

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
(институт)
Промышленная электроника
(кафедра)
11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему **МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ТЕРМООБРАБОТКИ ДЕТАЛИ**

Студент(ка)	<u>И.В. Максаков</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>к.т.н., доцент В.А. Медведев</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	_____	_____	(личная подпись)
	_____	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____
(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2016

Аннотация

УДК 621.314.572

ББК 32 852

Бакалаврская работа Максакова Ильи Владимировича по теме «Микропроцессорная система регулирования температуры для технологического процесса термообработки детали». Руководитель: Медведев Валерий Александрович. Защищена в Тольяттинском государственном университете в 2016 году.

Пояснительная записка: 73 с., 4 разд., 32 рис., 16 табл., прил. 3 с.

Графическая часть - 6 листов формата А1.

Ключевые слова: терморегулятор, управление терморегуляторами, микроконтроллер Atmel, принципиальная схема, печатная плата, алгоритм работы системы, программирование контроллера.

Бакалаврская работа посвящена разработке микропроцессорной системы регулирования температуры для технологического процесса термообработки детали. В ходе проектирования устройства разработана структурная схема системы, дано обоснование выбора элементной базы, разработаны принципиальная схема и печатная плата системы. Выбраны средства программирования и отладки микроконтроллера.

Содержание

Введение.....	6
1 Аналитическая часть. Анализ основных особенностей регулирования температуры при термообработке деталей.....	8
1.1 Анализ основных принципов термообработки лакокрасочных изделий и работы термокамеры.....	8
1.1.1 Принципы работы конвективных печей	9
1.1.2 Принципы работы терморadiационных печей	12
1.1.3 Принципы работы индукционных и других печей.....	14
1.2 Анализ основных особенностей регуляторов температуры, используемых для управления процессом термообработки.....	15
1.2.1 Основные функции терморегуляторов	15
1.2.2 Устройство и классификация терморегуляторов.....	15
1.2.3 Электронные регуляторы температуры	16
1.2.4 Электромеханические регуляторы температуры.....	17
1.2.5 Механические терморегуляторы - термостаты	19
1.3 Способы управления терморегуляторами	19
1.3.1 Терморегуляторы с аналоговым управлением.....	19
1.3.2 Терморегуляторы с цифровым управлением	20
1.4 Рекомендации по установке терморегуляторов.....	21
1.5 Аналитический обзор существующих технологических решений. Аналоги проектируемого устройства.....	22
1.5.1 Терморегулятор электронный ТР-1.....	22
1.5.2 Терморегулятор электронный микропроцессорный МПРТ-112.....	24
1.6 Основные принципы работы разрабатываемой микропроцессорной системы регулирования температуры.....	26
2 Расчетная часть. Проектирование микропроцессорной системы регулирования температуры.....	27

2.1	Разработка структуры микропроцессорной системы регулирования температуры	27
2.1.1	Синтез структурной схемы микропроцессорной системы регулирования температуры.....	27
2.1.2	Разработка функциональной схемы микропроцессорной системы регулирования температуры	28
2.2	Обоснование выбора датчиков и каналов связи	29
2.2.1	Выбор датчика измерения температуры.....	29
2.2.2	Выбор основных параметров каналов связи	33
2.3	Обоснование выбора элементной базы, характеристики используемых интегральных схем.....	35
2.3.1	Выбор аналого-цифрового преобразователя.....	35
2.3.2	Выбор микроконтроллера.....	39
2.3.3	Выбор микросхемы операционного усилителя.....	44
2.3.4	Выбор интегральных стабилизаторов.....	46
2.3.5	Выбор преобразователя сигналов с последовательного порта.....	49
2.4	Разработка алгоритма работы микропроцессорной системы регулирования температуры	50
2.5	Разработка принципиальной схемы системы.....	52
2.6	Обоснование выбора систем автоматизированного проектирования (САПР), используемых при разработке системы и проектировании печатной платы	53
3	Конструкторская часть. Техническая реализация микропроцессорной системы регулирования температуры	56
3.1	Конструкторско-технологическая реализация системы. Описание технологии изготовления печатной платы	56
3.2	Выбор инструментальной системы (программатора) и языка программирования для микроконтроллера.....	60
3.3	Временные диаграммы, отображающие работу микропроцессорной системы регулирования температуры.....	63
3.4	Тестирование и отладка микропроцессорной системы.....	64

4 Расчет общей стоимости владения микропроцессорной системой регулирования температуры	67
Заключение	70
Список литературы	72

Введение

В стремлении облегчить нашу жизнь, ученые придумали множество приборов, для работоспособности которых требуется постоянное поддержание одинаковой температуры. Так появились терморегуляторы.

Терморегулятором называется автоматическое устройство, которое используется для контроля и поддержания определенного температурного режима в заданном месте. Они широко используются как в промышленности, так и в повседневной жизни:

а) системы отопления и кондиционирования (терморегуляторы могут создать необходимый температурный баланс в зависимости от предназначения каждого помещения);

б) системы инфракрасного обогрева (именно за счет терморегулятора происходит временное отключение электрического инфракрасного обогревателя, когда в продолжении его работы нет необходимости);

в) подогрев полов;

г) бытовая техника (микроволновые печи, стиральные машины и т.д.);

д) пищевая промышленность.

Кроме того, терморегуляторы используются в химической промышленности в качестве комплектующего изделия в системах автоматике – участвуют в процессе термообработки лакокрасочных изделий.

Как правило, известные фирмы-изготовители выпускают терморегуляторы двух основных типов: к первому относятся устройства, способные поддерживать заданную температуру воздуха или поверхности обогревателя постоянно, руководствуясь пользовательскими настройками; второй тип - это программируемые устройства, которые способны поддерживать заданную температуру в то время, на которое он будет изначально запрограммирован.

Говоря о таких приборах, способных выполнять огромное количество функций, прежде всего, имеют в виду терморегуляторы премиального класса. Такие устройства обеспечивают простоту и удобство работы с ними, имеют

большое количество промежутков времени для удобства функционирования системы, дисплей, на котором отображается текущее состояние и презентабельный внешний вид.

Терморегуляторы играли и продолжают играть важнейшую роль в жизни человека. Эксплуатация этих устройств не вызывает трудностей, а надежность обеспечивает работу в течение многих лет.

Сегодня без них невозможно представить прогресс цивилизации. Можно смело говорить, что в будущем их значение будет только возрастать по мере развития науки и техники.

Целью бакалаврской работы является повышение эффективности процесса термообработки детали за счет контроля над изменением ее температуры и наглядного представления процесса термообработки в виде графиков.

Задачей бакалаврской работы является разработка и внедрение устройства под названием «Микропроцессорная система регулирования температуры для технологического процесса термообработки детали».

1 Аналитическая часть. Анализ основных особенностей регулирования температуры при термообработке деталей

1.1 Анализ основных принципов термообработки лакокрасочных изделий и работы термокамеры

Термическая обработка (термообработка) — выдерживание чего-либо при повышенной или пониженной температуре, либо соблюдение определенного температурного режима в течение определенного времени для придания необходимых свойств.

Термокамера (термическая печь) является одним из основных видов оборудования, которые обслуживают технологические процессы регулирования температуры в различных отраслях промышленности (пищевой, химической, в народном хозяйстве и др.).

В химической промышленности, для нагревания деталей при формировании покрытий возможны три способа:

а) конвективный подвод теплоты (энергия, необходимая для нагревания деталей, передается от горячего циркулирующего воздуха);

б) лучистый теплообмен (поверхность детали нагревается непосредственно в результате поглощения электромагнитного излучения без нагревания воздуха);

в) индукционный нагрев (энергия передается индуцируемыми электрическими вихревыми токами, генерирующими теплоту в металлической детали).

Данные принципы нагрева воплощаются в соответствующих конструкциях камер (печей), каждая из которых имеет свои особенности. Выбор той или иной конструкции зависит от типа имеющегося топлива, вида детали и т. п.

При использовании термокамер для сушки лакокрасочных изделий, в зависимости от способа нагрева деталей различают три вида термических камер:

а) конвективные печи;

б) терморadiационные печи;

в) индукционные печи.

1.1.1 Принципы работы конвективных печей

В печах конвекционного типа теплота передается детали и порошковой краске от нагретого воздуха, циркулирующего в замкнутом пространстве. Обычно воздух подается центробежным вентилятором по соответствующим распределительным воздуховодам.

Печь должна обеспечивать необходимую температуру и поддерживать ее постоянной (± 5 градусов). Конструкция печи состоит из следующих элементов:

- а) камера сжигания;
- б) тепловентиляционный центр с системой нагнетательных воздуховодов;
- в) вытяжной вентилятор;
- г) система управления и контроля.

Камера сжигания состоит из внутренней части, горелки и подающего вентилятора. Внутренняя часть камеры должна быть изготовлена из материалов, противостоящих коррозии и воздействию высоких температур (например, из алюминированной стали), кроме того должна быть предусмотрена дверца смотрового люка. Снаружи камера должна быть надлежащим образом теплоизолирована, чтобы предотвратить избыточное нагревание внешней ее части.

Горелка является важным составным элементом камеры сжигания. Тип горелки определяется поставщиком печи в соответствии с требованиями тепловой нагрузки (учитываются вес деталей, подвесок и элементов конвейера, а также потери теплоты с воздухом в окружающую среду).

Выбор теплоносителя производится с учетом экономических затрат. Чаще всего используют природный газ, пропан, нефть и электричество.

В конструкциях печей обычно применяют нагнетательные вентиляторы центробежного типа, способные работать при высоких температурах и нагрузках. Вентилятор должен иметь такую производительность, чтобы обеспечить многократный обмен воздуха в печи. Устанавливать вентиляторы желательно на уровне глаз (это облегчает их обслуживание).

Нагнетательные воздуховоды должны быть расположены таким образом, чтобы обеспечить равномерную подачу циркулирующего воздуха как по сечению, так и по всей длине печи.

Наиболее распространенные варианты размещения воздуховодов:

а) воздуховоды расположены на полу (поднимающийся вверх горячий воздух нагревает верхнюю часть печи). Такая конструкция осложняет очистку печи - возможны повреждения трубопровода;

б) воздуховоды расположены на крыше печи (специальные регулируемые сопла обеспечивают равномерное распределение теплого воздуха в пространстве печи). Такая система облегчает очистку печи и управление распределением теплоты;

в) комбинированная система воздуховодов, расположенных частично на полу, частично на крыше. Эту систему используют в высоких и больших печах.

Любая печь имеет вытяжной вентилятор. Его назначение - удаление побочных продуктов термообработки, быстрое освобождение печи от газа перед зажиганием горелки и предотвращение возможного задымления. Вытяжной вентилятор должен в течение часа несколько раз заменить весь объем воздуха в печи. Печи большого размера требуют наличия нескольких вентиляторов, чтобы обеспечить требуемый температурный режим.

Конвективные печи представляют собой металлический каркас, обшитый теплоизолирующими панелями. Изоляция должна выдерживать высокую температуру и надлежащим образом удерживать тепло. Для предотвращения утечки тепла из камеры печи, стыки панелей заполняют теплоизоляционным материалом. Использование материалов, которые обеспечивают гладкую поверхность внутренней обшивки, облегчает очистку и обслуживание камеры. Срок службы нагревательного оборудования должен составлять, по крайней мере, 20 лет.

Все управление печью выведено на панель автоматического контроля, где расположены приборы и устройства, необходимые для зажигания горелки и запуска вентиляторов, а также обеспечения безопасности процесса.

Температура печи контролируется соответствующими приборами. Входной сигнал с термопары, расположенной в камере печи, обеспечивает сигнал обратной связи с приборами контроля температуры. Термопара располагается в центре печи, она не должна подвергаться воздействию горячего воздуха, выходящего из нагнетательных воздухопроводов.

Существует несколько типов приборов для контроля температуры. Один из наиболее распространенных имеет аналоговую шкалу с заданными значениями параметров и реальными температурами печи, указываемыми стрелочными индикаторами. Такой блок соединяется с самописцем, который показывает температуру печи в данный момент времени.

Все большую популярность приобретают цифровые приборы контроля благодаря простоте их эксплуатации. Они не только указывают заданные значения и рабочую температуру, но также фиксируют на дисплее любой аномальный параметр.

Автоматические системы управления температурой печи очень полезны в тех случаях, когда конвейер останавливается. Они автоматически регулируют температуру печи в сторону уменьшения, снижая вероятность перегрева покрытий в печи. При таком управлении затраты на обслуживание печи уменьшаются.

Конвективные печи подразделяют на две основные группы: с открытым типом горения (пламя горелки непосредственно нагревает циркулирующий воздух) и закрытым (дымовые газы нагревают воздух в воздухоподогревателе-калорифере).

Печи с закрытым типом горения чаще всего используются, когда нельзя допустить загрязнения покрытий побочными продуктами сгорания топлива, а также используются в тех случаях, когда продукты горения могут вступать в реакцию с компонентами лакокрасочного материала или выделяющимися из него при разложении летучими соединениями.

Как правило, печи с закрытым типом горения более дорогие вследствие того, что требуется устанавливать дополнительно воздухоподогреватель и

воздуховоды. Более того, они могут потребовать больших производственных площадей ввиду установки дополнительного оборудования.

Обычно печи с закрытым типом горения менее эффективны, что связано с увеличением расхода топлива, и являются более затратными.

1.1.2 Принципы работы терморрадиационных печей

В таких печах для нагрева изделий и краски используют энергию инфракрасного излучения. Обычно энергоносителем в них служит электричество либо газ. Такие нагревательные устройства эффективны, однако иногда инфракрасные печи, как электрические, так и газовые, ограничены в применении. Они непригодны из-за прямого излучения для термообработки изделий разной толщины и деталей сложной формы. Покрытия на таких изделиях могут быть получены только в конвективной либо комбинированной инфракрасной конвективной печи.

В инфракрасной ИК печи можно нагреть покрытие до температуры отверждения в несколько раз быстрее, чем в конвективной. Высокие скорости ИК нагрева позволяют формировать покрытия, не прибегая к полному нагреванию всей массы изделия. Можно быстро нагреть поверхность и так же быстро охладить ее. Таким образом, общее время обработки значительно уменьшается.

По конструкции печи ИК нагрева отличаются от нагревательных устройств конвективного типа. Они могут быть непрерывного и периодического действия и различаться типом применяемых излучателей - длинноволнового, средневолнового и коротковолнового излучения.

Коротковолновые излучатели обеспечивают самые высокие скорости нагрева (температура 1600-2000 °С). Вольфрамовые лампы накаливания (коротковолновые) преобразуют свыше 80% электрической энергии в излучение и обеспечивают достижение рабочих температур за доли секунды.

Средневолновые излучатели обеспечивают температуру от 800 до 1250 °С. Самый распространенный излучатель этого типа - кварцевый трубчатый нагреватель, в котором в качестве нити накаливания обычно используется

проволока из хром-никеля. Средневолновые излучатели преобразуют от 60 до 80% энергии в ИК-излучение, остальная энергия преобразуется в конвективную теплоту.

Длинноволновые излучатели обычно представляют собой металлическую излучающую трубку, функционирующую в интервале температур от 400 до 600 °С. Длинноволновые излучатели, преобразуют от 50 до 70% энергии в ИК-излучение.

Наиболее важным фактором при выборе нужного ИК излучателя является общая тепловая мощность, воздействующая на поверхность изделия. Многие типы излучателей могут быть отрегулированы на широкий диапазон тепловой мощности посредством изменения их рабочих температур.

Способ ИК нагрева имеет ряд достоинств:

- а) гибкость управления установками;
- б) высокая скорость нагрева и повышенная энергоэффективность;
- в) компактность размещения установок;
- г) малое воздействие на окружающую среду.

Одна из основных причин успеха ИК установок - удобство управления ими. В конвективной печи невозможно быстро изменить скорость нагревания обрабатываемой детали. В то же время средневолновые ИК излучатели могут включаться и выключаться с интервалом приблизительно 1 мин, а коротковолновые излучатели - от 1 до 5 с. Могут также быть использованы контроллеры включения/выключения различной мощности, чтобы обеспечить широкий диапазон управления посредством регулирования мощности излучателей.

Для оценки температуры изделия и ее автоматической регулировки также могут применяться оптические пирометры.

ИК печи позволяют нагревать детали намного быстрее по сравнению с конвективными печами. Изменяя удельные мощности, можно существенно регулировать цикл нагрева в сторону уменьшения или увеличения.

В случае окрашивания пластмассовых деталей в результате большой

скорости ИК нагрева можно уменьшить риск деформации их поверхности.

Вследствие высокой эффективности ИК нагрева стоимость ИК отверждения покрытий может быть сравнима и даже ниже, чем при использовании газа (конвективной печи).

Обычно ИК нагревательные устройства требуют намного меньшей площади пола для установки по сравнению с конвективными печами. Фирмы, располагающие конвективной печью и желающие увеличить выпуск окрашенных изделий за счет увеличения скорости конвейера, могут установить компактную ИК печь (обычно длиной от 1 до 3 м) перед имеющейся конвективной печью.

Следует отметить, что использование электрических ИК установок может помочь изготовителю покрытий выполнить жесткие требования по защите окружающей среды (здесь отсутствуют побочные продукты сгорания, которые должны выводиться и обезвреживаться).

Нередко для отверждения покрытий, получаемых из порошковых красок, используют нагревательные устройства комбинированного типа - последовательно устанавливают печи ИК и конвективного нагрева. ИК печь функционирует в качестве «тихой зоны», порошок в ней расплавляется без сдувания с детали. Конвективная печь завершает процесс формирования покрытия.

1.1.3 Принципы работы индукционных и других печей

Индукционный способ обычно используется для предварительного нагревания деталей перед нанесением порошковой краски. Он является достаточно быстрым и эффективным. Индукционные печи нашли широкое применение при окрашивании порошковыми красками труб. Нанесение покрытий в этом случае может быть осуществлено при высоких скоростях и при толщине покрытия свыше 250 мкм.

Нередко применяют комбинированные печи для сушки изделий и отверждения покрытий. Наиболее распространенная комбинированная система - это когда в одной печи сушат изделия от воды и формируют покрытие. Такая

печь может иметь один нагревательный блок, общую систему вентиляции и общую панель управления. Она пригодна при небольших объемах производства и имеет более низкий расход топлива. При этом, однако, могут возникать проблемы вследствие перегрева деталей при сушке (нарушение фосфатного слоя), если температура отверждения покрытия достаточно высока.

Возможна и другая аналогичная система, отличающаяся тем, что сушильную печь располагают под печью отверждения покрытий. В данном случае достигается экономия площади и снижаются эксплуатационные затраты из-за уменьшения теплопотерь.

1.2 Анализ основных особенностей регуляторов температуры, используемых для управления процессом термообработки

1.2.1 Основные функции терморегуляторов

Основными функциями терморегуляторов, прежде всего, являются поддержка выбранного температурного режима и обеспечение дополнительной экономии электроэнергии.

Экономическая целесообразность является важным аргументом в пользу применения терморегуляторов. К примеру, при использовании терморегуляторов в системах отопления, по данным специалистов, экономия может достигать 50%, а во многих развитых странах такие приборы устанавливаются практически во всех помещениях.

Относительно применения терморегуляторов в химической промышленности, можно сказать, что эти устройства являются неотъемлемой частью процесса термообработки деталей (лакокрасочных изделий), поскольку без них невозможно функционирование автоматических систем термической обработки.

1.2.2 Устройство и классификация терморегуляторов

Терморегулятор обладает встроенным или выносным (возможно и обоими сразу) термодатчиком, который устанавливается в свободной от прямого воздействия отопительных приборов зоне и снабжает терморегулятор информацией о температуре воздуха в зоне расположения самого термодатчика.

Устройство электронного терморегулятора изображено на рисунке 1.1.

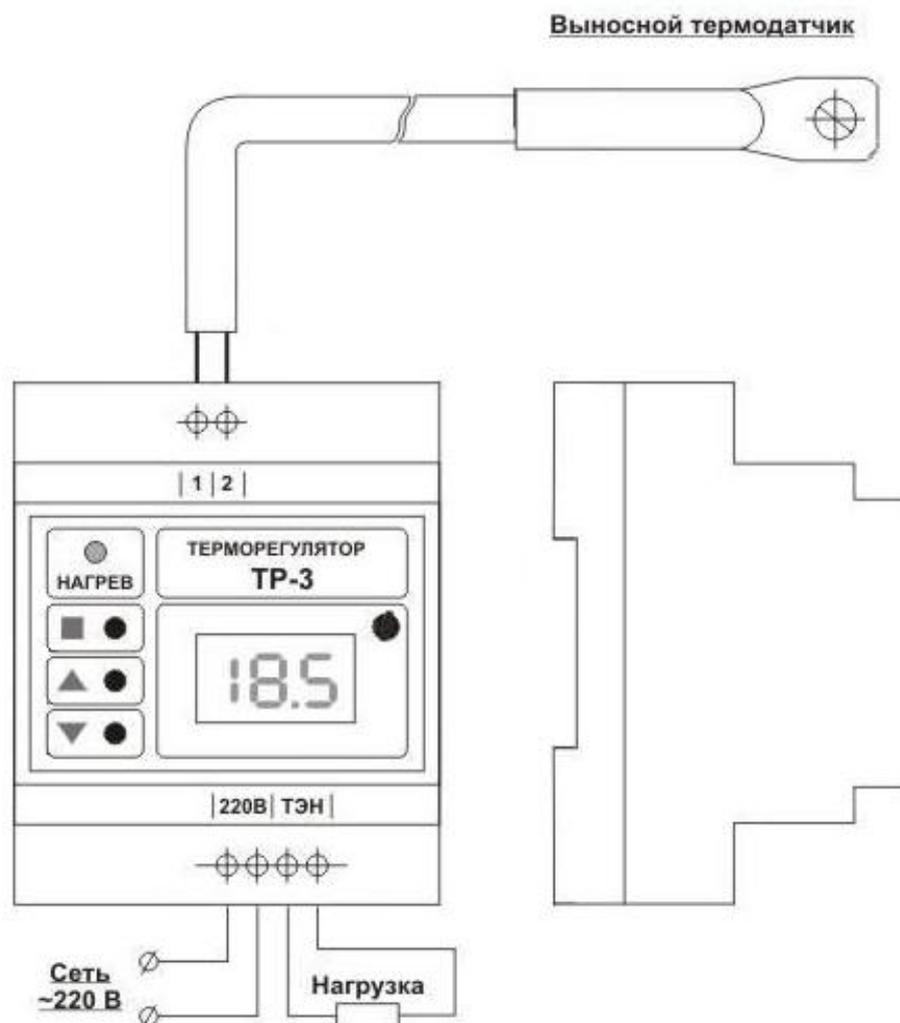


Рисунок 1.1 – Устройство электронного терморегулятора.

Датчики температур для терморегуляторов существуют в различных исполнениях. Как правило, они представляют собой трубку из нержавеющей стали с крепежными элементами (обычно резьбовая подвижная или неподвижная втулка) и головкой для подключения соединительных проводов.

Классификация терморегуляторов приведена на рисунке 1.2.

1.2.3 Электронные регуляторы температуры

Электронный терморегулятор - прибор с электромеханическим управлением и электронным датчиком температуры. Электронный датчик не имеет механической связи с терморегулятором и реагирует непосредственно на изменение температуры воздуха в камере.

Конструктивно состоят из трех основных частей - датчика температуры, устройства обработки сигнала – процессора, и управляющей, коммутирующей

части - реле или электронных ключей.

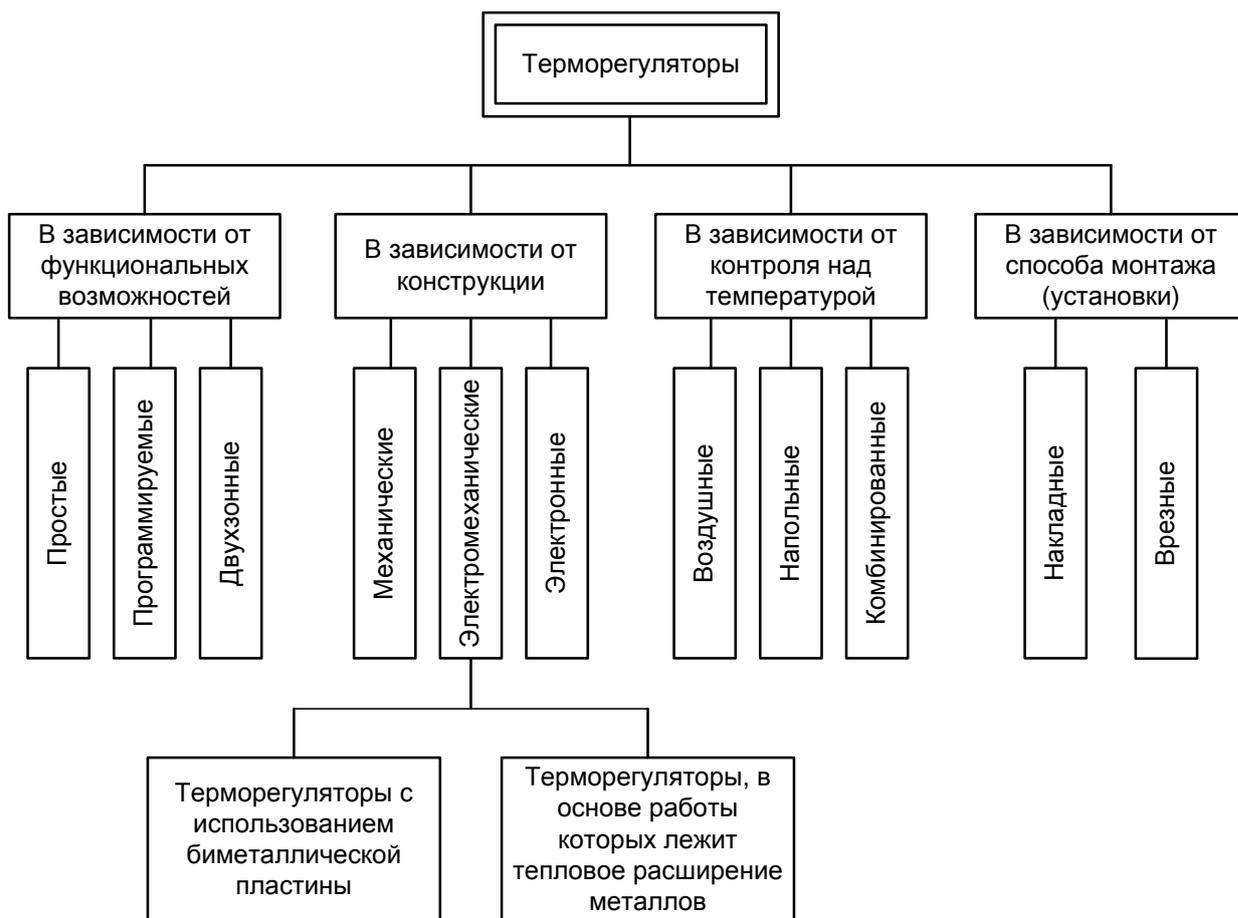


Рисунок 1.2 – Классификация терморегуляторов.

Основное преимущество электронных терморегуляторов - точность регулирования заданной температуры, простота монтажа и управления, надежность. Многие модели терморегуляторов позволяют программировать не только температуру, но и время включения - отключения нагрузки, что позволяет значительно экономить средства, а также поддерживать температуру в достаточно точном диапазоне.

Электронный терморегулятор можно использовать для регулировки температуры и поддержки постоянной температуры для кварцевых генераторов, всевозможных нагревателей там, где требуется поддержка постоянной температуры или температуры в каком-то пределе от и до.

1.2.4 Электромеханические регуляторы температуры

Нагревают и регулируют температуру одновременно. Существует 2 вида электромеханических регуляторов: регуляторы с использованием биметаллической пластины (чайники, обогреватели, электрические плиты) и

регуляторы, в основе работы которых лежит свойство расширения металлов при воздействии на них температуры (самый простой пример – обычный бойлер для нагрева воды)

Существует множество типов электромеханических реле. Ниже представлены самые распространенные:

1. Двухпозиционные терморегуляторы, которые применяются в утюгах, электрических плитах, различных обогревателях - состоят из биметаллической пластины и контактной группы. Такие терморегуляторы дешевы, надежны и характеризуются высокой устойчивостью к электрическим помехам. Применено систем отопления, ручной электромеханический регулятор позволяет сэкономить до 30% электричества, тогда как программируемый — до 50%.

Их принцип действия основывается на свойстве биметаллической пластинки изгибаться под воздействием температурных изменений. При нагреве пластина выгибается, размыкая при этом контактную группу, электричество перестает поступать на нагрузку - нагревательный элемент (ТЭН, спираль). Остывая, пластина возвращается в свое первоначальное положение, замыкая при этом контакт, электричество опять поступает на нагрузку. И так циклически, вследствие чего и поддерживается необходимая температура.

Недостатком биметаллических терморегуляторов является большое отклонение от заданного значения температуры в условиях нагрузки ниже номинальной. Кроме того, биметаллические терморегуляторы не являются бесшумными: при замыкании цепи они производят щелчок.

Биметаллические терморегуляторы следует применять в тех помещениях, в которых незначительное отклонение комнатной температуры от заданной при изменении потребности в тепловой энергии приемлемо и контролируемая нагрузка значительно ниже номинальной нагрузки терморегулятора.

2. В основу работы второго типа реле взято свойство расширения материалов при воздействии на них температур.

Примером данного типа реле является терморегулятор в обычном бытовом бойлере для нагрева воды. Он состоит из полый трубки с веществом внутри,

трубка эта находится в емкости с водой.

При нагреве воды, под воздействием температуры, вещество в трубке расширяется и посредством привода, замыкает или размыкает контактную группу, поддерживая тем самым температуру в бойлере.

Электромеханический терморегулятор имеет повышенную инерционность и поэтому увеличенный диапазон регулирования температур. При значительном изменении окружающей температуры возникает необходимость изменения установки терморегулятора.

1.2.5 Механические терморегуляторы - термостаты

Данный тип терморегуляторов является одним из самых распространенных. В частности, используется в системах централизованного отопления. Внешне они напоминают обыкновенные запорные краны.

Применение таких регуляторов температуры позволяет регулировать и поддерживать температуру в заданных пределах для каждого отдельно взятого помещения.

Конструктивно такие терморегуляторы относительно просты и надежны, и состоят из термобаллона со штоком. При нагревании вещество в баллоне расширяется, выдвигая шток, который в свою очередь частично перекрывает подачу воды в радиатор. Этот же принцип работы применяется и в автомобильных термостатах.

1.3 Способы управления терморегуляторами

1.3.1 Терморегуляторы с аналоговым управлением

Терморегуляторы различаются по способу управления — ручное или автоматическое.

На сегодняшний день существуют различные конструкции терморегуляторов как ручных, так и программируемых. Самые современные терморегуляторы снабжены электронными системами автоматики с несколькими программами, что делает их значительно более экономичными, чем ручные.

Терморегуляторы с аналоговым управлением предназначены для управления работой нагревательных приборов, отопительных систем, систем

горячего водоснабжения и прочих устройств, требующих контроля температуры.

Диапазон температур, в котором могут работать такие терморегуляторы, определяется типом датчика и, как правило, составляет от -40 до +140 °С, однако, серийно выпускаются терморегуляторы нескольких более узких стандартных диапазонов:

а) терморегуляторы с диапазоном температур от 0 до +30 °С - применяются в овощехранилищах, оранжереях, теплицах, для управления работой отопительных приборов по температуре воздуха, в канальных калориферах и пр.;

б) терморегуляторы с диапазоном температур от +35 до +95 °С - для поддержания температуры воды в системах горячего водоснабжения или температуры теплоносителя в отопительных системах;

в) терморегуляторы с диапазоном температур от +60 до +140 °С - применяется при управлении работой электропечей для саун, тепловых пушек и пр.;

г) терморегуляторы с диапазоном температур от +5 до +55 °С - универсальный диапазон: теплый пол, калорифер, конвектор и пр.

В терморегуляторах с аналоговым управлением в качестве датчика температуры, как правило, используется потенциометр с оцифрованной шкалой. Установка температуры производится вращением ручки, расположенной в центре шкалы. Такие системы обычно имеют индикацию «СЕТЬ ВКЛЮЧЕНА» и «НАГРЕВ ВКЛЮЧЕН», иногда индицируется аварийное состояние датчика (обрыв, замыкание). Наиболее часто они используются в несложных системах отопления, теплоснабжения, управления простыми технологическими процессами, в качестве аварийных датчиков температуры и пр.

1.3.2 Терморегуляторы с цифровым управлением

В терморегуляторах с цифровым управлением, параметры задаются посредством клавиатуры, а их значения, при установке или работе, отображаются на цифровом дисплее. Терморегуляторы данного типа позволяют не только поддерживать постоянную температуру, используя стандартные

законы регулирования, но и управлять ею во времени, с помощью таймера, задатчика скорости нагрева или охлаждения и т.д.

Терморегуляторы с цифровым управлением используются для комплексного управления сложными системами, где требуется контроль оборудования или технологического процесса по многим параметрам и управление ситуацией не только в зависимости от температуры, но и от времени, влажности и прочих условий. Возможность визуального контроля значений текущих и установленных параметров значительно увеличивает удобство и гибкость управления процессом.

Рабочий диапазон температур этих терморегуляторов определяется типом используемого термодатчика.

1.4 Рекомендации по установке терморегуляторов

В зависимости от способа монтажа, терморегуляторы могут крепиться на поверхности стены (накладные) либо встраиваться в монтажный короб (врезные); рекомендуется располагать их в непосредственной близости от выключателей освещения и розеток.

Выходным сигналом терморегуляторов, производимых для бытового использования, как правило, является напряжение 220В, что позволяет неподготовленному пользователю легко и быстро подключать к ним нагрузку. У несложных промышленных устройств на клеммник, обычно, выводится группа контактов, работающих на переключение. Это определяет их большую универсальность, например, возможность подключения потребителей как на 220В, так и на 380В. Наконец, выходной сигнал систем, использующих ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциальный) закон регулирования рассчитан на управление внешним коммутатором, например, тиристорным или релейным.

Все терморегуляторы могут поставляться в виде:

а) отлаженных и настроенных плат, предназначенных для последующей установки в изделия;

б) электронных блоков в корпусе, рассчитанных на комплектацию ими щитов или шкафов управления (заказчик сам ставит автоматы, пускатели, силовые клеммники и пр.). Мощность и схема работы в этом случае определяется схемой соединения и параметрами внешних элементов;

в) готовых щитов или шкафов управления с устройствами защиты и коммутации (могут использоваться как магнитные пускатели, так и тиристорные коммутаторы). В данном случае параметры системы определяются конструкцией конкретного изделия.

1.5 Аналитический обзор существующих технологических решений.

Аналоги проектируемого устройства

1.5.1 Терморегулятор электронный ТР-1

К аналогам разрабатываемой микропроцессорной системе относится терморегулятор электронный ТР-1 (рисунок 1.3) от компании «Электропроект». Прибор предназначен для поддержания заданной температуры среды путем коммутации нагревательных элементов в режиме обогрева или вентиляторов в режиме охлаждения среды. Регулирование температуры осуществляется при помощи выносного датчика.



Рисунок 1.3 – Терморегулятор электронный ТР-1.

Температура включения задается кнопкой программирования в тот момент, когда температура среды соответствует температуре, которую необходимо поддерживать. Постоянное горение светодиодного индикатора во

время работы термореле сигнализирует о включенной нагрузке; редкое мигание – о рабочем состоянии термореле.

Регулятор температуры выполнен в пластмассовом корпусе со степенью защиты IP54, имеет выносной термодатчик со степенью защиты IP68 и длиной провода 1 м.

Технические характеристики терморегулятора ТР-1:

- а) номинальное напряжение - 220В;
- б) номинальная частота – 50 Гц;
- в) максимальный ток нагрузки – 16 А;
- г) напряжение нагрузки – 220В;
- д) мощность, потребляемая терморегулятором - не более 3,5 Вт;
- е) пределы поддержания температуры - от -15 до +90 °С;
- ж) точность поддержания температуры - $\pm 0,5$ °С;
- з) разность температур включения и выключения - от 1 до 30 °С;
- и) габаритные размеры - не более 180x180x60 мм;
- к) пределы поддержания температуры по умолчанию - от +3 до +5 °С;
- л) масса терморегулятора - не более 0,15 кг;
- м) допустимые колебания напряжения электросети - $\pm 10\%$ от номинального;
- н) температура окружающей среды - $-45 \dots +40$ °С.

Конструктивно ТР-1 смонтирован на текстолитовой печатной плате, установленной внутри пластмассового корпуса. Подключение нагрузки и напряжения питания электронной платы производится через соединительные колодки. Схема терморегулятора выполнена на новой элементной базе с использованием микроконтроллера.

При подготовке терморегулятора к работе, необходимо закрепить его на плоской поверхности; затем подключить провода питания электронной платы через колодку «Сеть ~ 220В», а провода питания нагревательных элементов к контактам 1 и 2 колодки XS3 «Нагрузка», или вентиляторов к контактам 1 и 3 колодки XS3 «Нагрузка»

Терморегулятор (по умолчанию) настроен предприятием-изготовителем на температуру включения нагрузки $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отключения $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Перед эксплуатацией терморегулятор необходимо перепрограммировать на температуру, которую нужно поддерживать пользователю (программирование производится при помощи многофункциональной кнопки).

Хранить терморегулятор необходимо в сухом отапливаемом помещении при отсутствии в воздухе кислотных, щелочных и других агрессивных примесей при температуре от 5 до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, и относительной влажности воздуха не более 80% .

1.5.2 Терморегулятор электронный микропроцессорный МПРТ-112

МПРТ-112 - двухступенчатый терморегулятор (рисунок 1.4) от компании «ПЭЛЗ», содержит в своем составе два реле, для которых можно задать свою установку срабатывания. Такой прибор позволяет более точно управлять температурой, быстро выводить объект (например, печь) на рабочий режим и поддерживать постоянную температуру, используя минимальную мощность.



Рисунок 1.4 – Терморегулятор с цифровым управлением МПРТ-112.

Терморегулятор управляет работой нагревательных приборов, отопительных систем горячего водоснабжения.

Технические характеристики терморегулятора МПРТ-112:

- а) тип датчика - ТХА, ТХК, КТУ 81-110;
- б) напряжение питания переменное 220В, 50-60 Гц;
- в) диапазон регулирования температуры – зависит от типа датчика;

- г) выходной управляющий сигнал - переключающийся контакт;
- д) нагрузочная способность контактов – 3 А;
- е) максимальная длина провода датчика - 7 м;
- ж) крепление - настенное на DIN-рейку;
- з) габаритные размеры - 68x90x65 мм.

Рабочие условия эксплуатации:

- а) температура окружающей среды -40 до +50 °С;
- б) относительная влажность воздуха до 80% при температуре 25 °С;
- в) атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа (630-800 мм.рт.ст.).

В комплект поставки входят терморегулятор, технический паспорт и датчик температуры.

В данном терморегуляторе на лицевой панели корпуса располагаются светодиодные индикаторы и кнопки управления. Сверху установлен клеммник для подключения напряжения питания и исполнительных устройств, снизу подключаются термодатчики.

Работа терморегулятора осуществляется следующим образом: выходной сигнал датчика температуры попадает в прибор, где будет преобразован микропроцессорным устройством и, в зависимости от отношения фактической и установленной температур, система управления включит или выключит выходное реле. С целью универсальности использования прибора на клеммник выведены переключающие контакты этого реле.

Чтобы подключить прибор, необходимо подсоединить провода питания исполнительных устройств и датчика к клеммнику. При подсоединении внешних коммутирующих приборов к цепи управления их нужно защитить предохранителями на ток не более 2 А. Термодатчик вставляется в термометрическую гильзу либо закрепляется в месте контроля температуры.

Разницу температур включения и выключения можно регулировать.

В процессе работы значение установки температуры можно менять клавишами на лицевой панели. Более точная настройка прибора производится посредством инженерного меню.

1.6 Основные принципы работы разрабатываемой микропроцессорной системы регулирования температуры

Разрабатываемая микропроцессорная система позволит осуществлять контроль над температурой в термической камере, а также устанавливать и изменять время пропарки изделий.

С помощью аналого-цифрового преобразователя выходной аналоговый сигнал датчика температуры будет преобразовываться в цифровой, понятный для обработки управляющему устройству.

Управляющая шина будет подключаться к исполнительным устройствам, которые в свою очередь включают или отключают нагревательные элементы в зависимости от логического уровня на шине.

Изменение температуры в термической печи будет осуществляться посредством ввода определенного значения с клавиатуры персонального компьютера. При изменении температуры в термокамере, микропроцессорная система зафиксирует изменение и в соответствии с заданным значением, увеличит или уменьшит текущее значение температуры.

Контроль времени пропарки будет осуществляться программно, с использованием внутреннего таймера контроллера. Также, в ходе отсчета времени, будет предусмотрена возможность остановки управляющего устройства и изменения времени пропарки путем ввода значения с клавиатуры компьютера.

Логика работы микропроцессорной системы будет представляться на графиках, передача которых в компьютер будет осуществляться посредством COM-порта, с помощью специального интерфейсного преобразователя.

2 Расчетная часть. Проектирование микропроцессорной системы регулирования температуры

2.1 Разработка структуры микропроцессорной системы регулирования температуры

2.1.1 Синтез структурной схемы микропроцессорной системы регулирования температуры

Синтез структурной схемы сводится к построению основных блоков локального регулятора температуры:

- а) аналого-цифровой преобразователь;
- б) контроллер;
- в) датчик (терморезистор);
- г) интерфейсный преобразователь.

На рисунке 2.1 приведена структурная схема микропроцессорной системы регулирования температуры.

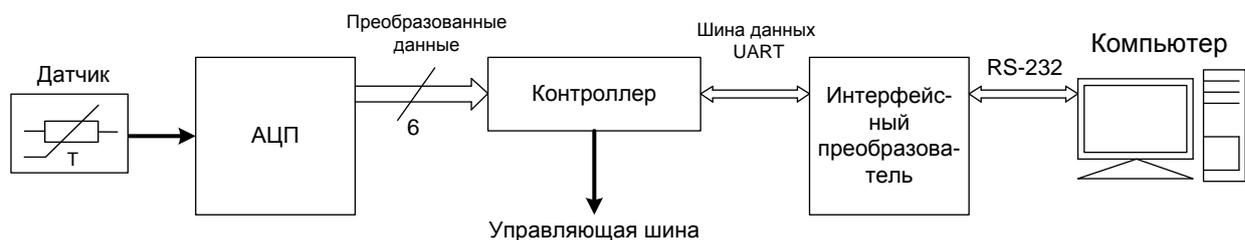


Рисунок 2.1 - Структурная схема микропроцессорной системы регулирования температуры.

Датчиком измерения температуры является терморезистор, который изменяет свое сопротивление с зависимости от изменения температуры. Устройство содержит один такой датчик и разъем для подключения дополнительных терморезисторов.

Для обеспечения передачи информации от микропроцессорной системы регулирования температуры к компьютеру служит последовательный СОМ-порт. Так как последний имеет передачу КМОП уровня (высоковольтная передача -15...+15В), а микроконтроллер - низковольтную (ТТЛ - уровень), будет использоваться специальный интерфейсный преобразователь, который

совместит передачу по СОМ-порту.

Управляющая шина подключается к исполнительным устройствам, которые в свою очередь включают или отключают нагревательные элементы в зависимости от логического уровня на шине.

Для управления микропроцессорной системы не требуется компьютер с высокими системными требованиями, однако наличие СОМ-порта обязательно.

Шина данных UART – это шина, по которой будет передаваться информация в соответствии стандарту RS-232. Данные, поступившие на вход интерфейсного преобразователя, формируются в соответствующем виде и поступают на порт персонального компьютера. Преобразованные данные состоят из последовательности бит, которые в совокупности представляют собой измеряемую температуру.

2.1.2 Разработка функциональной схемы микропроцессорной системы регулирования температуры

Для построения функциональной схемы необходимо определить микросхемы, которые будут использоваться в разрабатываемой микропроцессорной системе. В таблице 2.1 приведены компоненты, входящие в состав функциональной схемы.

Таблица 2.1 – Компоненты функциональной схемы

Тип микросхемы	Функциональное назначение
AT90S2313PC	Однокристалльный восьмиразрядный микроконтроллер фирмы Atmel
KP1107ПВ1А	Аналого-цифровой преобразователь
KP140УД708	Операционный усилитель
KP142ЕН5А	Интегральный стабилизатор питания +12в
KP142ЕН6Б	Интегральный стабилизатор двуполярного питания +5в, -5в
ТСПТ 305	Термометр сопротивления платинового типа
МАХ232	Интерфейсный преобразователь КМОП-ТТЛ

На рисунке 2.2 представлена функциональная схема микропроцессорной

системы регулирования температуры.



Рисунок 2.2 - Функциональная схема микропроцессорной системы регулирования температуры.

Для обеспечения стабильности питания устройства применяются два интегральных стабилизатора. Питание интерфейсного преобразователя обеспечивается микросхемой KP142EH5A. Микросхема KP142EH6B обеспечивает питание аналого-цифрового преобразователя, операционного усилителя и контроллера AT90S2313. Для получения кода температуры на линию строба подается сигнал равный логической единице. Сигнал формируется от микроконтроллера с частотой $10 \text{ Гц} = 100 \text{ мсек}$ и передается по общей шине данных.

2.2 Обоснование выбора датчиков и каналов связи

2.2.1 Выбор датчика измерения температуры

Термометром сопротивления называется датчик измерения температуры, который может быть выполнен из металлического или полупроводникового материала (термистор). Принцип действия терморезистора заключается в изменении электрического сопротивления чистых металлов, сплавов и полупроводников в зависимости от температуры.

Платиновые терморезисторы - наиболее распространенный тип термометров сопротивления (широко используются в промышленности всех стран). Это объясняется высоким температурным коэффициентом платины, ее устойчивостью к окислению и хорошей технологичностью.

Общий вид платинового термометра сопротивления и его чувствительного элемента представлен на рисунке 2.3.

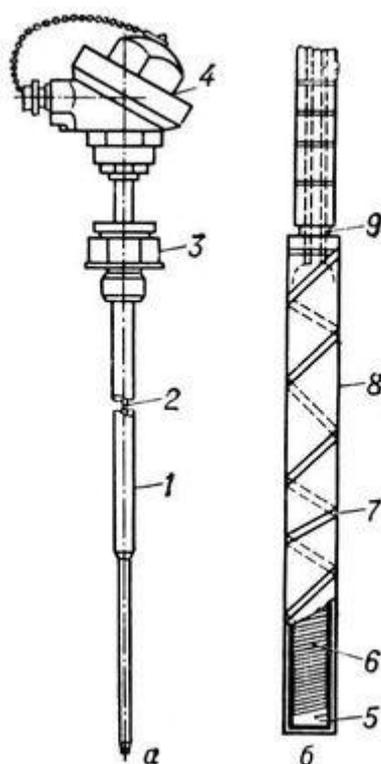


Рисунок 2.3 - Общий вид платинового термометра сопротивления (а) и его чувствительный элемент (б).

На рисунке обозначено: 1 — стальной чехол; 2 — чувствительный элемент; 3 — штуцер для установки термометра; 4 — головка для присоединения термометра к электроизмерительному прибору; 5 — слюдяной каркас; 6 — бифилярная обмотка платиновой проволоки; 7 — серебряная лента; 8 — слюдяная накладка; 9 — серебряные выводы.

Преимущества платиновых терморезисторов:

д) самый широкий диапазон температур (рекомендуемый рабочий диапазон от -196 до 600 °С);

е) высокая стабильность и точность измерений (обычно лучше ± 1 °С), может достигать до $0,01$ °С;

ж) характеристика сопротивление - температура близка к линейной;

з) для изготовления чувствительного элемента требуется небольшое количество платины;

и) возможность исключения влияния изменения сопротивления линий связи на результат измерения при использовании трех- или четырехпроводной схемы измерений.

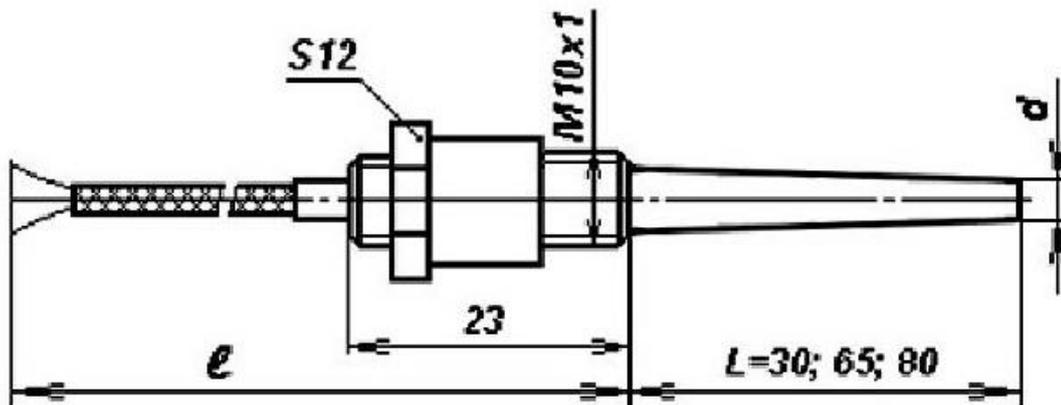
К недостаткам можно отнести малый диапазон измерений по сравнению с термопарами, и необходимость использования для точных измерений трех- или четырехпроводной схемы включения, т.к. при подключении датчика с помощью двух проводов, их сопротивление включается измеренное сопротивление термометра. Трехпроводная схема включения обеспечивает значительно более точные измерения, за счет того, что появляется возможность измерить отдельно сопротивление подводящих проводов и вычесть его из суммарного измеренного сопротивления.

Однако эти недостатки не являются приоритетными в выборе терморезистора для разрабатываемой микропроцессорной системы. К тому же никелевые термометры сопротивления не подходят вследствие очень ограниченного диапазона температур (от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $180\text{ }^{\circ}\text{C}$) и низкого удельного сопротивления, что обуславливает необходимость использования проволоки значительной длины. Медные терморезисторы характеризуются непредсказуемыми гистерезисами характеристики при превышении точки Кюри ($352\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Исходя из этих соображений, в качестве датчика измерения температуры для разрабатываемой микропроцессорной системы был выбран термометр сопротивления платинового типа (модификация 305-072) производственной компании «Тесей». Внешний вид и габариты ТСПТ 305 представлены на рисунках 2.4 и 2.5 соответственно.



Рисунок 2.4 - Внешний вид ТСПТ 305.



ТСПТ 305-072

Рисунок 2.5 - Термометр сопротивления платинового типа 305.

Для подключения датчика в измерительную цепь используются провода в оболочке из стеклонити, армированные гальванизированной стальной проволокой.

Технические характеристики термометра сопротивления платинового типа ТСПТ 305:

а) диапазон рабочих температур (T_r) и номинальная температура применения (T_n), °С - в зависимости от номинальной статической характеристики (НСХ) и классов допуска представлен в таблице 2.2;

б) материал защитного чехла – латунь;

в) время термической реакции - не более 16 с.

Таблица 2.2 – Диапазон рабочих температур и номинальная температура применения для ТСПТ 305

Тип ТС	Модификация	Номинальная статическая характеристика	Класс допуска	Диапазон рабочих температур, °С
ТСПТ	305	Pt100, Pt500	AA	От -50 до 150 (250*)
			A	От -50 до 300 (450*)
			B,C	От -50 до 500 (600*)
		50П, 100П	AA	От -50 до 250
			A	От -50 до 450
			B,C	От -50 до 600

* - чувствительный элемент платиновый проволочный ($\alpha=0,00385^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Перечень основных исполнений термометров сопротивления конструктивных модификаций 305 (представлен в таблице 2.3):

а) длина монтажной части (L), ГОСТ Р 8.625-2006: 60, 80, 100 мм;

б) длина удлинительных проводов (l) выбирается из ряда: 500; 800; 1000; 1600; 2000; 2500; 3150 мм.

Таблица 2.3 – Перечень основных исполнений термометров модификаций 305

Тип ТС	Конструктивная модификация		НСХ	Кл.Сх.	Диаметр d, мм	Длина монтажной части, L, мм		Мах длина проводов, l, мм
	Модификация	Типовой вариант*				min	max	
ТСПТ	305	-072	50П, 100П, Pt100W	А3, А4, В3, В4, С3, С4	6.6	65		3150
			Pt100, Pt500			30		
			100П, Pt100W	В2, С2		65		1000
			Pt100			30		1000
		Pt500				3150		

* - обозначение и описание проводов удлинительных.

2.2.2 Выбор основных параметров каналов связи

Разрабатываемая микропроцессорная система регулирования температуры использует СОМ-порт для передачи данных от управляющего устройства к персональному компьютеру. В ПК переданная информация обрабатывается соответствующим образом и выводится на монитор.

СОМ-порт (последовательный порт) - это двунаправленный последовательный интерфейс, предназначенный для обмена битовой информацией (информация передается по одному биту - бит за битом в отличие от параллельного порта).

В настоящее время СОМ-порт присутствует на всех современных компьютерах и используется в промышленном и узкоспециальном оборудовании. Если ранее он использовался для подключения терминала, модема или мыши, то сейчас он используется для соединения с источниками бесперебойного питания, для связи с аппаратными средствами разработки встраиваемых вычислительных систем, спутниковыми ресиверами, а также с приборами систем безопасности объектов.

Для разрабатываемой микропроцессорной системы последовательный порт

был выбран вследствие высокой помехоустойчивости, что достигается за счет высоковольтной передачи данных, а также компактности шины, состоящей всего из трех проводов.

Наиболее часто для передачи данных через последовательный порт персональных компьютеров используется стандарт RS-232C.

RS-232 — стандарт последовательной синхронной и асинхронной передачи двоичных данных между терминалом (Data Terminal Equipment, DTE) и коммуникационным устройством (Data Communications Equipment, DCE).

RS-232 является интерфейсом передачи информации между двумя устройствами на расстоянии до 15 метров. Информация передается по проводам с уровнями сигналов, которые отличаются от стандартных 5В, с целью обеспечить большую устойчивость к помехам. Логический «0» - положительное напряжение (от +5 до +15В для передатчика), а логическая «1» - отрицательное напряжение (от -5 до -15В для передатчика). Приемник воспринимает сигналы от +3 до +25В для логического «0», и от -3 до -25В для логической «1». Асинхронная передача данных реализуется с определенной скоростью при синхронизации уровнем сигнала стартового импульса. Данные передаются пакетами по 8 бит (1 байт).

На материнских платах ведущих производителей (например, Intel) или в готовых системах (например, IBM или Hewlett-Packard) для последовательного порта принято условное обозначение, представленное на рисунке 2.6.

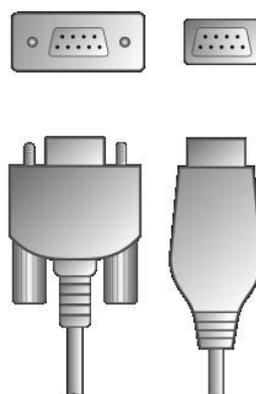


Рисунок 2.6 - Варианты разъема COM-порта типа DE-9F.

Наиболее часто используются стандартизированные в 1969 году D-образные разъемы: 9-ти и 25-ти контактные, (DE-9 и DB-25 соответственно). 9-

контактный разъем (DB-9) изображен на рисунке 2.7. Максимальная скорость передачи, в обычном исполнении порта, составляет 115 200 бод (бод — единица измерения символьной скорости, количество изменений информационного параметра несущего периодического сигнала в секунду).



Рисунок 2.7 - 9-контактный разъем (DB-9) устройства, подключаемого к COM-порту, часто используемый для передачи по протоколу RS-232.

Преобразование уровней RS-232 в TTL уровень будет осуществляться с помощью микросхемы MAX232.

2.3 Обоснование выбора элементной базы, характеристики используемых интегральных схем

2.3.1 Выбор аналого-цифрового преобразователя

Для обработки аналоговой информации, поступающей с датчика температуры, используется микросхема КР1107ПВ1, так как она совместима с TTL схемами и имеет высокое быстродействие (максимальная частота преобразования – 20 МГц, время одного преобразования - не более 100 нс).

Микросхема представляет собой быстродействующий шестиразрядный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и предназначена для преобразования входных аналоговых сигналов с шириной спектра до 7 МГц в диапазоне 2...0В в один из потенциальных кодов параллельного считывания: в двоичный (прямой и обратный) и код с дополнением до двух (прямой и обратный).

На рисунке 2.8 приведена функциональная схема АЦП, в состав которой входят:

- а) делитель опорного напряжения;

- б) 64 управляемых компаратора;
- в) 65 логических схем «И»;
- г) 2 предварительных дешифратора 31 на 5;
- д) 2 управляемых буферных регистра;
- е) дешифратор 10 на 6;
- ж) выходной регистр (6 схем «Исключающее ИЛИ»);
- з) 6 схем преобразования выходных уровней АЦП на уровни ТТЛ;
- и) 5 схем формирования парафазных управляющих импульсов от тактового сигнала;
- к) 2 схемы преобразования уровней сигналов управления выходным кодом и схема преобразования уровня тактового импульса.

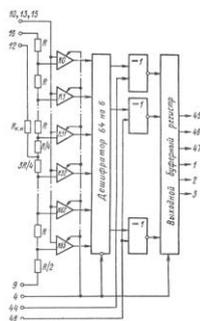


Рисунок 2.8 - Функциональная схема микросхемы КР1107ПВ1.

Максимальная скорость преобразования определяется минимальными длительностями тактового импульса $T_{и}$ и паузы между тактовыми импульсами, гарантирующими нормальную работу преобразователя:

$$F_{пр} = 1 / (T_{и} + T_{п}). \quad (2.1)$$

Тип выходного кода задается по двум выводам «управление выходным кодом» (УВК1, УВК2). Тип может быть задан цифровыми сигналами с уровнями ТТЛ, а также постоянными сигналами. При этом подсоединение вывода УВК к $U_{п}$ эквивалентно подаче лог. 1, а подсоединение к общей шине лог. 0. Система кодирования приведена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Система кодирования

Номер ступеньки характеристики АЦП	Напряжение на входе АЦП	C1=1 C2=1, прямой код	C1=0 C2=0, Обратный код	C1=1 C2=1, дополняющий прямой код
00	0	000000	111111	011111

01	-0,0078	000001	111110	011110
...
31	-0,9961	011111	100000	000000
32	-1,0039	100000	011111	111111
...
62	-1,9922	111110	000001	100001
63	-2,0000	111111	000000	100000

На рисунке 2.9 представлено графическое обозначение АЦП КР1107ПВ1.

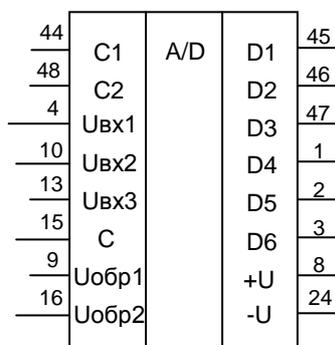


Рисунок 2.9 - Графическое обозначение АЦП КР1107ПВ1.

Электрические параметры микросхемы представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Электрические параметры микросхемы КР1107ПВ1

№	Параметр	Значение
1	Номинальное напряжение питания Uп1 Uп2	5 В 5 % -6 В 3%

Продолжение таблицы 2.5

№	Параметр	Значение
2	Выходное напряжение низкого уровня, В	не более 0,4
3	Выходное напряжение высокого уровня, В	не менее 2,4
4	Ток потребления От источника питания Uп1, мА От источника питания Uп2, мА	не более 30 не более -150
5	Напряжение смещения нуля на выходе, В	-0,075...0
6	Абсолютная погрешность преобразования в конечной точке шкалы, В	-0,1...0,1
7	Ток потребления от источника опорного напряжения, мА	не более 43
8	Входной ток высокого уровня, мкА	не более 750
9	Входной ток низкого уровня, мкА	не более -1,5
10	Входной ток смещения нуля, мкА	не более 150
11	Максимальная частота преобразования КР1107ПВ1А, К1107ПВ1А, МГц	20
12	Время преобразования, нс	не более 100

Назначение выводов аналого-цифрового преобразователя КР1107ПВ1 представлено в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Назначение выводов АЦП

Номер вывода	Назначение
1	выход 4
2	выход 5
3	выход 6 (младший разряд)
4	тактовый сигнал
5, 43	общий (цифровая земля)
8, 39	напряжение питания $U_{п1}$
9	опорное напряжение $U_{оп2}$
10, 13, 15	вход (аналоговый сигнал)
11, 14	общий (аналоговая земля)
12	вывод корректировки нелинейности
16	опорное напряжение $U_{оп1}$
24, 37, 38	напряжение питания $-U_{п2}$
44	управление выходным кодом, вход 1 (УКВ1)
45	выход 1 (старший разряд)
46	выход 2
47	выход 3
48	управление выходным кодом, вход 2 (УКВ2)
6,7,17...23,25...36,40...42	свободные

Предельно допустимые режимы эксплуатации:

а) напряжение питания $U_{п1} = 4,75...5,25В$; $U_{п2} = -6,18...-5,82В$;

б) опорное напряжение $U_{оп1} = -0,075...0В$; $U_{оп2} = -2,1...1,9В$;

в) ток нагрузки = 2 мА;

г) температура окружающей среды = $-10...+70\text{ }^{\circ}С$.

2.3.2 Выбор микроконтроллера

В качестве управляющего устройства используется микроконтроллер AT90S2313 компании Atmel, как удовлетворяющий основным критериям:

а) невысокое быстродействие системы регистрации;

б) необходимость регистрации небольшого объема информации (30 байт);

- в) возможность реализации таймера программными средствами;
- г) простота организации системы;
- д) надежный контроль регулирования температуры.

Интеграция в микросхеме AT90S2313 устройств ввода-вывода, АЛУ, памяти, генератора тактовой частоты дает максимальную простоту реализации системы, надежность и низкую стоимость.

К достоинствам однокристальных микроконтроллеров относится:

- а) возможность многократной модернизации программного обеспечения;
- б) малые габариты законченного устройства;
- в) возможность программирования непосредственно в схеме, не отключая микроконтроллер из платы;
- г) возможность передачи информации по RS-232 порту персонального компьютера.

AT90S2313 является экономичным 8-ми разрядным КМОП микроконтроллером с низким электропотреблением, основанным на усовершенствованной AVR RISC архитектуре. Технические характеристики AT90S2313 приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Технические характеристики микроконтроллера AT90S2313

Характеристика	Значение
Flash-память программ, Кбайт	2
Память данных EEPROM, байт	128
ОЗУ данных SDRAM, байт	128
Кол-во команд	120
Число линий ввода-вывода	15
Кол-во внешних прерываний	2
Кол-во прерываний	10
SPI-интерфейс	Есть
Последовательный интерфейс UART	1

Продолжение таблицы 2.7

Характеристика	Значение
8-разрядный таймер	1
ШИМ	1
Сторожевой таймер	1
Аналоговый компаратор	1
Внутрисхемное программирование	Есть
Напряжение питания, в	2,7-6,0
Тактовая частота, МГц	0-10
Тип корпуса	DIP-20

AVR AT90S2313 поддерживается полным набором программ и пакетов для

разработки, включая: компиляторы C, макроассемблеры, отладчики/ симуляторы программ, внутрисхемные эмуляторы и наборы для макетирования.

Структурная схема микроконтроллера AT90S2313 представлена на рисунке 2.10.

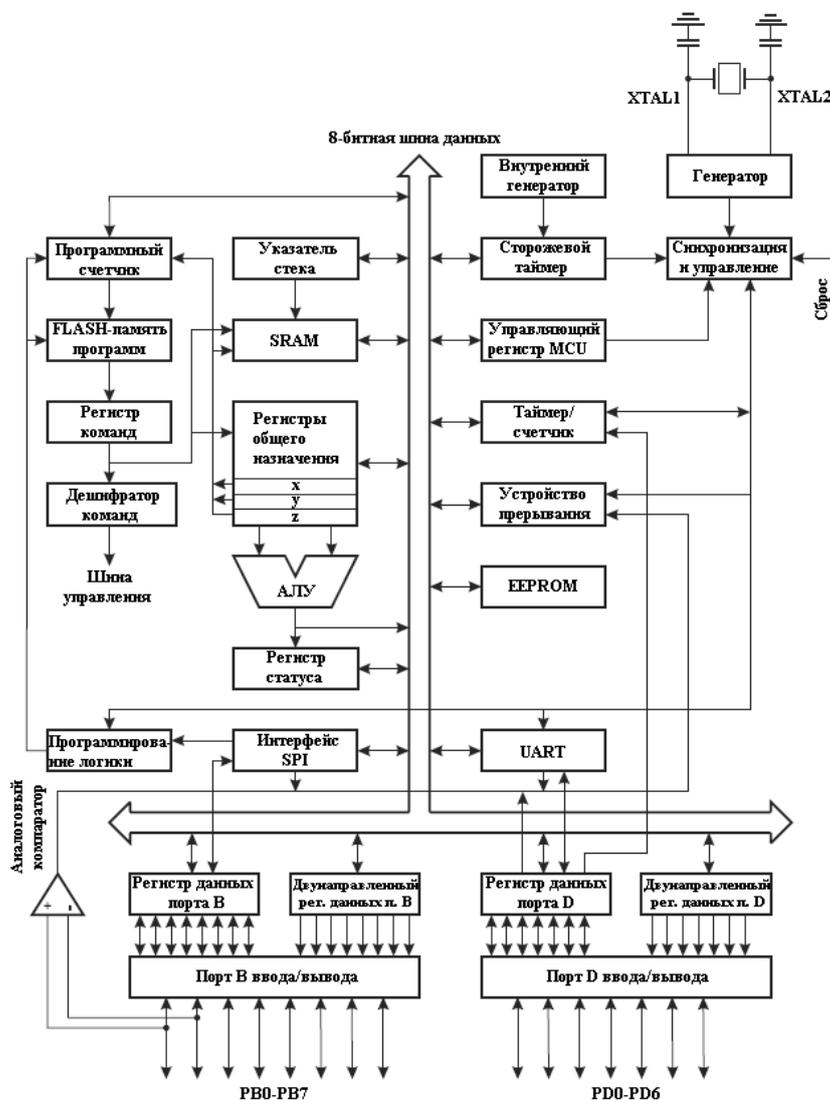


Рисунок 2.10 - Структурная схема AT90S2313.

Графическое изображение и назначение выводов микроконтроллера AT90S2313 представлено на рисунке 2.11.

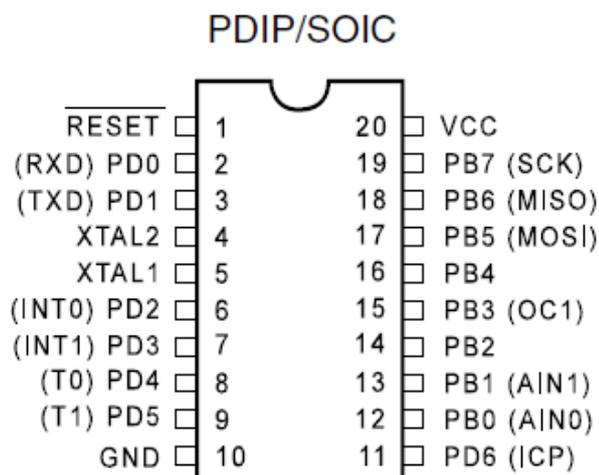


Рисунок 2.11 - Назначение выводов, графическое изображение AT90S2313.

Описание выводов AT90S2313 представлено в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Описание выводов микроконтроллера AT90S2313

Вывод	Назначение	Альтернативные функции
VCC	Вывод источника питания	-
GND	Земля	-
Port B (PB7..PB0)	8-разрядный двунаправленный порт ввода/вывода. Адрес выводов порта В предназначен только для чтения, в то время как регистр данных и регистр направления данных - для чтения/записи. Все выводы порта имеют отдельно подключаемые подтягивающие резисторы. Выходы порта В могут поглощать ток до 20 мА и непосредственно управлять светодиодными индикаторами. Если выводы PB0..PB7 используются как входы и замыкаются на землю, если включены внутренние подтягивающие резисторы, выводы являются источниками тока (I _{il}).	<ol style="list-style-type: none"> 1. SCK - PORTB, Bit 7 - вход тактовой частоты для загрузки/чтения памяти. 2. MISO - PORTB, Bit 6 - выход данных для чтения памяти 3. MOSI - PORTB, Bit 5 - вход данных для загрузки памяти 4. OC1 - PORTB, Bit 3 - Выход совпадения. Этот вывод может быть сконфигурирован для внешнего вывода события совпадения таймера 1. Для этого бит DDB3 должен быть установлен в 1 (вывод сконфигурирован как выход). 5. AIN1 - PORTB, Bit 1 - Отрицательный вход аналогового компаратора. Если этот вывод сконфигурирован как вход (DDB1=0) и отключен внутренний подтягивающий резистор, этот вывод работает как отрицательный вход внутреннего аналогового компаратора. 6. AIN0 - PORTB, Bit 0 - Положительный вход аналогового компаратора.

Продолжение таблицы 2.8

Вывод	Назначение	Альтернативные функции
Port D (PD6..PD0)	7-разрядный двунаправленный порт со встроенными подтягивающими регистрами. Выходные буферы порта могут поглощать ток до 20 мА.	<ol style="list-style-type: none"> 1. ICP - Порт D, бит 6 - вход захвата таймера/счетчика 1. Подробнее см. описание таймера. 2. T1 - Порт D, бит 5 - тактовый вход таймера/счетчика 1. Подробнее см. описание

	<p>Если выводы используются как входы и на них подан низкий уровень, они являются источниками тока I_{il}, если подключены подтягивающие резисторы.</p> <p>Если выводы порта используются для обслуживания альтернативных функций, они должны быть сконфигурированы на ввод/вывод в соответствии с описанием функции.</p>	<p>таймера. TO - Порт D, бит 4 - тактовый вход таймера/счетчика O. Подробнее см. описание таймера. INT1 - Порт D, бит 3 - вход внешних прерываний 1. INT0 - Порт D, бит 2 - вход внешних прерываний 0. TXD - Порт D, бит 1 - выход передатчика UART. Если разрешена работа передатчика UART, независимо от состояния DDRD1 этот вывод сконфигурирован как выход. RXD - Порт D, бит 0 - выход приемника UART. Если разрешена работа приемника UART, независимо от состояния DDRD0 этот вывод сконфигурирован как выход. Когда UART использует вывод для приема данных, единиц в PORTD0 подключает встроенный подтягивающий резистор.</p>
RESET	Вход сброса. При удержании на входе низкого уровня в течение двух машинных циклов (если работает тактовый генератор), сбрасывает устройство.	-
XTAL1	Вход инвертирующего усилителя	-
XTAL2	Выход инвертирующего усилителя	-

Универсальный асинхронный приемо-передатчик

Для обеспечения связи с компьютером в состав AT90S2313 входит универсальный асинхронный приемо-передатчик (UART). Его основные особенности приведены на рисунке 2.12.

Передача и прием данных

Структурная схема узла передачи данных UART показана на рисунке 2.13.

Структурная схема узла приема данных универсального асинхронного приемо-передатчика представлена на рисунке 2.14.

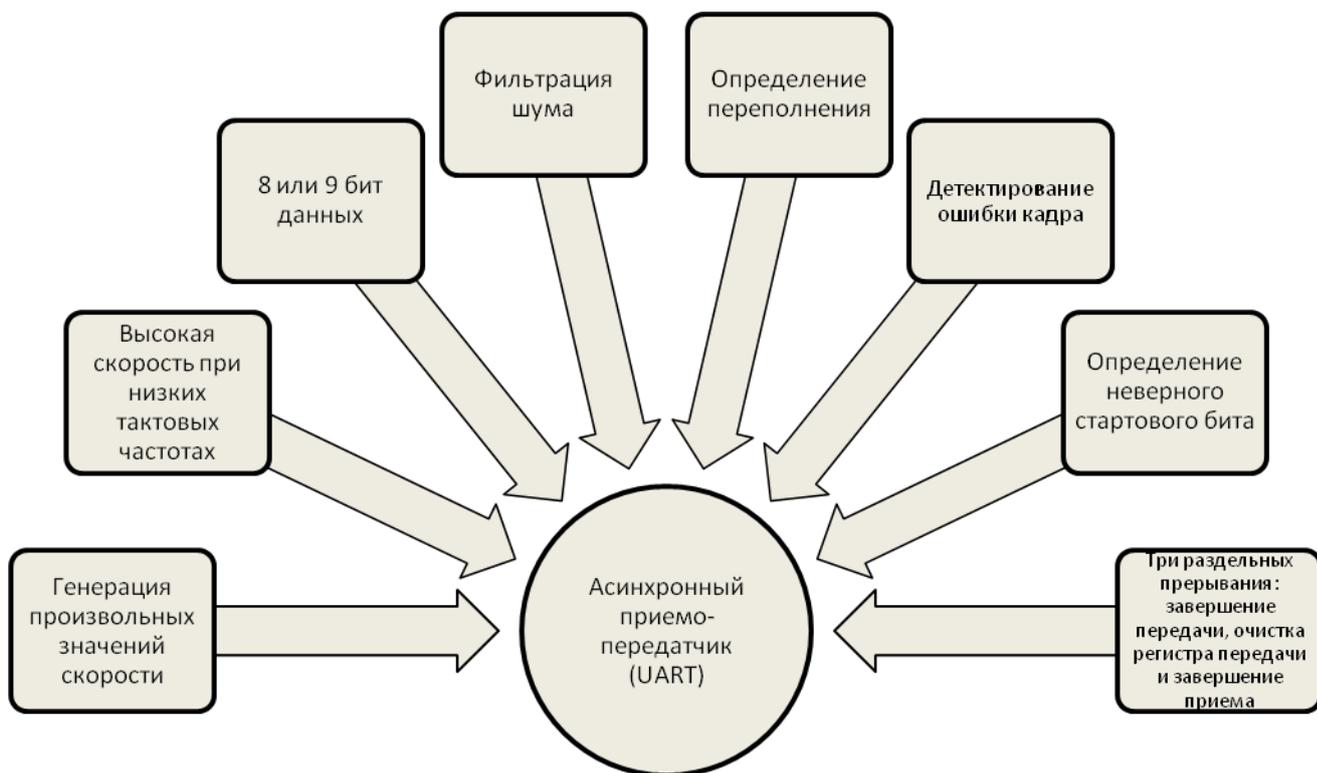


Рисунок 2.12 – Основные особенности универсального асинхронного приемопередатчика (UART).

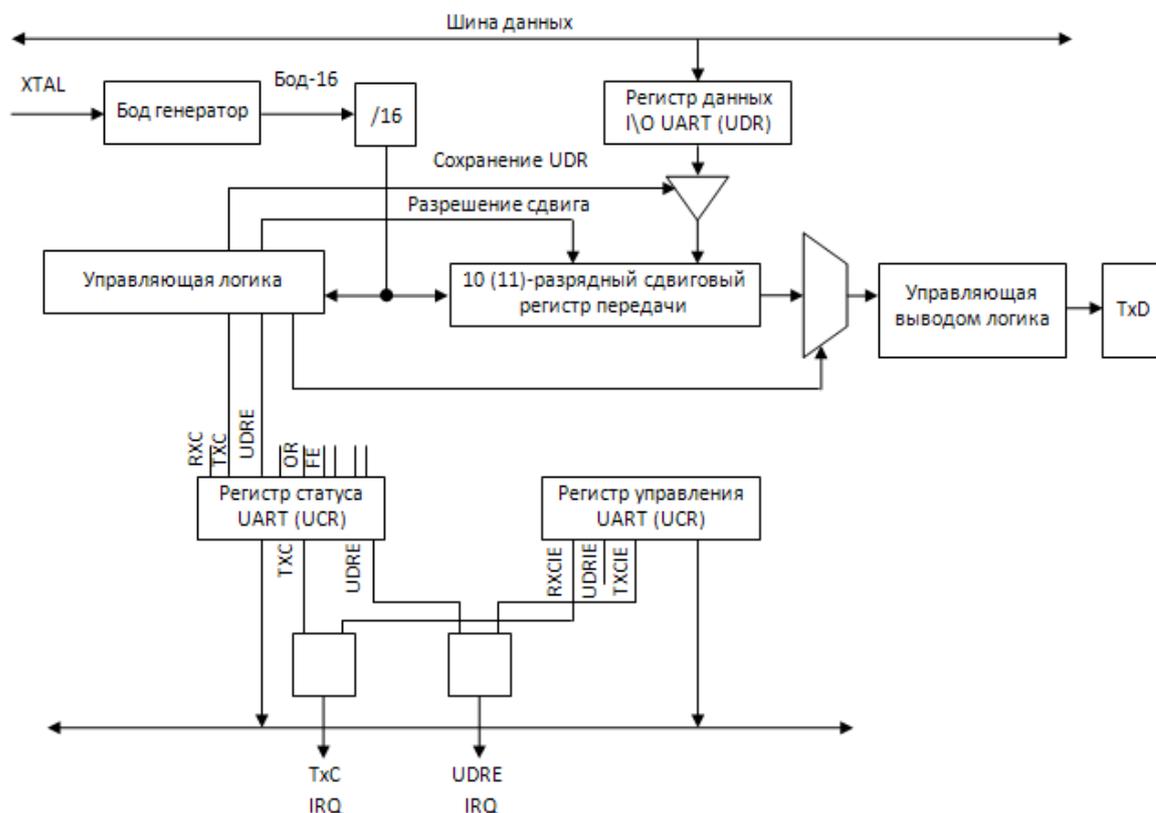


Рисунок 2.13 – Структурная схема узла передачи данных UART.

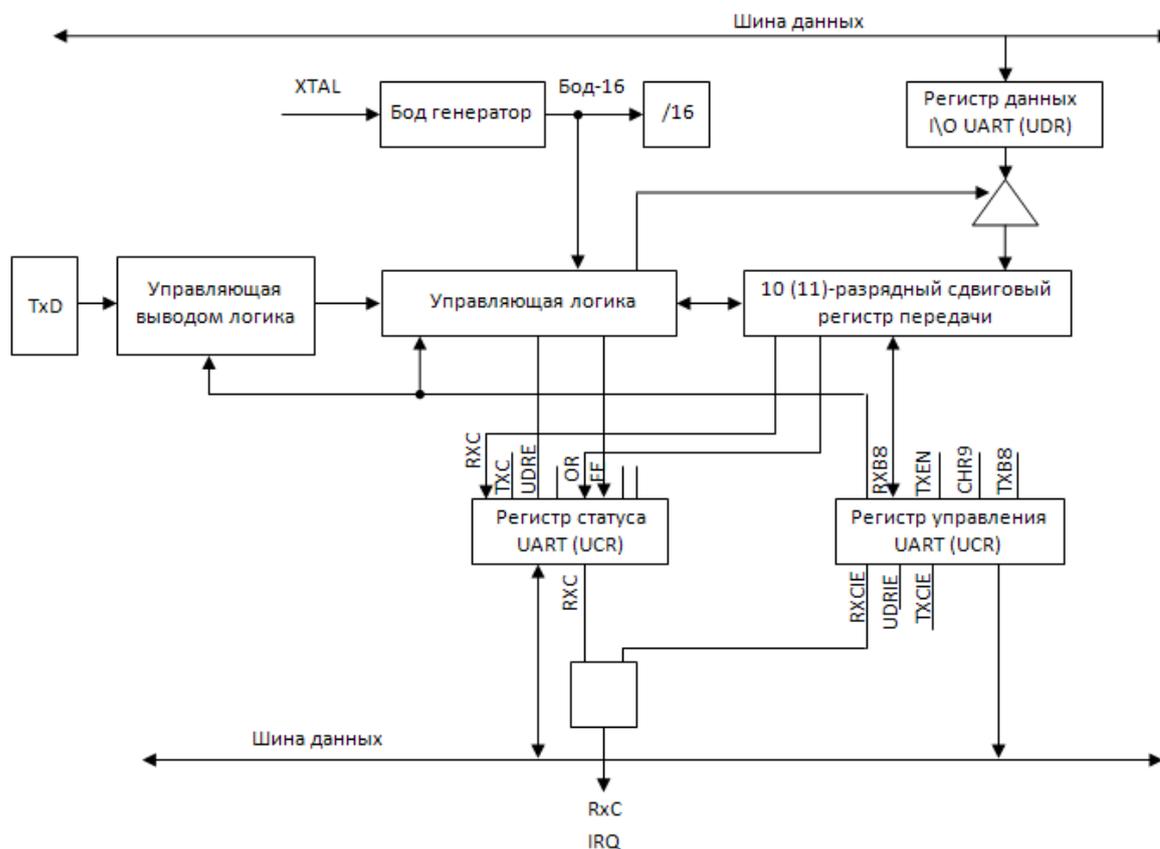


Рисунок 2.14 – Структурная схема узла приема данных UART.

2.3.3 Выбор микросхемы операционного усилителя

При разработке микропроцессорной системы используется операционный усилитель КР140УД708 – ОУ среднего класса точности с внутренней частотной коррекцией и защитой выхода от короткого замыкания.

КР140УД708 является операционным усилителем широкого применения и используется для построения решающих усилителей, интеграторов и дешифраторов.

В таблице 2.9 приведены основные характеристики ОУ КР140УД708.

Таблица 2.9 - Основные характеристики КР140УД708

Характеристика	Значение
Напряжение питания (ном.), В	±15
Напряжение питания (доп.), В	±5...±20
Ток потребления, мА	не более ±3,5
Максимальное выходное напряжение, В	не менее ±10,5
Максимальное синфазное входное напряжение, В	12
Напряжение смещения нуля, мВ	не более ±6
Входной ток, нА	не более 400
Разность входных токов, нА	не более 200
Коэффициент усиления напряжения	не менее 30000

Продолжение таблицы 2.9

Характеристика	Значение
Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений	не менее 70дБ
Входное сопротивление, Ком	400
Частота единичного усиления, КГц	800
Скорость нарастания (макс.), В/мкс	0,3
Температурный диапазон, °С	-10..+70
Корпус	DIP8
Аналоги	uA741, MA741HC

Параметры приведены при напряжении питания $\pm 15\text{В}$.

Расположение выводов КР140УД708 изображено на рисунке 2.15.

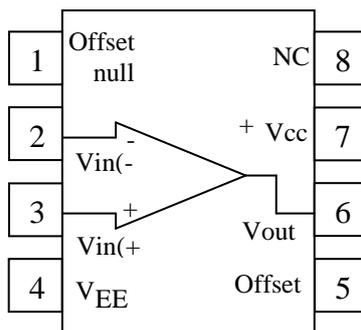


Рисунок 2.15 - Расположение выводов ОУ КР140УД708.

Назначение выводов КР140УД708 приведено в таблице 2.10.

Таблица 2.10 - Назначение выводов ОУ КР140УД708

Вывод	Назначение
1	Балансировка нуля
2	Вход инвертирующий
3	Вход неинвертирующий
4	Напряжение питания минус U_{cc}
5	Балансировка нуля
6	Выход
7	Напряжение питания U_{cc}
8	Коррекция

2.3.4 Выбор интегральных стабилизаторов

2.3.4.1 Стабилизированный источник питания логических схем КР142ЕН5А

Питание интерфейсного преобразователя обеспечивается микросхемой КР142ЕН5А, которая представляет собой линейный положительный стабилизатор напряжения с фиксированным выходным напряжением 5В. Данная

микросхема применяется в широком спектре радиоэлектронных устройств в качестве источника питания логических систем, измерительной техники, устройств высококачественного воспроизведения и других радиоэлектронных устройств.

Основные характеристики КР142ЕН5А:

- а) допустимый выходной ток – 1 А;
- б) не требуются внешние компоненты;
- в) встроенная защита от перегрева;
- г) защита выходного транзистора;
- д) встроенный ограничитель тока КЗ;
- е) коррекция зоны безопасной работы выходного транзистора.

Типовая схема включения интерфейсного преобразователя КР142ЕН5А представлена на рисунке 2.16.

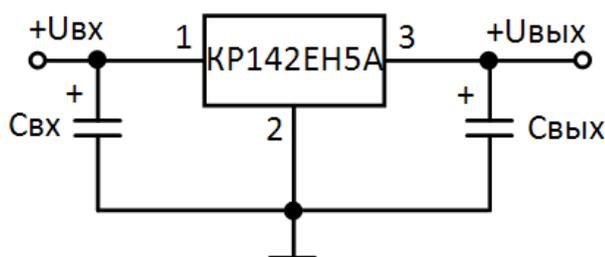


Рисунок 2.16 - Типовая схема включения КР142ЕН5А.

Минимальная емкость конденсатора $C_{вх} = 2,2$ мкФ, конденсатора $C_{вых} = 1,0$ мкФ.

Указанные значения емкостей минимальные для стабильной работы стабилизаторов. В реальных схемах для минимизации пульсаций выходного напряжения рекомендуется включать на входе конденсатор с емкостью в сотни или тысячи микрофард, на выходе - десятки или сотни микрофард.

Основные параметры КР142ЕН5А:

- а) выходное напряжение - 5В (номинально) $\pm 0,1$ В;
- б) входное напряжение – от 7,5 до 15В;
- в) максимальная рассеиваемая мощность ($T = -45 \dots +70^\circ\text{C}$) – 10 Вт;
- г) максимальная рассеиваемая мощность ($T = +100^\circ\text{C}$) – 5 Вт;
- д) максимальная рассеиваемая мощность (без теплоотвода) - около 1,8Вт;

- е) ток потребления, не более – 10 мА;
- ж) тип – нерегулируемый;
- з) нестабильность по току – 1,33%;
- и) нестабильность по напряжению – 0,05%
- к) ток нагрузки – 2 А;
- л) температурный диапазон - -10...+70 °С;
- м) тип корпуса – ТО220;
- н) максимальное входное напряжение – 15В;
- о) импортный аналог - МА7805КМ;
- п) температурный коэффициент напряжения, не более - 0,02% /°С;
- р) температура окружающей среды - -45...+100°С.

Назначение выводов интерфейсного преобразователя приведено в таблице 2.11.

Таблица 2.11 - Назначение выводов КР142ЕН5А

Вывод	Назначение
1	Вход
2	Земля (общий)
3	Выход

2.3.4.2 Стабилизатор КР142ЕН6Б

Микросхема КР142ЕН6Б обеспечивает питание аналого-цифрового преобразователя, операционного усилителя и микроконтроллера АТ90S2313.

Основные параметры:

- а) максимальное входное напряжение – 40В;
- б) выходное напряжение (min... max) - 14,7...15,3В;
- в) нестабильность выходного напряжения K_u , %/В - не более 0,005;
- г) нестабильность по току при заданном сбросе тока нагрузки K_i , %/А - не более 0,3;
- д) коэффициент сглаживания пульсации $K_{сг}$, дБ На 1кГц - не более 30;
- е) относительный температурный коэффициент нестабильности напряжения α_u %/°С - не более 0,02;
- ж) $R_{расс,Вт}$ без теплоотв./ с теплоотв. – 1,4/5;
- з) ток, потребляемый ИСН $I_{п}$, мА – 7,5;

- и) номинальный выходной ток – 0,2 А;
- к) падение напряжения вх/вых – 3;
- л) ток потребления – 18000;
- м) производитель – Россия;
- н) падение напряжения на ИСН U_{pd} , В - не более 2,5.

Схема включения микросхемы КР142ЕН6Б приведена на рисунке 2.17.

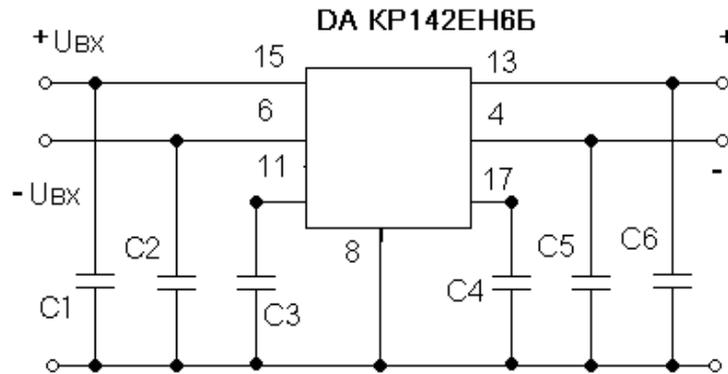


Рисунок 2.17 - Схема включения интегрального стабилизатора КР142ЕН6Б.

2.3.5 Выбор преобразователя сигналов с последовательного порта

MAX232 - интегральная схема, которая преобразует сигналы последовательного порта RS-232 в сигналы, используемые в цифровых схемах на базе ТТЛ или КМОП технологий. MAX232 работает приемопередатчиком и преобразует сигналы RX, TX, CTS и RTS.

Конфигурация выводов MAX232: представлена на рисунке 2.18.

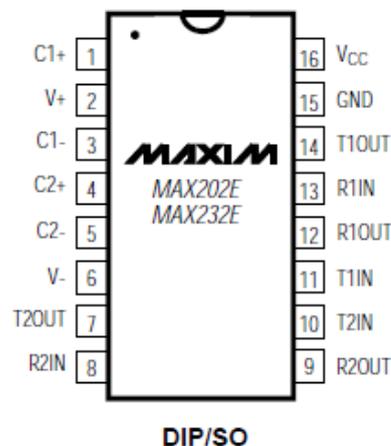


Рисунок 2.18 – Конфигурация выводов микросхемы МАХ-232.

Назначение выводов МАХ-232 представлено в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Назначение выводов МАХ-232

Номер вывода	Обозначение вывода	Назначение
1, 3	C1+, C1-	Терминалы для подключения конденсаторов
2	Vs+	Подключение конденсатора
4,5	C2+, C2-	Терминалы для подключения конденсаторов
6	V-	Подключение конденсатора
7, 14	T_OUT	RS-232 выходы драйвера
8, 13	R_IN	RS-232 входы приемника
9, 12	R_OUT	RS-232 выходы приемника
10, 11	T_IN	RS-232 входы драйвера
15	GND	Земля
16	Vcc	Вход напряжения питания

Основные технические характеристики MAX-232 представлены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Технические характеристики микросхемы MAX-232

Характеристика	Значение
Входное напряжение, В	-0,3...6
Напряжение питания, В	+5
Скорость (макс.), МБод	0.12
Диапазон входного напряжения приемника, В	-30...+30
Ток потребления, мА	8
Температура хранения, °С	-65...+150
Защита от электростатического разряда (ESD), кВ	2
Приемники передатчики, шт	2/2
Тип корпуса	DIP-16 SOIC-16 SOIC-16-Wide

Входное напряжение от RS-232, которое может достигать $\pm 25\text{В}$, понижается до стандартных 5В, используемых в транзисторно-транзисторной логике.

2.4 Разработка алгоритма работы микропроцессорной системы регулирования температуры

Процесс изменения температуры микропроцессорной системой показан на рисунке 2.19. На рисунке 2.20 показан процесс управления температурой с персонального компьютера. Помимо этого, через равные промежутки времени работы термокамеры, управляющее устройство сохраняет текущее значение температуры в память. Процесс продолжается многократно, на протяжении всего времени термообработки. В конце работы термокамеры, управляющее устройство передает график температуры в компьютер.



Рисунок 2.19 – Диаграмма последовательности действий в процессе изменения микропроцессорной системой температуры в термической камере.



Рисунок 2.20 – Диаграмма последовательности действий в процессе изменения управления температурой с компьютера.

2.5 Разработка принципиальной схемы системы

Принципиальная схема включения микросхемы и перечень элементов приведены в приложении А. За основу принципиальной схемы взята рекомендуемая схема включения КР1107ПВ1А (рисунок 2.21), которая существенно упрощена без заметного ухудшения точности преобразования. Сигнал с терморезистора поступает на инвертирующий вход микросхемы DA2.

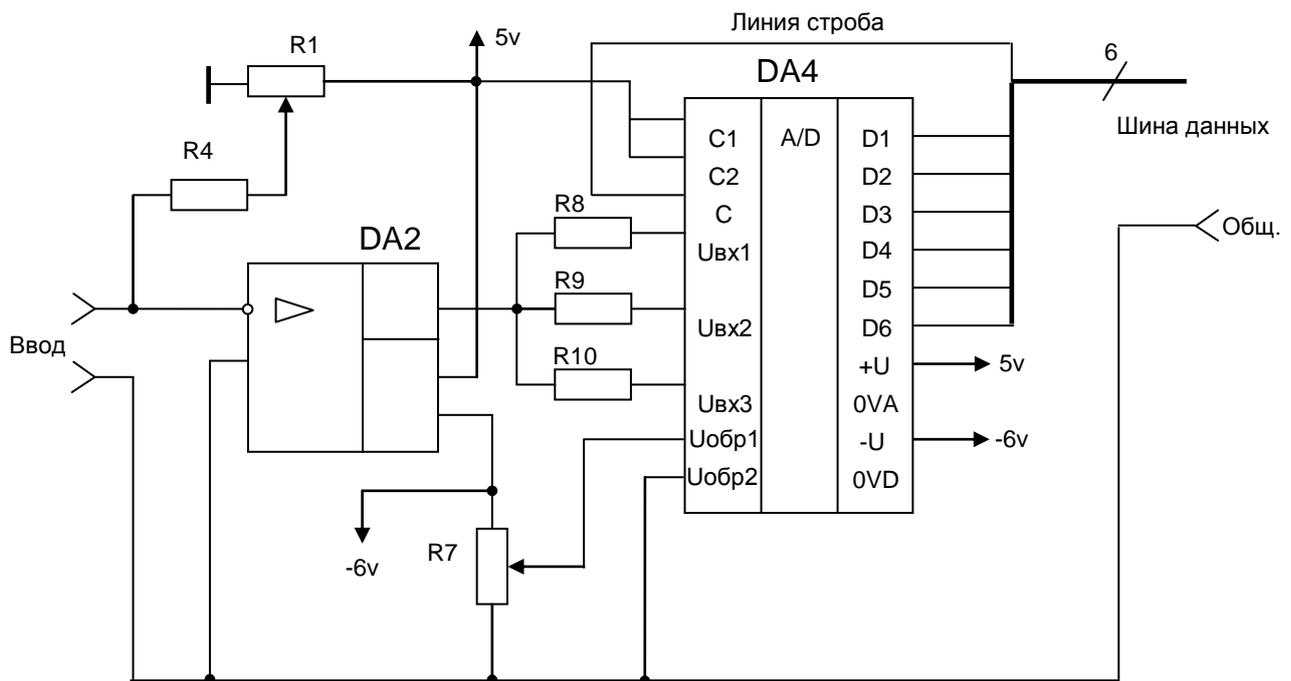


Рисунок 2.21 - Схема типового включения КР1107ПВ1А.

С движка подстроечного резистора снимается напряжение смещения нуля. Резисторы R3 и R6 определяют требуемый коэффициент усиления ОУ. Усиленный аналоговый сигнал поступает через резисторы R8-R10 на выходы 10, 13, 15, АЦП.

Работой АЦП управляют тактовые импульсы, поступающие от контроллера. Кодирование производится после прохождения тактового импульса, а результат, полученный в процессе преобразования, передается в выходной регистр одновременно с фронтом очередного тактового импульса. Это позволяет фронтам тактового импульса производить следующую выборку. Цифровой код снимается с выходов D1-D6.

Обозначение выходов микросхемы противоположено их весу: выход D1 соответствует старшему разряду, а D6 - младшему. Вид кода (прямой, инверсный положительный) на выводах микросхемы определяется уровнями сигналов на входах C1 и C2 микросхемы. Требуемый вид кода на выходе микросхемы задают комбинацией уровней сигналов на входе C1 и C2 в соответствии с таблицей 2.4 (см. выше).

АЦП КР1107ПВ1А требует двуполярного питания напряжениями +5 и -6В. Кроме того, необходимы два образцовых напряжения. Они определяют диапазон оцифровываемых напряжений. В данном случае одно из этих напряжений ($U_{обр1}$) принято равным нулю (вывод 16 микросхемы соединен с общим проводом), а второе ($U_{обр2}$) - равным -2В, что соответствует диапазону входных напряжений АЦП 0...-2В. Образцовое напряжение снимается с движка подстроечного резистора R7, включенного в цепь напряжения питания отрицательной полярности. Конденсаторы C2, C4, C6, C9 и C10 служат для устранения помех.

К выводам 4, 5 микросхемы AT90 подключается кварцевый резонатор, работающий на частоте 8 МГц, это означает, что тактовая частота МК будет равной частоте резонатора. Как оговаривалось выше МК имеет шину программирования, которая подключается через разъем IDC-10, что позволяет запрограммировать МК не извлекая его из устройства.

Шина данных от DA4 подключается к двум портам МК: PD3-PD5, PB0, PB1, PB6. На вывод RST устанавливается уровень лог.1, такое включение обеспечивает уверенную работу микроконтроллера.

2.6 Обоснование выбора систем автоматизированного проектирования (САПР), используемых при разработке системы и проектировании печатной платы

Для проектирования печатной платы разрабатываемой микропроцессорной системы регулирования температуры будет использоваться DipTrace – САПР для проектирования печатных плат (PCB). Разработчик данного продукта – Novarm, Россия.

Выбор объясняется тем, что DipTrace имеет высококачественный автотрассировщик, превосходящий многие трассировщики в других РСВ пакетах, доступных на рынке в наши дни, а также обладает наиболее удобным среди САПР для проектирования печатных плат пользовательским интерфейсом. Еще одно достоинство - наличие большого количества библиотек корпусов и компонентов - стандартные библиотеки содержат более 40 тыс. компонентов различных фирм-производителей; простая система создания библиотек.

Программный пакет DipTrace представляет собой полнофункциональную систему для разработки принципиальных схем и печатных плат, включает в себя четыре программы (рисунок 2.22).

В программе имеются четыре собственных формата файлов:

- а) *.dip – для печатных плат;
- б) *.dch – для принципиальных схем;
- в) *.lib – для библиотек корпусов;
- г) *.eli – для библиотек компонентов.

Логическая структура принципиальной схемы или платы формируется сразу при построении, и редактирование одного элемента ведет за собой соответствующие изменения связанных с ним объектов.

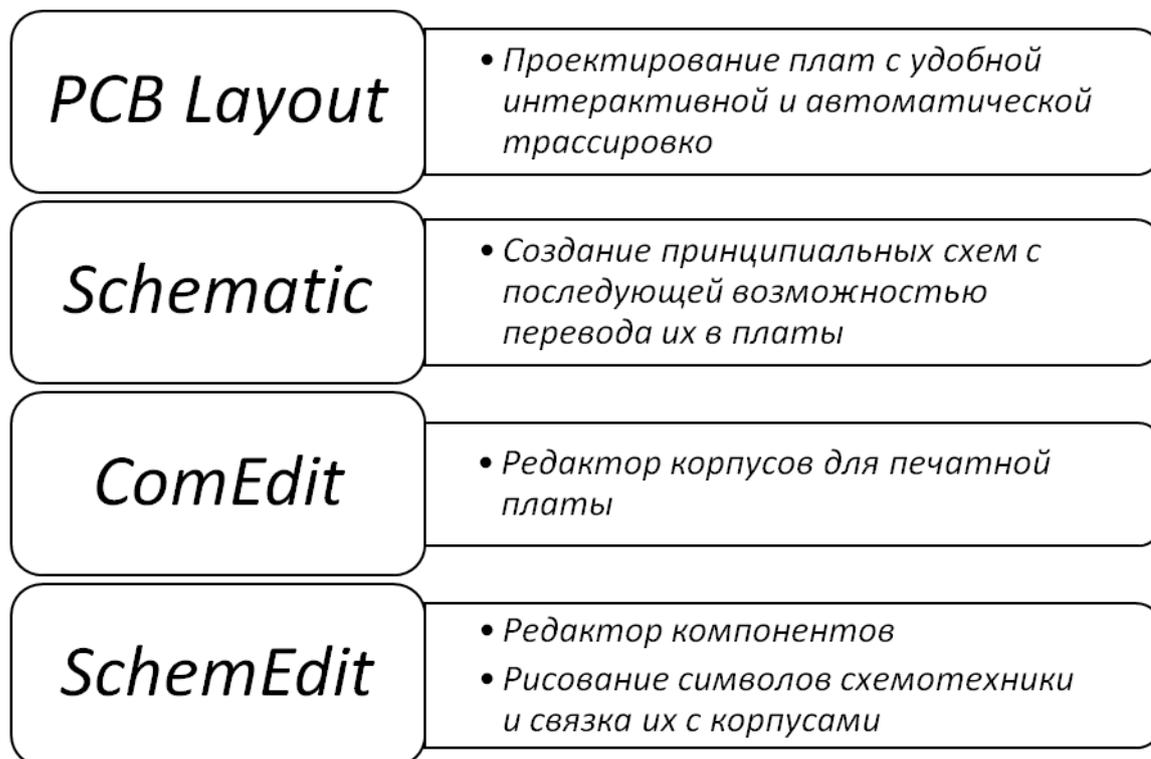


Рисунок 2.22 – Компоненты программы DipTrace.

В редакторах корпусов и компонентов применена послойная система рисования, возможно создание компонентов и корпусов на основе готовых шаблонов. Допускается создание корпусов с переменными параметрами (количество ножек, расстояние между ними), которые потом можно будет изменять прямо в РСВ.

Данный программный продукт содержит встроенный сеточный оптимизационный автотрассировщик – Simple Router, с помощью которого можно реализовать несколько вариантов трассировки платы и выбирать наилучший. Есть четыре режима настройки автотрассировщика, различные по скорости и качеству исполнения. Параметры автотрассировки могут задаваться вручную. Имеется проверка на ошибки трассировки.

При ручной трассировке выполняется подсветка всех выводов сети и автоматическое удаление уже разведенных связей, при редактировании разведенных трасс возможно перемещение фрагментов проводников с соблюдением углов 90 и 45 градусов либо свободное, изменение ширины, перевод из одного слоя в другой.

3 Конструкторская часть. Техническая реализация микропроцессорной системы регулирования температуры

3.1 Конструкторско-технологическая реализация системы. Описание технологии изготовления печатной платы

Опережающие темпы развития микроэлектроники требуют непрерывного повышения их технического уровня, который определяется ростом плотности монтажа электрорадиоизделий, повышением требований к надежности, обеспечением помехозащищенности и др. Реализация этих требований зависит от достижений в области конструирования и развития технологии производства печатных плат, что в свою очередь приводит к необходимости разработки новых конструкций и технологических процессов их изготовления.

Технологический процесс изготовления печатной платы – это сложный многооперационный процесс с использованием большого количества оборудования и производственных площадей.

После завершения трассировки (процесса преобразования принципиальной электрической схемы в схему разводки слоев) с помощью программного продукта DipTrace, осуществляется доработка файлов – вывод файлов сверления и фрезерования (используется такое программное обеспечение, как САМ 350, Instant САМ, Circuit САМ). Правильная оптимизация данных, рисунка и положения элементов платы имеет большое значение для изготовления печатной платы.

Затем осуществляется изготовление фотошаблонов, необходимых в дальнейшем для формирования топологического рисунка внутренних и внешних слоев печатной платы при экспонировании. Качеству и точности фотошаблонов придается очень большое значение, так как от этого зависит результат всего производственного цикла, на каждом этапе которого происходит потеря точности исходного рисунка.

По стандартной технологии, печатные платы изготавливают на фольгированном диэлектрике, комбинированным (позитивным или негативным)

способом.

Их называют комбинированными потому, что в обоих случаях вытравливание рисунка печатных проводников производится химическим способом, а наращивание меди в отверстиях и проводниках – электрохимическим.

При негативном способе изготовления, для получения защитного рельефа методом фотопечати в качестве фотошаблона используется негативное изображение проводящего рисунка платы, т. е. пробельные места - черные, а проводники - оптически прозрачные. Таким образом, проходящий через светлые участки поток ультрафиолетовых лучей при экспонировании полимеризует фоторезист, нанесенный на поверхность заготовки, образуя защитный рельеф.

При позитивном способе защита проводящего рисунка при травлении осуществляется металлическим покрытием, поэтому защитный рельеф наносится на пробельные места и, следовательно, при фотопечати используется позитивное изображение платы.

Технологический цикл производства печатной платы состоит из следующих этапов:

1. На первом этапе осуществляется входной контроль материалов (проверка всех входящих материалов). Происходит заготовка внутреннего слоя многослойной печатной платы (используется диэлектрический материал, например, текстолит, ламинированный медной фольгой). Толщина меди обычно составляет от 0,018 мм до 0,07 мм.

2. Производится резка заготовки по заданному маршруту. Обрезка осуществляется на гильотине с помощью вырубного штампа фрезой или алмазным диском.

3. Сверление отверстий под компоненты и межслойные соединения станком ЧПУ (числового программного управления) по программе. Обеспечение максимальной точности изготовления базовых отверстий на этом этапе обеспечит оптимальную совместимость слоев и отверстий на последующих этапах.

4. Первая металлизация отверстия – обеспечивает начальную металлизацию во всех отверстиях (отверстия, которые не нуждаются в проведении данной операции, закрывают специальной пробкой). Используется химико-гальванический процесс (при его использовании химическим способом выращивают тонкий (1 ... 5 мкм) слой по всей поверхности платы, а затем его усиливают избирательно электролитическим осаждением). Предварительная химическая металлизация обеспечивает электрическое соединение всех элементов печатного монтажа.

5. Подготовка поверхности для нанесения фоторезиста. Производится механическая зачистка поверхности (в мелкосерийном производстве осуществляется вручную смесью венской извести и шлифовального порошка под струей воды; в крупносерийном и массовом производится на модульных линиях конвейерного типа с дисковыми щетками в качестве инструмента, на которые подается абразивная суспензия - механическая взвесь абразивного порошка и жидкости).

6. Производится ламинирование – нанесение на печатную плату пленочного фоторезиста. Фоторезист является полимерным светочувствительным (обычно к ультрафиолету) материалом, который разрушается при долгом неиспользовании.

7. Экспонирование – заготовка с фоторезистом засвечивается через фотошаблон для нанесения рисунка.

8. Проявление – закрепление рисунка на фоторезисте (данная операция проводится для того, чтобы фоторезист больше ни на что не реагировал).

9. Осуществляется вторая металлизация – наращивание меди в нужных местах до 30 микрон.

10. Снятие фоторезиста (в щелочной среде удаляется засвеченный ультрафиолетом фоторезист). Он остается только в местах, которые не были освещены, т.е. на месте будущих проводников.

11. Травление медной поверхности, не защищенной слоем фоторезиста.

12. Снятие слоя защитного фоторезиста.

13. Зачистка поверхности перед нанесением маски. Защитная паяльная маска - это слой прочного материала, предназначенного для защиты проводников от попадания припоя и флюса при пайке, а также от перегрева. Она закрывает основную поверхность платы и оставляет открытыми только контактные площадки, которые будут использоваться при пайке компонентов, а также соединительные поверхности - разъемы.

14. Нанесение жидкой маски. Существует несколько типов масок и методов ее нанесения. Фоточувствительная маска наносится тем же способом, что и фоторезист и обеспечивает высокую точность процесса. Шелкографический способ нанесения не обладает такой точностью, но материал маски более пластичен.

15. Сушка маски (инфракрасная с активной вентиляцией для обеспечения равномерности).

16. Экспонирование фотоплоттером (под экспонированием понимают процесс облучения светочувствительного материала актиничным электромагнитным излучением).

17. Проявление паяльной маски.

18. Отверждение.

19. Подготовка поверхности для нанесения припоя (защищаются поверхности, которые далее будут покрыты золотом, палладием, никелем и т.д.).

20. Оплавление покрытий олово-свинец (происходит на открытых поверхностях, предназначенных для пайки).

21. Нанесение маркировки (сеткографии). Наносится краской, либо вытравливается; применяется для удобства, монтажа и ремонта техники. Маркировка может нести информацию о контуре компонента, сокращенном названии, позиционном расположении и др.

22. Покрытие поверхностей золотом, никелем, палладием.

23. Резка заготовки на единичные платы (используются гильотина, алмазный диск и скрайбер - алмазный резец).

24. Выходной контроль (может быть визуальным или электрическим).

Электрический контроль предусматривает проверку платы на обрыв или короткое замыкание.

25. Распечатка технической документации и упаковка (после завершения всех операций печатных платы проходят вакуумную упаковку в полиэтиленовые пакеты).

На этом процесс изготовления печатной платы для микропроцессорной системы регулирования температуры можно считать законченным. Печатная плата разрабатываемой микропроцессорной системы и сборочный чертеж приведены в приложениях Б и В соответственно.

3.2 Выбор инструментальной системы (программатора) и языка программирования для микроконтроллера

Программирование для микроконтроллеров прошло большой путь развития от программирования в машинных кодах до применения современных интегрированных систем написания программ, отладки и программирования микроконтроллеров.

В настоящее время для написания программ используются различные языки, однако наиболее подходящими для программирования микроконтроллеров AVR являются ASSEMBLER и Си (C), поскольку в этих языках в наилучшей степени реализованы все необходимые возможности по управлению аппаратными средствами микроконтроллеров.

Выбор языка программирования зависит от состава аппаратуры, для которой пишется программа, а также от требуемого быстродействия всего программно - аппаратного комплекса в целом.

Для программирования микроконтроллера в разрабатываемой микропроцессорной системе регулирования температуры будет использоваться ASSEMBLER – язык программирования низкого уровня, использующий непосредственный набор инструкций микроконтроллера. Безусловно, он проигрывает Си в скорости и удобстве разработки программ, но зато имеет заметные преимущества в размере конечного исполняемого кода, а соответственно, и скорости его выполнения. Программа, написанная на языке

Си, требует значительно больше оперативной памяти, значительно больше места во flash-памяти, и работает медленнее программы написанной на ассемблере. Если на обычном компьютере с тактовой частотой в несколько ГГц и большими объемами оперативной и дисковой памяти, это не столь критично, то для микроконтроллера с 2 кб флэш-памяти, частотой не более 10 МГц и объемом оперативной памяти 128 байт, такой расход ресурсов более чем критичен.

Увеличение объема программы в данном случае связано с несколькими факторами, одним из которых, к примеру, является выбор программистом операторов языка, неоптимальных как с точки зрения длины машинного кода, так и точки зрения быстродействия программы.

Для написания исходного кода программы будет использоваться FAR Manager – консольный файловый менеджер для операционных систем семейства Microsoft Windows. Данный редактор обладает удобным интерфейсом, способен нумеровать строки (номера не входят в текст программы), что послужит дополнительным удобством при написании кода.

В настоящее время ручная трансляция программ практически не используется, поэтому процесс преобразования операторов ASSEMBLER в машинные коды осуществляется специальными программами-трансляторами. Трансляторы делятся на компиляторы и интерпретаторы.

Для программирования микроконтроллеров как на языке программирования «низкого» уровня, так и на языке программирования «высокого» уровня используются только компиляторы (весь исходный текст программы преобразуется в машинные коды, и именно эти коды записываются в память).

Под программированием микроконтроллера также понимают процесс загрузки программы во flash-память программ (прошивка микроконтроллера). Для этой цели используются специальные программаторы, которые представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий непосредственно из устройства, связывающего микроконтроллер с компьютером, и программы, которая этим устройством управляет. Программаторы бывают

последовательными и параллельными.

Для прошивки используемого в разрабатываемой микропроцессорной системе микроконтроллера AT90S2313, будет использоваться последовательный программатор ISP (In-System Programmer – «внутрисистемный программатор»), который не предполагает специального устройства для подсоединения и питания программируемой микросхемы, а заканчивается обычным плоским кабелем с разъемом типа IDC. Питание на программатор поступает от самой схемы.

Данный вариант является удобным, поскольку микросхему не надо извлекать из устройства, и микроконтроллер начинает работать сразу после программирования. Еще одно достоинство – возможность исправления ошибок в программе и дополнения ее функциональности через любой промежуток времени, в течение которого будет использоваться микропроцессорная система.

При последовательном программировании AVR используется стандартный последовательный интерфейс SPI. Программирующий разъем – десятиконтактный игольчатый IDC. В процессе программирования AVR, программатор функционирует как ведущее устройство, а микроконтроллер как ведомое. Интерфейс SPI представлен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Интерфейс SPI.

Данный интерфейс представляет собой 3 линии: SCK, MISO, и MOSI (рисунок 3.2).

В качестве программной части программатора будет использоваться PonyProg2000 - свободная GNU-утилита с открытым исходным кодом для

программирования Flash-микросхем с последовательным доступом. PonyProg2000 имеет поддержку русского языка и может использовать стандартный последовательный порт (COM).

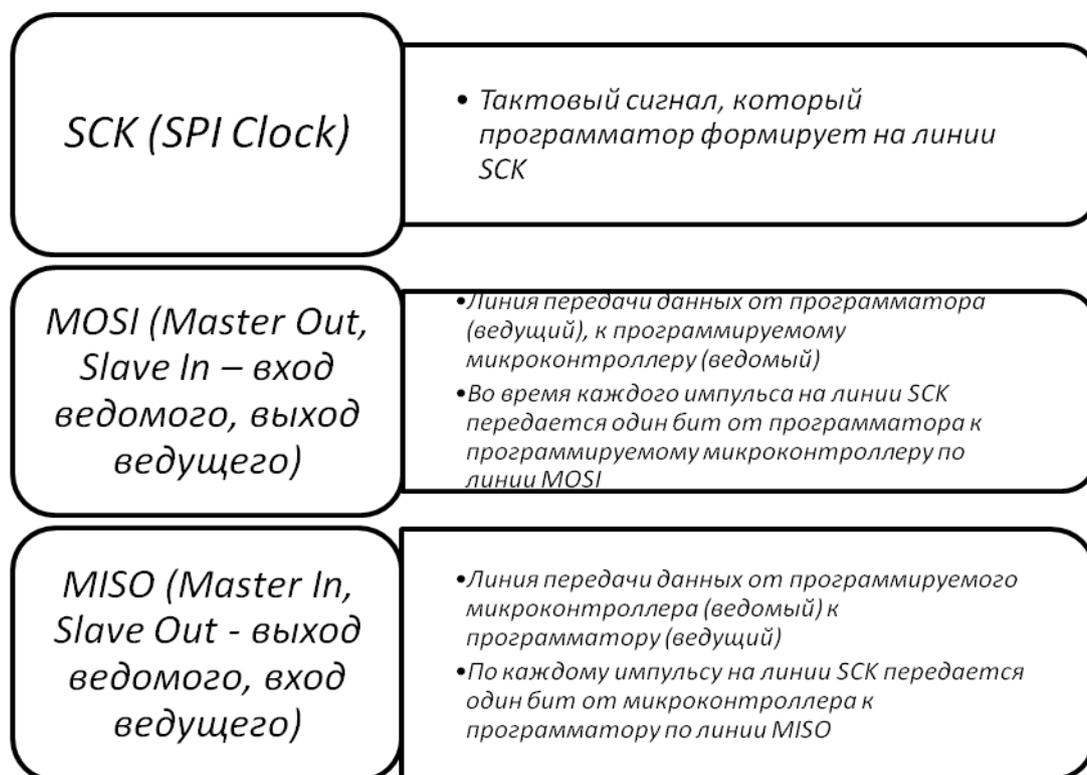


Рисунок 3.2 – Описание линий интерфейса SPI.

3.3 Временные диаграммы, отображающие работу микропроцессорной системы регулирования температуры

На рисунке 3.3 показана зависимость температуры от времени. Эта зависимость соответствует изменению температуры в термической камере.

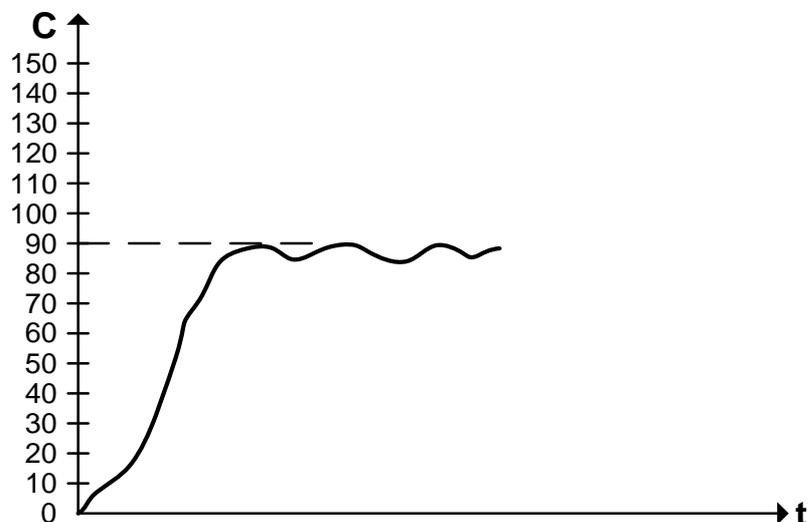


Рисунок 3.3 – Зависимость температуры от времени в процессе термообработки.

На рисунке 3.4 изображена зависимость изменения напряжения на терморезисторе от времени.

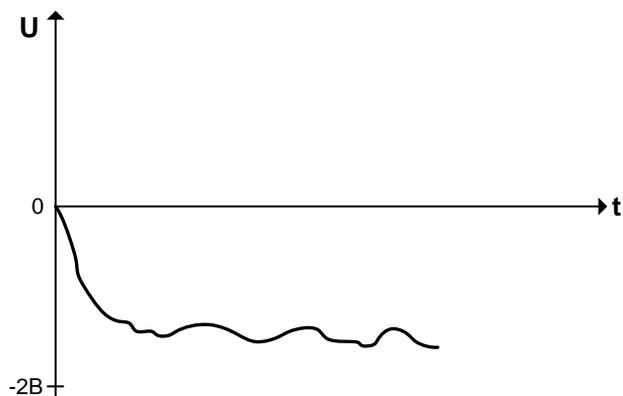


Рисунок 3.4– Зависимость напряжения терморезистора от времени.

На рисунке 3.5 представлены стробирующие импульсы, генерируемые управляющим устройством (микроконтроллером), а также пакеты данных, формируемые аналогово-цифровым преобразователем.

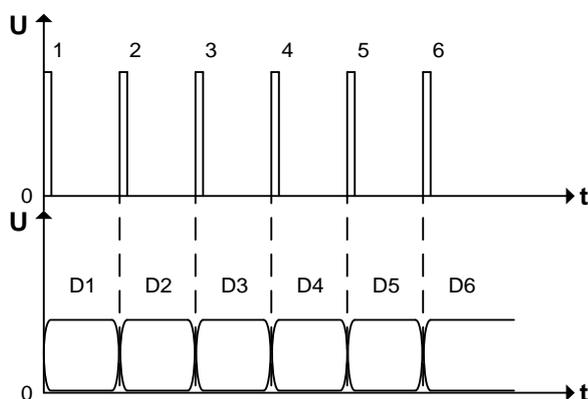


Рисунок 3.5 – Импульсы, генерируемые микроконтроллером и пакеты данных, формируемые АЦП.

3.4 Тестирование и отладка микропроцессорной системы

Под отладкой подразумевается процесс обнаружения ошибок и определение источников их появления по результатам тестирования при проектировании микропроцессорных систем. Средствами отладки являются приборы, комплексы и программы.

Успех отладки зависит от того, как спроектирована система, предусмотрены ли свойства, делающие ее удобной для отладки, а также от

средств, используемых в процессе отладки. Проектируемая микропроцессорная система должна обладать свойствами управляемости, наблюдаемости, предсказуемости.

Исчерпывающее тестирование имеет практический смысл лишь для простейших элементов систем - ошибки проектирования встречаются при эксплуатации, и для достаточно сложных систем нельзя утверждать об их отсутствии на любой стадии жизни системы.

Отладка аппаратуры предполагает тестирование отдельных устройств микропроцессорной системы путем подачи тестовых входных воздействий и приема ответных реакций. Тестовые входные воздействия и ответные реакции определяются, исходя из спецификаций на устройства, а также структурных схем устройств. При этом проверяется реальная аппаратура прототипа, спецификации, структурные схемы и отлаживаются тесты. После отладки отдельных устройств, проверяется их взаимодействие.

Отладка программы микропроцессорной системы проводится на тех же ЭВМ, на которых велась разработка программы, и на том же языке программирования, на котором она написана, и может быть начата на ЭВМ даже при отсутствии аппаратуры МПС. При этом в системном программном обеспечении ЭВМ должны находиться программы (интерпретаторы или эмуляторы), моделирующие функции отсутствующих аппаратных средств.

Проверка корректности программы (проверка соответствия ее внешним спецификациям) осуществляется тестированием. Программа проверяется на функционирование с различными исходными данными. Результаты функционирования сравниваются с эталонными результатами.

В общем случае нельзя локализовать источник ошибки проектируемой системы, имея информацию о поведении системы только на ее внешних выводах. Поэтому проектируемую систему преобразовывают - прежде чем изготовить однокристалльную микроЭВМ с теми или иными «зашивками» ПЗУ - программу необходимо отладить на эмуляционном кристалле, у которого магистраль выведена на внешние контакты и вместо ПЗУ установлено ОЗУ.

Эмулятор ПЗУ – программно-аппаратное средство, позволяющее замещать ПЗУ на отлаживаемой плате, и подставляющее вместо него ОЗУ, в которое может быть загружена программа с компьютера через один из стандартных каналов связи. Это устройство позволяет пользователю избежать многократных циклов перепрограммирования ПЗУ. Эмулятор ПЗУ нужен только для МК, которые могут обращаться к внешней памяти программ. Это устройство сравнимо по сложности и по стоимости с платами развития и имеет одно большое достоинство: универсальность. Эмулятор ПЗУ может работать с любыми типами МК.

Эмулируемая память доступна для просмотра и модификации, но контроль над внутренними управляющими регистрами МК был до недавнего времени невозможен.

В настоящее время есть модели интеллектуальных эмуляторов ПЗУ, которые позволяют «заглядывать» внутрь МК на плате пользователя. Интеллектуальные эмуляторы представляют собой гибрид из обычного эмулятора ПЗУ, монитора отладки и схем быстрого переключения шины с одного на другой. Это создает эффект, как если бы монитор отладки был установлен на плате пользователя и при этом он не занимает у МК никаких аппаратных ресурсов, кроме небольшой зоны программных шагов.

Этап совместной отладки аппаратных и программных средств в реальном масштабе времени завершается, когда аппаратура и программное обеспечение совместно обеспечивают выполнение всех шагов алгоритма работы системы. В конце этапа отлаженная программа заносится с помощью программатора в энергонезависимую память МК, и проверяется работа контроллера без эмулятора. При этом используются лабораторные источники питания. Часть внешних источников сигналов может моделироваться.

4 Расчет общей стоимости владения микропроцессорной системой регулирования температуры

Для расчета стоимости владения системой произвели расчет затрат на электроэнергию и амортизацию оборудования, а также расчет стоимости компонент системы.

Расчет затрат на электроэнергию:

$$C_{эл} = \sum_{g=1}^m N_g * T_g * K_{исп.g} * Ц_{эл}, \quad (4.1)$$

где:

N_g – мощность оборудования g-ого вида, кВт;

T_g – время работы оборудования g-ого вида, ч.

$K_{исп.g}$ – коэффициент использования оборудования g-ого вида по мощности;

m – количество видов оборудования;

$Ц_{эл}$ – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб.

Расчет затрат на электроэнергию используемого оборудования, представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Расчет затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	N_g (кВт)	T_g (ч)	$K_{исп.g}$	$Ц_{эл}$	Стоимость эл/энергии $C_{эл}$ руб.
Компьютер	0,3	576	0,60	2,3	238
Паяльная станция	0,1	8	0,80	2,3	1,5
Итого:					239,5

Расчет амортизационных отчислений:

$$C_{ам} = \sum_{g=1}^m \frac{C_{об} \cdot H_a \cdot T}{100 * F_{об}}, \quad (4.2)$$

где:

$C_{ам}$ – амортизационные отчисления;

$C_{об}$ – первоначальная стоимость g-го оборудования;

H_a – норма амортизационных отчислений (оборудования g-го вида);

$F_{об}$ – годовой фонд времени работы оборудования g-го вида;

T_g – время работы оборудования g –ого вида, ч.;

m – количество видов оборудования, использовавшегося при проектировании.

Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование	$C_{об}$	N_a	$F_{об}$	$T_g(ч)$	$C_{ам}$ (руб)
Компьютер	25000	25	2304	576	1562,5
Паяльная станция	3000	20	2304	8	2
Итого:					1564,5

Расчет компонентов системы представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расчет компонентов системы регулирования температуры

Наименование компонента	Цена, руб.	Количество, шт.	Стоимость, руб.
K50-6-50В-47мкФ	19	2	38
K50-6-50В-100мкФ	20	1	20
K50-6-50В-1мкФ	8	4	32
K50-6-50В-10мкФ	8	2	16
КМ-2-150В-0,1пФ	5	3	15
КМ-2-150В-33пФ	5	2	10
КР142ЕН6Б	170	1	170
КР140УД708	50	1	50
КР142ЕН5А	80	1	80
КР1107ПП1А	180	1	180
МАХ232	130	1	130
АТ90S2313	500	1	500
СПЗ-12-220кОм	1	1,2	1,2
СПЗ-12-470Ом	1	1,2	1,2
СП-150-0,25Ом	1	1	1
МЛТ-0,125-10кОм	1	1,5	1,5
МЛТ-0,125-100кОм	2	1,5	3
МЛТ-0,125-51кОм	1	1,5	1,5
МЛТ-0,125-510кОм	3	1,5	4,5
РП-20-ТЛ	3	80	240
IDC-10	1	37	37
ДВ-9М	1	18	18
Резонатор кварцевый 8МГц	1	39	39
Итого			1588,9

Общая стоимость владения системой регулирования температуры определяется по формуле:

$$OCB = C_{эл} + C_{ам} + C_k = 239,5 + 1564,5 + 1589 = 3393 \text{ руб.} \quad (4.3)$$

На рисунке 4.1 представлена диаграмма общей стоимости владения микропроцессорной системой.

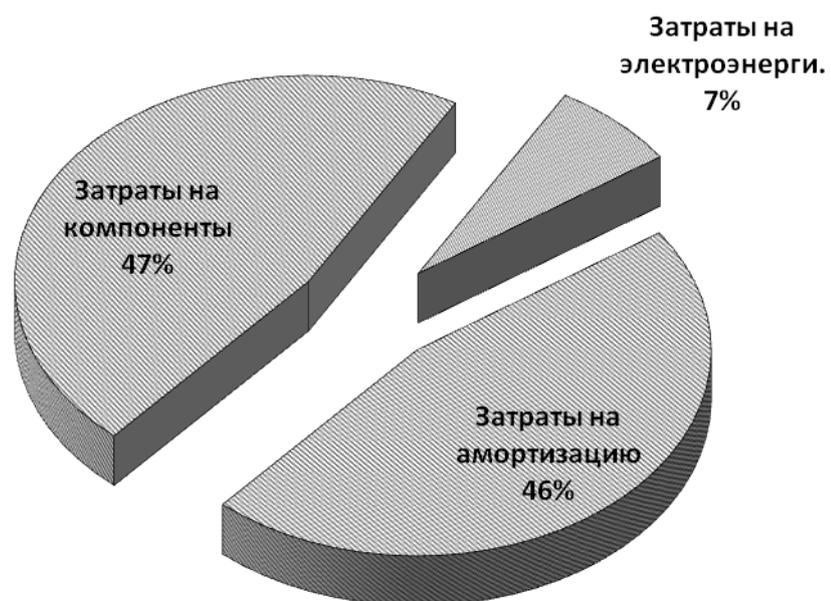


Рисунок 4.1 - Диаграмма общей стоимости владения микропроцессорным устройством управления освещением.

Заключение

В настоящее время термическая обработка деталей является неотъемлемой частью процесса изготовления лакокрасочных изделий. Поскольку данная процедура осуществляется автоматически, внедрение микропроцессорной системы регулирования температуры позволит повысить производительность систем автоматики, используемых в производстве, обеспечить контроль над температурой обработки.

В аналитической части бакалаврской работы был рассмотрен процесс термообработки, а также описаны виды и особенности, существующих термокамер, способы нагрева деталей в зависимости от конструкций термических печей. Приведена классификация терморегуляторов, описано их устройство и основные функции. Проанализированы достоинства и недостатки способов управления терморегуляторами, даны рекомендации по их установке. В заключительной части аналитического раздела приведены аналоги, а также принципы работы разрабатываемой микропроцессорной системы.

В расчетной части бакалаврской работы были построены структурная и функциональная схемы, в которых в виде условных обозначений отражены состав, структура и принцип действия системы, а также ее отдельных блоков. Приведено обоснование выбора терморезистора, и способа передачи информации от управляющего устройства к персональному компьютеру. Осуществлен выбор используемых в разрабатываемой системе микросхем, приведены их технические характеристики. Был описан алгоритм работы микропроцессорной системы, разработана принципиальная схема устройства и приведен перечень используемых элементов.

В конструкторском разделе полностью описана технология изготовления печатной платы и процесс компоновки модулей системы - технологический цикл производства МПП приведен поэтапно. Выбран язык программирования микроконтроллера, определены параметры используемого в разработке программатора. В завершении технологического раздела описан процесс

тестирования и отладки разрабатываемой микропроцессорной системы.

В экономическом разделе проведен анализ работы, позволяющий оценить затраты на ресурсы и материалы, используемые для изготовления микропроцессорной системы регулирования температуры.

В результате проделанной работы была спроектирована и разработана микропроцессорная система, которая позволит осуществлять контроль над температурой в термической камере. Кроме того, полученное устройство дает возможность устанавливать и изменять время пропарки изделий, путем ввода необходимого значения с клавиатуры персонального компьютера. Использование микропроцессорной системы регулирования температуры не только упрощает контроль над температурой, но и позволяет существенно повысить качество процесса термообработки.

Список литературы

1. ГОСТ 12.0.003-74*.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
3. ГОСТ 2.702-75 (2000). Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем.
4. ГОСТ 2.710-81 (2001). Единая система конструкторской документации. Обозначения буквенно-цифровые в электронных схемах.
5. СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. (Постановление Главного Государственного Санитарного Врача РФ от 3 июня 2003г. № 118). – М.: Информационно-издательский центр Госсанэпиднадзора России, 2003. 115 с.
6. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы / В.Н. Баранов. - М.: Издательский дом “Додэка-XXI”, 2004. – 288 с
7. Все отечественные микросхемы. Справочник – М.: ДОДЭКА 1997. – 187 с.
8. Горина Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда пользователей ПЭВМ: Учебное пособие – Тольятти: ТолПИ, 1999. – 25 с.
9. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы Atmel / А.В. Евстифеев – 3-е изд., стер. – М.: Издательский дом “Додэка-XXI”, 2006. – 288 с
10. Медведев А.М. Технология производства печатных плат / А.М. Медведев. – М.: Техносфера, 2005. – 360 с.
11. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.
12. Порошковые краски. Технология покрытий / ЗАО "Промкомплект". - пер. с англ. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2001. - 256 с.
13. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справочник / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликов и др.; ред. Э.Т.

Романычевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.

14. Ревич Ю.В. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера / Ю.В. Ревич. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 384 с.

15. Иллюстрированный самоучитель по Microsoft Project, // [http // www.taurion.ru](http://www.taurion.ru)

16. Основы технологии монтажа в отверстия, 24 июня 2007г. // [http // www.elinform.ru](http://www.elinform.ru)

17. Производство печатных плат. Технология, Зорин С.Ф. // [http // www.espotec.ru](http://www.espotec.ru)

18. Средства разработки и отладки программного обеспечения, // [http // www.intuit.ru](http://www.intuit.ru)

19. Схемы программаторов AVR, Арсеньев А.А. 27 января 2004. // [http // www.ironfelix.ru](http://www.ironfelix.ru)

20. Учебник по DipTrace, 2009. //[http // www.diptracer.ru](http://www.diptracer.ru)

21. www.chipdip.ru

22. www.diptrace.com

23. www.mirknig.com

24. www.radiokot.ru

25. www.ru.wikipedia.org