

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
нанозлектроника»
код и наименование

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
наименование

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПГУ 02. 11.03.04. 006 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему:

Усилитель напряжения для вторичного преобразования сигналов
датчика физических величин
тема бакалаврской работы

Студент группы 20ПД
номер группы

[подпись] 08.06.24
подпись, дата

Х.О. Ладажонов
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
должность

[подпись] 12.06.24
подпись, дата

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
подпись, дата

И.А. Пронин
инициалы,

фамилия

Работа защищена с оценкой удовл. (протокол ГЭК от 18.06.24 № 8)

Секретарь ГЭК

[подпись] 18.06.24
подпись, дата

А.А. Вольсков
инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит: 76 страниц, 15 рисунков, 2 таблиц, 10 слайдов презентации, 10 используемых источников и 4 приложение.

Ключевые слова: физическая величина, датчики, усилитель напряжения, коэффициент усиления, схема, моделирование, измерения, печатная плата.

Объектом разработки является усилитель напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин.

Цель работы: разработка и проектирование усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин.

Проведен литературный обзор датчиков физических величин, рассмотрены возможные методы измерения физических величин, проведен обзор способов измерения физических величин, разработана и спроектирована схема электрическая принципиальная усилителя напряжения вторичного преобразования сигнала датчиков физических величин, проведено моделирование работы данной схемы и подтверждены результаты расчетов по модельным образцам, представлена 3D модель печатной платы усилителя напряжения вторичного преобразования сигнала датчиков физических величин.

					ПГУ 2. 11.03.04.006 ПЗ	Лист
						2
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	Error! Bookmark not defined.
1 Датчики физических величин методы и способы их реализации	Error! Bookmark not defined.
1.1 Физические величины	Error! Bookmark not defined.
1.2 Средства измерений физических величин	8
1.3 Датчики физических величин	10
1.4 Датчики движения и перемещения	11
1.5 Датчики измерения скорости и ускорения.....	14
1.6 Датчики давления	17
1.7 Датчики влажности	19
1.8 Оптические датчики	20
1.9 Датчики температуры	22
1.10 Детекторы радиоактивного излучения.....	24
2 Разработка и проектирования усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин	Error! Bookmark not defined.
2.1 Назначение усилителей электрических сигналов	Error! Bookmark not defined.
2.2 Основные характеристики усилителей	28
2.3 Операционные усилители	32
2.4 Основные параметры операционного усилителя	33
2.5 Дифференциальный усилитель на основе операционных усилителях	35
2.6 Расчет параметров дифференциального усилителя напряжения для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин	38
2.7 Моделирование работы усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин	42
2.8 Проектирование двухсторонних печатных плат	48

3 Система общего освещения рабочего места инженера-проектировщика	Error! Bookmark not defined.
3.1 Проектирование оптимальных условий труда инженера-проектировщика	Error! Bookmark not defined.
3.2 Проектирование эргономических условий труда инженера-проектировщика	52
3.3 Требования к производственным помещениям	53
Заключение	55
Список использованных источников	56
Приложение А. Задание на бакалаврскую работу	57
Приложение Б. Схема электрическая принципиальная	61
Приложение В. Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ»	63
Приложение Г. Презентация.....	67

ВВЕДЕНИЕ

Измерения физических величин в различных областях науки и техники всегда является актуальной и трудоемкой задачей. Получение достоверных измерений физических величин играет глобальную роль для научно-технического прогресса. Преобразование сигналов датчика в информационный и понятный вид является неотъемлемой частью любого измерительного устройства. В большинстве своих физических особенностях датчики физических величин оперируют с внешним воздействием физической величины, и происходит дальнейшее преобразование в напряжение или ток, который потом обрабатывается измерительной системой для удобного отображения.

Цель работы: разработка и проектирование усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- провести литературный обзор датчиков физических величин;
- выполнить обзор методов измерения физических величин;
- выполнить обзор способов измерения физических величин;
- разработать схему электрическую принципиальную усилителя напряжения вторичного преобразования сигналов датчика физических величин;
- выполнить моделирование работы усилителя напряжения вторичного преобразования сигнала датчиков физических величин.

					ПГУ 2. 11.03.04.006 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Дадажонов Х.						
Провер.		Аношкин Ю.						
Н. Контр.		Рыжова Т.						
Утв.								
					Лит.			Листов
								5
					Введение			
					Группа 20ПД1			

1 Датчики физических величин методы и способы их реализации

1.1 Физические величины

Физические объекты, окружающие человека в повседневной жизни, обладают разнообразными свойствами, для объяснения которых вводятся физические величины. Физическая величина представляет собой одно из свойств физического объекта, которое является общим для многих объектов, но может иметь различные количественные значения. Для определения численного значения физической величины проводится измерение. При непосредственных измерениях значение физической величины определяется напрямую, а при косвенных измерениях используются результаты измерений других величин, связанных с интересующей величиной. Также единицу измерения физической величины определяют как физическую величину определенной величины, которой присваивается числовое значение равное единице. Когда некоторые физические величины рассматриваются как независимые, а другие как функции от этих независимых величин, совокупность физических величин, сформированная в соответствии с установленными принципами, называется системой физических величин.

Агрегация основных и производных единиц, принадлежащих к определенной системе физических величин и формируемых в соответствии с основами этой системы, определяется как система единиц физических величин. Существует несколько систем измерения, включая метрическую, естественную и традиционную системы мер.

В 1795 году Национальное собрание Франции утвердило метр как основную единицу длины; в 1832 году К. Гаусс предложил систему единиц,

					ПГУ 2. 11.03.04.006 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Дадажонов Х.					
Провер.		Аношкин Ю.					
Н. Контр.		Рыжова Т.		13.06.14			
Утв.							
Датчики физических величин методы и способы их реализации					Лит.	Лист	Листов
						6	
					Группа 20ПД1		

основанную на независимых единицах длины, массы и времени, которые он определил как абсолютные единицы; после подписания Метрической Конвенции в 1875 году метрическая система была принята для достижения международного единства в измерениях, основанная на метрических принципах. На основе этих принципов были разработаны другие системы единиц физических величин, такие как СИ, СГС, МКГСС, МТС, МКС, МСК, МКСЛ [1].

В середине XX века возникла потребность в создании универсальной системы единиц, удобной для использования в науке и технике, вместо существующих систем единиц: в 1960 году XI-я Генеральная конференция по мерам и весам приняла Международную систему единиц СИ, основанную на метрической системе. Первоначально в СИ было шесть (в настоящее время – семь) основных единиц, представленных в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные единицы СИ

Наименование физической величины	Единица измерений в России	Единица измерений в Море
Длина	м	<i>m</i>
Масса	кг	<i>kg</i>
Время	с	<i>s</i>
Сила тока	А	<i>A</i>
Температура	К	<i>K</i>
Количество вещества	моль	<i>mol</i>
Сила света	кд	<i>cd</i>

Все единицы СИ являются независимыми друг от друга и могут формировать производные единицы с помощью простых уравнений для любой физической величины; СИ универсальна во всех областях науки и техники, предоставляя высокоточные измерения. Каждая единица используется только для конкретной физической величины; СИ - целостная

система, обеспечивающая единые стандарты на международном уровне.

1.2 Средства измерений физических величин

Измерительные устройства – это технические средства, которые используются для воспроизведения и хранения единиц физических величин с заданной точностью. Они позволяют сравнивать неизвестные размеры с известными и измерять реакцию размеров на воздействие физических величин.

Классификация измерительных устройств разнообразна и может быть осуществлена по различным критериям, таким как техническое назначение, степень автоматизации, стандартизация, положение в поверочной схеме и другие.

Измерительные устройства могут быть разделены на измерительные приборы, преобразователи, оборудование, системы и измерительно-вычислительные комплексы. Их классификация приведена в соответствующей таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Классификация средств измерения

Средства измерения																	
Меры			Измерительные приборы							Измерительные преобразователи							
Однозначные	Многозначные	Наборы мер	Суммирующие	Интегрирующие	Показывающие	Регистрирующие	Прямого действия	Сравнения	Аналоговые	Цифровые	Аналоговые	Аналого-цифровые	Цифро-аналоговые	Первичные	Промежуточные	Датчики	Измерительные установки
																	Измерительные системы
																	Измерительные комплексы

Измерительные приборы предназначены для измерения физических величин в заданных диапазонах значений, а преобразователи используются для преобразования измеряемой величины в удобный для дальнейшей обработки формат. В зависимости от принципа действия, приборы могут быть суммирующими или интегрирующими, а также индикаторными или самопишущими.

Измерительные преобразователи могут преобразовывать аналоговые сигналы в аналоговые, аналоговые сигналы в цифровые коды и наоборот. Такие преобразователи называются аналоговыми, аналого-цифровыми или цифро-аналоговыми.

Преобразователи занимают разные позиции в измерительной схеме. Если измеряемая физическая величина непосредственно воздействует на преобразователь, он называется первичным преобразователем. За первичным преобразователем следуют вторичные преобразователи.

К средствам измерений относятся средства измерений, преобразователи и измерительные приборы, которые располагаются в одном месте и служат для измерения физических величин. Различают эталонные и поверочные средства измерений.

К измерительным системам относятся также средства измерений и преобразователи, а также измерительные приборы, компьютеры и т. п., которые располагаются в различных точках исследуемого объекта и служат для измерения характеризующей его физической величины и формирования выходных сигналов. Измерительно-вычислительные комплексы функционально объединяют средства измерений, компьютеры и различные вспомогательные устройства для выполнения конкретных измерительных задач.

1.3 Датчики физических величин

Конструктивно изолированные первичные измерительные преобразователи называются датчиками [2]. Датчики предназначены для получения сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки / хранения, но не воспринимаемой непосредственно наблюдателем [3]. В международной литературе чаще используется термин «*sensor*» [4, 5]. В зависимости от выбранных критериев существуют различные системы классификации сенсоров.

В зависимости от принципа действия они могут быть физическими (например, акустическими, магнитными, оптическими, электрическими и т. д.), химическими или комплексными.

Если датчик требует внешнего источника энергии, а такие параметры, как электрическое сопротивление, емкость, диэлектрическая проницаемость и индуктивность, изменяются под воздействием измеряемой физической величины, то такой датчик является параметрическим или пассивным. Если датчик не требует внешнего источника энергии, а выходная величина является электрической (например, ток, напряжение, заряд), то такой датчик называют генераторным или активным.

Датчики также классифицируются в зависимости от типа измеряемой электрической и неэлектрической физической величины. К последним относятся датчики давления, расхода и состава материала, температуры, размеров и перемещения, влажности, параметров излучения и т. д.

Датчики могут быть однофункциональными или многофункциональными, аналоговыми или цифровыми, проводными или беспроводными и т. д. [5, 6].

1.4 Датчики движения и перемещения

В процессе линейного или углового перемещения объект изменяет свое положение в пространстве относительно исходного положения на определенное расстояние или угол, соответственно.

Датчики линейных перемещений используются для измерения расстояния до объекта, а датчики угловых перемещений – для измерения угла поворота вращающегося объекта.

В зависимости от принципа действия датчики перемещения можно разделить на потенциометрические, емкостные, индуктивные, магниторезистивные, магнитострикционные, оптические, ультразвуковые, вихретоковые и датчики на основе эффекта Холла.

Принцип действия потенциометрических датчиков основан на зависимости электрического сопротивления (потенциометра) R_{Ω} от длины проволоки l и определяется по формуле:

$$R_{\Omega} = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (1.1)$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводника;
 S – площадь поперечного сечения материала проводника.

Если объект перемещается, сопротивление резистора также изменяется. Обычно вместо измерения сопротивления через потенциометрический преобразователь пропускают ток и определяют падение напряжения ΔU на этом сопротивлении. Это падение напряжения ΔU пропорционально величине d перемещения объекта и определяется по формуле

$$\Delta U = U \cdot \frac{d}{D}, \quad (1.2)$$

где U – напряжение, приложенное к потенциометру;
 D – величина максимального перемещения.

Емкостные датчики широко используются как сами по себе, так и в комплексном составе других датчиков. Емкость плоского конденсатора связана с его формой следующим выражением:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{p}, \quad (1.3)$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума);

S – площадь одной пластины конденсатора;

p – расстояние между пластинами.

Изменяя расстояние между пластинами конденсатора или помещая между ними проводящий или диэлектрический материал, можно определить изменение емкости. Это изменение преобразуется в переменный электрический сигнал. Емкостные датчики состоят из одного, двух или четырех конденсаторов. Поэтому такие датчики называют униполярными, дифференциальными или мостовыми.

Индуктивные датчики основаны на принципе электромагнитной индукции, при котором магнитный поток между двумя катушками (преобразуемый в напряжение) изменяется при движении исследуемого объекта. Опорное переменное напряжение, подаваемое на первичную катушку, индуцирует переменное напряжение во вторичной катушке, амплитуда которого зависит от магнитного потока между катушками. Между ними помещается ферромагнитный подвижный сердечник, перемещение которого изменяет магнитное сопротивление между катушками и связь магнитного потока. Величина амплитуды индуцированного напряжения на вторичной обмотке, которая пропорциональна перемещению сердечника, может быть использована для определения величины перемещения.

Магниторезистивные датчики используют внешний источник магнитного поля – постоянный магнит, который воздействует на датчик в

горизонтальном и вертикальном направлениях. Датчик состоит из магниторезистивной пластины и источника постоянного напряжения. Измеряемый объект, изготовленный из ферромагнитного материала, перемещается в магнитном поле, вызывая изменение магнитного поля, которое, в свою очередь, изменяет значение сопротивления магниторезистивной пластины. Изменение выходного сигнала датчика характеризует движение объекта.

Магнитострикционные датчики используются при необходимости измерения больших перемещений. Такие датчики содержат длинный волновод и перемещающийся по нему постоянный кольцевой магнит. Внутри волновода находится проводник, на который подаются электрические импульсы для создания магнитного поля по всей длине волновода. Это магнитное поле суммируется с магнитным полем кольцевого магнита. Объединенное магнитное поле генерирует вращающий момент, который поворачивает волновод в месте расположения магнита. Крутящий импульс распространяется со скоростью звука вдоль волновода, что соответствует материалу волновода. Положение кольцевого магнита определяется по временной задержке между подачей электрического импульса и регистрацией крутильного импульса.

Оптические датчики также широко используются для измерения движения объектов благодаря своим многочисленным преимуществам (простота, нечувствительность к электростатическим помехам и магнитным полям и т.д.). Как правило, они состоят из источника света, приемника света и различных оптических управляющих компонентов.

Ультразвуковые датчики также универсальны для бесконтактных измерений. Они реализуются по принципу одновременной передачи опорного сигнала и приема сигнала, отраженного от исследуемого объекта, и определения временной задержки между этими сигналами. Частота ультразвуковых колебаний составляет более 20 кГц.

Вихретоковые датчики включают опорную катушку и катушку обнаружения, которая реагирует на вихревые токи, возникающие в объекте исследования. Вихревые токи генерируют магнитное поле, вторичное по отношению к магнитному полю катушки обнаружения. Величина вторичного магнитного поля используется для измерения расстояния до объекта. Вихретоковые датчики также используются для измерения толщины материалов и обнаружения дефектов.

Датчики на основе эффекта Холла схожи по конструкции с магниторезистивными датчиками. Эффект Холла заключается в возникновении разности потенциалов в поперечном сечении проводника с протекающим по нему постоянным током, на который воздействует внешнее магнитное поле. Различают линейные датчики Холла и пороговые датчики Холла [7].

1.5 Датчики измерения скорости и ускорения

Скорость и ускорение – это физические величины, связанные с движением объекта.

Линейная скорость и угловая скорость различаются и относятся к скорости, с которой объект движется или вращается по прямой линии.

Линейная скорость может быть определена путем измерения расстояния, пройденного относительно эталонного объекта, содержащегося в датчике. Многие датчики линейной скорости используют принцип магнитной индукции.

Выходное напряжение на катушке индуктивности в датчике прямо пропорционально скорости вращения постоянного магнита в катушке и напряженности магнитного поля, определяется выражением:

$$n \cdot \Phi_B = L \cdot i, \quad (1.4)$$

где n – число витков катушки индуктивности;

Φ_B – магнитный поток на виток;

L – индуктивность катушки;

i – ток через катушку индуктивности.

Угловая скорость измеряется тахометром. Он либо определяет скорость напрямую, либо сравнивает ее со стабильной опорной частотой.

Широко распространены тахогенераторы постоянного и переменного тока. Первые включают в себя статор, ротор и контакты щеточного коллектора. На холостом ходу ($I_n = 0$) электродвижущая сила якоря равна следующему уравнению:

$$E_{\text{я}} = k \cdot \Phi_0 \cdot \omega, \quad (1.5)$$

где k – коэффициент;

Φ_0 – поток возбуждения;

ω – частота вращения якоря.

При подключении нагрузки напряжение будет соответствовать значению:

$$U_{\text{я}} = E_{\text{я}} - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{ц.я.}}, \quad (1.6)$$

где $I_{\text{я}}$ – ток якоря;

$R_{\text{ц.я.}}$ – сопротивление контакта между обмоткой и щеточным коллектором.

В тахогенераторе переменного тока контакты щетка-коллектор отсутствуют. На обмотку возбуждения подается переменное напряжение $U_{\text{в}}$ с частотой $\omega_{\text{с}}$. С другой обмотки регистрируются следующие сигналы:

$$U_{\text{вых}} = \theta \cdot \omega \cdot U_{\text{г}} \cdot \cos(\omega_c \cdot t + \varphi), \quad (1.7)$$

где θ – коэффициент;

t – время;

φ – фазовый сдвиг.

В датчиках угловой скорости также используется метод, при котором частота электрических колебаний сравнивается с частотой сигнала от измерительного преобразователя.

К преобразователям, изменяющим скорость в частоту электрических колебаний, относятся оптические, индуктивные и электростатические преобразователи. Обычные тахометры сравнивают частоту встроенного генератора с сигналом от измерительного преобразователя [1].

Для измерения угловой скорости также используются оптические гироскопы. Эти приборы реализуются с помощью эффекта Саньяка.

Если имеется оптическое кольцо радиуса r и показателя преломления n , через которое в противоположных направлениях распространяются два световых луча, а кольцо вращается с угловой скоростью Ω , то разница в длине оптического пути между этими лучами приводит к разности фаз φ . Когда кольцо неподвижно, время распространения света вдоль кольца равно следующему выражению:

$$\Delta t = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{c_k}, \quad (1.8)$$

где c_k – скорость света в кольце.

Если кольцо вращается, то разница в расстоянии распространения лучей будет составлять

$$\Delta l = 2 \cdot r \cdot \Omega \cdot \Delta t. \quad (1.9)$$

Следовательно, разность фаз составляет:

$$\varphi = n \cdot \gamma \cdot \Delta l, \quad (1.10)$$

где γ - число волны.

Акселерометры используются для измерения ускорения, а также вибрации. Важнейшим компонентом этих приборов является инерционная масса m , которая под действием силы F приобретает ускорение a по формуле:

$$F = m \cdot a. \quad (1.11)$$

Детекторы движения в акселерометрах также измеряют линейное ускорение, амплитуду вибрации и смещение инерционной массы относительно корпуса прибора и преобразуют их в электрический сигнал.

Существует несколько методов преобразования смещения в электрический сигнал, в зависимости от типа акселерометра, например емкостной, тепловой или пьезоэлектрический [6].

1.6 Датчики давления

Существует несколько методов измерения давления и выбора эталонного давления. Давление может измеряться относительно вакуума (датчик абсолютного давления), избыточного давления относительно атмосферного давления (манометр) или разности давлений в двух определенных точках (датчик дифференциального давления).

Для измерения давления широко используются пьезорезистивные датчики. В полупроводниковых кристаллах сопротивление изменяется при их деформации. Тензорезисторы размещают на поверхности круглых или прямоугольных мембран, чтобы обеспечить их деформацию под действием давления. Например, круглая мембрана может деформироваться в радиальном направлении и в направлении, перпендикулярном радиусу. Напряжения при этих воздействиях, соответственно выполняются следующие

условие:

$$U_r = \frac{3 \cdot \Delta P \cdot (1 - \chi^2)}{8 \cdot \Sigma \cdot d} \cdot (R_0^2 - 3 \cdot r^2), \quad (1.12)$$

$$U_d = \frac{3 \cdot \Delta P \cdot (1 - \chi^2)}{8 \cdot \Sigma \cdot d} \cdot (R_0^2 - r^2), \quad (1.13)$$

где ΔP – разность давлений между двумя сторонами мембраны;

χ – коэффициент Пуассона, Σ – модуль Юнга;

d – толщина мембраны;

R_0 – радиус мембраны;

r – координаты точки, в которой определяется деформация.

В емкостных датчиках давления одна обкладка конденсатора представляет собой круглую мембрану, а другая – неподвижное металлическое основание. Когда давление равно нулю, емкость равна следующему уравнению:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \pi \cdot R_0}{d_c} \cdot (R_0^2 - r^2), \quad (1.14)$$

где d_c – расстояние между обкладками конденсатора.

При деформации мембраны емкость увеличивается на некоторую величину.

1.7 Датчики влажности

Влажность показывает, сколько влаги содержится в физическом объекте [4]. Различают абсолютную и относительную влажность. Например, для газообразных сред абсолютная влажность может рассматриваться как плотность водяного пара и определяется следующим уравнением:

$$d_w = \frac{m}{V}, \quad (1.15)$$

где m – масса водяного пара;

V – объем газа.

Относительная влажность равна

$$RH = \frac{P_w}{P_s} \cdot 100\%, \quad (1.16)$$

где P_w , P_s – давление влажного и сухого воздуха при заданной температуре.

Когда влажный воздух охлаждается до насыщения, температура, при которой выполняется условие $P_w = P_s$, называется точкой росы. Оптические (конденсационные) гигрометры включают зеркало, нагреватель, датчик температуры зеркала, источник света и фотодатчик, контролирующий температуру поверхности. Точка росы – это пороговая температура зеркала. Когда зеркало охлаждается и достигает точки росы, на его поверхности появляется роса, а свет, рассеянный росой, регистрируется фотодатчиком. Затем зеркало нагревается, и конденсат исчезает.

В вибрационных (пьезоэлектрических) гигрометрах температура кварцевой пластины, которая является частью вибрационного контура, контролируется с помощью охладителя Пельтье. При достижении точки росы на поверхности кристалла образуется водяная пленка, и масса кристалла

изменяется. Резонансная частота колебательного контура смещается, и ток, протекающий через охладитель Пельтье, также изменяется [6].

1.8 Оптические датчики

К устройствам с внешними световыми эффектами относятся фотоэлектронные умножители. Фотоэлектронные умножители состоят из катода, нескольких электродов, называемых биполями, и анода в вакуумной колбе. Фотоны, попадающие на катод, выбивают электроны с его поверхности. Напряжение на динодах постепенно увеличивается.

Фотоэлектроны ускоряются от одного динода к другому, выбивая все больше электронов. Возникающий ток регистрируется анодом. Коэффициент умножения (M) для числа электронов следующий.

$$M = \delta^k, \quad (1.17)$$

где δ – число электронов;

k – число динодов.

Полупроводниковые фотодетекторы (фотодиоды, фоторезисторы и фототранзисторы) относятся к приборам с внутренними световыми эффектами. Эти приборы реализованы на принципе, согласно которому электроны под действием падающего света возбуждаются и переходят из валентной зоны в зону проводимости. В случае с фотонами должны выполняться следующие условия.

$$\Delta E_g = h \cdot \nu, \quad (1.18)$$

где ν – частота.

Фотодиоды – это полупроводниковые фотоприемники, состоящие из кристаллов с p - n -переходами с металлическими выводами и установленные в защитный корпус. Фотодиоды могут быть изготовлены из Si, Ge, GaAs, InSb, HgCdTe и др. p - n -фотодиоды, p - i - n -фотодиоды (с высокоомным слоем между

внешними p и n слоями), фотодиоды Шоттки (с тонкой пленкой золота, напыленной на n -слой для формирования барьера Шоттки) и лавинные фотодиоды.

Фотодиоды работают в двух основных режимах: фотодиодном и фотоэлектрическом. В первом случае к фотодиоду прикладывается напряжение обратного смещения, и фототок линейно зависит от интенсивности излучения в широком диапазоне. В фотоэлектрическом режиме фотодиод используется в качестве фотоэлектрического генератора. Напряжение смещения не прикладывается, и темновой ток не генерируется. Выходное напряжение фотодиода зависит от потока излучения и нагрузки. Фоторезисторы реализованы на принципе, согласно которому удельное сопротивление полупроводникового материала изменяется в зависимости от величины падающего потока излучения. Обычно фоторезисторы изготавливаются из CdS , $CdSe$ или PbS . Зависимость сопротивления от интенсивности падающего светового потока определяется следующим образом.

$$\lg(R) = A - B \cdot \lg(p \cdot S_p), \quad (1.19)$$

где R – сопротивление;

p – интенсивность;

S_p – площадь чувствительной поверхности;

A, B – постоянные.

Фототранзисторы осуществляют фотоэлектрическое преобразование так же, как и фотодиоды. Однако они также осуществляют усиление тока. Транзистор включается в цепь с питанием и содержит p - n -переход, через который протекает фотоиндуцированный ток.

Приборы с зарядовой связью – это полупроводниковые приборы, обрабатывающие аналоговые сигналы и обладающие цифровой или аналоговой памятью. Прибор представляет собой матрицу фотоэлементов, в

которой образуются свободные электроны, количество которых прямо пропорционально интенсивности падающего излучения. различают одномерные и двумерные матрицы [8]. В *Sip*-типа запоминающие элементы создаются путем легирования. Затворный электрод расположен вблизи поверхности Si. Элементы хранения отделены от электрода затвора изолирующим слоем SiO₂. Участки *Sin*-типа с различными уровнями легирования создают необходимую конфигурацию электрического поля: в приборах с зарядовой связью пакеты зарядов переносятся с одного элемента хранения на другой путем последовательного переключения напряжения на электроде затвора [9].

1.9 Датчики температуры

Известны два наиболее распространенных метода измерения температуры: метод равновесия и метод предсказания. В первом случае между датчиком и измеряемым объектом должно установиться тепловое равновесие, во втором – определяется скорость изменения температуры датчика.

Датчики температуры включают в себя датчики абсолютной температуры, в которых температура измеряется относительно абсолютного нуля или других значений, и датчики относительной температуры, которые измеряют разницу температур между измеряемым объектом и эталонным объектом.

Принцип действия терморезистивных датчиков температуры основан на температурной зависимости электрического сопротивления металлов. Существуют датчики температуры сопротивления, термисторы и датчики с *p-n*-переходом.

Термодатчики сопротивления обычно изготавливаются из платины, тонкий слой которой наносится на подходящую подложку. В качестве альтернативы платиновая проволока наматывается и закрепляется внутри

керамической трубки.

Примерная формула платиновых детекторов для температур от минус 200 до 0°C выглядит следующим образом:

$$R(t) = R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot t^3 \cdot (t - 100)), \quad (1.20)$$

где R_0 – значение сопротивления при 0 °C;

t – температура;

A, B, C – константы.

Термисторы можно разделить на два типа: с отрицательным и положительным температурным коэффициентом сопротивления. Первые изготавливаются из сплавов металлов (например, железа, марганца, никеля, меди, кобальта, хрома и титана). Вторые изготавливаются из керамики, например титаната бария с примесями.

Для термисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления температурная зависимость сопротивления выглядит следующим образом:

$$R(T) = R_0 \cdot \exp\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right), \quad (1.21)$$

где R_0 – сопротивление термистора;

T – абсолютная температура,

T_0 – калибровочная температура [10].

Известно, что в электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных проводников из разных материалов, в точках контакта между ними при разных температурах возникает электродвижущая сила [4]. Это и есть термоэлектрический эффект.

Термоэлектрические контактные датчики используют этот эффект и состоят из двух различных проводников, т. е. термопар. Термопары являются относительный датчик температуры [9]. Термопары могут быть

следующих типов

Термопары образуются путем последовательного соединения термоэлементов.

Полупроводниковые датчики температуры на основе *p-n*-переходов очень популярны: при прямом смещении *p-n*-перехода в условиях постоянного тока выходное напряжение пропорционально изменению температуры. В основе таких датчиков лежат диоды и биполярные транзисторы.

1.10 Детекторы радиоактивного излучения

Явление радиоактивности заключается «в самопроизвольном изменении состава атомного ядра, находящегося в основном состоянии либо в возбужденном долгоживущем (метастабильном) состоянии» [4].

Закон радиоактивного распада формулируется следующим образом:

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt, \quad (1.22)$$

где λ – коэффициент распада;

N – число нераспавшихся ядер;

dN – число ядер, распадающихся за интервал времени dt .

По принципу действия детекторы радиоактивного излучения можно разделить на дозиметры (измеряющие мощность излучения) и детекторы столкновений (измеряющие наличие радиоактивных частиц). К детекторам радионуклидного излучения относятся ионные, сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы.

Некоторые газы при воздействии ионизирующего излучения образуют пары ионов. Положительные и отрицательные ионы можно отделить друг от друга с помощью электростатических полей и измерить их количество. Одна радиоактивная частица может образовывать несколько пар ионов.

В ионизационной камере радиоактивные частицы вызывают ионизацию молекул газа. Ток, протекающий через анод, равен

$$I_A = q_e \cdot n \cdot N_0, \quad (1.23)$$

где q_e – заряд электрона;

n – число радиоактивных частиц,

N_0 – число ионов, образуемых падающей частицей.

Принцип работы пропорциональных счетчиков основан на эффекте фотоэлектронного умножителя. Поскольку эти приборы работают при высоком напряжении, электроны, возникающие в результате столкновений, обладают значительной энергией и увлекают за собой нейтральные молекулы в процессе ионизации. Далее образуются пары ионов. Этот процесс известен как лавина Таунсенда.

Счетчики Гейгера-Мюллера популярны благодаря своей простоте. В счетчиках Гейгера-Мюллера используется большое возбуждающее напряжение. Первичные ионы обладают достаточной энергией, чтобы возбудить вторичные ионы и молекулы газа. Вторичные ионы испускают излучение в ультрафиолетовой области, которое выбивает электроны с поверхности катода. Молекулы газа также поглощают фотоны. Запускается лавинообразный процесс, в результате чего амплитуда выходного сигнала не зависит от количества первичных ионов. Поэтому счетчики Гейгера-Мюллера являются только качественными детекторами.

В сцинтилляционных детекторах используются материалы, преобразующие ядерное излучение в свет. Это неорганические кристаллы, органические растворы и кристаллы галогенидов щелочных металлов. Активные частицы возбуждают атомы и молекулы сцинтиллятора. Атомы или молекулы сцинтиллятора возвращаются в свое основное состояние и испускают излучение в ближней ультрафиолетовой (УФ) и сине-голубой областях спектра. Для усиления сигнала используется фотоэлектронный

умножитель.

Полупроводниковые детекторы радиоактивности обладают самой высокой разрешающей способностью. Заряженные частицы, проходящие через детектор, образуют электронно-дырочные пары. Для образования таких пар требуется небольшое количество энергии. Когда к полупроводниковому материалу прикладывается электрическое поле, носители заряда движутся в определенном направлении, создавая электрический ток.

					ПГУ 2. 11.03.04.006 ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Разработка и проектирования усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин

2.1 Назначение усилителей электрических сигналов

В промышленной электронике часто возникает необходимость усиления электрических сигналов. В качестве примера можно привести измерение неэлектрических величин электрическими методами, контроль и автоматизацию технических процессов. Для решения этих задач используются электронные усилители, которые усиливают напряжение, ток или мощность слабых электрических сигналов.

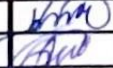
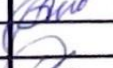
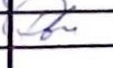
Сегодня в усилителях широко используются транзисторы и интегральные микросхемы (ИС).

Усилители можно классифицировать несколькими способами:

- по роду усилительного элемента (вакуумная лампа, транзистор, ИС);
- по типу усиливаемой величины (усилители напряжения, тока, мощности);
- по количеству каскадов (однокаскадные, двухкаскадные или многокаскадные).

Одной из важнейших характеристик является диапазон частот усиливаемого сигнала, в котором успешно работает усилитель. По этому признаку различают следующие типы усилителей.

– Низкочастотные усилители: служат для усиления непрерывно периодических сигналов в диапазоне низких частот (от десятков герц до десятков килогерц).

					ПГУ 2. 11.03.04.006 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Дадажонов Х.			Разработка и проектирования усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин	Лит.	Лист
Провер.		Аношкин Ю.					27
Н. Контр.		Рыжова Т.		13.06.04		Группа 20ПД1	
Утв.							

– Усилители постоянного тока служат для усиления медленно изменяющихся напряжений или токов в диапазоне частот от нуля до некоторой высшей частоты.

– Селективные усилители, характеризующиеся малым значением отношения высоких и низких частот. Как правило, это высокочастотные усилители.

Импульсные (широкополосные) усилители работают в диапазоне от нескольких килогерц до десятков мегагерц и используются в импульсной связи, радиолокационной и телевизионной аппаратуре.

2.2 Основные характеристики усилителей

Коэффициент усиления в зависимости от типа усиливаемой величины называется коэффициентом усиления K_y по напряжению, по току или по мощности. Коэффициент усиления показывает, во сколько раз напряжение $U_{\text{вых}}$ (ток, мощность) на выходе усилителя больше напряжения $U_{\text{вх}}$ (тока, мощности) на входе. Таким образом, коэффициент усиления по напряжению равен:

$$K_y = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}. \quad (2.1)$$

Для многокаскадного усилителя, структурная схема которого приведена на рисунке 2.1, общий коэффициент усиления будет

$$K_y = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (2.2)$$

где K_1, K_2, K_n – коэффициент усиления соответствующих каскадов.

Коэффициенты усиления часто выражают в логарифмических единицах – беллах и децибеллах, (1Б= 10 дБ).

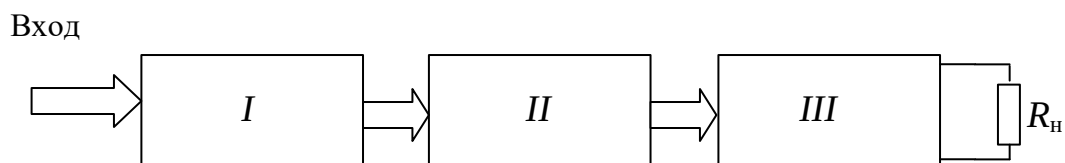


Рисунок 2.1 – Структурная схема трехкаскадного усилителя

Коэффициент усиления, выраженный в децибелах

$$K_{\text{дБ}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \right). \quad (2.3)$$

Общий коэффициент усиления, например, трехкаскадного усилителя в логарифмических единицах

$$K_{\text{дБ}} = K_{\text{дБ1}} + K_{\text{дБ2}} + K_{\text{дБ3}}. \quad (2.4)$$

В тех случаях, когда в децибелах необходимо определить усиление по мощности, применяют формулу

$$K_{\text{дБ P}} = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \right), \quad (2.5)$$

где 20 – числовой множитель появляется потому, что мощность пропорциональна квадрату напряжения. Действительно,

$$K_{\text{дБ P}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}^2}{U_{\text{ВХ}}^2} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \right). \quad (2.6)$$

Последнее выражение справедливо при равенстве входного и выходного сопротивлений.

Выходная мощность – это мощность, которая развивается на выходном нагрузочном сопротивлении усилителя:

$$P_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}^2}{R_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{мВЫХ}}^2}{2R_{\text{н}}}. \quad (2.7)$$

Обычно номинальная выходная мощность — это максимальная мощность, генерируемая в нагрузке, при которой искажения не превышают заданного значения.

Эффективность определяется как отношение полезной выходной мощности к мощности, потребляемой всем источником питания ($P_{\text{общ}}$):

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{общ}}} . \quad (2.8)$$

Частотные искажения — искажения, вызванные наличием в цепи усилителя реактивных элементов (катушек индуктивности и конденсаторов), приводящие к разной степени усиления на разных частотах.

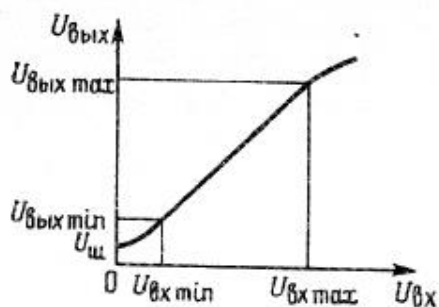
Фазовые искажения — это искажения, вызванные нелинейной зависимостью фазового сдвига между входным и выходным напряжением усилителя от частоты. Эти искажения вызваны наличием реактивных элементов в цепи усилителя.

Нелинейные искажения обусловлены нелинейностью вольтамперных характеристик усилительных элементов (электронных ламп, транзисторов) и проявляются в виде искажений формы усиливаемого сигнала.

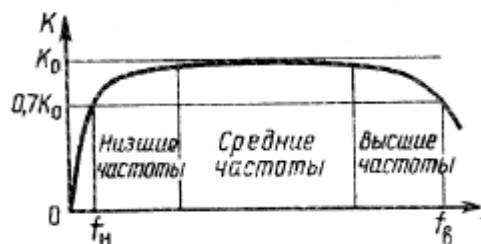
Низкочастотные усилители наиболее распространены в промышленной электронике. Рассмотрим принцип работы низкочастотных усилителей.

Низкочастотные усилители предназначены для усиления электрических сигналов в определенном диапазоне частот, обычно звуковых (от 20 Гц до 20 кГц). Характеристики усилителя можно определить по его амплитудно-частотным характеристикам.

На рисунке 2.2а изображена амплитудная характеристика усилителя низких частот при $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$.



а)



б)

а – амплитудная характеристика усилителя;

б – частотная характеристика усилителя

Рисунок 2.2 – Характеристики усилителя низких частот

По этой характеристики можно определить динамический диапазон

$$D = \frac{U_{\max_{\text{вых}}}}{U_{\min_{\text{вых}}}}. \quad (2.9)$$

где $U_{\max_{\text{вых}}}$, $U_{\min_{\text{вых}}}$ – значение ограничивает линейную часть характеристики.

Динамический диапазон обычно определяется в децибелах. Чем выше значение параметра D , тем выше качество усилителя. Амплитудная характеристика заметно нелинейна при очень низких и очень высоких входных напряжениях. Даже при отсутствии входного сигнала на выходе присутствует некоторое напряжение, определяемое собственным шумом усилителя. При очень больших входных сигналах усилительные элементы перегружаются, коэффициент усиления усиливаемого сигнала снижается и возникают искажения. Поэтому очень малые значения $U_{\min_{\text{вых}}}$ и большое значение $U_{\max_{\text{вых}}}$ также нельзя выбирать. Таким образом, динамический диапазон усилителя ограничен.

На рисунке 2.2б показана частотная характеристика усилителя $K = \varphi(f)$ при $U_{\text{вх}} = \text{const}$. Из нее видно, что электрический сигнал проходит через

усилитель низких частот с искажениями и что искажения увеличиваются на самой низкой и самой высокой рабочих частотах. Это связано с изменением сопротивления нагрузки с частотой.

2.3 Операционные усилители

Операционные усилители играют ключевую роль в построении источников питания, особенно в области разработки систем обратной связи и контроля выходного напряжения, тока, мощности, а также схем обратной связи по току. Среди множества доступных типов операционных усилителей в области силовой электроники особое значение имеют следующие классы операционных усилителей:

- операционные усилители общего применения (индустриальные *LM324*, *LM358*);
- операционные усилители с однополярным питанием;
- операционные усилители с широким диапазоном выходного напряжения – усилители так называемого класса *rail-o-rail* (*R2R*).

Другие типы операционных усилителей реже используются при создании источников питания. Условное обозначение операционного усилителя представлено на рисунке 2.3.

Операционный усилитель – это устройство, выполняющее математические операции с аналоговыми сигналами. Он содержит неинвертирующий вход ($U+$), инвертирующий вход ($U-$), выход ($U_{\text{вых}}$) и выводы питания. В идеальном операционном усилителе напряжение на выходе $U_{\text{вых}}$ связано с входными напряжениями $U+$ и $U-$ по формуле:

$$U_{\text{вых}} = ([U+] - [U-]) \cdot K_{\infty}. \quad (2.10)$$

где K_{∞} – коэффициент усиления с разомкнутой петлей обратной связи.

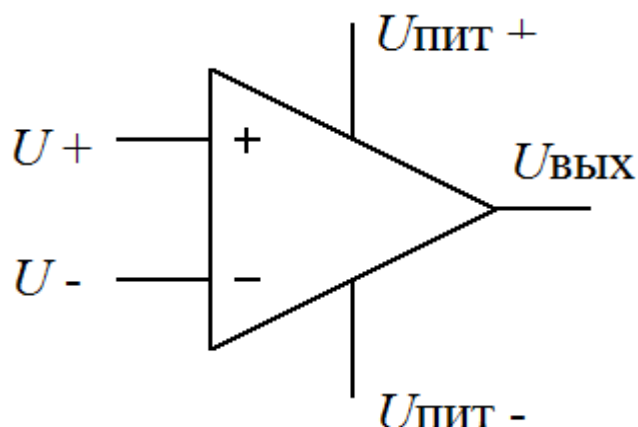


Рисунок 2.3 – Условно графическое обозначение операционного усилителя

В реальных условиях выходное напряжение ограничено напряжением питания. Режим без обратной связи почти не используется, вместо него применяются схемы с обратной связью, такие как неинвертирующий усилитель, инвертирующий усилитель и дифференциальный усилитель.

2.4 Основные параметры операционного усилителя

К основным параметрам операционного усилителя относятся:

1) напряжение питания (*Supply Voltage*) $U_{пит}$ – напряжение работы операционного усилителя определяется диапазоном между минимальным и максимальным уровнями напряжения питания. Минимальный уровень напряжения необходим для нормального функционирования устройства, в то время как превышение максимального значения может привести к выходу усилителя из строя.

2) максимальное дифференциальное входное напряжение (*Differential Input Voltage*) – максимальное напряжение между инвертирующим и неинвертирующим входами операционного усилителя.

3) максимальное входное напряжение (*InputVoltage*) – максимальное напряжение на любом из входов операционного усилителя.

4) максимальная рассеиваемая мощность (*Power Dissipation*) – максимальная мощность рассеиваемая корпусом операционного усилителя.

5) входной ток операционного усилителя (*Input Current*) – размер тока на входах операционного усилителя может изменяться в зависимости от полярности входного напряжения. При положительных входных напряжениях он будет минимальным (от единиц до десятков микроампер), а при отрицательных напряжениях относительно «—» напряжения питания – составит десятки миллиампер.

6) напряжение смещения (*InputOffsetVoltage*) – максимальное напряжение между входами операционного усилителя в линейном режиме работы в схеме с положительной обратной связью является ключевым показателем точности этого устройства.

7. входной ток смещения, эквивалентный входной ток (*InputBias Current*) – входной ток в линейном режиме работы.

8) разность входных токов (*InputOffset Current*) – разность между входными токами операционного усилителя.

9) диапазон входных напряжений (*Input Common-Mode Voltage Range*) – показывает минимальное и максимальное напряжения на входах ОУ при условии работы в линейном режиме.

10) потребляемый ток (*Supply Current*) – ток питания операционного усилителя. Как правило, указывается ток собственного потребления операционного усилителя без нагрузки.

11) статический коэффициент усиления при большом сигнале (*LargeSignalVoltageGain*) – показывает отношение изменения выходного напряжения к вызвавшему это изменение изменению разности потенциалов между входами ОУ.

12) коэффициент ослабления синфазного сигнала (*common-*

moderejectionratio).

13)коэффициент подавления пульсаций напряжения питания (powersupplyrejectionratio).

14)коэффициент связи между операционного усилителя – для нескольких операционного усилителя и одном корпусе (Amplifier-to-AmplifierCoupling).

15)выходной ток цепи источника питания/цепь стока (Output Current Source/Sink).

2.5Дифференциальный усилитель на основе операционных усилителях

Иногда необходимо вычесть два сигнала. Типичный пример – измерение тока через резистор, что практикуется при считывании температуры с различных источников питания, инверторов и термопар, а также при считывании напряжения на мосте Витстоуна.

Самый простой метод – использовать дифференциальный усилитель, называемый вычитающей схемой (рисунок 2.4): если нужно вычислить разницу между двумя сигналами, достаточно одного операционного усилителя и четырех одинаковых резисторов.

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_2 - U_1. \quad (2.11)$$

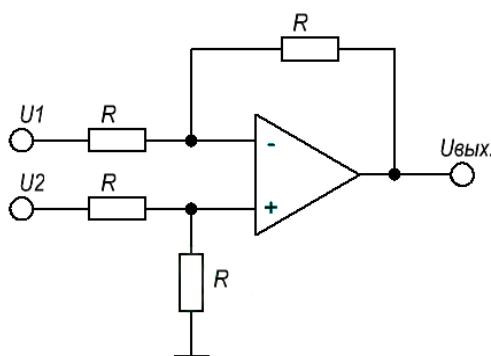


Рисунок 2.4 – Дифференциальный усилитель с одинаковыми элементами сопротивления

Однако, поскольку мы часто имеем дело с очень слабыми сигналами, было бы неплохо усилить полученную разницу в дополнение к вычитанию. Для этого используется несколько измененная схема, зависящая от величины резистора(рисунок 2.5):

$$U_{\text{ВЫХ}} = R2 / R1 (U2 - U1). \quad (2.12)$$

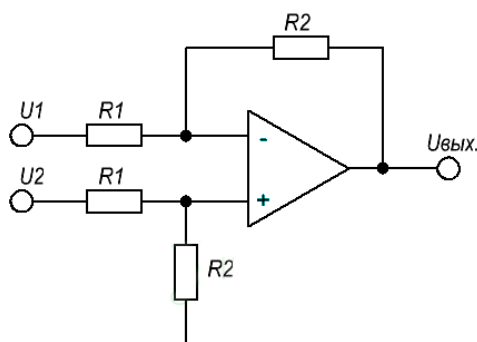


Рисунок 2.5 – Дифференциальный усилитель с различными элементами сопротивления

Ничто не мешает изменить значение резистора еще больше, но так не делают, однако данная схема рабочая:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{(R1 + R2) \cdot R4}{(R3 + R4) \cdot R1} \cdot U2 - \frac{R2}{R1} \cdot U1. \quad (2.13)$$

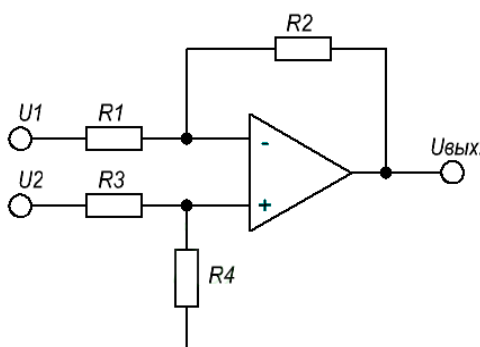


Рисунок 2.6 – Дифференциальный усилитель с различными элементами сопротивления, другой подход

Схема рисунок 2.6 уже довольно запутанная, но все же практичная. Резисторы $R3$ и $R4$ образуют обычный делитель напряжения. Работа операционного усилителя основана на трех основных правилах: напряжение на неинвертирующем входе (+) усилителя равно напряжению на инвертирующем входе (-):

1) операционный усилитель оказывает воздействие своим выходом на вход через отрицательную обратную связь, в результате чего напряжения на обоих входах, как на инвертирующем (-), так и на неинвертирующем (+) выравниваются;

2) входы усилителя не потребляют ток;

3) напряжения на входах и выходе должны быть в диапазоне между положительным и отрицательным напряжением питания операционного усилителя.

Если известны входное напряжение $U2$ и напряжение на инвертирующем входе $U1$, можно найти напряжение на резисторе $R1$. Затем, исходя из закона Ома, можно рассчитать ток через этот резистор, и этот же ток далее будет протекать через резистор $R2$. если известно сопротивление $R2$, то можно рассчитать падение напряжения на этом резисторе, что и даст окончательный результат.

Дифференциальные усилители, к сожалению, имеют два серьезных недостатка, которые во многих ситуациях не устранимы:

Первый недостаток – низкий входной импеданс, который (как и у инвертирующих усилителей) зависит от величины сопротивления. При измерении очень слабых сигналов от термопар или мостов Витстоуна усилители вносят существенные погрешности в измерительную систему.

Второй недостаток заключается в том, что коэффициент усиления нельзя легко изменить. Для этого необходимо одновременно изменять

значения двух резисторов, что на практике очень сложно. Необходимо либо предусмотреть парный потенциометр, либо ввести систему аналоговых мультиплексоров, что усложняет схему.

Таким образом, хотя дифференциальные усилители и являются простыми схемами, их практическое применение весьма ограничено.

2.6 Расчет параметров дифференциального усилителя напряжения для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин

Измерительные усилители (также известные как инструментальный) – это тип дифференциальных усилителей, используемых для точного измерения дифференциальных сигналов в контрольно-измерительном оборудовании. Это усилители высокого класса с отличными характеристиками. Они также используются в качестве предусилителей для микрофонов другой аудиоаппаратуре.

Измерительные усилители – это усовершенствованные варианты дифференциальных усилителей, описанных ранее. Такие усилители также называют измерительными. Схема классического измерительного усилителя показана на рисунке 2.7.

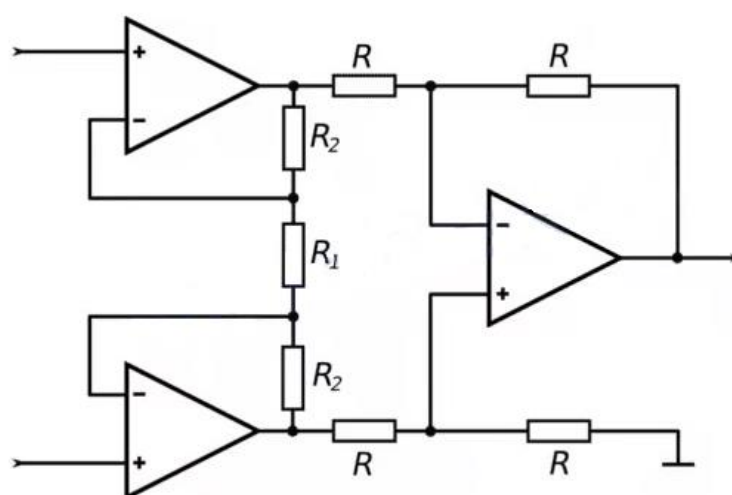


Рисунок 2.7 – Измерительный усилитель напряжения

Этот усилитель, как и простой дифференциальный усилитель, используется для усиления дифференциальных сигналов и подавления паразитных синфазных сигналов (т.е. сигналов, поступающих на оба входа одновременно).

Дифференциальный коэффициент усиления первого каскада определяется формулой:

$$K_{\text{дифф}} = 1 + \left(\frac{2 \cdot R_2}{R_1} \right). \quad (2.13)$$

Второй каскад представляет собой обычный дифференциальный усилитель. Дифференциальный коэффициент усиления усилителя равен 1, а коэффициент усиления синфазного сигнала практически равен нулю.

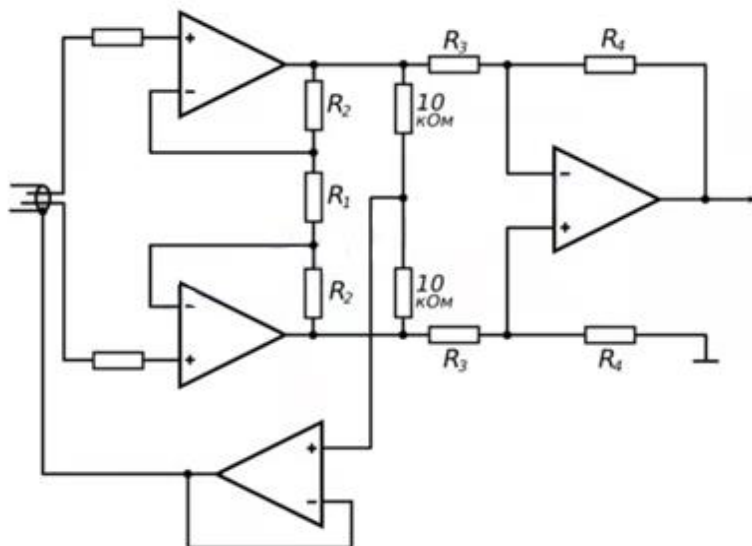
Как видите, паразитные синфазные сигналы, поступающие на оба входа усилителя, не усиливаются в первом каскаде, а подавляются во втором. При этом нет необходимости в больших коэффициентов обратной отрицательной связи выходных операционных усилителях и точном согласовании резисторов R друг с другом, что недопустимо в обычных дифференциальных усилителях.

В таких усилителях импеданс источника сигнала уже не важен, им может быть как преобразователь, так и датчик физической величины.

Инструментальные усилители – это готовые схемы преобразователя, предусилителей с симметричными входами.

Также доступны гибридные интегральные схемы инструментальных усилителей. В принципе, все компоненты этих интегральных схем собраны внутри, за исключением резистора R_1 . Затем R_1 выносится наружу и выбирается коэффициент усиления. Диапазон регулировки коэффициента усиления этих усилителей обычно составляет от 1 до 1000 при входном сопротивлении до 100 МОм или выше. Существуют высоковольтные

Чаще всего используются сдвоенные операционные усилители. Это означает, что в одном корпусе находятся два операционных усилителя. Таким образом, если используются две упаковки, то один операционный усилитель не используется. Поэтому рассмотрим еще одну схему, в которой четвертый операционных усилителя будет очень полезен. Кроме того, по этой схеме (рисунок 2.8) чаще всего строятся измерительные усилители.



Добавленный нижний операционный усилитель используется в качестве "защитного" операционного усилителя. Усиленный синфазный сигнал этого ОУ может быть использован для ослабления влияния емкости и утечки кабеля. В этом случае выход защиты должен быть подключен к экрану входного кабеля. Важно, чтобы экран не был подключен в другом

месте. Также следует избегать заземления экрана.

Если необходимо перенести резистор усиления на переднюю панель управления (это не рекомендуется), следует использовать экранированный кабель, а экран также подключить к выходу защиты.

Общий коэффициент усиления вычисляется по формуле:

$$K_y = \left(1 + \frac{2 \cdot R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_4}{R_3}. \quad (2.14)$$

Резисторы R_3 и R_4 задают коэффициенты второго каскада. Это обычный дифференциальный усилитель, описанные выше.

Так как правый множитель выражения (2.14) обеспечивает коэффициент усиления второго каскада. Второй каскад усиливает в единицу раз (т. е. $K_{y2} = 1$), следовательно резисторы $R_3 = R_4$. Необходимо рассчитать и подобрать резисторы R_1 и R_2 , что бы обеспечить коэффициент усиления первого каскада $K_{y1} = (10, 100, 1000 \text{ и } 10000)$. Подберем резисторы и вычислим соответствующие коэффициенты усиления первого каскада:

$$K_{y10} = \left(1 + \frac{2 \cdot 50 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3}\right) = 11 \approx 10, \quad (2.15)$$

$$K_{y100} = \left(1 + \frac{2 \cdot 50 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3}\right) = 101 \approx 100, \quad (2.16)$$

$$K_{y1000} = \left(1 + \frac{2 \cdot 50 \cdot 10^3}{100}\right) = 1001 \approx 1000, \quad (2.17)$$

$$K_{y10000} = \left(1 + \frac{2 \cdot 50 \cdot 10^3}{1}\right) = 10001 \approx 10000, \quad (2.18)$$

По результатам расчетов (2.15) – (2.18) можно сделать выводы, что резистор $R_2 = 50 \text{ кОм}$, $R_1 = (10 \text{ Ом}, 100 \text{ Ом}, 1 \text{ кОм}, 10 \text{ кОм})$.

На рисунке 2.9 представлена схема усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин с

различным значением коэффициента усиления (Приложение Г).

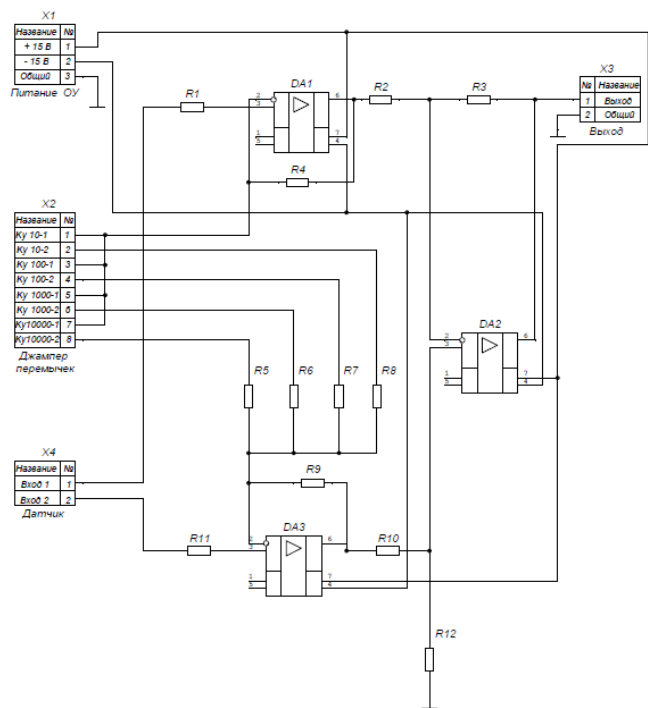


Рисунок 2.9 – Схема электрическая принципиальная усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин

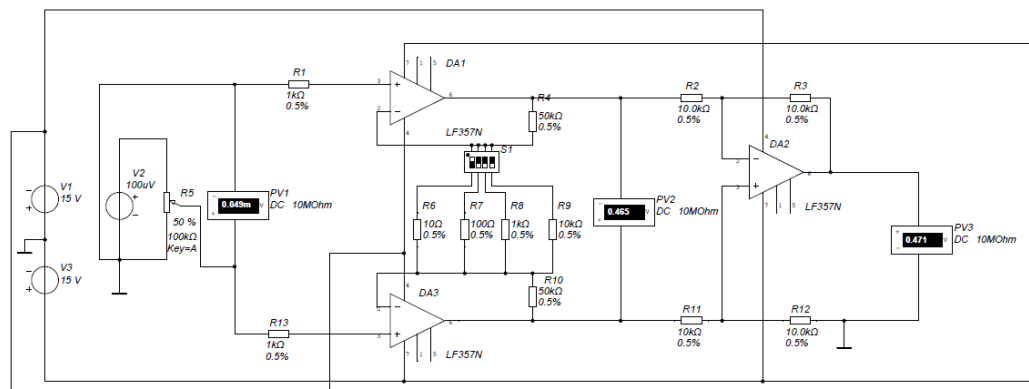
Данная схема позволяет установить нужный коэффициент усиления с помощью специального джампера перемычек X2.

Таким образом, разработанная схема электрическая принципиальная позволяет измерять сигналы вторичного преобразования датчиков физической величины в широком диапазоне напряжения.

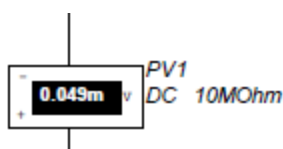
2.7 Моделирование работы усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин

Проведем моделирование работы усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин. Заменяем джамперный разъем X2 (рисунок 2.9) на четырех ходовой переключатель S1

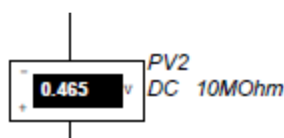
и установим первый переключатель в положение «вкл.», в цепь включается резистор R_6 схема представлена на рисунке 2.10. Таким образом, согласно расчету (2.18) установлен коэффициент усиления напряжения – 10000.



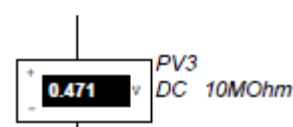
а)



б)



в)



г)

а – схема усилителя; б – входное напряжение; в – напряжение после усилительного каскада; г – напряжение после повторительного каскада

Рисунок 2.10 – Моделирование работы усилителя напряжения с коэффициентом усиления 10000

Источник напряжения V_3 совместно с делителем напряжения R_5 моделирует напряжение на датчике $U_{\text{вых}}$. Рассчитаем выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ при коэффициенте 10000 и определим погрешность с учетом полученных данных по следующим формулам:

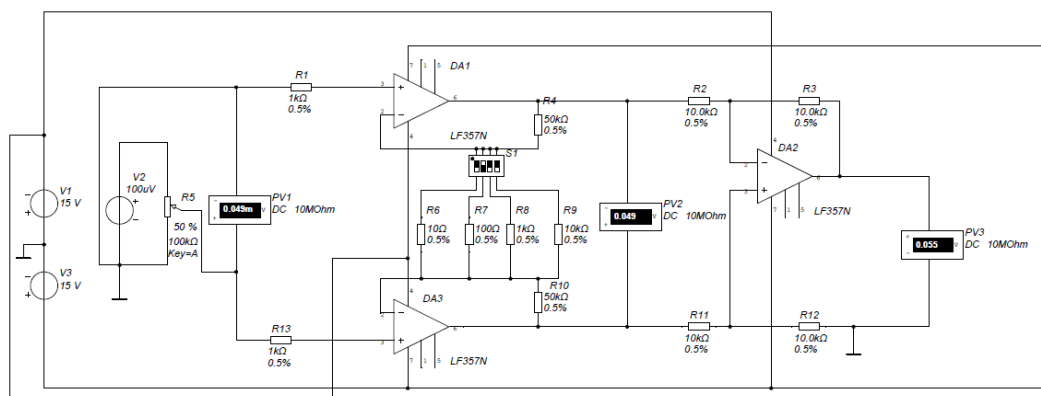
$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot K_{y10000} = 0,049 \cdot 10^{-3} \text{ В} \cdot 10000 = 0,490 \text{ (В)}, \quad (2.19)$$

$$\Delta U_{10000} = |0,490 - 0,471| = 0,019 \text{ (В)}, \quad (2.20)$$

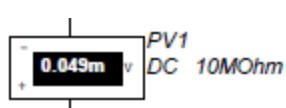
$$\delta_{10000} = \frac{0,019}{0,490} \cdot 100\% = 3,878 \approx 4 \quad (\%), \quad (2.21)$$

По результатам расчета можно сделать вывод, что погрешность измерения усиленного напряжения при коэффициенте усиления 10000 составляет 4%.

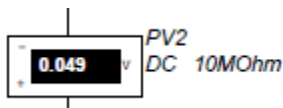
Установим первый переключатель $S1$ в положение «выкл.», а второй переключатель в положения «вкл.». В цепь включается резистор $R7$, который устанавливает коэффициент усиления напряжения – 1000, схема представлена на рисунке 2.11.



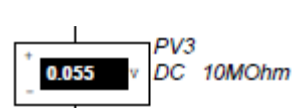
а)



б)



в)



г)

а – схема усилителя; б – входное напряжение; в – напряжение после усилительного каскада; г – напряжение после повторительного каскада

Рисунок 2.11 – Моделирование работы усилителя напряжения с коэффициентом усиления 1000

Рассчитаем выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ при коэффициенте 1000и

определим погрешность с учетом полученных данных по следующим формулам:

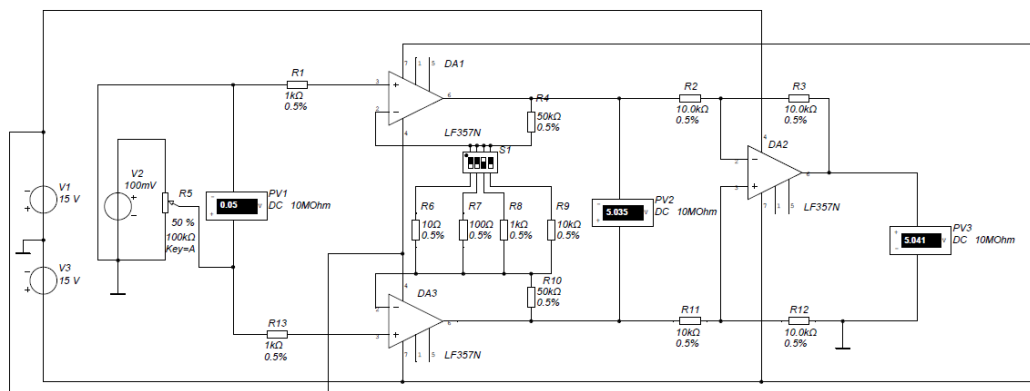
$$U_{\text{ВЫХ}} = 0,049 \cdot 10^{-3} \text{ В} \cdot 1000 = 0,049 \text{ (В)}, \quad (2.22)$$

$$\Delta U_{1000} = |0,049 - 0,055| = 0,006 \text{ (В)}, \quad (2.23)$$

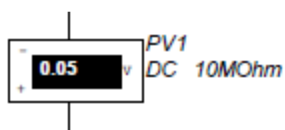
$$\delta_{1000} = \frac{0,006}{0,049} \cdot 100\% = 12,245 \approx 12 \text{ (\%)}, \quad (2.24)$$

По результатам расчета можно сделать вывод, что погрешность измерения усиленного напряжения при коэффициенте усиления 1000 составляет 12%.

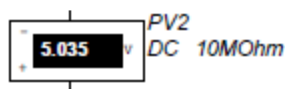
Установим второй переключатель $S1$ в положение «выкл.», а третий переключатель в положения «вкл.». В цепь включается резистор $R8$, который устанавливает коэффициент усиления напряжения – 100, схема представлена на рисунке 2.12.



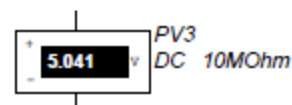
а)



б)



в)



г)

а – схема усилителя; б – входное напряжение; в – напряжение после усилительного каскада; г – напряжение после повторительного каскада

Рисунок 2.12 – Моделирование работы усилителя напряжения с коэффициентом усиления 100

Рассчитаем выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ при коэффициенте 100 и определим погрешность с учетом полученных данных по следующим формулам:

$$U_{\text{вых}} = 0,05 \text{ В} \cdot 100 = 5,00 \text{ (В)}, \quad (2.25)$$

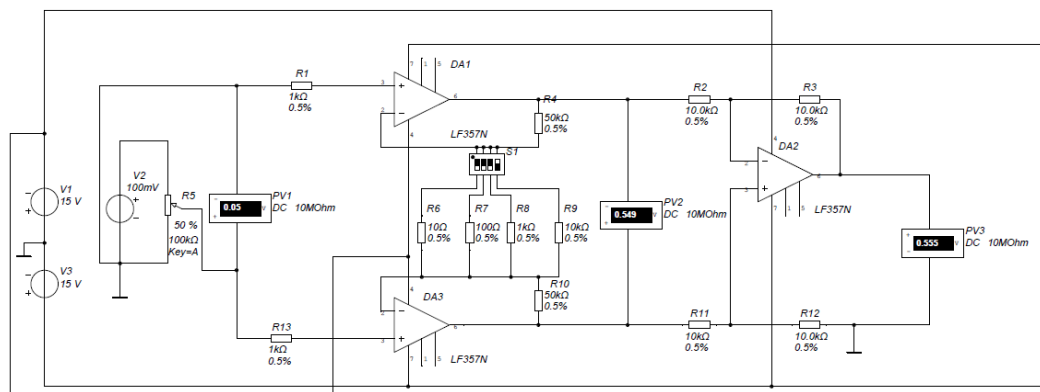
$$\Delta U_{100} = |5,000 - 5,041| = 0,041 \text{ (В)}, \quad (2.26)$$

$$\delta_{100} = \frac{0,041}{5,000} \cdot 100\% = 0,820 \approx 0,8 \text{ (\%)}, \quad (2.27)$$

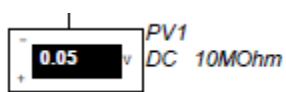
По результатам расчета можно сделать вывод, что погрешность измерения усиленного напряжения при коэффициенте усиления 100 составляет 0,8 %.

Установим третий переключатель S1 в положение «ВЫКЛ.», а

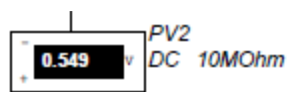
четвертый переключатель в положения «вкл.». В цепь включается резистор $R9$, который устанавливает коэффициент усиления напряжения – 10, схема представлена на рисунке 2.13.



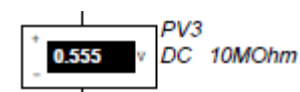
а)



б)



в)



г)

а – схема усилителя; б – входное напряжение; в – напряжение после усилительного каскада; г – напряжение после повторительного каскада

Рисунок 2.13 – Моделирование работы усилителя напряжения с коэффициентом усиления 10

Рассчитаем выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ при коэффициенте 10 и определим погрешность с учетом полученных данных по следующим формулам:

$$U_{\text{вых}} = 0,05 \text{ В} \cdot 10 = 0,50 \text{ (В)}, \quad (2.25)$$

$$\Delta U_{10} = |0,500 - 0,555| = 0,055 \text{ (В)}, \quad (2.26)$$

$$\delta_{10} = \frac{0,055}{0,500} \cdot 100\% = 11 \text{ (\%)}, \quad (2.27)$$

По результатам расчета можно сделать вывод, что погрешность

измерения усиленного напряжения при коэффициенте усиления 10 составляет 11 %.

Таким образом, усилитель напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин работает правильно с погрешностью от 0,8 до 12 % в зависимости от коэффициента усиления. Такой диапазон погрешности позволяет проводить измерения в широком спектре измерительных приборов промышленного назначения.

2.8 Проектирование двухсторонних печатных плат

Двусторонняя печатная плата представляет собой электрический компонент, который обеспечивает механическую опору и электрические соединения для электронных компонентов. Она имеет две стороны, содержащие медные проводники, соединенные через отверстия.

Проектирование двухсторонних печатных плат включает следующие этапы:

1) Схематический дизайн:

- создание схемы, представляющей электрические соединения между компонентами;
- выбор подходящих компонентов на основе требуемой функциональности;
- определение расположения компонентов на плате.

2) Размещение компонентов:

- размещение компонентов на плате с учетом доступного пространства и требований к подключению;
- оптимизация расположения для минимизации длины трассировки и обеспечения хорошей целостности сигнала.

3) Трассировка:

- создание медных проводников (трасс) для соединения компонентов;
- определение ширины и расстояния между трассами для обеспечения необходимой емкости и предотвращения перекрестных помех;
- минимизация длины трассировки для улучшения производительности.

4) Создание отверстий:

- создание отверстий для установки компонентов и соединения трасс с другой стороны платы;
- определение диаметра и расположения отверстий.

5) Соединение:

- установка компонентов на плату и пайка их к медным трассам;
- обеспечение надежных электрических соединений и механической прочности.

6) Тестирование:

- проверка работоспособности и отсутствия дефектов в собранной плате;
- проведение электрических тестов для проверки целостности соединения и работоспособности компонентов.

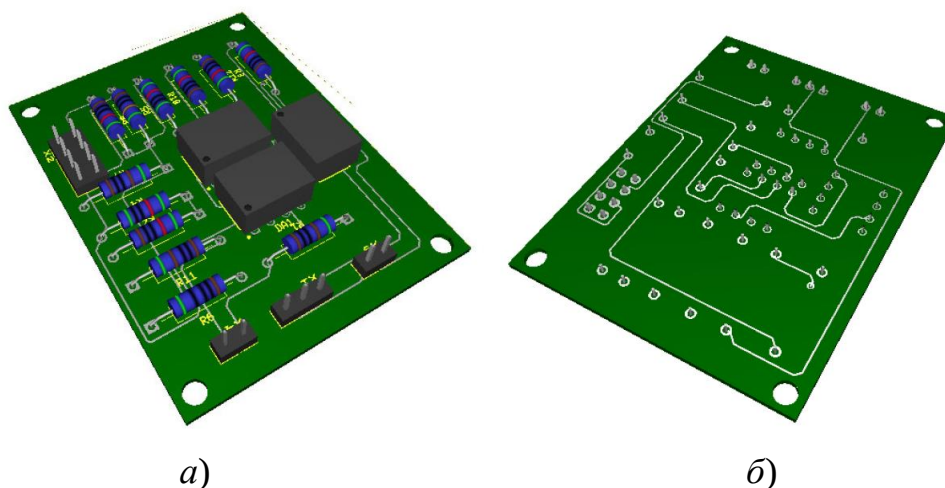
Ключевые аспекты проектирования двухсторонних печатных плат является:

- выбор подходящих материалов (стекловолокно, эпоксидная смола);
- обеспечение надлежащего отвода тепла для предотвращения

перегрева компонентов;

- соблюдение правил проектирования для предотвращения помех (*EMI/RFI*);
- использование высококачественных компонентов и процессов сборки;
- проведение тщательного тестирования для обеспечения надежности платы.

На рисунке 2.14 представлена 3D модель печатной платы усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин.



а)

б)

а – вид сверху; б – вид снизу

Рисунок 2.14 – 3D модель двухсторонней печатной платы

Двухсторонние печатные платы широко используются в различных электронных устройствах, включая компьютеры, смартфоны, телевизоры и медицинское оборудование. Их компактный размер, низкая стоимость и простота производства делают их популярным выбором для массового производства.

3 Система общего освещения рабочего места инженера-проектировщика

3.1 Проектирование оптимальных условий труда инженера-проектировщика

В этом разделе исследуется вопрос определения наилучших рабочих условий для специалиста по проектированию. Представлен план рабочего кабинета инженера-проектировщика (рисунок 3.1).

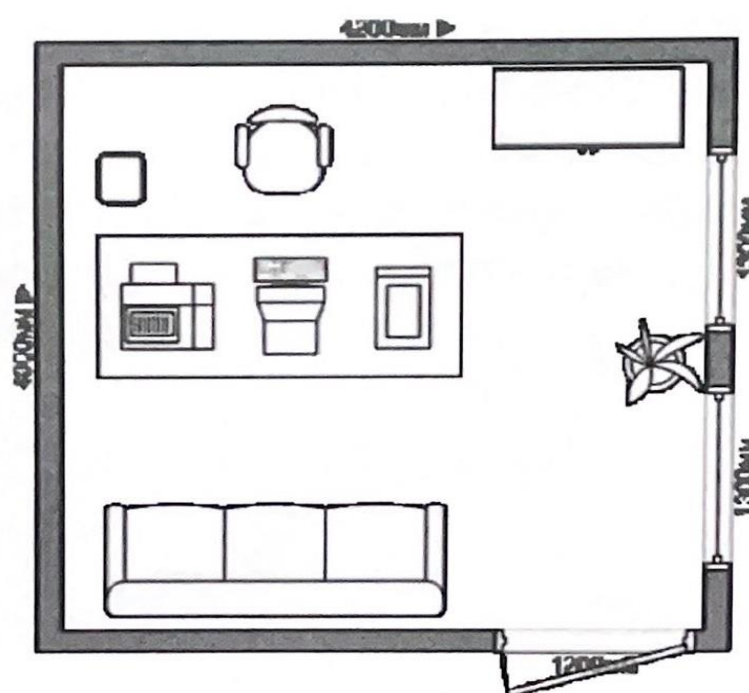


Рисунок 3.1 – Рабочий кабинет инженера-проектировщика

Инженер-проектировщик в таком кабинете выполняет напряженную работу по проектированию изделий электронной техники.

					ПГУ 2. 11.03.04.006 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Дадажонов Х.	<i>[Signature]</i>				
Провер.		Аношкин Ю.	<i>[Signature]</i>				
Н. Контр.		Рыжова Т.	<i>[Signature]</i>	13.06.14			
Утв.							
					Лит.	Лист	Листов
						51	
					Группа 20ПД1		

3.2 Проектирование эргономических условий труда инженера-проектировщика

Проектирование рабочих мест с видеотерминалами является одним из ключевых вопросов эргономического дизайна в области информатики.

Рабочее место и расположение всех его элементов относительно друг друга должны отвечать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет характер работы. Например, при обустройстве рабочего места инженера-проектировщика должны соблюдаться следующие условия: оптимальное расположение оборудования, входящего в состав рабочего места; достаточное рабочее пространство, позволяющее совершать необходимые движения и действия.

В частности, к эргономическим аспектам проектирования рабочего места видеотерминальника относятся: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, различные варианты их расположения, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа, клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, стола требования к верхней поверхности и возможность регулировки элементов рабочего места.

Основными элементами рабочего места инженера-проектировщика являются стол и стул. Сидячая работа является основной рабочей позой.

Сидячая рабочая поза минимизирует утомляемость инженеров-проектировщиков. Рациональное планирование рабочего места обеспечивает четкую последовательность и согласованность размещения предметов, средств труда и документации. Предметы, необходимые для более частой работы, должны быть расположены в пределах легкой досягаемости от рабочего места.

Рабочий стул инженера-проектировщика должен быть оснащен подъемно-поворотным механизмом. Высота сиденья должна регулироваться в диапазоне от 400 до 500 мм. Глубина сиденья должна составлять не менее

380 мм, а ширина – не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки должна быть не менее 300 мм, а ширина – не менее 380 мм. Спинка стула должна быть наклонена к сиденью под углом не менее 90° и не более 110°.

Дизайн интерьера и мебели должен способствовать созданию благоприятных условий для зрительного восприятия и настроения. Различные источники света, такие как светильники и окна, могут создавать отражения, которые влияют на точность знаков и могут вызывать физиологические помехи. Для минимизации отражений следует использовать шторы и экраны на окнах. Коэффициент отражения различных поверхностей – потолка, стен, пола и мебели – должен быть на определенном уровне для обеспечения удобства работы в помещении, особенно с компьютером.

3.3 Требования к производственным помещениям

Компетентно спроектированное и организованное производственное освещение улучшает условия визуальной работы, уменьшает утомляемость, способствует увеличению производительности труда, благотворно воздействует на рабочую атмосферу, оказывает положительное психологическое воздействие на работника, повышает уровень безопасности и снижает вероятность травм.

Недостаточное освещение может вызвать напряжение глаз, разбросанный внимания и досрочную утомляемость. Избыточно яркое освещение приводит к ослеплению, раздражению и дискомфорту. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики и затруднять процесс работы. Все эти факторы могут привести к несчастным случаям или профессиональным заболеваниям, поэтому корректный расчет уровня освещенности очень важен.

Существует три вида освещения – естественное, искусственное и совмещенное. Естественное освещение – это свет, который проникает в помещение через окна и другие естественные источники. Он изменяется в

зависимости от времени суток, времени года и других факторов. Искусственное освещение используется в темное время суток или когда естественного света недостаточно.

Искусственное освещение можно разделить на несколько типов: рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное. Рабочее освещение может быть общим или комбинированным. Для помещений с вычислительным оборудованием рекомендуется использование комбинированного освещения.

При работе, требующей высокой точности зрения, уровень естественного освещения должен быть не менее определенного значения. В помещениях с компьютерами также существуют стандарты по уровню освещенности, которые необходимо соблюдать для создания комфортных условий работы и профилактики утомления глаз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы были получены нижеследующие результаты:

1. Проведен литературный обзор датчиков физических величин, что позволило систематизировать датчики по их функциональному принципу.
2. Рассмотрены возможные методы измерения физических величин.
3. Проведен обзор способов измерения физических величин.
4. Разработана и спроектирована схема электрическая принципиальная усилителя напряжения вторичного преобразования сигнала датчиков физических величин.
5. Проведено моделирование работы данной схемы и подтверждены результаты расчетов по модельным образцам.
6. Представлена 3Dмодель печатной платы усилителя напряжения вторичного преобразования сигнала датчиков физических величин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Азаров В.Н., Арменский Е.В., Рыбин В.М. Диагностика пучков заряженных частиц. М.: Европейский центр по качеству, 2004. 178 с.
2. Аксененко М.Д., Бараночников М.Л., Смолин О.В. Микроэлектронные фотоприемные устройства. М.: Энергоатомиздат, 1984. 208 с.
3. Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А. Измерительная техника. М.: Высшая школа, 1991. 384 с.
4. Аналоговые электроизмерительные приборы / Е.Г. Бишард, Е.А. Киселева Г.П. Лебедев и др. М.: Высш. шк., 1991.
5. Асанбаев Ю.А. Периодические энергетические процессы в электрических системах. СПб: Политехника, 1997. 420 с.
6. Ахиезер Н.И. Лекции по теории аппроксимации / Н.И. Ахиезер. М.: Наука, 1965. 407 с.
7. Аш Ж. Датчики измерительных систем: в 2х кн. Кн. 1. М.: Мир, 1992. 480 с.
8. Аш Ж. Датчики измерительных систем: в 2х кн. Кн. 2. М.: Мир, 1992. 480 с.
9. Бакшеева Ю.В. Резистивные датчики температуры с метрологическим самоконтролем // Ю.В. Бакшеева, К.В. Сапожникова, Р.Е. Тайманов // Датчики и системы. 2011. №4. С. 62-70.
10. Баранский П.И., Буда И.С., Даховский И.В. Теория термоэлектрических и термомагнитных явлений в анизотропных полупроводниках. Киев: Наукова думка. – 1987. – 272 с.

Приложение А
(обязательное)
Задание на бакалаврскую работу

					ПГУ 2. 11.03.04.006 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

«Утверждаю»
Зав. кафедрой НиМЭ
Пронин И.А.
(фамилия, инициалы)
«05» июня 2024 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

1. Студент гр. 20ПД1 факультета информационных технологий и электроники
Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и микроэлектроника»
Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
Дадажонов Хайдарджон Олимович
(фамилия, имя, отчество)

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

3. Тема бакалаврской работы Усилитель напряжения 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 усилитель напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин

Основные характеристики:

1. Коэффициент усиления напряжения составляет 10, 100, 1000 и 10000.
2. Усилитель напряжения должен быть реализован на операционных усилителях.
3. Напряжение питания аналоговых микросхем должно быть не менее 15 В.
4. Выполнить моделирование работы схемы усилителя напряжения в специализированной программе
5. Выполнить моделирование печатной платы усилителя напряжения вторичного преобразования сигналов датчика физических величин

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

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

1. Датчики физических величин методы и способы их реализации
- 1.1 Физические величины
- 1.2 Средства измерений физических величин
- 1.3 Датчики физических величин
- 1.4 Датчики движения и перемещения

1.5 Датчики измерения скорости и ускорения	
1.6 Датчики давления	
1.7 Датчики влажности	
1.8 Оптические датчики	
1.9 Датчики температуры	
1.10 Детекторы радиоактивного излучения	
2. Разработка и проектирования усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин	
2.1 Назначение усилителей электрических сигналов	
2.2 Основные характеристики усилителей	
2.3 Операционные усилители	
2.4 Основные параметры операционного усилителя	
2.5 Дифференциальный усилитель на основе операционных усилителей	
2.6 Расчет параметров дифференциального усилителя напряжения для вторичного преобразования сигнала датчика физических величин	
2.7 Моделирование работы усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин	
2.8 Проектирование двухсторонних печатных плат	
3. Система общего освещения рабочего места инженера-проектировщика	
5.2. Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)	
1 Цели и задачи выпускной квалификационной работы (слайд 2).	
2 Принцип работы усилителя напряжения (слайд 3).	
3 Реализация схем на операционных усилителях (слайд 4).	
4 Схема электрическая принципиальная усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин А3×1, (слайд 5).	
5 Моделирование работы схемы усилителя напряжения с коэффициентами усиления 1000 и 10000 (слайд 6).	
6 Моделирование работы схемы усилителя напряжения с коэффициентами усиления 10 и 100 (слайд 7).	
7. 3D модель печатной платы усилителя напряжения (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
Датчики физических величин методы и способы их реализации	25 %	05.06.2024 г.	
Разработка и проектирования усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин	60 %	06.06.2024 г.	
Система общего освещения рабочего места 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

«05»

Дадажонов Х.О.

фамилия, инициалы

июня 2024 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета

подпись

«05»

Кревчик В.Д.

фамилия, инициалы

июня 2024 г.

Приложение Б

(обязательное)

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

					ПГУ 2. 11.03.04.006 ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Ректору Пензенского
государственного университета
А.Д. Гулякову
студента 4 курса ФИТЭ
очной формы обучения
Дадажонова Хайдарджона Олимовича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Дадажонов Хайдарджон Олимович, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки Электроника и нанoeлектроника, Микроэлектроника и твердотельная электроника, прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Усилитель напряжения 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.



11.06.2024

ВКР представлена на проверку

11.06.2024

дата

Руководитель ВКР



Аношкин Ю.В.

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Усилитель напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин»

студента 4 курса Дадажонова Х.О.

направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника,

профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Руководитель ВКР Аношкин Ю.В.

Руководитель ВКР

« 11 » 06 2024 год «  »
подпись

Аношкин Ю.В.
фамилия, инициалы



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Дадажонов Хайдарджон Олимович
Самоцитирование
рассчитано для: Дадажонов Хайдарджон Олимович
Название работы: Усилитель напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

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

СОВПАДЕНИЯ	36.63%	СОВПАДЕНИЯ	36.63%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	63.37%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	63.37%
ЦИТИРОВАНИЯ	0%	ЦИТИРОВАНИЯ	0%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 11.06.2024

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 11.06.2024 10:57

Структура
документа:

Проверенные разделы: библиография с.31-50, титульный лист с.1, основная часть с.2-31, 51

Модули поиска:

Переводные заимствования*; Перефразирования по коллекции IEEE; Коллекция НБУ; СМИ России и СНГ; Библиография; Цитирование; Шаблонные фразы; IEEE; Патенты СССР, РФ, СНГ; СПС ГАРАНТ: аналитика; Публикации eLIBRARY; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); ИПС Адилет; Диссертации НББ; Публикации РГБ; Сводная коллекция ЭБС; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Медицина; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Кольцо вузов; Переводные заимствования (RuEn); Публикации eLIBRARY (переводы и перефразирования); СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Переводные

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи:

11.06.2024

Подпись проверяющего



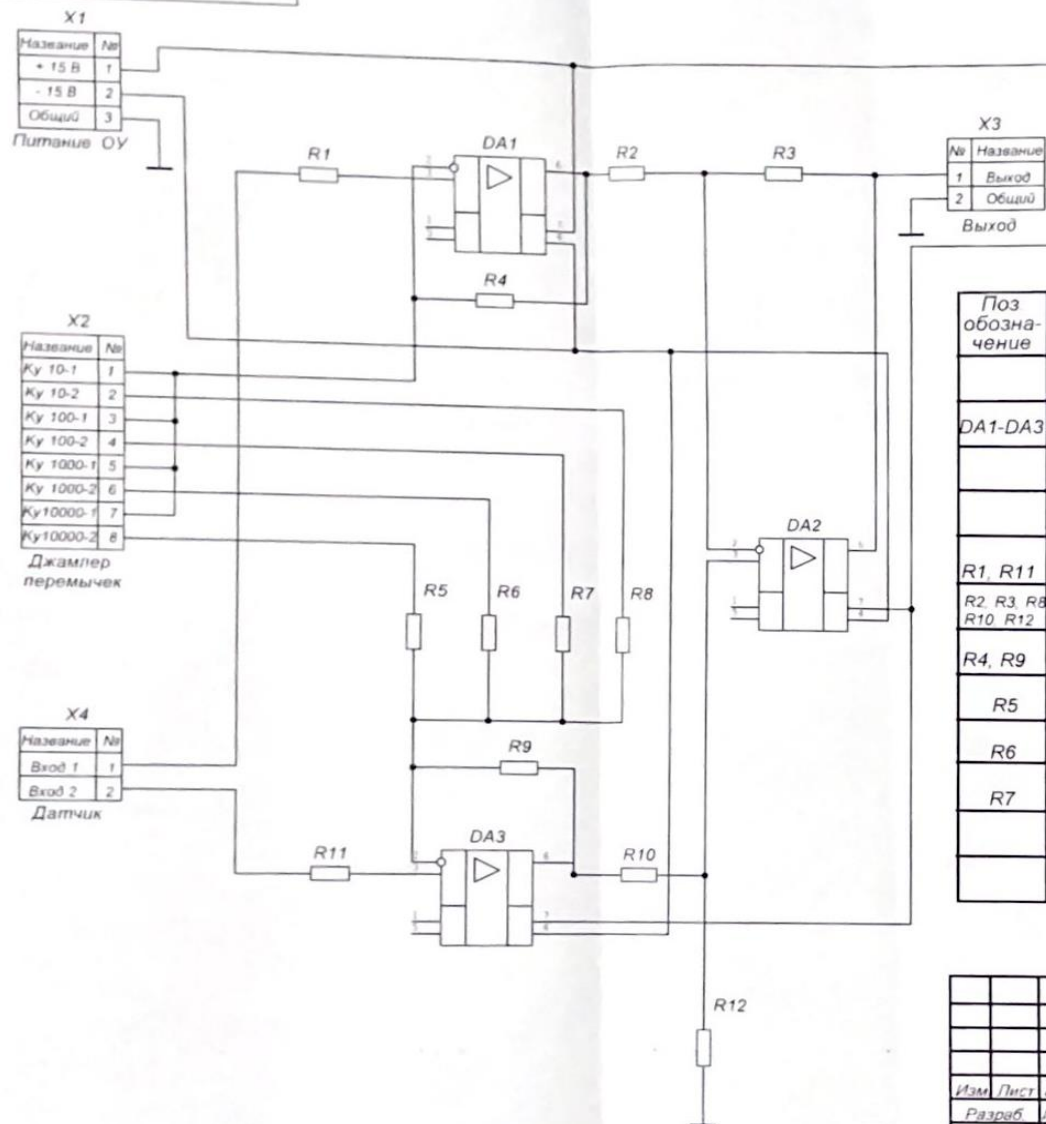
Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

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

Приложение В
(обязательное)
Схема электрическая принципиальная

					ПГУ 2. 11.03.04.006 ПЗ	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПГУ 2. 11.03.04. 006 ЭЗ



Поз обозначение	Наименование	Кол	Примечание
Микросхемы			
DA1-DA3	Операционный усилитель типа LF357N	3	
Резисторы			
R1, R11	МЛТ - 0.5 - 1 кОм +/-0.5 %	2	
R2, R3, R8, R10, R12	МЛТ - 0.5 - 10 кОм +/-0.5 %	5	
R4, R9	МЛТ - 0.5 - 50 кОм +/-0.5 %	2	
R5	МЛТ - 0.5 - 10 Ом +/-0.5 %	1	
R6	МЛТ - 0.5 - 100 Ом +/-0.5 %	1	
R7	МЛТ - 0.5 - 1 кОм +/-0.5 %	1	

ПГУ 2. 11.03.04. 006 ЭЗ

Изм	Лист	№ Докум	Подп.	Дата	Усилитель напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин		
Разраб	Далайонов Х						
Пров	Александр Ю				Лит		
Т. контр							
Н. контр	Рыжов Т				Масса		
Утв							
Схема электрическая принципиальная					Масштаб		
					Лист 1 Листов 1		
					20ПД1		

Изм	№	Подп.	Дата
Взам	инв.	№	Име. № дубл.
Подп.	и	Дата	

Приложение Г
(обязательное)
Презентация

					ПГУ 2. 11.03.04.006 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»

Усилитель напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин

Выполнил студент гр. 20ПД1

Руководитель к.т.н., доцент каф. НиМЭ

Дадажонов Х.О.

Аношкин Ю.В.

ПЕНЗА 2024

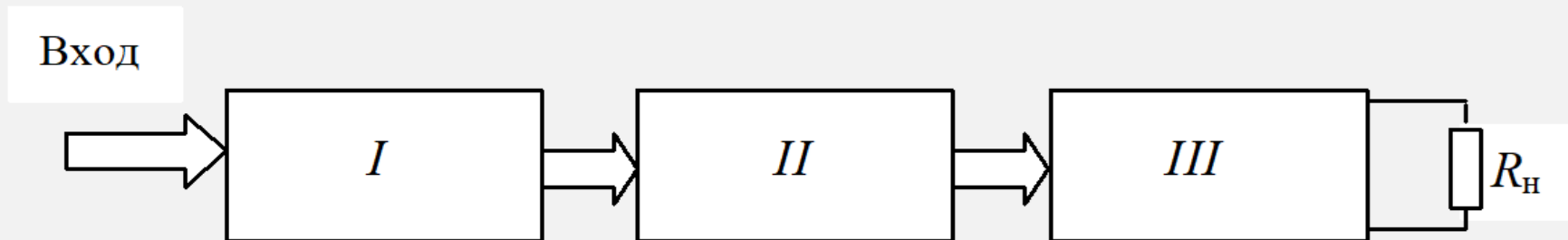
Цель и задачи ВКР:

Целью работы: разработка и проектирование усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин

Задачи работы:

- провести литературный обзор датчиков физических величин;
- выполнить обзор методов измерения физических величин;
- выполнить обзор способов измерения физических величин;
- разработать схему электрическую принципиальную усилителя напряжения вторичного преобразования сигналов датчика физических величин;
- выполнить моделирование работы усилителя напряжения вторичного преобразования сигнала датчиков физических величин.

Принцип работы усилителя напряжения



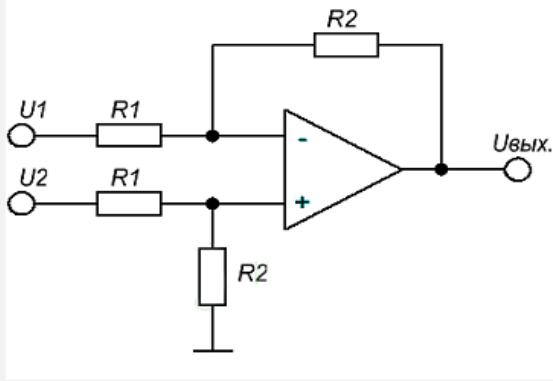
Структурная схема трехкаскадного усилителя

$$K_y = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$$

- коэффициент усиления показывает, во сколько раз напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ на выходе усилителя больше напряжения $U_{\text{ВХ}}$ на входе.

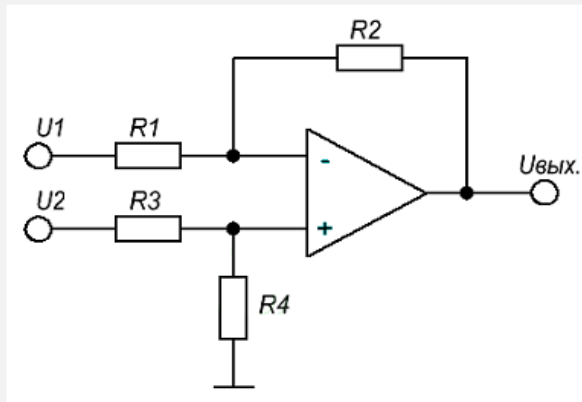
$$K_y = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad - \text{общий коэффициент усиления будет}$$

Реализация схем на операционных усилителях



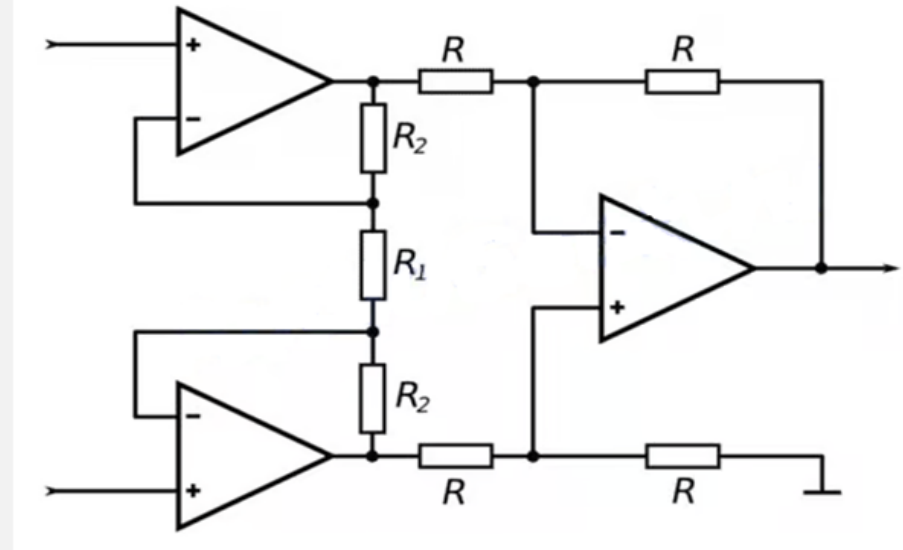
Дифференциальный усилитель с различными элементами сопротивления

$$U_{\text{вых}} = R2 / R1 (U2 - U1)$$



Дифференциальный усилитель с различными элементами сопротивления, другой подход

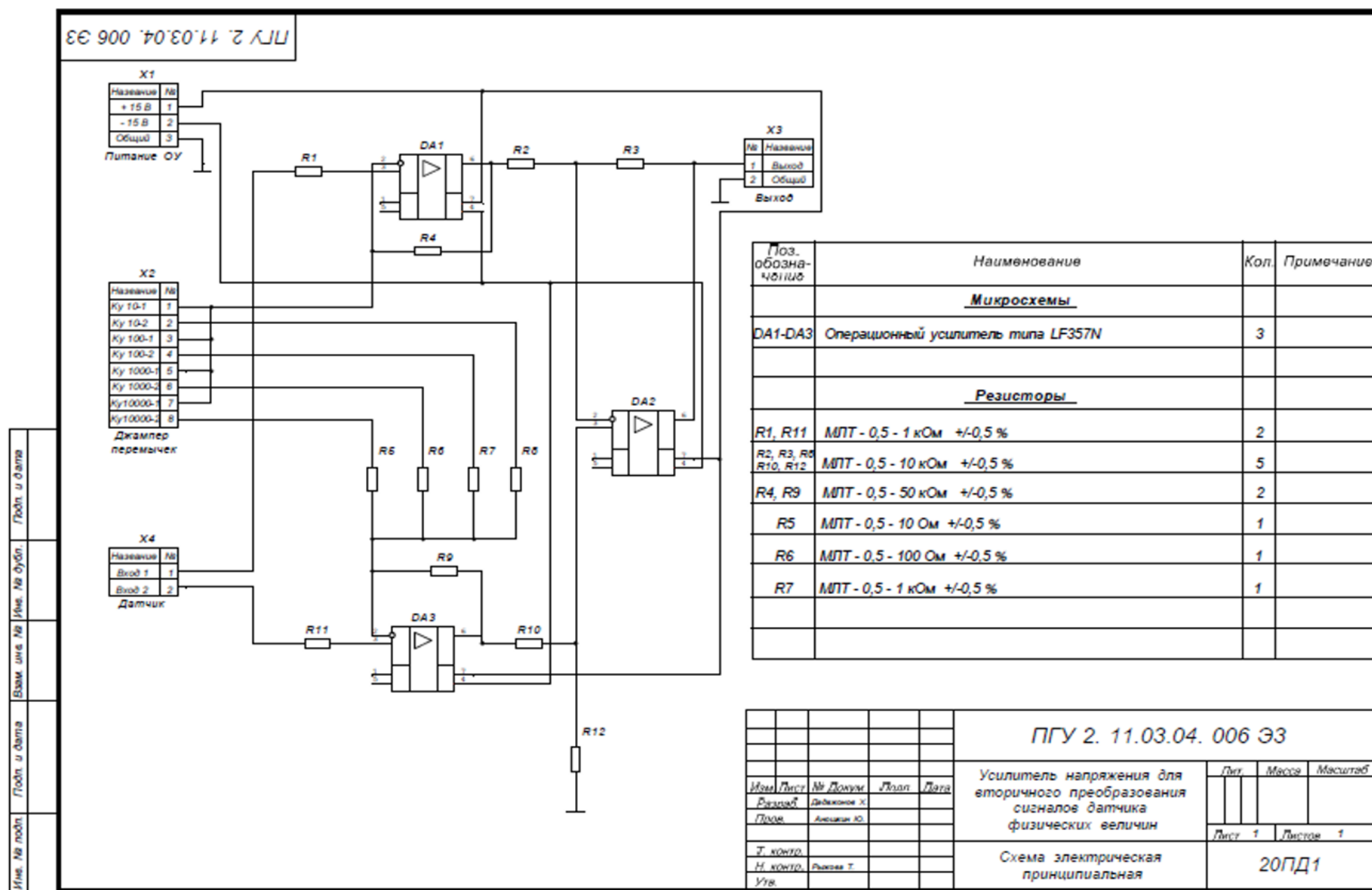
$$U_{\text{вых}} = \frac{(R1 + R2) \cdot R4}{(R3 + R4) \cdot R1} \cdot U2 - \frac{R2}{R1} \cdot U1$$



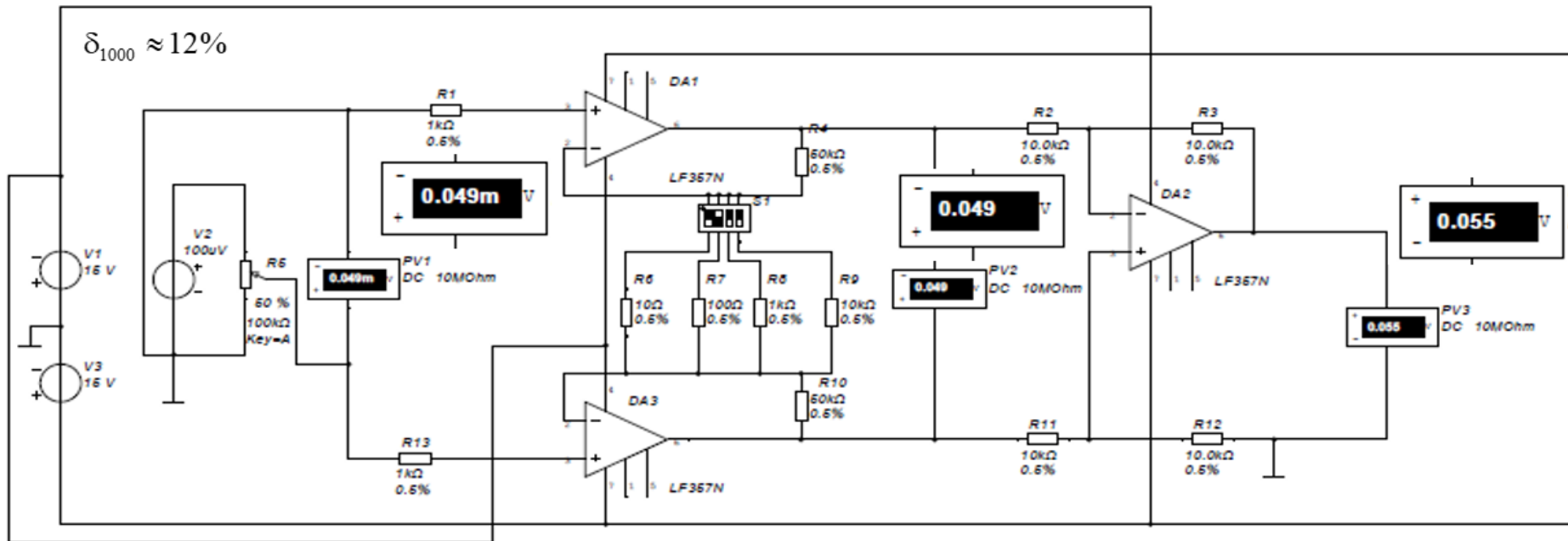
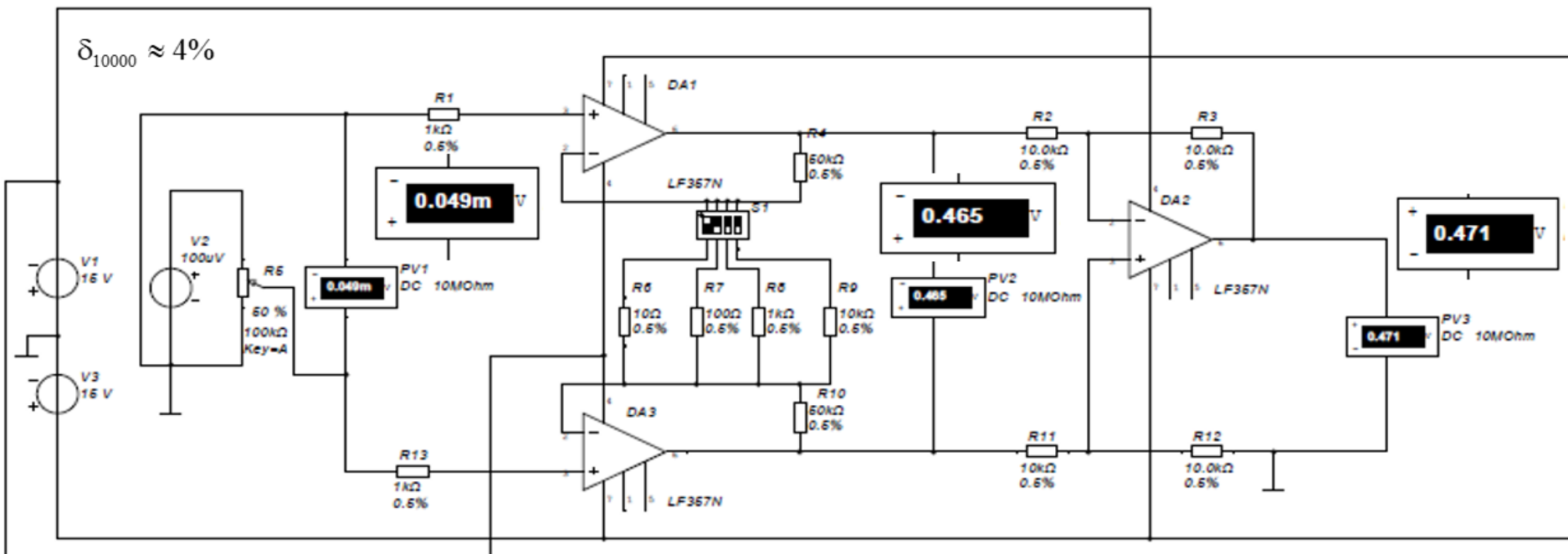
Измерительный усилитель напряжения

$$K_y = \left(1 + \frac{2 \cdot R2}{R1} \right) \cdot \frac{R4}{R3}$$

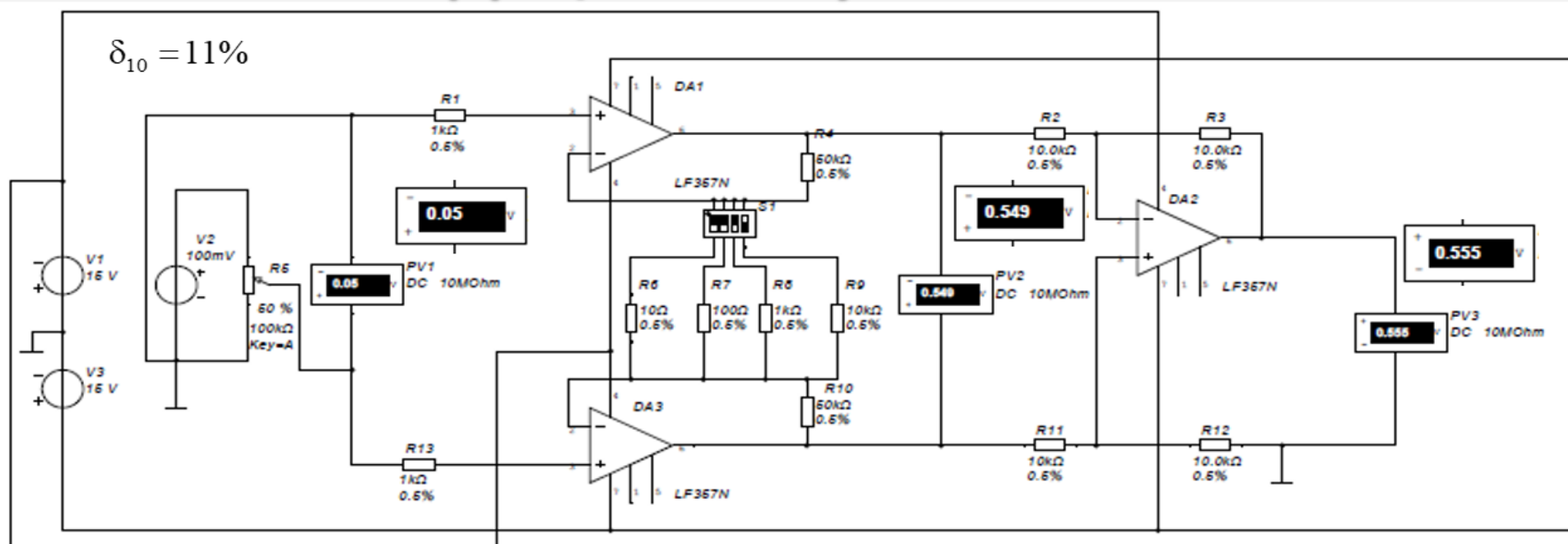
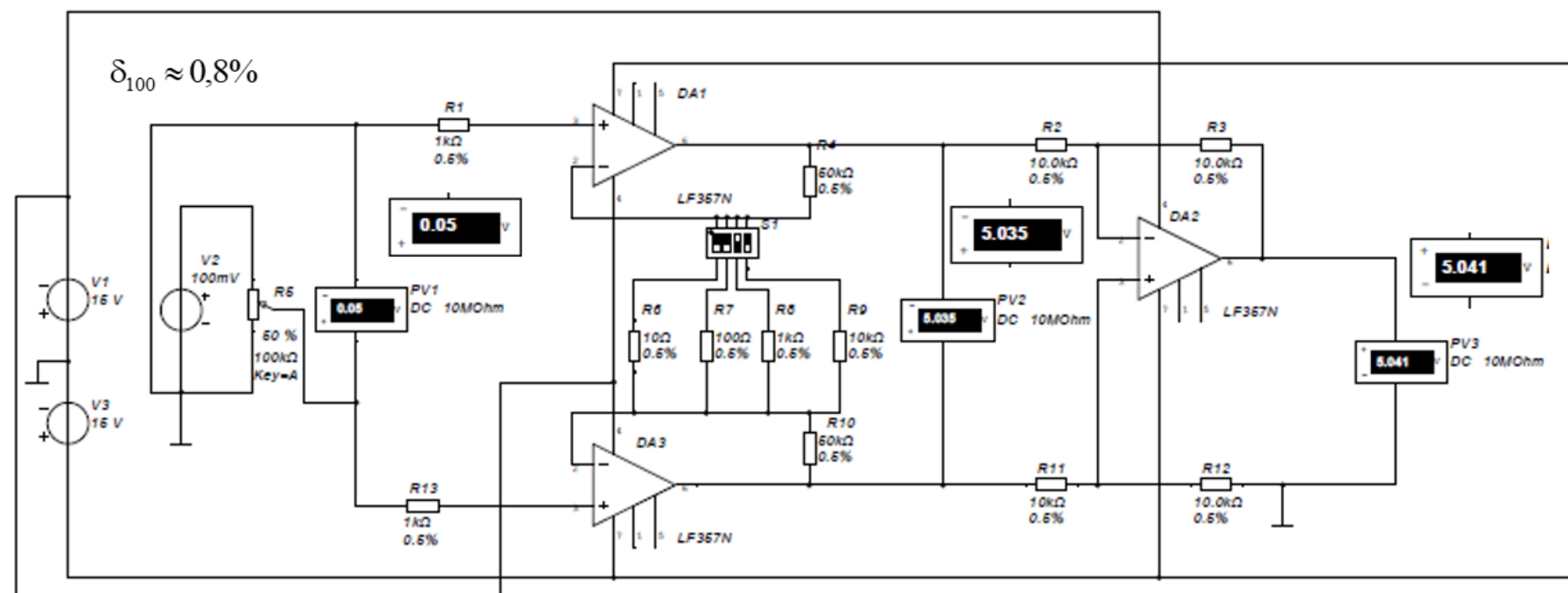
Схема электрическая принципиальная усилителя напряжения для вторичного преобразования сигналов датчика физических величин



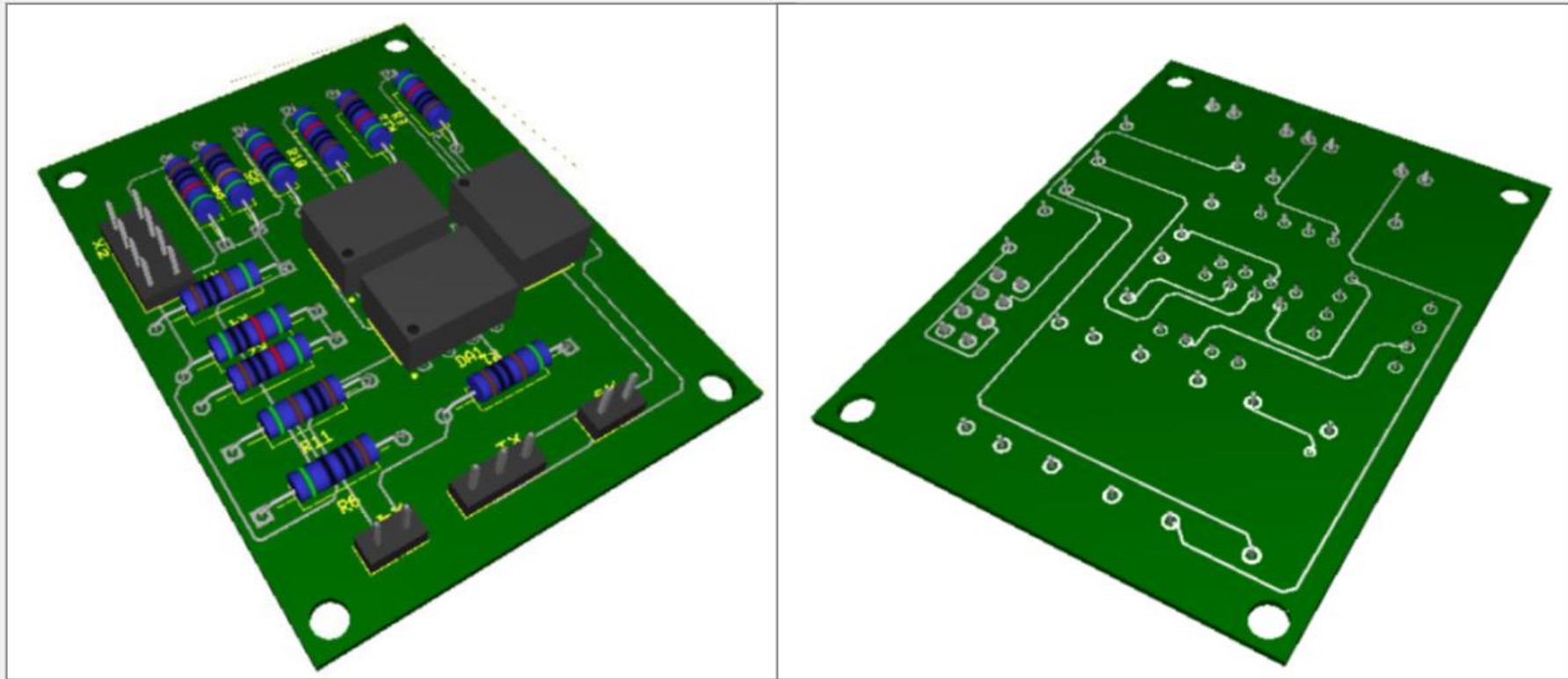
Моделирование работы схемы усилителя напряжения с коэффициентами усиления 1000 и 10000



Моделирование работы схемы усилителя напряжения с коэффициентами усиления 10 и 100



3D модель печатной платы усилителя напряжения



ВЫВОДЫ:

1. Проведен литературный обзор датчиков физических величин, что позволило систематизировать датчики по их функциональному принципу.
2. Рассмотрены возможные методы измерения физических величин.
3. Проведен обзор способов измерения физических величин.
4. Разработана и спроектирована схема электрическая принципиальная усилителя напряжения вторичного преобразования сигнала датчиков физических величин.
5. Проведено моделирование работы данной схемы и подтверждены результаты расчетов по модельным образцам.
6. Представлена 3D модель печатной платы усилителя напряжения вторичного преобразования сигнала датчиков физических величин.

Спасибо
за
внимание

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

ОТЗЫВ
РУКОВОДИТЕЛЯ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Бакалаврская работа на тему: «Усилитель напряжения для вторичного
преобразования сигналов датчика физических величин»

Выполнена студентом Дадажоновым Хайдарджоном Олимовичем

Факультет информационных технологий и электроники

Кафедра «Нано- и микроэлектроника» 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 Дадажонов Х.О. показал навыки работы с современной литературой. Продемонстрировал знания и умения работы с системой автоматизированного проектирования при синтезе схем, и провел моделирования ее работы.

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, Дадажонов Хайдарджон Олимович, присвоения степени «бакалавр» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника».

«14» июня 2024 г.

Руководитель



Аношкин Ю.В.