяют отношением действующего значения переменной составляющей напряжения шумов *E* к приложенному постоянному напряжению *U*и выражают в микровольтах на вольт

$$Д = \frac{E}{U}. \qquad (1.3)$$

Чем больше температура и напряжение тем выше уровень собственных шумов в резисторе.

При использовании переменных резисторов в динамическом режиме появляются шумы скольжения. Эти шумы появляются из-за изменений

переходного сопротивления между подвижным контактом и резистивным элементом, а также из-за мгновенного прерывания контакта, когда подвижный контакт перескакивает с одного витка на другой.

Шум может возникать из-за разных факторов таких как например замыкание соседних витков подвижным контактом во время его потрясений или появления термо-ЭДС попричине разнородности металлов контактной пары и другими факторами. Однако, из всех этих причин наибольшую роль в создании шума играет скольжение, давая уровень шума достигающий 30-40

дБ.Обычно выражается в процентах от полного приложенного напряжения и измеряется для заданных приращений перемещения в пределах эффективного электрического перемещения.

Соответственно, это максимальная разница, измеренная между действительной и заданной функциональной характеристиками, выражаемая в процентах от полного сопротивления или полного приложенного напряжения (рисунок 1.3).

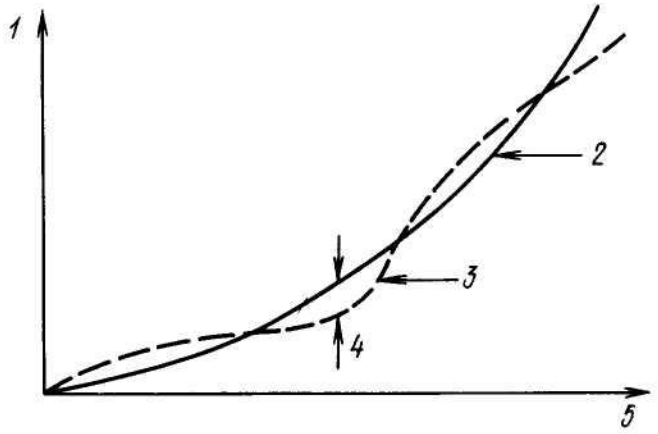


Рисунок 1.3 – График соответствия

На рисунке 1.3: 1– коэффициент деления напряжения U_{ab}/U_{ac};2 – заданная функциональная характеристика;3 – действительная функциональная характеристика;4 – соответствие; 5 – перемещение Θ.

Номинальная мощность $P_н$это максимально допустимая мощность, которую резистор может длительное время рассеивать при непрерывной электрической нагрузке. При повышении температуры окружающей среды теплоотдача ухудшается, а это приводит к перегреву. Появляется потребность в снижении электрической нагрузки и рассеиваемой мощности.

ТКСэто относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры на 1°*C*. ТКС является одним из ключевых параметров для оценки эффективности работы резистора.

Температурный коэффициент сопротивления может быть использован для определения границы рабочего диапазона резистора в зависимости от температуры окружающей среды и нагрузки. Кроме того, исследование ТКС может помочь в разработке и улучшении саморегулирующихся систем, что

повышает устойчивость и эффективность работы резисторов в различных условиях эксплуатации. Таким образом, температурный коэффициент сопротивления является важным параметром при проектировании и испытаниях резисторов.

При определении температурного коэффициента сопротивления на практике широко используется среднее значение. Можно как использовать измеритель так и провести три измерения значения сопротивления – при температуре 20 °*C*. А именно крайнее положительное и крайней отрицательноезначение – и воспользоваться формулой

$$\text{ТКС} = \frac{\Delta R}{R_1 \Delta t}, \qquad (1.4)$$

где ΔR– алгебраическая разность между сопротивлением, измеренным при заданных положительной или отрицательной температурах, и сопротивлением, измеренным при нормальной температуре; R_1– сопротивление резистора, измеренное при нормальной температуре; Δt– алгебраическая разность между заданной положительной или заданной отрицательной температурой и нормальной температурой.

1.3 Методы контроля шумов перемещения

Для прецизионных резисторов действительное значение сопротивления

имеет допускаемое отклонение ±0,1%.Методы измерения сопротивления резисторов установлены в ГОСТ 21342.20-78. К методам измерения относятся мостовой метод, компенсационный метод, метод вольтметра-амперметра и т.д.

При измерении напряжение на резисторе не должно превышать 30% от напряжения, соответствующего его номинальной мощности рассеяния, или 10% предельного рабочего напряжения. Абсолютная величина измерительного напряжения не более 100В. Для прецизионных измерений считается, что мощность, подаваемая на резистор, не искажает результатов измерений, если $P_{\text{ИЗМ}} << 0,1 P_{\text{н}}$.

Дляизбежаниянеправильной оценки отклонения применяются приборы с погрешностью не более 20% допустимого отклонения.Стандартом устанавливается допустимая комплектная погрешность метода измерения, а не погрешность отдельно взятого прибора.

Классификация аппаратуры, применяемой при измерении сопротивлений, изображена на рисунке1.4.

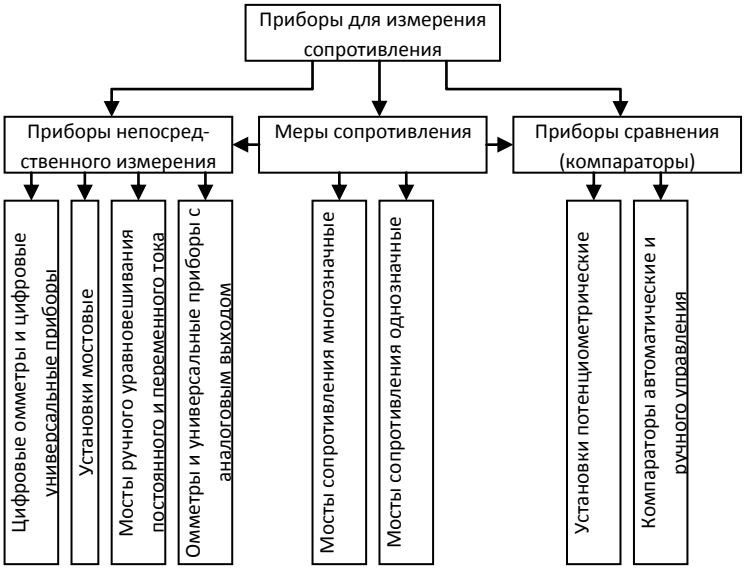


Рисунок 1.4 – Классификация аппаратуры для измерения сопротивления

В ГОСТ 21342.15-78 установлены метрологические нормы и метод измерения ТКС.Измерение ТКС происходит путем измерения сопротивления при нормальной температуре и при заданной температуре.Аппаратура для измерения ТКС используется та же что сопротивления.

При методе уравновешивания моста изначальное показание снимается после уравновешивания моста для определения изначальной температуры. После нагрева резистора, мост снова уравновешивается. После двух измерений рассчитывается ТКС. Метод позволяет получить погрешности измерения до 5-10^{-7}, которые зависят от чувствительности используемых мостов и чувствительности нуль-индикаторов.

Метод градуировки нуль-индикатора, подразумевает уравновешивание моста и снятие первого показания $R1$.Затемискусственно производится разбалансирование моста. Затем мост уравновешивается, а резистор нагревается. ТКС рассчитывается по формуле,

$$ТКС = \frac{C \cdot K}{R_1 \Delta t}, \qquad (1.5)$$

где C – количество делений, отсчитанное по шкале нуль-индикатора; K – коэффициент чувствительности (Ом/дел) нуль-индикатора.

Напряжение неуравновешенного моста, оставленного из сопротивлений R_1, R_2, R_3и измеряемого R_x, определяется с достаточной точностью выражением

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_0 \frac{R_1 \cdot R_{xm}}{(R_1 + R_{xm})^2} \delta R_x, \qquad (1.6)$$

где R_1 – сопротивление, включенное в одно плечо с измеряемым; R_{xm}– номинальные величины измеряемого сопротивления; U_0 – напряжение источника питания.

Если в этом выражении ввести обозначение

$$\frac{R_1 \cdot R_{xm}}{(R_1 + R_{xm})^2} = \frac{1}{A}, \qquad (1.7)$$

- то тогда $U_{\text{ВЫХ}} = \left(\frac{U_0}{A}\right)\delta R_x$ или $\delta R_x = U_{\text{ВЫХ}}\left(\frac{A}{U_0}\right)$.

Если величину U_oвыбрать численно равной Л, то измеряемая погрешность будет равна выходному напряжению индикаторной диагонали моста. Для данного номинала производят градуировку моста и определяют по приведенной выше методике величину $U_o = A$. К мосту подключают источник с напряжением, мост уравновешивают, затем нагревают резистор и по шкале нуль-органапроизводят отсчет относительного изменения сопротивления после чего подсчитывают ТКС.

Погрешность методов измерения ТКС не указана в нормативной документации. В ГОСТ 21342.15-78 определяются допустимые отклонения температуры в измерительной камере не более 3-10 °C, а точность измерения температуры не более ±2 °C.

ВГОСТ 21342.20-78 указываетсячто допустимая погрешность измерения сопротивления должна соответствовать значению относительного изменения сопротивления измеряемого резистора в заданном диапазоне температур, а допустимая погрешность измерений - суммарная методическая погрешность

двух измерений сопротивления.

Метод, для определения частотной погрешности проволочных резисторов, подразумевает под собой сравнение значений измеряемого сопротивления и образцового сопротивления. Они вдвоем заменяют опорный резистор и вместе с тем образуют делитель напряжения вместе с ним. Параметры делителя сравниваются впоследствии с параметрами образцового делителя, который всегда работает на частоте 0,5-1 Гц и потому не имеет частотной погрешности.

Для измерения частотных погрешностей на частотах до 2 МГц с диапазоном сопротивлений 10–10^6Ом Используется метод сравнения на разных частотах частотно-зависимого падения напряжения исследуемого резистораU_xс частотно-независимым падением напряжения на образцовом резисторе U_0 (рисунок 4); в качестве частотно-независимого резистора выбирают резисторы типов *С*2-10, *С*2-34, УЛИ, БЛП и др. При этом измеряются частотные погрешности величиной начиная от 0,1% и более.

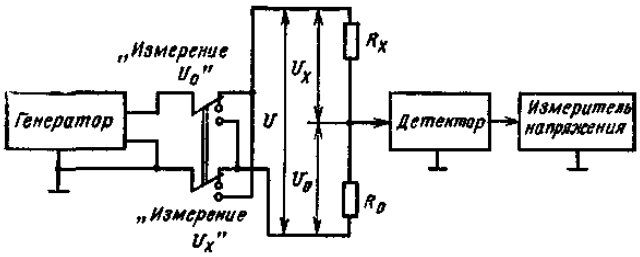


Рисунок 1.5 – Схема измерения частотной погрешности резисторов

Для измерения реактивных параметров используют измерение их постоянной времени для чего применяют приборы из таблицы 1.1.

Таблица1.1 – Приборы для измерения постоянной времени резисторов

Наименование	Тип	Диапазон измеряемых сопротивлений, Ом	Предел измерения, с	Основная погрешность измерений
Установка Мост переменного токаавтоматическийс цифровымотсчетом	У592 Р5010	$5 – 10^4$ $0{,}1 – 10^6$	$1\cdot10^{-8} – 1\cdot10^6$ До $1\cdot10^{-5}$	±1% ±2%

То же	Р5058	$10^{-2} – 10^{7}$	До $1 \cdot 10^{4}$	±0,2%

Фактическое значение разрешающей способности Δпроволочных резисторов измеряется несколькими методами. Если движок вращается резистор подключают со стороны входа к источнику питания всвою очередь к выходу резистора подключают дифференцирующую *RC*-цепочку с постоянной времени, определяемой из выражения

$$\tau_{RC} \approx \frac{t_{\text{В}}}{(3\text{К } 5)}, \qquad (1.8)$$

где t_B– время перемещения контакта от витка до витка.

Импульсы из цепочкичерез усилитель подаются на счетчик *СИ* и шлейфовый осциллограф *ШО* изображенный на рисунке 1.6,

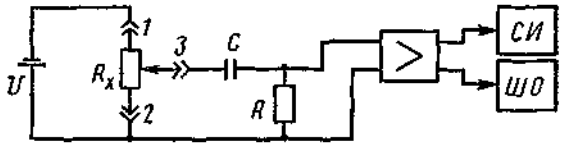


Рисунок 1.6 – Схема качественной оценки разрешающей способности переменных резисторов

Для получения результатов измерения в единицах Δво всем диапазоне угла поворота используют схему на рисунке 1.7.

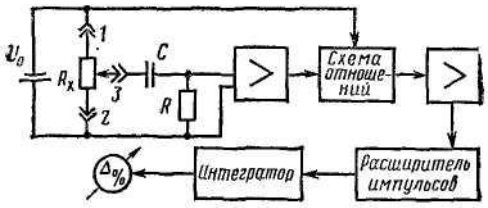


Рисунок 1.7 – Схема измерения разрешающей способности переменных резисторов

Импульсы с усилителя подают на схему отношенийс выхода которой получают сигнал U_x, пропорциональный разрешающей способности резистора:

$$U_x = k\Delta, \qquad (1.8)$$

где *k*– постоянный коэффициент.

После усиления импульсов они попадают на расширитель увеличивающий их длительность сохраняя амплитуду. В последствии

импульсы подаются на регистрирующий прибор.

В рассмотренных схемах к входному сопротивлению усилителя *R*предъявляется требование $R>>R_{Ш}$, где $R_{Ш}$– эквивалентное сопротивление шумов перемещения подвижной системы. Сопротивление $R_{Ш}$включено последовательно с *C* и *R*, потомупри несоблюдении условия прибор будет вместе с разрешающей способностью регистрировать шумы перемещения.

В прецизионных измеренияхиспользуется метод статической оценки разрешающей способности в установленных точках. Проводится измерение компенсаторами обладающими требуемой разрешающей способностью напряжения. Движок резистора устанавливают в необходимую точку, уравновешивают компенсатор проводят первый отсчет. Проводится второй отсчет после установки самого малого приращения угла поворота подвижной системы. Компенсатор уравнивается по истечению каждого из измерений .

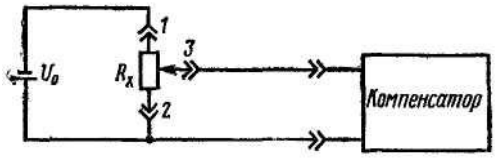


Рисунок 1.8 – Схема измерения разрешающей способности переменных резисторов в установленной точке

Величина разрешающей способности находится по формуле

$$\Delta = \frac{\Delta U}{U_{\text{ВХ}}}, \qquad (1.9)$$

где ΔU – разность показаний компенсатора при двух отсчетах;

$U_{ВХ}$– напряжение на входе резистора.

В ГОСТ 21342.6-75 указаны принципы для построения измерительной аппаратуры а также для измерения шумов вращения и вместе с ним методы измерения.В нем указаны два метода измерения шумов вращения соответственно для переменных непроволочных и для проволочных резисторов, а именно первый метод измерения напряжения шумов вращения и

второй метод измерения эквивалентного сопротивления шумов вращения.

Измерение напряжения шумов вращения производится схеме с рисунка 1.9.

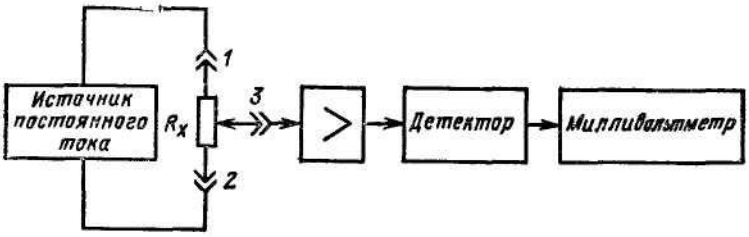


Рисунок 1.9 – Схема измерения напряжения шумов вращения

Для измерения эквивалентного сопротивления шумов используется метод, берущий началоиз регистрации отдельных скачков сопротивления, появляющихся при превышении установленных уровней. Количество нарушений определяется как критерий оценки резисторов. Резистор подключают к источнику питания на потенциометрической схеме. На усилитель подали выходное напряжение резистора. Выходное же напряжение усилителя было детектировано и впоследствии зарегистрировано милливольтметром как импульсы напряжения. Допустимая погрешность метода не более ±25% от измеряемого напряжения шумов. Была использована схема на рисунке 1.10.

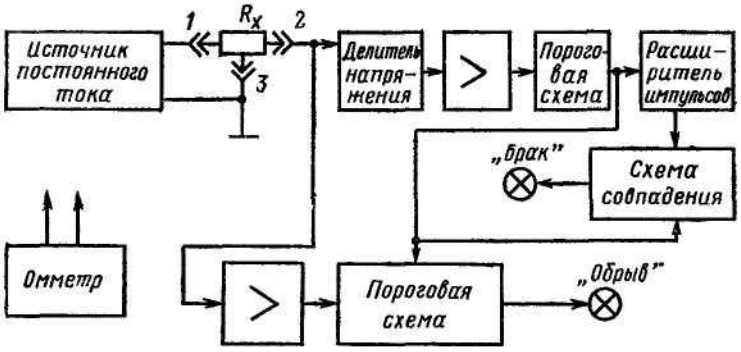


Рисунок 1.10 – Схема измерения эквивалентных сопротивленийшумов вращения

Резистор был подключен к источнику постоянного тока через вывод 1 и вывод 3 на реостатной схеме. Благодаря двум каналам регистрировались импульсы напряжения соответствующие скачкам контактного сопротивления. Первый канал это канал регистрации импульсов.Второй каналэто канал регистрации обрыва цепи резистора.

Канал регистрации импульсов содержит два канала, а именно верхний и нижний. Через делитель переключающий диапазоны измерения и через усилитель в верхнем канале импульс напряжения попадает на вход пороговой схемы. Здесьсравнивается его уровень с установленным порогом. Входной сигнал превышает заданный порог - на выходе схемы генерируется сигнал поступающий на вход схемы совпадения после чего загорается лампочка "Брак". При обрыве цепи подвижного контакта срабатывал нижний контактзажигая лампочку "Обрыв".

Реостатная схема оказалась эффективной в использовании в сочетании с каналами регистрации импульсов а также регистрации обрыва цепи резистора для определения контактного сопротивления и прекращения работы в случаях обрыва цепи при использовании резистора. важно учитывать методическую погрешность, которая может достигать значительных величин до ±10%.

В ГОСТ 21342.19-78 установлены методы косвенного и сравнительного измерения.

При косвенном измерении предварительно измеряется напряжение шумов на испытуемом резисторе.Потом подсчитывается ЭДС тепловых и токовых шумов с учетом подаче постоянного напряжения на резистор. Второй метод предполагает сравнение рабочего резистора с образцовым резистором.Это позволяет найти уровень шумов и сравнить его с предельной погрешностью измерения. Измерение проводится на схеме из рисунка 1.11, на котором R_x– измеряемый резистор, а$R_Р$– специальный разделительный резистор.

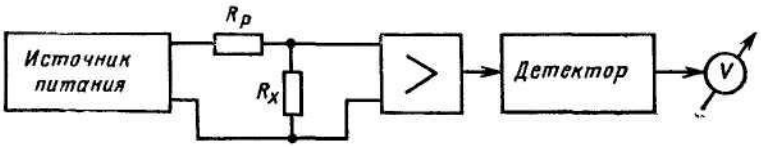


Рисунок 1.11 – Схема измерения шумов косвенным методом.

Для эксперимента был выбран диапазон частот от 60 до 6000 Гц.Точность метода в пределах 20 процентов.

Второй метод реализуется по схеме на рисунке 1.12.

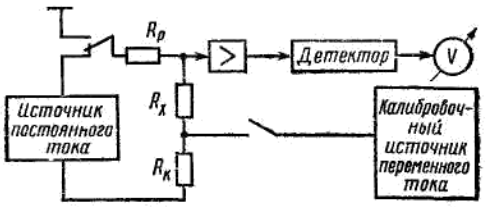


Рисунок 1.12 – Схема измерения шумов методом сравнения

Вначале необходимо откалибровать прибор. Для этого его подключают к источнику переменного тока с напряжением 0.6-0.7 мВ и частотой 1000±20 Гц. Чтобы подключить источник в схему применяется калибровочный резистор сопротивлением 1Ом. Из показаний выходного вольтметра находится необходимый коэффициент усиления.

Также необходимо учитывать еще и влияние шумов входного устройства. Для этого измеряется величина шумов при отключенных источниках питания. Так определяется влияние шумов на результаты измерений.

После предварительных измерений нужно подключить источник питания постоянного тока и измерить величину суммарных шумов для определения возможных искажений. Уровень шумов *Д* определяется выражением

$$Д = T – F(T–S) – N, \qquad (1.10)$$

где T – измеренные суммарные шумы, дБ; N – напряжение источника постоянного тока, дБ; $F(T–S)$ – поправочный коэффициент (определяется изприложения 2 ГОСТ 21342.19-78).

Значение сопротивления резистора может быть измерено с погрешностью не превышающей ±10%. Для осуществления измерений применяется схема, представленная на рисунке 1.13, где подвижный контакт соединен с резистивным элементом.

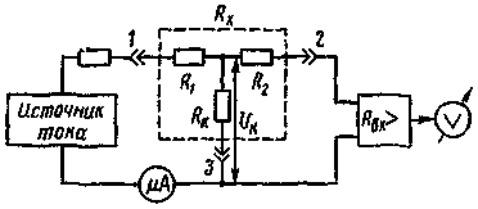


Рисунок 1.13 – Схема измерения переходного сопротивления

Резистор выводом*1* ивыводом*3* подключается к источнику тока. На

переходном сопротивлении появляется напряжение U_K, которое пропорционально показателюпереходного сопротивления. Сопротивление R_2вносит погрешность в результат измерения. Она подсчитывается по формуле

$$\delta R_K = \frac{R_2}{R_1 + R_{\text{ВХ}}} 100\% . \qquad (1.11)$$

Прибольшом входном сопротивлении усилителя околоR_{BX} >> (10 ÷ 50) R_2,погрешность становится небольшой, не более±5% Метод дает возможность автоматизации процесса измерения.Можно поставить самописец на выходе усилителя.

С целью уменьшения погрешности измерений при использовании резистора со значениями выхода 2 и 3, может применяться специальный компенсатор, благодаря чему возможно исключение значений ошибки δR_K. Для измерения функциональных характеристик применяются методы проверки по напряжению и проверки по сопротивлению. Они включают методы измерения в отдельных точках,а также методы из ГОСТ 21342.3-75. Проверка по напряжению подразумевает, что резистор подключается к согласно схеме на рисунке 1.14.

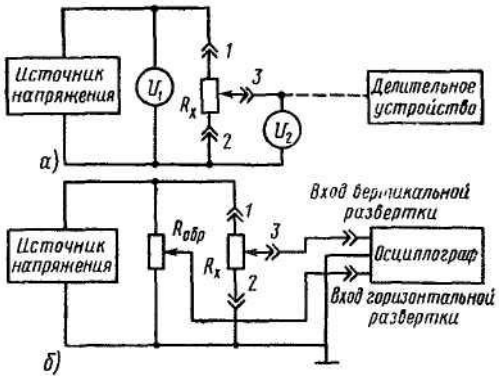


Рисунок 1.14 – Схема измерения функциональной характеристики

Для измерения по точкам измеряют значение напряжения питания U_1а затем напряжения U_2по меньшей мере в семи точках. Основное преимущество метода измерения с помощью мостовой схемы состоит в высокой точности и удобстве при измерении проволочных резисторов. Измерения проводятся как по точкам от 100 и более так и при непрерывном перемещении подвижногоконтакта.

Для измерения применяют подвижный контакт, который перемещают при помощи делительного устройства. Измерения проводят по точкам или с помощью проверкисопротивления, для которого измеряется полное сопротивление резистора между выводом 1 и выводом 2, потом сопротивление между выводом 2 и выводом 3 в по меньшей мере семи точках.

При непрерывном методе напряжение с резистора подают на вертикальный вход осциллографа, а на его горизонтальный вход соответственно подают напряжение с выхода образцового резистора ($R_{\text{обр}}$).

Проводят сравнение с расчетами и выявляют погрешность. Обработка результатов проводится с помощью аналогично описанного выше метода.

Резистор включенный в мостовую схему изображен на рисунке 1.15.

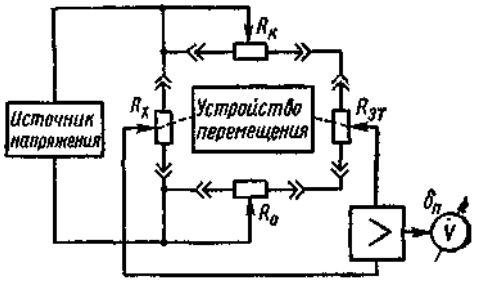


Рисунок 1.15 – Схема измерения функциональной характеристики мостовым методом

В мостовой схемеприсутствуют сопротивления R_oи R_K, корректирующие начало и конец характеристики резистора. Выходное напряжение из индикаторной диагонали мостапереходит на вход усилителя его фиксируется вольтметром на выходе.

Схема на рисунке 1.16 аналогична рассмотренной выше, но имеет уже два рабочих контура. Уравновешивание контуров происходит как в начале так и вконце характеристики благодаряR_aи R_K. Более схемыне отличаются.

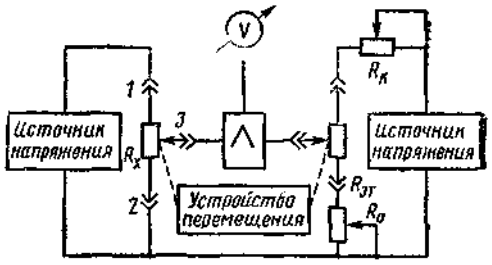


Рисунок 1.16 – Схема измерения функциональной характеристики

потенциометрическим методом

В соответствии с ГОСТ 21342.5-75 присутствует порядок измерения. Параметры измеряют последовательно на одном устройстве, по возможности с аналоговым выходом. Для того чтобы измерить минимальное сопротивления резистора с упором, подвижныйконтакт перемещают до одного из выводов а затем подсчитывают значение между выводом 1 и выводом 2. После этого подвижный контакт перемещается пока не зафиксируется сопротивлениекогда оноплавно изменяется. Значение принимают за начальный скачок.

1.4 Сущность статистического состояния и проблем в области контроля шумов перемещения

Плавность изменения сопротивления переменного резистора при равномерном перемещении подвижного контакта это частный случай оценки его функциональной характеристики. Также оценивают линейность ФХ в случае линейной зависимости.Линейность проверяют только у тех устройств, при использовании которых используется весь рабочий диапазон ФХ. К ним относятся регулировочные резисторы и резистивные датчики углового положения.

Подстроечные резисторы применяются только при подстройке электрических схем на этапе производства изделий. Данный резистор предназначен для воспроизведения только одного значения сопротивления. Проверка линейности ФХ в данном случае излишняя, поскольку в этом случае важно только отсутствие точек разрыва ФХ.

Метод проверки плавности следующий.Испытываемый потенциометр присоединяется, как показано на рисунке 1.17. Плавность выходного сигнала измеряется в пределах не менее 70% эффективного электрического перемещения при приращениях угла, равных 1% эффективного электрического перемещения.Плавность выходного сигналане должна превышать значения,

приведенного в ТУ на изделия конкретных типов, выбранного из ряда 0,01; 0,025; 0,1; 0,5 и 2,0%.

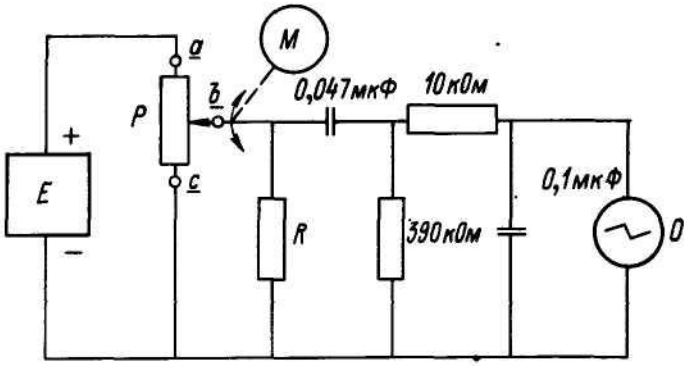


Рисунок 1.17 – Испытательная схема для измерения плавности выходного сигнала

P – испытываемый потенциометр;

E – источник постоянного тока с напряжением 10 В или с номинальным напряжением (выбирается меньшая величина);

R – номинальное сопротивление ×100 или как указано в ТУ на изделия конкретных типов;

O – осциллоскоп с полосой пропускания ≥ 1 кГц и входным полным сопротивлением ≥1 МОм;

M – вращает подвижное устройство не менее чем на 80 и не более чем на 95% эффективного электрического перемещения в противоположных направлениях. Скорость вращения должна быть 3–5 оборотов в минуту и должна быть постоянной в течение70% продолжительности перемещения.

Плавным признается тот резистор, у которого отсутствуют точки разрыва. Данный метод оценки плавности является субъективным поскольку степень получаемой информации целиком зависит от оператора. В силу специфики данного параметра,метод не поддается автоматизации, что влечет за собой большие временные затраты.Поэтому необходимо выработать критерий плавности, которыйпозволил бы проводить проверку плавности без участия человека.

2 Разработка автоматизированной системы контроля шумов перемещения

2.1 Разработка структурной схемы устройства

Проведение измерения параметров переменного резистора в цифровой форме и последующая математическая обработка результатов были использованы при создании рабочей станции. Это позволяет автоматизировать процесс контроля плавности изменения сопротивления при работе устройства.

Работа установки поясняется структурной схемой, показанной на рисунке 2.1.

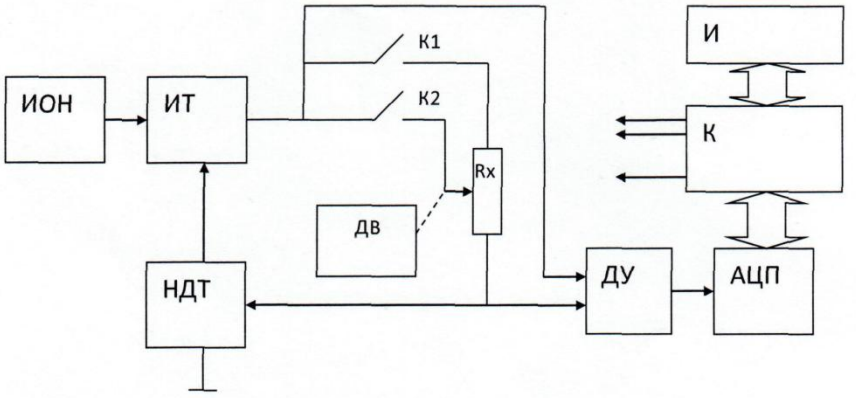


Рисунок 2.1 – Электрическая структурная схема

Данная схема функционирует следующим образом. На измеряемый резистор подается номинальный ток от источника тока (ИТ). Падение напряжения на измеряемом резисторе подается на вход дифференциального усилителя (ДУ), затем на АЦП, где преобразуется в цифровой эквивалент. Контроллер (К) считывает показания, обрабатывает их и выдает результат на индикатор (И).

					ПГУ.2.11.03.04.017ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			
Разраб.		Степуков			Разработка автоматизированной системы контроля шумов перемещения	Лит.	Лист 30 / Листов 70
Провер.		Доросинский					
Н. Контр.		Рыжова		18.06		группа 19ПД	
Утверд.							

В зависимости от контролируемой величины к измерительной схеме контролер управляет ключами *К*1 и *К*2 замыкая или размыкая их, подключая тем самым ко входу либо полное сопротивление резистора либо сопротивление между подвижным или неподвижным контактами в случае оценки передаточной характеристики. Также *К* управляет шаговым двигателем, который перемещает подвижный контакт. Источник опорного напряжения (ИОН) служит для питания всей схемы, а также выступает в роли входной величины для источника тока, который преобразует его в ток. Нормируемый делитель тока (НДТ) необходим для изменения величины тока в зависимости от номинала проверяемого сопротивления.

1.1Разработка функциональной схемы устройства

Функциональная схема установки необходима для пояснения реализации основных преобразований. Функциональная схема представлена в приложении Б. Опишем функционирование установки согласно функциональной схеме.

Значение измерительного тока определяется величиной выходного напряжения источника опорного напряжения а также сопротивлением выбранного *i*-го датчика тока:

$$I_{изм} = \frac{U_0}{R_{\partial i}}, \quad (2.1)$$

где: U_o – выходное напряжение ИОН;

$R_{\partial i}$ – сопротивление *i*-го датчика тока из набора НДТ.

Значение измеряемого тока берется из допускаемой мощности:

$$I_{изм}^2 \cdot R_н \le 0.1 \cdot P_{доп}, \quad (2.2)$$

где: $R_н$ – номинальное (установленное) значение сопротивления контролируемого резистора;

$P_{доп}$ – допускаемое значение рассеиваемой мощности на контролируемом резисторе.

Измерительный ток $I_{изм}$ с выхода источника ИТ проходитпо замкнутому ключу$K1$ (ключ $K2$ разомкнут) и вывод 1 и вывод 2 контролируемого резистора R_x, один из датчиков тока НДТ. Падение напряжения от протекания $I_{изм}$ через R_xпринимается дифференциальным усилителем ДУ и подаётся на вход АЦП:

$$U_{вхАЦП} = R_н \cdot I_{изм} \cdot K_{ду}, \qquad (2.3)$$

где: $K_{ду}$ – коэффициент усиления дифференциального усилителя ДУ.

АЦП преобразует напряжение UвхАЦП в код, сравниваемый контроллером K с кодом номинального (установленного) значения контролируемого резистора:

$$\Delta R_н = R_{изм} - R_н . \qquad (2.4)$$

Сопротивление начального скачка и сопротивление плавности изменения измерительный ток $I_{изм}$ с выхода из источника тока ИТ проходит по ключу$K2$, подвижный контакт 3 контролируемого резистора $R_х$, установленное сопротивление между выводами 3 и 1 контролируемого резистора и датчик $R_{дi}$. Падение напряжение от протекания измерительного тока $I_{изм}$ через установленное сопротивление контролируемого резистора воспринимается дифференциальным усилителем ДУ и подаётся на вход АЦП:

$$U_{вхАЦП} = R_у \cdot I_{изм} \cdot K_{ду}, \qquad (2.5)$$

где: $R_у$ – установленное значение сопротивления между 3 и 1 (или, в зависимости от направления перемещения подвижного контакта, 3 и 2) выводами контролируемого резистора.

АЦП преобразует напряжение $U_{вхАЦП}$ в код, сравниваемый контроллером K с допускаемым значением минимального сопротивления (0,95 Ом; 0,85 Ом; 1 Ом) или допускаемым значением сопротивления начального скачка (9,5 Ом при $R_н \leq 4{,}7$ кОм или 14,5 Ом при $R_н > 4{,}7$ кОм).

Контроль плавности изменения сопротивления осуществляется на основании анализа выходной функции. Монитор М включает в себя органы управления (клавиатуру 1 и кнопку 5 «ПУСК») и отображения (табло 2 «РЕЗУЛЬТАТ» и индикаторы 3 «*Rn», «Rmin», «Rск*» и «Пл»), расположенные

на передней панели измерительного блока. С помощью монитора оператор управляет режимами работы стенда и считывает результаты контроля.

2.3 Выбор электронной компонентной базы

Микроконтроллер *AT89C52*, произведенный компанией *Atmel*, представляет собой высокопроизводительный однокристальный устройство с восьмиразрядным микропроцессором в основе. В его состав входит 8-килобайтная электрически программируемая и стираемая *Flash*-память, используемая только для чтения. Есть 256-байтное оперативное запоминающее устройство ОЗУ, 32 программируемые линии ввода/вывода, 3 16-разрядных таймера/счетчика. Также присутствует система прерываний состоящая из 8 видов, программируемый дуплексный последовательный интерфейс в комплекте, генератор тактовый, регистры общего назначения в количестве 32 а также набор специальных функциональных регистров (аббревиатура *SFR*). Прибор совместим с *MCS-51*. Основные функциональные блоки *AT89C52*, имеют в своем составе блок управления, блок умножения/деления, блоки программного и аппаратного обеспечения, для арифметическо-логического устройства, имеютсяблоки таймеров/счетчиков, блокипрерываний и последовательного интерфейса, порты ввода/вывода, присутствует программный счетчик, имеется память данных ОЗУ, а такжепамять программ *Flash*. При этом блок управления отвечает за организацию потока данных и команд, а блок умножения/деления выполняет соответствующие арифметические операции

Координация функциональных блоков микроконтроллера обеспечивается благодаря внутренней 8-разрядной магистрали данных, которая осуществляет двусторонний обмен информацией. Блок управления отвечает за генерацию синхронизирующих и управляющих сигналов, необходимых для согласованной работы блоков микроконтроллера в различных режимах его функционирования.

Арифметическо-логическое устройство является параллельным восьмиразрядным блоком, который гарантирует выполнение арифметических и логических операций, выполнение операций логического сдвига, обнуления и установки а также других операций.

Целью функционирования счетчиков/таймеров (*T/C*) является подсчет внешних событий, создание управляемых программно задержек времени и выполнение функций времязадержки микроконтроллера. Для этого блок содержит два 16-разрядных регистра, а именно*T/C0* и *T/C1*, а также восьмиразрядные регистры режимов (*TMOD*) и регистры управления (*TCON*).

Задача 16-разрядных регистров *T/C0* и *T/C1*состоит в сохранении содержимого счета. Все регистры состоят из двух восьмиразрядных регистров - *TH0, TL0* и *TH1, TL1*. При этом более старшие разряды содержатся в регистрах *TH0* и *TH1*, а младшие - в *TL0* и *TL1*. Регистры имеют свой адрес и могут использоваться в качестве регистров общего назначения (РОН), если *T/C* не задействован.

Содержание счета заносится в регистры *T/C* программно в виде кода начального счета. Таким образом, данная группа блоков обеспечивает возможность полноценного управления временными характеристиками микроконтроллера и расширяет его функциональные возможности.

Содержимое регистров *T/C* может изменяться. Окончание счетапроисходит если регистр *T/C*переполнен и его содержимое переходит из состояния все единицы в состояние все нули. Для контроля достижения требуемой величины счета используется программное управление, которое осуществляется по чтению регистров *TH0, TH1, TL0, TL1*.

Для определения режимов работы каждого *T/C* используется регистр режимов *T/C* (*TMOD*) - он предназначен для приема и хранения кода, который определяет один из 4-х возможных режимов работы, а также работу в качестве таймеров или счетчиков и управление *T/C* от внешнего вывода.

Регистр управления (*TCON*) применяется для приема и хранения кода управляющего слова, определяющего режим работы каждого *T/C* в соответствии с содержимым регистра *TMOD*.

Блок последовательного интерфейса (порта) и прерываний (ПИП) предназначен для организации системы ввода-вывода последовательных потоков информации и работы системы прерываний программ.

В состав блока ПИП входят несколько компонентов, которые необходимы для обеспечения работы последовательного интерфейса. Это буфер ПИП, логика управления ПИП, регистр управления, буфер передатчика и приемника, приемник/передатчик последовательного порта, регистр приоритетов прерываний и регистр разрешения прерываний.

Буфер ПИП отвечает за побайтовый обмен данными между внутренней магистралью данных и шиной ПИП.

Логика управления ПИП имеет важную роль в процессе работы данного интерфейса. Она разрабатывает идентификационные ключи, которые необходимы для обеспечения четырех режимов работы последовательного интерфейса, и управляет процессом прерываний программ.

Регистр управления, также известный как *SCON*, является основным модулем для приема и хранения кода восьмибитового слова, которое контролирует работу последовательного интерфейса.

В рамках функционирования устройств связи существуют различные механизмы и компоненты, которые обеспечивают передачу, прием и обработку информации. Один из таких компонентов - буфер передатчика, который предназначен для приема параллельной информации с шины ПИП и последующей выдачи ее в виде последовательного потока символов на передатчик последовательного порта. В свою очередь, буфер приемника выполняет функцию приема данных в виде последовательного потока информации с последовательного порта, преобразования ее в параллельный вид, хранения и выдачи в параллельном виде на внутреннюю шину ПИП. Необходимо отметить, что буфер приемника и буфер передатчика имеют

одинаковое имя *SBUF* и его использование зависит от того, каким образом команда обращается к данному регистру. Если *SBUF* используется как регистр источника, то происходит обращение к буферу приемника, а если как регистр-назначение, то обращение происходит к буферу передатчика.

Приемник/передатчик последовательного порта является еще одним компонентом, выполняющим важную функцию в устройствах связи. Его основная задача - принимать последовательный поток символов со входа последовательного порта, выделять данные и выдавать их в буфер приемника, а также принимать последовательные данные с буфера передатчика, преобразовывать их в последовательный поток символов и выдавать его на выход последовательного порта. Данные механизмы позволяют обеспечивать эффективную передачу и прием информации в устройствах связи, повышают скорость передачи данных и увеличивают эффективность работы системы в целом.

Для эффективной работы микроконтроллера необходимо понимание работы основных компонентов. Один из таких компонентов - регистр приоритетов прерываний. Регистр выполняет функцию установки уровня приоритетов прерываний для каждого источника прерывания. Счетчик команд - еще один важный компонент, ответственный за формирование текущего адреса программной памяти.

Помимо этих компонентов, микроконтроллер использует порты *P0, P1, P2, P3*, которые представляют собой двунаправленные порты ввода-вывода. Они позволяют обмениваться информацией между микроконтроллером и внешними устройствами, образуя 32 линии ввода-вывода.

Кроме своих простых функций, линии портов могут выполнять и дополнительные задачи. Например, разряд порта *P3.0* может использоваться в качестве входа последовательного порта, предназначенного для ввода последовательных данных в приемник. А разряд *P3.1* может быть использован в качестве выхода последовательного порта, предназначенного для вывода последовательных данных из передатчика.

Представляется возможным использовать последовательный порт в качестве регистра сдвига для расширения ввода-вывода, либо в качестве универсального асинхронного приемо-передатчика (УАПП) со скоростью последовательного обмена, как фиксированной, так и переменной, и возможностью дуплексного включения. Интерфейс последовательного порта может работать в четырех режимах, в зависимости от требований устройства.

Режим 0 предполагает передачу и прием данных через вход приемника *RxD*. В режиме 1 данные передаются через выход передатчика *TxD* и принимаются через вход приемника *RxD*. Режим 2 также подразумевает передачу данных через выход передатчика *TxD* и прием через вход приемника *RxD*. Режим 3 идентичен режиму 2 за исключением задания частоты передачи и приема, которая определяется *T/C* 1.

При таких возможностях интерфейса последовательного порта он может использоваться для решения разнообразных задач, связанных с обменом данными и расширением ввода-вывода устройства.

Эта память предназначена для приема, хранения и выдачи информации, которая используется в процессе выполнения программы. Объем этой памяти неодинаков и может варьироваться в зависимости от требований программы. Одним из примеров такого типа памяти является память данных объемом 256 байт.

В компьютерных системах также используется память программ (*Flash*), которая предназначена для хранения программ и имеет объем в 8 Кб. Это позволяет пользователю сохранять и хранить большое количество программ, не занимая дополнительное место на жестком диске.

Существует класс аналого-цифровых преобразователей (АЦП), которые используют сигма-дельта (*SD*) преобразование. Этот тип преобразования имеет ряд преимуществ перед другими методами преобразования. В современных сигма-дельта АЦП преобразование осуществляется с избыточной дискретизацией, цифровой фильтрацией и децимацией преобразуемого сигнала.

Сигма-дельта модулятор является основным компонентом АЦП, который преобразует аналоговый сигнал в частотно-модулированную последовательность отсчетов, синхронизированную тактовыми импульсами. Он работает на основе ЧИМ модулятора с непрерывным интегрированием и уравновешиванием заряда, но без цепи тактовых импульсов. Квантование частоты также является важным компонентом в преобразовании сигнала в цифровой формат. Частота следования импульсов ЧИМ модулятора:

$$f_{мод}(t_i) = K_{мод} i_{вх}(t_i) = [i_{вх}(t_i)/I\ ]/t, \qquad (2.6)$$

где $K_{мод} = 1/S_I$ — коэффициент преобразования, а $f_{мод}(t_i)$ *и* $i_{вх}(t_i)$ — мгновенные значения частоты и тока в дискретных точках t_i, определяемых временным положением импульсов модулятора. В статическом режиме, при $i_{вх}(t) = i_{вх} = const$

$$f_{мод}(t_i) = f_{мод} = K_{мод} i_{вх} = (i_{вх}/I\ )/t. \qquad (2.7)$$

Процесс формирования последовательностей импульсов сигма-дельта модулятора показан на рисунке 2.2.

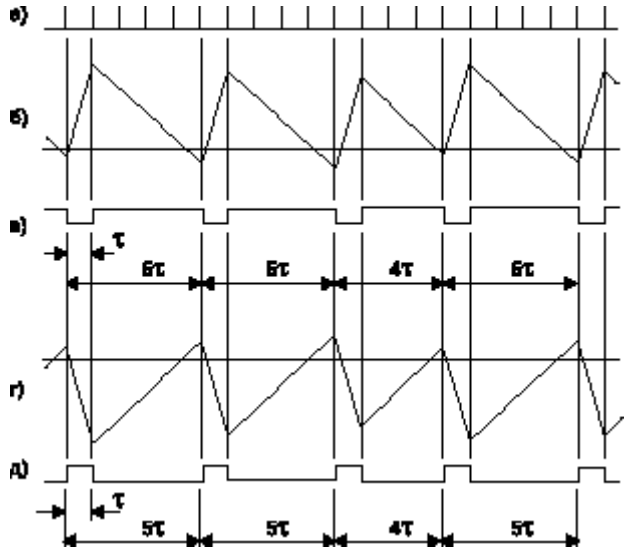


Рисунок 2.2 – процесс формирования последовательностей импульсов сигма-дельта модулятора

а — тактовые импульсы;

б, в — напряжение интегратора и выходная последовательность импульсов при $i_{вх} = (11/14)I > I/2$;

г, д — напряжение интегратора и выходная последовательность импульсов при $i_{вх} = (3/14)I<I/2$.

Обычно в АЦП квантованию предшествует дискретизация преобразуемого сигнала. Отсчеты берутся в точках дискретизации и являются, соответственно, его мгновенными значениями. В сигма-дельта АЦП последовательность действий изменена. В сигма-дельта модуляторе осуществляется квантованиесигнала с частотой f_m, а затем, при цифровом преобразовании, “оформляется” его дискретизация с частотой $f_д = f_m/2N$, где N — разрядность преобразования. Отсчеты берутся не в точках дискретизации, а определяются средними значениями частоты следования импульсов на интервалах дискретизации $Dt_j = 1/f_д$. Последнее определяет частотную характеристику преобразования, функция которой

$$a(F/f_д) = sin(2pF/f_д)/(2pF/f_д), \qquad (2.8)$$

где F — частота модуляции, она же — частота преобразуемого сигнала. На частотах $F = 0, f_д/8, f_д/4, f_д/2$, где $f_д/2$ — предельная частота согласно теореме Котельникова, $a(F/f_д) = 1, 0{,}9, 0{,}64, 0$, т. е. наблюдается плавный спад характеристики до нуля, требующий использования более узкого диапазона частот преобразуемого сигнала.Для возможности использования диапазона частот до $f_д/2$ может быть применена дополнительная передискретизация — с частотой $Kf_д$, при соответственно увеличенной в K раз частоте квантования. При этом вместо $f_д$ следует использовать $Kf_д$. Диапазон частот расширяется в K раз, в результате чего частотам до $f_д$ /2 будет соответствовать почти равномерный участок частотной характеристики. Степень равномерности будет зависеть от величины K. После преобразования избыточное расширение частотного диапазона ограничивается выходным цифровым фильтром с децимацией отсчетов.

Рассмотренныйсигма-дельта модулятор является модулятором 1-го порядка. Для повышения точности преобразования в сигма-дельта АЦП используются модуляторы высоких порядков, обладающие повышенным уровнем шума квантования в области частот за пределами полезного спектра

сигнала и, соответственно, пониженным уровнем шума.Сигма-дельта модуляторы 2-го и *n*-го порядков описываются дифференциальными уравнениями

$$t_1 f_{мод}'(t) + f_{мод}(t) = K_{мод} i_{вх}(t);$$

$$(t_{n-1}...t_1) f_{мод}(n-1)(t) + ... + tn\text{-}1 f_{мод}'(t) + f_{мод}(t) = K_{мод} i_{вх}(t), \quad (2.9)$$

где *f*мод(*t*) — непрерывная функция частоты, представляемая как результат интерполяции дискретных значений *f*мод.ср(*Dtj*), а *tn-1, ... t1* — постоянные времени дополнительных интеграторов, включенных в модуляторе в перечисленной последовательности номеров, (*tn-1...t1*) — их произведение.Приведенные уравнения аналогичны дифференциальным уравнениям полиномиальных ФНЧ. Модуляторы 3- го порядка, описываемые функцией фильтрации 2-го порядка, характеризуются собственной частотой *w*0 = 1/Ц(*t1t*2) и добротностью *Q* = Ц(*t1/t2*).

Сигнал сигма-дельта модулятора — это квантованный частотно-модулированный сигнал с шумом квантования, усредняющим частоту модуляции (манипуляции) для обеспечения ее пропорциональной зависимости от входного аналогового сигнала. Точность усреднения тем выше, чем выше разрядность преобразования. Диапазон частот модулятора — от 0 до *fm*(*2N*–1)/2*N*.Последующее цифровое преобразование с частотой дискретизации *f*д = *f*т/2*N* сопровождается, ввиду фильтрующих свойств преобразования, ослаблением преобразуемого сигнала в области его верхних частот. В настоящее время для выравнивания частотной характеристики преобразования используется введение дополнительной передискретизации в сочетании с применяемой цифровой фильтрацией и децимацией. Высокопорядковые сигма-дельта модуляторы обладают свойствами полиномиальных ФНЧ, что предъявляет дополнительные требования к параметрам их частотных характеристик.

Особенности аналого-цифрового преобразователя включают 16-битное разрешение сбалансированной накачки, коэффициент нелинейности 0,0015%, программируемый коэффициент усиления от 1, 2, 32 или 128 для

дифференциального входа, а также трехпроводный последовательный интерфейс *SPI, QSPI, MICROWIRE* и *DSP* совместимый.

Дополнительные возможности включают буферизацию входного аналогового сигнала, однополярное питание 3 В (*AD7715-3*) или 5 В (*AD7715-5)* с низким потреблением – 450 мкА при 3 В питании. АЦП также имеет ФНЧ с программируемым обновлением выхода и 16 выводных *DIP, SOIC* и *TSSOP* корпуса.

Прибор *AD7715* является идеальным выбором для задач низкочастотного измерения. Этот законченный прибор обеспечивает оцифровку аналогового сигнала из трех каналов непосредственно с источника сигнала. Он оснащен 16-битным АЦП сигма-дельта, что гарантирует отсутствие потери кодов. Входной сигнал вводится в усилитель с программируемым коэффициентом усиления, и с выхода усилителя сигнал поступает на аналоговый модулятор. Сигнал, сгенерированный модулятором, идет на внутренний цифровой фильтр. Регулирование порога отсечки фильтра и частоты обновления осуществляется путем переноса предыдущего значения фильтра из внутреннего управляющего регистра.

Дифференциальные аналоговый и опорный входы доступны в приборе *AD7715*, который разработан для работы от однополярного питания 3 В или 5 В. Прибор поддерживает униполярные динамические диапазоны 0- 20 мВ, 0- 80 мВ, 0- 1,25 В и 0- 2,5 В, а также двухполярные диапазоны ± 20 мВ, ± 80 мВ, ± 1,25 В и ± 2,5 В. Благодаря этому, *AD7715* может быть использован в миниатюрных, микроконтроллерных или *DSP* системах. Кроме того, он оснащен гибким последовательным трехпроводным интерфейсом, через который можно выбирать коэффициент усиления, полярность сигнала и частоту дискретизации. *AD7715* выполнен по КМОП технологии, что обеспечивает малое потребление - типовая потребляемая мощность в дежурном режиме равна 50 мкВт. Выводы прибора реализованы в 16-выводных 0,3-дюймовых *DIP* и *SOIC* корпусах, а также в 16-выводных *TSSOP* корпусах.

Для управления и правильной работы шагового двигателя рекомендуется использование пары микросхем. Контроллером шагового двигателя может выступать микросхема *L297*, а драйвером электродвигателя - микросхема *L298N*.

Контроллер шагового двигателя *L297/A/D* является устройством, которое генерирует четырехфазный сигнал управления двухфазным биполярным и четырехфазным униполярным сигналами от микроконтроллера. С помощью данного контроллера можно реализовать поворот двигателя на половину шага, целый шаг, вращение по часовой или против часовой стрелки. Контроллер предназначен для использования вместе с драйверами двигателя типа *L298N* или *L293E*, либо с дискретными транзисторами Дарлингтона.

Монолитная интегральная микросхема *L298N* выпускается в 15-контактных *Multiwatt* и *PowerSO20* корпусах и представляет собой двойной драйвер в виде моста с логическими уровнями стандарта *TTL*. Данная микросхема способна работать с индуктивной нагрузкой типа реле, соленоидов, двигателей постоянного тока и шаговых двигателей. Кроме того, имеет два разрешающих входа *EnA* и *EnB*, позволяющих разрешить или запретить устройства независимо от входных сигналов. Дополнительный питающий вход реализован таким образом, чтобы логика работала на более низком напряжении.

Данная микросхема позволяет использовать питающее напряжение до 46 В. Входное напряжение при уровне логического «0» до 1,5 В [4].Внешний вид соединения и работы описанных микросхем представлен на рисунке 2.3.

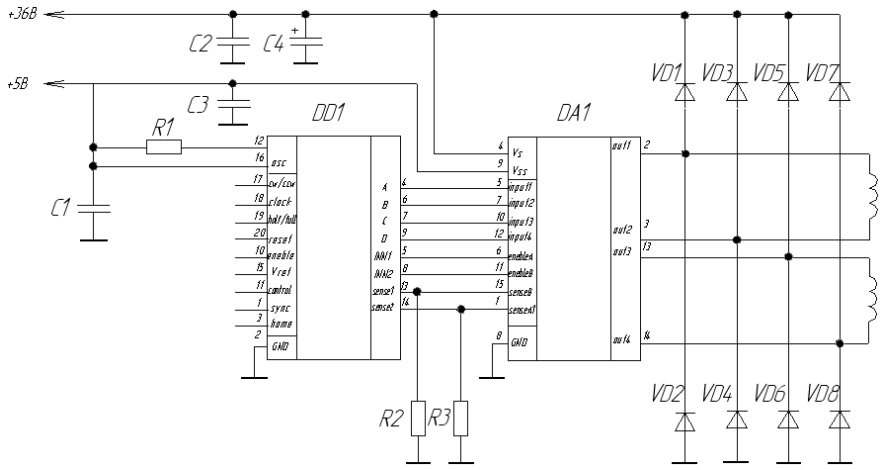


Рисунок 2.3 – Типовая схема включения микросхем*L297* и *L298N*

В нашей работе для организации коммуникационного интерфейса мы применяем микросхему *MAX202*. Данная микросхема специально разработана для создания коммуникационных интерфейсов *RS-232* и *V.28*. Ее встроенные конвертеры позволяют повысить уровень входного напряжения с +5 В до необходимых +10 В выходного напряжения для *RS-232*. *MAX202* соответствует спецификациям *EIA/TIA – 232C* и *CCITT V.28* и поддерживает скорость передачи до 20 Кбит/с.

Кроме того, *MAX202* содержит два приемника и два передатчика, что позволяет обеспечить эффективную работу интерфейса.

На рисунке 2.4 приведена схема стабилизатора напряжения на ИС КР *142ЕН5А*, обеспечивающая +5В при выходном токе до 3А (с использованием радиатора). Для обеспечения устойчивости схемы используются конденсаторы *С*1 и *С*2 (танталовые - не менее 2.2, алюминиевые – не менее 10.0).

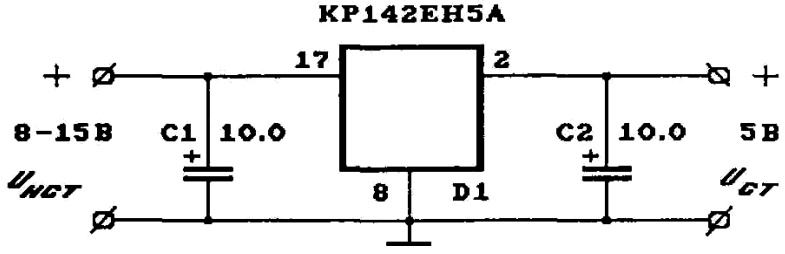


Рисунок 2.4 – Схема включения ИС КР 1*42ЕН5А*

На рисунок 2.5 приведена схема стабилизатора напряжения на ИС КР *142ЕН6*, обеспечивающая +5В при выходном токе до 3А (с использованием

радиатора). Для обеспечения устойчивости схемы используются конденсаторы *С*1 и *С*2 (танталовые - не менее 2.2, алюминиевые – не менее 10.0)

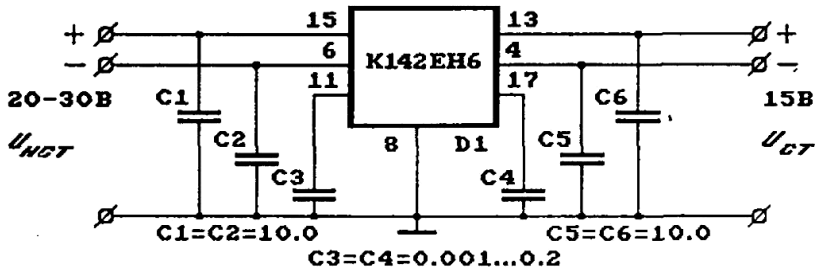


Рисунок 2.5 – Схема включения ИС КР *142ЕН6*

В данном исследовании рассмотрено применение операционных усилителей К140УД17 в качестве основных элементов для построения дифференциального усилителя и двух повторителей. Указанный тип усилителя относится к категории прецизионных усилителей с малым напряжением смещения и высоким коэффициентом усиления напряжения. Он обладает внутренней частотной коррекцией и удовлетворяет требованиям многих приложений, где требуется высокая точность измерения и шумовых параметров.

К140УД17 характеризуется отличным сочетанием параметров входных напряжений и тока шума, что делает его идеальным для использования в измерительных цепях с большим коэффициентом усиления.

На рисунке 2.6 показана цоколевка корпуса 301.8-2 К140УД17.

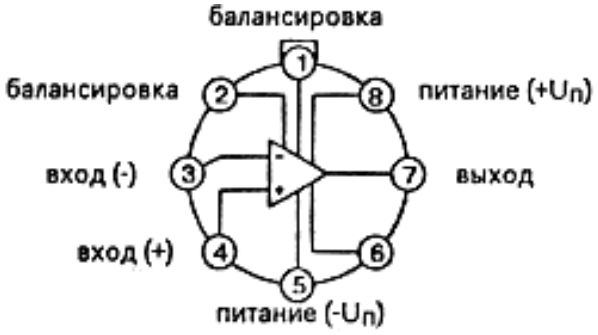


Рисунок 2.6 – Цоколевка корпуса 301.8-2 К140УД17

Электрические параметры К140УД17:

- напряжение питания ±15 В ±10%;

- максимальное выходное напряжениене менее ±12 В;

- напряжение смещения нуляпри $U_п$= ±15 В не более 75 мкВ;

- напряжение смещения нуля при $U_п$= ±16,5 Вне более 135 мкВ;

- входной токпри $U_п$= ±15 Вне более ±4 нА;

- входной ток при $U_п$= ±16,5 Вне более ±5 нА;

- ток потребленияпри $U_п$= ±15 Вне более 4 мА;

- ток потребления при $U_п$= ±16,5 Вне более 4,5 мА;

- разность входных токовпри $U_п$= ±15 Вне менее 3,8 нА;

- разность входных токов при $U_п$= ±16,5 Вне менее 4,5 нА;

- коэффициент усиления напряженияпри $U_п$= ±15 Вне менее 200000;

- коэффициент усиления напряжения при $U_п$= ±13,5 Вне менее 200000;

- коэффициент ослабления синфазных входных напряжений 106 дБ;

- синфазное входное напряжениене менее±13 В;

- синфазное входное напряжение типовое±15 В;

- коэффициент влияния нестабильности источников питания на напряжение смещенияне менее 94 дБ;

- частота единичного усиленияне менее 0,4МГц;

- скорость нарастания выходного напряжения0,1В/мкс;

- средний температурный дрейф напряжения смещения3 мкВ/ ° *С*;

- средний температурный дрейф разности входных токов120 пА/ ° *С*;

- в приводе подвижной системы используем шаговый двигатель ДШИ-200-1.

Шаговый двигатель ДШИ-200-1 представляет из себя устройство для обработки дискретных угловых перемещений и используется в различных технических задачах. Данный тип двигателя выпускается в четырех исполнениях: ДШИ-200-1-1, ДШИ-200-1-2, ДШИ-200-1-3, ДШИ-200-1-4, а также соответствует с Я2М3.595.057 ТУ. Максимальный допустимый ток в фазе электродвигателя составляет 2А.

В среднем ресурс работы электродвигателя составляет 5550 ч, что подтверждается в [7]. Основные технические характеристики шагового двигателя ДШИ-200-1 включают максимальный статический синхронизирующий момент 0,25нт, единичный шаг 1,8 градусов, погрешность

обработки шага 3%, максимальная частота приемистости 1200Гц, номинальный ток питания в фазе 1,5А, номинальное напряжение питания коммутирующих устройств 30В, максимальная потребляемая мощность не более 8,8Вт и массу 0,36кг.

Визуальное представление шагового двигателя ДШИ-200-1 изображено на рисунке 2.7.

Рисунок 2.7 – Внешний вид шагового двигателя ДШИ-200-1

2.4 Разработка принципиальной схемы устройства

В данной работе предполагается разработать принципиальную схему для устройства с выбранной структурой и элементной базой. Реализация каждого элемента принципиальной схемы является значимым шагом в данном исследовании. В контексте управления шаговым двигателем, для данного устройства планируется использовать типовую схему включения микросхем *L297* (контроллер шагового двигателя) и *L298* (драйвер электродвигателя). Описанные шаги являются ключевыми в разработке данного устройства и позволят добиться необходимого функционала при реализации.

На рисунке 2.8 показана схема включения микросхем *L297* и *L298N*.

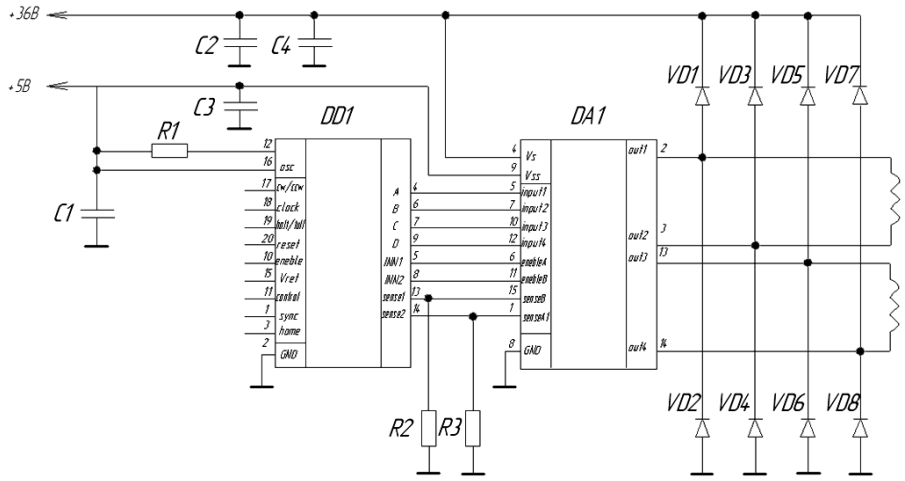


Рисунок 2.8– Схема включения микросхем *L297* и *L298N*

Согласно типовой схеме включения, значения резисторов и конденсаторов:

*R*1=22 КОм;

*R*2=*R*3=0,5 Ом

*C*1=3,3 пФ;

*C*2=*C*3=100 пФ;

*C*4=470 мкФ.

Диоды *VD*1–*VD*8 подбираются из условия, что, рабочие ток и напряжение: *I*=2А,

Up≤1,2 В. Ранее используемые в такой схеме диоды – *SF35WTE*.

*VD*1–*VD*8: *SF35WTE*

Выберем тип конденсаторов:

*C*1: *K*50 – 35 – 50 В – 3,3 пФ

*C*2=*C*3: *K*50 – 35 – 50 В – 100 пФ

*C*4: *K*50 – 35 – 63 В – 470 мкФ ± 10%

Так как, резисторы *R*1, *R*2 и *R*3 входят в схему управления, где на них не рассеивается большая мощность, нет необходимости ее расчета.

Выберем тип резисторов:

*R*1: МЛТ – 0,125– 22 КОм ± 10 %;

*R*2= *R*3: МЛТ – 0,125– 0,5 Ом ± 10 %;

Для организации коммуникационного интерфейса *RS*–232 используем типовую схему включения микросхемы *MAX202*.

На рисунке 2.9 показана схема включения микросхемы *MAX202*.

Согласно типовой схеме включения, значения конденсаторов:

*C*17= *C*18= *C*20=0,1 мкФ, 6,3В;

*C*19= *C*21=0,1 мкФ, 16В.

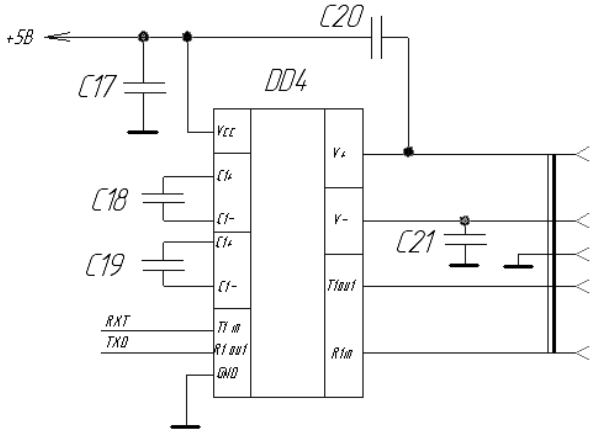


Рисунок 2.9 – Схема включения микросхемы*MAX202*

Выберем тип конденсаторов:

*C*17= *C*18= *C*20: *К*50 – 35 – 6,3 В – 0,1 мкФ ± 10%

*C*19= *C*21: *К*50 – 35 – 16 В – 0,1 мкФ ± 10%

Задачей дифференциального усилителя является усиление разности выходного напряжения с датчика и напряжения с компенсирующего ЦАП.

На рисунок 2.10 представлена принципиальная схема дифференциального усилителя на ОУ К140УД17.

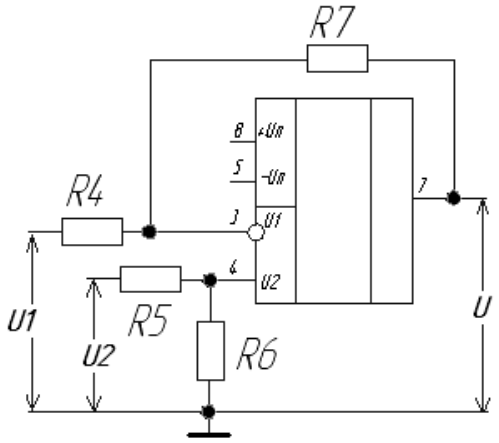


Рисунок 2.10 – Принципиальная схема усилителя на ОУ К140УД17

Напряжение на не инвертирующем входе усилителя определяется:

$$Uи.вх. = \frac{R6}{R5 + R6} \cdot U2 \qquad (2.10)$$

где *Uи.вх*.- напряжение на инвертирующем входе.

Основываясь на стандартной методике расчета и принимая токи протекающие через резисторы *R*5 и *R*8 равными получим:

$$\frac{U1 - U2\dfrac{R6}{R5 + R6}}{R4} = \frac{U2\dfrac{R6}{R5 + R6} - U}{R7}, \qquad (2.11)$$

где *U* - напряжение на выходе усилителя.

Решая данное уравнение относительно выходного сигнала усилителя будем иметь:

$$U2\left(\frac{R6}{R5 + R6} + \frac{R6R7}{R4(R5 + R6)}\right) - U1\frac{R7}{R4} = U,$$

$$U2\frac{R6(R4 + R7)}{R4(R5 + R6)} - U1\frac{R7}{R4} = U.$$

Рассчитаем соотношение, из которого можно получить значения резисторов, входящих в схему дифференциального усилителя.

$$\frac{R6(R4 + R7)}{R4(R5 + R6)} = \frac{R7}{R4},$$

$$R6\frac{(R4 + R7)}{(R5 + R6)} = R7,$$

$$R4R6 + R7R6 = R7R5 + R6R7,$$

$$R4R6 = R7R5,$$

$$\frac{R6}{R5} = \frac{R7}{R4}.$$

Примем значение сопротивления резисторов *R*7=10 кОм, *R*4=100 Ом.

Тогда,

$$\frac{R6}{R5} = \frac{100}{1},$$

$$R6 = 100R5.$$

Принимаем значение сопротивления резистора *R*5=300 Ом.

Тогда, *R*6=30 кОм.

Определяем мощности рассеяния резисторов *R*3 и *R*6.

$$P_{R3} = (\frac{U_{вх}}{R3 + R6})^2 \cdot R3 = (\frac{15}{0{,}3 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3})^2 \cdot 0{,}3 \cdot 10^3 = 0{,}07 \text{ мВт},$$

$$P_{R6} = (\frac{U_{вх}}{R3 + R6})^2 \cdot R6 = (\frac{15}{0{,}3 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3})^2 \cdot 30 \cdot 10^3 = 7{,}3 \text{ мВт},$$

где *U*вх – максимальное напряжение на выходе датчика и на выходе ЦАП.

Определяем мощности рассеяния резисторов *R*4 и *R*7.

$$P_{R3} = (\frac{U_{вх}}{R4 + R7})^2 \cdot R4 = (\frac{15}{0{,}1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3})^2 \cdot 0{,}1 \cdot 10^3 = 0{,}2 \text{ мВт},$$

$$P_{R6} = (\frac{U_{вх}}{R4 + R7})^2 \cdot R7 = (\frac{15}{0{,}1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3})^2 \cdot 1{,}0 \cdot 10^3 = 22 \text{ мВт},$$

Выберем тип резисторов:

*R*4: МЛТ – 0,125– 100 Ом ± 10 %;

*R*5: МЛТ – 0,125– 300 Ом ± 10 %;

*R*6: МЛТ – 0,125– 30 КОм ± 10 %;

*R*7: МЛТ – 0,125– 10 КОм ± 10 %;

На рисунке 4.14 показан ограничитель напряжения, построенный на диодах *VD*1 и *VD*8. Он предназначен для защиты АЦП от возможного перенапряжения на входе. В данной схеме можно использовать любые диоды, например КД212В.

Рассчитываем параметры резисторов, входящих в делитель *R*8, *R*9.

$$\frac{U}{U_{вх}} = \frac{R9}{R8 + R9}.$$

Отсюда,

$$R8 = \frac{U_{вх} \cdot R9}{U} - R9.$$

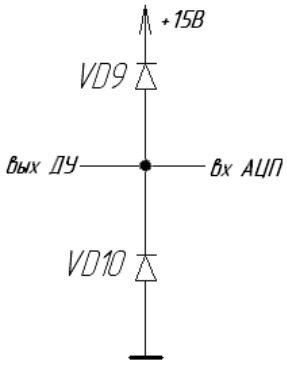


Рисунок2.11 – Ограничитель напряжения

Для обеспечения необходимого напряжения питания аналогового входа микроконтроллера (+5В) используем делитель напряжения (рисунок 2.12).

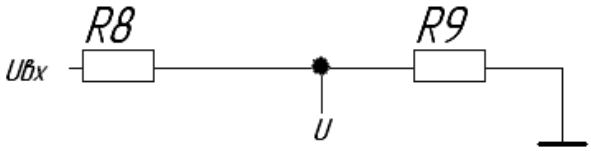


Рисунок 2.12 – Делитель напряжения

Принимаем значение сопротивления резистора *R*6=1 кОм.Тогда,

$$R8 = \frac{15 \cdot 1 \cdot 10^3}{5} - 1 \cdot 10^3 = 2 \text{ КОм.}$$

Выбираем значение сопротивления резистора *R*3 из ряда *E*6.

$$R3 = 2 \text{ КОм.}$$

Определяем мощности рассеяния резисторов *R*3 и *R*6.

$$P_{R8} = (\frac{U_{вх}}{R8 + R9})^2 \cdot R8 = (\frac{15}{1 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^3})^2 \cdot 1 \cdot 10^3 = 25 \text{ мВт.}$$

$$P_{R9} = (\frac{U_{вх}}{R8 + R9})^2 \cdot R8 = (\frac{15}{1 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^3})^2 \cdot 2 \cdot 10^3 = 50 \text{ мВт.}$$

Выбираем тип резисторов:

*R*8: МЛТ – 0,125– 1 КОм ± 10 %;

*R*9: МЛТ – 0,125– 2 КОм ± 10 %.

Для организации стабилизированного питания микроконтроллера, операционных усилителей, схемы управления шаговым двигателем,микросхемы коммуникационного интерфейса *RS*–232 и

исследуемогодатчика используем типовые схемы включения микросхем КР 142ЕН5А (+5В) и КР 142ЕН6 (±15В).

На рисунке 2.13 и 2.14 показаны схемы включения микросхем *КР 142ЕН5А* (+5В) и *КР 142ЕН6* (±15В).

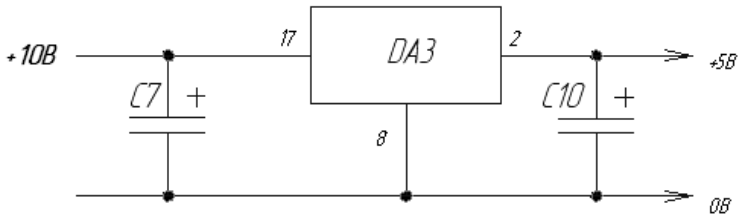


Рисунок 2.13 – Схема включения микросхемы *КР 142ЕН5А*

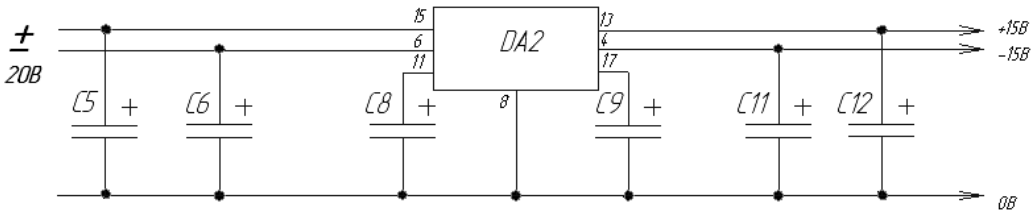


Рисунок 2.14 – Схема включения микросхемы *КР 142ЕН6*

Здесь *С*5=*С*6= *С*7= *С*10=*С*11= *С*12=10 мкФ, а *С*8=*С*9= 0,1 мкФ

Выберем тип конденсаторов:

*С*5=*С*6= *С*11= *С*12: *К*50 – 29 – 25В – 10мкФ± 10%

*С*7= *С*10: *К*50 – 20 – 6,3В – 10 мкФ ± 10%

*С*8= *С*9: *К*50 – 35 – 16 В – 0,1 мкФ ± 10%

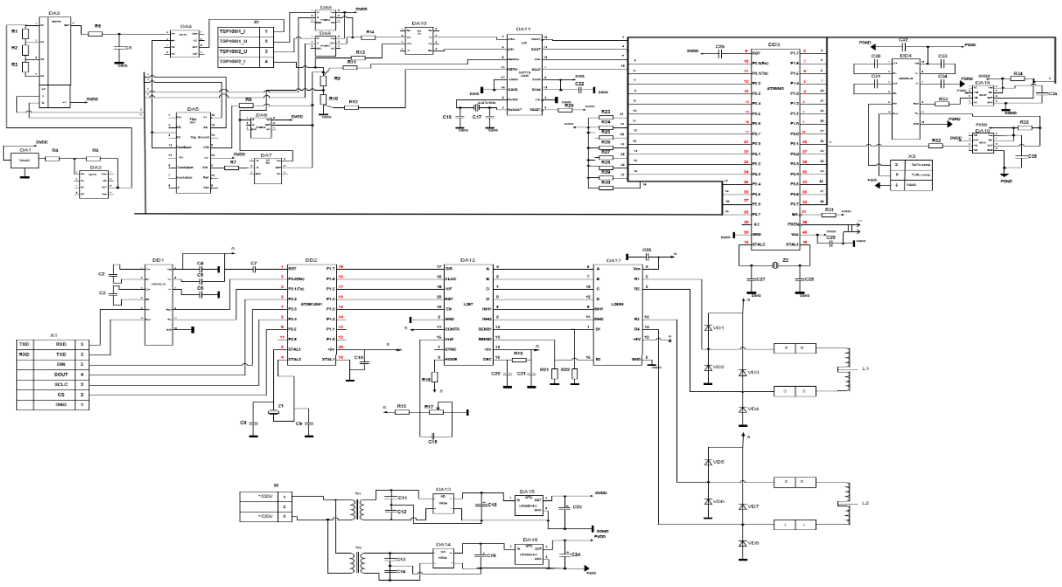


Рисунок 2.15 – Принципиальная схема устройства

3 Методическое и алгоритмическое обеспечение системы

3.1Анализ установки в режиме измерения полного сопротивления

В этом режиме происходят преобразования измеряемого сопротивления по следующей схеме: $R_{ПХ} \rightarrow I_X \rightarrow U_{R0} \rightarrow N_{Rпп}$.По данной схеме построена математическая функциональная модель установки, представленная на рисунке 3.1.

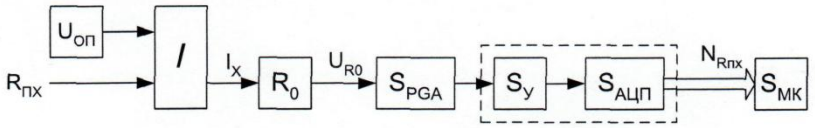


Рисунок 3.1 – Математическая функциональная модель установки в режиме измерения полного сопротивления

На рисунке 3.1 приняты следующие обозначения:

$R_{ПХ}$ – полное сопротивление исследуемого резистора;

$U_{ОП}$ – опорное напряжение;

R_0– образцовый опорный резистор;

S_{PGA} – функция преобразования программируемого усилителя;

$S_У$ - функция преобразования усилителя, встроенного в АЦП (так же кодоуправляемый);

$S_{АЦП}$ – функция преобразования АЦП;

I_X – ток через резистор R_X;

U_{R0} – напряжение на резисторе R_0;

$N_{Rпх}$ – код результата измерения сопротивления $R_{ПХ}$.

Математическая модель измерения сопротивления по схеме на рисунке 3.1 представлена ниже:

$$N_{Rпх} = \frac{U_{ОП}}{R_{ПХ}} \cdot R_0 \cdot S_{PGA} \cdot S_У \cdot S_{АЦП}. \qquad (3.1)$$

Добавлением в модель на рисунке 3.1 погрешностей составных частей получим метрологическую модель установки.

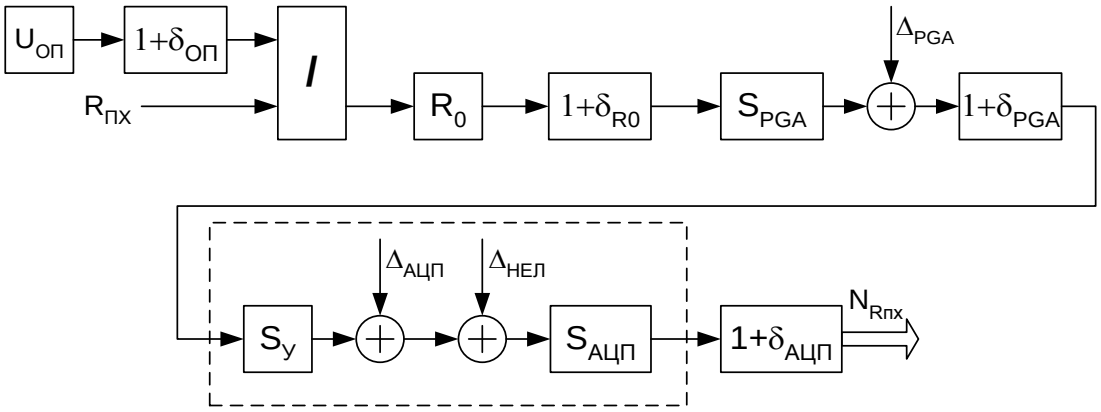


Рисунок 3.2 – Метрологическая модель установки в режиме измерения полного сопротивления переменного резистора

На рисунке 3.2 приняты обозначения:

$\delta_{ОП}$ – погрешность опорного напряжения;

δ_{R0} – погрешность опорного резистора;

Δ_{PGA} – аддитивная погрешность программируемого усилителя;

δ_{PGA} – мультипликативная погрешность программируемого усилителя;

$\delta_{АЦП}$ – мультипликативная погрешность АЦП по выходу;

$\Delta_{АЦП}$ – аддитивная погрешность АЦП по входу;

$\Delta_{НЕЛ}$ –погрешность нелинейности АЦП по входу.

Погрешности опорного резистора и опорного напряжения влияют на погрешность установки как мультипликативные составляющие.

Рассчитаем результирующую погрешность установки по её составляющим:

$$\Delta = \tilde{N}_{Rпх} - N_{Rпх} \qquad (3.2)$$

В формуле обозначены:

$\tilde{N}_{Rпх}$ – реальный код измеренного значения сопротивления,

$N_{Rпх}$ – идеальный код измеренного значения сопротивления (10).

$$\tilde{N}_{\text{Rпп}} = \frac{U_{\text{ОП}} \cdot (1+\delta_{\text{ОП}})}{R_{\text{ПХ}}} \cdot R_0 \cdot (1+\delta_{\text{R0}}) \cdot S_{\text{PGA}} \cdot (1+\delta_{\text{PGA}}) \cdot S_{\text{У}} \cdot S_{\text{АЦП}} \cdot (1+\delta_{\text{АЦП}}) +$$
$$+ \Delta_{\text{PGA}} \cdot (1+\delta_{\text{PGA}}) \cdot S_{\text{У}} \cdot S_{\text{АЦП}} \cdot (1+\delta_{\text{АЦП}}) + (\Delta_{\text{АЦП}} + \Delta_{\text{НЕЛ}}) \cdot S_{\text{АЦП}} \cdot (1+\delta_{\text{АЦП}}). \quad (3.3)$$

Тогда получим:

$$\Delta = \frac{U_{ОП} \cdot (1+\delta_{ОП})}{R_{ПХ}} \cdot R_0 \cdot S_{PGA} \cdot S_{У} \cdot S_{АЦП} \cdot (1+\delta_{R0}) \cdot (1+\delta_{PGA}) \cdot (1+\delta_{АЦП}) +$$
$$+ \Delta_{PGA} \cdot S_{У} \cdot S_{АЦП} \cdot (1+\delta_{PGA}) \cdot (1+\delta_{АЦП}) + (\Delta_{АЦП} + \Delta_{НЕЛ}) \cdot S_{АЦП} \cdot (1+\delta_{АЦП}) -$$
$$- \frac{U_{ОП}}{R_{ПХ}} \cdot R_0 \cdot S_{PGA} \cdot S_{У} \cdot S_{АЦП} \approx$$
$$\approx \frac{U_{ОП}}{R_{ПХ}} \cdot R_0 \cdot S_{PGA} \cdot S_{У} \cdot S_{АЦП} + \frac{U_{ОП}}{R_{ПХ}} \cdot R_0 \cdot S_{PGA} \cdot S_{У} \cdot S_{АЦП} (\delta_{ОП} + \delta_{R0} + \delta_{PGA} + \delta_{АЦП}) + \quad (3.4)$$
$$+ \Delta_{PGA} \cdot S_{У} \cdot S_{АЦП} + (\Delta_{АЦП} + \Delta_{НЕЛ}) \cdot S_{АЦП} - \frac{U_{ОП}}{R_{ПХ}} \cdot R_0 \cdot S_{PGA} \cdot S_{У} \cdot S_{АЦП} =$$
$$= \frac{U_{ОП}}{R_{ПХ}} \cdot R_0 \cdot S_{PGA} \cdot S_{У} \cdot S_{АЦП} (\delta_{ОП} + \delta_{R0} + \delta_{PGA} + \delta_{АЦП}) + \Delta_{PGA} \cdot S_{У} \cdot S_{АЦП} +$$
$$+ (\Delta_{АЦП} + \Delta_{НЕЛ}) \cdot S_{АЦП}.$$

3.2 Анализ установки в режиме измерения функциональной характеристики

В данном режиме работы установки происходят преобразования измеряемого сопротивления по следующей схеме:

$$R_X \rightarrow U_X \rightarrow N_{Rx}(i) \rightarrow \eta_X(i).$$

По данной схеме построена математическая функциональная модель установки, представленная на рисунке 3.3.

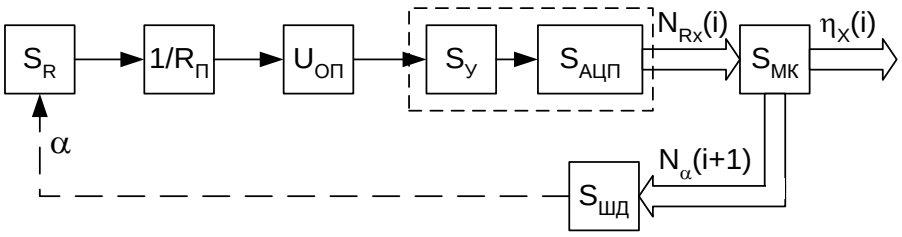


Рисунок 3.3 – Математическая функциональная модель установки в режиме измерения функциональной характеристики

На рисунке 3.3 обозначены:

$S_{ШД}$ – функция преобразования шагового двигателя;

$N_{Rx}(i)$ – код результата измерения установленного сопротивления в i-й точке;

$\eta_X(i)$ – отклонение от линейности в i-й точке, рассчитанное микроконтроллером по $N_{Rx}(i)$;

$N_\alpha(i+1)$ – сигнал (код) шаговому двигателю на выполнение следующего шага.

Остальные обозначения соответствуют принятым на рисунке 3.1.

Метрологическая модель, соответствующая измерению нелинейности, представлена на рисунке 3.4.

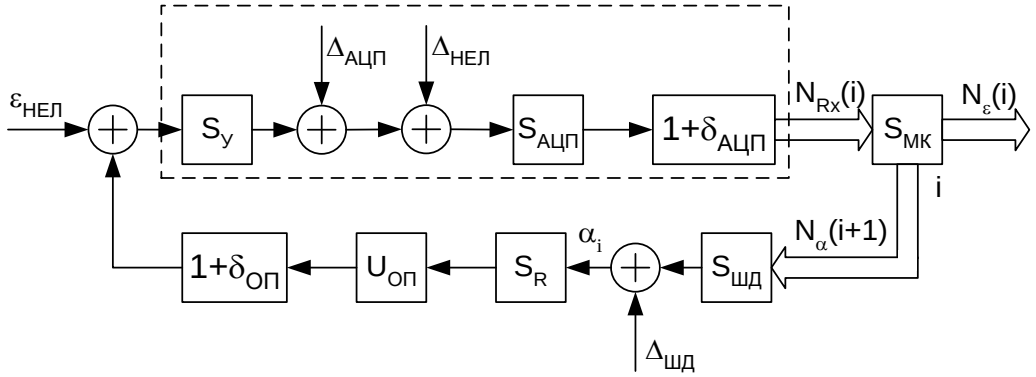


Рисунок 3.4 – Метрологическая модель установки в режиме измерения функциональной характеристики

На рисунке 3.4 приняты следующие обозначения:

$\Delta_{ШД}$ – погрешность установки угла шаговым двигателем;

S_R – чувствительность переменного резистора по второй модели замещения. Он символизирует переменный резистор с линейной функцией преобразования.

Остальные обозначения аналогичны обозначениям на рисунках 3.1 и 3.2.

Рассчитаем результирующую погрешность измерения нелинейности по её составляющим:

$$\Delta = \tilde{N}_{Rx} - N_{Rx} \tag{3.5}$$

Код результата идеального измерения:

$$N_{Rx} = (\alpha_i \cdot S_R \cdot U_{ОП} + \varepsilon_{НЕЛ}) \cdot S_У \cdot S_{АЦП} \tag{3.6}$$

Код результата реального измерения:

$$\begin{aligned}\tilde{N}_{Rx} &= (\alpha_i \cdot S_R \cdot U_{ОП} \cdot (1+\delta_{ОП}) + \varepsilon_{НЕЛ}) \cdot S_У \cdot S_{АЦП} \cdot (1+\delta_{АЦП}) + \\ &+ \Delta_{ШД} \cdot S_R \cdot (1+\delta_R) \cdot U_{ОП} \cdot (1+\delta_{ОП}) \cdot S_У \cdot S_{АЦП} \cdot (1+\delta_{АЦП}) + \\ &+ (\Delta_{АЦП} + \Delta_{НЕЛ}) \cdot S_{АЦП} \cdot (1+\delta_{АЦП}).\end{aligned} \quad (3.7)$$

Погрешность измерения:

$$\begin{aligned}\Delta &= \tilde{N}_{Rx} - N_{Rx} = (\alpha_i \cdot S_R \cdot U_{ОП} \cdot (1+\delta_{ОП}) + \varepsilon_{НЕЛ}) \cdot S_У \cdot S_{АЦП} \cdot (1+\delta_{АЦП}) + \\ &+ \Delta_{ШД} \cdot S_R \cdot U_{ОП} \cdot (1+\delta_{ОП}) \cdot S_У \cdot S_{АЦП} \cdot (1+\delta_{АЦП}) + \\ &+ (\Delta_{АЦП} + \Delta_{НЕЛ}) \cdot S_{АЦП} \cdot (1+\delta_{АЦП}) - (\alpha_i \cdot S_R \cdot U_{ОП} + \varepsilon_{НЕЛ}) \cdot S_У \cdot S_{АЦП} \approx \\ &\approx \alpha_i \cdot S_R \cdot U_{ОП} \cdot \delta_{ОП} \cdot S_У \cdot S_{АЦП} + (\alpha_i \cdot S_R \cdot U_{ОП} + \varepsilon_{НЕЛ}) \cdot S_У \cdot S_{АЦП} \cdot \delta_{АЦП} + \\ &+ \Delta_{ШД} \cdot S_R \cdot U_{ОП} \cdot S_У \cdot S_{АЦП} + (\Delta_{АЦП} + \Delta_{НЕЛ}) \cdot S_{АЦП} = \\ &= \Delta_{ШД} \cdot S_R \cdot U_{ОП} \cdot S_У \cdot S_{АЦП} + (\Delta_{АЦП} + \Delta_{НЕЛ}) \cdot S_{АЦП} + \\ &+ \alpha_i \cdot (S_R \cdot U_{ОП} \cdot S_У \cdot S_{АЦП} \cdot \delta_{АЦП} + S_R \cdot U_{ОП} \cdot \delta_{ОП} \cdot S_У \cdot S_{АЦП}) + \\ &+ \varepsilon_{НЕЛ} \cdot 2 \cdot S_У \cdot S_{АЦП} \cdot \delta_{АЦП}\end{aligned} \quad (3.8)$$

Из полученной формулы видно разделение погрешности на аддитивную и мультипликативную составляющие.

Выполним численный расчет.

$$Nнел = (INнелiI);$$

$$\begin{aligned}N_{ÍÅË i} &= \varepsilon_i \cdot 100\% / N_{U_0} = (N - N_i) \cdot 100\% / N_{U_0} = \left(\left(N - N_{U_0} \frac{i}{n} \right) \Big/ N_{U_0} \right) \cdot 100\% = \\ &= \left(\left(\frac{N}{N_{U_0}} \right) - \frac{i}{n} \right) \cdot 100\%\end{aligned} \quad (3.9)$$

где i – шаг;

n – максимальное количество шагов;

N_{U0} – код номинального опорного напряжения.

Очевидно, что

$$\Delta Nнел = \Delta N \; 100\% / N_{U0};$$

$$\delta Nнел = \Delta Nнелi / Nнелi = \Delta N \; (1/(1- NU0 \; i / Nn)) / N \quad (3.10)$$

Максимальная погрешность будет равна:

$$\delta Nнел = \Delta N / N ;$$

$$N = (iSшдSокU0 + \varepsilon нелi) \; Sацп;$$

$$\Delta N = N \delta U0 + \Delta шдSокU0 \; Sацп + \Delta n \; Sацп + \Delta ацп;$$

$$\delta\ Nнел = \delta\ U0 + \Delta шд / Sщдi + \Delta n / SщдiSокU0 + \Delta ацп / SщдiSокU0$$

$$Sацп;$$

$$\delta\ Nнел \leq 10\% \leq 0,1$$

Каждая составляющая погрешности имеет вес менее 0,025. Тогда имеем:

$\Delta шд \leq 0,025Sщдi;$

$i = 1....180;$

$Sщд = \alpha_{max} / n = 330 / 180;$

$\Delta шд \leq 0,025\ 1\ \ 330 / 180 = 0,046°$

Погрешность повторителя напряжения:

$$\Delta\ n \leq 0,025SщдiSокU0,$$

где $U0 = 2,5В$, $Sок = 1 / \alpha_{max}$;

$$\Delta n \leq 0,025\ 1\ 2,5 / n = 3,47\ 10^{-4} = 0,000347$$

Погрешность преобразования АЦП:

$$\Delta ацп \leq 0,025\ = 4,5 \text{ ед.мл.р.}$$

4 Мероприятия по обеспечению безопасных условий труда при эксплуатации прибора для измерения параметров подстроечных резисторов

При работе с прибором для измерения параметров подстроечных резисторов необходимо уделить внимание нескольким аспектам безопасности. В первую очередь, важно обеспечить защиту человека от возможного поражения электрическим током при работе с прибором на стадии измерения. Кроме того, следует обратить внимание на условия труда в производственных помещениях, где используется данный прибор. Микроклимат помещений, в том числе температура и влажность, может оказывать значительное влияние на здоровье человека и его работоспособность.

Разработанный прибор для измерения параметров подстроечных резисторов также содержит персональную ЭВМ, выступающую в роли автоматизированного прибора для обработки мгновенных значений измеренного действующего и амплитудного напряжений. Помимо ПЭВМ, на здоровье человека оказывает давление микроклимат в помещениях. Микроклимат помещений, определяемый сочетанием температуры и влажности, может оказывать существенное воздействие на организм человека и его работоспособность. Поэтому необходимо принять меры по оптимизации микроклимата в производственных помещениях, где используется данный прибор.

К основным физически опасным для человека факторам по ГОСТ 12.0.003-74 относятся:

- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

- повышенный уровень статического электричества;

- повышенный уровень электромагнитных излучений;

- недостаточная освещенность рабочей зоны.

Оператор во время выполнения работы на ЭВМ присутствуют как физическиетак и психофизиологических опасные для человека факторы, влияющие на человека. К ним относится высокая яркость света, слабая контрастность,блесткость а также не связанные со светом умственное перенапряжение, эмоциональное перенапряжение, перегрузка анализаторов, однообразность труда.

Тем не менее, из-за быстроты выполнения операций можно пренебречь этими факторами. Дисплей и иные устройства являются источниками электростатического поля.

ЭЛТ или полностью электронно-лучевая трубка находящаяся в дисплеевыступает в роли основного источника полей. Электромагнитные поля расходятся на 3 зоны: во-первых ближнюю (зону индукции), во-вторых промежуточную (зону интерференции) и наконец третью дальнюю (волновую зону). Человек как правило располагается в первой зоне.

Часто возникает проблема недостатка освещения. Отсутствие достаточной освещенности может оказать влияние на здоровье оператора, вызывая усталость и напряжение глаз. Поэтому необходимо уделить внимание расположению рабочего места и обеспечить достаточное естественное освещение.Оптимальные параметры рабочего места для оператора указаны в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Метеорологические условиясовокупность температуры окружающей среды, относительной влажности воздуха в помещении, скорости движения воздуха в помещении и запыленности воздуха. В производственных условиях характерно суммарное действие микроклиматических параметров.Работы выполняемые в лаборатории относятся к категории 1а(работы проводимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением). Необходимо соблюдениепоказателей в рабочей зоне:

Таблица 4.1 – значения параметров, характеризующих микроклимат исостав воздуха рабочей зоны

Период года	Температура, °С		Относительнаявлажность, %		Скоростьдвижения воздуха, м/с	
	Оптимальная	допустимая	Оптимальная	Допустимая	оптимальная	Допустимая
Холодный	22-24	21-25	40-60	75	0.1	не более0.1
Теплый	23-25	22-28	40-60	55 (при 28 °с)	0.1	не более0.1

Согласно стандарту ГОСТ 21.1.005-88, запрещается наличие в воздухе рабочего места паров и других вредных веществ. Кроме того, пользователей компьютерной оргтехники подвергает воздействию электромагнитное излучение разных диапазонов частот. В Санитарно-эпидемиологических правилах и нормативах СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" содержатся временные допустимые уровни электромагнитного излучения радиочастотных диапазонов, вызывающихся действием ПЭВМ.

Таблица 4.2– значения параметров, характеризующих влияние ПЭВМ на оператора.

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженностьэлектрического поля	в диапазоне частот 5Гц-2кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2кГц–400кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5Гц-2кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2кГц-400кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Защитный экран расположенный перед монитором наиболее эффективный метод защиты и вместе с тем один из наиболее

распространённых. Существует множество применяемых приэкранных фильтров и других средств индивидуальной защиты.

Качественный защитный экран, установленный перед монитором, позволяет значительно снизить уровень выделяемого электромагнитного излучения и электростатического поля. Это снижение обычно составляет от 10 до 15 раз и более. Однако, если речь идет о низкочастотных электромагнитных полях, таких как 50-100 Гц, то никакие экранные защиты и системы не могут ослабить уровень излучения.

Важным фактором в снижении уровня низкочастотного излучения монитора является качественное заземление. Если произведено правильное заземление, то уровень излучения в низкочастотном диапазоне может быть сведен к санитарно-гигиенической норме. Так что при использовании компьютеров и другой электронной техники необходимо соблюдать все требования и предпринимать все необходимые меры к защите здоровья пользователя.Помещение, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, оборудовано защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации. Для обеспечения электробезопасности при эксплуатации устройства используются различные технические меры. Одним из наиболее важных методов является контроль и профилактика повреждений изоляции. Этот процесс включает измерение активного или оммического сопротивления изоляции, что позволяет выявить потенциальные дефекты и предотвратить замыкания на землю и короткие замыкания. Особенно важно контролировать состояние изоляции в сетях с напряжением выше 1000 В, поскольку снижение ее сопротивления может привести к пробою изоляции и глухому замыканию на землю.

Кроме контроля изоляции, важным аспектом обеспечения электробезопасности является защита от случайного прикосновения. Эта мера включает использование различных защитных элементов, которые предотвращают доступ к токоведущим частям устройства. Эти элементы могут включать защитные экраны, ограждения или изоляционные материалы.

Дополнительной мерой безопасности является защитное заземление, которое позволяет перенаправлять токоведущие части устройства на землю в случае их неисправности. Это позволяет защитить пользователей устройства от поражения электрическим током и предотвратить возможные поражения при случайном касании токоведущих частей.

Поскольку безопасность является крайне важным аспектом при эксплуатации электротехнических устройств, необходимо строго соблюдать все установленные технические меры безопасности, а также регулярно проводить контроль и профилактику оборудования, чтобы избежать возможных несчастных случаев.

Таким образом, если в помещении показание переменного тока показывает напряжение220 В а частота в свою очередь 50 Гц тогда помещениене являетсяпомещением с повышенной электроопасностью. Все токопроводящие элементы установки необходимо изолировать. Сопротивление защитного заземления не более 4 Ом, по ГОСТ 12.4-124-83, для установок с напряжением менее 1000 В, имеющие заземленную или изолированную нейтраль.

Среди них мер защиты от прикосновенияприсутствует изоляция токопроводящих частей, ограждение прибора, низкое напряжение, сигнализация и плакаты.

Состояниеизоляцииухудшаетсяпо причине нагрева, механических повреждений и т.д. что со временем приводит к нарушению изоляции. Сопротивление изоляции в установках напряжением менее 1000 В составляет по меньшей мере 0,5 МОм. Мегаомметр предназначен как правило дляконтроля изоляции время от времени. Постоянный контрольподдерживается лишь с помощью специальных измерительных приборов.

Ограждения, например кожухи, закрытые панели, шкафы, крышки и т.д., а также сетчатые конструкции, применяются в электроустановках и сетях напряжением как до 1000 В, так и свыше 1000 В.

Для заземления используются заземляющие проводники и заземлители

для соединения всех металлических нетоковедущих элементов с землей.

Одним из важных этапов в обеспечении безопасности работы электроустановок является расчет защитного заземления.

Расчет заземления производится в следующем порядке:

1. Находим удельное сопротивление грунта

$$\rho = \rho_{изм} * \psi_i,$$

где $\rho_{изм}$- удельное сопротивление грунта(выбрано по таблице), $\rho_{изм}$=60Ом·м;

ψ_i – климатический коэффициент удельного сопротивления грунта (выбран по таблице), ψ = 1,3.

2. Находимвеличину заземлителей.

Длина стержня l = 3м, толщина = 0,04 м.

3. Находим сопротивление растеканию тока с отдельно взятого заземлителя:

$$Rc = \frac{\rho}{2\pi d}(\ln\frac{2l}{d} + 0{,}5 * \ln\frac{4t+l}{4t-l}),$$

где t – расстояние от поверхности земли до края стержня, м.

Принимаем t=0,8 м, тогда

$$Rc = \frac{78}{2\pi * 3}(\ln\frac{2*3}{0{,}04} + 0{,}5 * \ln\frac{4*2{,}3+3}{4*2{,}3-3}) = 22{,}13 Ом$$

4. Находим количество параллельно соединенных заземлителей по формуле:

$$n = \frac{Rc}{Rз},$$

где $Rз$ – допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом.

$$n = \frac{22{,}13}{4} = 5{,}5.$$

Принимаем 6 заземлителей, расстояние между ними 3 м, коэффициент использования заземлителей ηст=0,65.

5. Находим результирующее сопротивление всех стержней

$$Rрез = \frac{Rc}{n * \eta ст} = \frac{22,13}{6 * 0,65} = 5,67 Ом.$$

6.Для связи вертикальных электродов применяются горизонтальные электроды – стальная полоса или пруток. Конкретно в этом случае заземляющее устройство использует стальную полосу сечением 30*4 мм. Длина горизонтального электрода при расположении заземлителей в ряд

$$l=1,05*a(n-1),$$

где a – расстояние между вертикальными электродами,м;

n – количество электродов.

$$l=1,05*3(6-1)=15,75 \text{ м.}$$

7.Находим удельное сопротивление горизонтального электрода

$$\rho_{расч}=\rho_{изм}*\psi_n,$$

где $\rho_{изм}$ – удельное сопротивление грунта, Ом*м;

ψ_n – климатический коэффициент.

Климатический коэффициент принимается большим, чем для стержня ψ_n=1,5.

$$\rho_{расч}= 60\ 1,5 = 90 \text{ Ом*м.}$$

8. Определяем сопротивление $Rз$ растеканию тока горизонтального электрода по формуле

$$Rз = \frac{\rho_{расч}}{2\pi l} \ln \frac{2 * l^2}{b t_c},$$

где b – ширина горизонтального электрода b=003 м.

$$Rз = \frac{90}{2\pi * 15,75} \ln \frac{2 * 15,75^2}{2,3 * 0,03} = 8,08 Ом.$$

9. Определяем общее сопротивление заземляющего устройства

$$R = \frac{Rрез * Rз}{Rрез + Rз} = \frac{5,67 * 8,08}{5,67 + 8,08} = 3,33 Ом.$$

Данное значение меньше допустимого (4 Ом), что обеспечивает необходимый уровень электробезопасности

В современной технической литературе под понятием "пожарная безопасность" понимается общее состояние объекта, при котором с большой

вероятностью уменьшается возможность возникновения пожара, а также обеспечивается защита людей и спасение имущества. Для обеспечения соответствующего уровня пожарной безопасности в рабочих помещениях необходимо следовать ряду требований, определенных в ГОСТе 12.1.004-91 "Пожарная безопасность. Общие требования". Определяя классификацию помещений по уровню опасности возникновения пожара, можно выделить категориюВ.

Достижение высокого уровня пожарной безопасности заключается в использовании системы предотвращения возникновения пожара и системы пожарной защиты. Эти системы должны быть разработаны в соответствии с требованиями регламентов и обеспечивать оперативную реакцию на возможную угрозу, своевременное оповещение людей о предстоящей опасности и быстрое вмешательство спасателей в случае необходимости. В целях обеспечения оптимального уровня пожарной безопасности рекомендуется проводить периодическую проверку и модернизацию системы обеспечения пожарной безопасности в соответствии с новыми технологиями и нормативно-правовыми актами. В результате следования указанным требованиям можно достигнуть высокого уровня пожарной безопасности в рабочих помещениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы было выполнено следующее:

1. Рассмотрены параметры переменных и подстроечных резисторов и проблемы в области контроля шумов перемещения.
2. Рассмотрены методы контроля шумов перемещения
3. Разработана принципиальная схема устройства для измерения параметров подстроечных и переменных резисторов.
4. Разработана функциональная схема устройства для измерения параметров подстроечных и переменных резисторов.
5. Была подобрана электронная компонентная база для автоматизации процесса измерения данных переменных и подстроечных резисторов.
6. Разработаны методы по обеспечению безопасности при работе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Расчёт метрологических характеристик при проектировании средств измерений: Учеб. пособие / Под ред. Г. П. Шлыкова. – Пенза: Пенз. Политехн. Ин-т. 1988 – 80 с.: 3 назв.

2 Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справ./ Н.Н. Акимов, Е. П. Ващуков, В. А. Прохоренко, Ю. П. Ходоренок. – Мн.: Беларусь, 1994. – 591 с.: ил.

3 Справочник по технике безопасности. П.А. Долин— М.: Энергоатомиздат, 1985.

4 Теория измерения для инженеров. Пиотровский Я.Н

5 Цифровые измерительные устройства. Теория погрешностей, испытания, поверка. Н. Н. Востроknутов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.: ил.

6 Электрические измерения неэлектрических величин. П. В. Новицкий Изд. 5, перераб. и доп. Л., «Энергия», 1975.

7 Электрические измерения: Учебное пособие для вузов.; Под ред. д-ра техн. наук В. Н. Малиновского. – Энергоатомиздат, 1985. – 416 с., ил.

8 ГОСТ 12.3. 019-80 Система стандартов в области безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности.

9 ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ Опасные и вредные производственные факторы

10 ГОСТ 16504 – 81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.

11 ГОСТ В 11 – 0011 – 85 Резисторы переменные.

12 ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовой документации

13 ГОСТ 2.106 Программа и методика испытаний

14 ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы

15 ГОСТ 2.120-73 ЕСКД. Технический проект

16 ГОСТ 22261 – 94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технически условия.

17 ГОСТ 2370 – 93 Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 6. Особые требования к омметрам (приборам для измерения сопротивления) и приборы для измерения активной проводимости.

18 ГОСТ 2.301-68 ЕСКД. Форматы

19 ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования

20 ГОСТ Р 8.568 - 97 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.

21 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»

Приложение **А**

(Обязательное)

Задание на бакалаврскую работу

«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 гр. 19ПД1 факультета информационных технологий и электроники

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и наноэлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Степуков Никита Александрович
(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Доросинский Антон Юрьевич
(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы Контроль шумов перемещения подстроечных 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.)

Разработать устройство для контроля шумов перемещения

Рабочие условия эксплуатации стенда: .

- температура воздуха окружающей среды, °С от 15 до 35;
- атмосферное давление, кПа от 84,0 до 106,7;
- относительная влажность воздуха, %, не более 80,0;
- напряжение сети питания, В от 207,0 до 253,0;
- частота сетевого питания, Гц от 49,0 до 51,0;
- мощность, потребляемая стендом от сети, ВА, не более 90,0;
- диапазон номинальных сопротивлений от 10 до 100 кОм;
- протокол передачи информации *RS*232.

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

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

1 Анализ современного состояния и проблем в области контроля шумов

1.1 Понятие переменного и подстроечного резистора

1.2 Контролируемые параметры подстроечных резисторов

1.3 Методы контроля шумов перемещения

1.4 Сущность статистического состояния и проблем в области контроля шумов перемещения

2 Разработка автоматизированной системы контроля шумов перемещения

2.1 Разработка структурной схемы устройства

2.2 Разработка функциональной схемы устройства

2.3 Выбор электронной компонентной базы

2.4 Разработка принципиальной схемы устройства

3 Методическое и алгоритмическое обеспечение системы

3.1 Анализ установки в режиме измерения полного сопротивления

3.2 Анализ установки в режиме измерения функциональной характеристики

4 Мероприятия по обеспечению безопасных условий труда при эксплуатации прибора для измерения параметров подстроечных резисторов

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

1. Титульный лист Слайд 1

2. Задание на ВКР Слайд 2

3. Методы контроля шумов перемещения Слайд 3

4.Алгоритм управления системой Слайд 4

5. Структурная схема автоматизированной системы контроля шумов перемещения Слайд 5

6.Схема функционирования автоматизированной системы контроля шумов перемещения Слайд 6

7. Принципиальная схема устройства Слайд 7

8. Расчет заземляющего устройства Слайд 8

9. Заключение Слайд 9

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
Анализ современного состояния и проблем в области контроля шумов перемещения	20%	09.06.23	
Разработка автоматизированной системы контроля шумов перемещения	20%	10.06.23	
Методическое и алгоритмическое обеспечение системы	20%	11.06.23	
Мероприятия по обеспечению безопасных условий труда при эксплуатации прибора для измерения параметров подстроечных резисторов	10%	12.06.23	
Иллюстративная часть	15%	13.06.23	
Оформление пояснительной записки	15%	14.06.23	

Руководитель бакалаврской работы _____ Доросинский А.Ю.
подпись фамилия, инициалы

Дата выдачи задания «09» июня 2023 г.

Задание к исполнению принял _____ Степуков Н.А.
подпись фамилия, инициалы

«09» июня 2023 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета _____ Кревчик В.Д.
подпись фамилия, инициалы

«23» июня 2023 г.

Приложение Б

(Обязательное)

Презентация

Приложение В

(Обязательное)

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

АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Степуков Никита Александрович
Самоцитирование рассчитано для: Степуков Никита Александрович
Название работы: Контроль шумов перемещения подстроечных резисторов
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

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

СОВПАДЕНИЯ		47.97%	СОВПАДЕНИЯ		46.25%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ		48.33%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ		50.04%
ЦИТИРОВАНИЯ		3.71%	ЦИТИРОВАНИЯ		3.71%
САМОЦИТИРОВАНИЯ		0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ		0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 22.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 22.06.2023 12:04

Структура документа: Проверенные разделы: содержание с.1, основная часть с.2-62, библиография с.63-64

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: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 22.06.23

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.

Протокол

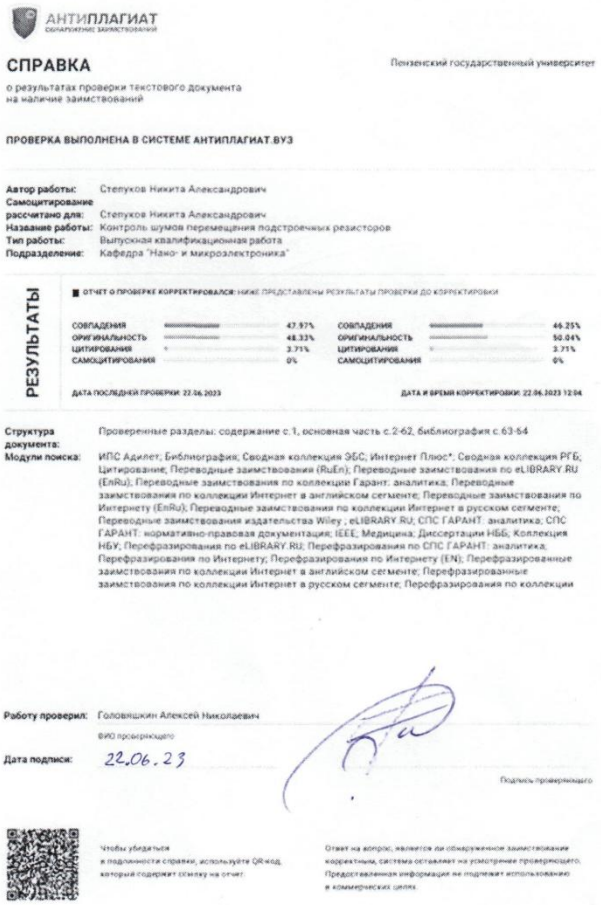
проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной бакалаврской работы на тему «Контроль шумов перемещения подстроечных резисторов»

студента 4 курса Степукова Никиты Александровича

направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника,

профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Руководитель ВКР Доросинский А.Ю.



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Степуков Никита Александрович
Самоцитирование рассчитано для: Степуков Никита Александрович
Название работы: Контроль шумов перемещения подстроечных резисторов
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

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

СОВПАДЕНИЯ	47.97%	СОВПАДЕНИЯ	46.25%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	48.33%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	50.04%
ЦИТИРОВАНИЯ	3.71%	ЦИТИРОВАНИЯ	3.71%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 22.06.2023 **ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ:** 22.06.2023 12:04

Структура документа: Проверенные разделы: содержание с.1, основная часть с.2-62, библиография с.63-64

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: Головяшкин Алексей Николаевич
ФИО проверяющего

Дата подписи: 22.06.23
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.

Руководитель ВКР

«22» июня 2023 год _____ Доросинский А.Ю.

подпись *фамилия, инициалы*

Ректору Пензенского государственного университета Гулякову А.Д.
студента 4 курса ФИТЭ очной формы обучения
Степукова Никиты Александровича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Степуков Никита Александрович, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, профиля Микроэлектроника и твердотельная электроника, прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Автоматизированный стенд для обработки параметров сегнетоэлектриков», 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 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.

_____ 22.06.23

ВКР представлена на проверку 22.06.23

Руководитель ВКР _____ Доросинский Антон Юрьевич