

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет» (НИУ)
Институт естественных и точных наук
Кафедра «Физическая электроника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ С.Ю. Гуревич
_____ 2017 г.

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ДЛЯ ВАКУУМНОЙ
УСТАНОВКИ УВН-5**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ 11.03.04.2017.399.ПЗ ВКР (ВКП)

Руководитель проекта

к.т.н., доцент

_____ Н.С. Колмакова
_____ 2017 г.

Автор проекта

студент группы ЕТ-473

_____ В.Е. Новицкий
_____ 2017 г.

Нормоконтролер

_____ Н.С. Колмакова
_____ 2017 г.

Челябинск 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет» (НИУ)
Институт естественных и точных наук
Кафедра «Физическая электроника»
Специальность «Электроника и наноэлектроника»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ С.Ю. Гуревич
_____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу (проект) студента

Новицкого Валерия Евгеньевича

Группа ЕТ-473

1. Тема работы (проекта):

Разработка электронного блока для вакуумной установки УВН-5
утверждена приказом по университету от _____ 2017 г. № _____

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____

3. Исходные данные к работе:

Установка УВН-5 и её документация.

4. Содержание расчётно-пояснительной записки (перечень подлежащих
разработке вопросов)

- Обзор программируемых логических контроллеров
- Выбор микроконтроллера

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						2
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

- Разработка блоков:
 - Ввода-вывода информации
 - Управления испарителями
 - Управление подогревателем
 - Контроля глубины вакуума
 - Блока управления прочими силовыми элементами

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах А1)

- Схема электрическая принципиальная 11.03.04.2017.399 ЭЗ
- Схема структурная электрическая 11.03.04.2017.399 Э1
- Блок-схема алгоритма режима автоматического напыления

Всего 3 листа

6. Дата выдачи задания _____

Руководитель Н.С. Колмакова _____

Задание принял к исполнению В.Е. Новицкий _____

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы (проекта)	Срок выполнения этапов работы (проекта)	Отметка о выполнении руководителя

Заведующий кафедрой

С.Ю. Гуревич _____

Руководитель работы (проекта)

Н.С. Колмакова _____

Студент

В.Е. Новицкий _____

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

АННОТАЦИЯ

Новицкий В.Е., Модернизация вакуумных установок на примере УВН-5. – Челябинск: ЮУрГУ, ИЕТН, 2017, 58 с, 20 ил., библиогр. список – 6 наим., 5 прил.

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке электронных блоков для модернизации установки УВН-5.

Работа разделена на три части: первая обзорно-аналитическая часть посвящена ознакомлению с УВН-5, контроллерами, дискретному ПИД-регулятору и его настройке.

Вторая часть занимает основной объём работы и она непосредственно посвящена разработке электронных блоков и описанием их работы.

В третьей части рассмотрен интерфейс и особенности работы с периферией микроконтроллера.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ОБЗОРНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	9
1.1 Описание установки УВН-5.....	9
1.2 Требования к контроллеру.....	10
1.3 Программируемый-логический контроллер ОВЕН-73.....	10
1.4 Выбор микроконтроллера.....	15
1.5 Дискретный ПИД-регулятор.....	15
2 ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	23
2.1 Подключение микроконтроллера.....	23
2.2 Устройство ввода и вывода информации.....	24
2.3 Управление испарителями.....	27
2.4 Управление подогревом подложки.....	30
2.5 Измерение глубины вакуума.....	32
2.6 Свидетели.....	34
2.7 Механизм управления заслонкой.....	35
2.8 Управление насосами.....	36
2.9 Блок питания.....	36
3 ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ.....	38
3.1 Интерфейс.....	38
3.1.1 Режим автоматического напыления.....	39
3.1.2 Режим ручного напыления.....	40
3.2 Работа с LCD экраном.....	41
3.3 Работа с АЦП.....	42

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		6

3.4 Работа с ШИМ.....	43
3.5 ПИД-регулирование подогревателя подложки.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	47
ПРИЛОЖЕНИЕ А	48
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	52
ПРИЛОЖЕНИЕ В	55
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	56
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	57

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день некоторые предприятия и учебные заведения оснащены морально устаревшими установками вакуумного напыления. Оборудование исправно выполняет свои функции и по сей день, и оно не утратило своей актуальности в использовании. Установки с подобными характеристиками выпускаются и сегодня, но они очень дороги. Единственное отличие от новых установок — это плохая эргономика. За низкую эргономику приходится расплачиваться низкой производительностью труда в условиях производства или исследований, либо низкой обучаемостью в условиях учебного заведения. Так же это способствует частым ошибкам оператора. Ещё одна проблема старых установок — это аналоговое управление. Невозможность выставить точное значение параметров, отсутствие стабилизации, пониженный КПД — всё это следствие аналогового управления.

Выход из этой ситуации — это разработка электронных блоков для модернизации подобного оборудования. Блочная конструкция позволяет использовать разработанные блоки и для других аналогичных установок. После использования разработанных блоков будут достигнуты следующие результаты: повышение качества и скорости труда оператора, снижение количества ошибок оператора, повышение воспроизводимости результатов напыления, автоматизация некоторых процессов и переход на цифровое управление.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

1 ОБЗОРНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Описание установки УВН-5

Установка вакуумного напыления УВН-5 предназначена для напыления и вплавления в высоком вакууме электродных материалов транзисторов.

Технические данные:

- Диаметр вакуумной камеры 350 мм.
- Высота вакуумной камеры 450 мм.
- Предельное разрежение в вакуумной камере $5 \cdot 10^{-7}$ мм.рт.ст.
- Среднее время откачки до $5 \cdot 10^{-7}$ мм.рт.ст 90 мин.
- Наибольшее давление при напылении $5 \cdot 10^{-6}$ мм.рт.ст.
- Средства откачки:
 - диффузионный насос НОВ-5С с быстротой откачки
500 л/сек,
 - форвакуумный насос ВНМ-7 с быстротой откачки
7 л/сек.
- Размеры напыляемых пластин 40x40 мм.
- Напыляемые материалы алюминий, золото.
- Максимальный рабочий ток испарителей 400 А.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

1.2 Требования к контроллеру

Для автоматизации процессов и перевода установки на цифровое управление необходим контроллер. Минимальные критерии к контроллеру следующие:

- 1) 7 аналого-цифровых преобразователей (АЦП) — два на вакуумметры, два на свидетели, два на контроль тока испарителей и ещё один на термopару для измерения температуры подложки. Т.к. вакуумметры термopарные можно вместо 7 АЦП использовать 4 АЦП+3 специальных термopарных входа, если контроллер поддерживает такие.
- 2) 3 источника ШИМ-сигнала (Широтно-импульсная модуляция) на испарители и нагреватель подложки. Выходы желательно со встроенными оптосимисторами.
- 3) 4 дискретных выходов (транзисторные или релейные) средней мощности.
- 4) Устройство ввода-вывода информации (клавиатура и экран), так же желательна звуковая и световая индикация.

Указаны лишь минимальные требования для модернизации установки УВН-5. Желательно брать контроллеры с запасов входов-выходов 1,5-2 раза.

1.3 Программируемый-логический контроллер ОВЕН-73

Проведя анализ контроллеров таких серий как Siemens, DirectLogic, CLICK, Сегнетикс был сделан вывод, что в линейке этих серий нет подходящих контроллеров. Основная проблема всех этих котроллеров связана с аналоговыми входами. Диапазон, в котором измеряются переменные величины напряжения лежит в пределах 100-250 В, когда нам необходимо до 5-10 В. Это неудивительно,

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

т.к. ПЛК изначально разрабатывались для силовой электроники. Однако контроллеры серии ОВЕН подходят под наши требования.

Из линейки ОВЕН был выбран контроллер ОВЕН ПЛК-73. Его стоимость около 16 тысяч рублей.



Рисунок 1. Лицевая панель ОВЕН ПЛК-73

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

11.03.04.2017.399.ПЗ

Лист

11

Основные функциональные возможности:

- Четырехстрочный знакосинтезирующий дисплей.
- Наличие дискретных входов/выходов на борту.
- Заказные модификации с выбором дискретных/аналоговых выходов.
- Платы расширения интерфейсов RS-485, RS-232.
- Поддержка протоколов OVEN, Modbus RTU, Modbus ASCII, GateWay.
- Бесплатная библиотека функциональных блоков:
 - разработки OVEN: ПИД-регулятор с автонастройкой, блок управления 3-позиционными задвижками и др.;
 - стандартные библиотеки CODESYS.
- Возможность расширения путем подключения модулей ввода/вывода.
- Увеличение количества дискретных выходов путем подключения модуля OVEN MP1.
- Встроенные часы реального времени.
- Щитовой корпус.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Таблица 1. Общие сведения:

Центральный процессор	32-разрядный RISC процессор 50 МГц на базе ядра ARM7
Размер Retain-памяти (EEPROM)	448 байт
Объем оперативной памяти для хранения переменных программ	10 кб
Объем памяти хранения программ	280 кб
Объем памяти ввода-вывода	600 байт - для ПЛК73-М 360 байт - для ПЛК73-L
Время работы часов реального времени после пропадания питания	не менее 3 месяцев
Конструктивное исполнение	Корпус щитового крепления. Габаритные размеры (ВхШхГ), мм (168×137×55)±1 мм
Степень защиты корпуса со стороны лицевой панели	IP55
Напряжение питания	90...245 В (частотой от 47 до 63 Гц)
Потребляемая мощность, не более	для постоянного тока, 12 Вт для переменного тока, 18 Вт
Параметры встроенного вторичного источника питания	выходное напряжение 24±3 В, ток не более 180 мА

Таблица 2. Элементы человеко-машинного интерфейса:

Тип дисплея	Текстовый монохромный ЖКИ с подсветкой
Количество знакомест (символов)	4 x 16
Кнопки управления на лицевой панели	9 тактовых кнопок: "Пуск/стоп", "Выход", "Альт", "Ввод", "Вверх", "Вниз", "F1", "F2", "F3"
Светодиоды на лицевой панели	6 штук: "К1", "К2", "К3", "К4", "К5", "К6"

Входы-выходы:

- 8 АЦП,
- 2 оптосимисторных выхода,
- 2 э/м реле,
- 4 транзисторных оптопар,
- 8 цифровых входов.

При необходимости можно докупить модули расширения или купить ПЛК старшей модели, например, ПЛК ОВЕН 100/150/154.

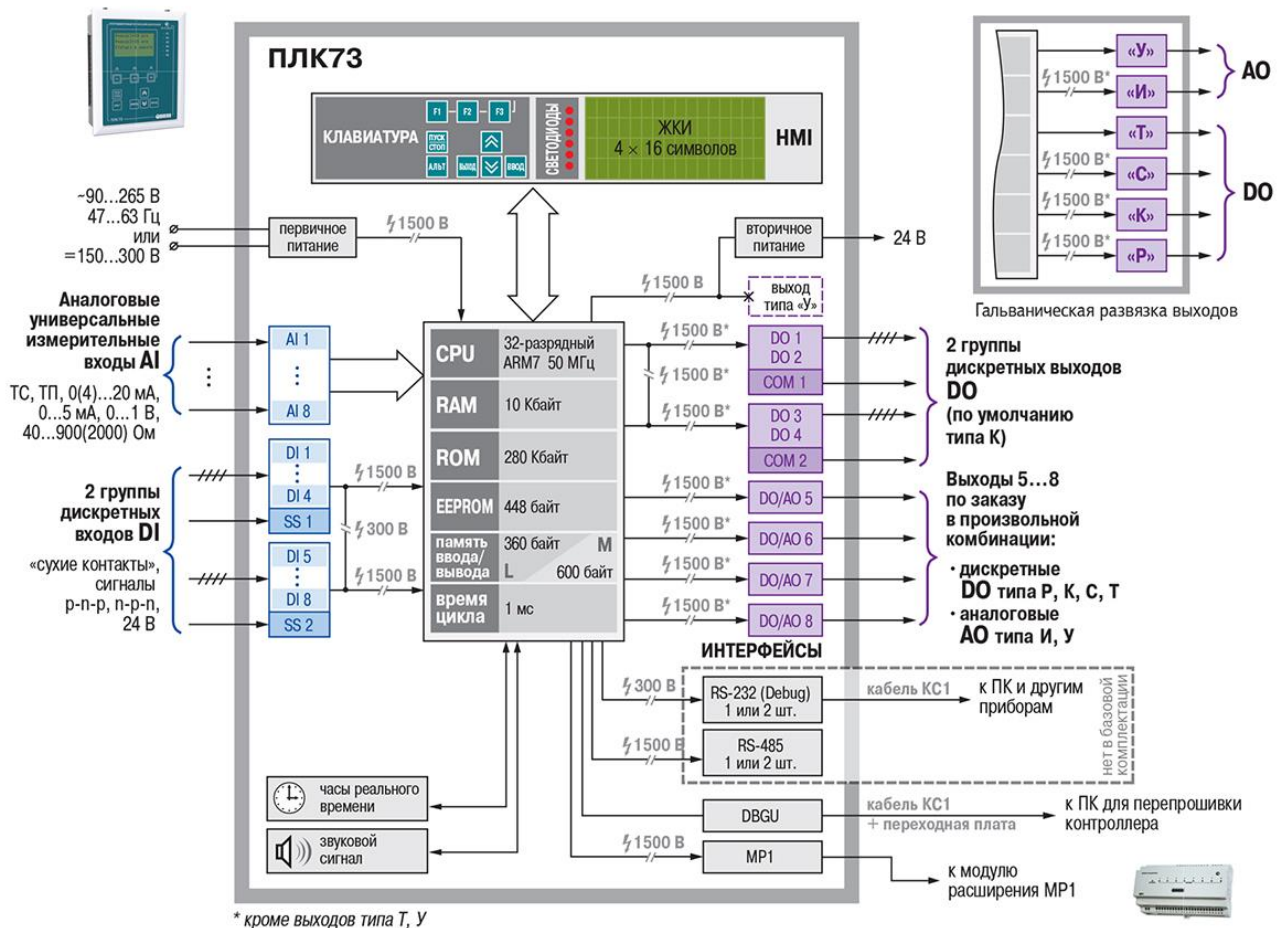


Рисунок 2. Функциональная схема ОВЕН ПЛК73

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

11.03.04.2017.399.ПЗ

Лист

14

1.4 Выбор микроконтроллера

Стоимость ОВЕН-73 довольно высока, поэтому можно разработать по образу этого ПЛК свой контроллер на микроконтроллере. Контроллер получится намного дешевле и гибче в применении. Для решения нашей задачи не нужен микроконтроллер с большой производительностью, подойдет 8-битный контроллер с RISC архитектурой. Лидеры в этой сфере являются Atmel(AVR) и MicroChip(PIC). Их контроллеры мало отличаются производительностью, периферией и ценой, поэтому нельзя однозначно сказать какой лучше. До сих пор ведутся споры что из этого лучше. Выбор происходит индивидуально исходя из опыта работы с конкретным контроллером.

Требования к контроллеру в нашем случае следующие: это 7 АЦП, 3 ШИМ-выхода, наличие различных прерываний и достаточно большое количество дискретных входов для подключения клавиатуры и дисплея, а также выходов для подключения реле и т.д. Этим требованиям удовлетворяет микроконтроллер от фирмы Atmel ATMega16. Выбор в пользу Atmel пал по причине того, что у PIC нет микроконтроллеров с большим количеством дискретных портов, напротив у Atmel почти имеется огромное количество. Так же у PIC совершенно неудобная адресация памяти, что значительно замедляет работу программы.

1.5 Дискретный ПИД-регулятор

При работе с приложениями, где выходной сигнал системы должен изменяться в соответствии с опорным значением, требуется алгоритм управления. Примерами таких приложений являются блок управления двигателем, блок управления температурой, давлением, расходом жидкости, скорости, силы или других переменных. ПИД-регулятор может быть использован для управления любой измеряемой переменной.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

В течение долгого времени в области управления использовались многие решения, но ПИД-регуляторы могут стать "промышленным стандартом" из-за своей простоты и хорошей производительности.

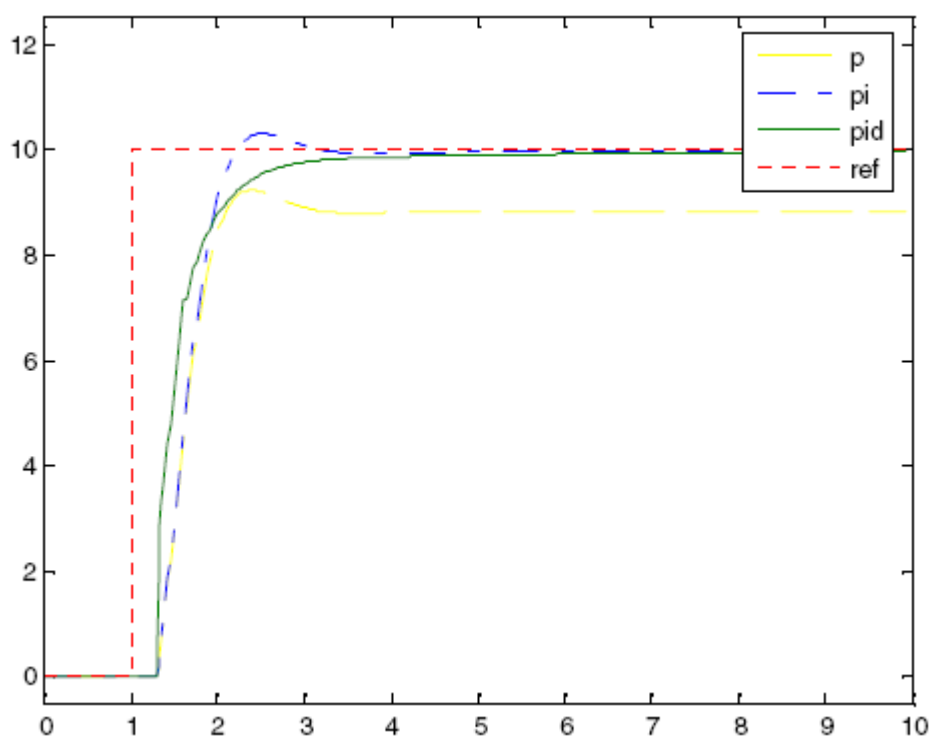


Рисунок 3. Типичный отклик ПИД-регулятора на ступенчатое изменение опорного сигнала

На рисунке 4 показана схема системы с ПИД-регулятором. ПИД-регулятор сравнивает измеренное значение процесса Y с заданным опорным значением Y_0 . Затем разница, или ошибка, E , обрабатывается для расчета нового входного процесса U . Этот новый входной процесс будет пытаться приблизить значение измеряемого процесса к заданному значению.

Альтернативой системе управления с замкнутым контуром, является система управления с открытым контуром. Открытый контур управления (без обратной связи) во многих случаях не является удовлетворительным, и его применение часто невозможно из-за свойств системы.

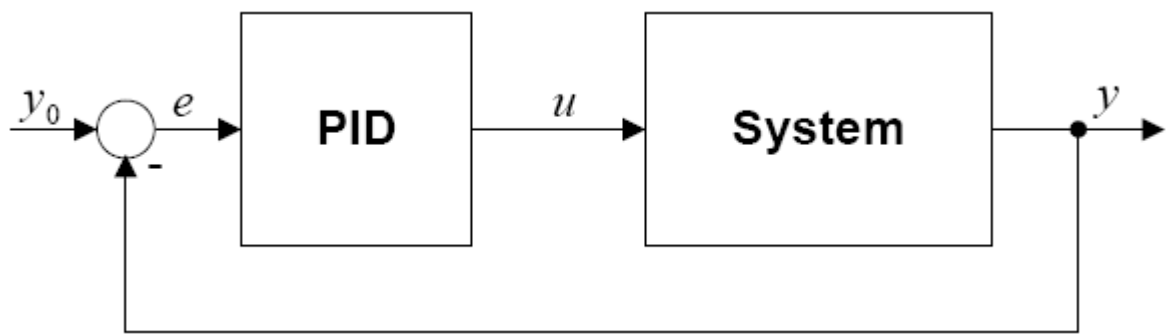


Рисунок 4. Управляющая система с замкнутым контуром на основе ПИД-регулятора

В отличие от простых алгоритмов управления, ПИД-регулятор способен управлять процессом, основываясь на его истории и скорости изменения. Это дает более точный и стабильный метод управления.

Основная идея в том, что контроллер получает информацию о состоянии системы с помощью датчика. Затем вычитает измеренное значение из опорного для вычисления ошибки. Ошибка будет обрабатываться тремя путями: обрабатываться в настоящем времени пропорциональной составляющей, возвращаться в прошлое, используя интегральную составляющую, и предвидеть будущее, через дифференциальную составляющую.

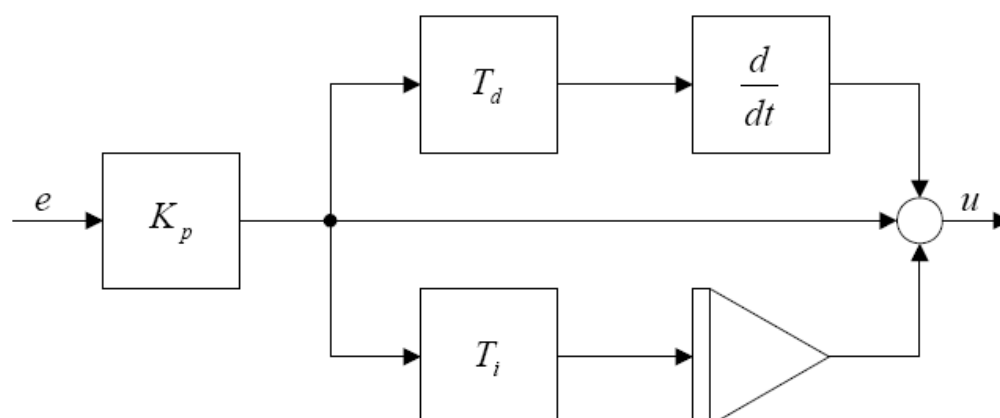


Рисунок 5. Схема ПИД-регулятора

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

11.03.04.2017.399.ПЗ

Лист

17

Рисунок 5 показывает схемное решение ПИД-регулятора, где T_P , T_I , и T_D обозначают постоянные времени пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих соответственно.

Пропорциональная составляющая (П) дает управляющий сигнал пропорционально вычисленной ошибке. Использование только одного пропорционального управления дает стационарную ошибку всегда, кроме случаев, когда управляющий сигнал равен нулю, а значение системного процесса равно требуемой величине. На рисунке 6 стационарная ошибка в значении системного процесса появляется после изменения опорного сигнала (ref). Использование слишком большого П-члена даст неустойчивую систему.

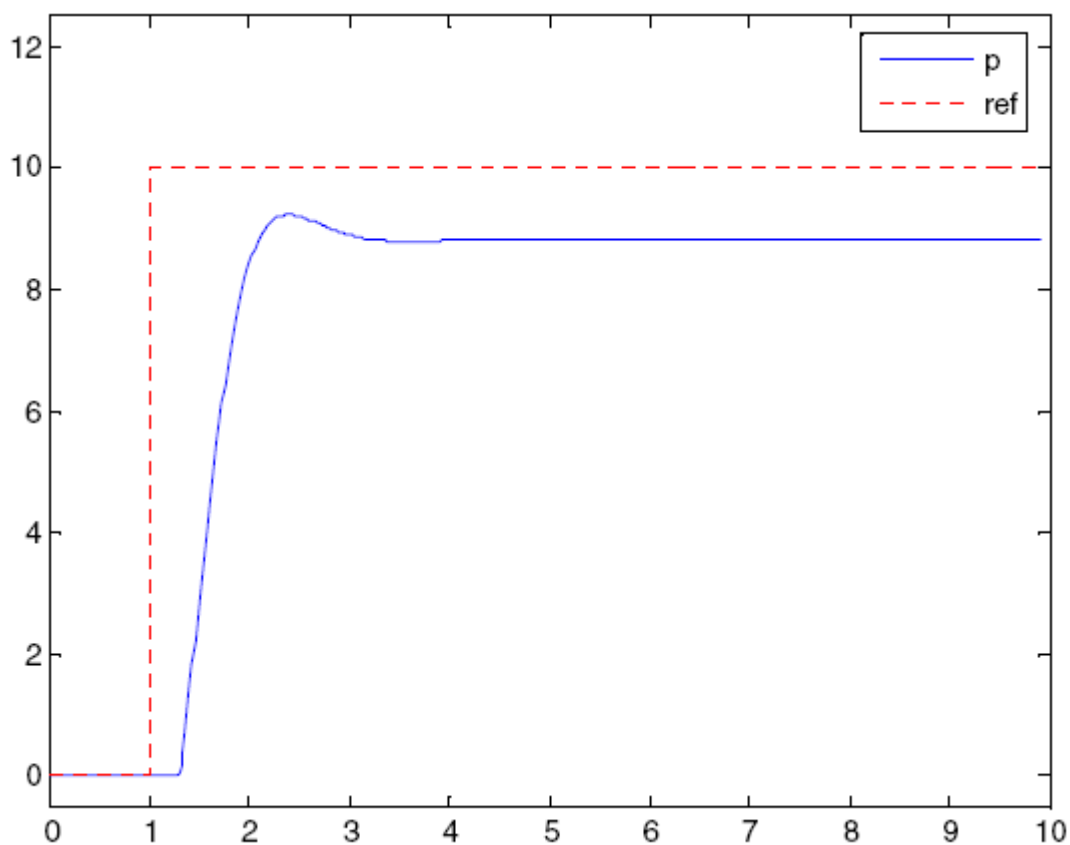


Рисунок 6. Отклик П контроллера на ступенчатое изменение опорного сигнала

Интегральная составляющая (И) представляет собой предыдущих ошибок. Суммирование ошибки будет продолжаться до тех пор, пока значение системного процесса не станет равно нужному значению. Обычно интегральную составляющую используют вместе с пропорциональной, в так называемых ПИ-регуляторах. Использование только интегральной составляющей дает медленный отклик и часто колебательную систему. Рисунок 7 показывает ступенчатый отклик И и ПИ-регуляторов. Как видим отклик ПИ-регулятора не имеет стационарной ошибки, а отклик И-регулятора очень медленной.

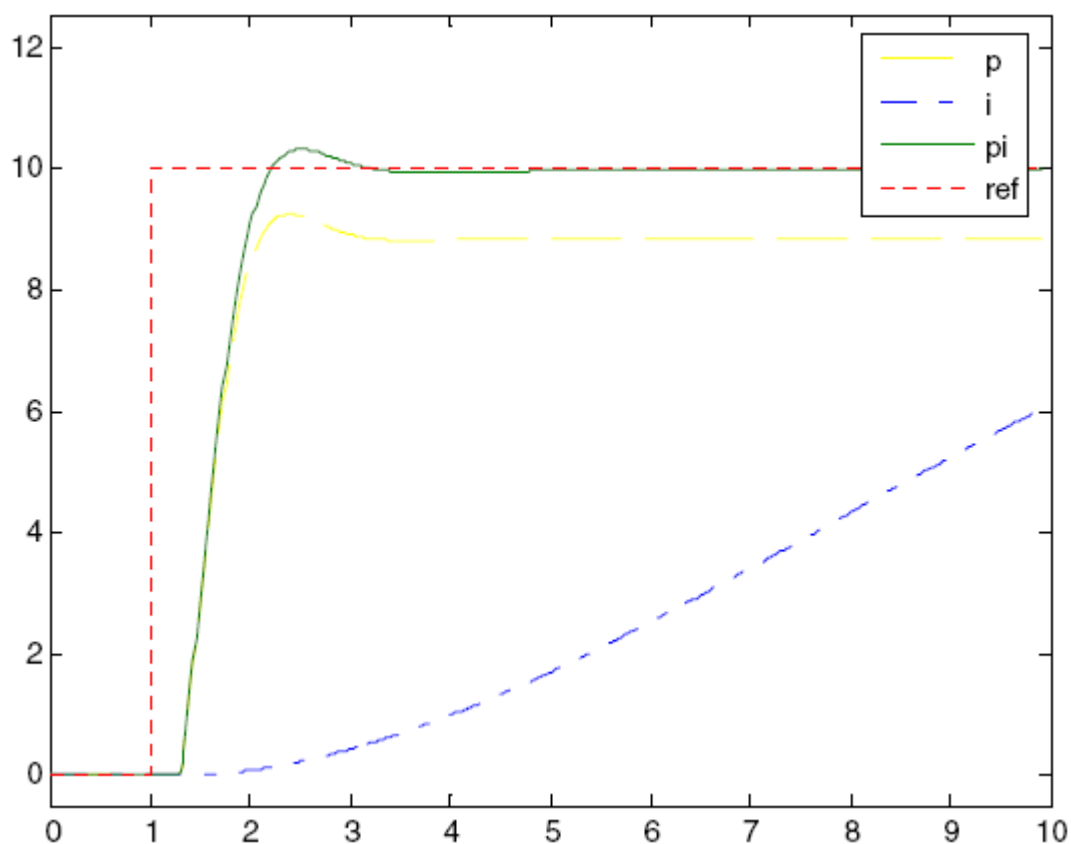


Рисунок 7. Отклик И- и ПИ-контроллера на ступенчатое изменение контролируемой величины

Дифференциальная составляющая (Д) представляет собой скорость изменения ошибки. Добавление этой составляющей улучшает отклик системы на внезапное изменение ее состояния. Дифференциальная составляющая Д обычно используется с П или ПИ алгоритмами, как ПД или ПИД контроллеры. Большая дифференциальная составляющая Д обычно дает неустойчивую систему. Рисунок

8 показывает отклики Д и ПД- контроллера. Отклик ПД-контроллера дает быстрый рост значения процесса, чем П контроллер. Обратите внимание, что дифференциальная составляющая Д ведет себя по существу как фильтр верхних частот для сигнала ошибки и, таким образом легко делает систему нестабильной и более чувствительной к шуму.

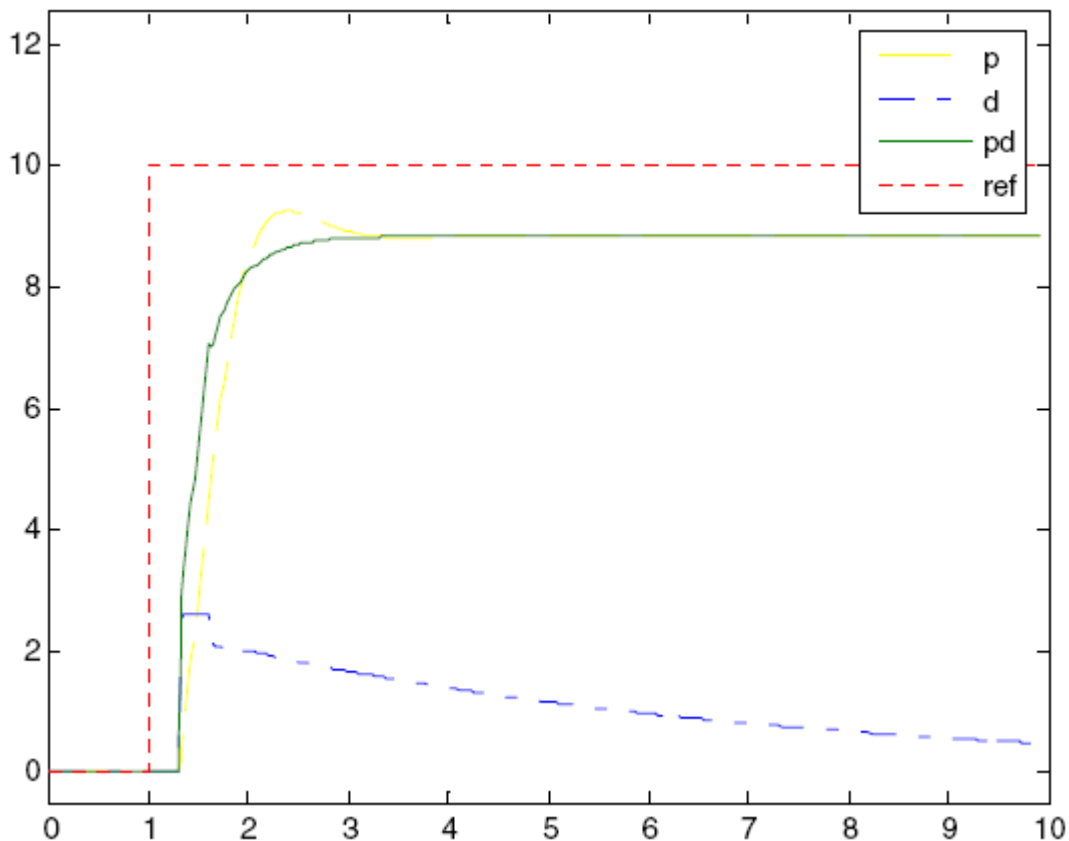


Рисунок 8. Отклик Д- и ПД-контроллера на ступенчатое изменение опорного сигнала

ПИД-регулятор дает лучшую производительность, поскольку использует все составляющие вместе. Рисунок 3 сравнивает П, ПИ, и ПИД-регуляторы. ПИ улучшает П, удалив стационарную ошибку, и ПИД улучшает ПИ более быстрым откликом.

Наилучший путь найти необходимые параметры ПИД алгоритма - это использование математической модели системы. Однако часто подробного математического описания системы нет и настройки параметров ПИД-регулятора

могут быть выполнены только экспериментально. Поиск параметров для ПИД-регулятора может быть сложной задачей. Здесь большое значение имеют данные о свойствах системы и различных условиях ее работы. Некоторые процессы не должны позволить перерегулирования процесса переменной от заданного значения. Другие процессы должны минимизировать потребление энергии. Также важнейшим требованием является стабильность. Процесс не должен колебаться ни при каких условиях. Кроме того, стабилизация должна наступать в течение определенного времени.

Существуют некоторые методы для настройки ПИД-регулятора. Выбор метода будет зависеть в значительной степени от того, может ли быть процесс автономным для настройки или нет. Метод Циглера-Николса это известный не автономный метод настройки. Первым шагом в этом методе является установка И и Д коэффициентов усиления в нуль, увеличивая усиление П до устойчивого и стабильного колебания (как можно ближе к опорному значению). Тогда критический коэффициент усиления K_C и период колебаний P_C записывается и П, И и Д значения корректируются с использованием таблицы 3.

Таблица 3. Расчет параметров по методу Циглера-Николса

Контроллер	K_P	K_I	K_D
П	$0,5 * K_C$		
ПД	$0,65 * K_C$		$0,12 * P_C$
ПИ	$0,45 * K_C$	$0,85 * P_C$	
ПИД	$0,6 * K_C$	$0,5 * P_C$	$0,12 * P_C$

Дальнейшая настройка параметров часто необходима для оптимизации производительности ПИД-регулятора. Так же есть системы, где ПИД-регулятор не будет работать. Такими могут быть нелинейные системы, но в целом, проблемы часто возникают с ПИД управлением, когда системы неустойчивы и влияние входного сигнала зависит от состояния системы.

Дискретный ПИД-регулятор будет считывать ошибку, вычислять и выдавать управляющий сигнал за время выборки T . Время выборки должно быть меньше, чем наименьшая постоянная времени в системе.

В отличие от простых алгоритмов управления, ПИД-регулятор способен манипулировать управляющим сигналом на основе истории и скорости изменения измеряемого сигнала. Это дает более точный и стабильный метод управления.

На рисунке 5 показано схемное решение ПИД-регулятора, где T_p , T_i и T_d обозначают постоянные времени пропорциональной, интегральной, и дифференциальной составляющих соответственно.

Передаточная функция системы, изображенной на рисунке 5 имеет вид:

$$\frac{u}{e}(s) = H(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{1}{T_d s} \right) \quad (1).$$

Это дает U по отношению к e в интервале времени:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\sigma) d\sigma + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2).$$

Аппроксимируем интегральную и дифференциальную составляющие, чтобы получить дискретный вид:

$$\int_0^t e(\sigma) d\sigma \approx T \sum_{k=0}^n e(k) \quad (3), \quad \frac{de(t)}{dt} = \frac{e(n) - e(n-1)}{T} \quad (4),$$

где $t = nT$, n является дискретным шагом времени t .

Это дает контроллер:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + K_i \sum_{k=0}^n e(k) + K_d (e(n) - e(n-1)) \right) \quad (5), \text{ где}$$

$$K_i = \frac{K_p T}{T_i}, \quad K_d = \frac{K_p T_d}{T}.$$

2 ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Подключение микроконтроллера

Для работы микроконтроллера в первую очередь требуется подключить некоторые элементы. Для работы требуется питание 5 В которое подаётся на вывод Vcc, а земля подключается к GND. Выводов Vcc и GND много и их необходимо подключать все, это сделано не для удобства монтажа, а с целью равномерной подачи питания к кристаллу со всех сторон, чтобы внутренние цепи питания не перегружались.

Отдельный вопрос вызывает AVcc — это питание для Аналого-Цифрового Преобразователя. АЦП это очень точный измеритель напряжения, поэтому его желательно запитать через дополнительные фильтры, чтобы помехи, которые не редки в обычной питающей цепи, не влияли на качество измерения. С этой целью проведём разделение земли на цифровую и аналоговую (они должны быть соединены только в одной точке), а на AVCC подается напряжение через фильтрующий дроссель.

Необходимо поставить керамический конденсатор на сотню нФ между Vcc и GND у каждого вывода питания как можно ближе к выводам питания — он сгладит краткие импульсные помехи в шине питания, вызванные работой цифровых схем. Конденсатор на 47мкФ в цепи питания сгладит более глубокие броски напряжения. Конденсатор между AVcc и GND дополнительно успокоит питание на АЦП.

Вход AREF это вход опорного напряжения АЦП. Туда необходимо подать напряжение относительно которого будет считать АЦП. Будем использовать напряжение на AVCC (5 В), поэтому на AREF поставим конденсатор, что немного улучшит качество опорного напряжения АЦП (а от качества опоры зависит адекватность показаний на выходе АЦП).

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Вывод RESET отвечает за сброс микроконтроллера. Когда на этом выводе логический ноль микроконтроллер не работает, поэтому необходимо подтянуть логический уровень до единицы, чтобы контроллер мог нормально работать.

Для увеличения производительности микроконтроллера будем использовать внешний кварцевый резонатор на 16 МГц, т.к. встроенный генератор импульсов всего на 8 МГц. Кварцевый резонатор подключается между выводами XTAL1 и XTAL2. Так же каждый вывод подключается к земле через керамические конденсаторы на несколько пФ.

Получается следующая схема подключения микроконтроллера:

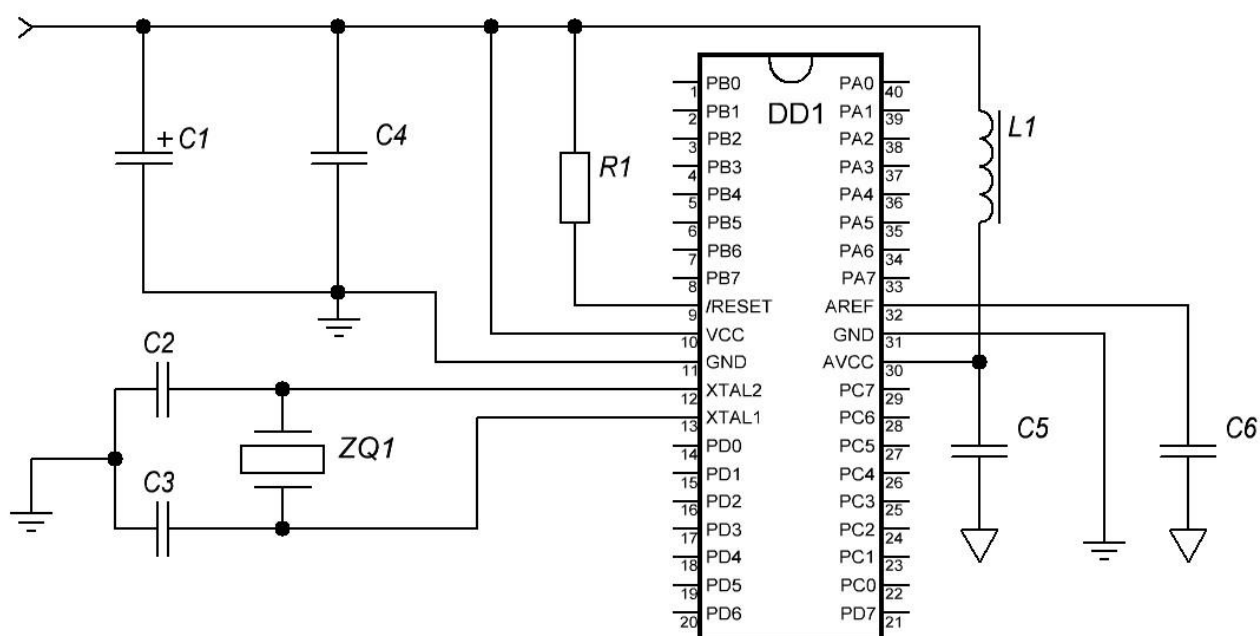


Рисунок 9. Схема подключения элементов к микроконтроллеру

2.2 Устройство ввода и вывода информации

Для вывода информации используется дисплей на базе микросхемы HD44780, т.к. это самый распространённый вариант дисплея. LCD на базе HD44780 подключается к AVR микроконтроллеру напрямую к портам. Есть

два способа подключения — на 8 бит и на 4 бита. Мы будем использовать способ подключения на 4 бит, т.к. это позволит сэкономить выводы.

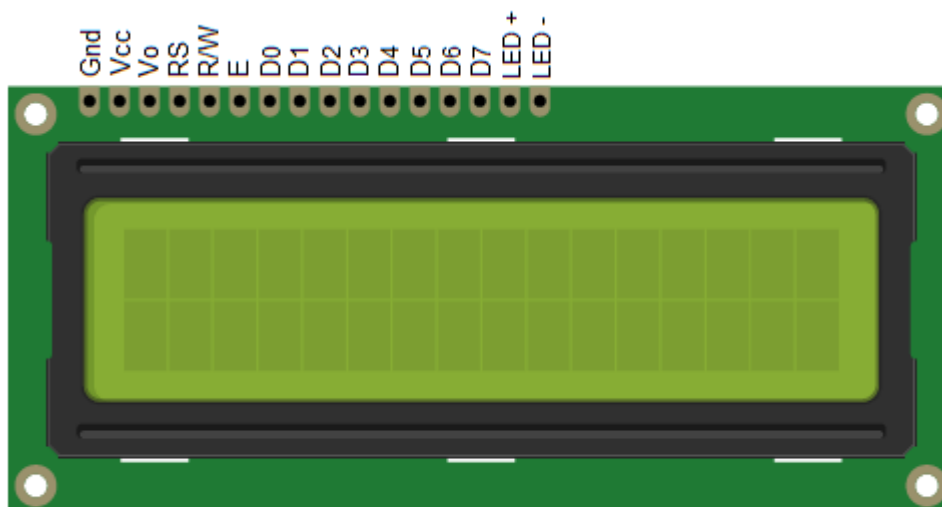


Рисунок 10. Общий вид и назначение выводов LCD дисплея

Vcc и GND подключаются к питанию 5 В, Vo через потенциометр так же подключается к питанию, этот вывод отвечает за контрастность изображения. LED+ и LED- отвечают за подсветку экрана, подключаются к питанию экрана. Подстройка яркости осуществляется подстрочным резистором RP1. Остальные выводы логические и подключаются к микроконтроллеру напрямую к портам. Для уведомления о необходимости каких-либо действий со стороны оператора применим звуковой пьезоизлучатель.

Для ввода информации будем использовать четырёхкнопочную клавиатуру и энкодер. В качестве кнопок будем использовать маломощные тактовые кнопки. Для подключения клавиатуры потребуется 4 порта на микроконтроллере. Порт подтягивается к логической единице через резистор. При нажатии кнопки порт подтягивается к логическому нулю. Для подключения энкодера понадобится ещё 3 порта. Три вывода подключаются как обычные кнопки, а четвёртый на землю.

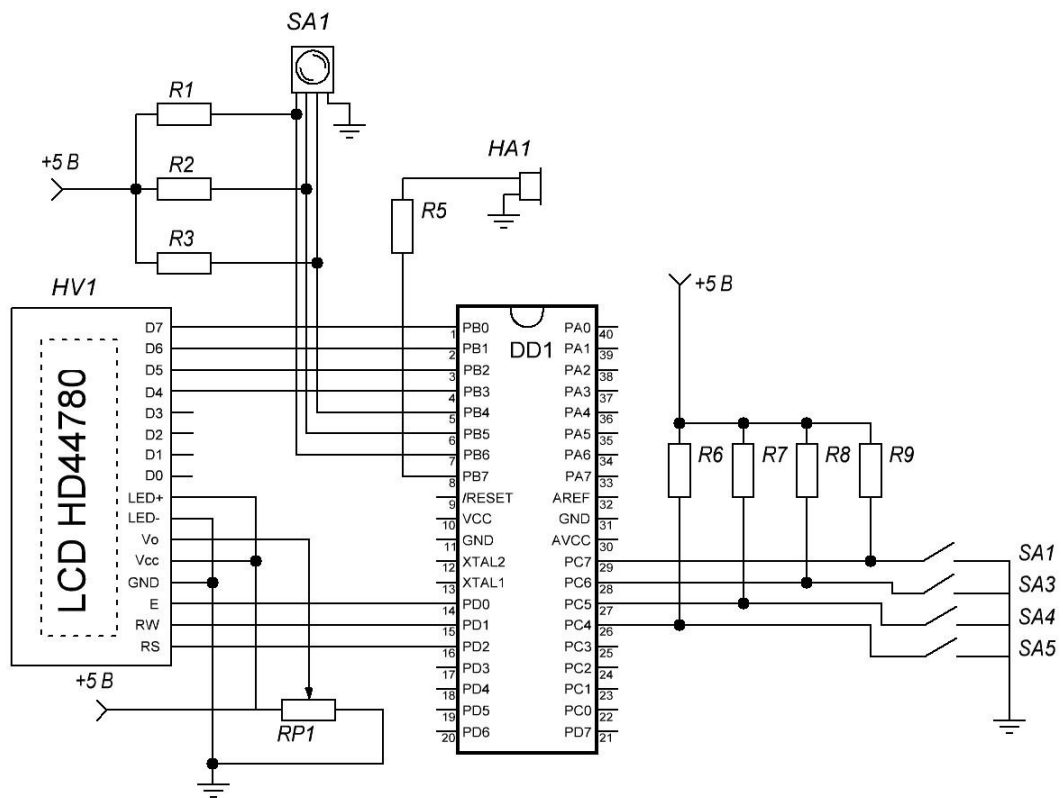


Рисунок 11. Схема блока ввода-вывода информации

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

11.03.04.2017.399.ПЗ

Лист

26

2.3 Управление испарителями

Система нагрева испарителей и подложки сейчас организована согласно схеме, которая представлена ниже.

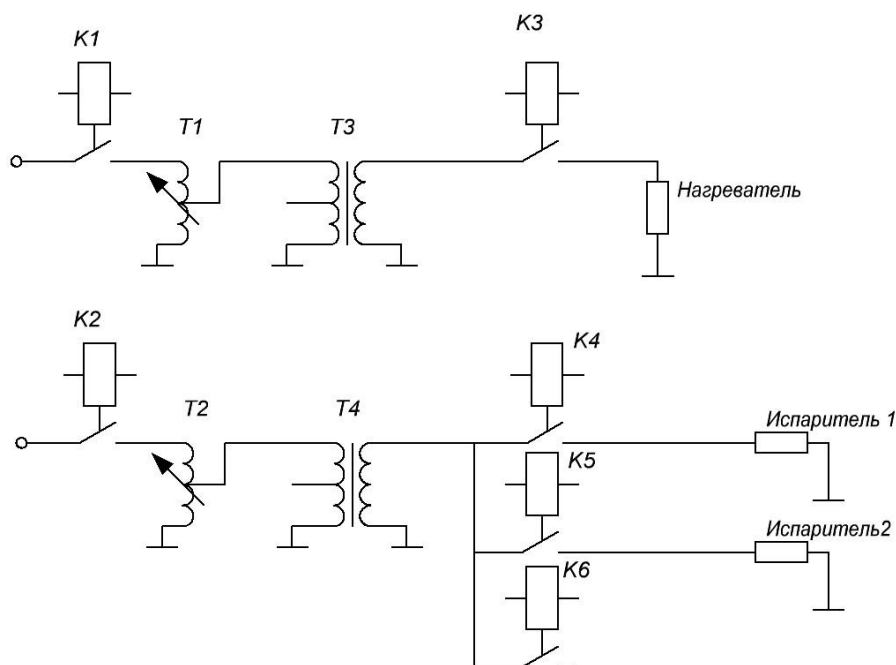


Рисунок 12. Штатная схема управления испарителями и подогревателем подложки

На схеме видно, что один трансформатор используется для нагрева двух испарителей, а второй только для маломощного нагрева подложки, причём оба трансформатора идентичны. Использование одного трансформатора на два испарителя исключает возможность одновременного использования двух испарителей. Выйти из этой ситуации можно таким образом: т.к. трансформаторы идентичные перенести один испаритель на трансформатор, на котором стоит маломощный нагреватель для подогрева подложки. В свою очередь нагреватель для подложки перенести на маломощный блок питания.

Изменение мощности на установке осуществлялось автотрансформатором. Вращая ручку автотрансформатора изменяем напряжение на первичной обмотке силового трансформатора и таким образом меняется выходное напряжение трансформатора.

Сейчас же изменять мощность испарителя будем с помощью связки оптосимистора с переключением через ноль (Zero Crossing Circuit) и симистора, тем самым обеспечив надёжную гальваническую развязку. При изменении логического уровня ШИМ сигнала симистор закроется или откроется в ближайший момент перехода напряжения через ноль. Симистор подключается к первичной обмотке трансформатора испарителя. Регулируя скважность управляющих прямоугольных импульсов, будем изменять количество периодов сетевого напряжения пройденных через трансформатор за единицу времени. Таким образом мы можем регулировать количество полуволн на первичной обмотке. Для надёжности вторичная обмотка будет подключаться к испарителю через штатный контактор КМ400ДВ, которое будет управляться, через маломощный биполярный транзистор, микроконтроллером. Симистор необходимо установить на радиатор, причём радиатор должен быть изолирован от токопроводящих конструкций.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

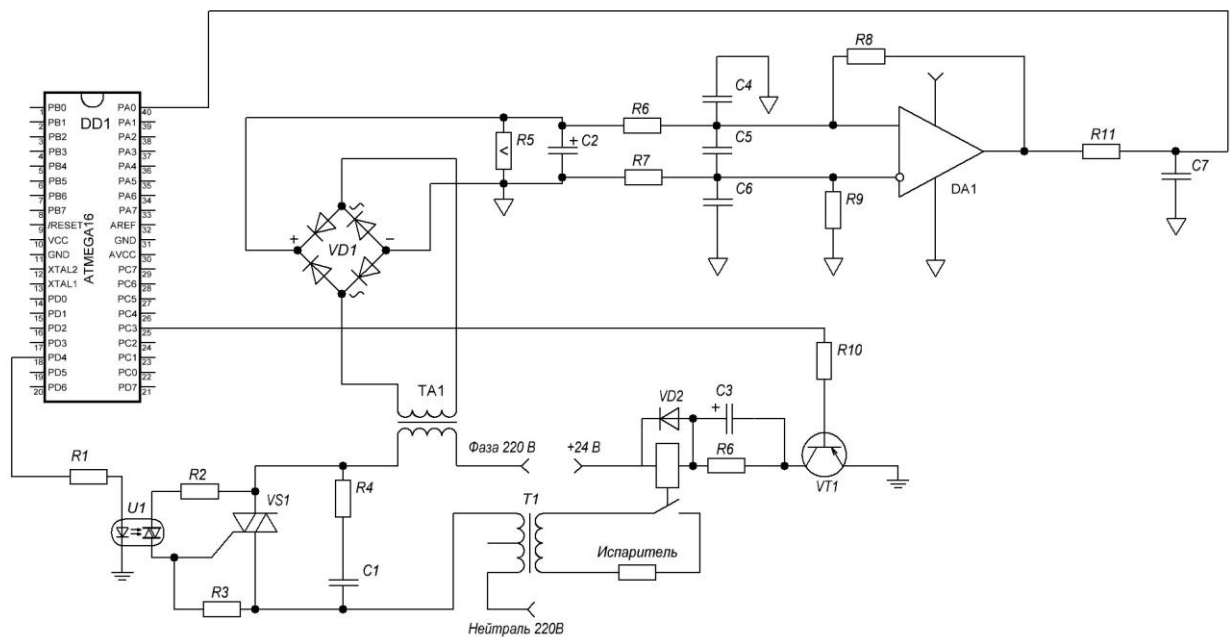


Рисунок 13. Схема управления одним из испарителей

На рисунке 13 показана схема управления только одного нагревателя, система второго нагревателя идентична.

Регулировка мощности испарителей будет осуществляться по току. На установке штатно присутствуют токовые трансформаторы 1:100. При максимальном токе установки в 400 А, на выходе токового трансформатора будет 4 А. Такие токи можно измерять стандартным АЦП, который входит в состав ATmega16, но для этого придётся добавить измерительный шунт. Т.к. ток переменный, а с помощью АЦП можем изменять только постоянные токи, то его необходимо выпрямить.

После выпрямления тока, при действующем значении тока 4 А, мы получим ток в 5,65 А. При использовании шунта в 1 Ом, мы получим падение напряжения на резисторе 4,25 В, т.к. 1,4 В падает на выпрямительных диодах, следовательно, с таким шунтом мы уложимся в пределы измерения АЦП без применения каких-либо усилителей, однако мощность, выделяемая на резисторе будет более 30 Вт. Такое положение дел не устраивает и необходимо применять

более низкоомный шунт с последующим усилением сигнала. При использовании шунта 0,1 Ом получим мощность чуть больше 3 Вт, но необходимо применять усилитель. Усиливать сигнал будем в 10 раз, применяя усилитель, о котором говорится ниже.

2.4 Управление подогревом подложки

В установке имеется подогреватель подложки. Его мощность 12 Вт при напряжении 15 В. Вместо силового трансформатора, который изъяли для работы второго испарителя будем использовать маломощный блок питания. Забегая вперед скажу, что будет использоваться блок питания с шиной +24 В. Чтобы не испортить нагреватель максимальная скважность сигнала будет ограничена 50%. Нагреватель подключается между +24 В и стоком полевого транзистора. Исток полевого транзистора подключается к земле, а на затвор транзистора подается ШИМ сигнал с микроконтроллера, который определяет мощность подогревателя. Скважность ШИМ сигнала определяется по необходимой и текущей температуре.

Определять температуру подложки будем с помощью термопары типа К. Снимать ЭДС термопары будем с помощью АЦП, который встроен в микроконтроллер. Непосредственно снимать ЭДС с термопары не получится. Проблема в том, что напряжение на термопаре меняется на 41мкВ/°С. Если посмотреть на график, то видно, что при изменении температуры от 0 °С до 150 ° напряжение на термопаре изменится на 6,2 мВ, а это мало. Опорное напряжение АЦП 5 В и нам необходимо промасштабировать сигнал с термопары в 800 раз.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

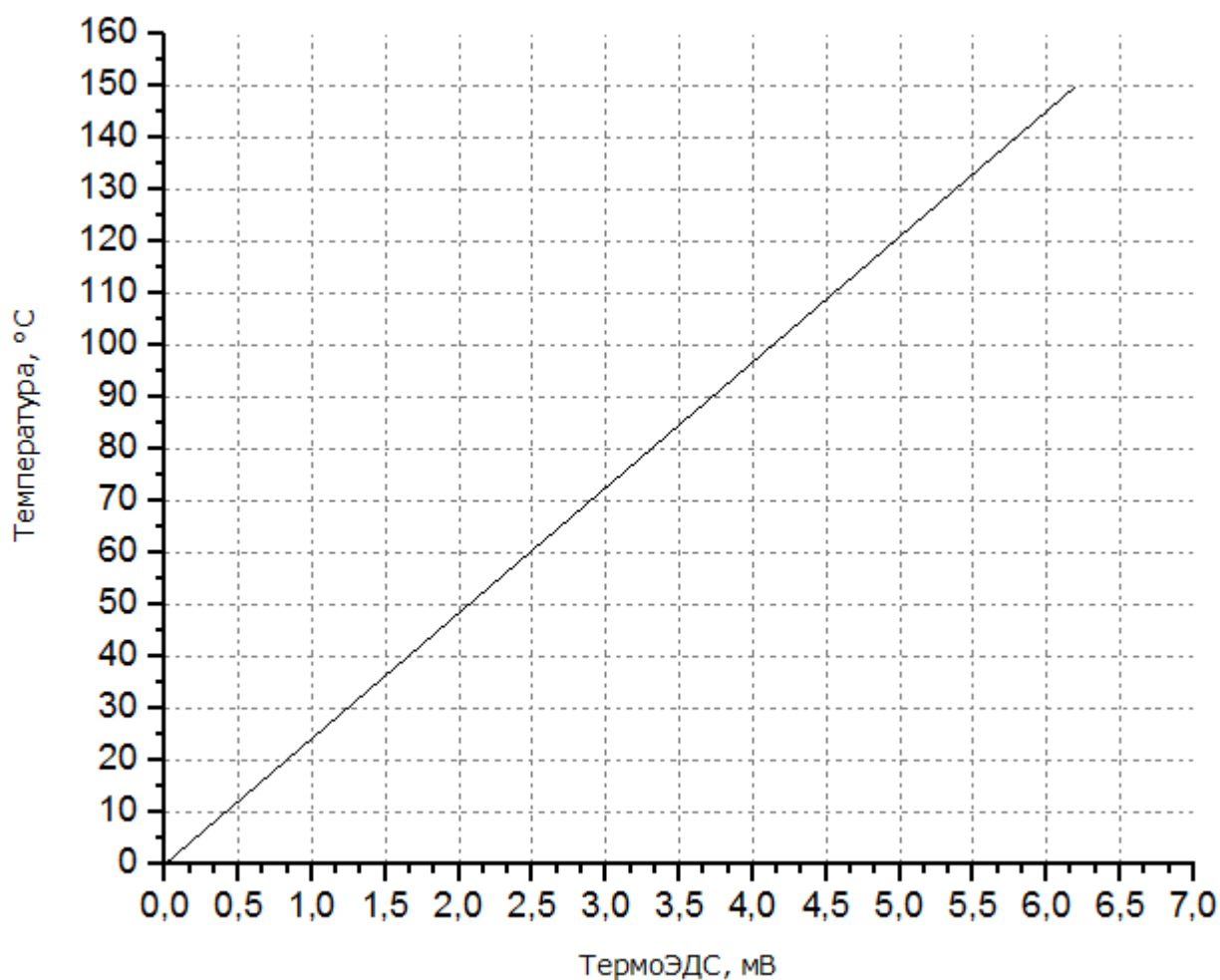


Рисунок 14. График зависимости термоЭДС от температуры термопары типа К

Так же выводы термопары являются длинными и часто прокладываются в электрически зашумленном окружении. Помехи, считанные выводами, могут легко поглотить ничтожный сигнал термопары. Поскольку большие помехи появляются в обоих проводах (т.е. синфазно) для их устранения можно использовать усилитель с дифференциальным входом. Для устранения дифференциальных радиочастотных помех применяются фильтры низкой частоты, установленные до дифференциального усилителя. После усиления сигнал отфильтровывается от сетевых помех с частотой 50 Гц и попадает на АЦП. Ниже представлена схема, которая построена на операционном усилителе LM358.

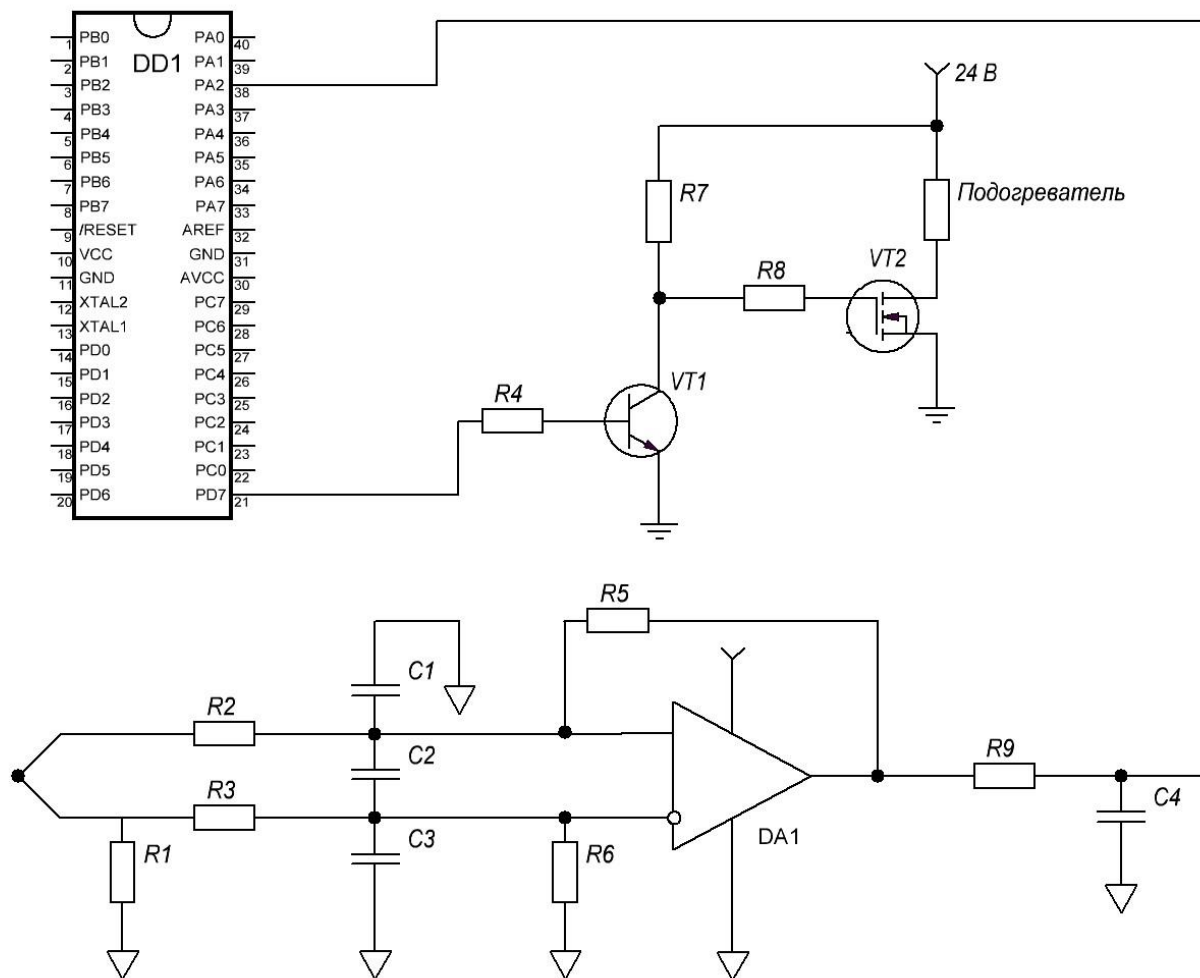


Рисунок 15. Схема управления подогревателя подложки

2.5 Измерение глубины вакуума

Контроль давления осуществляется вакуумными лампами ПМТ-2, которые штатно установлены в многие советские вакуумные установки. Она представляет собой четырёхполюсник с обмоткой накала и термопарой. Обмотке накала требуется стабилизированный источник тока с возможностью подстройки, т.к. параметры ламп разнятся и при замене это вызывает проблемы. Стабилизатор тока построен на регулируемом стабилизаторе LM317. Подстройка тока осуществляется подстроечным резистором R2. Диапазон регулировки тока от 100 мА до 150 мА.

Глубина вакуума определяется по значению ЭДС термопары. Из документации к лампе была взята таблица соответствия давления и термоЭДС и перенесена на график в полулогарифмическом масштабе. Проведя регрессионный анализ была получена следующая кривая аппроксимации $P = \frac{254,83}{\varepsilon} - 24$

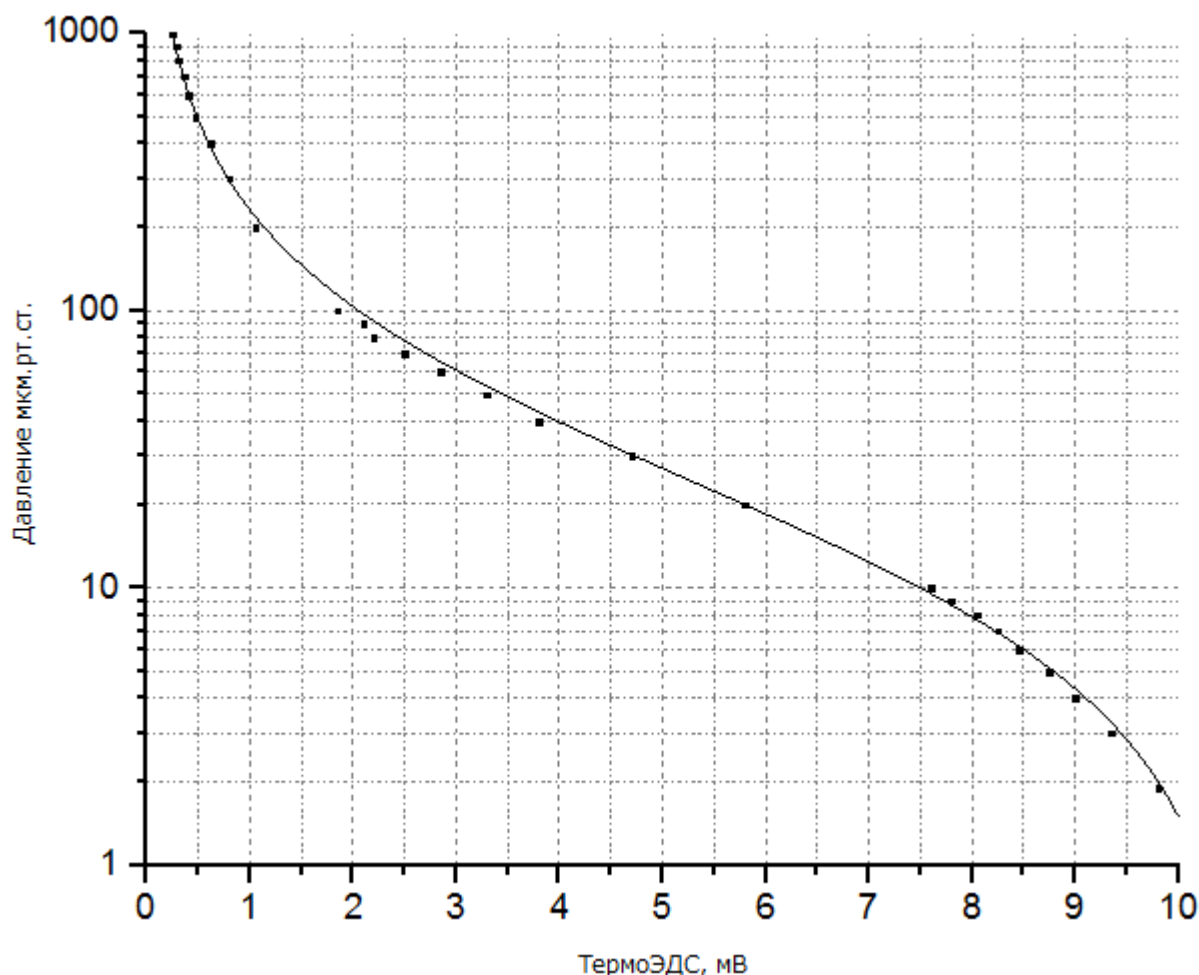


Рисунок 16. График зависимости термоЭДС от давления

Максимальное значение ЭДС 10 мВ, потребуется усиление сигнала в 500 раз. Т.к. график далеко нелинейный расчёты на себя возьмёт микроконтроллер, а оператор будет получать непосредственно абсолютное значение давления.

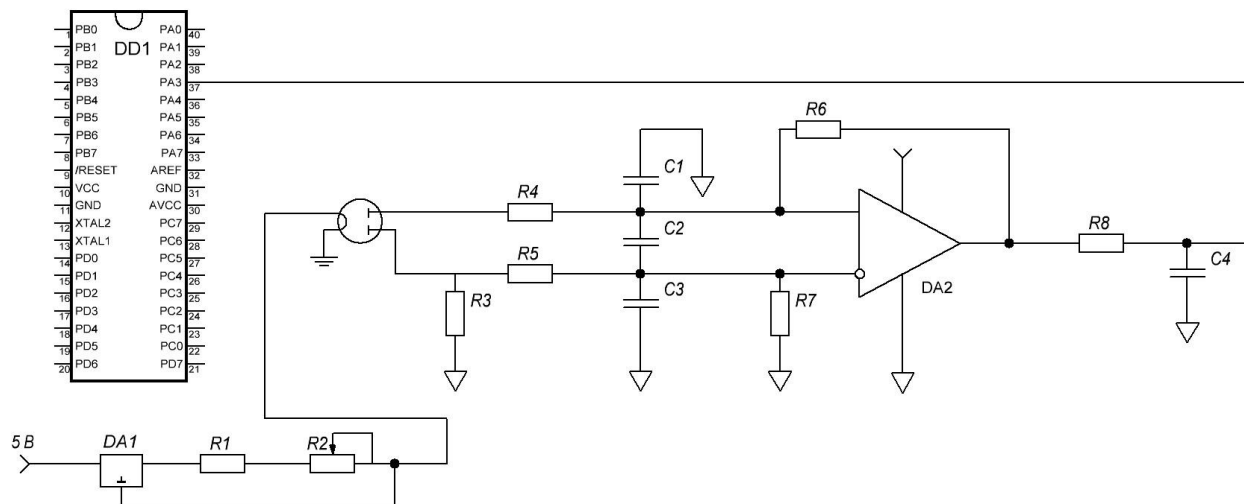


Рисунок 17. Схема снятия значения термопары лампы ПМТ-2

На рисунке 17 показана схема для одной лампы, для второй лампы схема аналогичная.

2.6 Свидетели

Для определения начала напыления и контроля толщины резистивного слоя необходимо два свидетеля. Один свидетель устанавливается на заслонку, чтобы после напыления небольшого количества меди на свидетель он замкнулся и подал сигнал на микроконтроллер, который откроет заслонку. Делается это для того, чтобы загрязнения, содержащиеся в меди, испарились на заслонку, не попали на подложку. За время до замыкания свидетеля все загрязнения успеют испариться.

Второй свидетель устанавливается на его штатное место рядом с подложкой. С помощью его можно контролировать толщину резистивного слоя. В штатном режиме прибор выводит сопротивление свидетеля. Зная материал, площадь свидетеля и его сопротивление вычисляли толщину вручную.

Измерение сопротивления свидетеля будет осуществляться с помощью АЦП. Последовательно свидетелю включается резистор и измеряется падение напряжения на этом резисторе. Сопротивление свидетеля вычисляется как $R_{св} = \frac{UR_2}{U_2} - R_2$. Вычисление будет проводить микроконтроллер. Толщина слоя вычисляется как $h = \frac{R_{св}}{R_{\blacksquare}}$. Все вычисления проводит микроконтроллер, оператор же получает абсолютное значение толщины.

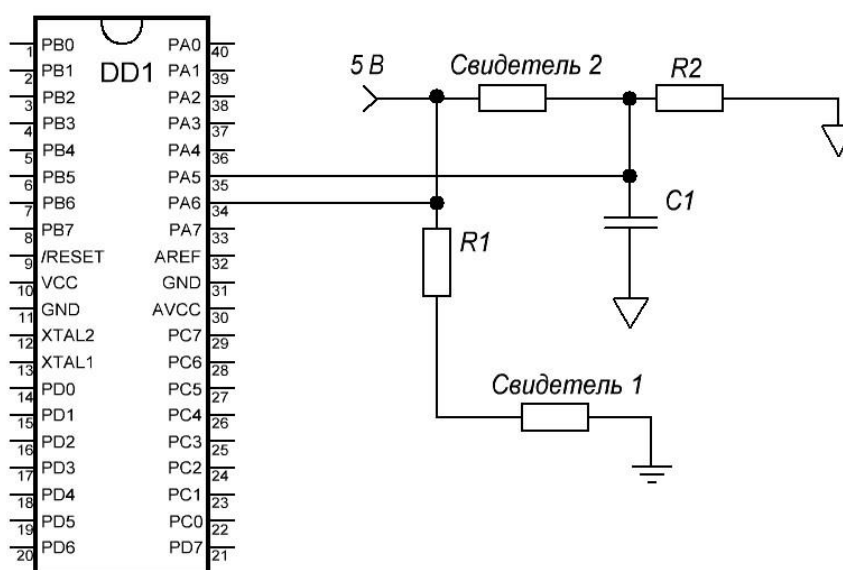


Рисунок 18. Схема снятия состояния свидетелей

2.7 Механизм управления заслонкой

Открытие заслонки осуществляется с помощью электромагнита. Пока на электромагните удерживаются 24 В заслонка остаётся открытой. Управлять электромагнитов будем с помощью транзисторов, аналогично тому, как это делалось для контакторов испарителей (рисунок 13)

2.8 Управление насосами

Для автоматизации процесса откачки и поддержания давления необходимо управлять вакуумными насосами. Штатно они включаются кнопками на панели управления. Чтоб насосы включались автоматически будем использовать реле, которым будет управлять микроконтроллером через маломощные биполярные транзисторы. Схема управления реле с помощью микроконтроллера аналогичная схеме управления контакторами испарителей (рисунок 13).

2.9 Блок питания

Для питания всей низковольтной части необходим блок питания с шинами +5 В и +24 В. Целесообразно использовать импульсный блок питания, т.к. они отличаются малыми габаритами и малой ценой. Предлагается использовать следующий импульсный блок питания.

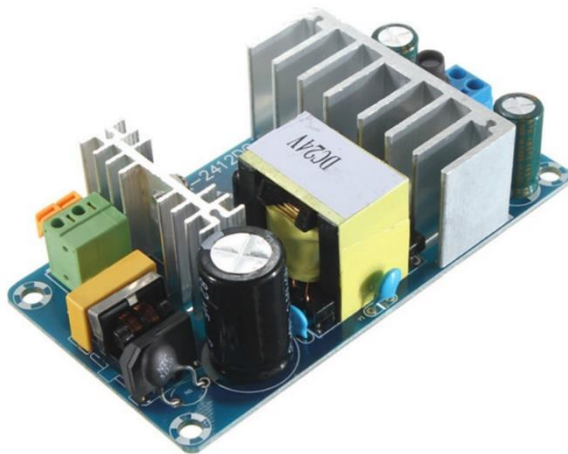


Рисунок 19. Внешний вид блока питания

Его характеристики следующие:

- Входное напряжение: AC85-265V, частота 50/60 Гц,

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		36

- выходное напряжение: DC 24 В,
- выходная мощность: 100 Вт,
- пульсации менее 200 мВ,
- защита от короткого замыкания,
- габаритные размеры: 98x47 мм.

Для получения шины +5 В используем DC-DC преобразователь.



Рисунок 20. Внешний вид DC-DC преобразователя

- Входное напряжение: DC6-30 В,
- выходное напряжение: DC 24 В,
- выходная мощность: 15 Вт,
- КПД 95%,
- габаритные размеры: 59x21 мм.

3 ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Интерфейс

Главное меню состоит из следующих пунктов:

- Автоматический режим,
- Ручной режим,
- Настройки.

Начнём с пункта настроек. Настройки включают в себя:

- $R_{\text{мин}}$ — давление при котором начнётся напыление в автоматическом режиме,
- $R_{\text{макс}}$ — давление при котором напыление прекратится до установления давления на уровне $R_{\text{мин}}$ в автоматическом режиме,
- $R_{\text{диф}}$ — давление при котором отключается форвакуумный насос и включается диффузионный,
- $R_{\text{кв}}$ — R_{\square} резистивного слоя, для вычисления толщины резистивного слоя.
- $K_{\text{д}}$ — дифференциальный коэффициент для регулятора температуры подложки,
- $K_{\text{и}}$ — интегральный коэффициент для регулятора температуры подложки,
- $K_{\text{п}}$ — пропорциональный коэффициент для регулятора температуры подложки.

3.1.1 Режим автоматического напыления

Пункт автоматического напыления включает в себя:

- Тип слоя:
 - Проводящий (первый испаритель),
 - Резистивный (второй испаритель).
 - Толщина слоя.

Для резистивного слоя указывается толщина при котором напыление прекращается

- Ток напыления (можно регулировать в процессе напыления)
- Начать напыление.

В автоматическом режиме включение насосов, начало и прекращение напыления происходит автоматически. Уведомление о прекращении напыления производится звуковой индикацией. Так же в процессе подготовки к напылению (во время откачки камеры) оператору будет необходимо переключать клапана вручную. О необходимости переключения клапанов оператор будет уведомляться сообщением на дисплее и звуковой индикацией.

Напыление проводящего слоя прекращается после полного испарения меди. Факт полного испарения меди определяется программно. Напыление резистивного слоя прекращается при достижении необходимого слоя.

В процессе напыления в автоматическом режиме напыление может приостанавливаться если давление поднимется выше отметки $P_{\text{макс}}$. В этом случае ток испарителя снижается и напыление прекращается до установления давления ниже отметки $P_{\text{мин}}$.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

В процессе напыления отображается следующая информация:

- Текущий ток (регулировка осуществляется энкодером),
- Текущее давление,
- Номер испарителя,
- Толщина резистивного слоя (для испарителя 2).

В случае необходимости можно прекратить напыление зажатием кнопки энкодера в течении трёх секунд.

3.1.2 Режим ручного напыления

В режиме ручного напыление возможно использование двух испарителей одновременно. Перед началом напыления выбирается испаритель: Испаритель1, Испаритель2 или Испаритель1+2.

Регулируется ток каждого испарителя индивидуально в процессе напыления энкодером. На дисплее отображается следующая информация:

- Ток испарителей(слева испаритель1, справа испаритель2),
- Текущее давление,
- Толщина резистивного слоя,
- Заслонка: открыта/закрыта.

В ручном режиме уведомления о переключении клапанов не приходит, напыление не останавливается при повышении давления, оператор должен следить за всем самостоятельно. В случае повышения давления оператор должен понизить ток испарителей и при необходимости закрыть заслонку.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

3.2 Работа с LCD экраном

Будем говорить и четырёхразрядном способе общения с дисплеем для экономии выводов микроконтроллера. Общение происходит с помощью управляющих выводов:

- RS — высокий уровень на этой выводе говорит о том, что контроллер принимает данные, в противном случае контроллер принимает команды,
- D4-D7 — линия данных,
- E — стробирующие импульсы.

ЖК принимает информацию с помощью D4-D7, которая может быть данными (ASCII код выводимого символа) если на RS логическая единица или командой (очистить экран, перенести курсор и т.п.) если на RS логический ноль. О том, какие бывают команды я расскажу позже, сейчас сконцентрируем внимание на физическом уровне взаимодействия.

Обмен информацией происходит по байтно, т.к. мы говорим четырёхразрядном режиме, то микроконтроллер выставляет на D4-D7 логические единицы и логические нули, которые соответствуют старшему передаваемому полубайту, далее на E формируется стробирующий импульс, по заднем фронту которого ЖК считывает данные.

Далее микроконтроллер заново выставляет на D4-D7 логические единицы и логические нули, которые соответствуют младшему передаваемому полубайту и опять на E формируется стробирующий импульс, по заднем фронту которого ЖК считывает данные. После некоторой временной паузы (зависит от команды) цикл передачи байта данных или команды повторяется.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

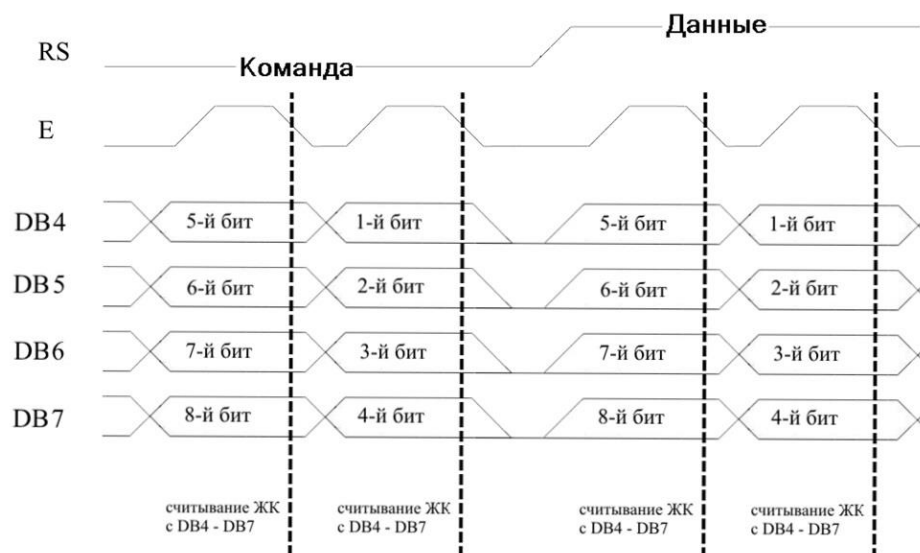


Рисунок 20. Временная диаграмма передачи команд и данных

3.3 Работа с АЦП

Снятие значений будет осуществляться в два этапа:

- 1) Снятие напряжения с АЦП
- 2) Перевод напряжения в необходимую величину

Сначала происходит инициализация АЦП:

```
void ADC_init(void)
{
    ACSR=0x80;
    SFIOR=0x00;
    ADCSRA=0x87
}
```

В документации сказано, что для более стабильной работы АЦП его необходимо тактировать с частотой 50-200 кГц. В регистре ADCSR первые три младших байта отвечают за коэффициент деления частоты кварцевого резонатора. Т.к. кварцевый резонатор на 16 МГц, то был выбран коэффициент деления 128. В итоге получаем частоту преобразования 125 кГц.

АЦП в микроконтроллере всего один, а выходов восемь. Это осуществляется с помощью мультиплексирования. Регистр ADMUX отвечает за то, какой вход сейчас подключён к АЦП.

Создадим функцию снятия показания АЦП:

```
int ADCon(port) // port-номер порта для которого происходит
преобразование
{
    ADMUX|=port;
    _delay_ms(20); // задержка в 20 мс для стабильной работы
    ADCSR|=0x40; // начало преобразования
    data=ADCW; // копирование значения преобразования в data
}
```

Сразу после преобразования необходимо произвести перевод значения data в необходимую нам величину, например для температуры подогревателя:

$$T=data*0.0048828/0.0328$$

где, 0.0048828 это значение напряжения на один бит, 0.0328 значение напряжения на один градус.

После всех этих операций можно использовать полученные значения для различных операций, например вывода на экран.

3.4 Работа с ШИМ

В нашем случае проще всего сделать ШИМ на генераторе, который встроен в таймеры. Причем в первом таймере у нас целых два канала. Так что без особых проблем ATmega16 может реализовать одновременно четыре канала ШИМ.

ШИМ в AVR бывает трех видов: быстрый ШИМ, ШИМ с точной фазой и ЧИМ(Частотно-импульсный моделированный сигнал), нас интересует самый простой — Быстрый ШИМ, т.к. нам не важна фаза ШИМ сигналов.

Как и любую периферию таймеры нужно правильно проинициализировать, указать что они будут работать в режиме быстрого ШИМ. Создадим функцию инициализации таймеров

```
void PWM_init(void)
{
    TCCR0 = 0x6C; // быстрый шим для подогревателя
    TCCR1A |= (1<<COM1B1) | (0<<COM1B0) | (1<<WGM10) | (0<<WGM11) | (1<<COM1A1) | (0<<COM1A0);
    TCCR1B |= (1<<WGM12) | (0<<WGM13) | (1<<CS10); // быстрый 8-бит шим для испарителей
}
```

Т.к. ШИМ 8-битные счёт производится от 0 до 255 и скважность устанавливается записью числа в регистр OCR** соответствующего таймера. Например если записать число 85, то скважность будет 33%.

3.5 ПИД-регулирование подогревателя подложки

Управляющая величина состоит, в нашем случае это скважность ШИМ сигнала, состоит из трёх слагаемых: пропорциональной (пропорциональна величине ошибки), интегральной (пропорциональна сумме прошлых ошибок) и дифференциальной (пропорциональна скорости изменения ошибки) ошибок.

Ошибка вычисляется как разность между реальным параметром и требуемым. Реальное значение параметров измеряется с помощью АЦП. Важно что бы частота поступления реального параметра была достаточной для обеспечения заданной точности регулирования. В идеале необходимо непрерывное отслеживание реального параметра, но на практике это невозможно.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Создадим функцию вычисления управляющей величины. Функция будет принимать следующие переменные: требуемое значение параметра, реальное значения параметра, коэффициенты ПИД регулирования (K_p , K_i , K_d). Выходным значением функции является скважность ШИМ сигнала. Значение о сумме ошибок за предыдущие участки времени необходимо хранить в отдельной переменной. Значение шага вызова функции ПИД регулирования должно быть либо фиксированным, либо его необходимо передавать функции время с момента последнего вызова функции.

```
float PID (int Tc, int Tr)
{
    err= Tr - Tc; // вычисление ошибки
    integral=integral+err; // вычисление суммы ошибок, ошибка может
    быть и отрицательной
    control=Kp*err+Ki*integral*t_step+Kd*(pre_err-err);
    pre_err=err; // текущая ошибка становится предыдущей
    return control; // возвращаем управляющее воздействие
}
```

Для повышения точности K_p K_i и K_d увеличиваются в 128 раз. Результат ПИД алгоритма позже уменьшается путем деления на 128. Значение 128 используется для обеспечения оптимизации при компиляции.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе разработан проект модернизации установки вакуумного напыления УВН-5 с применением микропроцессорных технологий и современной компонентной базы. По этому проекту так же можно модернизировать аналогичные советские установки. Результатом модернизации является:

- улучшение качества и производительности труда,
- повышение обучаемости в образовательных учреждениях,
- повышение воспроизводимости результатов,
- возможность напыления более сложных структур.

Проект может быть использован для мелкосерийного производства наборов модернизации вакуумных установок. Универсальность таких наборов возможна благодаря модульности блоков. Так же возможно использование проекта для самостоятельной сборки модулей и модернизации в рамках сжатых финансовых возможностей.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

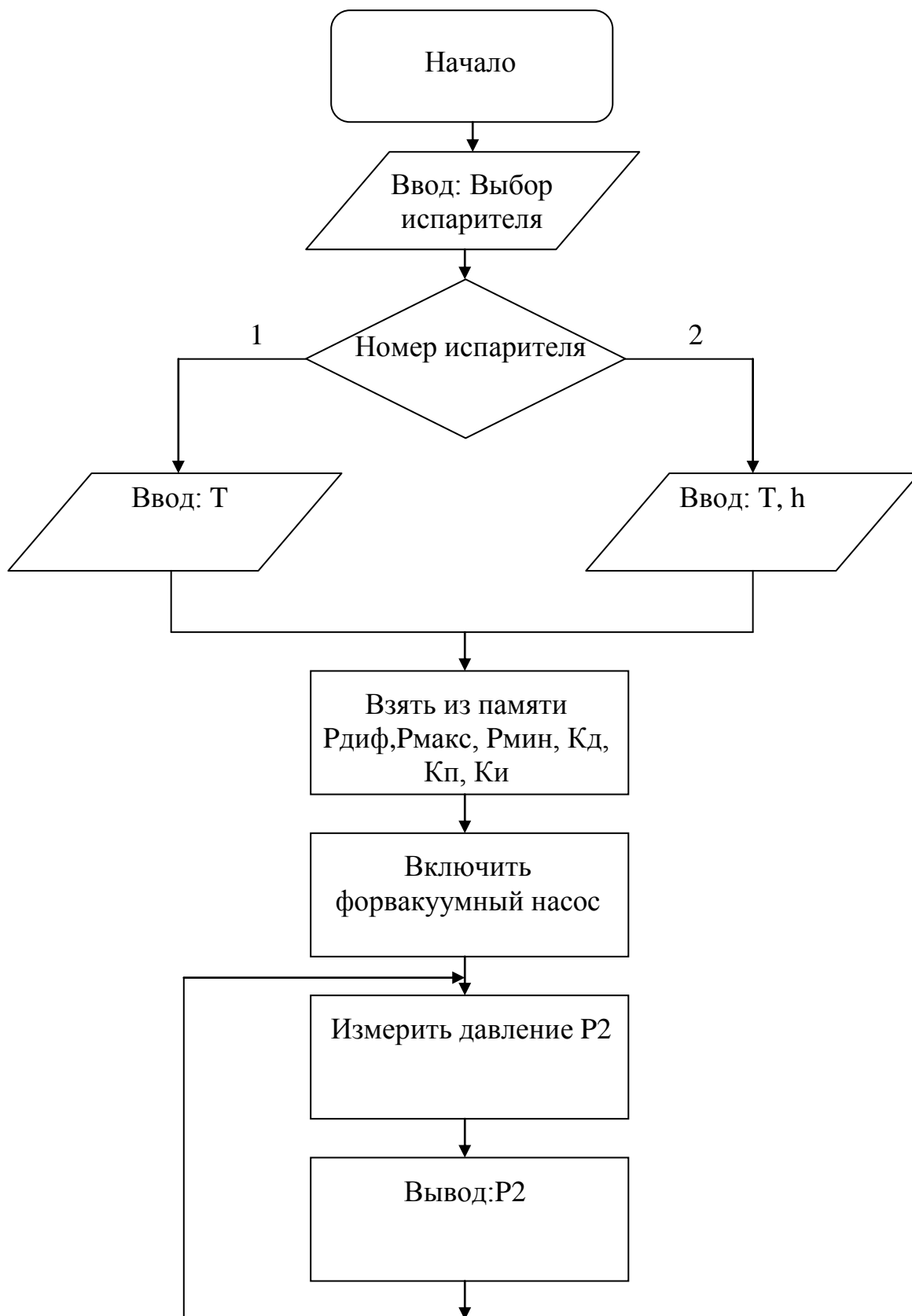
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стюарт Болл Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. Додэка-XXI, 2007 г.
2. У. Титце, К.Шенк. Полупроводниковая схемотехника. ДМК Пресс, 2008 г.
3. Майнфред Шляйхер. Техника автоматического регулирования для практиков. 2006 г.
4. А.В. Белов. Конструирование устройств на микроконтроллерах. НИТ, 2005 г.
5. Н.П. Деменков. Системы автоматического управления на основе программируемых логический контроллеров. 2006 г.
6. Парр Э. Программируемые контроллеры: руководство для инженера. БИНОМ, 2007 г.

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Блок схема алгоритма режима автоматического напыления.



Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

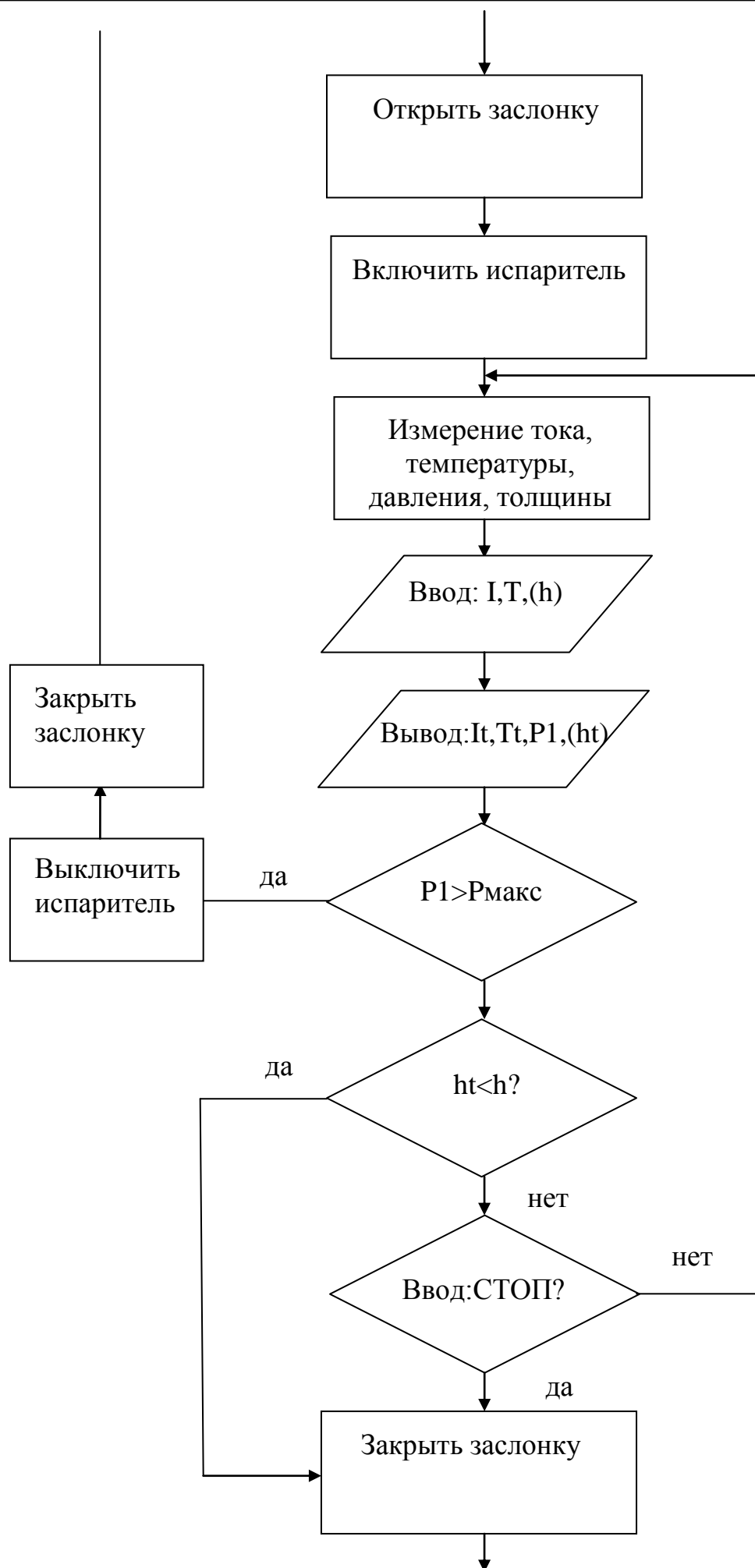
11.03.04.2017.399.ПЗ

Лист

48

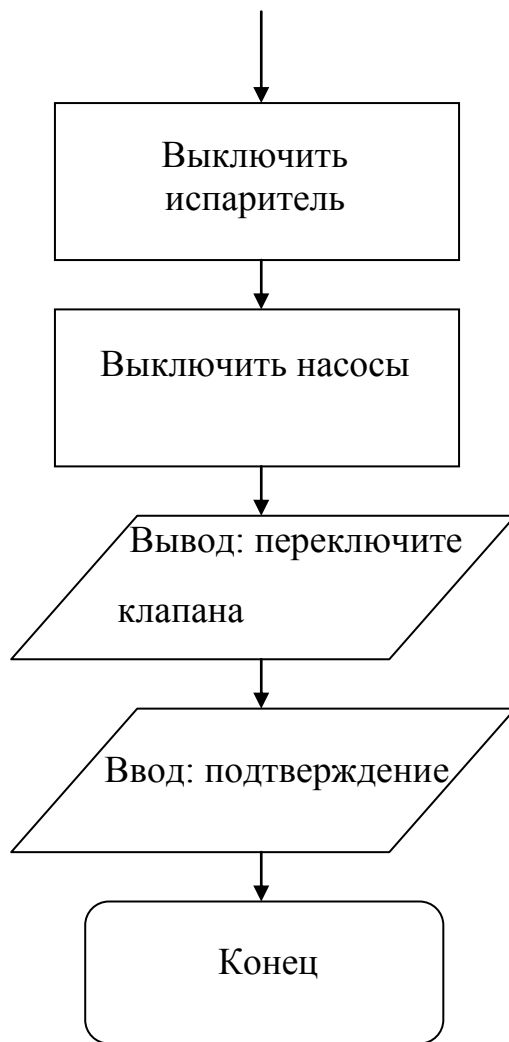


Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата



Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

11.03.04.2017.399.ПЗ



Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

11.03.04.2017.399.ПЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Функции используемые для написания программы

```
void RTDon() // Включить форвакуумный насос
{
    PORTD=1<<3;
}

void RTDoff() // Выключить форвакуумный насос
{
    PORTD=0<<3;
}

void DPon() // Включить диффузионный насос
{
    PORTD=1<<2;
}

void DPoff() // Выключить диффузионный насос
{
    PORTD=0<<2;
}

void open() // Открыть заслонку
{
    PORTD=1<<6;
}

void close() //Закрыть заслонку
{
    PORTD=1<<6;
}

void ISP1on() // Включить испаритель1
{
    PORTC=1<<3;
}
```

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		52

```

void ISP2on() // Включить испаритель2
{
    PORTC=1<<2;
}

void ISP1off() // Выключить испаритель1
{
    PORTC=0<<3;
}

void ISP2off() // Выключить испаритель2
{
    PORTC=0<<2;
}

float MeasureP2() // Измерить давление второй лампы
{
    P2=ADCon(0x04)*104,24-24;
    return P2;
}

float MeasureP1() // Измерить давление первой лампы
{
    P1=ADCon(0x03)*104,24-24;
    return P1;
}

int MeasureI1() // Измерить ток испарителя1
{
    I1=ADCon(0x00)/241;
    return I1;
}

int MeasureI2() // Измерить ток испарителя2
{
    I2=ADCon(0x01)/241;
    return I2;
}

```

```

int MeasureT() // Измерить температуру подогревателя
{
    T=ADCon(0x02)*0,149;
    return T;
}

float MeasureH() // Измерить толщину резистивного слоя
{
    float R=ADC(0x05)*1024000-1000;
    h=R/Rkv;
    return h;
}

```

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		54

ПРИЛОЖЕНИЕ В

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						55
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						56
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

					11.03.04.2017.399.ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		