

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 нанoeлектроника
код и наименование

Профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ 02. 11.03.04. 009 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Измеритель коэффициента абсорбции конденсаторов

тема бакалаврской работы

Студент группы 22ПД1
номер группы

Эрмек уулу А.
подпись, дата фамилия, иниц.

Руководитель доцент
должность наименование организации

Вольсков А.А.
подпись, дата фамилия, иниц.

Нормоконтролер ст. преподаватель
должность

Рыжова Т.Н.
подпись, дата фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 10.06.26 № 10)

Заведующий кафедрой

Пронин И.А.
подпись, дата фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой хорошо (протокол ГЭК от 18.06.26 № 5)

Секретарь ГЭК

Вольсков А.А.
подпись, дата фамилия, иниц.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Анализ методов и средств измерения коэффициента абсорбции конденсаторов.....	6
1.1 Конденсаторы и их характеристики.....	6
1.2 Физическая природа явления абсорбции.....	12
1.3 Методы и средства измерения коэффициента диэлектрической абсорбции конденсатора.....	17
2 Проектирование измерителя коэффициента диэлектрической абсорбции.....	20
2.1 Основные требования к проведению измерения коэффициента диэлектрической абсорбции конденсатора	20
2.2 Разработка схемы электрической структурной	22
2.3 Разработка схемы электрической принципиальной	32
2.4 Разработка программного обеспечения.....	40
3 Метрологический анализ измерителя коэффициента абсорбции.....	42
3.1 Разработка математической модели погрешности измерителя коэффициента абсорбции	42
3.2 Расчет погрешности измерителя коэффициента абсорбции	43
3.3 Разработка программного обеспечения.....	45
4 Безопасность труда при изготовлении печатных плат.....	46
4.1 Безопасность труда при пайке печатных плат	46
4.2 Безопасность труда при механической обработке	47
4.3 Безопасность труда в производственных цехах.....	50
Заключение	54
Список использованных источников	55
Приложение А. Задание на ВКР.....	57

Приложение Б. Схема электрическая функциональная блока управления	61
Приложение В. Схема электрическая принципиальная блока управления	63
Приложение Г. Перечень элементов.....	65
Приложение Д. Блок-схема алгоритма работы измерителя	68
Приложение Е. Программное обеспечение.....	70
Приложение Ж. Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ»	74
Приложение И Презентация к ВКР.....	78

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 55 страниц машинописного текста, 13 рисунков, 5 таблиц, 24 использованных источника, 8 приложений, 11 слайдов.

Ключевые слова: конденсатор, измерение коэффициента абсорбции, аналоговый цифровой преобразователь, микро контроллер, источник напряжения, электронный ключ.

Предметом исследования являлась схемотехническая реализация устройства способного измерять коэффициент диэлектрической абсорбции конденсаторов.

Целью работы являлась разработка устройства для измерения коэффициента диэлектрической абсорбции конденсаторов для нужд микроэлектроники.

В работе представлен литературный обзор современных подходов к построению таких устройств, проведен анализ сферы их применения.

Выполнено схемотехническое проектирование устройства, в рамках чего предложен вариант реализации с гибким управлением и заданной точностью.

По результатам проведенной работы сделаны выводы.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной электроники связано с непрерывным повышением технического уровня изделий, обеспечивающим рост тактико-технических и технико-экономических характеристик РЭА (радиоэлектронной аппаратуры).

Конденсаторы являются незаменимыми элементами практически любой электронной схемы. При их выборе инженер должен учитывать не только ёмкость и напряжение, но и множество вторичных параметров: *ESR* (эквивалентное последовательное сопротивление), ТКЕ (температурный коэффициент ёмкости), ток утечки, частотные свойства, абсорбцию и долговечность. Понимание этих параметров позволяет создать надёжное, точное и долговечное устройство. В последние годы наблюдается тенденция к замене электролитических конденсаторов полимерными и керамическими (при сохранении ёмкости) из-за их лучшего *ESR* и срока службы.

В идеальном конденсаторе после снятия заряжающего напряжения заряд мгновенно исчезает при коротком замыкании выводов. Однако на практике – особенно в конденсаторах с неполярными диэлектриками (бумага, слюда, керамика, пленка) – наблюдается эффект диэлектрической абсорбции (или электрического последействия). Количественной мерой этого явления служит коэффициент абсорбции конденсатора.

Этот параметр критически важен в точных аналоговых схемах, интеграторах, таймерах, схемах выборки-хранения (*sample-and-hold*), а также в высоковольтной технике.

В связи с этим в работе была поставлена цель создания недорогого измерителя коэффициента диэлектрической абсорбции конденсатора для применения для разбраковки конденсаторов по значению данного параметра с возможностью применения на производстве в процессах входного контроля комплектующих.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ		
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата			
Разраб	Эрмек				Введение		
Пров	Вольсков						
Н. Контр.	Рыжова.			17.06.20	Литера	Лист	Листов
Утв	Вольсков				У	5	76
					22ПД1		

1 Анализ методов и средств измерения коэффициента абсорбции конденсаторов

1.1 Конденсаторы и их характеристики

Электрический конденсатор – это элемент электрической цепи, предназначенный для использования его емкости. Конденсатор представляет собой систему из двух электродов (обкладок), разделенных диэлектриком, и обладает способностью накапливать электрическую энергию.

Емкость конденсатора–электрическая емкость между электродами конденсатора (ГОСТ 19880–74), определяемая отношением накапливаемого в нем электрического заряда к приложенному напряжению. Емкость конденсатора зависит от материала диэлектрика, формы и взаимного расположения электродов:

$$C = \frac{q}{U}, \quad \#(1)$$

где C – емкость, Ф; q – заряд, Кл; U – разность потенциалов на обкладках конденсатора, В.

За единицу емкости в Международной системе СИ принимают емкость такого конденсатора, у которого потенциал возрастает на один вольт при сообщении ему заряда один кулон (Кл). Эту единицу называют Фарадой (Ф). Для практических целей она слишком велика, поэтому на практике используют более мелкие единицы емкости: микрофараду (мкФ), нанофараду (нФ) пикофараду (пФ). $1 \text{ Ф} = 10^6 \text{ мкФ} = 10^9 \text{ нФ} = 10^{12} \text{ пФ}$.

Современная электроника использует десятки типов конденсаторов: от микроскопических чип-компонентов до мощных батарей конденсаторов для силовой техники.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ			
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата				
Разраб	Эрмек		<i>В.А.У.</i>		Анализ методов и средств измерения коэффициента абсорбции конденсаторов	Литера	Лист	Листов
Пров	Вольсков		<i>В.А.У.</i>			У	6	76
Н. Контр.	Рыжова		<i>Р.Р.</i>	17.06.16	22ПД1			
Утв	Вольсков							

Номинальная ёмкость указывается на корпусе и всегда отличается от реальной из-за допуска.

Реальная ёмкость может отличаться от номинала на определённый процент:

- $\pm 20\%$ — общий класс;
- $\pm 10\%$ — средняя точность;
- $\pm 5\%$ и меньше — прецизионные конденсаторы (до $\pm 0.1\%$).

К основным параметрам конденсаторов относится также номинальное напряжение ($U_{\text{ном}}$). Максимальное постоянное (или переменное) напряжение, которое гарантированно выдерживает конденсатор без пробоя диэлектрика. Превышение напряжения приводит к выходу из строя. Обычно выбирают конденсатор с запасом по напряжению ($\geq 1.3 \dots 2 \times U_{\text{раб}}$).

Температурный коэффициент ёмкости (ТКЕ) характеризует нестабильность ёмкости при изменении температуры. Измеряется в $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ($\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$).

- маленький ТКЕ (класс NP0/C0G) — ёмкость почти постоянна, используются в точных цепях;
- большой ТКЕ (керамика класса Y5V , Z5U) — ёмкость может меняться на 50-80% при нагреве или охлаждении.

Тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$) показывает, какая часть энергии переменного тока рассеивается в виде тепла в диэлектрике. Чем выше $\text{tg } \delta$, тем сильнее греется конденсатор.

- полипропилен: $\text{tg } \delta \approx 0.0001$;
- керамика: $\text{tg } \delta \approx 0.01 \dots 0.05$;
- электролитические: $\text{tg } \delta$ может достигать 0.2 ... 0.3 (на низких частотах).

Под током утечки ($I_{\text{ут}}$) понимается небольшой постоянный ток, протекающий через диэлектрик под напряжением. Для электролитических конденсаторов указывается в микроамперах, для плёночных — в нано- или даже пикоамперах.

Низкий ток утечки критичен для интеграторов и схем с длительным хранением заряда.

ESR , это сумма всех омических потерь в выводах, обкладках и диэлектрике на высоких частотах. Низкий ESR важен в импульсных источниках питания и фильтрах – конденсатор меньше греется и лучше сглаживает пульсации.

Выводы и внутренняя структура конденсатора обладают паразитной индуктивностью (ESL). Из-за этого на некоторой частоте конденсатор перестает работать как ёмкость и превращается в индуктивность. Поэтому индуктивность (ESL) и собственная резонансная частота, это также параметры, подлежащие нормировке.

В основу классификации конденсаторов положено деление их на группы по виду применяемого диэлектрика и по конструктивным особенностям, определяющим использование их в конкретных цепях аппаратуры. Классификация конденсаторов, согласно ОСТ 11 074.008 – 78, приведена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Классификация конденсаторов

Коэффициент абсорбции характеризует «память» диэлектрика – способность восстанавливать небольшое напряжение после разряда. Особенно важен в аналоговых вычислительных схемах.

Вид диэлектрика определяет основные электрические параметры конденсаторов: сопротивление изоляции, стабильность емкости, величину потерь и др. Конструктивные особенности определяют характерные области применения: помехоподавляющие, подстроечные, дозиметрические, импульсные и др.

Дальнейшее деление групп конденсаторов по виду диэлектрика связано с использованием их в конкретных цепях аппаратуры, назначением и выполняемой функцией, например, низковольтные и высоковольтные, низкочастотные и высокочастотные, импульсные и др.

В зависимости от назначения можно условно разделить конденсаторы на конденсаторы общего и специального назначения. Конденсаторы общего назначения используются практически в большинстве видов и классов аппаратуры. Традиционно к ним относят наиболее распространенные низковольтные конденсаторы, к которым не предъявляются особые требования. Все остальные конденсаторы являются специальными. К ним относятся: высоковольтные, импульсные, помехоподавляющие, дозиметрические, пусковые и др.

По характеру изменения емкости различают конденсаторы постоянной емкости, переменной емкости и подстроечные.

Из названия конденсаторов постоянной емкости вытекает, что их емкость является фиксированной и в процессе эксплуатации не регулируется.

Конденсаторы переменной емкости допускают изменение емкости в процессе функционирования аппаратуры. Управление емкостью может осуществляться механически, электрическим напряжением (вариконды) и температурой (термоконденсаторы). Их применяют для плавной настройки колебательных контуров, в цепях автоматики и т. п.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Емкость подстроенных конденсаторов изменяется при разовой или периодической регулировке и не изменяется в процессе функционирования аппаратуры. Их используют для подстройки и выравнивания начальных емкостей сопрягаемых контуров, для периодической подстройки и регулировки цепей схем, где требуется незначительное изменение емкости.

В зависимости от способа монтажа конденсаторы могут выполняться для печатного и для навесного монтажа, а также для сопряжения с ними. Выводы, конденсаторов для навесного монтажа могут быть жесткие или мягкие, аксиальные или радиальные, из проволоки круглого сечения или ленты, в виде лепестков, с кабельным вводом, в виде проходных шпилек, опорных винтов. У конденсаторов для микросхем и микромодулей, а также СВЧ-конденсаторов в качестве выводов могут использоваться части их поверхности (безвыводные конденсаторы). У большинства типов оксидных, а также проходных и опорных конденсаторов одна из обкладок соединяется с корпусом, который служит вторым выводом.

Классификация конденсаторов по типу диэлектрика представлена в таблице 1.1

Таблица 1.1- Классификация конденсаторов по типу диэлектрика

Тип	Ёмкость	Напряжение, В	Плюсы	Минусы	Применение
Керамическ ие	1 пФ...100 мкФ	до 50000	Дешевые, малые размеры, низкий <i>ESR</i>	Низкая стабильность (кроме <i>NPO</i>), микрофонный эффект	Фильтры ВЧ, развязка питания
Электролит ические (алюминий)	0.47...10 0 мФ	6...600	Огромная ёмкость в малом корпусе	Полярность, старение, высокий <i>ESR</i> , ток утечки	Сглаживающи е фильтры блока питания
Танталовые	0.1 ... 1 мФ	6...100	Стабильны, маленькие размеры для высокой ёмкости	Чувствительны к всплескам тока и перенапряжению	Малогабаритн ая аппаратура

Продолжение таблицы 1.1

Тип	Ёмкость	Напряжение, В	Плюсы	Минусы	Применение
Плёночные (полипропилен, полистирол)	100 пФ...50 мкФ	100...2000	Низкий $tg \delta$, малый ТКЕ, низкая абсорбция	Большие размеры при большой ёмкости	Времязадающие цепи, фильтры НЧ высоковольтные схемы
Ионисторы	до тысяч фарад	2.5...3	Гигантская ёмкость	Очень низкое напряжение, утечка, большое ESR	Резервное питание, буфер памяти

По характеру защиты от внешних воздействий конденсаторы выполняются: незащищенными, защищенными, неизолированными, изолированными, уплотненными и герметизированными.

Незащищенные конденсаторы допускают эксплуатацию в условиях повышенной влажности только в составе герметизированной аппаратуры. Защищенные конденсаторы допускают эксплуатацию в аппаратуре любого конструктивного исполнения.

Неизолированные конденсаторы (с покрытием или без покрытия) не допускают касания своим корпусом шасси аппаратуры. Напротив, изолированные конденсаторы имеют достаточно хорошее изоляционное покрытие (компаунды, пластмассы) и допускают касания корпусом шасси или токоведущих частей аппаратуры.

Уплотненные конденсаторы имеют уплотненную органическими материалами конструкцию корпуса.

Герметизированные конденсаторы имеют герметичную конструкцию корпуса, который исключает возможность сообщения окружающей среды с его внутренним пространством. Герметизация осуществляется с помощью керамических и металлических корпусов или стеклянных колб.

По виду диэлектрика также можно разделить конденсаторы с органическим, неорганическим, газообразным и оксидным диэлектриком,

который является также неорганическим, но в силу особой специфики характеристик выделен в отдельную группу.

1.2 Физическая природа явления абсорбции

Диэлектрическая абсорбция возникает из-за того, что диэлектрик не является идеальным изолятором. В нем существуют процессы замедленной поляризации:

- дипольная (ориентационная) поляризация – постоянные дипольные молекулы поворачиваются во внешнем поле, но после его снятия возвращаются в хаотическое состояние не мгновенно, а с релаксацией;
- миграционная поляризация – медленное перемещение подвижных ионов внутри диэлектрика;
- объемный заряд – захват носителей заряда на глубоких ловушках в структуре диэлектрика.

Когда конденсатор быстро разрядить через малое сопротивление, часть связанных зарядов не успевает рекомбинировать. Затем они медленно высвобождаются и создают на обкладках остаточное напряжение, которое может достигать 1–15% от исходного (в зависимости от материала).

Такое явление в технической литературе и стандартах (ГОСТ и IEC) называют коэффициентом абсорбции, который обозначается как $K_{абс}$ и определяется как отношение остаточного напряжения $U_{ост}$ к исходному зарядному напряжению U_0 после определенной процедуры

$$K_{абс} = \frac{U_{ост}}{U_0}. \quad (2)$$

На рисунке 1.2 приведена упрощенная модель неидеального конденсатора. Номинальная емкость C шунтирована резистором утечки R_P , являющимся сопротивлением диэлектрика. Второй резистор R_S (эквивалентное последовательное сопротивление, ESR) и индуктивность L (эквивалентная последовательная индуктивность, ESL) определяются, соответственно, сопротивлением и индуктивностью выводов и обкладок.

Сопротивление $R_{\text{ДА}}$ и емкость $C_{\text{ДА}}$ вместе образуют упрощенную модель явления, известного как диэлектрическая абсорбция, ухудшающая параметры как высокочастотных, так и низкочастотных схем.

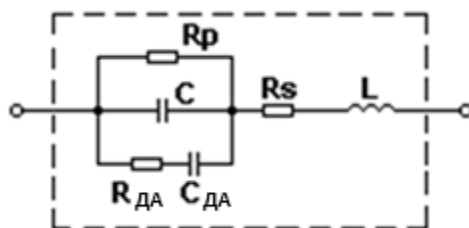


Рисунок 1.2 – Эквивалентная схема конденсатора

Диэлектрическая абсорбция – понятие, необходимое для наиболее полного описания типов конденсаторов и характеризует свойство конденсатора сохранять некоторый заряд после кратковременного замыкания его обкладок.

Это явление, обусловлено замедленными процессами поляризации в диэлектрике, приводящее к появлению напряжения на электродах после кратковременной разрядки конденсатора. Рисунок 1.3 иллюстрирует этот эффект.

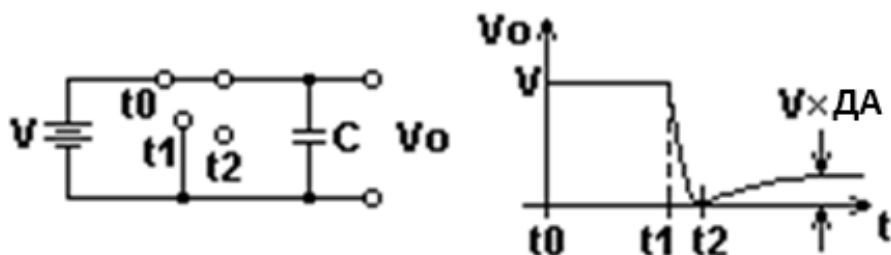


Рисунок 1.3 – Остаточное напряжение характеризующее диэлектрическую абсорбцию

Будучи заряженным до напряжения V в момент времени t_0 , конденсатор закорачивается через ключ в момент времени t_1 . В момент времени t_2 конденсатор отсоединяется от схемы. Остаточное напряжение на нем медленно начинает расти, приближаясь к некоему постоянному значению. Количественное значение этого явления обычно характеризуется коэффициентом абсорбции, выражаемым процентной частью от начального зарядового напряжения, которая снова возникает в конденсаторе после его

разряда. Конденсатор заряжается более 1 минуты, после чего закорачивается на время от 1 до 10 секунд. После выдержки около 1 минуты или более измеряется напряжение на нем.

Напряжение, появляющееся на обкладках конденсатора после его кратковременной разрядки, существенно зависит от длительности времени зарядки конденсатора, времени, в течение которого он был закорочен, и времени, прошедшего после этого. Количественное значение абсорбции принято характеризовать коэффициентом абсорбции (K_a), который определяется в стандартных условиях.

Стандартная методика (измерение через фиксированное время):

- 1) зарядить конденсатор до напряжения U_0 в течение 1 минуты.
- 2) разрядить его через короткозамыкатель на 10–60 секунд (точно по спецификации).
- 3) сразу снять замыкание и измерить восстанавливающееся напряжение на выводах через заданное время (например, 60 секунд или 15 минут).
- 4) вычислить отношение.

Часто коэффициент абсорбции выражают в процентах:

$$K_{\text{абс}} = \frac{U_{\text{ост}}}{U_0} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Для хороших пленочных конденсаторов (полипропилен) $K_{\text{абс}} < 0,05\%$

Для керамических конденсаторов с высоким ε (класс 2: X7R, Z5U) $K_{\text{абс}}$ может быть 1–5% и выше.

Иногда в технике высоких напряжений и для электролитических конденсаторов применяют коэффициент абсорбции как отношение сопротивлений изоляции через 60 с и через 15 с после приложения напряжения. Но это менее распространено.

В таблице 1.2 представлены факторы влияющие на коэффициент абсорбции.

Таблица 1.2– Факторы, влияющие на коэффициент абсорбции

Фактор	Влияние
Тип диэлектрика	Неполярные (полипропилен, полистирол, <i>PTFE</i>) – очень низкая абсорбция. Полярные (ПЭТ, поликарбонат) – средняя. Сильнополярные (керамика II класса, бумага) – высокая
Влажность	Увеличивает абсорбцию из-за проводимости по поверхности и объема
Температура	Выше T – быстрее релаксация, но абсорбция может сначала расти, а затем падать (сложная зависимость)
Напряжение и время заряда	Чем дольше заряд и выше напряжение, тем сильнее проявляется абсорбция
Старение	У негерметичных конденсаторов абсорбция растет со временем

Классическими подходами к измерению диэлектрической абсорбции являются прямое измерение напряжения $U_{\text{ост}}$ и измерение тока диэлектрической абсорбции $I_{\text{абс}}(t)$.

Прямое измерение $U_{\text{ост}}$ выполняется электрометром с высоким входным сопротивлением ($>10^{12}$ Ом), чтобы не искажать процесс восстановления напряжения.

Альтернативный метод – измерение тока диэлектрической абсорбции $I_{\text{абс}}(t)$ после приложения ступени напряжения. Ток спадает примерно по степенному закону (закон Кюри-фон Швейдлера)

$$I(t) \propto t^{-n}. \quad (4)$$

Параметр косвенно характеризует абсорбцию.

На практике производители указывают в техническом паспорте коэффициент абсорбции или время диэлектрической абсорбции (*Dielectric Absorption Time Constant*).

В таблице 1.3 представлено сравнение коэффициентов абсорбции для разных типов конденсаторов

Таблица 1.3- Сравнение коэффициентов абсорбции для разных типов конденсаторов

Тип конденсатора	Коэффициент абсорбции	Пригодность для интеграторов
Полипропилен (PP)	0.001 – 0.01%	Отличная
Полистирол (PS)	0.001 – 0.02%	Отличная
Тефлон (PTFE)	0.003 – 0.01%	Отличная
Слюда	0.01 – 0.05%	Хорошая
Поликарбонат (PC)	0.1 – 0.5%	Удовлетворительная
ПЭТ (Mylar)	0.2 – 1.0%	Плохая
Бумажный	1 – 5%	Очень плохая
Керамический X7R	1 – 3%	Не пригоден
Электролитический	5 – 15%	Категорически не пригоден

Наличие явления абсорбции влияет на работу электрических схем. Так при построении интеграторов и таймеров так как остаточное напряжение после разряда вызывает ошибку начальных условий при следующем цикле.

В схемах выборки-хранения *S/H* абсорбция в конденсаторе хранения приводит к «выбросу» (*droop*) и ошибке уровня.

В прецизионных фильтрах изменение эффективного заряда на конденсаторе искажает частотную характеристику, а в высоковольтных генераторах импульсов неполное рассасывание заряда может создавать опасные остаточные напряжения после отключения питания.

Для того чтобы уменьшить влияние данного параметра выбирают конденсаторы с очень низкой абсорбцией (полипропиленовая или тефлоновая (PTFE) пленка; слюда). Также используют релаксационные паузы для обеспечения гарантированного полного разряда с выдержкой.

Применение в схемах *S/H* специальных топологий с предзарядом (*precharge*). Для электролитических конденсаторов – их не используют в прецизионных времязадающих цепях из-за высокой абсорбции и тока утечки.

Коэффициент абсорбции конденсаторов зависит от температуры окружающей среды и повышается с ее ростом.

1.3 Методы и средства измерения коэффициента диэлектрической абсорбции конденсатора

Измерение коэффициента диэлектрической абсорбции базируется на простой, но требующей аккуратности процедуре: заряд – короткий разряд – измерение восстанавливающегося напряжения. Основные сложности при реализации измерений заключаются в высоком входном сопротивлении измерителя, чистоты коммутации и стабильности условий. На практике в зависимости от цели применяют разные методы: от экспресс-оценки поляризационным индексом до прецизионной регистрации кривой восстановления или измерения тока абсорбции.

Для ответственных применений (космическая, медицинская, военная техника) измерение коэффициента абсорбции является обязательным при входном контроле конденсаторов, а данные о нём приводятся в паспортах компонентов высшей категории качества.

Самый популярный способ измерения абсорбции, это метод «заряд–разряд–восстановление» (метод фиксированного времени). Он наиболее распространён в заводских и лабораторных условиях. Регламентируется, например, в военных стандартах (*MIL-C-19978*) и некоторых ГОСТ.

Типовые параметры, это:

- $t_{\text{зар}}=60$ с (иногда 30 минут для крупных конденсаторов);
- $t_{\text{разр}}=10$ с (короткое замыкание через резистор ~ 1 Ом);
- $t_{\text{изм}}=60$ с или 15 минут (момент измерения).

В этом случае схема измерения подразумевает высокоомный вольтметр (электрометр) с входным сопротивлением $>10^{12}$ Ом, чтобы не искажать процесс

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		17

восстановления и герконовые или релейные переключатели с малым током утечки. Основным недостатком является то, что метод даёт одну точку и не показывает динамику процесса.

Поэтому, если необходимо отслеживание динамики процесса, то используют метод регистрации кривой восстановления напряжения.

В этом случае измеряют $U_{\text{восст}}(t)$ после разряда непрерывно или дискретно в течение длительного времени (от секунд до часов). А затем аппроксимируют кривую функцией вида

$$U_{\text{восст}}(t) = A * \ln(t + t_0) + B, \quad (5)$$

Параметр A связан с временной константой диэлектрической абсорбции.

Неоспоримым преимуществом метода является возможность оценить механизмы релаксации в диэлектрике. Как правило такой подход применяется в научных исследованиях. В некоторых случаях вместо напряжения измеряют ток диэлектрической абсорбции $I_{\text{абс}}(t)$, который течёт в цепи образца после приложения ступеньки напряжения

$$I(t) = I_0 t^{-n}. \quad (6)$$

Показатель степени n (обычно 0.5–1.2) характеризует абсорбционные свойства. Чем меньше n , тем сильнее выражена абсорбция.

Для построения схемы измерения используются: источник напряжения, электрометр (пикоамперметр), образец, регистратор.

В электроэнергетике для оценки состояния изоляции трансформаторов, кабелей, высоковольтных вводов широко применяется метод поляризационного индекса (для мощной изоляции).

Здесь измеряют ток утечки (или сопротивление изоляции) через 60 с и через 600 с после приложения постоянного напряжения. Поляризационный индекс (PI):

$$PI = \frac{R_{600}}{R_{60}} = \frac{I_{60}}{I_{600}}, \quad (7)$$

где R – сопротивление изоляции, I – ток.

Если $PI < 1$ – плохая изоляция, сильная абсорбция, если $PI > 2$: хорошая изоляция.

Хотя PI не равен $K_{абс}$, он тесно коррелирует с диэлектрической абсорбцией для однородных материалов.

Так как диэлектрическая абсорбция проявляется и на переменном токе как частотная зависимость ёмкости и тангенса угла диэлектрических потерь, то допустимо использовать мостовые методы (на переменном токе).

Здесь измеряют $C(f)$ и $\tan\delta(f)$ в диапазоне от мГц до кГц. Рост ёмкости на низких частотах и пик $\tan\delta$ указывают на абсорбционные процессы. Используются мосты переменного тока (мост Шеринга, RLC -метры). Этот метод особенно удобен для материаловедения.

Как правило существуют специализированные приборы (например, *WayneKerr 4310*, *Hioki IM3536*, *Agilent E4980A*), которые при включении специального режима проводят автоматическое тестирование диэлектрической абсорбции с выводом $K_{абс}$ на экран. Но в основном системы строятся на базе сборных стендов и приборов, удовлетворяющих требованиям по точности и диапазонам.

2Проектирование измерителя коэффициента диэлектрической абсорбции

2.1Основные требования к проведению измерения коэффициента диэлектрической абсорбции конденсатора

Измерение коэффициента диэлектрической абсорбции конденсаторов проводится в соответствии с источником [3] и учетом следующих требований:

- измерения электрических параметров конденсаторов и их испытания проводят в нормальных климатических условиях по ГОСТ 20.57.406;
- для обеспечения однозначности результатов, измерений параметров конденсаторов в случае разногласий, при необходимости, климатические условия устанавливают в стандартах или технических условиях на конденсаторы конкретных типов, указанных в таблице 2.1;
- перед измерениями и испытаниями конденсаторов проводят их начальную стабилизацию, выдерживая конденсаторы при нормальных климатических условиях не менее 24 ч, если другое время не указано в стандартах или технических условиях на конденсаторы конкретных типов.

Таблица 2.1 – Условия проведения испытаний

Температура, °С	Относительная влажность, %	Атмосферное давление, кПа
20±1	63 – 67	86 – 106
23±1	48 – 52	86 – 106
25±1	48 – 52	86 – 106
27±1	63 – 67	86 – 106

При этом конденсаторы должны быть расположены таким образом, чтобы к ним был свободный доступ воздуха.

Если измеряют последовательно несколько параметров конденсаторов, то начальную стабилизацию проводят только перед началом измерения первого параметра.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ		
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата			
Разраб	Эрмек				Проектирование измерителя коэффициента диэлектрической абсорбции		
Пров	Вольсков						
Н. Контр.	Рыжова			12.06.16	Литера	Лист	Листов
Утв	Вольсков				у	20	76
					22ПД1		

Эти требования не распространяются на измерение электрических параметров-критериев годности, входящих составной частью в методы проверки конденсаторов на соответствие требованиям к устойчивости при различных внешних воздействиях.

Во время измерений и испытаний конденсаторы не должны подвергаться воздействию каких-либо дополнительно влияющих факторов, которые могут привести к изменению измеряемых параметров конденсаторов и к дополнительной погрешности в измерениях, например, прямых солнечных лучей, воздушных потоков и др. факторов.

Если конденсаторы подвергают последовательно нескольким испытаниям, то результаты заключительных измерений предыдущего испытания могут служить результатами первоначальных измерений последующего испытания, если условия измерений в обоих случаях совпадают.

Электрические параметры конденсаторов до, в процессе и после испытания рекомендуется измерять на одном и том же приборе, при использовании одних и тех же контактирующих устройств или проводить корреляцию результатов измерения.

Необходимо учитывать параметры контактирующих устройств при использовании их для подключения конденсаторов к аппаратуре. Погрешность определения параметров конденсаторов после введения поправок, учитывающих влияние параметров контактирующих устройств, не должна выходить за пределы погрешности, установленной в стандартах или технических условиях на конденсаторы конкретных типов.

При измерении параметров конденсаторов в нормальных климатических условиях, результаты измерений, в случае необходимости, могут быть приведены к температуре 20 или 25°C, при условии, что зависимость параметров конденсаторов от температуры известна.

Конкретное значение температуры и методика приведения устанавливаются в стандартах или технических условиях на конденсаторы конкретных типов.

2.2 Разработка схемы электрической структурной

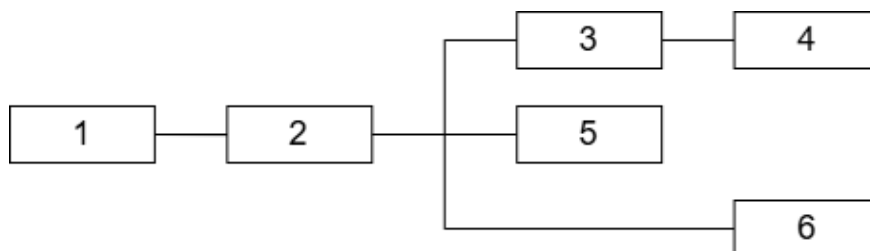
Коэффициент диэлектрической абсорбции определяют как отношение остаточного напряжения, возникающего на конденсаторе после его заряда и кратковременного разряда, к напряжению заряда.

Напряжение заряда ($U_{\text{зар}}$) устанавливают равным номинальному напряжению конденсатора ($U_{\text{ном}}$) или выбирают из таблицы 2.2, в зависимости от того, какое из значений меньше. Конкретное значение указывают в стандартах или технических условиях на конденсаторы конкретных типов.

Таблица 2.2 – Напряжение заряда необходимое для измерения коэффициента абсорбции заданного номинала емкости

Номинальная емкость конденсатора, мкФ	Напряжение заряда, В
до 10. включ	200
свыше 10 до 100	50
100	10

Измерение следует проводить на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 2.1.



1 – проверяемый конденсатор; 2 – коммутирующее устройство;
3 – сопротивление цепи заряда; 4 – источник напряжения постоянного тока;
5 – сопротивление цепи разряда; 6 – вольт, метр постоянного тока

Рисунок 2.1 – Структурная схема измерения абсорбции

Отклонение напряжения должно находиться в пределах 5%.

В случае, если входная емкость вольтметра будет больше указанного значения, остаточное напряжение U_0 в вольтах следует рассчитывать по формуле

$$U_0 = U_{\text{изм}} \left(1 + \frac{C_{\text{в}}}{C} \right), \quad (8)$$

где $U_{\text{изм}}$ – измеренное значение остаточного напряжения, В;

$C_{\text{в}}$ – входная емкость вольтметра, Ф;

C – емкость измеряемого конденсатора, Ф.

Структурная схема установки представлена на рисунке 2.2.

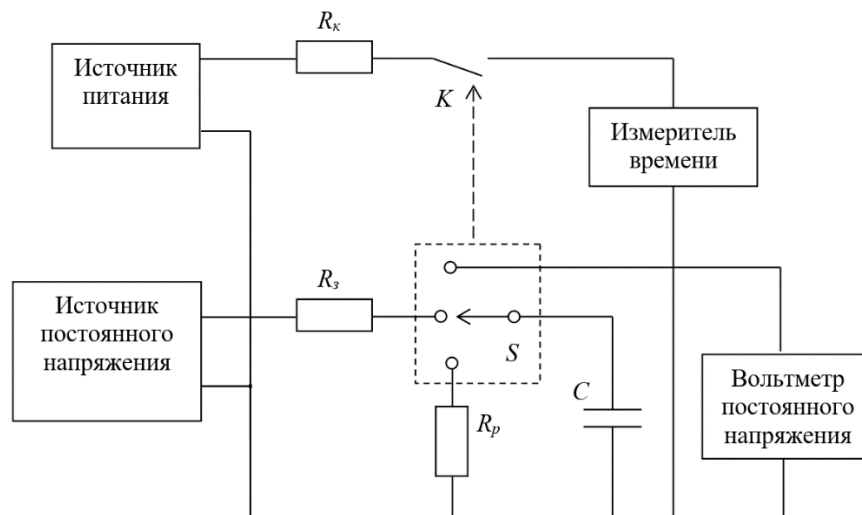


Рисунок 2.2 – Структурная схема установки

В данной схеме R_z – сопротивление цепи заряда; R_p – сопротивление цепи разряда; C – контролируемая емкость; S – коммутирующее устройство;

Сопротивление цепей заряда и разряда конденсатора должно быть таким, чтобы произведение этого сопротивления на номинальную емкость проверяемого конденсатора не превышало 1 с для цепи заряда и 0,1 с – для цепи разряда, или оно должно быть таким, чтобы зарядный и разрядный токи не превышали 1 А, в зависимости от того, какое из значений сопротивлений больше.

Допускаемое отклонение времени выдержки проверяемого конденсатора под напряжением $U_{\text{зар}}$, времени, в течение которого конденсатор подключен к цепи разряда, и времени выдержки с разомкнутыми выводами должно находиться в пределах $\pm 5\%$

Вольтметр постоянного тока должен обеспечивать измерение остаточного напряжения с погрешностью в пределах $\pm 2,5\%$.

Входная емкость вольтметра не должна превышать 1 % номинального значения емкости конденсатора.

(заряда, разряда, на измерительный прибор) при замыкании ключа. Также замыкается и ключ К и время его замыкания измеряется. Ключи Si и K должны быть жестко соединены между собой.

В результатах поиска удалось обнаружить патент RU 2850896C1 «Микроконтроллерное устройство измерения коэффициента диэлектрической абсорбции емкостных датчиков влажности почвы». Хотя в названии упоминаются датчики влажности, устройство также может применяться для измерения коэффициента диэлектрической абсорбции конденсаторов и изоляции электрических машин.

Изобретение относится к технике электрических измерений и предназначено для измерения коэффициента диэлектрической абсорбции емкостных датчиков влажности почвы, конденсаторов и изоляции электрических машин. Технический результат изобретения – упрощение аппаратного обеспечения и расширение функциональных возможностей устройства. Микроконтроллерное устройство измерения коэффициента диэлектрической абсорбции емкостных датчиков влажности почвы содержит: источник 1 постоянного напряжения, резистор 2 эталонный, зарядный 3 и разрядный 4 управляемые ключи с замыкающими контактами, разрядный резистор 5, масштабный преобразователь 6 напряжения, объект 7 исследования, микроконтроллер 8, компьютер 9. Первый вывод источника 1 через ключ 3 подключен к первому выводу объекта 7, второй вывод источника 1 подключен через резистор 2 к второму выводу объекта 7, к выводам объекта 7 параллельно подключены соединенные последовательно ключ 4 и резистор 5, входные выводы масштабного преобразователя 6 подключены параллельно к выводам объекта 7, первый и второй цифровые выводы микроконтроллера 8 подключены к входам управления, соответственно, ключа 3 и ключа 4, второй вывод источника 1 и выход масштабного преобразователя 6 подключены, соответственно, к первому и второму входам АЦП, встроенного в микроконтроллер 8, минусовая клемма питания микроконтроллера 8 подключена к второму выводу объекта 7, компьютер 9 подключен через

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

USBинтерфейс к микроконтроллеру 8, объект 7 представляет собой емкостный датчик влажности почвы.

Устройство, реализующее предложенный способ, изображено на рисунке 2.4.

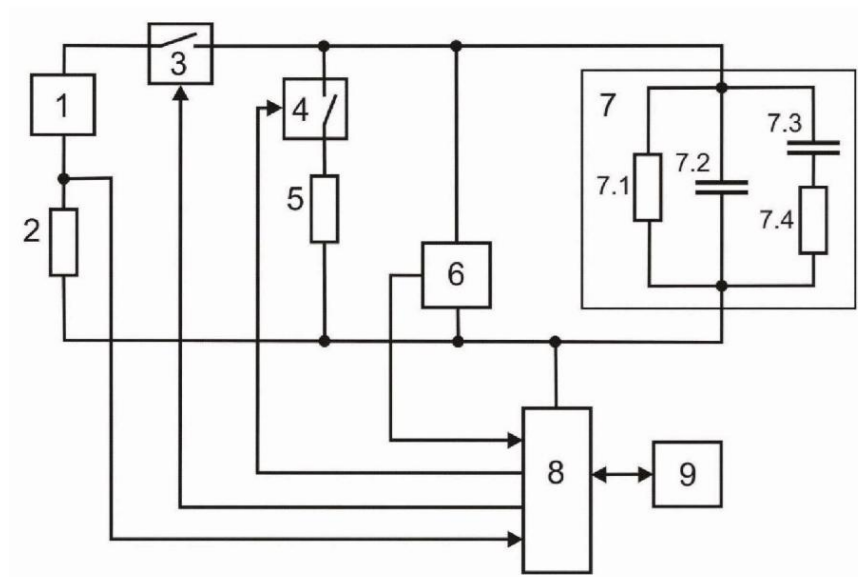


Рисунок 2.4 – Схема устройства измерения коэффициента абсорбции

Изобретение относится к технике электрических измерений и предназначено для измерения коэффициента диэлектрической абсорбции емкостных датчиков влажности почвы, конденсаторов и изоляции электрических машин.

Емкостные датчики широко используются в системах автоматизации и роботизации агропромышленного комплекса, в т.ч. контроля и управления влажностью. Для измерения влажности почвы используется зависимость емкости датчика от диэлектрической проницаемости почвы, которая зависит от количества содержащейся в почве воды. В России емкостные датчики влажности почвы не производятся, что является одной из причин отсутствия автоматизированных систем управления орошением в точном земледелии.

В соответствии ГОСТ 28885-90 - коэффициент диэлектрической абсорбции определяют как отношение остаточного напряжения, возникающего на конденсаторе после его заряда и кратковременного разряда, к напряжению заряда. Известно, что коэффициент диэлектрической абсорбции конденсаторов,

определяемый в соответствии ГОСТ 28885-90, зависит от типа диэлектрика и его состояния. Известно также, что существует зависимость коэффициента диэлектрической абсорбции от качества изоляция электрического оборудования, в т.ч. и от ее влажности. Почва является диэлектриком, ее относительная диэлектрическая проницаемость в сухом состоянии изменяется в пределах 5...7 и возрастает от увеличения влажности почвы. Измерение влажности почвы по коэффициенту диэлектрической абсорбции емкостного датчика почвы потребует создания относительно простого измерительного преобразователя для датчика влажности почвы на базе микроконтроллера по сравнению с методами, для реализации которых требуются напряжения высоких и сверхвысоких частот.

Известно устройство для контроля качества электрической изоляции [1], содержащее источник испытательного напряжения, зарядный ключ, испытуемый объект, разрядный ключ, разрядный резистор, выходные выводы, к которым подключают испытуемый объект, масштабный преобразователь напряжения, источник питания цепей управления и измерительный индикатор, в котором выход источника испытательного напряжения через зарядный ключ присоединен к выходным выводам, к которым параллельно подключены масштабный преобразователь и соединенные последовательно разрядный ключ и разрядный резистор.

Недостаток устройства заключается в том, что оно не позволяет непосредственно измерить отношение емкости изоляции, обусловленной внутренним поглощенным зарядом к геометрической емкости.

Известно устройство контроля качества электрической изоляции [2], содержащее источник испытательного напряжения, зарядный ключ, испытуемый объект, разрядный ключ, разрядный резистор, выходные выводы, к которым подключают испытуемый объект, масштабный преобразователь напряжения, источник питания цепей управления и измерительный индикатор, замыкающий и размыкающий блок-контакты зарядного ключа, замыкающий блок-контакт разрядного ключа, реле времени, устройство слежения хранения,

сумматор, блок деления напряжений, управляемый ключ, пиковый детектор, дифференцирующий элемент, нуль-компаратор, световой индикатор.

Недостатком известного решения является сложная структурная схема устройства, что ограничивает область его использования.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому техническому решению и принятое авторами за прототип является устройство для контроля качества электрической изоляции [3], содержащее: источник испытательного напряжения, эталонный резистор, зарядный ключ, испытуемый объект, разрядный ключ, разрядный резистор, двухканальный цифровой измеритель с запоминающим устройством, устройство отображения информации, генератор тактовых импульсов, блок управления с выходами «Заряд», «Разряд», «Пуск» и «Установка нуля», два масштабных преобразователя напряжения, органы управления цифровым измерителем, размыкающий блок-контакт и замыкающий блок-контакт зарядного ключа, замыкающий блок-контакт разрядного ключа, дифференцирующий элемент, два пиковых детектора, нуль-компаратор, световой индикатор, счетчик времени, два блока умножения напряжений, два цифровых индикатора, блок деления напряжений.

Недостатками известного устройства является сложное аппаратное обеспечение и ограниченные функциональные возможности, устройство не позволяет реализовать программным способом алгоритмы цифровой обработки результатов измерений.

Технический результат достигается тем, что в микроконтроллерное устройство измерения коэффициента диэлектрической абсорбции емкостных датчиков влажности почвы содержащее: источник постоянного напряжения, эталонный резистор, зарядный и разрядный управляемые ключи с замыкающими контактами, объект исследования, разрядный резистор, масштабный преобразователь напряжения, причем, первый вывод источника постоянного напряжения через зарядный ключ подключен к первому выводу объекта исследования, второй вывод источника постоянного напряжения через эталонный резистор подключен к второму выводу объекта исследования, к

выводам объекта исследования параллельно подключены соединенные последовательно разрядный ключ и разрядный резистор, входные выводы масштабного преобразователя подключены параллельно к выводам объекта исследования, дополнительно введены микроконтроллер и компьютер, причем первый и второй цифровые выводы микроконтроллера подключены к входам управления, соответственно, зарядного и разрядного ключей, второй вывод источника напряжения и выход масштабного преобразователя напряжения подключены, соответственно, к первому и второму входам многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП), встроенного в микроконтроллер, минусовая клемма питания микроконтроллера подключена к второму выводу объекта исследования, компьютер подключен через *USB* интерфейс к микроконтроллеру, объект исследования представляет собой емкостный датчик влажности почвы.

Микроконтроллерное устройство измерения коэффициента диэлектрической абсорбции емкостных датчиков влажности почвы содержит (чертеж): источник 1 постоянного напряжения, резистор 2 эталонный, ключ 3 зарядный, ключ 4 разрядный, ключи 3 и 4 управляемые с замыкающими контактами, резистор 5 разрядный, масштабный преобразователь 6 напряжения, объект 7 исследования, микроконтроллер 8, компьютер 9. Первый вывод источника 1 через ключ 3 подключен к первому выводу объекта 7, второй вывод источника 1 подключен через резистор 2 к второму выводу объекта 7, к выводам объекта 7 параллельно подключены соединенные последовательно ключ 4 и резистор 5, входные выводы масштабного преобразователя 6 подключены параллельно к выводам объекта 7, первый и второй цифровые выводы микроконтроллера 8 подключены к входам управления, соответственно, ключа 3 и ключа 4, второй вывод источника 1 и выход масштабного преобразователя 6 подключены, соответственно, к первому и второму входам АЦП, встроенного в микроконтроллер 8, минусовая клемма питания микроконтроллера 8 подключена к второму выводу объекта 7, компьютер 9 подключен через *USB* интерфейс к микроконтроллеру 8. Объект 7

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

- это емкостный датчик влажности почвы, представлен схемой замещения, на которой приведены обозначения: 7.1 - сопротивление утечки, 7.2 - геометрическая емкость, 7.3 - емкость абсорбции, 7.4 - сопротивление абсорбции.

Микроконтроллерное устройство измерения коэффициента диэлектрической абсорбции емкостных датчиков влажности почвы работает следующим образом.

В исходном состоянии на цифровых выводах микроконтроллера 8 сформированы сигналы, в соответствии с которыми ключ 4 замкнут, ключ 3 разомкнут, при этом, электрические емкости 7.2 и 7.3 объекта 7 разряжаются через резистор 5, имеющий малое сопротивление. После разряда емкостей 7.2 и 7.3 объекта 7 в течение заданного времени, микроконтроллер 8 подает сигналы на размыкание ключа 4 и на замыкание ключа 3. При указанном положении ключей 3 и 4 начинается процесс заряда емкостей 7.2 и 7.3 объекта 7. На первый вход АЦП микроконтроллера 8 подается напряжение, пропорциональное току утечки объекта 7 в установившемся режиме. Результаты преобразования в АЦП сохраняются в памяти микроконтроллера 8. Через заданное время, микроконтроллер 8 размыкает ключ 3 и замыкает ключ 4, при этом емкость 7.2 разряжается через резистор 5, емкость 7.3 остается неразряженной. Через заданное время микроконтроллер 8 размыкает ключ 4. Начинается процесс изменения остаточного напряжения, которое образуется за счет заряда емкости 7.2 зарядом от емкости 7.3. Напряжение, пропорциональное остаточному напряжению, с выхода масштабного преобразователя 6 подается на второй вход АЦП микроконтроллера 8, результаты преобразований сохраняется в памяти микроконтроллера 8. Микроконтроллер 8 передает обработанные или исходные результаты преобразований через USB в компьютер 9, который выводит результаты обработки на монитор. Принятые в компьютер результаты преобразований могут быть загружены пользователем в программу *Python* или *Excel* и обработаны для получения необходимой информации об объекте 7.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Предлагаемое решение по сравнению с аналогами и прототипом обладает преимуществами: расширены функциональные возможности, а именно: благодаря возможности изменения программы, разрабатываемой пользователем на компьютере 9 и загружаемой в микроконтроллер 8 можно использовать различные алгоритмы цифровой обработки сигнала, получаемого на выходе АЦП, встроенного в микроконтроллер 8; упрощено аппаратное обеспечение предлагаемого устройства.

Времена заряда, разряда и накопления заряда, вызванного абсорбцией, измеряются специализированным измерителем времени, который должен иметь токовые клеммы. При каждой коммутации емкости на определенную цепь (заряда, разряда, на измерительный прибор) при замыкании ключа $S_{также}$ замыкается и ключ K и время его замыкания измеряется. Ключи S_i $K_{должны}$ быть жестко соединены между собой.

Предложенная в данной работе структура устройства работает аналогичным образом. Схема электрическая функциональная представлена в приложении Б.

Источник постоянного напряжения (ИПН) генерирует два напряжения, первое +5 В питает всю схему, а второе предназначено для повышающего преобразователя напряжения +20 В (которое необходимо для формирования последовательно нарастающего напряжения). Данное напряжение подается на повышающий преобразователь напряжения (ППН), который и формирует из 20 В высоковольтное нарастающее напряжение, заряжающее конденсатор C_x . При этом ключ $K_{Л1}$ разомкнут. Для обеспечения необходимой точности установления значения напряжения, до которого осуществляется заряд, предусмотрен измерительный канал, куда входит блок контроля заряда включающий в себя повторитель напряжения (Π) с нормирующим усилителем ($HУ$) и АЦП2, с помощью которого осуществляется преобразование выходного напряжения $HУ$ в код. После заряда до определенного значения напряжения, конденсатор выдерживается в заряженном состоянии некоторое время (которое задается), а затем разряжается через резистор $R_{путь}$ путем замыкания ключа $K_{Л2}$.

Разряд длится в течении заданного времени, которое задается в настройках. Затем ключ КЛ2 размыкается и конденсатор выдерживается определенное время, за которое и проявляется эффект абсорбции. Затем ключ КЛ1 замыкается и остаточное напряжение на конденсаторе измеряется измерительным каналом, в который входит усилитель (У) и АЦП1. Далее выполняется расчет коэффициента абсорбции и его значение выводится на дисплей (Д). Запуск вышеописанного цикла инициируется кнопкой управления (К1). Выбор соответствующих параметров осуществляется кнопкой настройки (К2)

2.3 Разработка схемы электрической принципиальной

В устройстве реализовано два источника питания +5 В и +20 В (рисунок 2.5). Первый источник выполнен в бестрансформаторном варианте, построен на основе конденсаторного делителя и рассчитан на 5 вольт и ток нагрузки до 0,3 ампер.

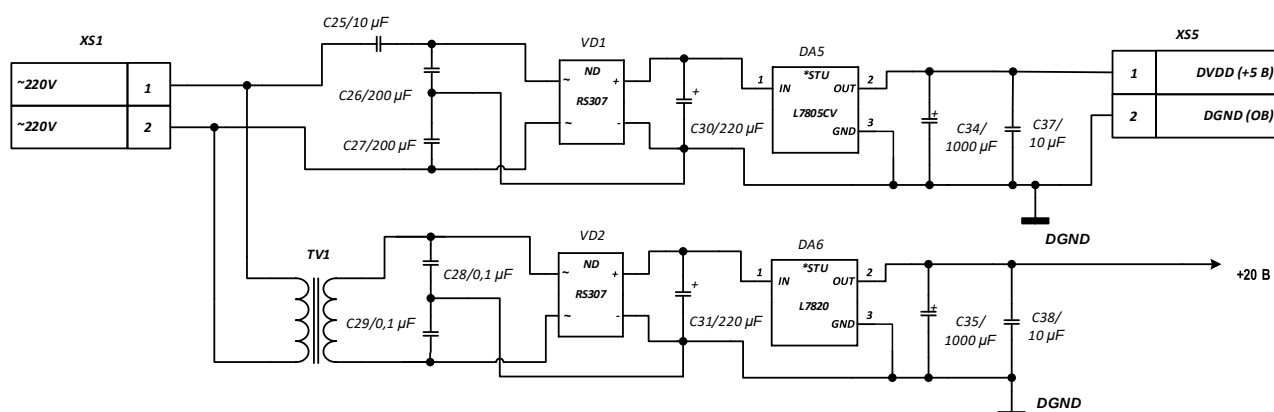


Рисунок 2.5 – Источники питания

Делитель напряжения, построенный на конденсаторе C25 и конденсаторах C26 и C27, которые формируют неполярное плечо общей емкостью 100 микрофарад.

Два левых по схеме диода диодного моста VD1 являются поляризирующими по отношению к конденсаторной цепи. При указанных номиналах элементов, ток короткого замыкания составляет примерно 0,6А. Выходное напряжение диодного моста сглаживается конденсатором C30 и преобразуется в +5 В посредством компенсационного стабилизатора L7805. Второй источник

классический, трансформаторный построенный на основе диодного моста VD2 и стабилизатора L7820 на выходе которого присутствует стабилизированное напряжение +20 В, которое необходимо для питания повышающего преобразователя напряжения напряжением с выхода, которого и заряжается испытуемый конденсатор.

В качестве такого преобразователя предлагается использовать умножитель напряжения, построенный по схеме Кокрофта-Уолтона и представляющая собой каскад из диодов и конденсаторов.

Данное устройство преобразует относительно низкое переменное напряжение или пульсирующее напряжение в высоковольтное постоянное напряжение.

Преимущества и недостатки этих устройств можно сформулировать следующим образом:

- компактность, за счет отсутствия катушек и механических частей;
- простота сборки: требуется минимум компонентов;
- надежность: нет изнашиваемых элементов;
- ограничение по току: малая выходная мощность;
- потери энергии: падение напряжения под нагрузкой;
- зависимость от частоты: эффективность варьируется с частотой входного сигнала [6].

Эти характеристики делают умножители идеальными для задач, где нужно высокий вольтаж при низком потреблении тока, таких как питание электронных ламп или научных датчиков.

Имеется несколько конфигураций таких устройств, каждая со своими особенностями. Рассмотрим основные варианты.

Один из вариантов такого генератора представлен на рисунке 2.6.

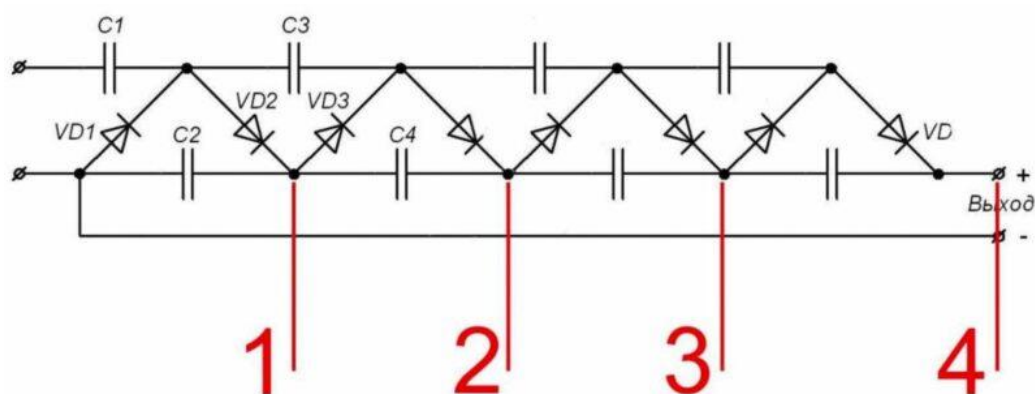


Рисунок 2.6 – Однополупериодный каскадный генератор
Кокрофта-Уолтона с лестничной структурной

Это каскадный умножитель с «лестничной» структурой из конденсаторов и диодов. Каждая ступень добавляет напряжение, равное входному. Рабочий состоит из нескольких этапов. Первый полупериод: зарядка первого конденсатора через диод. Второй полупериод: перетекание заряда на следующую ступень. Накопление: последовательное увеличение напряжения по каскаду и т.д.

Такой умножитель напряжения преобразует переменное напряжение в высокое постоянное напряжение. Умножитель строится из лестницы (секций, ступеней, каскадов) конденсаторов и диодов. В отличие от трансформатора такой метод не требует тяжёлого сердечника и высоковольтной изоляции, так как напряжения на всех ступенях приблизительно равны. Используя только конденсаторы и диоды, умножители напряжения такого типа могут преобразовывать относительно низкое напряжение в очень высокое, при этом оказываясь много легче и дешевле по сравнению с высоковольтными трансформаторами. Ещё одним преимуществом является возможность снимать более низкие напряжения с любого каскада схемы, так же как в трансформаторе с многоотводной обмоткой.

$$U_{\text{ВЫХ}} = nU_{\text{ВХ}}, \quad (9)$$

где n – число каскадов;

$U_{\text{ВХ}}$ – амплитуда входного переменного напряжения;

$U_{\text{ВЫХ}}$ – выходное постоянное напряжение.

Проектирование умножителя напряжения требует точного подхода к параметрам схемы. Процесс проектирования включает несколько этапов.

Для определения числа ступеней имеем, что вход 20 В, а необходимое напряжение на выходе 200 В. Отсюда число ступеней

$$n = \frac{200}{20} = 10. \quad (10)$$

Выбираем число ступеней равное 11, для учета потерь на проводниках и сопротивлении конденсаторов.

Учет потерь на диодах: для 12 диодов (2 на ступень) падение

$$12 * 0,7 \text{ В} = 8,4 \text{ В}. \quad (11)$$

Расчет емкости конденсаторов

$$C = \frac{I}{f \cdot \Delta U} = \frac{0,1}{50 \cdot 20} = \frac{0,1}{1000} = 100 \text{ мкФ}, \quad (12)$$

где I — ток нагрузки (0,002 А), f — частота (50 Гц), ΔV — допустимое падение напряжения (0,5 вольт). $C = 0,002 / (50 \times 0,5) = 80 \text{ мкФ}$.

Для этого выберем конденсаторы *KZKWhiteLine* 100мкф 400В 5% (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Вид конденсаторов *KZKWhiteLine*

Выбор диодов: обратное напряжение >48 вольт, например, 1N4007 (1000 вольт). Проверка схемы: симуляция в программе (например, *LTspice*) или тестовая сборка. Дополнительные параметры для учета: Частота сигнала: влияет на скорость зарядки конденсаторов. Ток нагрузки: определяет стабильность напряжения.

Пульсирующее напряжение на входе повышающего преобразователя создается путем работы ключа *PVG612*.

Для оценки значения напряжения на конденсаторе используется измерительный канал, который состоит из первой секции преобразователя Кокрофта-Уолтона повторителя и делителя напряжения. Повторитель построен на основе операционного усилителя *AD8032ANZ*, который имеет входное сопротивление 40 МОм. То есть его роль в согласовании импедансов, таким образом, чтобы измерительный канал не влиял на накопление напряжения преобразователем Кокрофта-Уолтона. Максимальное входное напряжение первой секции достигает 8 В, а значит для согласования с диапазоном входных напряжений АЦП необходимо его уменьшить вдвое. А значит целесообразно было применить делитель напряжения, построенный на основе двух резисторов и конденсатора для сглаживания пульсаций. Для получения коэффициента деления 0,5 были выбраны резисторы номиналами 10 кОм

$$k = \frac{R_6}{R_5 + R_6} = \frac{10 \text{ кОм}}{10 \text{ кОм} + 10 \text{ кОм}} = \frac{1}{2}. \quad (13)$$

В качестве коммутаторов *DA3* и *DA4* использованы герконовые реле *DIP05-1A72-12D* (рисунок 2.7) с управлением от 5 В в корпусах *DIP* или *SIP*. Они обеспечивают отличную изоляцию и высокий ресурс срабатываний.

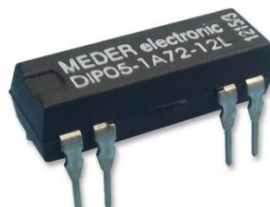


Рисунок 2.8 – герконовое реле *DIP05-1A72-12D*

Характеристики устройства:

- напряжение управления: 5 В;
- коммутируемое напряжение: до 200 В (DC/AC);
- максимальный ток: 1 А.

Его достоинством также является гальваническая изоляция и возможность управлять логическим уровнем с вывода микроконтроллера.

В современной электронике особое место занимают микроконтроллеры со встроенными аналоговыми компонентами. Одним из наиболее интересных представителей этого класса является *ADuC845* от *AnalogDevices* -

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		36

специализированное решение для прецизионных измерений и систем управления. В данной статье мы подробно рассмотрим архитектуру, особенности и практическое применение этого микроконтроллера.

ADuC845 построен на базе проверенного ядра 8051, работающего на частоте до 12 МГц. Однако его главной отличительной особенностью является уникальный набор аналоговых периферийных устройств:

- высококачественный 24-битный Σ - Δ АЦП с реальной разрешающей способностью 19,5 бит, встроенным программируемым усилителем (*PGA*), двумя прецизионными источниками тока (200 мкА и 10 мкА);
- 12-битный ЦАП с выходным напряжением 0-2,5В;
- полноценный аналоговый фронт-энд, включающий: мультиплексор аналоговых входов, встроенный источник опорного напряжения, систему калибровки, память и вычислительные ресурсы;
- микроконтроллер оснащен: 62 КБ *Flash*-памяти для хранения программы, 4 КБ *EEPROM* для хранения данных, 2 КБ оперативной памяти, встроенным загрузчиком для удобного программирования, цифровые интерфейсы и таймеры.

ADuC845 предлагает богатый набор цифровых периферийных устройств:

- 2 аппаратных ШИМ-контроллера
- три 16-битных таймера/счетчика
- полный набор последовательных интерфейсов (*UART*, *SPI*, *I²C*)
- 32 программируемые линии ввода/вывода
- особенности энергопотребления

Микроконтроллер отличается продуманной системой управления питанием:

- рабочее напряжение 2.7-5.25В;
- режимы пониженного энергопотребления (*Idle* и *Power-Down*);
- автоматическое отключение неиспользуемых модулей.

ADuC845 нашел широкое применение в различных областях таких как промышленная автоматизация (системы контроля температуры и давления,

умные датчики технологических параметров, промышленные контроллеры), медицинская техника (портативные диагностические приборы, системы мониторинга жизненных показателей, лабораторное оборудование) и измерительная техника (прецизионные мультиметры, анализаторы параметров среды, тестовое оборудование).

Структурная схема ADuC845 представлена на рисунке 2.9.

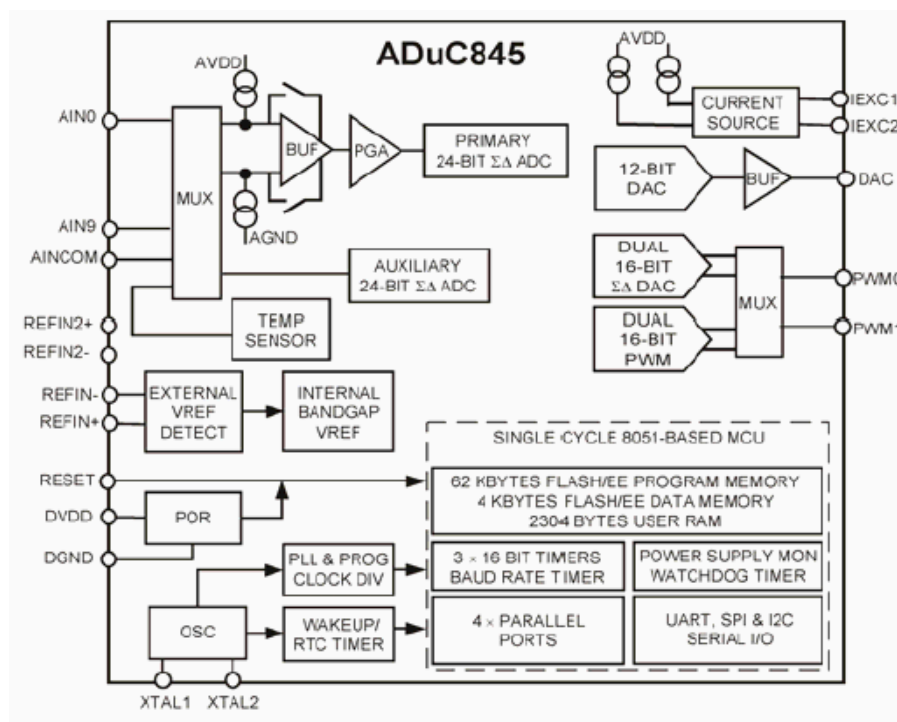


Рисунок 2.9 – Структурная схема ADuC845

При создании систем на базе ADuC845 разработчики получают ряд преимуществ:

- 1) значительное сокращение компонентной базы благодаря встроенным аналоговым модулям;
- 2) упрощение схемотехники за счет интеграции всех необходимых компонентов;
- 3) высокая точность измерений без необходимости использования внешних АЦП;
- 4) гибкость в проектировании благодаря программируемым аналоговым цепям;

Это возможно благодаря тому, что *AnalogDevices* предлагает полный набор инструментов для работы с *ADuC845* такие как официальные среды разработки и компиляторы, отладочные наборы и программаторы, образцы программного кода и библиотеки и детальную техническую документацию.

ADuC845 представляет собой удачное сочетание вычислительной мощности, точных аналоговых интерфейсов и энергоэффективности. Его архитектура специально оптимизирована для измерительных систем, что делает этот микроконтроллер отличным выбором для разработчиков, работающих в области промышленной автоматизации, медицинской техники и измерительных систем. Благодаря высокой степени интеграции и продуманной периферии, *ADuC845* позволяет создавать компактные и надежные устройства с минимальными затратами на разработку.

Схема подключения кварцевого резонатора представлена в принципиальной схеме (см. приложение А) и реализована на кварцевом резонаторе, где внешние емкости не требуются. Кварцевый резонатор соединен своими выводами с выводами *XTAL1* и *XTAL2* микроконтроллера. Эти выводы являются как входом, так и выходом для схемы тактирования. В некоторых реализациях тактовый сигнал можно использовать для управления внешней периферией. Для контроля данного сигнала и проверки его наличия и требуемых параметров существует выход *ALE*. При этом между выводом и внешней схемой обязательно должен быть буфер.

Номиналы элементов были выбраны исходя из рекомендаций фирмы-изготовителя, а именно $Z1=32,368 \text{ КГц}$,

В качестве устройства визуального отображения информации был выбран символьный ЖК-индикатор *WH2004L*, поскольку жидко-кристаллические модули являются одними из основных средств вывода информации для современных цифровых систем. Представляют собой недорогое и удобное решение, позволяющее сэкономить время и ресурсы при разработке новых изделий. Обеспечивают отображение большого объема информации при

хорошей различимости и низком энергопотреблении, благодаря чему широко используются в измерительных приборах.

Внешний вид индикатора и его габаритные параметры представлены на рисунке 2.9.

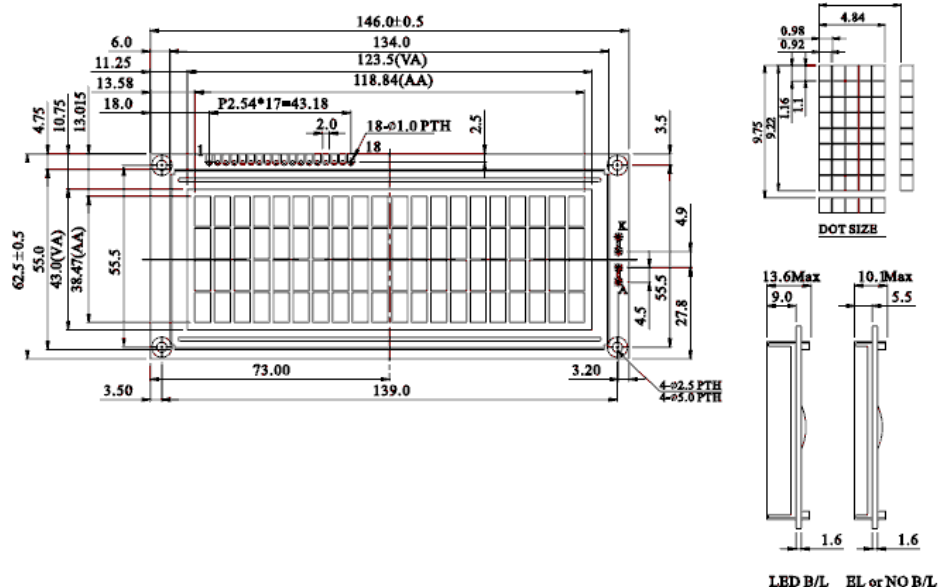


Рисунок 2.10 – Вид индикатора

Данное устройство удобно тем, что содержит встроенный генератор символов и позволяет осуществлять программный вывод информации по специальному интерфейсу, без использования дополнительных устройств

При этом настройки устройства устанавливаются с помощью управляющих кнопок SW1и SW2.

Схема электрическая принципиальная представлена в приложении В.

2.4Разработка программного обеспечения

Поскольку логика управления процессом измерения построена на микроконтроллере, необходимо подробно описать алгоритм его выполнения для того, чтобы его можно было успешно реализовать в виде управляющей программы.

Процесс начинается с установки начальных настроек, где с помощью кнопок устанавливаются параметры временных задержек относительно времени заряда конденсатора и выдержки его в течение определенного

времени, времени разряда и выдержки в свободном состоянии. Также предусмотрен выбор уровня напряжения, до которого будет заряжаться конденсатор.

После этого установка готова к измерениям. Первоначальным действием является проверка того, что ключи КЛ1 и КЛ2 разомкнуты, чтобы возможное высокое напряжение не оказало воздействие на измерительные цепи. Далее проверяется состояние канала измерения остаточного напряжения и канал измерения напряжения заряда. Если неисправности зафиксированы, то на дисплей выводится соответствующее сообщение об ошибке. При отсутствии неисправностей начинается процесс измерения коэффициента диэлектрической абсорбции. Для этого на ППН подаются импульсы напряжения с определенной частотой, которые накапливают заряд на ППН. При этом непрерывно контролируется напряжение заряда.

Если заряд осуществляется слишком быстро, что уменьшается частота следования импульсов. Вообще алгоритм должен стремиться заряжать конденсатор экспоненциально в течении всего заданного времени заряда. Если же заряд происходит быстрее, то подача импульсов прекращается и осуществляется выдержка конденсатора до определенного времени под напряжением. После чего замыканием ключа КЛ2 осуществляется разряд конденсатора. Разряд выполняется в течение заданного времени после чего ключ КЛ2 размыкается и осуществляется выдержка конденсатора для проявления явления абсорбции.

По истечению времени выдержки замыкается ключ КЛ1 и выполняется измерение остаточного напряжения. После выполнения измерений ключ КЛ1 размыкается и осуществляется расчет коэффициента абсорбции конденсатора.

Далее результат измерений выводится на дисплей и процесс может быть повторен.

Блок-схема описанного алгоритма представлена в приложении Д.

3 Метрологический анализ измерителя коэффициента абсорбции

3.1 Разработка математической модели погрешности измерителя коэффициента абсорбции

Погрешность определения коэффициента диэлектрической абсорбции вычисляют по формуле

$$\delta K_a = \pm K_{\Sigma} \sqrt{\left(\frac{\delta U_{\text{зар}}}{K_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta U_0}{K_2}\right)^2 + \left(a_1 \frac{\delta t_1}{K_3}\right)^2 + \left(a_2 \frac{\delta t_2}{K_3}\right)^2 + \left(a_3 \frac{\delta t_3}{K_3}\right)^2}, \#(14)$$

где $\delta U_{\text{зар}}$ – частная погрешность, обусловленная погрешностью поддержания напряжения заряда;

δU_0 – частная погрешность, обусловленная погрешностью измерения напряжения остаточного заряда;

a_1, a_2, a_3 – коэффициенты влияния погрешности измерения времени заряда, разряда, выдержки с разомкнутыми выводами соответственно на измеренное значение коэффициента диэлектрической абсорбции;

$\delta t_1, \delta t_2, \delta t_3$ – погрешность установления времени заряда, разряда и выдержки с разомкнутыми выводами;

K_1, K_2, K_3 – предельные коэффициенты, зависящие от законов распределения частных погрешностей и установленной вероятности;

K_{Σ} – коэффициент, зависящий от закона распределения суммарной погрешности и установленной вероятности.

Если все частные составляющие погрешности распределены по равномерному закону, а коэффициенты влияния a_1, a_2, a_3 равны 0.7; 1.0; 0.5 соответственно, суммарная погрешность распределена по нормальному закону, то для установленной вероятности 0,95 $K_1 = K_2 = K_3 = 1.73$, $aK_{\Sigma} = 1.96$.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ			
Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата				
Разраб	Эрмек				Метрологический анализ измерителя коэффициента абсорбции	Литера	Лист	Листов
Пров	Вольсков					у	42	76
Н. Контр.	Рыжова			17.06.26		22ПД1		
Утв	Вольсков							

3.2 Расчет погрешности измерителя коэффициента абсорбции

Заряд конденсатора будет происходить по аperiodическому закону

$$U_3(t) = E \cdot \left(1 - e^{-\frac{T_1}{\tau_3}}\right). \quad (15)$$

Разряд конденсатора будет также происходить по аperiodическому закону, но обратному

$$U_p(t) = E \cdot e^{-\frac{T_2}{\tau_p}}. \quad (16)$$

В идеальном случае конденсатор должен зарядиться до значения E . В действительности напряжение на конденсаторе по истечению 3 мин будет несколько меньше, чем E . Это обусловлено бесконечностью переходного процесса, а также наличием погрешностей составляющих данных уравнений. А именно погрешностью самого источника напряжений δE , предельно допустимым отклонением от номинального значения сопротивления резистора δR_3 , погрешностью измерения времени заряда δT .

Относительная погрешность, обусловленная бесконечностью переходного процесса приблизительно равна нулю.

Определим погрешность от отклонения от номинала резистора и измерения времени, для этого воспользуемся механизмом частных производных

$$\Delta_e = E \frac{\partial e^{-\frac{T_1}{\tau_3}}}{\partial \tau} \Delta R_3 + E \frac{\partial e^{-\frac{T_1}{\tau_3}}}{\partial T} \Delta T_1 = E \left| \frac{T_1}{\tau_3 \cdot C} e^{-\frac{T_1}{\tau_3}} \delta R_3 \right| + E \left| \frac{T_1}{\tau_3} e^{-\frac{T_1}{\tau_3}} \delta T_1 \right|. \quad (17)$$

Относительное значение данной погрешности будет определяться как

$$\delta_e = \frac{\Delta_e}{E} = \left| \frac{T_1}{\tau_3} e^{-\frac{T_1}{\tau_3}} \delta R_3 \right| + \left| \frac{T_1}{\tau_3} e^{-\frac{T_1}{\tau_3}} \delta T \right| = \frac{T_1}{\tau_3} e^{-\frac{T_1}{\tau_3}} \left[\frac{1}{C} \delta R_3 + \delta T_1 \right]. \quad (18)$$

Таким образом, суммарная погрешность времени заряда будет складываться из двух составляющих

$$\delta U_3 = \delta E + \delta_e. \quad (19)$$

Рассуждая аналогично для процесса собственного разряда конденсатора, погрешность будет равна

$$\delta U_p = \delta_p, \quad (20)$$

где

$$\delta_p = \frac{\Delta_p}{E} = \left| \frac{T_2}{\tau_p} e^{-\frac{T_2}{\tau_p}} \delta R_p \right| + \left| \frac{T_2}{\tau_p} e^{-\frac{T_2}{\tau_p}} \delta T_2 \right| = \frac{T_2}{\tau_p} e^{-\frac{T_2}{\tau_p}} \left[\frac{1}{C} \delta R_3 + \delta T_2 \right]. \quad (21)$$

Поскольку множитель $e^{-\frac{T_2}{\tau_p}} \approx 0$.

При измерении напряжения остаточного заряда через время $T_3 = 3$ мин, погрешность, с которой будет выполнено измерение, определится:

- погрешностью измерения напряжения δ_V ,
- погрешностью от времени разряда

$$\delta_{II} = \frac{T_3}{\tau_{II}} e^{-\frac{T_3}{\tau_{II}}} \left[\frac{1}{C} \delta R_{DA} + \delta T_3 \right]; \quad (22)$$

- погрешностью измерения времени δT .

Таким образом, окончательная формула для измерения коэффициента абсорбции запишется в виде

$$K_a = \frac{U_0 (1 + \delta_V + \delta_p + \delta_{II})}{U_{зар} (1 + \delta E + \delta_e)} \cdot 100\%. \quad (23)$$

Отсюда суммарную погрешность найдем как

$$\delta K_a = 1.96 \sqrt{\left(\frac{\delta E}{1.73} \right)^2 + \left(\frac{\delta_V}{1.73} \right)^2 + \left(\frac{\delta_3}{1.73} \right)^2 + \left(\frac{\delta_p}{1.73} \right)^2 + \left(\frac{\delta_{II}}{1.73} \right)^2}. \quad (24)$$

Пользуясь методом равных влияний, назначим требования к каждой погрешности:

$$\delta E = \delta_V = \delta_3 = \delta_p = \delta_{II} = 1.73 \frac{1\%}{1.96\sqrt{5}} \approx 0.5\%. \quad (25)$$

Предъявим требования по точности к каждой составляющей погрешности.

Основная допускаемая погрешность измерения остаточного напряжения U_0 равна 0,01%.

Рассчитаем абсолютную и относительную погрешности установки напряжения заряда. Исходя из того, что приращение напряжения на выходе повышающего преобразователя около 10 мВ, то $\delta_u = 0,01/200 = 0,005\%$.

Поскольку погрешность измерения времени привязана к нестабильности генератора частоты, в качестве которого выступает кварцевый резонатор для микроконтроллера, то можем считать, что $\delta T_1 = \delta T_3 = \delta T_2 = 0$.

Погрешность резисторов R_3 и R_p составляют 0.1%.

Коэффициенты $\frac{T_1}{\tau_3} e^{-\frac{T_1}{\tau_3}}$, $\frac{T_3}{\tau_{II}} e^{-\frac{T_3}{\tau_{II}}}$ и $\frac{T_2}{\tau_2} e^{-\frac{T_2}{\tau_2}}$ равны нулю с точностью выше 20 знака после запятой. Поэтому погрешностью резистора и цифрового измерителя времени можно пренебречь.

В этом случае суммарная относительная погрешность установки будет равна:

$$K'_a = \frac{1,96}{1,73} \sqrt{\delta E^2 + \delta_V^2} = 1,13 \sqrt{0,015} \approx 0,15\%. \quad (26)$$

Полученный результат соответствует техническому заданию, так как погрешности установки позиционировалась как не превышающая значение в 1%.

3.3 Разработка программного обеспечения

На основе алгоритма измерения было разработано программное обеспечение, совместимое с *ADuC845*. Код программы представлен в приложении Е.

4 Безопасность труда при изготовлении печатных плат

4.1 Безопасность труда при пайке печатных плат

По ГОСТ 12.0.003 – 74 существуют множество опасных и вредных факторов при работе людей на производстве, которые делятся на группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

К первой группе относятся температура, освещенность, шум, вибрации, влажность, уровень напряжения в цепи, подвижность воздуха и т.д.

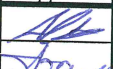
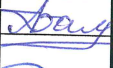
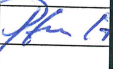
Ко второй группе относятся: по характеру воздействия на человека (общетоксические, раздражающие, канцерогенные, мутагенные), по пути проникновения в организм (через дыхательные пути, через пищеварительную систему, через кожный покров).

К третьей группе относятся: микроорганизмы (вирусы, бактерии, грибы) и макроорганизмы (растения, животные).

Четвертая группа – это физические и нервно-психические перегрузки.

При производстве печатных плат многие из перечисленных факторов имеют место быть.

В помещениях для хранения цианистых солей и химикатов кроме местной вытяжной вентиляции от шкафов для взвешивания цианистых солей должна быть предусмотрена общеобменная вытяжная вентиляция из нижней зоны в объёме трёхкратного воздухообмена. В отделениях приготовления растворов производится общеобменная вытяжка из верхней зоны в объёме не менее однократного. Вытяжку воздуха из рабочего цеха необходимо компенсировать притоком наружного чистого воздуха в течение всего года.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ				
ИЗ	Лист	№ докум	Подпись	Дата					
Разраб	Эрмек								
Пров	Вольсков								
Н. Контр.	Рыжова								
Утв	Вольсков								
					Безопасность труда при		Литера	Лист	Листов
					изготовлении печатных плат		У	46	76
					22ПД1				

В холодное время года приточный воздух должен подогреваться до температуры не ниже 18°C.

В случае необходимости приточный воздух подвергается очистке от пыли.

К ним относят стены, перегородки, перекрытия, двери, ворота, люки, тамбур-шлюзы и окна. Противопожарные стены должны быть выполнены из негорючих материалов, иметь предел огнестойкости не менее 2,5 ч и опираться на фундаменты.

Так же при выполнении пайки металлов на рабочих могут воздействовать вредные и опасные производственные факторы. К вредным производственным факторам относятся: загазованность воздуха рабочей зоны, инфракрасное излучение ванны с расплавленным металлом, шум, ультразвук и статическая нагрузка на руку. При пайке в зону дыхания рабочих могут поступать канцерогенные вещества - аэрозоль флюсов и припоев, содержащий свинец, кадмий, цинк, олово, углеводороды, окись углерода. Количество и состав спаиваемых аэрозолей, их токсичность зависят от химического состава спаиваемых материалов. Воздействие на организм выделяющихся вредных веществ может явиться причиной острых хронических профессиональных заболеваний и отравлений. Источниками повышенного шума являются пневмоприводы, генераторы, вакуумные насосы и т.д. При пайке имеет место статическая нагрузка на руки, в результате чего могут возникнуть заболевания нервно-мышечного аппарата и плечевого пояса. К опасным производственным факторам относятся воздействие электрического тока, искры и брызги, выбросы расплавленного металла и шлака, возможность взрыва баллонов и систем, находящихся под давлением, движущиеся механизмы и изделия.

4.2 Безопасность труда при механической обработке

Одним из мероприятий по предупреждению травматизма и созданию комфортной производственной обстановки является оптимальное освещение рабочего цеха. Оно достигается организацией естественного, искусственного

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

либо смешанного освещения. Естественное освещение обеспечивается необходимыми архитектурно-строительными решениями (устройство световых проёмов в стенах, в кровле верхних этажей). Световые проёмы должны быть оборудованы специальными приспособлениями (площадками), позволяющими передвигаться по фронту световых проёмов для очистки их от пыли и грязи. При искусственном освещении должна применяться система общего освещения или система комбинированного освещения (общее плюс местное). При любом виде освещения гальванических участков большое значение имеет борьба с блёсткостью. При естественном освещении снижение отражённой блёсткости достигается правильным расположением рабочих мест по отношению к светопроёмам. При искусственном освещении устранение блёсткости достигается применением светильников с матовыми стёклами и рациональным направлением светового потока на изделия. Местное освещение следует устраивать на рабочих местах у ванн, пультов управления операторов автоматических линий, в экспресс-лабораториях. Напряжение питания переносного светильника не должно превышать 12 В. Переносной светильник должен иметь защитную сетку и исправный шланговый провод.

По ГОСТ 12.1.004 – 91 о пожарной безопасности в помещении при работе с горячими деталями и оборудованием следует обращать внимание на наличие средств пожаротушения, категорически запрещается держать рядом с горячими предметами взрывоопасные вещества.

Для работающих, участвующих в технологическом процессе обработки резанием, должны быть обеспечены удобные рабочие места, не стесняющие их действия во время выполнения работы. Это позволяет снизить утомление и производственный травматизм рабочего. Рабочие и служащие цехов и участков обработки резанием для защиты от воздействия вредных и опасных производственных факторов должны быть обеспечены спецодеждой, спецобувью и предохранительными приспособления в соответствии с действующими типовыми отраслевыми нормами.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		48

Основные вредные и опасные производственные факторы, характерные для окраски изделий, обусловлены применением токсичных лакокрасочных и выделением паров растворителей при подготовке красок, нанесении и сушке покрытий. В помещениях и на производственных площадках вне помещений возникает ряд вредных и опасных производственных факторов, обусловленных эксплуатацией окрасочного оборудования. К ним относятся: движущиеся машины и механизмы; незащищенные подвижные части окрасочного оборудования; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; повышенная температура лакокрасочных материалов, моющих и обезжиривающих жидкостей, паров и газов, поверхности оборудования и изделия; повышенная или пониженная температура воздуха на окрасочных участках, помещениях и камерах; повышенный уровень шума, вибраций и ультразвука при подготовке поверхности изделий к окрашиванию и при работе вентиляторов окрасочных установок; повышенные уровни ультрафиолетового и инфракрасного излучения, возникающего при работе сушильного оборудования; незащищенные токоведущие части установок подготовки поверхности, электроосаждения, окрашивания в электростатическом поле и сушильных установок; повышенная ионизация воздуха на участках окрашивания изделий в электростатическом поле, а также при перемещении по трубопроводам, перемешивании, переливании и распылении жидких и сыпучих материалов; струи лакокрасочных материалов, возникающие при нарушении герметичности окрасочной аппаратуры, работающей под давлением; вредные вещества в лакокрасочных материалах и других рабочих составах, действующие на работающих через дыхательные пути, пищеварительную систему, кожный покров и слизистые оболочки органов зрения и обоняния.

Краскоприготовительные отделения должны располагаться в изолированном помещении у наружной стены цеха с оконными проемами и эвакуационным выходом. При наличии в помещении цеха оборудования, работа которого сопровождается выделением пыли с нижним пределом воспламенения 65 г/м^3 и ниже, весь цех следует относить к пожаро-

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		49

взрывоопасным производствам. Участки с таким выделением пыли допускается изолировать от общего помещения цеха несгораемым, пыленепроницаемым ограждением с пределом огнестойкости 0.75ч. Помещения окрасочных цехов, участков и отделений необходимо оснащать средствами пожарной техники в соответствии с ГОСТ 12.4.009-83. В помещениях окрасочных цехов необходимо предусмотреть установку автоматических газоанализаторов, предупреждающих о возникновении в воздухе взрывоопасных концентраций растворителей. Полы окрасочных помещений и краскоприготовительных отделений должны быть выполнены из несгораемых материалов, стойкими к агрессивным веществам и не дающими искр при трении и ударных нагрузках. Помещения окрасочных цехов необходимо оборудовать механической приточно-вытяжной вентиляцией (ГОСТ 12.4.021-75). Наряду с основной местной вытяжной вентиляцией в окрасочных цехах необходимо применение общеобменной вытяжной вентиляции. Места естественной сушки изделий оборудуют местной вытяжной вентиляцией, обеспечивающей воздухообмен, достаточный для соблюдения санитарных норм по ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

4.3 Безопасность труда в производственных цехах

Из физических факторов в сборочном производстве наибольшее значение имеют локальная вибрация и шум, создаваемые ручным механизированным инструментом, испытательными стендами, пневматическими устройствами, вибробункерами сборочных машин и т.д. В сборочном процессе при промывке и обезжиривании деталей, сварке и пайке используется низкочастотный ультразвук (16-44 КГц) высокой интенсивности до 6-7 Вт/см², а при контроле сборочных соединений – высокочастотный (>80 КГц). Наиболее опасен контактный ультразвук при передаче через жидкости или твердые материалы.

Даже кратковременное и периодическое контактное воздействие ультразвука может приводить к нарушению подвижности пальцев, кистей, предплечий. Наличие пыли в воздухе рабочей зоны сборочного цеха может

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

привести к заболеванию слесарей- сборщиков пневмокониозом, хроническим пылевым бронхитом, профессиональной бронхиальной астмой. В сборочных цехах существует опасность поражения электрическим током, так как здесь эксплуатируется оборудование, использующее электрический ток высокой и промышленной частоты напряжением до 660 В, например, установки индукционного нагрева деталей, электродвигатели, токоведущие шины, рубильники, светильники, вентиляторы. Кроме этого, опасными факторами в сборочных цехах являются отлетающие частицы абразивов, металлические осколки и пыль, вращающиеся детали ручного механизированного инструмента, нагретые (от 60 до 400⁰С) или сильно охлажденные (от –78 до – 196⁰С) поверхности оборудования.

При проектировании и проведении технологического процесса сборки необходимо учитывать требования безопасности как общие для всего процесса, так и для каждой операции по видам сборочных работ. Основными требованиями безопасности для сборочного производства являются замена операций, связанных с возникновением опасных и вредных производственных факторов, операциями, при которых этих факторов нет или они обладают меньшей интенсивностью; замена вредных веществ безвредными или менее вредными, сухих способов обработки пылящих материалов мокрыми; повышение уровня механизации сборочных работ путем широкого применения механизированного инструмента; комплексная механизация и автоматизация производства; применение средств коллективной и индивидуальной защиты; своевременное удаление и обезвреживание отходов производства, являющихся источниками опасных и вредных факторов.

Для устройства местной вентиляции на участке травления платы широкое применение находят однобортовые и двубортовые отсосы. Односторонние отсосы предусматривают для ванн шириной до 600 мм. При большей ширине устанавливают двусторонние бортовые отсосы. Так как ширина изготавливаемой

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		51

печатной платы значительно меньше 600 мм, то для ее обработки используется односторонний бортовой отсос. Высота щели отсоса должна составлять $h_{щ}=(80-112)\text{мм}$. Принимаем $h_{щ}=112\text{мм}$. Средняя скорость движения воздуха в щели должна составлять 2,5 м/с.

Для успешной работы бортового отсоса необходимо обеспечить равную скорость во всасывающей щели по всей её длине. Неравномерность скорости не должна превышать 10%. Однако так как размеры изготавливаемой печатной платы достаточно малы, то данный параметр можно не учитывать.

Рассчитали объёмный расход воздуха, удаляемого через бортовой отсос:

$$L_{отс} = 1400 \cdot \left(\frac{0,53 \cdot B_1 \cdot l}{B_1 + l} + H \right)^{\frac{1}{3}} \cdot B_1 \cdot l \cdot C_t \cdot C_{ток} \cdot C_1 =$$

$$= 1400 \cdot \left(\frac{0,53 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{0,5 + 0,5} + 0,15 \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1,8 = 517 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}, \quad (27)$$

где B_1 – ширина ванны, м;

l – длина ванны, $l=0.5$ м;

H – расстояние от верхней кромки ванны до зеркала раствора, $H=0.5$ м;

C_t – коэффициент, учитывающий разность температур раствора и воздуха в помещении, $C_t=1$;

$C_{ток}$ – коэффициент, учитывающий токсичность выделяющихся вредных веществ, $C_{ток}$;

C_1 – коэффициент, учитывающий конструкцию отсоса, $C_1=1.8$.

Сечение воздуховода:

$$F = h_{щ} \cdot l = 0,112 \cdot 0,5 = 0,056 \text{ м}^2. \quad (28)$$

Скорость воздушного потока в щели

$$V = \frac{L_{отс}}{3600F} = \frac{517}{3600 \cdot 0,056} = 2.56 \text{ м/с}. \quad (29)$$

Быстроходность вентилятора

$$n_Y = \frac{n\sqrt{L_{\text{отс}}}}{60\sqrt{p_V}\sqrt{p_V}} = \frac{1400\sqrt{517}}{60\sqrt{102}\sqrt{102}} = 16.67 \text{ об/мин}, \quad (31)$$

где n – частота вращения вала вентилятора, задаемся $n=1400$ об/мин;

p_V – давление воздуха, $p_V=102$ Па.

По полученному значению быстроходности выбирается центробежный вентилятор типа Ц6-24. Из условия что вентилятор находится на валу двигателя определяется мощность двигателя

$$N_{\text{д}} = \frac{L_{\text{отс}} p_V}{3600 V_{\text{п}} V_{\text{в}}} = \frac{517 * 102}{3600 * 1 * 0,7} = 21 \text{ Вт}, \quad (32)$$

где $V_{\text{п}}$ – КПД передачи электродвигатель- вентилятор, $V_{\text{п}}=1$;

$V_{\text{в}}$ – КПД вентилятора, $V_{\text{в}}=0.7$.

Из условия что скорость вращения двигателя $n=1400$ об/мин, мощность нагрузки двигателя $N_{\text{д}}=21$ Вт, для вращения вентилятора выбирается двигатель типа 6АА50А6 мощностью 60 Вт и частотой вращения 1380 об/мин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коэффициент абсорбции конденсатора – это критически важный, но часто недооцениваемый параметр, характеризующий медленную релаксацию заряда в диэлектрике. Он определяется типом материала, технологией, состоянием окружающей среды. Наибольшую опасность этот эффект представляет в прецизионных аналоговых цепях с длительным временем хранения или интегрирования. При выборе конденсаторов для ответственных применений необходимо проверять документацию на предмет коэффициента абсорбции и отдавать предпочтение неполярным полимерным пленкам.

В связи с этим в работе были рассмотрены методы и средства измерения коэффициента диэлектрической абсорбции конденсаторов как информационную базу для создания соответствующего измерителя.

Также было произведено проектирование измерителя коэффициента диэлектрической абсорбции.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) ГОСТ 28885-90. Конденсаторы. Методы измерений электрических параметров.
- 1) Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 2-х томах = *The Art of Electronics: Second Edition* (© Cambridge University Press, 1980)/ Пер. с англ. под ред. М. В. Гальперина, редакторы: Н. В. Серёгина, Ю. Л. Евдокимова. — М.: Мир, 1983. — т.1: 568 с., т.2: 590 с
- 2) Bogatin E. «*Signal and Power Integrity – Simplified*». — 2018.
- 3) *Data Sheets* производителей: *Murata, Kemet, Nichicon, Panasonic* (разделы с параметрами).
- 4) ГОСТ Р 59667-2021. Конденсаторы электрические. Методы измерения параметров.
- 5) Bogatin E. "*Signal and Power Integrity - Simplified*". - *Prentice Hall* (раздел о диэлектрической абсорбции).
- 6) Kuehn R. "*Dielectric Absorption in Capacitors*" - *Application Notes, Texas Instruments (SLOA014)*.
- 7) Williams J. "*Maximizing the Performance of Sample-and-Hold Circuits*" - *Linear Technology AN-8*.
- 8) Левшина Е.С, Новицкий П.В./ Электрические измерения физических величин (измерительные преобразователи). /Учеб. Пособие для ВУЗов. – Ленинград, Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1988, 320 с.
- 9) Описание изобретения к патенту № RU 2326296 С2, «Способ повышения энергоэффективности гидродинамического теплогенератора», F24J 3/00, опубликовано 10.06.2008 Бюл. №16, автор Бритвин Л.Н., приоритет от 22.02.2006, патентообладатель ООО «НПФ ТГМ» (RU).
- 10) Авторское свидетельство СССР 1749845 А1, кл. G01R 27/02, 23.07.1992.
- 11) Патент РФ № 2483312 С1, кл. G01R 27/02, 27.05.2013.
- 12) Патент РФ № 2730535 С1, кл. G01R 27/18; G01R 31/14, 24.08.2020.

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		55

13) Сигма дельта АЦП. Описание принципа работы сигма-дельта АЦП [Электронный ресурс]URL: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/adc/adc_5_2.htm , доступ –свободный, дата обращения 27.05.2026

14) Архитектура микроконтроллеров MCS-51 // Официальный сайт Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. http://www.sibsutis.ru/~mavr/MCS51/MCS_51.htm, доступ –свободный, дата обращения 27.05.2026

15) <https://radioskot.ru/publ/teoria/umnozhitel-napryazheniya>

16) Титце, Ульрих. Полупроводниковая схемотехника. Т. I / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. Г. С. Карабашева. – 13-е изд., эл. – 1 файл pdf : 829 с. – Москва: ДМК Пресс, 2023. – Систем. требования: AdobeReader XI либо AdobeDigitalEditions 4.5; экран 10". – Текст: электронный.

17) <https://www.trudohrana.ru/article/103897-19-m6-trebovaniya-pojarnoy-bezopasnosti-k-elektrostanovkam?ysclid=mbi2pz1cmu838906994#acor2>

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

19) Безопасность жизнедеятельности. Под ред. Белова С. В. — М.: Высшая школа, 2001.

20) ГОСТ 2.001-70 “ЕСКД. Общие положения”.

21) ГОСТ 2.103-68 “ЕСКД. Стадии разработки”.

22) ГОСТ 2.104-68 “ЕСКД. Основные надписи”.

23) ГОСТ 2.105-68 “ЕСКД. Общие требования к текстовым документам”.

24) ГОСТ 2.106-68 “ЕСКД. Текстовые документы”.

Приложение А
(обязательное)
Задание на ВКР

«Утверждаю»
зав. кафедрой НиМЭ
Пронин И.А.
(фамилия, инициалы)
«04» июня 2026 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

1. Студент(ка) гр. 22ПД1 факультета информационных технологий и электроники
Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и нанoeлектроника»
Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
Эрмек уулу Асылбек
(фамилия, имя, отчество)
2. Руководитель Вольсков Андрей Александрович
(фамилия, имя, отчество)
3. Тема бакалаврской работы Измеритель коэффициента абсорбции конденсаторов

Тема утверждена приказом ПГУ № 461а/о от «24» апреля 2026 г.

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

Разработать измеритель коэффициента абсорбции конденсаторов, который должен иметь следующие технические характеристики:

- питание от сети 220 В 50 Гц;
- дисплей для вывода результатов измерений;
- напряжения вторичной цепи питания не более 30 В;
- встроенный микроконтроллер для вычислений
- диапазон измерения коэффициента абсорбции от 0,001 до 15%
- напряжение заряда конденсатора от 10 до 200 В
- погрешность измерения коэффициента абсорбции не более 1%
- погрешность задания напряжения заряда не более 0,5 %
- погрешность задания времени заряда и разряда не более 1 мс

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

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

- 1 Анализ методов и средств измерения коэффициента абсорбции конденсаторов
- 1.1 Конденсаторы и их характеристики
- 1.2 Физическая природа явления абсорбции

1.3 Методы и средства измерения коэффициента диэлектрической абсорбции конденсатора	
2 Проектирование измерителя коэффициента диэлектрической абсорбции	
2.1 Основные требования к проведению измерения коэффициента диэлектрической абсорбции конденсатора	
2.2 Разработка схемы электрической структурной	
2.3 Разработка схемы электрической принципиальной	
2.4 Разработка программного обеспечения	
3 Метрологический анализ измерителя коэффициента абсорбции	
3.1 Разработка математической модели погрешности измерителя коэффициента абсорбции	
3.2 Расчет погрешности измерителя коэффициента абсорбции	
3.3 Разработка программного обеспечения	
4 Безопасность труда при изготовления печатных плат	
4.1 Безопасность труда при пайке печатных плат	
4.2 Безопасность труда при механической обработке материалов резанием	
4.3 Безопасность труда в производственных цехах	

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

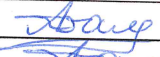
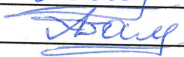
Актуальность бакалаврской работы	слайд 1
Понятие диэлектрической абсорбции конденсаторов	слайд 2
Схема измерения коэффициента абсорбции	слайд 3
Зависимость напряжения на конденсаторе от времени при изменении коэффициента абсорбции	слайд 4
Функциональное схема	слайд 5
Повышающий преобразователь напряжения	слайд 6
Электрическая принципиальная схема устройства	слайд 7
Блок схем алгоритма	слайд 8
Безопасность труда в производственных цехах	слайд 9

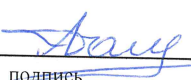
6. Консультанты и содержание дополнительных разделов

6.1.

Консультант _____

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Анализ методов и средств измерения коэффициента абсорбции конденсаторов	20%	04.06.2026	
Проектирование измерителя коэффициента абсорбции конденсаторов	20%	05.06.2026	
Разработка и техническая реализация измерителя коэффициента абсорбции	20%	06.06.2026	
Безопасность труда при изготовлении печатных плат	10%	07.06.2026	
Графическая часть	10%	08.06.2026	
Оформление пояснительной записки	20%	09.06.2026	

Руководитель бакалаврской работы 
подпись

Вольсков А.А.
фамилия, инициалы

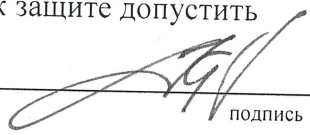
Дата выдачи задания «04» июня 2026 г.

Задание к исполнению принял 
подпись

Эрмек А.
фамилия, инициалы

«04» июня 2026 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета 
подпись

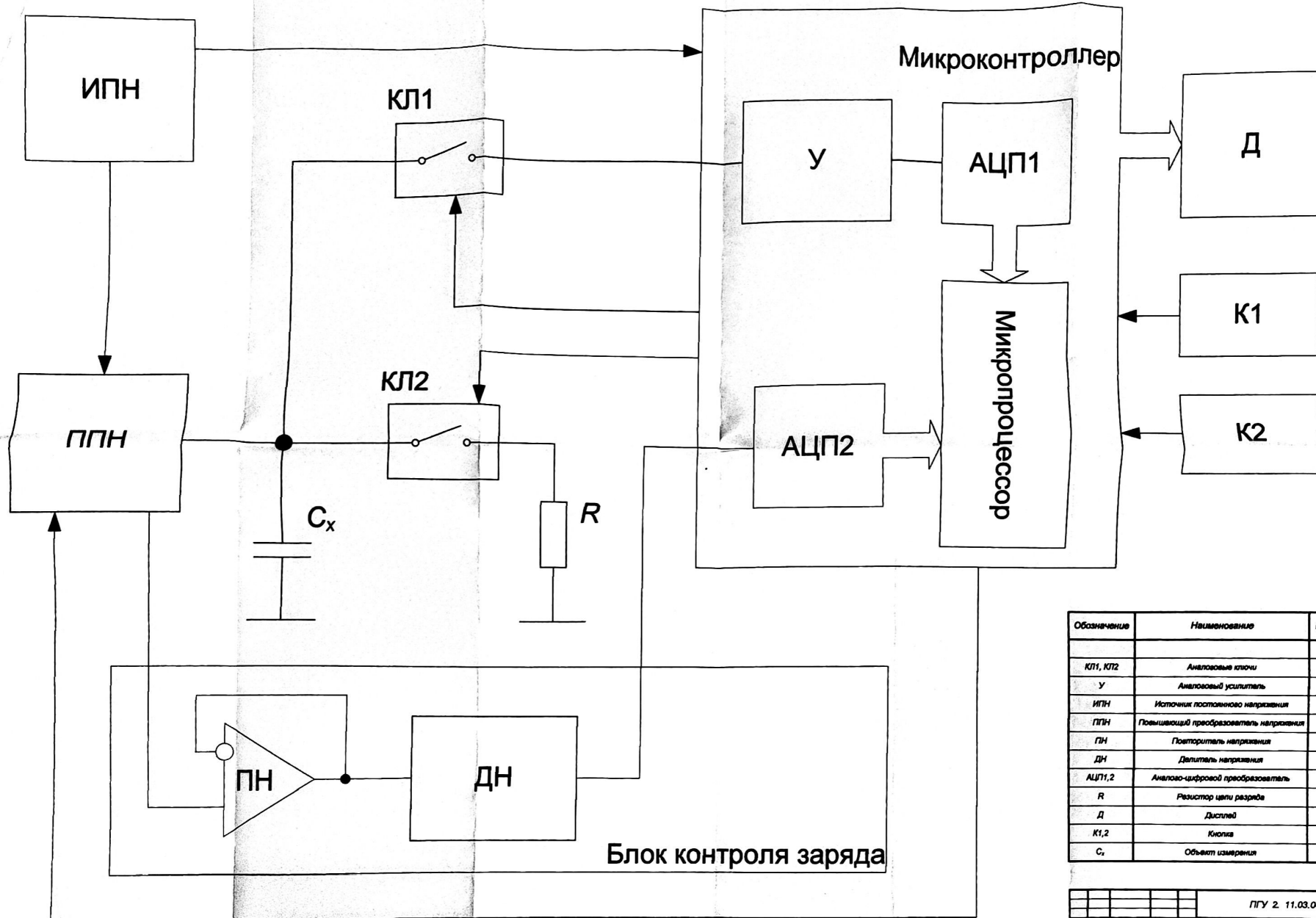
Кревчик В.Д.
фамилия, инициалы

«15» июня 2026 г.

Приложение Б
(обязательное)

Схема электрическая функциональная блока управления

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		



Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
КП1, КП2	Аналоговые ключи	2	
У	Аналоговый усилитель	1	
ИПН	Источник постоянного напряжения	1	
ППН	Повышающий преобразователь напряжения	1	
ПН	Понижающий преобразователь напряжения	1	
ДН	Делитель напряжения	1	
АЦП1,2	Аналого-цифровой преобразователь	2	
R	Резистор цепи разряда	1	
Д	Дисплей	1	
К1,2	Кнопка	2	
С _з	Объект измерения	1	

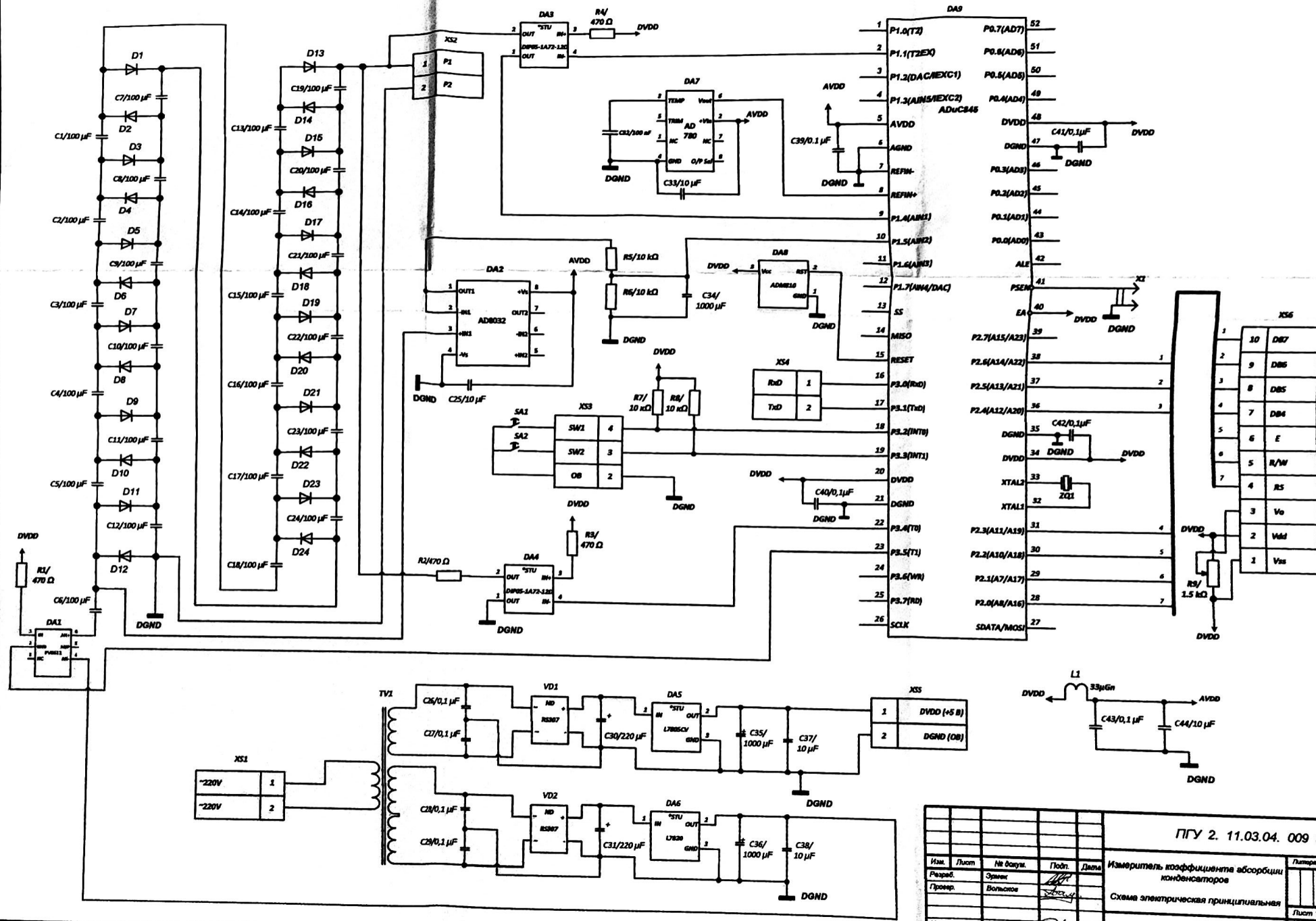
						ПГУ 2. 11.03.04. 009 32		
Имя	Патр	Н. Фамил.	Годы	Даты	Измерить коэффициенты абсорбции конденсата	Темпер	Влажн	Минус
Родит.	Семья	Годы						
Прозв	Вальсман	Годы						
Стемя электротехнической функциональной								
Н. имен	Римана				Листе 1	Листине 1		
Имен	Вальсман							22/01

Приложение В

(обязательное)

Схема электрическая принципиальная блока управления

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		63



					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ЭЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Измеритель коэффициента абсорбции конденсаторов Схема электрическая принципиальная	Листов	Масок	Масштаб	
Разраб.		Электр.	ИИ						
Провер.		Вольное	ИИ						
И. контр.		Рисовое	ИИ			Лист 1	Листов 1		
Утверд.		Вольное							
						22ПД1			

Приложение Г
(обязательное)
Перечень элементов

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		65

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	Диоды		
D1-D24	SB220	24	
VD1,2	RS307	2	
	Индуктивность		
L1	CW68-123K	1	
	Кварц		
ZQ1	DT38	1	
	Конденсаторы		
C1-C24	KZK White Line 100мкФ ± 5% 400В	24	
C25	SMD 0603 10 мкФ ± 10 % 50 В	1	
C26-C29	SMD 0603 0.1 мкФ ± 10 % 50 В	4	
C30-C31	K50 35 220 мкФ ± 10 % 50 В	2	
C32	SMD 0603 0,1 мкФ ± 10 % 50 В	1	
C33	SMD 0603 10 мкФ ± 10 % 50 В	1	
C34-C36	K50 35 1000 мкФ ± 10 % 50 В	3	
C37-C38	K50 35 10 мкФ ± 10 % 50 В	2	
C39-43	SMD 0603 0,1 мкФ ± 10 % 50 В	5	
C44	SMD 0603 10 мкФ ± 10 % 50 В	1	
	Микросхемы	1	
DA1	PVG612	1	
DA1-DA2	AD8032	1	
DA3-DA4	DIP05-1A72-12D	2	
DA5	L7805	1	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.	Эрмек			
Провер.	Вольсков			
Реценз.				
Н. Контр.	Рыжова			15.06.16
Утверд.	Вольсков			

ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ

Измеритель коэффициента
абсорбции конденсаторов

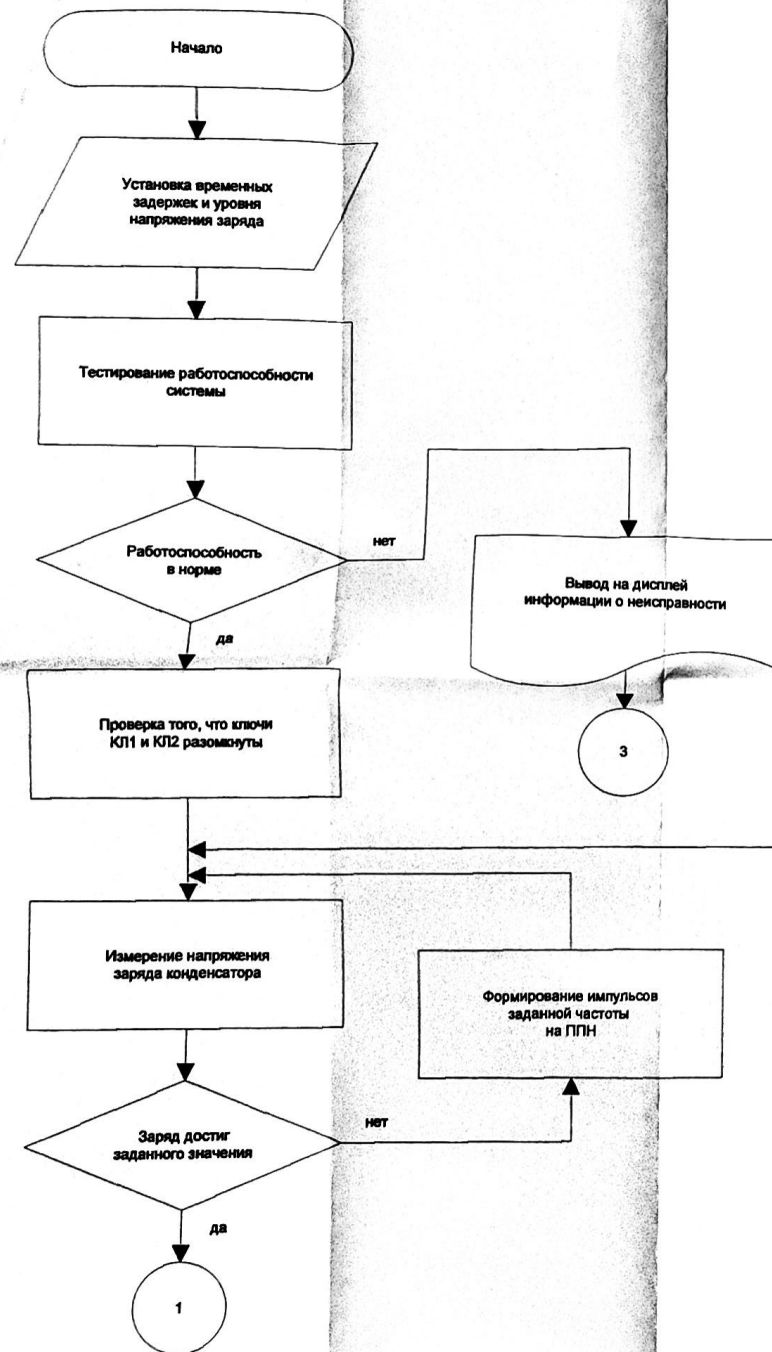
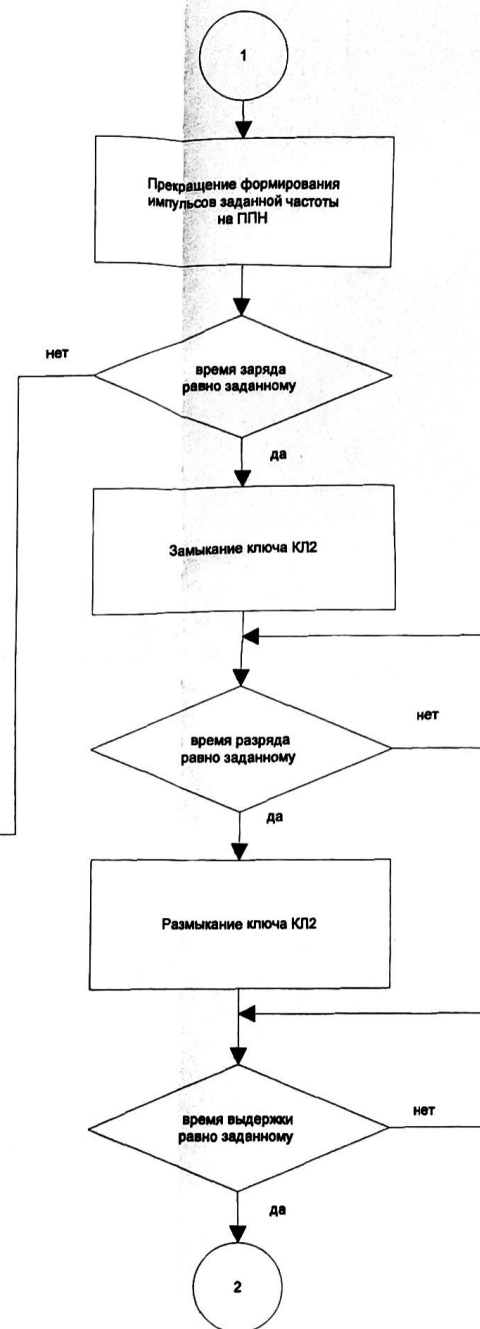
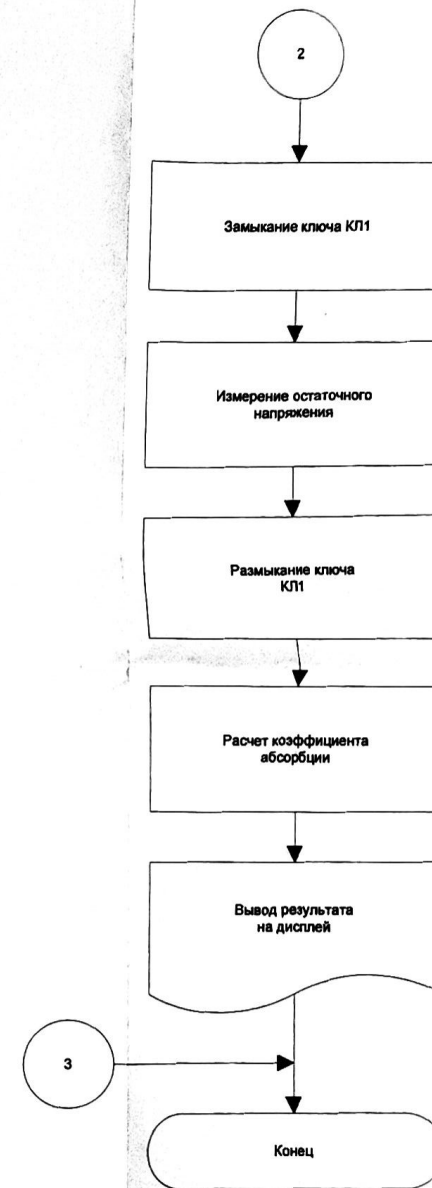
Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
У	1	2

22ПД1

[illegible]

Приложение Д
(обязательное)
Блок-схема алгоритма работы измерителя



ПГУ 2. 11.03.04. 009 БС									
Имя	Лист	№ докум.	Год	Дата	Измеритель коэффициента абсорбции конденсаторов				
Исполн.	Знак	Время	Стор.	Стор.	Блок-схема алгоритма				
И. исполн.	И. исполн.	И. исполн.	И. исполн.	И. исполн.	Лист 1 Листов 1				
И. исполн.	И. исполн.	И. исполн.	И. исполн.	И. исполн.	22ГД1				

Приложение Е
(обязательное)
Программное обеспечение

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Установка временных задержек и уровня напряжения заряда

```
#include <ADuC845.h>
#include <stdio.h>

// — 1. Установка временных задержек и уровня напряжения заряда —
#define CHARGE_TARGET_VOLTAGE 100.0f // Уровень заряда (в вольтах или условных
единицах)
#define DISCHARGE_TIME_MS 1000 // Время разряда (мс)
#define WAIT_TIME_MS 5000 // Время выдержки (мс)
#define CHARGE_TIMEOUT_MS 20000 // Максимальное время ожидания заряда

// — Аппаратные пины (настройте под свою схему) —
sbit KL1 = P1^0; // Управление ключом КЛ1
sbit KL2 = P1^1; // Управление ключом КЛ2
sbit PPN_EN = P1^2; // Включение импульсов ППН
sbit LCD_RS = P2^0; // Управление дисплеем (пример)

float current_voltage = 0.0f; // Текущее напряжение
float remaining_voltage = 0.0f; // Остаточное напряжение
float absorption_coeff = 0.0f; // Коэффициент абсорбции
bit system_ok = 1;

// Вспомогательные функции (задержка, АЦП, вывод на дисплей)
void delay_ms(unsigned int ms) { /* реализация через таймер 0 */ }
float read_adc_voltage() { /* Чтение АЦП ADuC845, управление КЛ1 */ }
```

Тестирование настроек временных задержек и уровня напряжения

```
void check_parameters() {
    if (CHARGE_TARGET_VOLTAGE < 1.0f) {
        lcd_printf("Error: Bad Voltage");
        while(1); // Остановка при неверной уставке
    }
    if (DISCHARGE_TIME_MS < 100) {
        lcd_printf("Error: Bad Time");
        while(1);
    }
}
```

Тестирование работоспособности системы и размыкание ключей

```
void test_system_and_reset_switches() {
    // Проверка 1: Принудительно размыкаем ключи (КЛ1, КЛ2)
    KL1 = 0;
    KL2 = 0;
    PPN_EN = 0; // Выключаем генератор импульсов

    delay_ms(100);

    // Проверка 2: Моделируем проверку датчика (или считываем "воздух" АЦП)
    current_voltage = read_adc_voltage();

    // Если АЦП показывает напряжение без конденсатора (шумы/ошибка датчика), фиксируем
    // неисправность
    if (current_voltage > 0.5f) {
        system_ok = 0;
        lcd_printf("SYS FAULT!");
        while(1); // Конец (метка 3 на схеме)
    }
}
```

Измерение начального напряжения и запуск заряда

```
void charge_to_target() {
    current_voltage = read_adc_voltage(); // Измеряем начальное напряжение

    // Включаем ППН (Формирование импульсов заданной частоты)
    PPN_EN = 1;

    unsigned int timeout_counter = 0;

    // Цикл "Заряд достиг заданного значения?"
    while (current_voltage < CHARGE_TARGET_VOLTAGE) {
        current_voltage = read_adc_voltage(); // Измеряем напряжение

        timeout_counter++;
        // Защита от бесконечного цикла
        if (timeout_counter > CHARGE_TIMEOUT_MS / 10) {
            lcd_printf("Charge Timeout!");
            system_ok = 0;
            break;
        }
        delay_ms(10);
    }
}
```

Прекращение формирования импульсов заданной частоты ППН

```
void stop_charge_impulses() {  
    PPN_EN = 0; // Прекращение формирования импульсов  
  
    // "Время заряда равно заданному?" (Минимальная пауза для выравнивания)  
    // Здесь можно реализовать точную проверку времени от начала заряда.  
    delay_ms(500);  
}
```

Процесс замыкания ключа

```
void discharge_capacitor() {  
    // Замыкание ключа КЛ2  
    KL2 = 1;  
  
    // Ожидание времени разряда  
    delay_ms(DISCHARGE_TIME_MS);  
  
    // Размыкание ключа КЛ2  
    KL2 = 0;  
}
```

Процесс выдержки

```
void hold_absorption_time() {  
    // "Время выдержки равно заданному?" (Ожидание)  
    delay_ms(WAIT_TIME_MS);  
}
```

Измерение остаточного напряжения расчет и вывод на дисплей

```
void measure_residual_and_calc() {  
    // Замыкание ключа КЛ1  
    KL1 = 1;  
    delay_ms(10);  
  
    // Измерение остаточного напряжения (U_остат)  
    remaining_voltage = read_adc_voltage();  
  
    // Размыкание ключа КЛ1 (внутри функции read_adc_voltage или явно)  
    KL1 = 0; // Явное размыкание для безопасности  
  
    // Расчет коэффициента абсорбции  
    if (CHARGE_TARGET_VOLTAGE > 0.1f) {  
        // K_абс = (U_остат / U_зар) * 100%  
        absorption_coeff = (remaining_voltage / CHARGE_TARGET_VOLTAGE) * 100.0f;  
    } else {  
        absorption_coeff = 0.0f;  
    }  
  
    // Вывод результата на дисплей  
    lcd_printf("K_abs = %.2f %%", absorption_coeff);  
}
```

Приложение Ж

(обязательное)

Заявление и протокол проверки бакалаврской работы на оригинальность
системе «Антиплагиат.ВУЗ»

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		74

Заявление для проверки ВКР на оригинальность

И.о ректора Пензенского государственного
университета Васину С.М.
студента 4 курса ФИТЭ очной формы
обучения
Эрмека уулу Асылбека

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Эрмек уулу Асылбек, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, Микроэлектроника и твердотельная электроника, прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Измеритель коэффициента абсорбции конденсаторов», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

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

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


подпись студента

10.06.26
дата

ВКР представлена на проверку 10.06.26
дата

Руководитель ВКР


подпись

Вольсков А.А
ФИО руководителя

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной
бакалаврской работы на тему «Измеритель коэффициента абсорбции
конденсаторов» студента 4 курса Эрмека уулу Асылбека
направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника,
бакалаврская программа «Нано- и микроэлектроника»
Руководитель ВКР Вольсков Андрей Александрович



СПРАВКА

С целью избежания проверки текстового документа
на наличие записей

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Пензенский государственный
университет"

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.РУ

Автор работы:	Ормен Уулу Асылбек
Самодитирование расчитано для:	Эмек Уулу Асылбек
Название работы:	Измеритель коэффициента абсорбции конденсаторов
Тип работы:	Выпускная квалификационная работа
Подразделение:	Кафедра "Физика и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ 97101 - ПО ФОРМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОЖИ И КОЖИНЫ					
СОВПАДЕНИЯ	Сопоставление	43.81%	СОВПАДЕНИЯ	Сопоставление	43.81%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ		52.77%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ		52.77%
ЦЕЛЫЕ ЧАСТИ		1.33%	ЦЕЛЫЕ ЧАСТИ		1.33%
САМОИДЕНТИФИКАЦИЯ		0%	САМОИДЕНТИФИКАЦИЯ		0%
НАИСОБЩАЯ		0%			

2017年12月24日 星期一 18:06:30

DATA K OPRACOW KOMPACTYFIKACJI: 16-06-2025 13:01

[illegible]

Работу проверил: Господинов Алексей Николаевич
 ФИО преподавателя

Дата подписи _____

© 2004, Pearson Education, Inc.



உறுப்பினர் பதிலளித்தார்:

அ) காவல்துறைத் தலைவரின் பதிலைப் பற்றிய கேள்விக்கு
 சான்றிதழ் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது என்று கூறவில்லை.

Операция по созданию и запуску виртуальной машины выполняется, как и в случае с платформой VMware, с помощью специального программного обеспечения. В данном случае это Oracle VM VirtualBox. Для запуска виртуальной машины необходимо загрузить образ виртуального диска и указать путь к файлу, который будет использоваться в качестве операционной системы. После этого можно загрузить образ виртуального диска и указать путь к файлу, который будет использоваться в качестве операционной системы.

Руководитель ВКР

« 16 » 16 2026 год

Автомат
подпись

Вольсков А.А.
фамилия, инициалы



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Пензенский государственный
университет"

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Эрмек Уулу Асылбек
Самоцитирование
рассчитано для: Эрмек Уулу Асылбек
Название работы: Измеритель коэффициента абсорбции конденсаторов
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

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

СОВПАДЕНИЯ	43.91%	СОВПАДЕНИЯ	43.91%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	52.77%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	52.77%
ЦИТИРОВАНИЯ	3.32%	ЦИТИРОВАНИЯ	3.32%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%
ИИ-КОНТЕНТ	0%		

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 16.06.2026 13:05

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 16.06.2026

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.1, 4-5, 10-54, содержание с.2-3, введение с.5-10, выводы с.54-55
Модули поиска: Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по базе публикаций открытого доступа PubMed; Переводные заимствования; Перефразирования по коллекции IEEE; Перефразирования по Коллекции открытых публикаций международных издательств; Шаблонные фразы; Профессиональная лексика. Юриспруденция; Профессиональная лексика. Медицина; Рувики; IEEE; Коллекция открытых публикаций международных издательств; Цитирование; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Публикации eLIBRARY; Патенты СССР, РФ, СНГ; Профессиональная лексика. АПК и биотех; PubMed; СМИ России и СНГ; Коллекция НБУ; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Кольцо вузов; Медицина; ИПС Адилет; Сводная коллекция ЭБС; Сводная колл...

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи:

16.06.2026

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 И
(обязательное)
Презентация к ВКР

					ПГУ 2. 11.03.04. 009 ПЗ	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		