

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПГУ 02. 11.03.04. 008 ПЗ

обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему:

Источник постоянного тока для вторичного преобразования сигналов
датчика физических величин
тема бакалаврской работы

Студент группы 20ПД1
номер группы

[подпись] 08.06.24
подпись, дата

И.Т. Кобиров
иниц., фамилия

Руководитель доцент НимЭ
должность

[подпись] 08.06.24
подпись, дата

Ю.В. Аношкин
иниц., фамилия

ПГУ, каф. НимЭ
наименование организации

Нормоконтролер ст. преподаватель [подпись] 13.06.24г.
должность

Т.Н. Рыжова
иниц., фамилия

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 10.06.24 № 10)
Заведующий кафедрой [подпись] 12.06.24

И.А. Пронин
инициалы, фамилия

Работа защищена с оценкой удовл. (протокол ГЭК от 18.06.24 № 7)

Секретарь ГЭК

[подпись] 18.06.24г.
подпись, дата

А.А. Вольсков
инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит: 78 страниц, 18 рисунков, 10 слайдов презентации, 8 используемых источников и 4 приложения.

Ключевые слова: датчик, источник тока, расчет, коэффициент, физическая величина, схема, измерение, преобразование.

Объектом разработки является источник постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин.

Цель работы является разработка и проектирование источника постоянного тока для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин.

Проведен анализ датчиков физических величин, проведен обзор методов измерения физических величин, проведен обзор способов измерения физических величин, разработана и спроектирована схема электрическая принципиальная источника постоянного тока для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин в широком диапазоне измерения, выполнено моделирование работы источника постоянного тока вторичного преобразования для сигнала датчика физических величин, разработана 3D модель печатной платы данного устройства.

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						2
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	Error! Bookmark not defined.
1 Методы и способы измерения физических величин	Error! Bookmark not defined.
1.1 Физические величины и единицы измерения	Error! Bookmark not defined.
1.2 Базисные эталоны единиц измерений	7
1.3 Основные функции измерительных систем.....	11
1.4 Классификация средств измерений.....	15
1.5 Виды и методы измерений.....	16
1.6 Мостовой метод измерения.	19
1.7 Резонансный метод измерения параметров двухполюсника	23
1.8 Тензорезистивные датчики	26
1.9 Емкостные датчики	30
2 Проектирование источника постоянного тока для преобразования сигналов датчика физических величин	Error! Bookmark not defined.
2.1 Операционные усилители для преобразования сигналов датчиков физических величин.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Источник тока на основе операционных усилителях.....	35
2.3 Анализ существующих схем источника тока на операционных усилителях	36
2.4 Расчет параметров элементов схем для источника тока на операционных усилителях.....	41
2.5 Моделирование источника постоянного тока вторичного преобразователя для датчиков физических величин	44
2.6 Разработка и проектирование печатной платы источника постоянного тока.....	48
3 Электробезопасность на рабочем месте инженера-проектировщика	Error! Bookmark not defined.

3.1 Общие сведения.....	Error! Bookmark not defined.
3.2 Электробезопасность рабочего места инженера-проектировщика	56
Заключение	57
Список использованных источников	58
Приложение А. Задание на бакалаврскую работу	59
Приложение Б. Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ»	63
Приложение В. Презентация	67
Приложение Г. Графическая часть.....	78

ВВЕДЕНИЕ

Измерение физических величин и дальнейшее преобразования для получения информативных данных в различных областях науки и техники является всегда сложной задачей. Разработка различных преобразователей физических величин позволяет автоматизировать и ускорить рутинную работу по сбору и анализу измеренных данных. Сбор и обработка измеренных данных в современном мире широко используется в цифровых технологиях и интернет вещах. Поэтому разработка источника тока для вторичного преобразования сигнала датчиков физических величин является актуальной.

Цель работы является разработка и проектирование источника постоянного тока для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин. Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи:

- провести анализ имеющихся датчиков различных физических величин;
- провести обзор методов измерения физических величин;
- провести обзор по способам измерения физических величин.
- разработать схему электрическую принципиальную источника постоянного тока для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин.
- провести моделирование работы источника постоянного тока вторичного преобразования для сигнала датчика физических величин.

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Введение	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Кобилев И.						
Провер.		Аношкин Ю.					5	
Н. Контр.		Рыжова Т.		13.06.14				
Утв.								
						Группа 20ПД1		

1 Методы и способы измерения физических величин

1.1 Физические величины и единицы измерения

С философской точки зрения измерение – это процесс распознавания, происходящий через определение свойств материальных объектов с помощью технических средств. Количественные аспекты объекта материальной действительности позволяют проводить измерения, дают четкое описание его свойств и являются важным элементом распознавания.

Цель эксперимента – определить измеряемые параметры физического явления и получить его численное значение на основе уже установленных функциональных зависимостей между измерениями. Измеряемые физические величины описываются математическими уравнениями, которые можно разделить на классы, каждый из которых охватывает определенный круг явлений [1].

Измерение – это процесс познания, заключающийся в выявлении свойств физических объектов с помощью инструментов. Количественные характеристики объекта позволяют проводить измерения, точно описывать его свойства и являются ключом к пониманию его природы.

Физические законы выражаются в математических уравнениях и связывают физические величины друг с другом. Основные физические величины определены международными соглашениями и лежат в основе международной системы единиц СИ [1].

Когда физическая величина измеряется, ее значение G сравнивается с единицей измерения E . Полученное в результате измерения числовое значение называется числовым значением N физической величины:

$$G = N \times E. \quad (1.1)$$

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Методы и способы измерения физических величин	Лит.	Лист	Листов		
Разраб.		Кобилев И.								
Провер.		Аношкин Ю.					6			
Н. Контр.		Рыжова Т.		13.06.24		Группа 20ПД1				
Утв.										

Любая физическая величина равна числовому значению, умноженному на соответствующую единицу измерения.

Математические уравнения соотносят физические величины друг с другом, опираясь на фундаментальные величины, которые независимы друг от друга. Международные конвенции определяют эти основные величины, являющиеся основой систем единиц СИ. Уравнения позволяют выводить производные величины из основных.

Они определяются уравнениями, содержащими основные физические величины или их комбинации.

Производные физические величины могут быть выражены как произведения фундаментальных физических величин B_i :

$$G = B_1^{\beta_1} \cdot B_2^{\beta_2} \dots B_n^{\beta_n} \quad (1.2)$$

Показатель степени β_i – это положительные или отрицательные целые числа.

В 1960 году было заключено международное соглашение о выборе фундаментальных физических величин. Эти величины и производные физические величины составляют основу Международной системы единиц СИ (*Systeme International d'Unites*) [1]. Во многих странах эта система единиц имеет силу закона: Международная система единиц СИ очень проста в использовании как в теории, так и на практике: производные единицы СИ получаются из основных единиц путем целочисленных значений величины β_i в соответствии с уравнением (1.2).

1.2 Базисные эталоны единиц измерений

Исследователи прилагали и продолжают прилагать усилия, чтобы связать основные физические величины с фундаментальными константами, которые можно воспроизводимо измерить в любой момент времени. Типичным примером является единица длины, определяемая с 1927 года длиной волны красной линии кадмия Cd, а с 1960 года – излучением в

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

оранжевой области видимого спектра изотопа криптона – ^{86}Kr : метр – длина, равная 1 650 763,73 длине волны в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p^{10}$ и $5d^5$ атома криптона – 86.

17-я Генеральная конференция по мерам и весам состоялась в 1983 году. Метр равен длине света, проходящего в вакууме за $1 / 299\,792\,458$ секунды [2].

Скорость света в вакууме точно измерена и равна $c = 299\,792\,458$ м/с. Скорость света была выбрана для определения метра, поскольку она является одной из фундаментальных констант природы. Длина эталона может быть измерена путем определения времени, которое требуется свету, чтобы пройти это расстояние.

Масса занимает особое место среди основных физических величин, поскольку она определяется путем сравнения с эталоном, хранящимся в Международном бюро мер и весов в Севре, недалеко от Парижа. Эталон представляет собой цилиндр из сплава 90 % платины и 10 % иридия диаметром и высотой 39 мм. До сих пор не удавалось достаточно точно выразить значение массы эталона с помощью фундаментальной константы. Единицей массы является килограмм. Он равен массе международного эталона килограмма. (1889 г., 1901 г.).

Одна секунда равна 9 192 631 770 циклам излучения, соответствующим переходу между двумя уровнями гиперфинной структуры основного состояния атома ^{133}Cs (1967 г.).

Второй критерий достигается при использовании микроволнового излучения цезия ($9,192631770 \times 10^9$ Гц). Чтобы определить такой временной интервал, нужно уметь «считать» 9 192 631 770 циклов атомного излучения. Очевидно, что в будущем появятся генераторы частоты, более точные, чем «атомные часы» из изотопов ^{133}Cs . Тогда и возникнет необходимость в новом определении единицы времени.

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Взаимосвязь электродинамики и механики позволила в 1948 году переопределить единицу силы электрического тока.

Ампер равен силе постоянного тока. Этот ток течет по двум параллельным, прямым, бесконечно длинным проводникам с пренебрежимо малыми круговыми сечениями на расстоянии 1 м друг от друга в вакууме, вызывая силу взаимодействия 2×10^{-7} Н на сечениях проводников длиной 1 м. Таким образом, определена еще одна константа фундаментальной физики - магнитная постоянная μ_0 . Она равна $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Н / А². Это соотношение в принципе эквивалентно приведенному выше определению ампера: зная формулу определения емкости, можно точно определить диэлектрическую проницаемость ϵ_0 , не прибегая к экспериментальным измерениям.

$$C = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0} \quad (1.3)$$

Основной термодинамической величиной является термодинамическая температура. Ее единицей является кельвин. Поскольку температура имеет значение абсолютного нуля, для определения этой величины необходимо зафиксировать другую точку. Для этого выбрана тройная точка воды.

Единица термодинамической температуры, кельвин, равна 1 / 273,16 термодинамической температуры тройной точки воды (1967 г.).

Следует отметить, что в современной термодинамике температура определяется как величина, отражающая состояние внутреннего движения равновесной макроскопической системы и определяемая внутренней энергией и внешними параметрами системы. Непосредственно измерить температуру невозможно, она может быть определена только по изменениям внешних параметров, вызванных нарушениями равновесного состояния в результате теплообмена с другими объектами. Практические измерения температуры производятся по Международной практической температурной шкале (ITS-68/75):

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- тройная точка водорода – 13,81 K;
- тройная точка кислорода – 54,361 K;
- температура кипения кислорода – 90,188 K;
- тройная точка воды – 273,16 K;
- температура кипения воды – 373,15 K;
- температура замерзания золота – 1377 K.

Количество вещества было введено в СИ в 1971 году в качестве основной величины, позволяющей описывать количественные отношения в химии и физической химии в единицах СИ. Единицы количества вещества определяются следующим образом: один моль представляет собой количество вещества в системе, содержащей такое же число частиц, как атомов в 0,012 кг изотопа углерода ^{12}C . При использовании молей необходимо точно определить тип отдельных частиц. Отдельные частицы могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами, другими частицами или группами частиц с точно определенными параметрами. Число частиц называется числом Авогадро.

Электромагнитное излучение описывается так называемыми энергетическими величинами, которые выражаются первыми тремя величинами (единицами). ($S = [E \times H]$ - вектор Умова-Поэттинга).

Если излучение необходимо описать через его воздействие на человеческий глаз, то для этого используется соответствующая фотоэлектрическая (освещенность) величина. Основной величиной является сила света, измеряемая в канделах.

Кандела - это сила света источника света, испускающего монохроматическое излучение с частотой 540×10^{12} Гц в постоянном направлении под телесным углом в 1 стерадиан, мощностью 1 / 683 Вт. ($\nu = 540 \times 10^{12}$ Гц, $\lambda = 555$ нм – максимальная чувствительность глаза).

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Размерность физической величины показывает, как она связана с фундаментальной физической величиной. Поэтому нет необходимости определять единицу измерения для каждой физической величины отдельно. Они представлены произведением целого числа фундаментальных физических величин, порядок которых равен 1. В СИ фундаментальные физические величины соответствуют основным единицам измерения: длина, масса, время, ток, температура, количество вещества и сила света.

Физические величины и их размеры не являются одинаковыми [2]. Иногда совершенно разные физические величины имеют одну и ту же размерность. Например, в электротехнике для различных физических величин, таких как ток и магнитодвижущая сила, используется единица ампер (А), а для индуктивности и магнитной проводимости – единица генри (Гн). В механике круговая частота

$$\omega - [\omega] = \text{с}^{-1}, \quad (1.4)$$

частота вращения

$$f - [f] = \text{с}^{-1} \quad (1.5)$$

и угловая скорость

$$\omega - [\omega] = \text{с}^{-1}, \quad (1.6)$$

имеют одинаковую размерность. Число измерений не содержит информации о том, является ли данная физическая величина скаляром, вектором или тензором. Однако значения размерности часто используются для проверки корректности соотношений между физическими величинами.

1.3 Основные функции измерительных систем

Рассмотрим структурную схему измерительной системы (рисунок 1.1).



1 – восприятие измеряемой величины; 2 – преобразование измерительной информации, усиление; 3 – вычислительные операции; 4 – передача измерительной информации; 5 – отображение измерительной информации

Рисунок 1.1 – Структурная - схема
измерительной системы

Данная схема не полностью иллюстрирует последовательность прохождения сигнала. Однако анализ имеющихся измерительных приборов и схем демонстрирует, что любую измерительную систему можно условно разделить на отдельные части, компоненты. Каждая часть выполняет функцию, достаточно общую для всех систем. Такая схема формируется при изображении этих функций в виде символьных блоков, которые объединены между собой сигналами, характеризующими физические величины [3].

Наиболее важные структуры прибора:

1. Понятие измеряемой величины. Основной задачей любой измерительной системы является понятие физических величин. Во многих случаях чувствительные элементы преобразователя не существуют буквально самостоятельными элементами прибора, а объединены с другими элементами прибора. В процессе измерения физической величины основной задачей является получение сигнала в измерительной информационной форме, благоприятной для дальнейшего анализа, с минимальными обратными связями в системе (помехи, энергетические затраты).

2. Трансформация измерительной информации и ее усиление сигнала. В процессе измерения всегда применяются конкретные физические явления.

В результате выходные сигналы, функционально взаимосвязанные с измеряемой физической величиной, должны быть преобразованы в другую физическую величину (например, давление → напряжение, температура → давление).

Трансформация измерительной информации часто требует усиления или ослабления сигнала, например, изменение мощности, трансформация выходного импеданса, изменения силы сигнала и т. д.

3. Вычислительные операции. Все измерительные приборы используют (часто в неявном виде) некоторые вычислительные действия. Как уже упоминалось, измерение – это сравнение с так называемой определенной шкалой [2]. В простом случае операция нормализации сигнала – это размер шкалы. Тогда, при анализе измерительной информации наряду с четырьмя арифметическими операциями используются операции возведения в степень, извлечения корня, интегрирования и логарифмирования. Такие операции нужны, когда связь между первичной измеряемой величиной, регистрируемой датчиком, и величиной, представленной в руководстве, не является взаимно линейной. Например, такая нелинейность может быть при определении скорости потока по изменению давления, электрическом измерении кислотности (pH) и т. д. Вычисления также нужны, когда для вывода указанной величины необходимо одновременно измерить несколько различных величин (например, при измерении теплового потока).

4. Обработка измерительной информации. Результат значения величин, полученные в результате операций, описанных в разделе выше, используются не только для мгновенного регистрирования, но и все чаще подвергаются обработке – масштабированию информации. Тогда, наряду с реализацией дальнейших вычислительных операций, обычно необходимо временное сохранение значений измерений. Анализ такой измерительной информации в основном выполняется в связи с сохранением сигналов во временном или частотном диапазоне (например, получение средних

значений, анализ частотного спектра и т. д.). Тогда, любые аналитические и логические операции могут быть выполнены с помощью персонального компьютера или микропроцессора на основе программируемых логических матрицах [3].

5. Визуализация измерительной информации. Если измерительная информация не подлежит дальнейшей автоматической трансформации, а передается наблюдателю в визуальном виде, то измерение заканчивается ее отображением. Существует множество различных способов визуализации информации. Следует выделить, что при вычислении погрешностей необходимо учитывать специальный способ визуализации информации по измерениям. В настоящее время выбор метода измерения физических величин часто определяется требуемым типом отображения измеряемой величины. Поэтому, если требуется цифровая информация, нужно переходить на дискретные методы на ранней стадии процесса измерения [3].

Таким образом, в целом измерение физических величин является достаточно трудоемким процессом. Первичная измеряемая величина воспринимается чувствительным элементом измерительного прибора и трансформируется в электрический сигнал, гидравлическую или пневматическую величину на основе законов физически, которые строго определяют связь между этими двумя величинами. Преобразование может быть исполнено в несколько этапов. Например, механические силы, влияющие на пружину, деформируют ее. Деформация пружины трансформируется в изменение электрического сопротивления с помощью тензометрических датчиков, а затем в изменение напряжения или тока с помощью специальных мостовой схемы. И даже эта электрическая величина обычно не соответствует для получения измерительной информации (считывания или записи). Только путем дальнейшего преобразования в другую величину или усиления измеряемая физическая величина может быть преобразована в форму, подходящую для вывода или дальнейшего анализа.

1.4 Классификация средств измерений

Измерения выполняются с помощью средств измерений. Средства измерений – это технические средства с нормированными метрологическими характеристиками [3].

По функциональному назначению средства измерений делятся на следующие группы: меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные системы и измерительное оборудование.

Средства измерений – это измерительные приборы, предназначенные для воспроизведения физических величин заданной величины. Например, мера – это резистор, воспроизводящий сопротивление определенной величины с известной погрешностью [3].

Измерительный преобразователь – это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и/или хранения, но не позволяющей наблюдателю непосредственно воспринимать результат измерения. Измерительный преобразователь, к которому непосредственно подводится измеряемая величина, называется первичным измерительным преобразователем. Измерительный преобразователь, предназначенный для изменения значения величины в определенное число раз, называется метрологическим преобразователем.

Первичные измерительные преобразователи, размещаемые непосредственно на объекте измерения и удаленные от места обработки, отображения и регистрации измерительной информации, называются датчиками.

Метрологический преобразователь – это средство измерений, предназначенное для формирования сигнала измерительной информации в форме, которая может быть непосредственно воспринята наблюдателем, например, в виде цифрового показания на измерительном приборе.

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Измерительные приборы, показания которых являются непрерывной функцией изменения измеряемой величины, называются аналоговыми измерительными приборами. Измерительные приборы, которые автоматически генерируют дискретный (кодированный) сигнал измерительной информации и выдают показания в цифровой форме, называются цифровыми измерительными приборами [2].

Измерительная установка – это совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, разработанных и установленных в одном месте для формирования сигналов измерительной информации в формате, удобном для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измерительная установка может включать в себя измерительные приборы, измерительное оборудование и различные вспомогательные устройства.

Для эффективного контроля и оптимального управления все более сложными современными промышленными техническими процессами требуется информация о большом количестве параметров объекта и оперативная обработка этой информации. По этой причине появились сложные системы, предназначенные для автоматического сбора и обработки информации.

Измерительная система – это совокупность средств измерений (мер, измерительных преобразователей, приборов) и вспомогательных устройств, соединенных каналами связи и предназначенных для формирования сигналов измерительной информации в формате, удобном для автоматической обработки, передачи и/или использования в системах автоматического управления [3].

1.5 Виды и методы измерений

Измерения делятся на прямые, косвенные, совместные и комплексные

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

в зависимости от метода, используемого для обработки экспериментальных данных с целью получения результата.

Прямое измерение – это измерение, при котором желаемое значение величины получается непосредственно из экспериментальных данных в результате измерения [3].

Косвенное измерение – это измерение, при котором искомое значение величины получается на основе известной зависимости между этой величиной и величиной, подлежащей прямому измерению.

При косвенном измерении значение измеряемой величины получают путем решения уравнения

$$X = F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (1.7)$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – значения величин, полученных прямыми измерениями.

Пример косвенного измерения: значение сопротивления R получают из уравнения:

$$R = U / I \quad (1.8)$$

(закон Ома), подставляя в него измеренные значения падения напряжения U на сопротивлении и тока I через него.

Совокупные измерение – одновременное измерение нескольких одноименных величин, при котором искомое значение величины находится путем решения одновременных уравнений, составленных из результатов прямых измерений различных комбинаций этих величин.

Пример совокупного измерения: сопротивление обмотки трехфазного двигателя, соединенного в треугольник (или звезду), измеряется путем измерения сопротивления между различными вершинами треугольника (или звезды); из результатов трех измерений составляются и решаются три уравнения, позволяющие определить сопротивление обмотки и сделать

выводы о целостности обмотки, наличии короткого замыкания или обрыва провода. Делаются выводы о целостности обмотки, наличии короткого замыкания или обрыва [3].

Совместное измерение – одновременное измерение нескольких разнородных величин и определение зависимостей между ними [3].

Пример совместного измерения: определение функциональной зависимости сопротивления резистора от температуры, заданной уравнением

$$R(t) = R_0(1 + A \cdot t + B \cdot t^2), \quad (1.9)$$

где t – температура;

R_0 , A и B – параметры; измерение сопротивления резистора при трех различных температурах.

Решаем систему из трех уравнений, которая, определяет параметры R_0 , A и B .

Взаимодействие средства измерений с объектом основано на физических явлениях, совокупность которых составляет принцип измерения, а совокупность принципа и способа применения средства измерений называется методом измерения.

В зависимости от способа применения измерения известной величины различают два метода: метод непосредственного оценивания и метод сравнения с измерительным прибором. При методе непосредственной оценки значение измеряемой величины определяется непосредственно по отсчетному устройству средства измерений прямого преобразования. Метод сравнения с СИ – метод, при котором значение измеряемой величины сравнивают со значением, воспроизводимым средством измерений [3].

В группу методов сравнения со средством измерений входят следующие методы: нулевой метод, разностный метод и метод замещения. При нулевом методе разность между измеряемой величиной и известной величиной или разность между измеряемой величиной и эффектом,

создаваемым известной величиной, в процессе измерения сводится к нулю.

В дифференциальном методе с помощью измерительного прибора измеряется разность между измеряемой величиной и известной величиной, воспроизводимой измерительным прибором. Неизвестная величина определяется по разности между известной и измеренной величинами. В методе замещения измеряемая величина заменяется средством измерения, которое выбирается или настраивается таким образом, чтобы показания средства измерения оставались неизменными.

1.6 Мостовой метод измерения.

Мосты – это устройства, используемые для измерения сопротивления на основе дифференциального или нулевого методов измерения [4]. Мостовые схемы широко используются в измерительной технике для измерения сопротивления, емкости, индуктивности, добротности, частоты и коэффициента потерь. Мостовые схемы используются в следующих областях:

- высокоточные измерения;
- высокая чувствительность;
- возможность измерения различных величин.

Мостовые схемы можно разделить на следующие типы:

- 1) уравновешенные (основанные на нулевом методе измерения) – мосты, находящиеся в равновесии в момент измерения;
- 2) неуравновешенные (основанные на дифференциальном методе измерения) – мосты, находящиеся в равновесии до измерения и неуравновешенные в момент измерения.

В зависимости от источника питания различают мосты переменного и постоянного тока. Наиболее часто используемым мостом в измерительной

технике является мост Уитстоуна (рисунок 1.2).

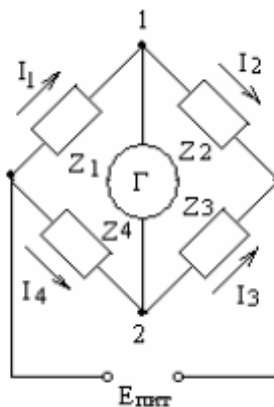


Рисунок 1.2 – Мост Уитстоуна

Этот мост находится в равновесии, если разность потенциалов между первой и второй точками равна нулю. Это состояние равновесия можно определить с помощью токоизмерительного прибора Γ , в котором ток равен нулю [4].

Когда $I_{\Gamma} = 0$, согласно первому закону Кирхгофа, можно записать

$$I_1 = I_2 \text{ и } I_3 = I_4. \quad (1.10)$$

Тогда падение напряжения на элементах Z_1 и Z_2 равно падению напряжения на элементах Z_4 и Z_3 :

$$I_1 Z_1 = I_4 Z_4, \quad (1.11)$$

$$I_2 Z_2 = I_3 Z_3. \quad (1.12)$$

Разделим (1.11) разделить на (1.12):

$$I_1 Z_1 / (I_2 Z_2) = I_4 Z_4 / (I_3 Z_3) \Rightarrow Z_1 / Z_2 = Z_4 / Z_3. \quad (1.13)$$

Таким образом, последнее уравнение можно записать в виде:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4. \quad (1.14)$$

Это и есть условие равновесия моста, которое в измерительной технике формулируется следующим образом: мост находится в равновесии, когда

произведение сопротивлений противоположных плеч равно между собой.

То есть, если $Z_i = R_i$ ($i = 1, 2, 3, 4$), то состояние равновесия моста выглядит следующим образом:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4. \quad (1.15)$$

Пусть R_1 неизвестно; $R_1 = R_x$. Из условий равновесия моста получаем

$$R_x = R_2 R_4 / R_3. \quad (1.16)$$

Если $R_4 / R_3 = k = \text{const}$, то $R_x = k - R_2$. Полученное уравнение является линейной функцией сопротивления R_2 и может быть построено на графике при неизвестных значениях сопротивления R_x .

Если все резисторы отключены

$$Z_i = A_i + j \cdot B_i = |Z| \cdot e^{j\varphi}, \quad (1.17)$$

где $\text{tg}(\varphi) = B_i / A_i$, $|Z| = (A_i^2 + B_i^2)^{1/2}$, то условие равновесия моста можно записать в виде:

$$|Z_1| e^{j\varphi_1} |Z_3| e^{j\varphi_3} = |Z_2| e^{j\varphi_2} |Z_4| e^{j\varphi_4}; \quad (1.18)$$

$$|Z_1||Z_3| e^{j(\varphi_3 + \varphi_1)} = |Z_2||Z_4| e^{j(\varphi_4 + \varphi_2)}. \quad (1.19)$$

Два комплексных числа равны друг другу, если они удовлетворяют следующим условиям:

- а) $|Z_1||Z_3| = |Z_2||Z_4|$ – условие модуляции,
- б) $\varphi_3 + \varphi_1 = \varphi_4 + \varphi_2$ – фазовое условие.

Рассмотрим некоторые частные случаи.

1. Предположим, что в двух соседних плечах имеются реактивные

сопротивления Z_1 и Z_2 , а в противоположных плечах – активные сопротивления $Z_3 = R_3$ и $Z_4 = R_4$; если Z_3 и Z_4 активны, то $\varphi_3 = \varphi_4 = 0$ и $\varphi_1 = \varphi_2$ из условия фазы. Предположим:

$$Z_1 = 1 / (j\omega C_1) = 1 / (j\omega C_x), \quad (1.20)$$

$$Z_2 = 1 / (j\omega C_2). \quad (1.21)$$

Подставим эти уравнения в уравнение для состояния равновесия моста:

$$R_3 / (j\omega C_x) = R_4 / (j\omega C_2); \quad (1.22)$$

$$R_4 C_x = R_3 C_2 \Rightarrow C_x = R_3 C_2 / R_4. \quad (1.23)$$

Таким образом, изменяя емкость C_2 , равновесие моста становится равновесным.

Следует отметить, что если резисторы с одинаковой реактивностью поместить в противоположные плечи, то $Z_2 = 1 / (j\omega C_2)$, $Z_4 = 1 / (j\omega C_4)$, $Z_1 = R_1$, $Z_3 = R_3$, то такой мост не является уравновешенным:

$$R_1 R_3 \neq -1 / (\omega^2 C_2 C_4). \quad (1.24)$$

Из уравнения (1.24) видно, что правая часть уравнения отрицательна, а левая – положительна.

Рассмотрим случай индуктивности в двух соседних плечах:

$$Z_1 = j\omega L_1; \quad (1.25)$$

$$Z_2 = j\omega L_2; \quad (1.26)$$

$$Z_3 = R_3; \quad (1.27)$$

$$Z_4 = R_4. \quad (1.28)$$

Подставим эти уравнения в уравнение для условий равновесия моста:

$$R_3 j\omega L_1 = R_4 j\omega L_2; \quad (1.29)$$

$$L_1 = R_4 L_2 / R_3. \quad (1.30)$$

Таким образом, изменяя индуктивность L_2 , можно добиться равновесия моста.

Важно отметить, что если переменная емкость в уравнении (1.23) может изменяться плавно, то индуктивность в уравнении (2.30) варьировать гораздо сложнее. Поэтому обычно для балансировки моста и измерения реактивности индуктивным способом используется переменный конденсатор.

2. Предположим, что два реактивных элемента с разными реактивностями размещены в противоположных плечах моста. Предположим следующее:

$$Z_1 = j\omega L_1, Z_3 = 1 / (j\omega C_3). \quad (1.31)$$

Пусть $Z_2 = R_2$ и $Z_4 = R_4$, тогда $\varphi_4 = \varphi_2 = 0$ и $\varphi_3 + \varphi_1 = 0$. Условие равновесия моста можно записать следующим образом:

$$(j\omega L_1) / (j\omega C_3) = R_2 R_4; \quad (1.32)$$

$$L_1 = C_3 R_2 R_4. \quad (1.33)$$

Таким образом, изменяя емкость C_3 , можно уравновесить мост, чтобы он удовлетворял условиям фазы $\varphi_3 + \varphi_1 = 0$ и модуля $|Z_1| \cdot |Z_3| = R_2 \cdot R_4$.

В заключение следует подчеркнуть, что мосты переменного тока обычно используются для измерения емкости и индуктивности, тангенса угла наклона и потерь, а мосты постоянного тока – для измерения сопротивления.

1.7 Резонансный метод измерения параметров двухполюсника

В резонансном методе измерения параметров используется резонансный контур (комбинация двух элементов с разными реактивностями,

емкостью и индуктивностью). Существует два типа соединения таких элементов: параллельное и последовательное [4]. Поэтому различают параллельные и последовательные колебательные контуры. Сначала рассмотрим параллельный контур (рисунок 1.3).

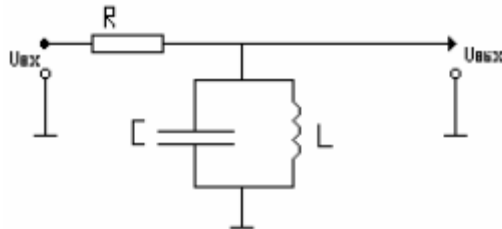


Рисунок 1.3 – Параллельный колебательный контур

Выходное напряжение, измеряемое в этой цепи, выглядит следующим образом:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} (Z_C \parallel Z_L) / (R + Z_C \parallel Z_L), \quad (1.34)$$

где

$$Z_C \parallel Z_L = Z_C Z_L / (Z_C + Z_L) = [j\omega L / (j\omega C)] / [1/(j\omega C) + j\omega L] = (L/C) / j[\omega L - 1/(\omega C)]. \quad (1.35)$$

Резонанс в электрической цепи возникает, когда коэффициент реактивности индуктивности, $|Z_L| = \omega L$, равен коэффициенту реактивности емкости, $|Z_C| = 1/(\omega C)$. Если $\omega L = 1/(\omega C)$, тогда $Z_C \parallel Z_L = \infty$. Частота, при которой наблюдается резонанс. Параллельный колебательный контур называется резонансным. Резонансные частоты различают как круговые ($\omega_{\text{рез}}$) и линейные ($f_{\text{рез}}$) и выражаются соотношением $\omega_{\text{рез}} = 2\pi f_{\text{рез}}$. Они определяются из следующих условий:

$$\omega_{\text{рез}} L = 1/(\omega_{\text{рез}} C) \Rightarrow \omega_{\text{рез}} = 1/\sqrt{LC} \Rightarrow f_{\text{рез}} = 1/(2\pi\sqrt{LC}). \quad (1.36)$$

В момент резонанса выражение $Z_C \parallel Z_L / (R + Z_C \parallel Z_L)$ приближается к 1

при $\omega \rightarrow \omega_{\text{рез}}$ и становится $U_{\text{вх}} \approx U_{\text{вх}}$. Схема настраивается в резонанс по максимальному выходному напряжению. Резонанс может быть достигнут путем изменения частоты, емкости и индуктивности [5].

Однако чаще всего для измерения используется не параллельный, а последовательный колебательный контур (рисунок 1.4).

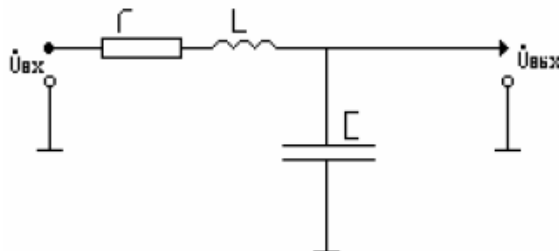


Рисунок 1.4 – Последовательный колебательный контур

В этом случае выходным сигналом является напряжение на емкости:

$$U_{\text{вых}} = (U_{\text{вх}} / j\omega C) / (r + j\omega L + 1/\omega C) = (U_{\text{вх}} / j\omega C) / [r + j(\omega L - 1/\omega C)], \quad (1.37)$$

где r - эффективное сопротивление катушки индуктивности L .

Используя условие резонанса $\omega L = 1 / (\omega C)$, из (1.37) можно получить следующее

$$U_{\text{вых}} = (U_{\text{вх}} / j\omega C) / r = (U_{\text{вх}} \omega L / j) / r. \quad (1.38)$$

Тогда модуль отношения выходного напряжения к входному получается: $|U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}| = \omega L / r$. Величина $\omega L / r$ называется коэффициентом добротности Q катушки индуктивности и $|U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}| = Q$. Последовательный контур колебаний, но выходное напряжение, снимаемое с конденсатора в последовательном контуре, прямо пропорционально добротности катушки индуктивности. $\omega L = 1 / (\omega C)$, $U_{\text{вх}} = \text{const}$ и приведенное выше утверждение верно, если конденсатор идеален (минимальные диэлектрические потери). Вольтметр, подключенный к

конденсатору, калибруется по значению добротности. Последовательная цепь является частью измерителя добротности или Q-метра, используемого для измерения большинства параметров электрической цепи (L , C , $\operatorname{tg}(\delta)$, Q , R). С их помощью добротность определяется прямым измерением, а остальные параметры электрической цепи – расчетом методом подстановки; получение L , C , $\operatorname{tg}(\delta)$ и R расчетным путем – основной недостаток резонансного метода, в отличие от мостового.

Поскольку явление резонанса наиболее ярко выражено на высоких частотах, резонансный метод используется в основном для измерения малых индуктивностей и емкостей, что является еще одним недостатком этого метода. Достоинствами этого метода являются наглядность и простота настройки.

1.8 Тензорезистивные датчики

Принцип действия тензорезистивных датчиков основан на тензорезистивном эффекте, т.е. изменении активного сопротивления при механической деформации проводника [5]. При деформации проводника изменяется его длина l и площадь поперечного сечения S . Деформация кристаллической решетки приводит к изменению удельного сопротивления ρ . Эти изменения приводят к изменению сопротивления проводника:

$$R = \rho l / S. \quad (1.39)$$

Основным свойством материала является коэффициент относительной тензочувствительности K_T . Он равен отношению относительного изменения сопротивления к относительному изменению длины проводника:

$$K_T = \varepsilon_R / \varepsilon_l, \quad (1.40)$$

где $\varepsilon_R = \Delta R / R$ – относительное изменение сопротивления проводника;

$\varepsilon_l = \Delta l / l$ – относительное изменение длины проводника, также называемое деформацией.

Чтобы приблизить коэффициент чувствительности к деформации проводникового тензометра, в качестве активного материала используется ртуть. Важно отметить, что при комнатной температуре ртуть находится в жидком состоянии и поэтому не изменяет объем при деформации. Рассмотрим ртутный стержень длиной l и площадью поперечного сечения S (рисунок 1.5). Его сопротивление равно

$$R = \rho l / S. \quad (1.41)$$

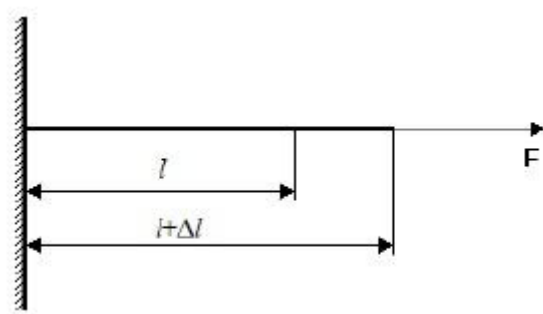


Рисунок 1.5 – Проводник из ртути под действием растягивающей силы F

Умножьте числитель и знаменатель дроби на l :

$$R = \rho l^2 / Sl. \quad (1.42)$$

Поскольку произведение $S \cdot l$ представляет собой объем V стержня:

$$R = \rho l^2 / V. \quad (1.43)$$

Продифференцируем (1.43) по длине l , принимая допущение, что объем стержня остается неизменным при деформации, и в то же время пренебрегая изменением поперечных размеров и удельного сопротивления стержня:

$$\Delta R = 2\rho l \cdot \Delta l / V. \quad (1.44)$$

Тогда деление (1.44) на (1.43) дает

$$\Delta R / R = 2 \cdot \Delta l / l \quad (1.45)$$

и разделите обе части уравнения (1.45) на $\Delta l / l$. Это дает уравнение для коэффициента восприимчивости к деформации, значение которого находится в левой части:

$$K_T = (\Delta R / R) / (\Delta l / l) = 2. \quad (1.46)$$

Проводниковые (фольга, проволока, пленка) и полупроводниковые тензорезисторы широко используются для неразрушающего контроля материалов и изделий.

Лучшим материалом для температур ниже 450 К является константан. Зависимость сопротивления R от относительной деформации l с достаточной точностью описывается линейным биномиальным уравнением

$$R = R_0(l/K_T + 1), \quad (1.47)$$

где R_0 - сопротивление тензометра без деформации.

Деформационная чувствительность константанового датчика составляет примерно 2. Нелинейность функции преобразования не превышает 1 %.

Фольгированные тензорезисторы состоят из фольгированного миандера из константана толщиной от 4 до 12 мкм, покрытой тонкой лаковой

пленкой (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Фольговый тензорезистор

Дифракционная решетка покрыта лаком. Фольговые тензорезисторы нечувствительны к поперечной деформации из-за низкого сопротивления мостика между тензочувствительными элементами [5].

Проволочные тензорезисторы имеют аналогичную конструкцию, но изготавливаются из константановой проволоки диаметром 20-50 мкм. Однако фольговые датчики превосходят их по измерительным и эксплуатационным характеристикам. Номинальное сопротивление фольговых и проволочных тензорезисторов составляет от 100 до 800 Ом, а полупроводниковых – от 50 до 800 Ом.

Полупроводниковые тензорезисторы представляют собой монокристаллические пластины кремния или германия длиной 5-10 мм и шириной 0,2-0,8 мм. Полупроводниковые тензорезисторы имеют высокие коэффициенты тензочувствительности – от 55 до 130. Недостатками полупроводниковых тензорезисторов являются большой разброс параметров, необходимость индивидуальной калибровки и сильная температурная зависимость значений сопротивления.

На практике существует два основных направления, в которых тензорезисторы могут использоваться для измерения неэлектрических величин:

1) использование эффекта растяжения в проводниках, находящихся в состоянии объемного сжатия. В этом случае естественной входной

величиной преобразователя является давление окружающего газа или жидкости. На этом принципе основаны преобразователи давления для измерения высоких и очень высоких давлений [5]. Выходной величиной преобразователя является изменение его эффективного сопротивления;

2) использование эффекта растяжения при растяжении и сжатии чувствительных к деформации материалов. В этом случае используются тензорезисторы в виде свободных и присоединенных датчиков.

Свободные тензорезисторы выполнены в виде одной или нескольких проволок, закрепленных между подвижной и неподвижной частью, обычно выполняющей роль упругого элемента. Естественной входной величиной таких датчиков является очень малое смещение подвижной части.

Наиболее распространенным типом является проволочный тензометрический датчик. Такие датчики прикрепляются к испытуемой детали и воспринимают деформацию ее поверхностного слоя. Естественной входной величиной тензорезистора со скрепленными проводами является деформация поверхностного слоя скрепленной детали, а выходной величиной – изменение сопротивления датчика пропорционально этой деформации.

Чаще всего используется несимметричный мост постоянного тока, в котором датчики деформации включаются дифференциально. В этом случае датчики располагаются на детали таким образом, что к одной стороне прикладывается растяжение, а к другой – сжатие. Выходное напряжение тензометрического моста обычно не превышает 10-20 мВ. Для повышения чувствительности тензометрические мосты используются в сочетании с усилителями [6].

1.9 Емкостные датчики

Емкостные датчики – это конденсаторы, электрические параметры которых изменяются в зависимости от величины входного сигнала [5].

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Конденсатор состоит из двух электродов, к которым подсоединены выводы. Пространство между электродами заполнено диэлектриком. Изменяя взаимное расположение электродов или диэлектрическую проницаемость среды, заполняющей пространство между ними, можно изменять емкость конденсатора.

Планарные конденсаторы широко используются в качестве емкостных преобразователей. Их емкость определяется следующим уравнением:

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 S / \delta, \quad (1.48)$$

где ε_r – относительная проницаемость диэлектрика,

ε_0 – диэлектрическая проницаемость,

S – площадь перекрытия пластин,

δ – расстояние между электродами.

Изменение любого из этих параметров изменяет емкость конденсатора.

Для преобразователей с прямоугольными электродами (рисунок 1.7) площадь перекрытия определяется как $S = bx$ и существует диапазон смещений пластин x , в котором емкость линейно зависит от x (рис. 4.19, а). Линейная зависимость может быть искажена краевыми эффектами. В области, где зависимость линейна, чувствительность таких преобразователей постоянна и увеличивается с уменьшением расстояния δ между электродами.

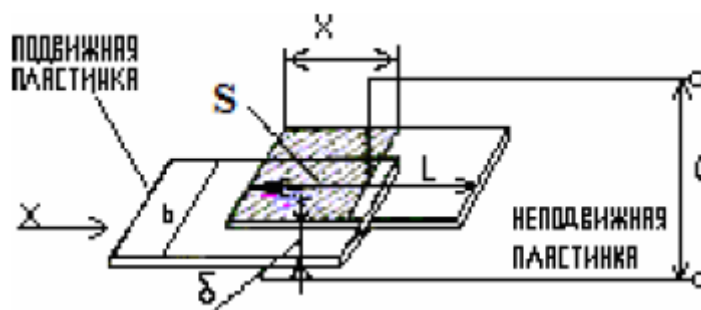


Рисунок 1.7 – Емкостной датчик

Это определяется следующим уравнением:

$$K_C = dC/dx = \varepsilon_r \varepsilon_0 b / \delta. \quad (1.49)$$

С изменением межэлектродного расстояния δ функция преобразования $C = f(\delta)$ становится гиперболической функцией. Чувствительность (K_C) преобразователя сильно зависит от межэлектродного расстояния и увеличивается при меньшем изменении δ :

$$K_C = dC/d\delta = \varepsilon_r \varepsilon_0 S / \delta^2 \quad (1.50)$$

Для увеличения чувствительности K_C необходимо уменьшить δ . Предельное значение зависит от технических условий и приложенного напряжения. Следует учитывать, что при малых δ может возникнуть электрический пробой между электродами.

Перемещая диэлектрическую пластину в зазоре планарного конденсатора, можно получить преобразователь с переменной диэлектрической проницаемостью. Емкость такого преобразователя определяется как емкость двух параллельных конденсаторов. Один из них C_ε образован частью электродов и диэлектрической пластиной, другой C_0 – это пространство между электродами, заполненное воздухом, например, с относительной проницаемостью ε_v . Если пластина с относительной проницаемостью ε_d имеет толщину δ , равную расстоянию между электродами, то функция преобразования преобразователя выражается следующим уравнением:

$$\begin{aligned} C = C_\varepsilon + C_0 &= \varepsilon_d \varepsilon_0 S_d + \varepsilon_v \varepsilon_0 [S - S_d] / \delta = \varepsilon_d \varepsilon_0 x b / \delta + \varepsilon_v \varepsilon_0 (L - x) b / \delta = \\ &= \varepsilon_v \varepsilon_0 b L / \delta + \varepsilon_0 (\varepsilon_d - \varepsilon_v) b x / \delta, \end{aligned} \quad (1.51)$$

где S – площадь прямоугольного электрода длиной L и шириной b ;

S_d – площадь диэлектрической пластины, расположенной между электродами, сдвинутая на x .

Из (1.51) следует, что зависимость емкости преобразователя является линейной функцией смещения x диэлектрика. Емкостные преобразователи широко используются для измерения уровня непроводящих жидкостей и проводящих жидкостей, а также для измерения толщины диэлектрических пленок.

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Проектирование источника постоянного тока для преобразования сигналов датчика физических величин

2.1 Операционные усилители для преобразования сигналов датчиков физических величин

Операционные усилители являются одними из наиболее важных и распространенных элементов в электронике. Они широко используются в различных устройствах, начиная от аудиоусилителей и фильтров, заканчивая медицинскими приборами и инструментами для автоматизации производства. Операционные усилители представляют собой устройства, которые обладают высоким коэффициентом усиления и могут выполнять множество функций сигнальной обработки.

Основной принцип работы операционного усилителя заключается в усилении и обработке сигнала, который подается на его вход. Операционный усилитель имеет два входа – инвертирующий и неинвертирующий, и один выход. Он усиливает разницу между значениями сигналов на этих входах в соответствии с установленным коэффициентом усиления. Таким образом, операционные усилители могут служить как усилители, а также выполнять различные операции, такие как сложение, вычитание, умножение и деление сигналов.

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Проектирование источника постоянного тока для преобразования сигналов датчика физических величин	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Кобилев И.					34	
Провер.		Аношкин Ю.						
Н. Контр.		Рыжова Т.		13.06.14		Группа 20ГД1		
Утв.								

Операционные усилители имеют множество преимуществ, которые делают их широко применяемыми в электронике. Они обладают высоким коэффициентом усиления, широким диапазоном рабочих частот, высокой точностью и низкими шумами. Благодаря этим характеристикам, операционные усилители могут быть использованы в различных устройствах, где требуется высококачественная обработка сигналов [7].

Также следует отметить, что операционные усилители являются относительно недорогими и легко доступными компонентами. Благодаря этому их применение становится доступным даже для небольших производителей и энтузиастов в области электроники.

Операционные усилители играют важную роль в современной электронике и находят применение во многих областях техники и технологий. Они обладают множеством преимуществ, таких как высокий коэффициент усиления, низкие шумы и точность, что делает их неотъемлемой частью многих электронных устройств. Современные операционные усилители предлагают широкие возможности для обработки сигналов и разработки новых технических решений, их применение будет продолжать расти и развиваться в будущем [7].

2.2 Источник тока на основе операционных усилителей

Источник тока на базе операционного усилителя – это схема, в которой операционный усилитель используется для создания стабильного выходного тока. Такой источник тока может быть использован в различных электронных устройствах, таких как источники питания, стабилизаторы напряжения, зарядные устройства и т.д.

Основой работы источника тока на основе операционного усилителя является использование обратной связи. Обратная связь позволяет контролировать выходной ток устройства и делает его более стабильным и точным.

Существует несколько видов источников тока на основе операционного усилителя. Один из наиболее популярных типов – это источник тока постоянного тока (*DC current source*), который обеспечивает постоянный ток на выходе независимо от изменений во входных параметрах. Еще одним видом является источник переменного тока (*AC current source*), который обеспечивает переменный ток на выходе.

Преимущества источников тока на основе операционного усилителя включают их высокую точность, низкое потребление энергии, маленький размер и возможность работы в широком диапазоне частот. Благодаря этим характеристикам они широко применяются в различных областях, где необходим стабильный и точный источник тока.

Источники тока на основе операционного усилителя представляют собой эффективное и надежное решение для создания стабильного и точного выходного тока. Их использование позволяет повысить качество электронных устройств и обеспечить им стабильное питание.

2.3 Анализ существующих схем источника тока на операционных усилителях

Операционные усилители могут выступать в качестве источников тока в том или ином виде. Источник тока поддерживает постоянный ток независимо от сопротивления нагрузки (для идеального источника тока нагрузка может быть любой) [7]. Существует два способа использования источников тока на основе операционных усилителей: с заземленной нагрузкой и с плавающей нагрузкой. Схема источника тока с плавающей нагрузкой иллюстрируется на рисунке 2.1.

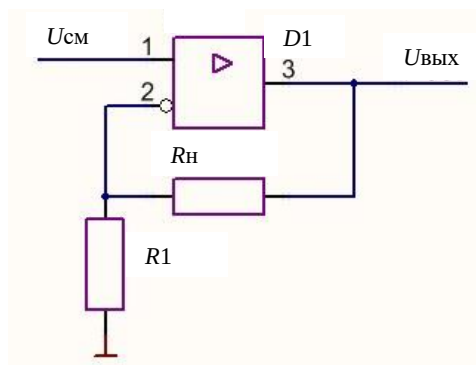


Рисунок 2.1 – Схема источника тока на операционном усилителе

Как видно, на неинвертирующий вход подается опорное напряжение, а один из элементов обратной связи выступает в роли нагрузки. Значение тока определяется следующим уравнением:

$$I = \frac{U_{см}}{R1}, \quad (2.1)$$

где $U_{см}$ – напряжение смещения;

$R1$ – подбираемый резистор.

В большинстве случаев нагрузка должна быть подключена к земле. В этом случае схема усложняется и требуются дополнительные транзисторы. Обычно в этом случае используются полевые транзисторы, поскольку коллекторный и эмиттерный токи биполярных транзисторов не сильно зависят от тока базы, что делает работу источника тока нестабильной. Схема источника тока на операционном усилителе с заземленной нагрузкой приведена на рисунке 2.2.

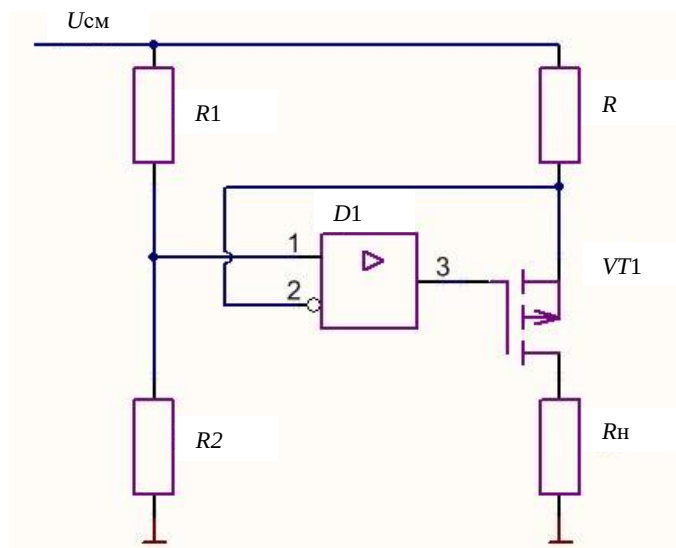


Рисунок 2.2 – Схема источника тока на операционном усилителе с заземленной нагрузкой

Для рисунка 2.2 ток будет рассчитываться следующим образом:

$$I = \frac{U_{cm}}{R} \cdot \left(1 - \frac{R2}{R1 + R2} \right). \quad (2.2)$$

Выполним расчет параметров резисторов для источника тока, который обеспечит работу датчиков. Пускай входное управляющее напряжение (U_{cm}) будет изменяться от 1 В до 10 В, т.к. напряжение питания операционного усилителя 15 В. Сопротивления современных датчиков изменяется в диапазоне от 10 Ом до 10 кОм, следовательно, необходимо обеспечить работоспособность операционного усилителя для высоких значений сопротивления. Поэтому резистор $R1$ для формулы (2.1) примем 10 кОм, тогда ток, который будет проходить через датчики, будет следующий:

$$I = \frac{10В}{10 \cdot 10^3 Ом} = 1,0 \cdot 10^{-3} А = 1 \text{ (мА)}. \quad (2.3)$$

Рассчитаем минимальное (U_{min}) и максимальное (U_{max}) напряжение, которое будет иметь датчики в своем рабочем диапазоне:

$$U_{min} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ А} \cdot 10 \cdot \text{Ом} = 0,01 \text{ (В)}, \quad (2.4)$$

$$U_{max} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ А} \cdot 1 \cdot 10^4 \text{ Ом} = 10 \text{ (В)}. \quad (2.5)$$

Таким образом, измеряемое напряжение на датчиках значение которого около 10 кОм будет изменяться в идеальном случае от 0,01 до 10 В, что не обеспечивает нормальную работу операционного усилителя в принципе, но сопротивление R в выражении (2.2) вносит свой вклад в коэффициент усиления.

Для правильной работы источника тока на операционных усилителях, что бы обеспечить достоверную работу датчиков физических величин, необходимо обеспечить возможность изменения значения задаваемого тока. Поэтому должна быть быстрая подстройка источника тока. Выполняя точную подстройку, можно добиться бесконечного выходного сопротивления источника тока при реальных характеристиках операционного усилителя. Недостаток схемы, однако, состоит в том, что внутреннее сопротивление R управляющего источника входного напряжения входит в выражение (2.2) (оно добавляется к сопротивлению резистора, подключенного к входу схемы). К тому же, ток управляющего источника напряжения зависит от сопротивления нагрузки. В результате полная балансировка источника невозможна, как, например, у стабилизаторов, зависит от тока.

Этого недостатка лишена схема [8], представленная на рисунке 2.3.

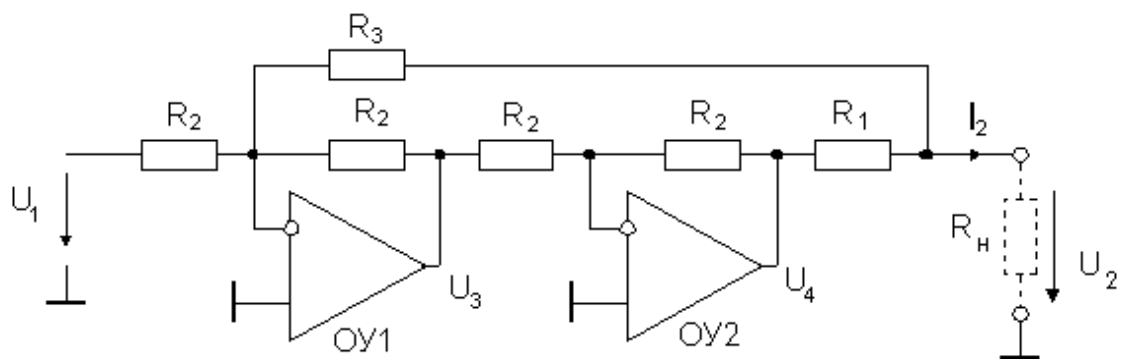


Рисунок 2.3 – Источник тока на операционных усилителях
в инвертирующем включении

Здесь входной резистор присоединен к виртуальному нулю. Другое достоинство этой схемы состоит в отсутствии синфазного сигнала создаваемого реальным операционным усилителем. Для расчета выходного тока в этой схеме используем следующее соотношение:

$$U_4 = -U_3 = U_1 + (R_2 / R_3) U_2. \quad (2.6)$$

Запишем уравнение по первому закону Кирхгофа для выхода схемы.

$$(U_4 - U_2) / R_1 - U_2 / R_3 - I_2 = 0. \quad (2.7)$$

Исключив потенциал U_4 , получим выражение:

$$I_2 = U_1 / R_1 + U_2 [(R_2 - R_3 - R_1) / R_1 \cdot R_3], \quad (2.8)$$

из которого следует, что выходной ток не будет зависеть от выходного напряжения, если выполняется условие

$$R_3 = R_2 - R_1. \quad (2.9)$$

В заключение заметим, что рассмотренные выше источники тока с заземленной нагрузкой представляют собой системы с регулированием по

возмущению (системы с компенсирующими связями). В отличие от систем с регулированием по отклонению (систем с отрицательными обратными связями), системы с регулированием по возмущению требуют точной настройки параметров связей, как это и следует из последнего выражения и выражения (2.2). Схемы источников тока с незаземленной нагрузкой – это системы с регулированием по отклонению. Они не требуют точной настройки связей, а лишь по возможности большего значения дифференциального коэффициента усиления операционного усилителя.

2.4 Расчет параметров элементов схем для источника тока на операционных усилителях

Для реализации источника постоянного тока на операционных усилителях с заданными характеристиками воспользуемся схемой представленной на рисунке 2.3 и расчетной формулой (2.8). Если выполняется условие (2.9), то правая часть выражения (2.8) будет равна нулю. Следовательно, значение, создаваемое постоянным источником тока, будет определяться только левой частью выражения (2.8), а именно:

$$I_2 = U_1 / R_1. \quad (2.10)$$

Из анализа выражения (2.10) ток будет меняться от задаваемого входного напряжения U_1 . Если условие равенство (2.9) не будет выполняться, то правая часть выражения (2.8) будет вносить свою корректировку в значение тока.

Т. к. схема источника тока (рисунок 2.3) позволяет задавать ток с помощью входного напряжения при обеспечении условия равенства (2.9), тогда выполним расчеты значений необходимых токов для обеспечения измерения сопротивлений в диапазоне от 10 Ом до 10 кОм. Для определения тока зададимся входным напряжением в диапазоне от 1 В до 10 В, потому, что напряжения питания операционных усилителей составляет 15 В. Сопротивление которое должно задавать ток будет равен $R_1 = 10 \text{ кОм}$,

получим:

$$I_{2min} = 1 \text{ В} / 10 \text{ кОм} = 1 \cdot 10^{-4} \quad (\text{А}), \quad (2.11)$$

$$I_{2max} = 10 \text{ В} / 10 \text{ кОм} = 1 \cdot 10^{-3} \quad (\text{А}). \quad (2.12)$$

В результате полученных вычислений диапазон тока будет составлять от 0,1 мА до 1 мА, что приемлемо для современных датчиков физических величин.

Рассчитаем остальные резисторы для реализации схемы (рисунок 2.3). При условии, что $R2 = 30 \text{ кОм}$, тогда для обеспечения условия (2.9) вычислим $R3$:

$$R3 = R2 - R1 = 30 \text{ кОм} - 10 \text{ кОм} = 20 \quad (\text{кОм}). \quad (2.13)$$

Т. к. при реализации схемы (рисунок 2.3) с расчетными значениями номиналов резисторов, будет обеспечиваться ток в указанном выше диапазоне.

Для реализации схемы источника постоянного тока воспользуемся операционным усилителем марки *LF357N*. Характеристики этого операционного усилителя следующие:

- биполярный операционный усилитель общего назначения;
- количество каналов: 2;
- корпус: *DIP* – 8 или *SOIC* – 8.
-

Электрические характеристики (при $V_S = \pm 15 \text{ В}$, $T_A = 25 \text{ °C}$):

- напряжение смещения на входе: 2 мВ (макс.);
- входной смещающий ток: 20 нА (макс.);
- коэффициент усиления с разомкнутым контуром: 100 дБ (максимум);

- полоса пропускания с разомкнутым контуром: 3 МГц (максимум);
- скорость нарастания: 1,5 В / мкс (максимум);
- напряжение шума: 8 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ (максимум);
- коэффициент подавления синфазного сигнала: 90 дБ (максимум);
- коэффициент ослабления синфазного сигнала: 100 дБ (максимум).

Характеристики питания:

- напряжение питания: от ± 10 В до ± 18 В;
- потребляемый ток: 1,9 мА (максимум на канал).

Диапазон температур:

- рабочий: от -55 °С до $+125$ °С;
- хранения: от -65 °С до $+150$ °С.

Другие характеристики:

- сопротивление изоляции: 10^{12} Ом (минимум);
- корректирующий конденсатор: 30 пФ (рекомендуется).

Области применения:

- усилители с высоким коэффициентом усиления;
- интеграторы;
- фильтры;
- суммирующие усилители;
- аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.

На основании выбранных и расчетных данных реализуем проектируемый источник тока. На рисунке 2.4 представлена схема электрическая принципиальная источника постоянного тока для вторичного преобразования датчиков физической величины.

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

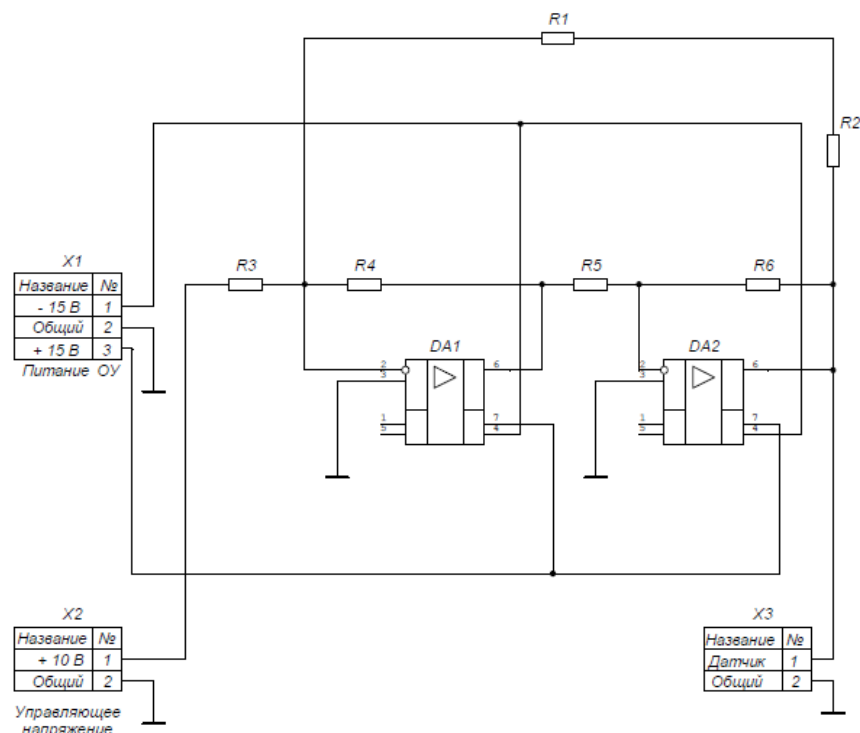


Рисунок 2.4 – Источник тока на операционных усилителях

В приложении Г представлена более детальная информация по комплектующим компонентам для реализации работоспособности этой схемы.

2.5 Моделирование источника постоянного тока вторичного преобразователя для датчиков физических величин

Выполним моделирование работы полученного источника постоянного тока в специальной программе синтеза электрических схем. Для этого соберем схему электрическую принципиальную проектируемого источника тока и добавим резисторы (модели датчиков физических величин) для анализа работы схем в диапазоне от 10 Ом до 10кОм, что соответствует большинству датчиков физических величин. На рисунке 2.5 представлена данная схема, в которой управляющее напряжение $U_{вх} = 3,746$ В, а в качестве нагрузки

выступает резистор $R_H = R8 = 10 \text{ Ом}$, который моделирует работу датчика физической величины.

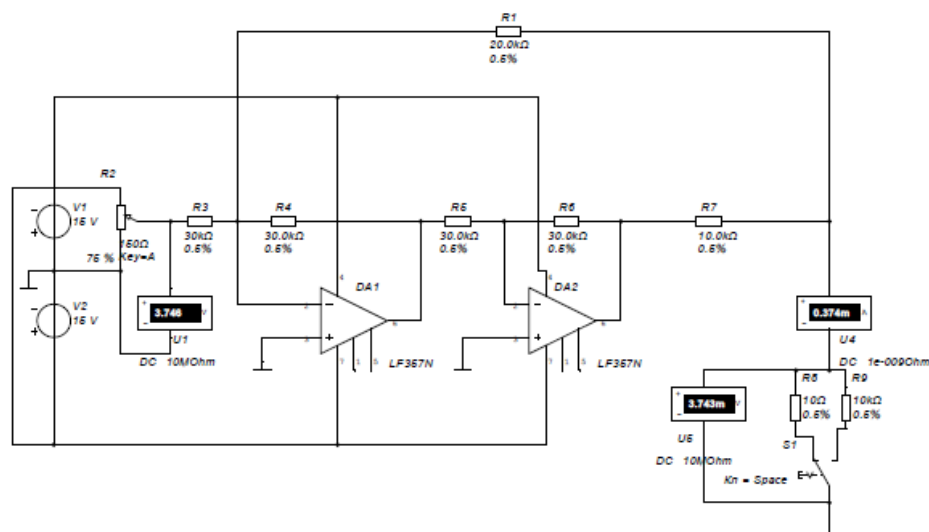


Рисунок 2.5 – Моделирование работы источник тока при условии:
 $U_{вх} = 3,746 \text{ В}$ и $R_H = 10 \text{ Ом}$ (минимальное сопротивление нагрузки)

Расчет номиналов всех резисторов выполнен в соответствии с условием (2.9), тогда ток задаваемый для нагрузки I_H , определяется по формуле

$$I_H = U_{вх} / R7 = 3,746 \text{ В} / 10 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 0,3746 \cdot 10^{-3} \quad (\text{А}), \quad (2.14)$$

что соответствует 0,3746 мА.

Такое же значение показывает амперметр $U4$ на рисунке 2.5.

Далее переключателем $S1$ подключим нагрузку $R_H = R9 = 10 \text{ кОм}$, результат моделирования представлен на рисунке 2.6.

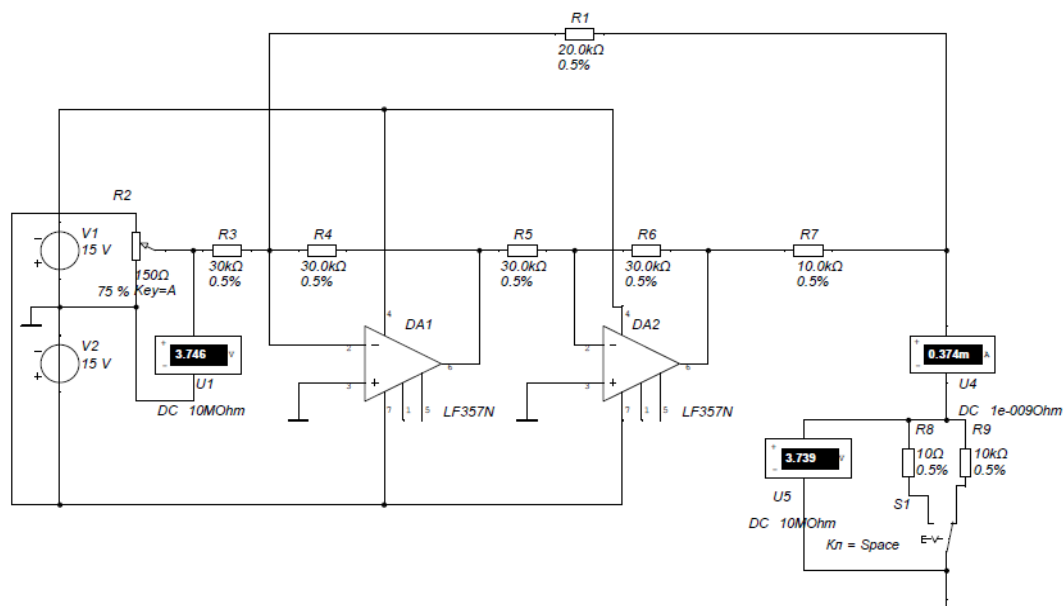


Рисунок 2.6 – Моделирование работы источник тока при условии:
 $U_{вх} = 3,746 \text{ В}$ и $R_{н} = 10 \text{ кОм}$ (максимальное сопротивление нагрузки)

Как видно из рисунка 2.6 значение тока не изменилось, что подтверждает стабильную работу источника тока.

На следующем этапе моделирования (рисунок 2.7) уменьшим входное (управляющее) напряжение до $U_{вх} = 1,499 \text{ В}$, сопротивление нагрузки установим $R_{н} = R_8 = 10 \text{ Ом}$. Аналогичным образом по формуле (2.14) рассчитаем установленный ток для сопротивления нагрузки следующим образом:

$$I_{н} = 1,499 \text{ В} / 10 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 0,1499 \cdot 10^{-3} \quad (\text{А}), \quad (2.15)$$

что соответствует $0,1499 \text{ мА} \approx 0,15 \text{ мА}$.

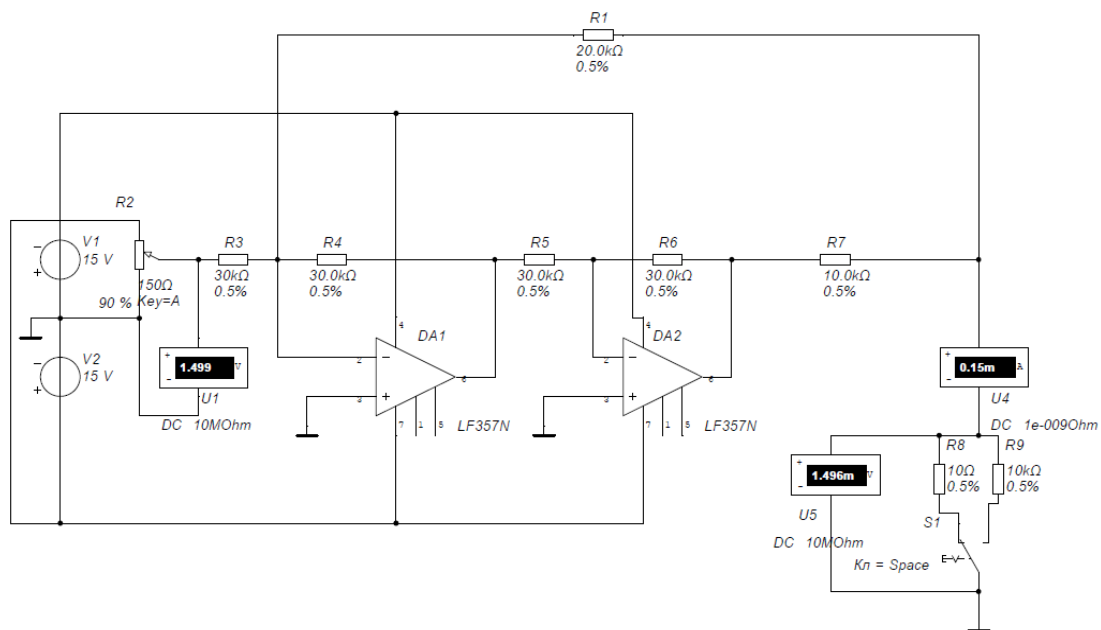


Рисунок 2.6 – Моделирование работы источник тока при условии:
 $U_{вх} = 1,499 \text{ В}$ и $R_{н} = 10 \text{ Ом}$ (минимальное сопротивление нагрузки)

Как видно из рисунка 2.6 амперметр $U4$ показывает именно это значение тока.

Поменяем с помощью переключателя $S1$ значение сопротивления нагрузки $R_{н} = R9 = 10 \text{ кОм}$ и проведем моделирование работы схемы источника тока. Результат этого моделирования представлен на рисунке 2.7.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

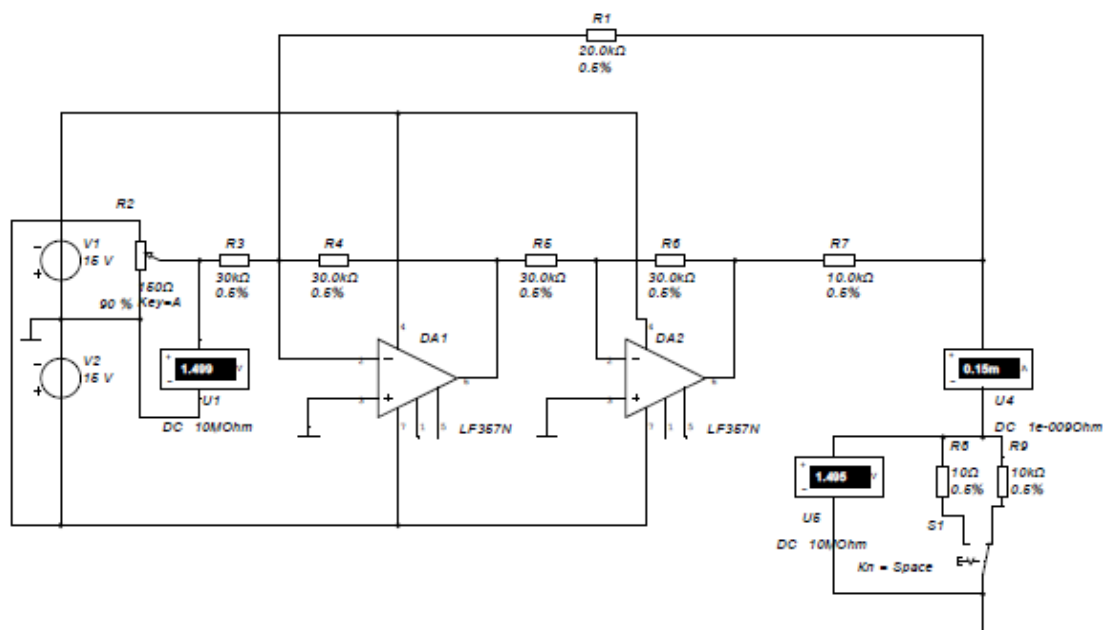


Рисунок 2.7 – Моделирование работы источник тока при условии:
 $U_{вх} = 1,499 \text{ В}$ и $R_n = 10 \text{ кОм}$ (максимальное сопротивление нагрузки)

Из рисунка 2.7 видно, что заданный ток не изменился.

Таким образом, разработанный источник постоянного тока для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин работает стабильно в не зависимость от изменения сопротивления нагрузки. Более того имея возможность изменять управляющее напряжения в широком диапазоне от 1 В до 10 В, дает преимущество по возможности подстройки данного источника тока к конкретному виду датчика.

2.6 Разработка и проектирование печатной платы источника постоянного тока

Разработка и проектирование печатной платы (ПП) является трудоемким процессом в производстве электронной промышленности и включает множество этапов. Рассмотрим эти этапы более подробно.

Печатная плата состоит из нескольких слоев меди, ламинированных

между слоями изоляционного материала. Процесс производства ПП включает в себя следующие этапы:

1. Проектирование. Проектирование схемы и размещение компонентов на каждом слое ПП.

2. Создание внутреннего слоя. Изготовление печатных плат для каждого внутреннего слоя. Нанесение медных проводников на изоляционную основу (обычно используют фоторезист *FR4*). Травление медных дорожек для формирования схемы.

3. Ламинирование. Размещение внутренних слоев друг на друге, разделяя их препрегом (пропитанной смолой стеклотканью). Нагрев и прессование слоев вместе для создания прочной связи.

4. Сверление. Сверление отверстий через слои для межслойных соединений через отверстия.

5. Нанесение внешнего слоя. Изготовление внешних слоев аналогично изготовлению внутренних слоев.

6. Гальваническое покрытие. Нанесение тонкого слоя олова или золота на медные дорожки для защиты от коррозии и улучшения паяемости.

7. Паяльная маска и шелкография. Нанесение защитного слоя паяльной маски для предотвращения образования мостиков между проводниками. Нанесение шелкографии для идентификации компонентов и маркировки платы.

8. Инспекция и тестирование. Проверка ПП на наличие дефектов и правильность функционирования путем проведения электрических тестов.

Особенности изготовления многослойных ПП по сравнению с односторонними и двусторонними ПП:

– более высокая плотность трассировки: ПП позволяют размещать больше проводников на меньшей площади.

- улучшенная целостность сигнала: скрытие проводников между слоями изолирует их от внешних помех.
- повышенная надежность ламинированная конструкция обеспечивает прочность и долговечность.
- более высокая стоимость: изготовление многослойных ПП требует больше этапов и материалов, что увеличивает стоимость.

Многослойные печатные платы представляют собой важные компоненты электронных устройств, обеспечивающие электрическое соединение и механическую поддержку. Они состоят из нескольких слоев медной фольги, ламинированных вместе с изоляционными материалами. Процесс изготовления многослойных печатных плат сложен и включает в себя несколько этапов:

1. Проектирование и макетирование. Процесс начинается с проектирования и макетирования печатной платы. Инженеры-проектировщики используют специализированное программное обеспечение для создания схемы платы, включая расположение компонентов, дорожки и контактные площадки.

2. Создание базовых слоев. На этом этапе создаются базовые слои печатной платы. На медную фольгу наносится фоторезист, и с помощью процесса фотолитографии создается желаемое расположение дорожек и контактных площадок. Затем медные области, не защищенные фоторезистом, травятся, оставляя желаемые дорожки.

3. Сверление отверстий. В платах сверлятся отверстия для установки компонентов и обеспечения межслойных соединений. Точные отверстия создаются с помощью станков с числовым программным управлением.

4. Ламинирование препрега и прессование. Препрег, предварительно пропитанный смолой армированный материал, накладывается на базовые

слои. Затем пластмасса прессуется под действием высокой температуры и давления, ламинируя слои вместе и создавая многослойную структуру.

5. Виасы и межслойные соединения. Виасы, маленькие отверстия, соединяющие разные слои, просверливаются. Затем медные напыления осаждаются на стенки отверстий, создавая межслойные электрические соединения.

6. Создание верхнего слоя. Процесс создания верхнего слоя аналогичен процессу создания базовых слоев. Фоторезист наносится на медную фольгу, и с помощью фотолитографии создаются дорожки и контактные площадки.

7. Обработка поверхности и травление. На поверхность печатной платы наносится защитное покрытие, такое как паяльная маска или защитное покрытие. Затем незащищенная медь протравливается, оставляя желаемую медную схему.

8. Паяльная маска и маркировка. Наносится паяльная маска, защищающая медные дорожки от окисления и коротких замыканий. Кроме того, на плату наносится маркировка, такая как название производителя и номер детали.

9. Инспекция и тестирование. Готовую печатную плату проверяют на точность изготовления и наличие дефектов с помощью электрических тестов и оптического контроля.

10. Сборка и упаковка. Печатная плата собирается путем установки компонентов и пайки их на место. Собранная плата упаковывается для защиты и доставки.

Изготовление многослойных печатных плат – это сложный и точный процесс, требующий прецизионных технологий и тщательного контроля качества. Эти многослойные структуры имеют решающее значение для сложных электронных устройств и обеспечивают надежное соединение и производительность.

Т. к. разработанный источник постоянного тока содержит не значительное число компонентов, следовательно, ПП можно реализовать в двух слоях: верхним и нижним. Это позволит удешевить процесс серийного производства и снизить материальные и временные затраты.

Проектирование ПП реализовано в специальном программном обеспечении для создания печатных плат. На рисунке 2.8 показано расположение электронных компонентов на плате.

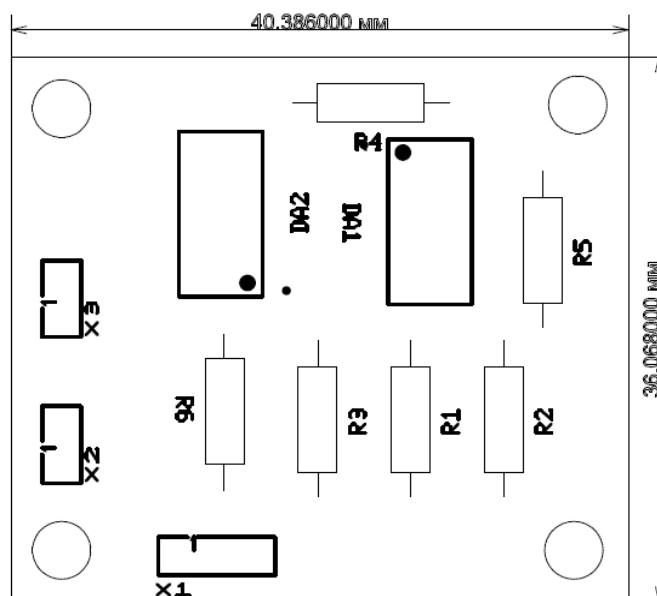


Рисунок 2.8 – Печатная плата источника постоянного тока,
компоновка компонентов схем

На рисунке 2.9 представлен верхний слой проводников на плате с имеющимися отверстиями для установки компонентов электроники.

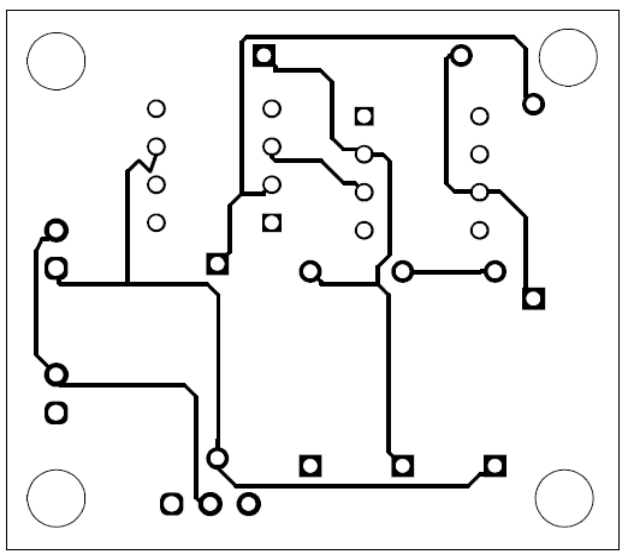


Рисунок 2.9 – Печатная плата источника постоянного тока, верхний
 слой проводников

На рисунке 2.10 представлен нижний слой проводников на плате с имеющимися отверстиями для установки компонентов электроники.

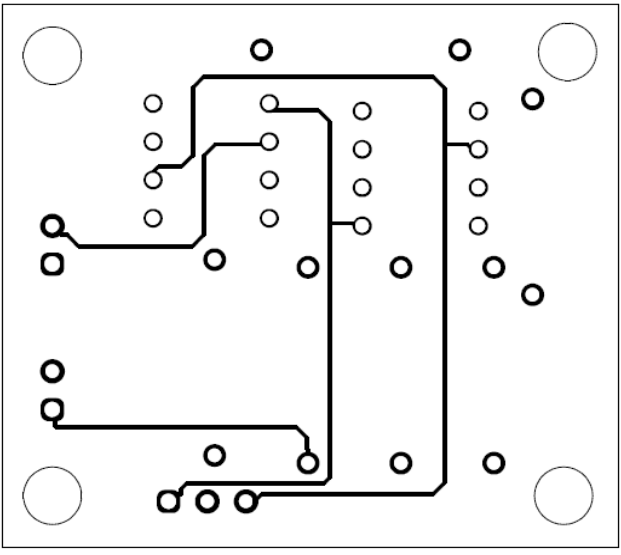
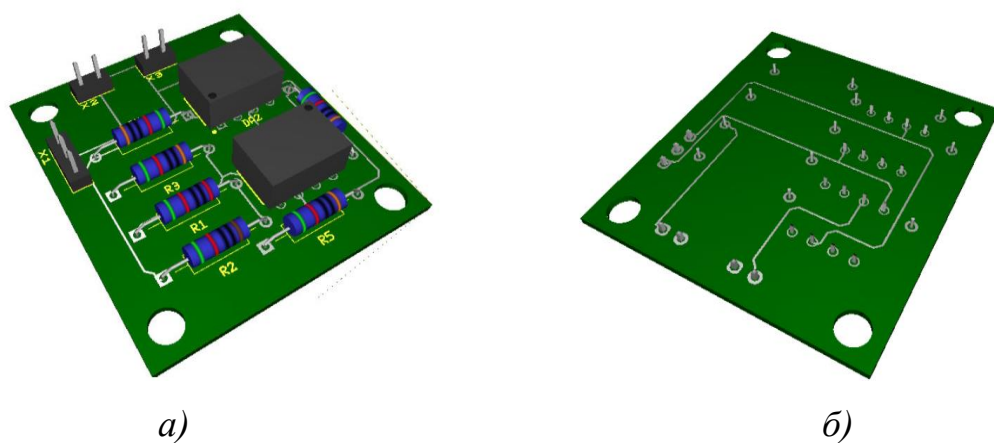


Рисунок 2.10 – Печатная плата источника постоянного тока, нижний
 слой проводников

На рисунке 2.11 показана 3D модель печатной платы источника постоянного тока.



а) *б*)
а – верхняя сторона ПП; б – нижняя сторона ПП

Рисунок 2.11 – 3D модель печатной платы источника постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин

Из рисунка 2.8 видно, что размер ПП составляет 40×36 мм. Такие габаритные размеры дают возможность устанавливать данный прибор недалеко от местоположения датчика с последующей передачей для обработки измерений.

3 Электробезопасность на рабочем месте инженера-проектировщика

3.1 Общие сведения

При взаимодействии с электротехникой существует опасность получения удара от электрического тока. Это относится ко всем устройствам, работающим при напряжении более 36 В. Помещения с большим количеством электротехники, включая компьютеры и другое офисное оборудование, увеличивают риск для здоровья человека. Вопросы электробезопасности должны быть строго соблюдены на рабочих местах инженеров-конструкторов, так как их работа связана с созданием проектов на компьютерах.

Кроме того, подключение сетевого фильтра может привести к перегрузке электросети и вызвать короткое замыкание, пожар, а также поставить под угрозу жизнь и здоровье пользователей.

Соблюдение правил электробезопасности с помощью соответствующего обучения помогает снизить вероятность получения удара от электрического тока. Они должны уметь оценить ситуацию, определить степень тяжести травмы и оказать первую помощь.

Инженерам-проектировщикам необходимо знать, какие меры принять для минимизации риска поражения от электрического тока. Для снижения вероятности получения удара при работе с компьютером токопроводящие элементы оборудования должны быть максимально изолированы, а компьютерное оборудование должно иметь заземляющий контур.

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Кобилев И.			Электробезопасность на рабочем месте инженера-проектировщика	Лит.	Лист
Провер.		Аношкин Ю.					55
Н. Контр.		Рыжова Т.		11.06.11		Группа 20ГД1	
Уте.							

3.2 Электробезопасность рабочего места инженера-проектировщика

При работе с компьютерным оборудованием и периферийными устройствами сотрудники должны проявлять внимание и осторожность при обращении с электропроводкой, оборудованием и приборами. Необходимо помнить, что игнорирование правил электробезопасности может привести к угрозе жизни и здоровью человека. Чтобы избежать поражения электрическим током, необходимо знать и соблюдать следующие правила электробезопасности.

Регулярно проверяйте состояние электропроводки на рабочем месте и исправность выключателей и розеток, к которым подключено оборудование. При обнаружении неисправности следует немедленно отключить оборудование от электросети и сообщить об этом руководителю. Работу можно продолжать только после устранения неисправности. Запрещается вешать предметы на электропроводку, использовать покрасочные покрытия на шнурах и проводах, укладывать электропроводку за газопровод, водопровод или отопительные батареи, а также извлекать штепсельную вилку из розетки за шнур.

Для предотвращения риска поражения электрическим током запрещается частое включение и выключение компьютера, прикасаться к задней части экрана или компонентам, использовать мокрые руки при работе с компьютером или периферийным оборудованием, эксплуатировать оборудование с плохой изоляцией электропроводки или поврежденным корпусом, деформировать корпус путем помещения на него посторонних предметов, удалять пыль с подключенного к электросети оборудования, подключать оборудование в непригодных для эксплуатации помещениях, проводить ремонт без профессионалов, одновременно прикасаться к открытым металлическим частям заземленного оборудования и металлическим конструкциям, использовать электричество во влажных помещениях, прикасаться к неисправной электропроводке. Все случаи неисправной электропроводки необходимо сообщать руководителю.

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы были достигнуты следующие результаты:

- проведен анализ имеющихся датчиков различных физических величин;
- проведен обзор методов измерения физических величин, что позволило систематизировать некоторые датчики по рабочему сопротивлению;
- проведен обзор способов измерения физических величин, что позволило выбрать оптимальное схемотехническое решение;
- разработана и спроектирована схема электрическая принципиальная источника постоянного тока для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин в широком диапазоне измерения, что позволяет с помощью управляющего напряжения установить соответствующий ток, который проходит через измерительный элемент;
- выполнено моделирование работы источника постоянного тока вторичного преобразования для сигнала датчика физических величин, что показало стабильную работу в широком диапазоне тока;
- разработана 3D модель печатной платы данного устройства.

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьев А.А. Физические основы измерений : учебник для студ. высш. учеб. заведений. М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 240 с.
2. Сюрдо А.И. Физические основы измерений: учебное пособие / А.И. Сюрдо, Д.Ю. Бирюков – Екатеринбург: УрФУ 2013. 143 с.
3. Шишмарев В.Ю. «Технические измерения и приборы»: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 384 с.
4. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. под ред. Е.Л. Свинцова М. : «Техносфера», 2005. – 578 с.
5. Котюк А.Ф. Датчики в современных измерениях. М.: Радио и связь, 2006. – 95 с.
6. Камке Д. Физические основы единиц измерения / Д. Камке, К. Кремер. – М. : Мир, 1980. – 208 с.
7. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник.— К.: Техника, 1983. – 213 с.
8. Волович Г.И. Операционные усилители. // Рынок микроэлектроники URL: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/op/index.htm> (дата обращения: 28.04.2024).

Приложение А
(обязательное)
Задание на бакалаврскую работу

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

«Утверждаю»

Зав. кафедрой НиМЭ

Пронин И.А.

(фамилия, инициалы)

«05»июня 2024 г.

ЗАДАНИЕ на бакалаврскую работу

1. Студент гр. 20ПД1 факультета информационных технологий и электроники
Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и нанoeлектроника»
Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
Кобилев Исломджон Толибович
(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Аношкин Юрий Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы Источник постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин
Тема утверждена приказом ПГУ № 396а/о от 17.04.2024 г.

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

Разработать и спроектировать источник постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин

Основные характеристики:

1. Диапазон постоянного тока от 100 мкА до 1 мА.
2. Источник постоянного тока должен быть реализован на операционных усилителях.
3. Напряжение питания аналоговых микросхем должно быть не менее 15 В.
4. Выполнить моделирование работы схемы источника постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин
5. Выполнить моделирование печатной платы источника постоянного тока

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

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

1. Методы и способы измерения физических величин

1.1 Физические величины и единицы измерения

1.2 Базисные эталоны единиц измерений

1.3 Основные функции измерительных систем

1.4 Классификация средств измерений

1.5 Виды и методы измерений

- 1.6 Мостовой метод измерения
- 1.7 Резонансный метод измерения параметров двухполюсника
- 1.8 Тензорезистивные датчики
- 1.9 Емкостные датчики
- 2. Проектирование источника постоянного тока для преобразования сигналов датчика физических величин
 - 2.1 Операционные усилители для преобразования сигналов датчиков физических величин
 - 2.2 Источник тока на основе операционных усилителей
 - 2.3 Анализ существующих схем источника тока на операционных усилителях
 - 2.4 Расчет параметров элементов схем для источника тока на операционных усилителях
 - 2.5 Моделирование источника постоянного тока вторичного преобразователя для датчиков физических величин
 - 2.6 Разработка и проектирование печатной платы источника постоянного тока
- 3. Электробезопасность на рабочем месте инженера-проектировщика

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

- 1 Цели и задачи выпускной квалификационной работы (слайд 2).
- 2 Структурная схема измерительной системы А4 (слайд 3).
- 3 Реализация схем на операционных усилителях (слайд 4).
- 4 Электрическая принципиальная схема источника постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин А3×1, (слайд 5).
- 5 Моделирование работы источника тока с минимальной нагрузкой (слайд 6).
- 6 Моделирование работы источника тока с максимальной нагрузкой (слайд 7).
- 7. 3D модель печатной платы источника тока (слайд 8).
- 8 Выводы по выпускной квалификационной работе (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
Методы и способы измерения физических величин	25 %	05.06.2024 г.	
Проектирование источника постоянного тока для преобразования сигналов датчика физических величин	60 %	06.06.2024 г.	
Электробезопасность на рабочем месте инженера-проектировщика	5 %	07.06.2024 г.	
Подготовка графической части выпускной квалификационной работы	5 %	08.06.2024 г.	
Оформление ПЗ выпускной квалификационной работы	5 %	08.06.2024 г.	

Руководитель бакалаврской работы

подпись

Аношкин Ю.В.

фамилия, инициалы

Дата выдачи задания

«05»

июня

2024 г.

Задание к исполнению принял

подпись

Кобилев И.Т.

фамилия, инициалы

«05»

июня

2024 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета

подпись

Кревчик В.Д.

фамилия, инициалы

«05»

июня

2024 г.

Приложение Б

(обязательное)

Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе

«Антиплагиат.ВУЗ»

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Ректору Пензенского
государственного университета
А.Д. Гулякову
студента 4 курса ФИТЭ
очной формы обучения
Кобилова Ислонджона Толибовича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Кобилон Ислонджон Толибович, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, Микроэлектроника и твердотельная электроника, прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Источник постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин», 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.

 «11.06.24»

ВКР представлена на проверку «11.06.24»

Руководитель ВКР  Аношкин Ю.В.

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Источник постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин» студента 4 курса Кобилова И.Т.

направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Руководитель ВКР Аношкин Ю.В.

Руководитель ВКР

«11» 06.2024 год «»
подпись

Аношкин Ю.В.
фамилия, инициалы

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.VUZ

Автор работы: Кобилов Исламджон Толибович
Самоцитирование
рассчитано для: Кобилов Исламджон Толибович
Название работы: Источник постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

- ВНИМАНИЕ, ДОКУМЕНТ ПОДОЗРИТЕЛЬНЫЙ: ОБНАРУЖЕНЫ ПОПЫТКИ МАСКИРОВКИ ЗАИМСТВОВАНИЙ. РЕКОМЕНДУЕТСЯ ПРОВЕРИТЬ ПОЛНЫЙ ОТЧЕТ
- ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ 46.33%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ 50.52%
ЦИТИРОВАНИЯ 3.15%
САМОЦИТИРОВАНИЯ 0%

СОВПАДЕНИЯ 46.33%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ 50.52%
ЦИТИРОВАНИЯ 3.15%
САМОЦИТИРОВАНИЯ 0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 11.06.2024

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 11.06.2024 10:35

Структура
документа:
Модули поиска:

Проверенные разделы: содержание с.3, основная часть с.1-2, 4-53

Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Шаблонные фразы; Библиография; Переводные заимствования*; Перефразирование по коллекции IEEE; Цитирование; СМН России и СНГ; Патенты СССР, РФ, СНГ; IEEE; Коллекция НБУ; ИПС Адилет; Публикации eLIBRARY; Перефразирование по СПС ГАРАНТ: аналитика; Диссертации НББ; СПС ГАРАНТ: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирование по Интернету; Публикации РГБ; Переводные заимствования (RuEn); Кольцо вузов; Сводная коллекция ЭБС; Перефразирование по Интернету (EN); Переводные заимствования IEEE; Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте;

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи:

11.06.2024



Подпись проверяющего



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

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

Приложение В
(обязательное)
Презентация

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра «Нано- и микроэлектроника»

Источник постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин

Выполнил студент гр. 20ПД1

Руководитель к.т.н., доцент каф. НиМЭ

Кобилов И.Т.

Аношкин Ю.В.

ПЕНЗА 2024

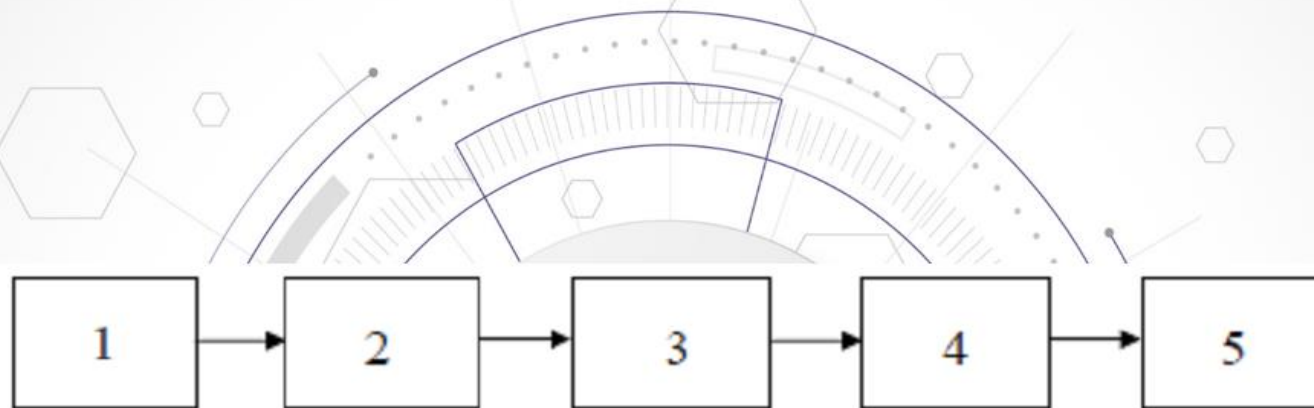
Цель и задачи ВКР:

Целью работы является разработка и проектирование источника постоянного тока для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин.

Задачи работы:

- провести анализ имеющихся датчиков различных физических величин;
- провести обзор методов измерения физических величин;
- провести обзор по способам измерения физических величин.
- разработать схему электрическую принципиальную источника постоянного тока для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин.
- провести моделирование работы источника постоянного тока вторичного преобразования для сигнала датчика физических величин.

Структурная схема измерительной системы



1 – восприятие измеряемой величины; 2 – преобразование
измерительной информации, усиление; 3 – вычислительные операции;
4 – передача измерительной информации; 5 – отображение
измерительной информации

Реализация схем на операционных усилителях

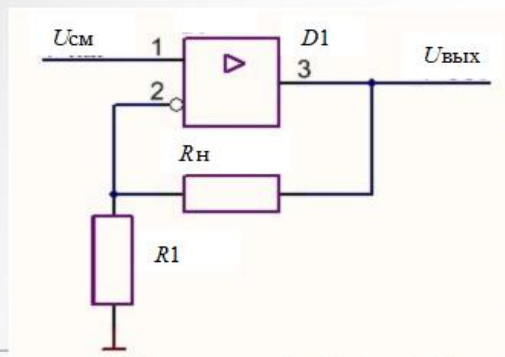


Схема источника тока на операционном усилителе

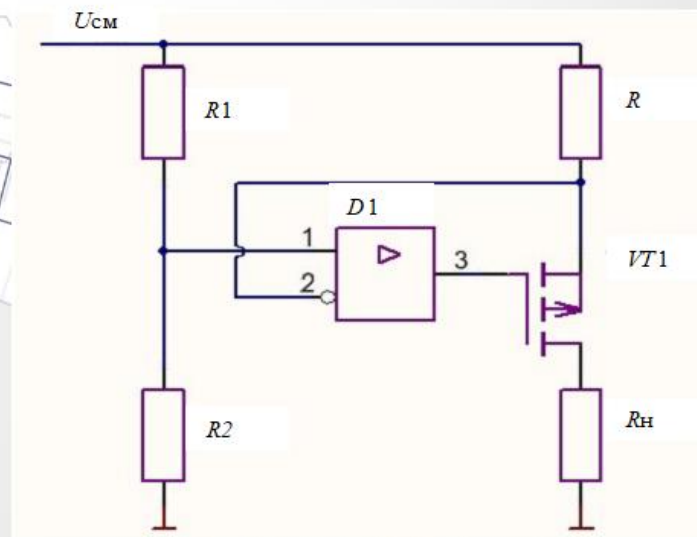
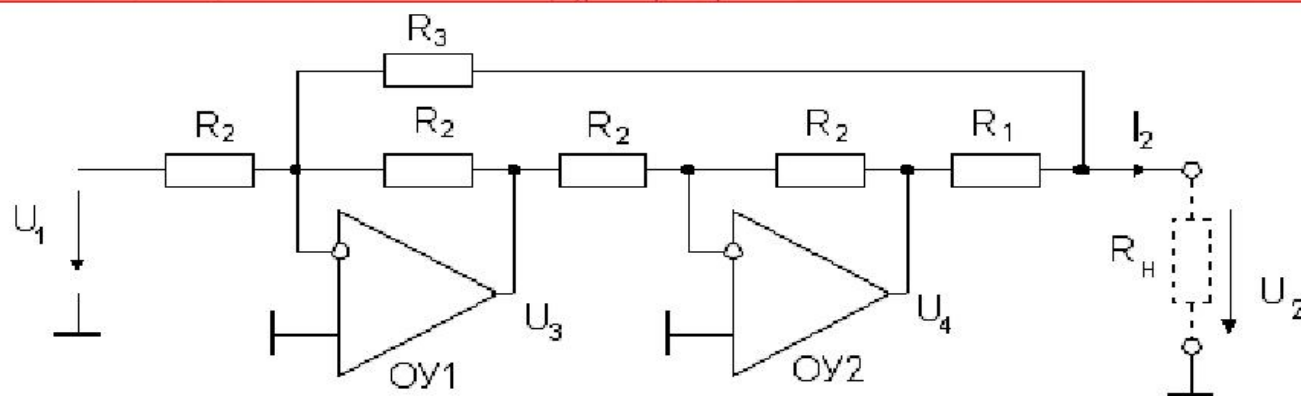


Схема источника тока на операционном усилителе
с заземленной нагрузкой



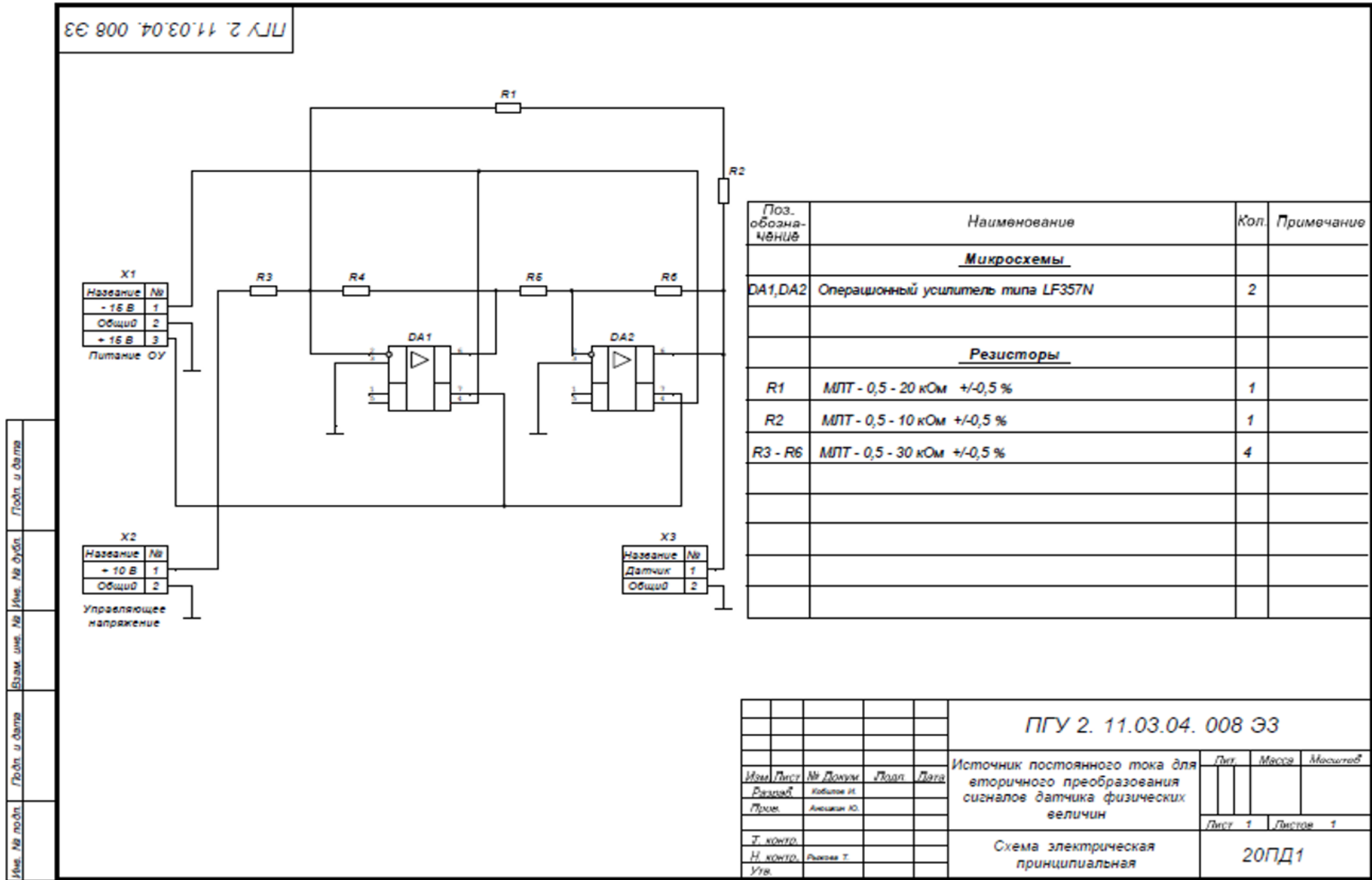
Источник тока на операционных усилителях
в инвертирующем включении

$$I_2 = U_1 / R_1 + U_2 \times$$

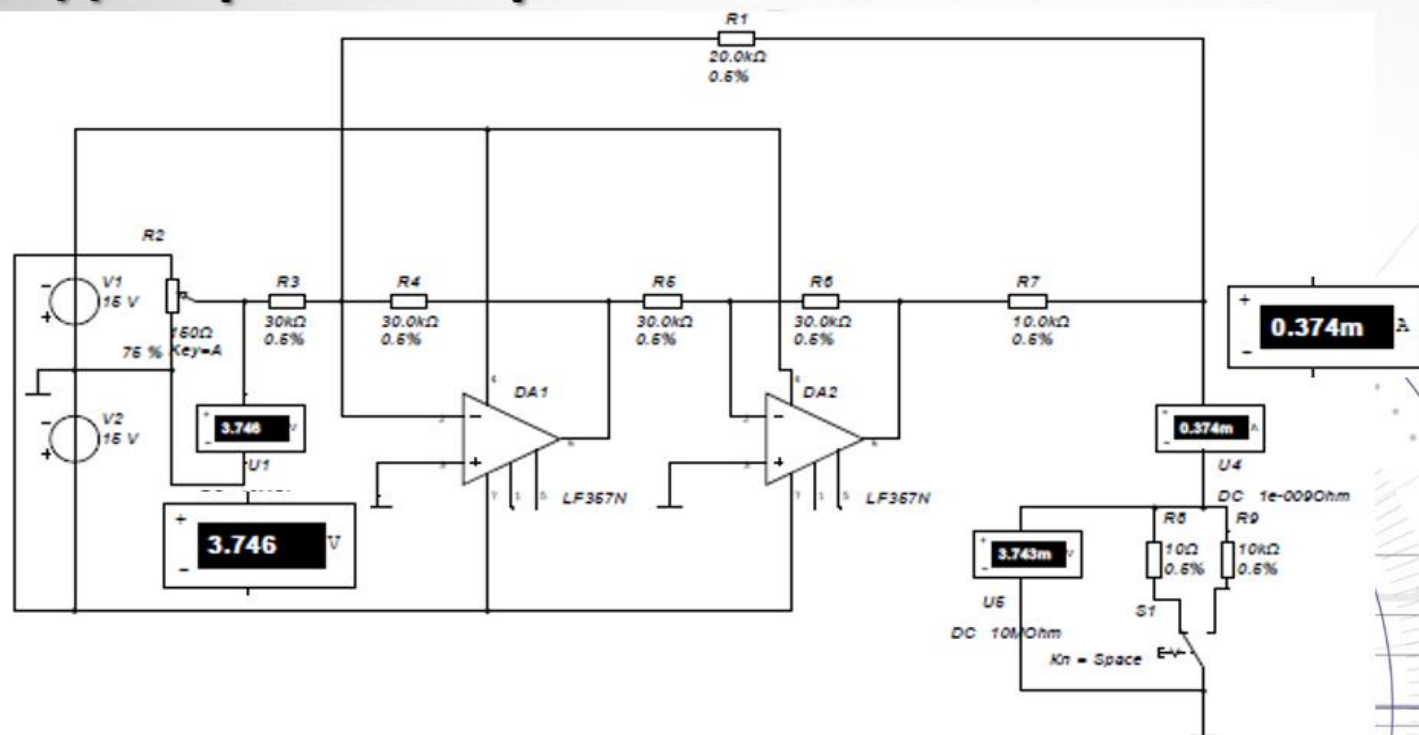
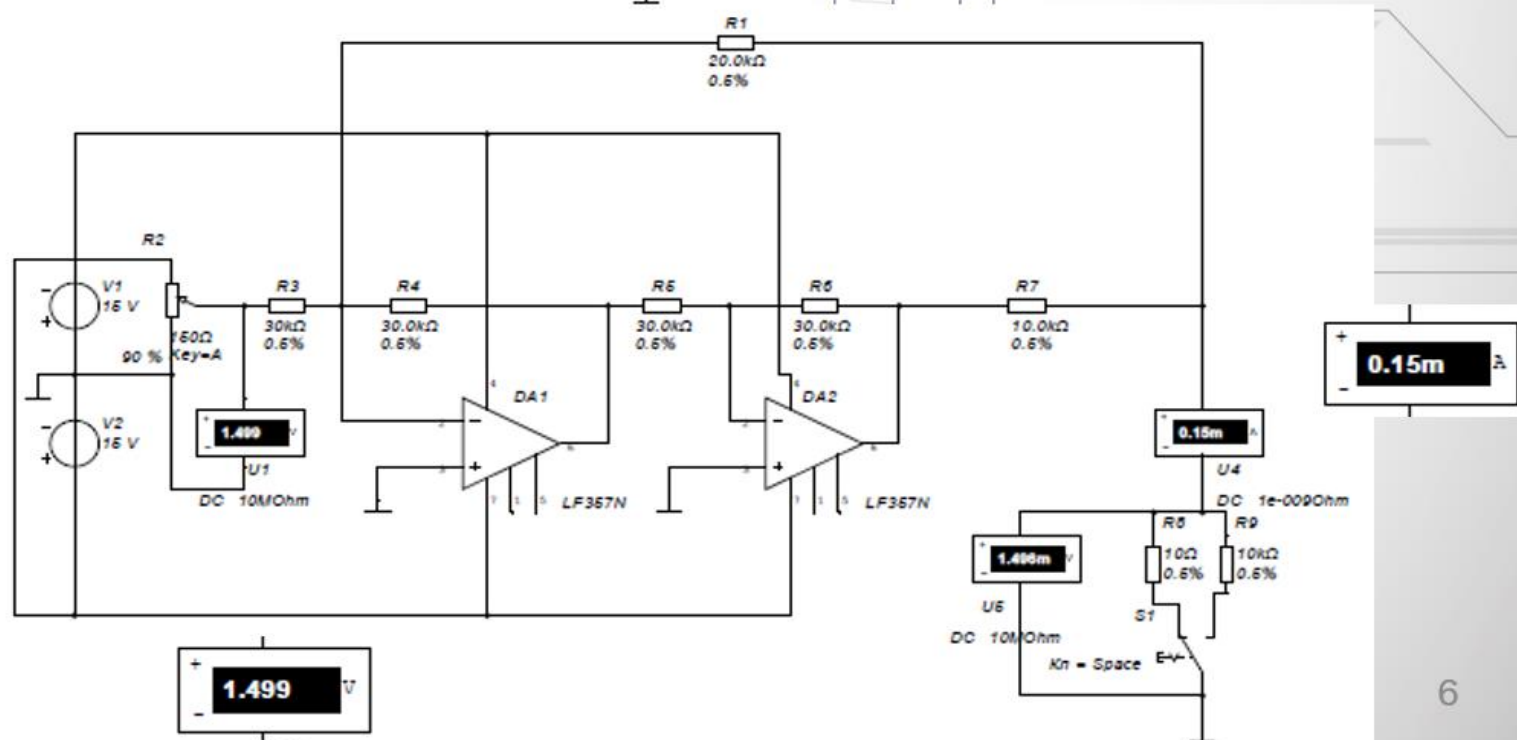
$$\times [(R_2 - R_3 - R_1) / R_1 \cdot R_3]$$

$$R_3 = R_2 - R_1$$

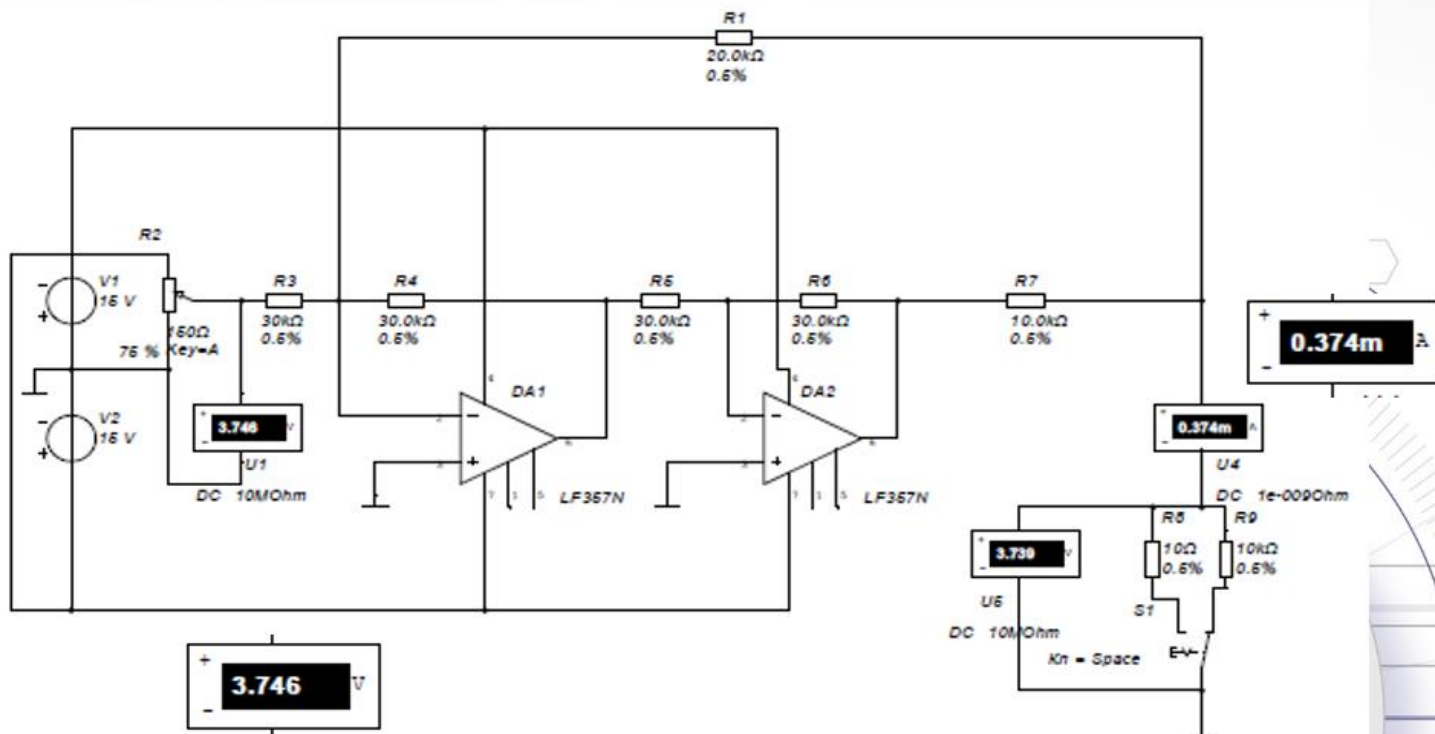
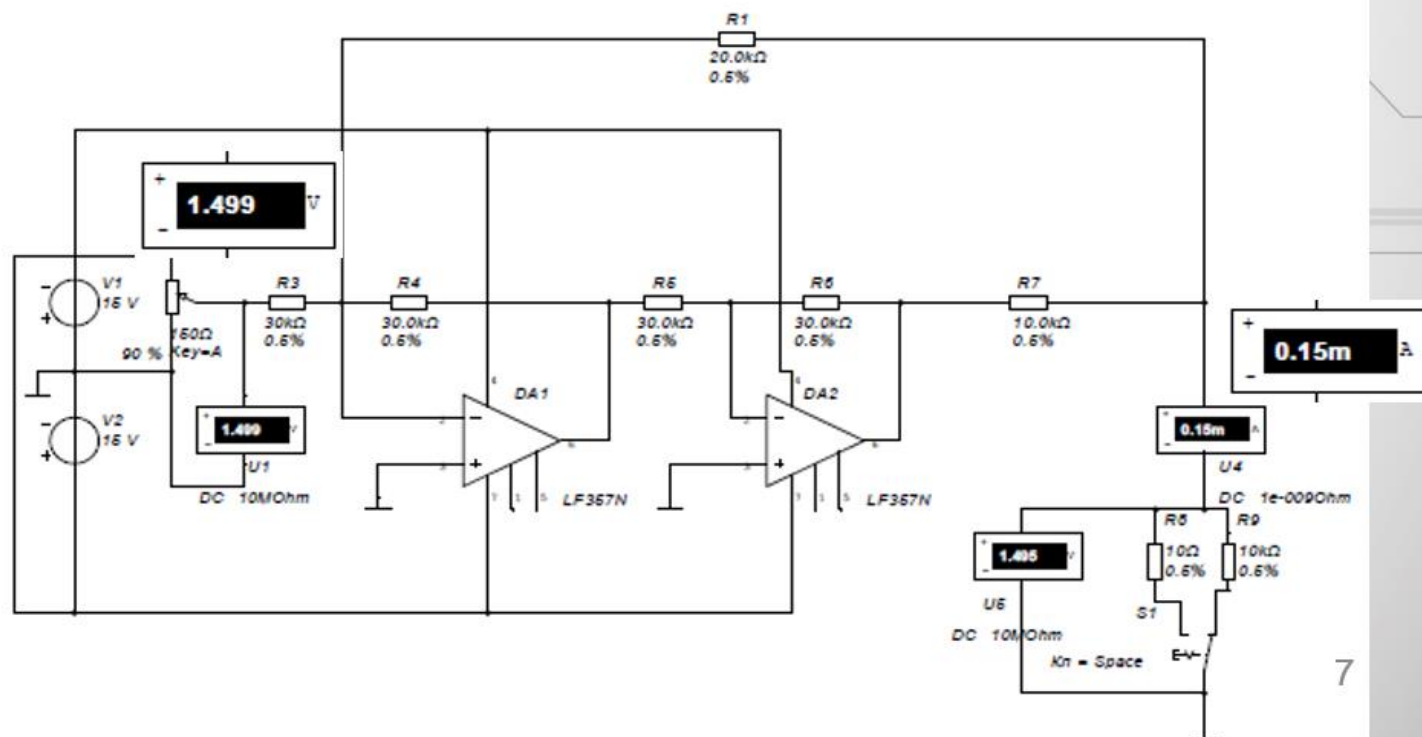
Схема электрическая принципиальная источника постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин



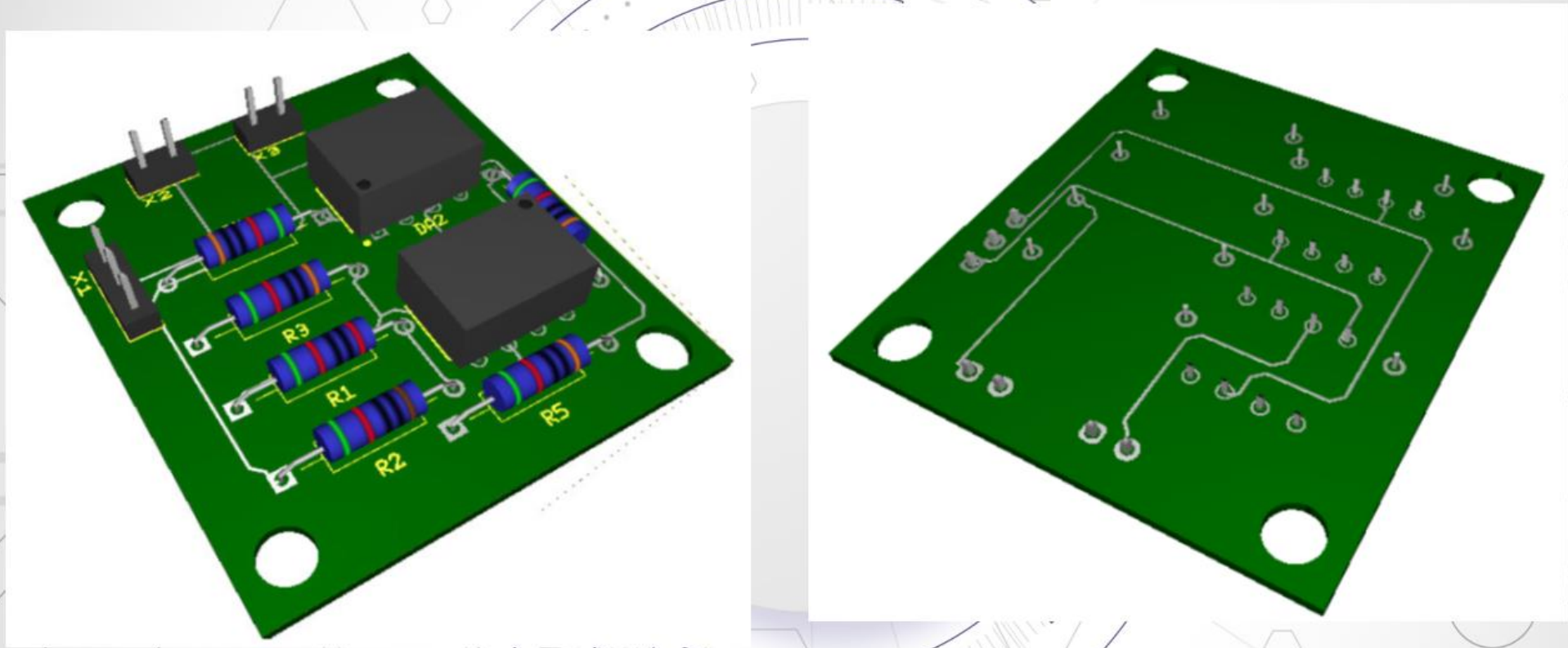
Моделирование работы источник тока с минимальной нагрузкой



Моделирование работы источник тока с максимальной нагрузкой



3D модель печатной платы источника постоянного тока



ВЫВОДЫ:

1. Проведен анализ имеющихся датчиков различных физических величин;
2. Проведен обзор методов измерения физических величин, что позволило систематизировать некоторые датчики по рабочему сопротивлению;
3. Проведен обзор способов измерения физических величин, что позволило выбрать оптимальное схемотехническое решение;
4. Разработана и спроектирована схема электрическая принципиальная источника постоянного тока для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин в широком диапазоне измерения, что позволяет с помощью управляющего напряжения установить соответствующий ток, который проходит через измерительный элемент;
5. Выполнено моделирование работы источника постоянного тока вторичного преобразования для сигнала датчика физических величин, что показало стабильную работу в широком диапазоне тока;
6. Разработана 3D модель печатной платы данного устройства

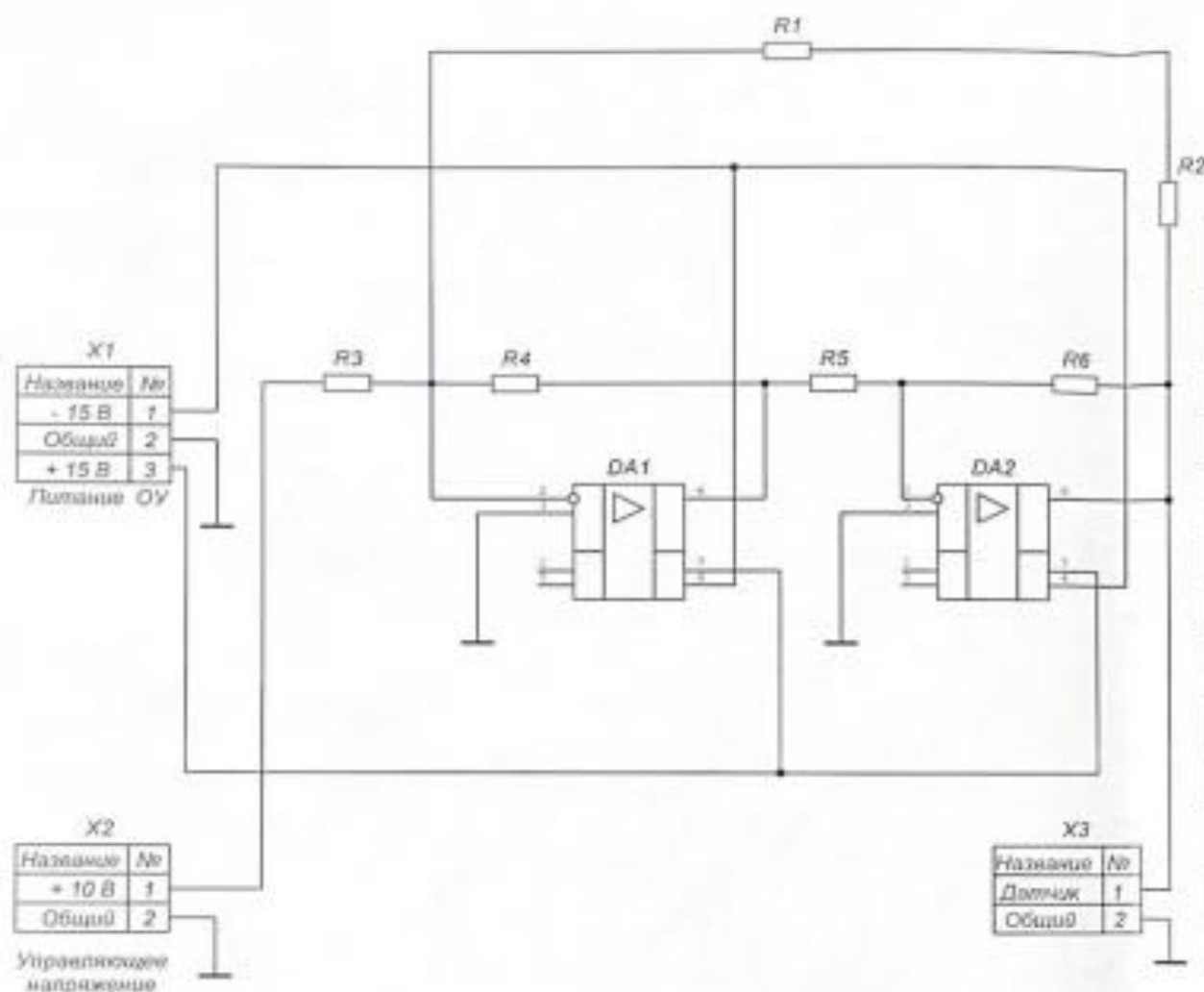
The background is a light gray with a complex pattern of thin, dark gray lines. These lines form a network of circles, hexagons, and other geometric shapes, resembling a circuit board or a futuristic architectural plan. The lines are interconnected, creating a sense of flow and connectivity. The overall aesthetic is clean, modern, and technological.

**Спасибо
за
внимание**

Приложение Г
(обязательное)
Схема электрическая и принципиальная

					ПГУ 2. 11.03.04. 008 ПЗ	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПГУ 2. 11.03.04. 008 ЭЗ



Поз. обозначение	Наименование	Кол	Примечание
Микросхемы			
DA1, DA2	Операционный усилитель типа LF357N	2	
Резисторы			
R1	МЛТ - 0,5 - 20 кОм +/-0,5 %	1	
R2	МЛТ - 0,5 - 10 кОм +/-0,5 %	1	
R3 - R6	МЛТ - 0,5 - 30 кОм +/-0,5 %	4	

Имя	Лист	№ докум	Подп.	Дата
Разраб.	Коробков	11.03.04	11.03.04	11.03.04
Проф.	Александр Ю.			
Т. ктор.				
Н. ктор.				
Утв.				

ПГУ 2. 11.03.04. 008 ЭЗ

Источник постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин				Лит.	Масштаб
Имя	Лист	№ докум	Подп.	Дата	
Разраб.	Коробков	11.03.04	11.03.04	11.03.04	
Проф.	Александр Ю.				
Т. ктор.					
Н. ктор.					
Утв.					
Схема электрическая принципиальная				Лист 1	Листов 1
				20ПД1	

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

ОТЗЫВ
РУКОВОДИТЕЛЯ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Бакалаврская работа на тему: «Источник постоянного тока для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин»

Выполнена студентом Кобилowym Ислomджoнoм Toлибoвичeм

Факультет информациoнных технологий и электроники

Кафедра «Нано- и микрoэлектроника» Группа 20 ПД1

Направление подготовки, профиль 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Квалификация (степень) Бакалавр

Руководитель Аношкин Юрий Владимирович
кандидат технических наук

Качества выпускника, выявленные в ходе выполнения бакалаврской работы:

В ходе выполнения ВКР Кобилев И.Т. показал навыки работы с литературными данными. Показал знания и навыки работы с системой автоматизированного проектирования при проектировании электрических схем, и провел моделирование разработанной схемы.

Заключение:

ВКР автора полностью соответствуют техническому заданию. Степень соответствия подготовленности выпускника соответствует требованиям к результатам освоения программы бакалавриата ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника». На основании вышеизложенного считаю, что ВКР заслуживает оценки «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», а ее автор, Кобилев Исламджон Толибович, присвоения степени «бакалавр» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника».

«14» июня 2024 г.

Руководитель



Аношкин Ю.В.