

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 нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника

(профиль)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Микроконтроллерная система управления бытовым увлажнителем
воздуха»

Студент(ка)

И.А. Ткачев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.А. Шевцов

(И.О. Фамилия)

(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 2018

Аннотация

В выпускной квалификационной работе проведены разработка, расчет и разработка конструкции печатной платы системы управления стационарным модулем увлажнителя воздуха на основе микроконтроллера.

В первом разделе дипломного проекта рассмотрены вопросы управления двигателями переменного тока, мембранами, используемыми для увлажнения воздуха, а также общие вопросы имеющихся на рынке увлажнителей воздуха.

Во втором разделе выделены структурные единицы системы управления увлажнителем.

В третьем разделе описан алгоритм работы устройства и разработана блок-схема алгоритма работы.

В четвертом разделе разработана принципиальная схема устройства и выполнены необходимые расчеты параметров элементов.

В пятом разделе разведена печатная плата и разработаны основные конструктивные элементы, включая сборочный чертеж получившейся системы управления.

В шестом разделе подсчитаны затраты на закупку элементов системы управления.

В седьмом разделе выявлены основные вредные и опасные факторы при изготовлении системы управления.

Выполнено 6 чертежей на формате А1. Объем работы: 51 лист.

Содержание

Введение.....	4
1 Обзорная часть.	6
1.1. Общие сведения	6
1.2. Управление двигателями переменного тока.....	6
1.3. Испарители жидкости	12
2 Структурная схема.....	18
3 Разработка алгоритма функционирования устройства.	20
4 Разработка принципиальной схемы устройства.....	26
5. Разработка конструкции печатной платы системы управления увлажнителем.	41
5.1 Описание конструкции устройства.....	41
5.2 Разработка печатной платы устройства.....	41
6. Экономическая часть.....	43
7. Безопасность и экологичность проекта.	46
8. Заключение.	48
Список используемой литературы:	49

Введение.

В быту получают распространение разнообразные приборы, влияющие на среду обитания человека. Одним из таких приборов являются устройства управления микроклимата, которые чаще просто называют «увлажнители». Эти устройства позволяют за счет распыления воды увеличивать влажность воздуха. Такие приборы получили развитие за счет дополнения в них ряда функций, в том числе функция управления приточной вентиляцией и функция нагрева поступающего в помещение воздуха.

Очевидно, что с развитием электроники и микроконтроллеров, а также различных беспроводных интерфейсов, дополнительные потребительские свойства можно получить, внедрив в устройство управления микроклиматом систему управления, которая регулировала бы скорость вращения двигателя вентилятора, интенсивность работы испарителя влаги, температуру нагревателя воздуха.

Кроме этого, дополнительное удобство получается при использовании тех или иных беспроводных каналов передачи управляющих сигналов. Следует отметить, что в последнее время, наряду с беспроводными каналами на инфракрасных электронно-оптических приборах, всё шире внедряются каналы в радиодиапазоне, такие как Bluetooth, Wi-Fi и Zigbee.

Традиционно, интеграция устройств в различные системы централизованного управления производится с помощью стандартизованных протоколов, описывающих как физическую среду, так и программную надстройку. К таким стандартизованным и наиболее широко используемым в настоящее время протоколам относятся Zigbee и Wi-Fi. На их основе возможно построение сетей устройств различной топологии с различными функциями управления дублирования и расширения каналов.

Для приведения в действия вентилятора возможно использование как двигателей переменного тока, так и двигателей постоянного тока. Как в одном, так и в другом случае имеются как свои достоинства, так и свои недостатки. Тем не менее, в реальности используются оба подхода, и в каждом конкретном случае выбирается свой оптимальный вариант.

В выпускной квалификационной работе будет разрабатываться система управления электрическим двигателем переменного тока, дающая 5 ступеней регулировки, управляющая интенсивностью работы испарителя влаги с количеством ступеней дискретизации равным 3. Кроме этого должна быть реализована следящая система управления нагревателем, который позволял бы подогревать воздух до нужной температуры с одновременным использованием вентилятора.

При этом, в соответствии с заданием, стационарное устройство должно управляться с помощью пульта дистанционного управления по беспроводному каналу, при этом пульт дистанционного управления содержит термодатчик, значения которого передаются по беспроводному каналу на стационарное устройство и управляют работой нагревателя.

Стационарное устройство, т.е. сам увлажнитель, должен иметь кнопку включения. А также светодиод, показывающий состояние увлажнителя – включен он или выключен.

1 Обзорная часть.

1.1. Общие сведения

В соответствии с техническим заданием увлажнитель состоит из следующих основных частей:

- вентилятор, приводимы во вращение двигателем переменного тока;
- нагреватель, нагревающий поступающий извне воздух;
- устройство испарения воды, осуществляющее функцию увлажнения воздуха;
- модуль беспроводного интерфейса, обеспечивающий взаимодействие с пультом дистанционного управления;
- микроконтроллер, собственно осуществляющий управление всей системой из вышеперечисленных узлов.

Рассмотрим основные решения, используемые в настоящее время для управления каждым из исполнительных устройств.

1.2. Управление двигателями переменного тока

В соответствии с техническим заданием наша система управления должна управлять скоростью вращения двигателя переменного тока. Рассмотрим основные способ управления двигателями переменного тока, применяемыми на практике.

Электрические двигатели переменного тока бывают двух видов: синхронные и асинхронные.

Как правило, в настоящее время в однофазных цепях переменного тока используют асинхронные двигатели с однофазным включением.

Принцип действия асинхронного двигателя основан на взаимодействии магнитного поля статора, наводимого протекающим в обмотках током, а

также током, протекающем в роторе и наводимым этим полем статора. При этом взаимодействии возникает вращающий ротор механический момент. При этом, в таких двигателях только одна обмотка, которую можно назвать рабочей. Вторая же является пусковой. В асинхронных двигателях ротор выполняется из короткозамкнутой обмотки, которая на практике представляет собой алюминиевые пластины, замкнутые с обеих сторон. Использование алюминия позволяет обеспечить минимальное сопротивление току, а с другой, по сравнению с медными проводниками, снизить массу и удешевить конструкцию двигателя.

Управление такими двигателями может проводиться разными методами.

Простейшим из них является управление с помощью автотрансформатора (рисунок 1.1.).

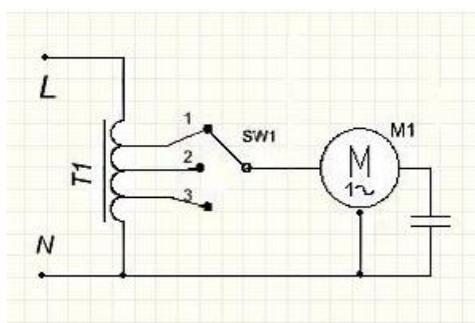


Рисунок 1.1. Автотрансформаторный способ управления асинхронным двигателем.

При управлении этим способом величина напряжения, прикладываемого к двигателю зависит от количества витков в обмотке автотрансформатора, подключаемой к двигателю. Чем меньше количество витков, тем большее напряжение прикладывается и тем выше скорость вращения двигателя. При этом максимальное прикладываемое напряжение – сетевое.

Данный способ достаточно прост, к двигателю всегда прикладывается синусоидальное напряжение. Прикладываемое напряжение не может быть выше сетевого. Трансформатор обладает достаточно высокой устойчивостью к перегрузкам.

Недостатком данного способа являются значительные размеры и масса автотрансформатора, которые добавляются в результирующей установке к массе самого двигателя.

Следующим подходом к управлению однофазными двигателями является использование простейших тиристорных регуляторов. Пример такого регулятора показан на рисунке 1.2.

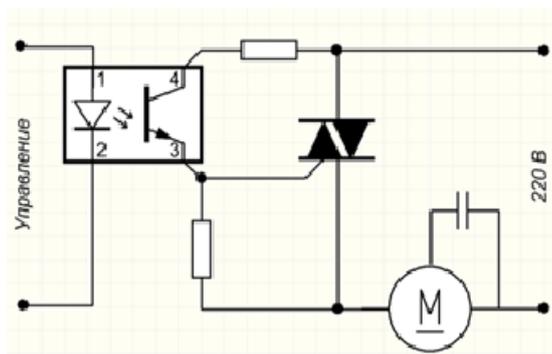


Рисунок 1.2. Управление двигателем с помощью тиристорного регулятора.

В этом способе используются тиристоры, включенные встречно-параллельно. Управляя через оптопару углом включения тиристоров соответственно на положительной и отрицательной полуволнах меняют действующее значение напряжения, прикладываемого к обмотке двигателя и тем самым регулируют скорость его вращения.

Недостатки данного способа проистекают из-за появления в кривой питающего двигателя напряжения высших гармонических составляющих. Это приводит к дополнительным потерям тепла в двигателе, а также приводит к появлению механических шумов и даже к рывкам двигателя из-за резковывраженного порционного поступления энергии в двигатель. Кроме этого, из-за наличия коммутационных токов, а также роста токов при повышении механической нагрузки на двигатель, тиристоры выбирают на токи в несколько раз превышающие номинальные токи двигателя, а из-за наличия перенапряжений возникает необходимость добавления в схему различных демпфирующих узлов, таких RLC цепочки

Транзисторная регулировка напряжения

Поскольку транзисторы позволяют выполнять коммутацию с высокой частотой, на их основе получили распространение различные схемные решения реализующие широтно-импульсный способ управления. В соответствии с этим способом эталонная кривая моделируется с помощью прямоугольных импульсов различной ширины. Применительно к задаче управления двигателем переменного тока это приводит к тому, что за счет изменения ширины импульсов регулируется величина действующего напряжения, подаваемого на электродвигатель.

Как правило, частота коммутации транзисторов в подобных схемах лежит в диапазонах нескольких килогерц.

Один из возможных вариантов построения регулятора на MOSFET транзисторах, реализующего способ широтноимпульсной модуляции показан на рисунке 1.3.

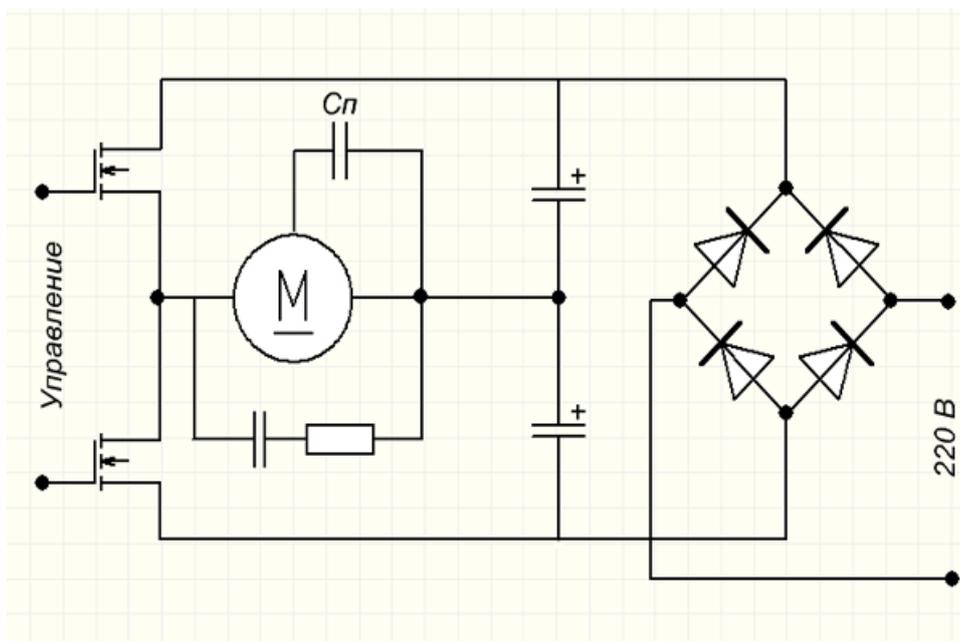


Рисунок 1.3. – Схема ШИМ-регулятора напряжения на транзисторах для двигателя переменного тока.

Пример кривой напряжения, получаемой методом ШИМ показан на рисунке 1.4.

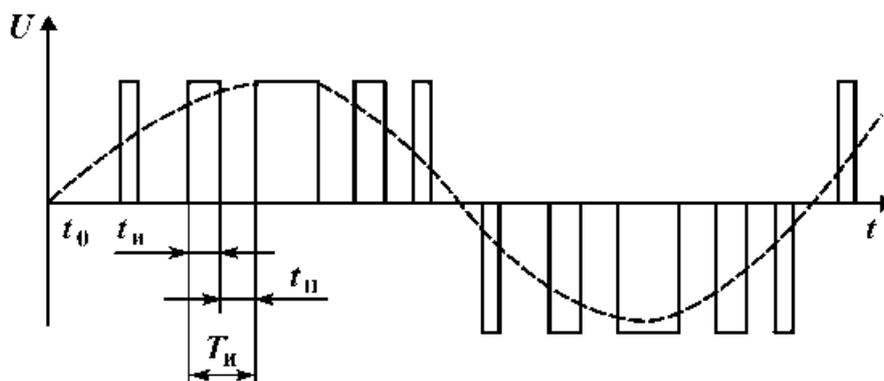


Рисунок 1.4. – Пример реализации широтно-импульсной модуляции кривой напряжения.

Достоинством такого метода регулирования поступающего на двигатель переменного тока напряжения являются сравнительно небольшие габариты и масса регулятора, относительно невысокая стоимость, регулируемая форма выходного напряжения, задаваемая от системы управления, отсутствие механического шума в двигателе и регуляторе на низких частотах.

У такого способа сохраняются все недостатки от регулировки напряжением и при этом накладывается ограничение на длину соединительных проводов до двигателя для ограничения электромагнитного излучения в окружающее пространство. Как правило, длина соединительных проводов ограничивается не более 10 м.

Частотное регулирование.

За счет развития силовой полупроводниковой техники, а также управляющих микроконтроллеров, в последнее время широко используется частотный способ регулирования скорости вращения электродвигателей. В этом способе регулирования скорости вращения питающее напряжение подается в виде модулированной синусоиды различной частоты. При этом за регулирование происходит за счет изменения частоты питающего напряжения, а не его амплитуды. Такой подход позволяет управлять двигателями переменного тока значительно эффективнее, нежели перечисленные выше способы, в ко-

торых изменяющимся управляющим параметром является амплитуда питающего напряжения.

Частотное регулирование базируется на двух подходах к построению аппаратной части.

Первый – это частотный регулятор с непосредственной связью В этом случае регулирование осуществляется за счет создания из отрезков синусоиды сетевого напряжения частотой 50Гц фрагментов синусоиды с управляемой частотой.

Во втором случае, с промежуточным преобразованием, используется выпрямление сетевого напряжения и последующая генерация напряжения необходимой формы с помощью инверторов напряжения. Если осуществляется управление однофазным двигателем, то используют однофазные инверторы, если же в качестве объекта управления используют трехфазный двигатель, то применяют трехфазные инверторы.

В этом случае, с учетом постоянного момента нагрузки на валу двигателя сила тока зависит от нагрузки на валу, соответственно меняется частота напряжения, подаваемого на клеммы электродвигателя, причем частота пропорциональна величине необходимого напряжения. За счет такого подхода удастся сохранить неизменным ток, потребляемый двигателем, а следовательно и величину магнитного потока.

Как следствие удастся постоянно корректировать скорость вращения двигателя при малейших изменениях нагрузки на валу. При этом удастся достичь минимальных потерь за счет поддержания неизменного скольжения для практически любых нагрузок.

В общем случае структура частотного преобразователя может быть представлена так, как показано на рисунке 1.5.

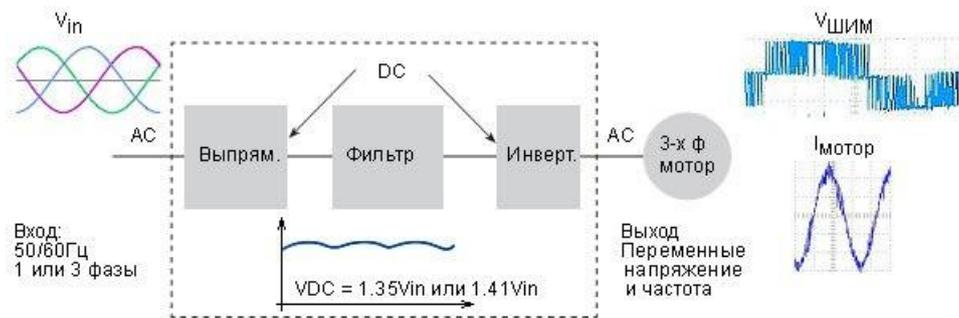


Рисунок 1.5. Структура частотно-регулируемого электропривода.

Из рисунка видно, что для трехфазной сети, напряжение подается на трехфазный выпрямитель, после чего уже постоянное напряжение через фильтр поступает на инвертор напряжения. Переменное напряжение, модулированное с помощью ШИМ подается на электродвигатель. За счет индуктивности обмоток двигателя происходит сглаживание потребляемого тока и его форма в значительной мере определяется первой гармоникой и имеет синусоидальную форму.

1.3. Испарители жидкости

Следующий важный агрегат, используемый в увлажнителях воздуха – это собственно устройство для испарения воды. Исторически развивался ряд способов перевода воды из жидкой фазы в парообразную. Рассмотрим их.

Первым вариантом построения увлажнителя был вариант «горячего» испарения, когда запасенная в баке вода поступала в ванну с нагревателем и под действием температуры ускорилось ее испарение.

Вариант исполнения испарителя, построенного по такому принципу, показан на рисунке 1.6.

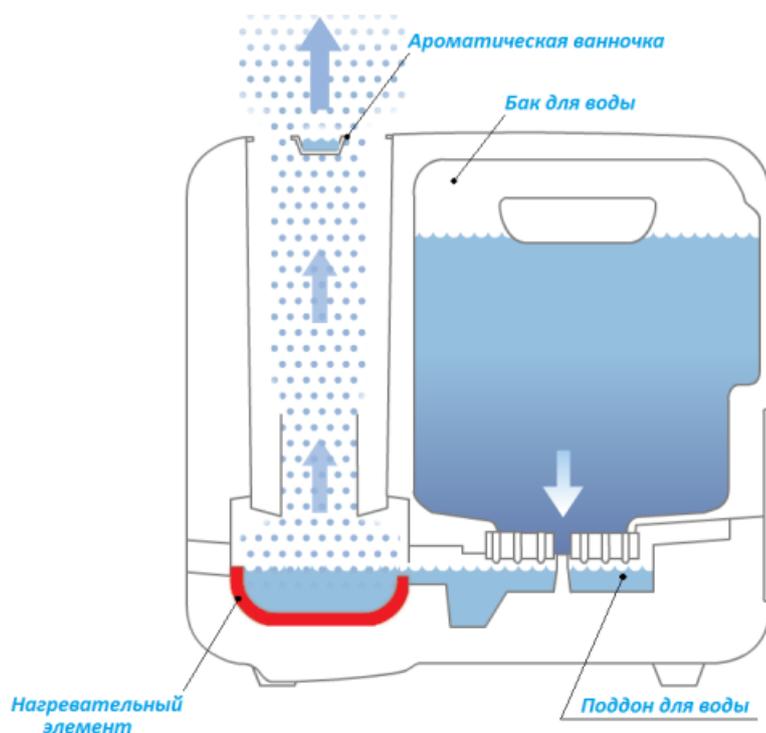


Рисунок 1.6. – Пример увлажнителя с нагревателем воды.

Порядок работы с такими устройствами следующий. В корпус из прочного термостойкого пластика заливается вода и плотно закрывается крышкой. С помощью дозатора вода поступает в небольшой резервуар, в котором находится нагревательный элемент. Вода подогревается до температуры 80 градусов Цельсия, когда начинается интенсивное парообразование. Образующийся пар создает незначительное избыточное давление, под действием которого выходит через выпускное отверстие. Обязательным элементом такого увлажнителя является измеритель уровня воды или конструктивные решения, которые позволяют отключить нагревательный элемент при снижении уровня воды ниже допустимого.

Как правило, в водяном паре, полученном таким способом не содержится солей, которые были в воде, соответственно эти соли не попадут в воздушное пространство увлажняемого помещения и не осядут в виде белого налета на предметы интерьера. В таких увлажнителях может использоваться и вода из под крана, не пошедшая специальную очистку. Увлажнители, построенные по принципу нагревания воды сравнительно быстро увлажняют воздух.

Однако, к минусам таких конструкций можно отнести высокую энергоёмкость, нагрев корпуса, что может восприниматься как негативный фактор, вероятность получения ожогов при опрокидывании корпуса увлажнителя или при неаккуратном с ним обращении. Кроме этого, увлажнители с нагреванием воды не очищают дополнительно воздух от содержащихся в нем взвесей.

Следующий вариант увлажняющего механизма, используемый на практике это так называемый «моющий» увлажнитель.

Принцип его действия понятен из рисунка 1.7.

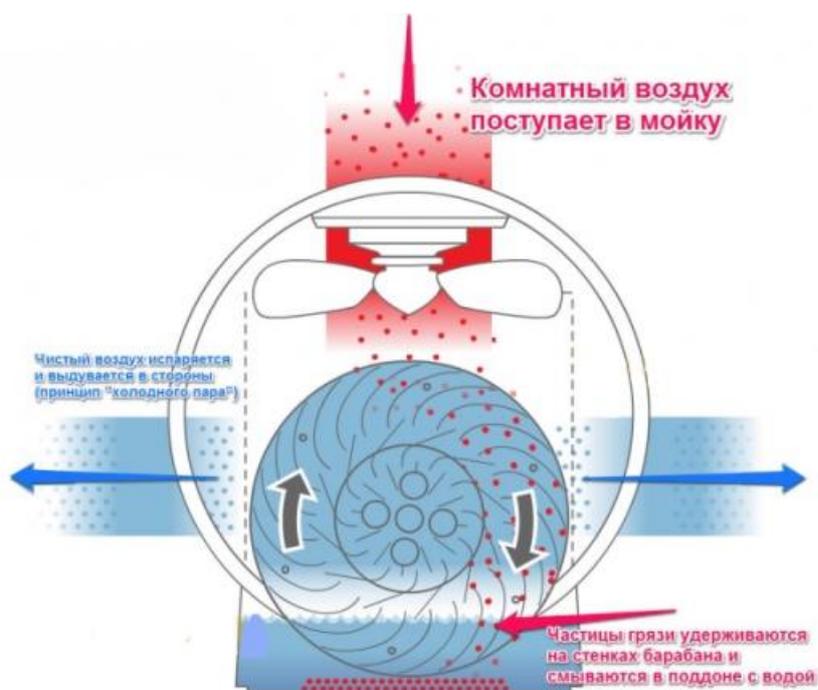


Рисунок 1.7. – Структура «моющего» увлажнителя

В этом типе увлажнителей имеется два вращающихся лопастных агрегата, создающих два потока – воздуха и жидкости. Из рисунка видно, что колесо с лопастями вращается в резервуаре, наполненном водой. Тем самым создаются предпосылки для создания незначительной водяной взвеси в окололопастном пространстве, а к смоченным водой лопаткам прилипает взвесь, содержащаяся в воздухе. Вентилятор, обеспечивающий приток воздуха в ра-

бочую камеру создает дополнительную турбулентность, усиливая перемешивание воздух с каплями воды.

Эффективность таких устройств непосредственно для увлажнения воздуха ниже, чем у увлажнителей нагревательного типа, однако, они позволяют получить эффект сбора пыли, так называемый эффект «мойки» воздуха.

Кроме этого, подобные устройства потребляют гораздо меньше энергии, чем испарители нагревательного типа.

Следующим типом испарения жидкости является применение ультразвуковых испарителей.

Примерная структура такого типа устройств показана на рисунке 1.8.

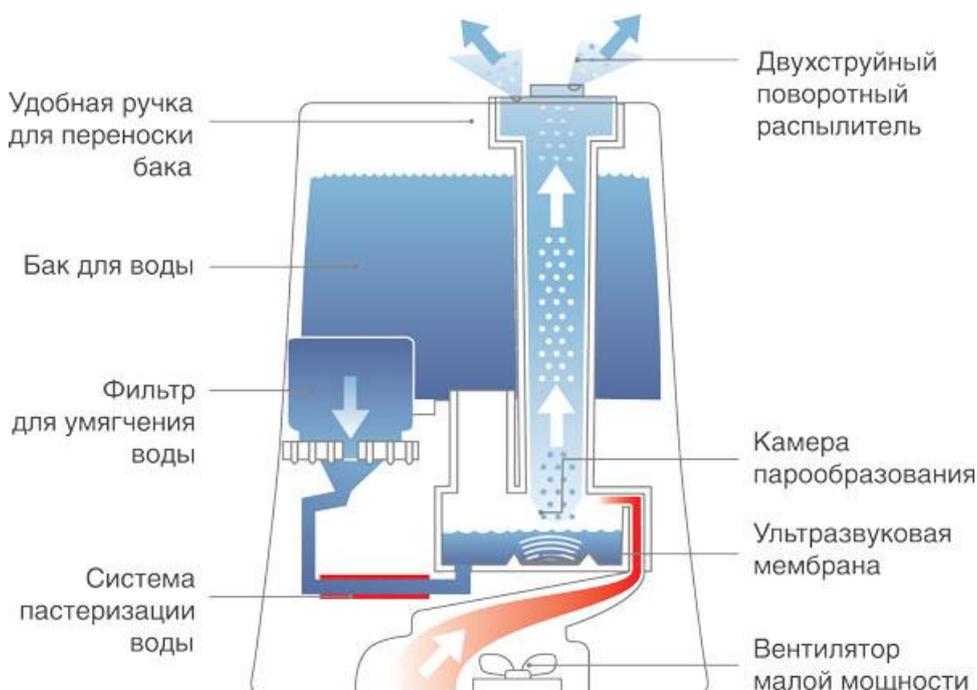


Рисунок 1.8. – Структура ультразвукового увлажнителя.

Как видно из рисунка, увлажнитель в сборе состоит из следующих узлов:

- резервуар для воды;
- фильтр;
- система пастеризации (подогрева до температуры выше 70 градусов Цельсия), которая позволяет произвести обеззараживание воды и дополнительную очистку от ряда солей, как правило, устанавливается опционально;

- ультразвуковая мембрана;
- вентилятор малой мощности, создающий восходящий поток воздуха;
- камера парообразования;
- распылитель увлажненного воздуха.

Вода, попадая на мембрану, подвергается ее механическому воздействию. Ультразвуковая мембрана колеблется с высокой частотой, создавая эффект «взбития» воды, когда она разделяется на мельчайшие частицы, которые затем подхватываются восходящим потоком воздуха, созданным вентилятором и выходят в окружающее пространство из распылителя.

Как правило, мембраны позволяют регулировать интенсивность своего движения за счет величины напряжения, прикладываемаемого к ним. Кроме этого, всё шире появляются модули, включающие в свой состав электронные питающие схемы, которые принимают сигналы управления и управляют интенсивностью колебаний мембраны.

Технологическим развитием внутрикомнатных увлажнителей являются системы управления микроклиматом помещений, которые используют внешний уличный воздух, забираемый через воздухозаборники, очищаемый системой фильтров вплоть до угольных и HEPA. Структура такого устройства показана на рисунке 1.9.

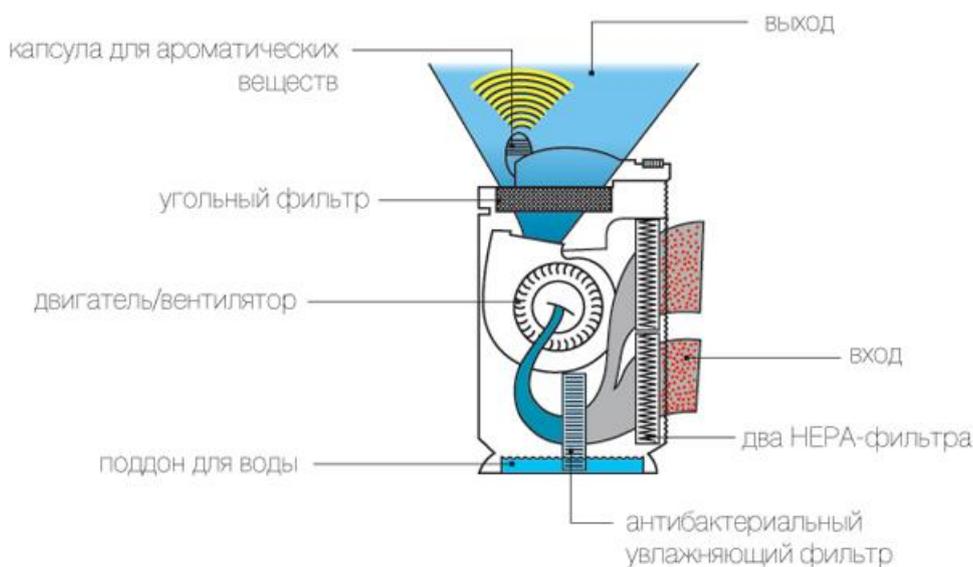


Рисунок 1.9. - Система контроля микроклимата

Очищенный уличный воздух подогревается до заданной температуры, после чего поступает в увлажнительную камеру и с помощью ультразвуковой мембраны насыщается влагой, а затем подается во внутреннее пространство помещения.

Такие системы уже можно рассматривать, как элементы «умного» дома, поскольку и контроль за температурой воздуха и интенсивность увлажнения и скорость вращения вентилятора могут регулироваться как с корпуса самого устройства, так и с помощью пульта дистанционного управления и даже централизованно с головного устройства системы «умный дом».

2 Структурная схема.

В соответствии с техническим заданием, разрабатываемое устройство должно обеспечивать управление многоскоростным однофазным конденсаторным электродвигателем, имеющим 4 отвода обмоток и, следовательно, имеющим возможность четырехступенчатой регулировки, управление ультразвуковой мембраной с трехступенчатой регулировкой интенсивности ее работы, контроль влажности и температуры воздуха. Кроме этого, разрабатываемая система управления должна иметь канал связи Zigbees пультом дистанционного управления и получать управляющую информацию от пульта по этому каналу.

Таким образом, целесообразно в качестве центрального управляющего устройства выбрать микроконтроллер, имеющий память для хранения программ и набор интерфейсов для связи с типовыми модулями Zigbee.

Микроконтроллер будет вырабатывать сигналы управления на коммутирующие устройства, подключающие многообмоточный двигатель вентилятора системы к напряжению питания 220 В, а также управлять работой модуля ультразвуковой мембраны.

Для индикации состояния модуля можно использовать светодиод, показывающий состояние «включено» или «выключено», а также жидкокристаллический индикатор, отображающий основные режимы работы.

Нагревание воздуха будем осуществлять с помощью низкотемпературного нагревательного элемента.

Питание низковольтной электроники будем выполнять с помощью блока питания, состоящего из понижающего трансформатора, выпрямителя и стабилизатора напряжения.

Структурная схема системы управления увлажнителем воздуха показана на рисунке 2.1.

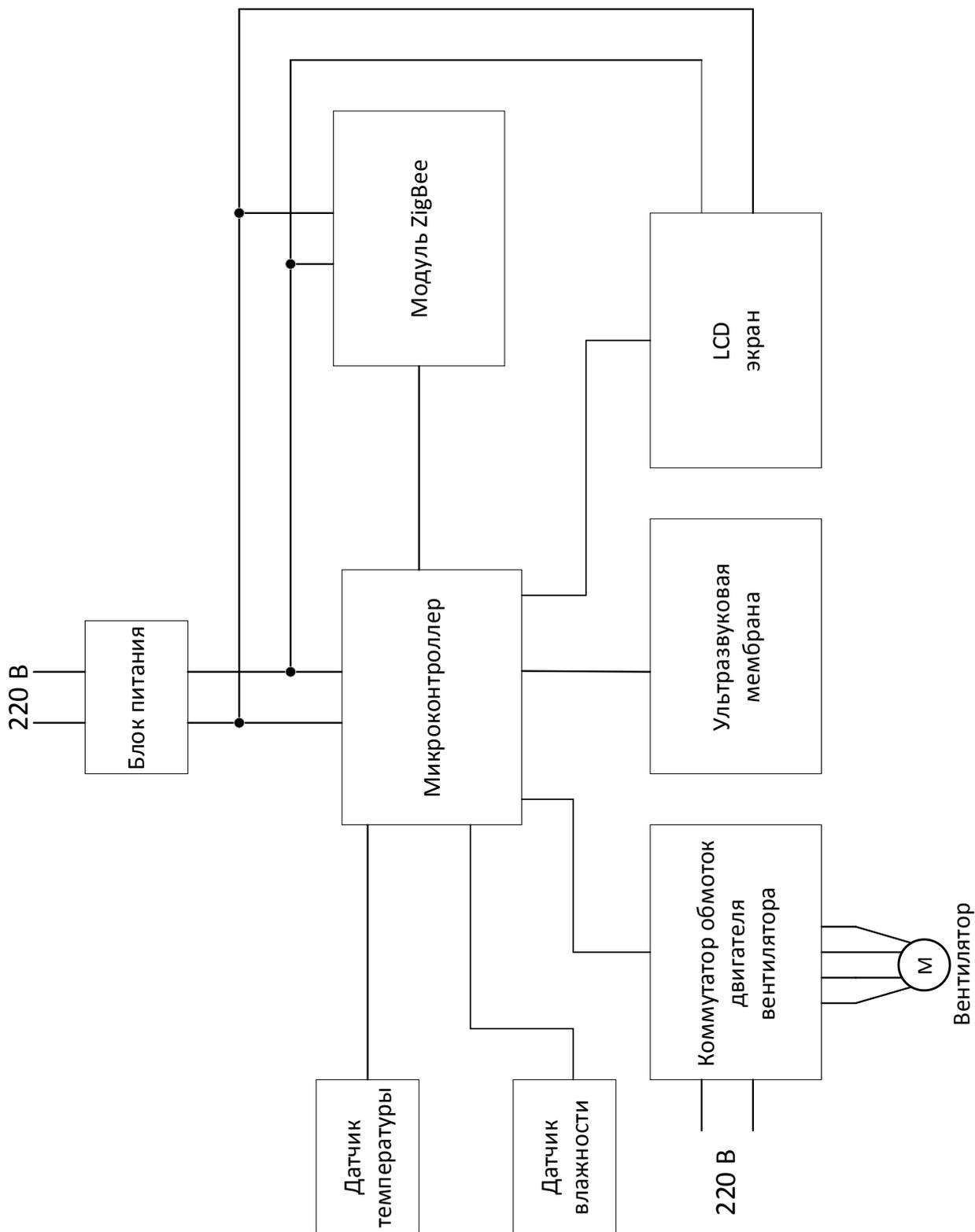


Рисунок 2.1. – Структурная схема системы управления увлажнителем.

3 Разработка алгоритма функционирования устройства.

Разрабатываемое устройство содержит микроконтроллер, который должен обеспечивать связь с пультом дистанционного управления через интерфейс ZigBee и выполнять его команды.

Это означает, что микроконтроллер должен выполнять опрос состояния модуля Zigbee и в зависимости от полученных команд осуществлять то или иное действие с периферией.

Будем считать что сразу после включения питания будет осуществляться инициализация микроконтроллера с установкой режима работы его портов и периферийных устройств. Также после подачи напряжения питания будет инициализироваться модуль Zigbee в соответствии с установленной в нем прошивкой.

Следует отметить, что модуль Zigbee в нашем случае для микроконтроллера работает как порт ввода-вывода и процесс установления связи и т.п. осуществляется модулем без активного вмешательства микроконтроллера. Микроконтроллер только отправляет макрокоманды в модуль Zigbee и передает служебную информацию для связи с пультом дистанционного управления.

После завершения инициализации происходит получение информации от модуля дистанционного управления через канал Zigbee и сохранение полученной информации в буферных переменных.

Отведем для хранения информации от пульта переменные

BufustT – хранение текущей температуры, переданной с пульта;

BufustH – хранение текущей влажности, переданной с пульта;

BufustMotor – хранение значения номера ступени скорости вращения мотора вентилятора;

Микроконтроллер сравнивает полученные значения уставок параметров с текущими и в зависимости от результата сравнения осуществляет необходимое действие:

- включает необходимую и отключает ненужную ступени обмоток питания электродвигателя;
- подает необходимый уровень напряжения на модуль увлажнителя или вовсе отключает его;
- подключает нагревательный элемент к питающему напряжению или отключает его.

Реализацию управления двигателем вентилятора будем осуществлять подачей управляющего импульса с порта микроконтроллера на коммутирующее устройство. Поскольку в техническом задании заданы три уровня управления скоростью вентилятора, будем использовать три коммутирующих устройства и соответственно три порта микроконтроллера. В рамках описания алгоритма обозначим эти порты соответственно port1, port2, port3.

Для реализации управления модулем ультразвуковой мембраны необходимо менять уровень напряжения, подаваемого на модуль. В техническом задании указана необходимость трехступенчатого регулирования интенсивности работы модуля увлажнителя. Отведем на управление подключением каждой ступени регулирования увлажнителем по одному порту микроконтроллера и обозначим их соответственно port4, port5, port6.

Для замеров температуры заборного воздуха и его влажности отведем переменные Tout и Hout соответственно.

После получения информации от пульта дистанционного управления и выполнения соответствующих управляющих действий с мотором вентилятора, нагревательным элементом и модулем увлажнителя, микроконтроллер по интерфейсу I2C будет передавать информацию о скорости вращения вентилятора (выбор из трех ступеней), интенсивности работы увлажнителя (одна

из трех ступеней), температуре заборного воздуха и его влажности на LCDэкран.

Обновление информации о температуре и влажности на экране будет осуществляться раз в минуту, а информация о текущем режиме работы будет изменяться по факту изменения состояния, при отсутствии команд со стороны пульта дистанционного управления на экране будет отображаться текущее состояние вентилятора и модуля ультразвуковой мембраны

Описанный укрупненный алгоритм работы стационарного блока увлажнителя показан на рисунке 3.1.

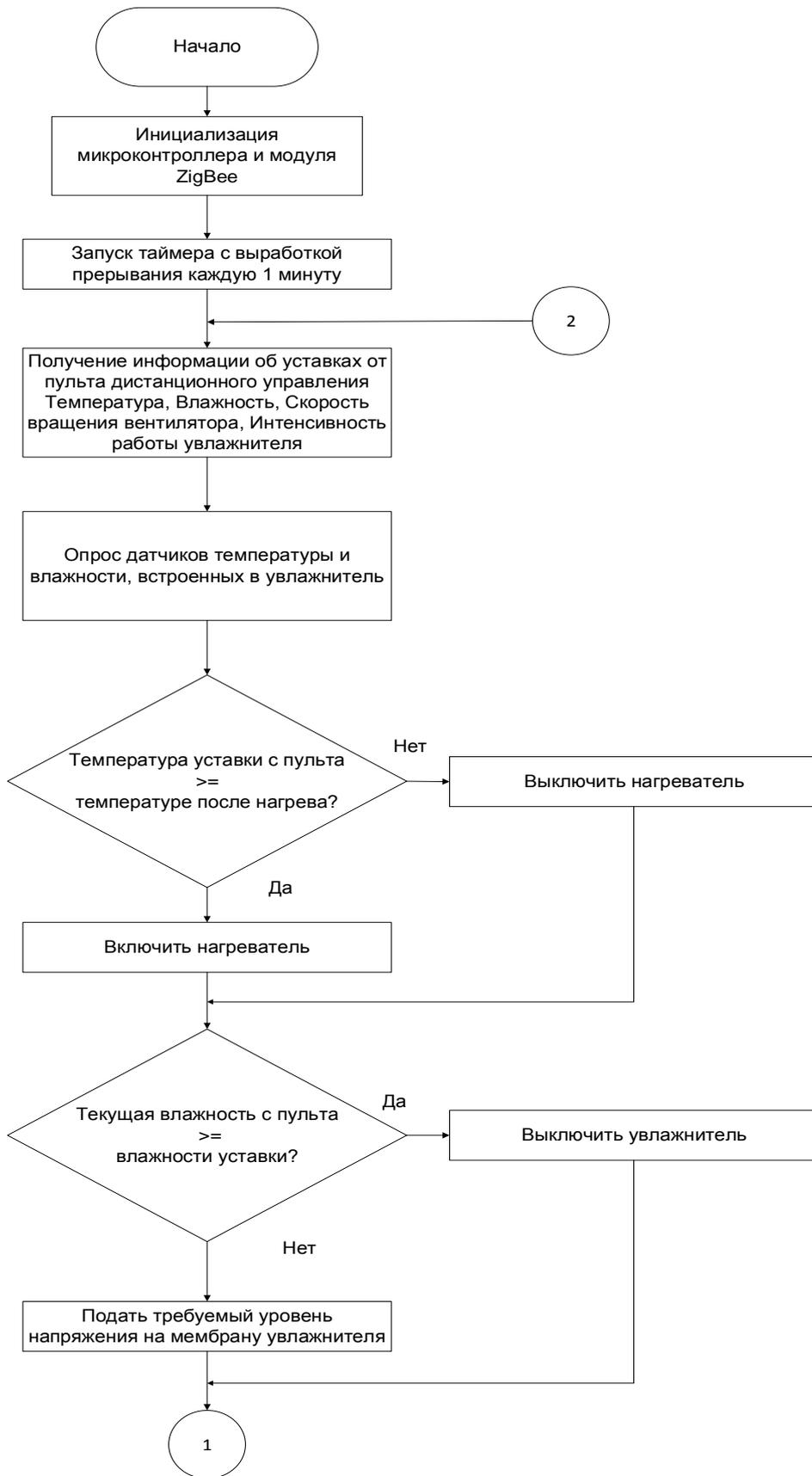
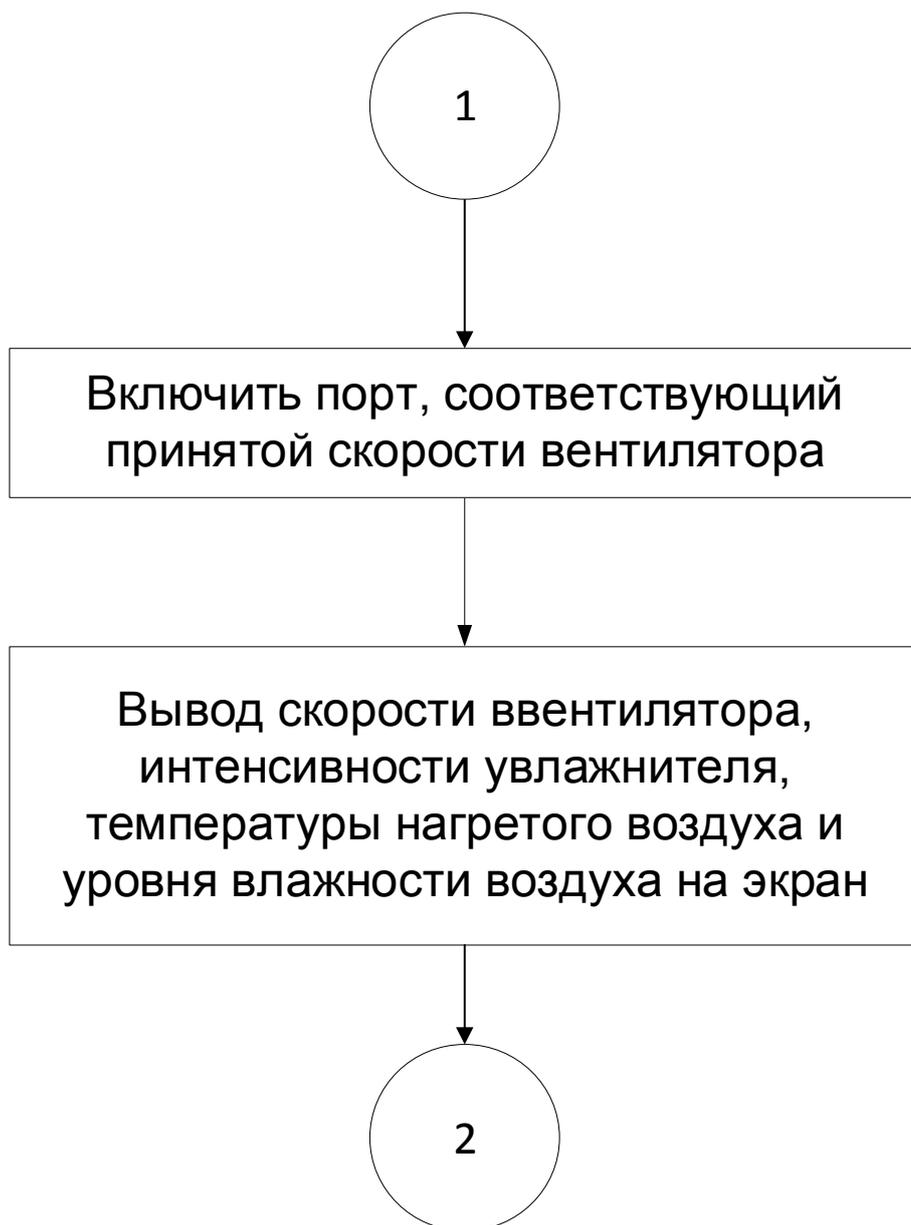


Рисунок 3.1. Блок-схема укрупненного алгоритма работы системы управления стационарным блоком увлажнителя.



Продолжение рисунка 3.1. - Блок-схема укрупненного алгоритма работы системы управления стационарным блоком увлажнителя.

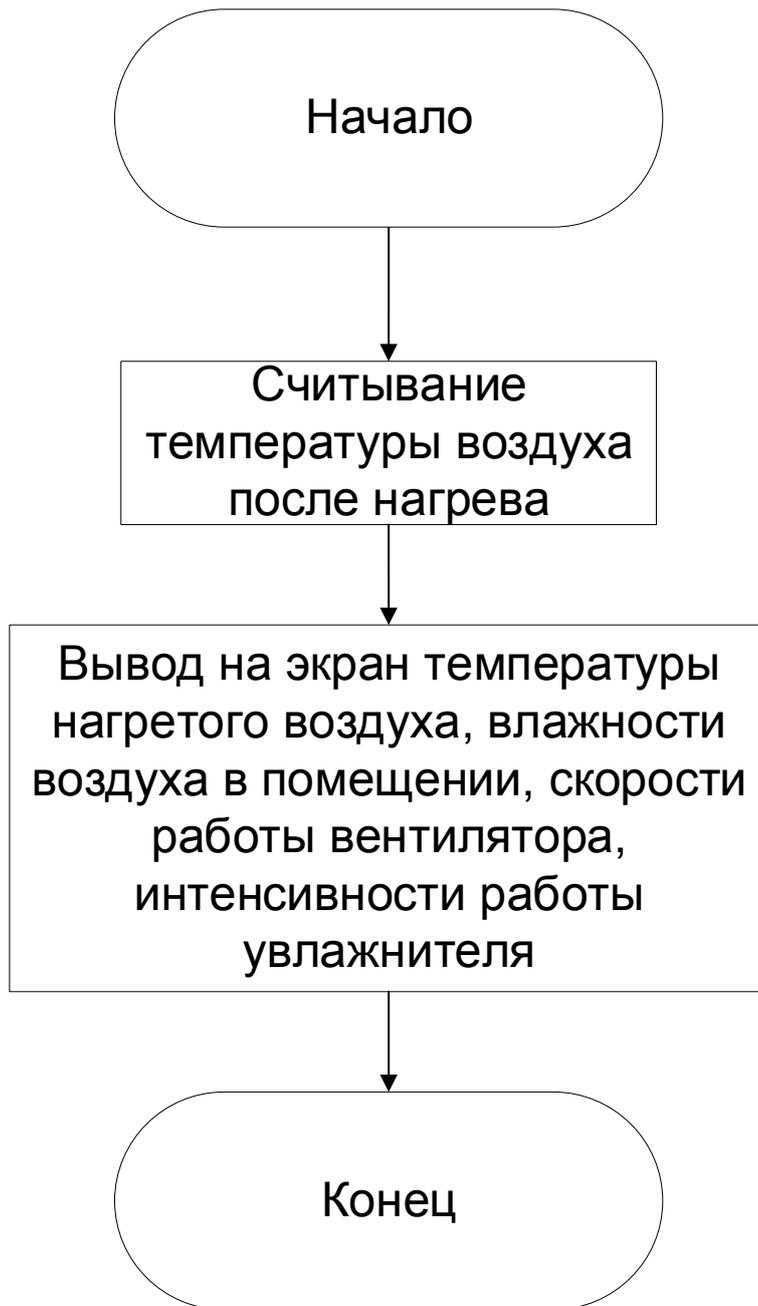


Рисунок 3.2. Процедура обработки ежеминутного прерывания вывода значений параметров работы увлажнителя на экран.

4 Разработка принципиальной схемы устройства.

Разработку принципиальной схемы устройства начнем в соответствии со структурной схемой с выбора управляющего микроконтроллера, после чего перейдем к выбору и расчету остальных элементов.

В качестве микроконтроллера выберем распространенную модель ATMEGA328 P. Этот микроконтроллер обладает следующими основными параметрами:

- объем flash памяти 32кБ;
- объем оперативной памяти 2 кБ;
- количество выводов – 32;
- количество интерфейсов SPI -1;
- количество каналов широтно-импульсной модуляции – 4
- количество каналов аналого-цифрового преобразования – 8
- разрядность аналого-цифрового преобразователя – 10.
- максимальная рабочая частота – 16МГц.

Стоимость микроконтроллера составляет 100р за штуку в розничной торговле. На схемах этот микроконтроллер отображается так, как показано на рисунке 4.1.

1	PD3	MCU	PD2	32
2	PD4		PD1	31
3	GND		PD0	30
4	VCC		PC6	29
5	GND		PC5	28
6	VCC		PC4	27
7	PB6		PC3	26
8	PB7		PC2	25
9	PD5		PC1	24
10	PD6		PC0	23
11	PD7		ADC7	22
12	PB0		GND	21
13	PB1		AREF	20
14	PB2		ADC6	19
15	PB3		AVCC	18
16	PB4		PB5	17

Рисунок 4.1. – Условные обозначения микроконтроллера ATMEGA 328P.

На выводы 4 и 6 VCC подаем напряжение + 5В от источника питания с параллельно подсоединенными к этим выводам электролитическим и керамическим конденсаторами. Эти конденсаторы предназначены для сглаживания пульсаций напряжения на выводах питания микроконтроллера и их монтируют максимально близко к выводам питания микроконтроллера.

Для тактирования микроконтроллера будем использовать вариант подключения конденсаторов и кварцевого резонатора, показанный на рисунке 4.2.

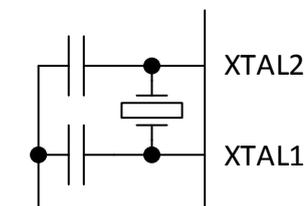


Рисунок 4.2. – Схема подключения элементов тактирования.

Выбираем емкость конденсаторов 22 пкФ, а частоту кварцевого резонатора -16 МГц.

Для связи с пультом дистанционного управления будем использовать модуль ZigbeeE18-MS1-PCB, собранный на основе микросхемы CC2530. Этот модуль уже распаян на печатной плате и содержит на ней антенну выполненную в виде дорожки из медного проводника, полученную в результате травления медного слоя на поверхности печатной платы.

К этому модулю можно подключать микроконтроллер и использовать модуль в качестве модема. Подключение осуществляется по последовательному интерфейсу микроконтроллера USART через выводы RXи TX.

Модуль имеет следующие параметры:

Частотный диапазон: 2400-2480 МГц.

Максимальная мощность сигнала до 2,5 мВт.

Скорость информационного потока до 250 кбит/сек.

Максимальная дистанция связи на открытом воздухе до 200м.

Внешний вид выбранного модуля показан на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3. - Внешний вид модуля ZigBee

Чертеж печатной платы, на которой распаян модуль приведен на рисунке 4.4.

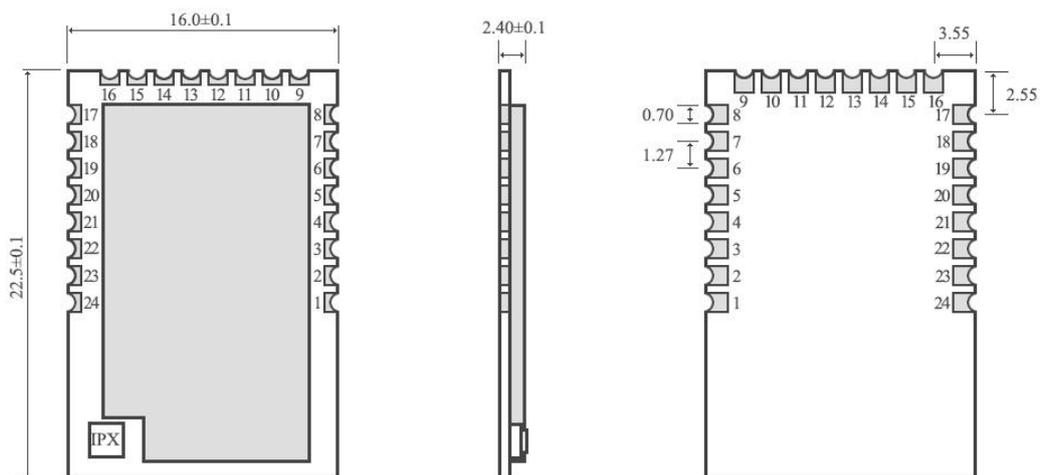


Рисунок 4.4. Размеры модуля E18-MS1-PCB

Из всех выводов модуля используются для связи с микроконтроллером выводы P1.4 (вывод 11) в роли RX, P1.5. (вывод 10) в роли TX. Вывод используется для подключения питающего напряжения $+3,3V$, а вывод 1 является общим. Кроме этого, организуем подачу сигналов сброса на вывод 24 (вывод RES).

Для управления двигателем вентилятора, имеющим 4 ступени регулирования можно использовать 4 реле, управляемых напряжением $+5V$. Для подачи управляющих сигналов на обмотки этих реле будем использовать буферные схемы на биполярных транзисторах, работающих в ключевом режиме. Схема включения транзисторов и управляющих обмоток показана на рисунке 4.5. Для рассеивания энергии, запасаемой в обмотках реле, для избежания перенапряжений на транзисторах в моменты коммутации, параллельно обмоткам поставим обратные диоды.

На рисунке 4.5. резисторы R1-R4 –токоограничивающие, ограничивающие ток, потребляемый от выводов микроконтроллера, подсоединяемых к точкам M1-M4 соответственно.

Поскольку потребляемый ток двигателя в номинальном режиме не превышает $0,5 A$, выбираем реле NRP05-A-05D, коммутирующие ток до $5 A$ и управляемые напряжением $5V$. Стоимость этих реле в розницу 47 рублей за штуку. Размеры реле для монтажа показаны на рисунке 4.6.

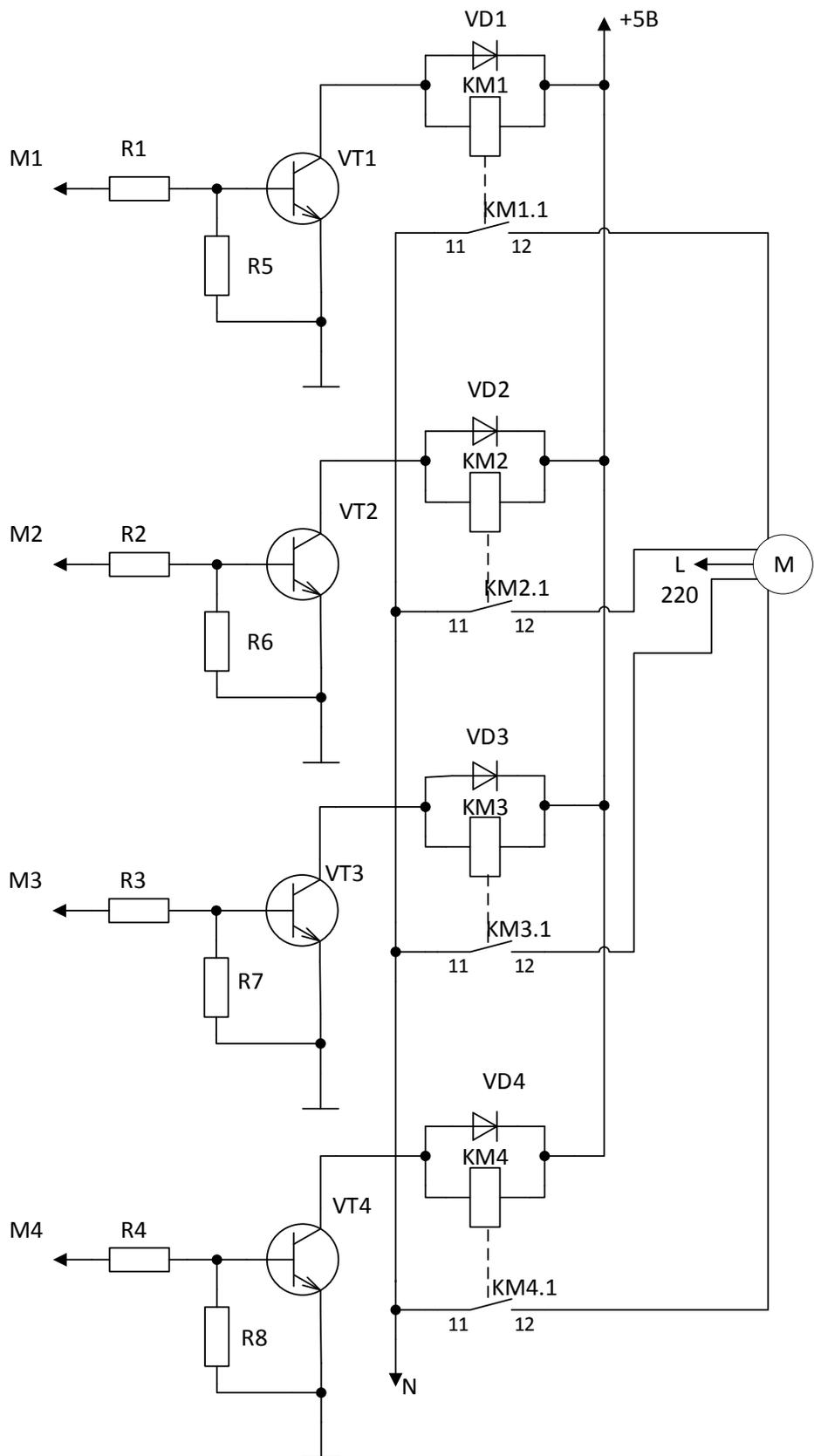


Рисунок 4.5. – Узел коммутации обмоток двигателя.

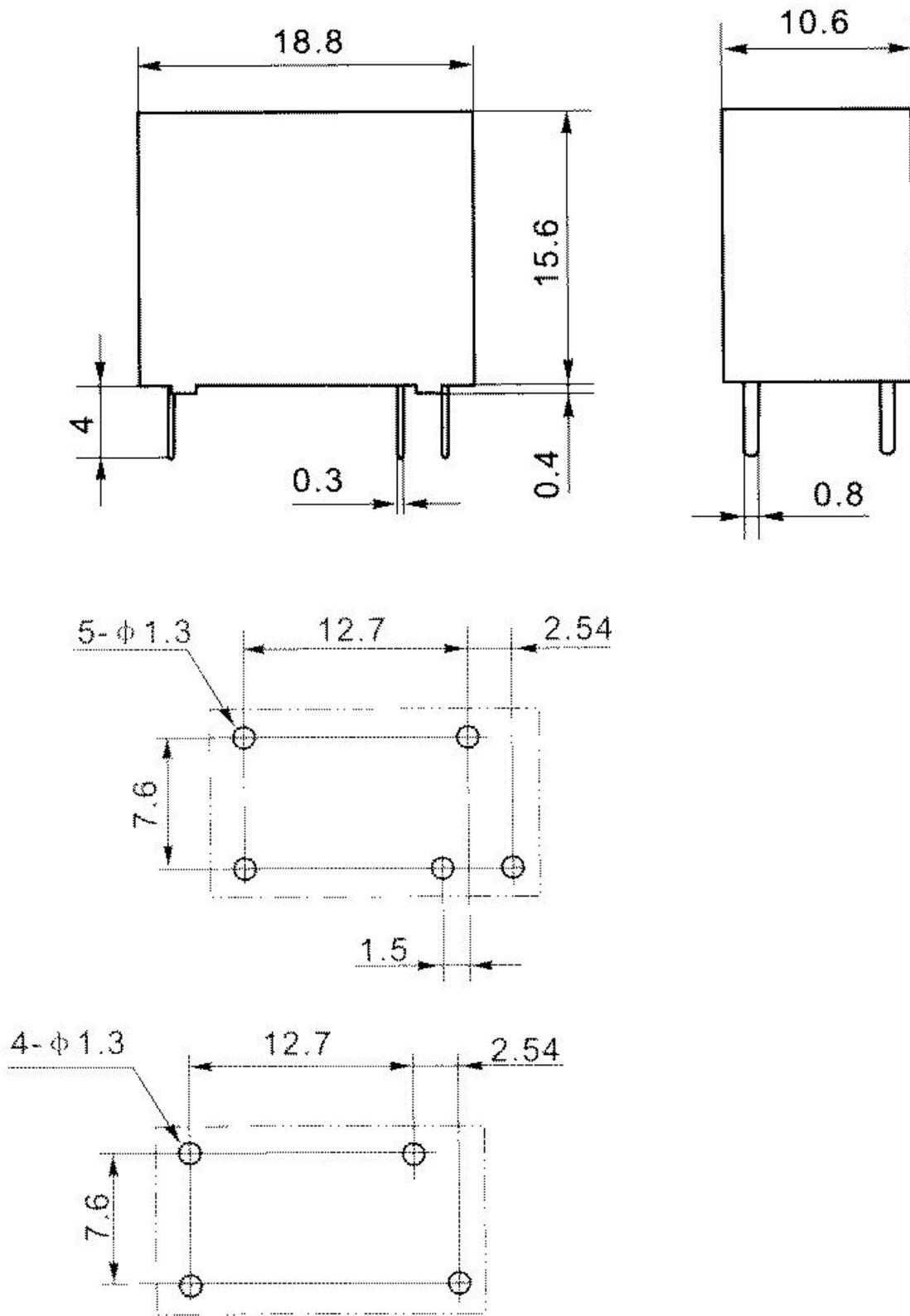


Рисунок 4.6. – Размеры реле NRP05-A-05D

Резисторы R5-R6 задают напряжение смещения между базой и эмиттером транзисторов.

Диоды VD1 – VD4 выполняют роль обратных диодов и рассеивают в моменты коммутации электромагнитную энергию, запасенную в катушках реле. В качестве диодов принимаем кремниевые диоды IN4148. Они имеют максимальное обратное напряжение 100В и прямой ток 150 мА. Стоимость этих диодов 1 руб. за штуку.

В качестве коммутирующих транзисторов выбираем биполярные транзисторы S8050 розничной стоимостью 5р. за штуку и имеющие максимально допустимый ток коллектора 1,5А, максимальное напряжение коллектор-эмиттер 25В и статический коэффициент передачи тока базы равный 85.

Резисторы R1-R4 и R5-R8 принимаем равными 10кОм и мощностью рассеивания 0,125 Вт.

В техническом задании указано, что нагреватель, используемый в климатической системе для подогрева воздуха потребляет ток не более 5А при питании от сети 220В.

Поскольку нагреватель традиционно обладает гораздо меньшей индуктивностью чем электродвигатель, будем выбирать коммутирующее его реле с меньшим запасом и выберем реле NRP-12-A-05D-H, имеющее следующие параметры:

- коммутируемый переменный ток – до 10А,
- коммутируемое переменное напряжение до 250В,
- управляющее напряжение 5 В.

Стоимость этого реле составляет 100р.

Его габаритные и присоединительные размеры показаны на рисунке 4.7.

Схема подключения нагревательного элемента приведена на рисунке 4.8.

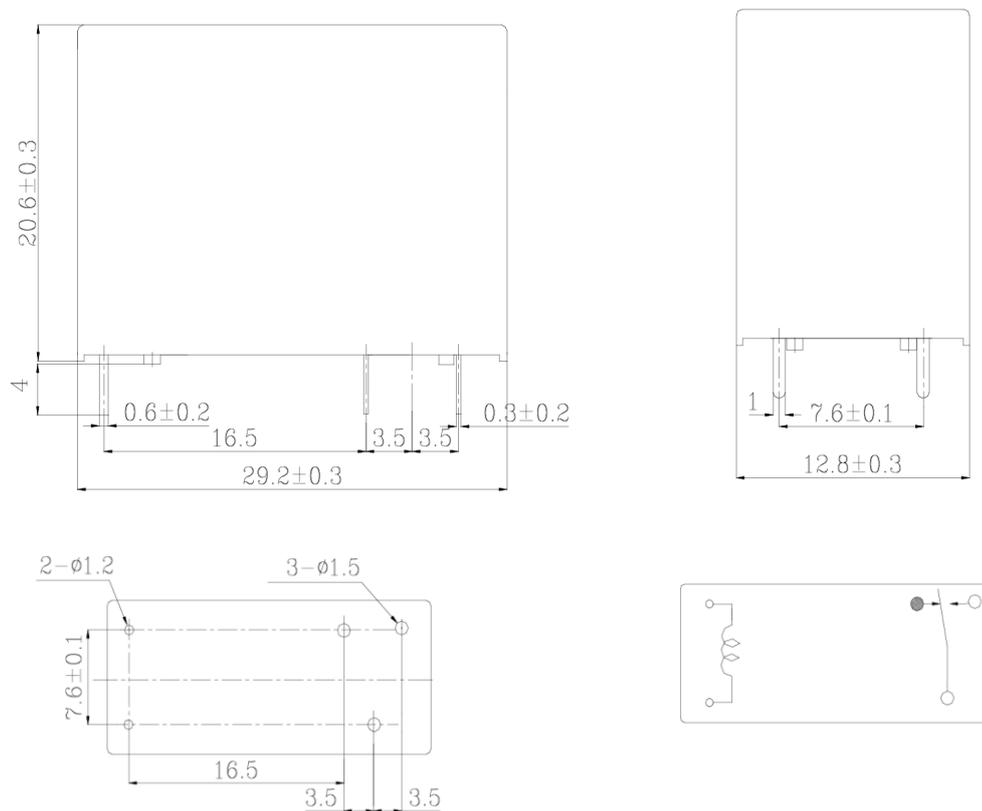


Рисунок 4.7. – Габаритные и присоединительные размеры реле NRP-12-A-05D-N

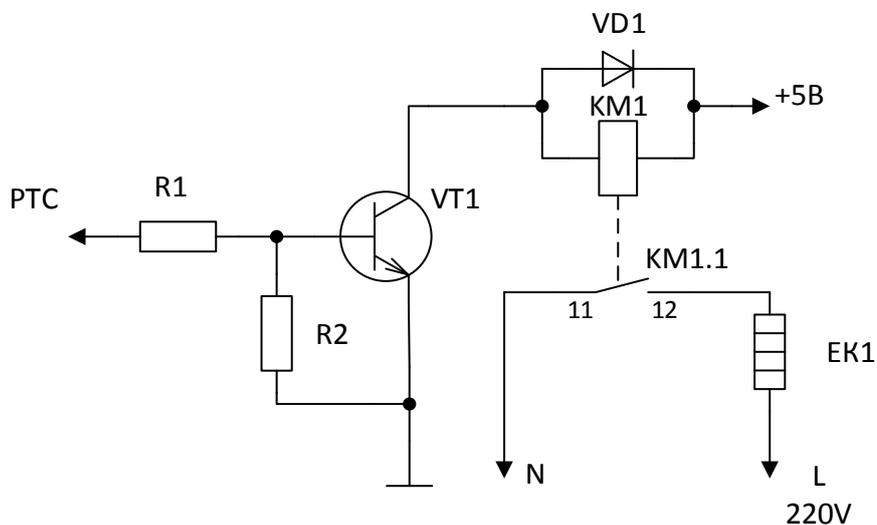


Рисунок 4.8. – Схема подключения к микроконтроллеру нагревательного элемента.

Измерение температуры воздуха будем осуществлять с помощью термодатчика NTC10K-3950 с напряжением питания 5В.

Зависимость его сопротивления от температуры приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Температурная зависимость сопротивления термодатчика

Tx(Г)	M(KQ)	Tx(Г)	M(KQ)	Tx(Г)	M(KQ)	Tx(Г)	M(KQ)
-30	200.2039	15	15.8371	60	2.4862	105	0.6064
-29	187.3164	16	15.1039	61	2.3995	106	0.5899
-28	175.3536	17	14.4092	62	2.3163	107	0.5740
-27	164.2428	18	13.7510	63	2.2365	108	0.5586
-26	153.9176	19	13.1270	64	2.1599	109	0.5436
-25	144.3169	20	12.5353	65	2.0864	110	0.5291
-24	135.3851	21	11.9741	66	2.0157	111	0.5151
-23	127.0710	22	11.4415	67	1.9479	112	0.5016
-22	119.3276	23	10.9360	68	1.8827	113	0.4884
-21	112.1120	24	10.4559	69	1.8201	114	0.4757
-20	105.3847	25	10.0000	70	1.7598	115	0.4633
-19	99.1093	26	9.5668	71	1.7019	116	0.4514
-18	93.2524	27	9.1551	72	1.6463	117	0.4398
-17	87.7834	28	8.7636	73	1.5927	118	0.4285
-16	82.6740	29	8.3913	74	1.5412	119	0.4177
-15	77.8981	30	8.0371	75	1.4917	120	0.4071
-14	73.4319	31	7.7001	76	1.4440	121	0.3968
-13	69.2531	32	7.3793	77	1.3981	122	0.3869
-12	65.3415	33	7.0738	78	1.3539	123	0.3773
-11	61.6781	34	6.7828	79	1.3113	124	0.3679
-10	58.2457	35	6.5055	80	1.2703	125	0.3588
-9	55.0282	36	6.2413	81	1.2308	126	0.3500
-8	52.0106	37	5.9894	82	1.1928	127	0.3415
-7	49.1794	38	5.7492	83	1.1561	128	0.3332
-6	46.5218	39	5.5201	84	1.1208	129	0.3251
-5	44.0260	40	5.3015	85	1.0867	130	0.3173
-4	41.6813	41	5.0928	86	1.0538	131	0.3097
-3	39.4773	42	4.8936	87	1.0221	132	0.3023
-2	37.4049	43	4.7034	88	0.9915	133	0.2951
-1	35.4554	44	4.5217	89	0.9620	134	0.2882
0	33.6206	45	4.3481	90	0.9336	135	0.2814
1	31.8931	46	4.1822	91	0.9061	136	0.2748
2	30.2660	47	4.0236	92	0.8796	137	0.2684
3	28.7328	48	3.8720	93	0.8540	138	0.2622
4	27.2875	49	3.7269	94	0.8292	139	0.2562
5	25.9246	50	3.5882	95	0.8054	140	0.2503
6	24.6387	51	3.4554	96	0.7823	141	0.2446
7	23.4251	52	3.3283	97	0.7600	142	0.2390
8	22.2793	53	3.2066	98	0.7385	143	0.2336
9	21.1971	54	3.0901	99	0.7176	144	0.2284
10	20.1746	55	2.9784	100	0.6975	145	0.2233
11	19.2080	56	2.8715	101	0.6781	146	0.2183
12	18.2941	57	2.7690	102	0.6592	147	0.2134
13	17.4296	58	2.6707	103	0.6410	148	0.2087
14	16.6115	59	2.5765	104	0.6234	149	0.2041

Подключение термодатчика показано на рисунке 4.9.

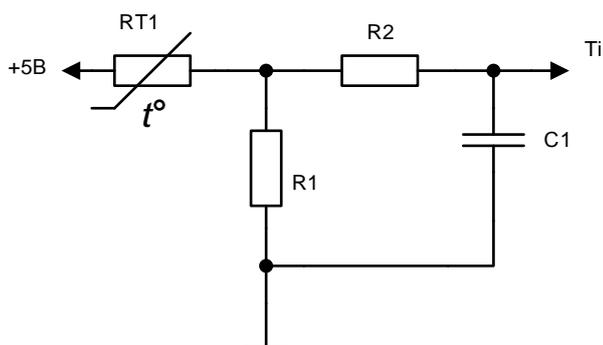


Рисунок 4.9. Схема включения термодатчика.

Выход T_i подключается ко входу аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера. На программном уровне температура воздуха будет отслеживаться в соответствии с напряжением на входе АЦП микроконтроллера и значений таблицы 4.1.

Для отображения информации о параметрах работы увлажнителя будем использовать жидкокристаллический дисплей размером 0,96 дюйма OLED типа. Подключаться к микроконтроллеру этот экран будет по интерфейсу I2C, имеющему линии +5В, общий и информационные SDA и SCL

Внешний вид модуля с экраном приведен на рисунке 4.10.

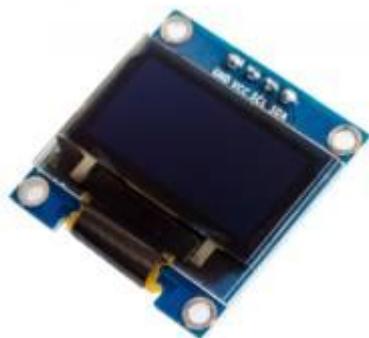


Рисунок 4.8. – Внешний жидкокристаллического дисплея OLED.

Ультразвуковая мембрана требует для своей работы напряжение 24 В. При этом управляющее напряжение, подаваемое на вход мембраны и опре-

деляющее интенсивность ее работы должно лежать в пределах 10-26В. Чем выше напряжение, тем интенсивнее работает мембрана и тем больше ее производительность при генерации «холодного пара». Схема подключения модуля мембраны к управляющим сигналам микроконтроллера с помощью биполярных транзисторов, работающих в ключевом режиме показана на рисунке 4.9.

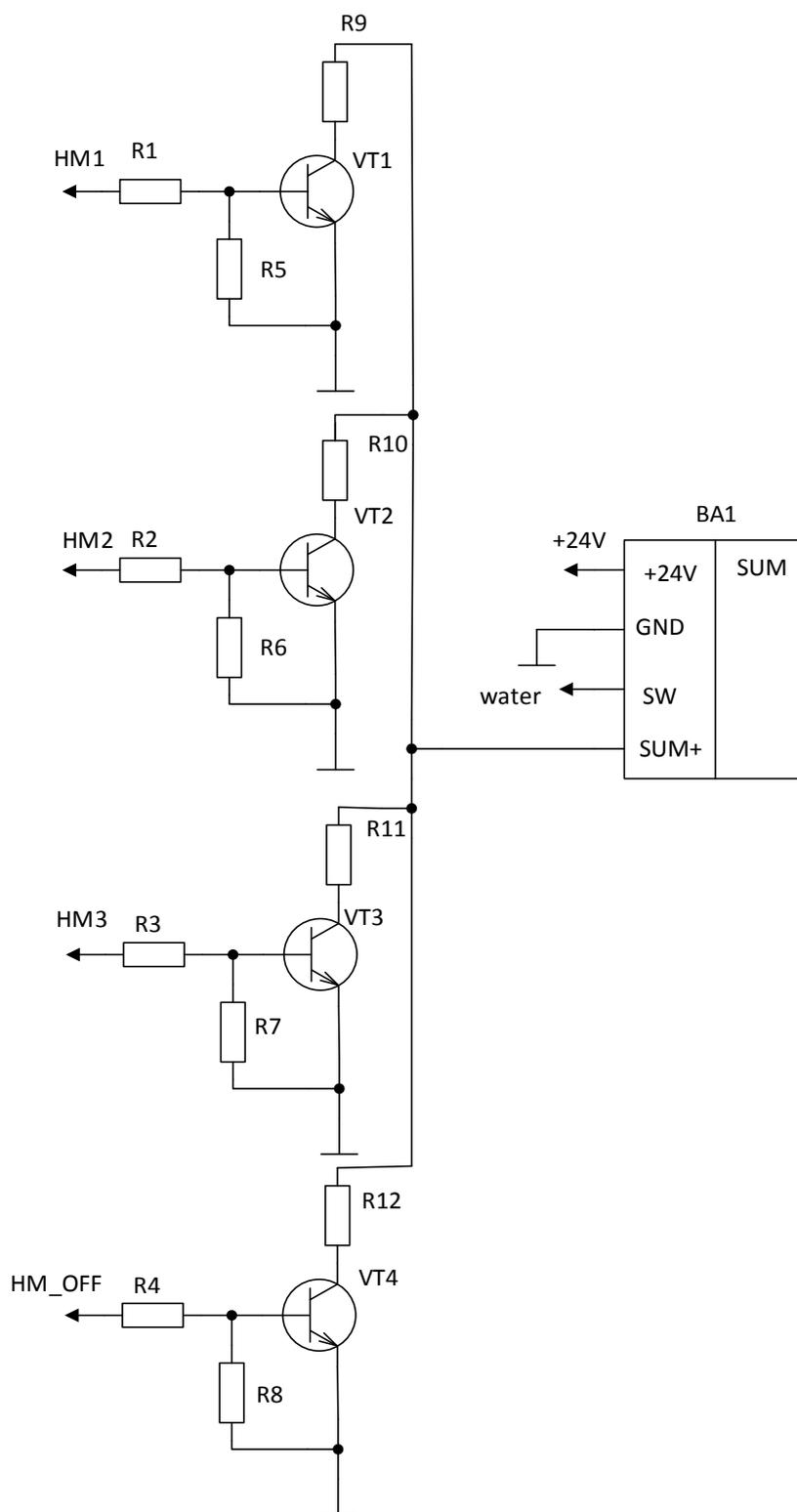


Рисунок 4.9. – Схема подключения мембраны.

Питание схемы осуществляется целым рядом напряжений.

Для питания и управления ультразвуковой мембраной необходимо напряжение 24В. Питание модуля ZigBee и жидкокристаллического дисплея OLED типа осуществляется от напряжения 3,3 В. Для питания микро-

контроллера и датчиков температуры необходимо напряжение +5В. Кроме этого, двигатель вентилятора питается напряжением 220В.

Для питания мембраны необходим ток по линии напряжения 24В до 0,6 А. Соответственно, источник напряжения 24 В должен обеспечивать протекание этого тока и иметь мощность не менее

$$P_{\text{мин}}=24*0,6=14,4 \text{ Вт.}$$

Таким образом, блок питания всего увлажнителя должен обеспечивать три вида напряжения: +24В, +5В и +3,3В. В техническом задании указано, что напряжение 24 Вс нагрузочным током до 1А обеспечивает имеющийся источник питания, поэтому сформируем оставшиеся напряжения величиной +5В и +3,3В.

С этой целью будем использовать последовательное соединение импульсного стабилизатора с входным напряжением 24 В и выходным +5 В. Импульсная схема стабилизации выбрана, поскольку на линейном стабилизаторе будет падать значительное напряжение и он будет греться сверх меры. Для получения напряжения +3,3В можно использовать линейный интегральный стабилизатор.

Построим схему стабилизатора на широко распространенной интегральной схеме LM2596.

Ее параметры:

- диапазон входного напряжения 2,4...40 В;
- выходное напряжение подстраивается в диапазоне 1,2...37 В.
- выходной ток 3А
- корпуса ТО220-5 для монтажа в отверстия или D2РАК-5 для поверхностного монтажа;
- КПД 70-95%.

Производителем выпускаются микросхемы с фиксированным выходным напряжением 3.3В, 5 В и 12В. Кроме того, имеется вариант с регулируемым выходным напряжением.

Для нашей задачи будем использовать микросхему LM2596-5 с выходным напряжением 5В.

Типовая схема включения, рекомендуемая производителем для этой микросхемы показана на рисунке 4.10.

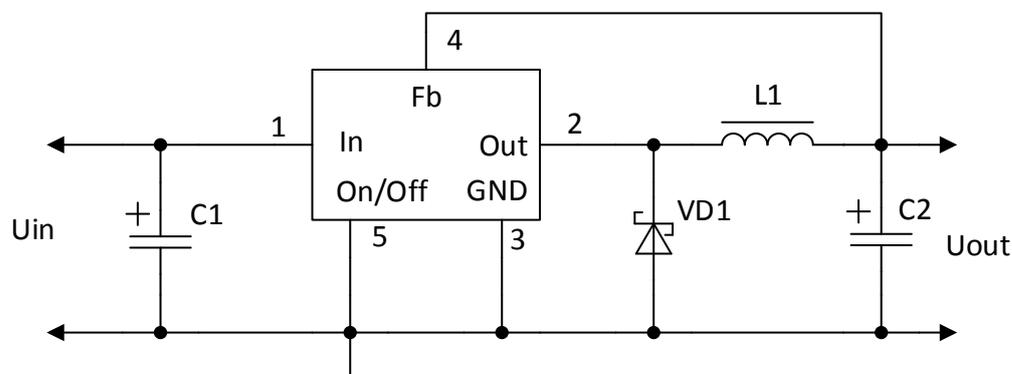


Рисунок 4.10. –Схема повышающего импульсного стабилизатора напряжения.

Производителем рекомендуются следующие параметры элементов для оптимальной работы стабилизатора: $C1=400$ мкФ, $C2=220$ мкФ, $L1=33$ мкГн, в качестве диода VD1 используется диод Шоттки 1N5824.

Для получения напряжения 3,3 В будем использовать схему линейного стабилизатора, показанную на рисунке 4.11.

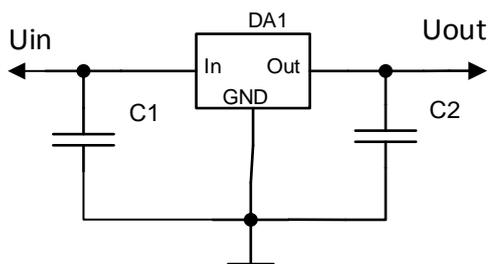


Рисунок 4.11. Схема подключения стабилизатора LM1117-3,3

В соответствии с рекомендациями производителя стабилизатора конденсаторы $C1$ принимаем с емкостью 10 мкФ, а конденсатор $C2$ – с емкостью 100 мкФ.

Результирующая схема стабилизации напряжений будет выглядеть, как показано на рисунке 4.12.

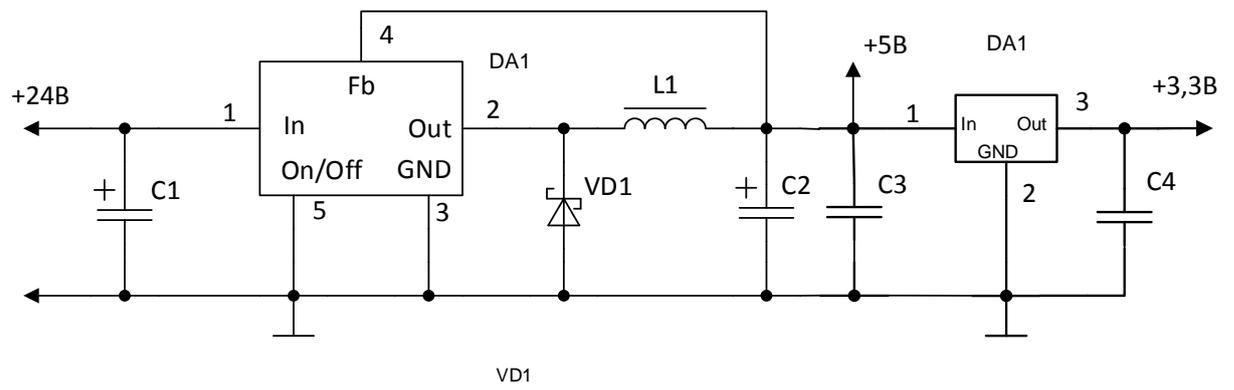


Рисунок 4.12. Схема стабилизаторов напряжения на +5В, +3.3В

5. Разработка конструкции печатной платы системы управления увлажнителем.

5.1 Описание конструкции устройства.

В соответствии с разработанной схемой разведем печатную плату, на которой разместим элементы схемы кроме увлажнителя, вентилятора, жидкокристаллического дисплея и кнопки включения питания. Монтаж этих узлов будет осуществляться непосредственно к конструктивно предусмотренным частям корпуса системы. К плате эти элементы будут подключаться с помощью разъемных соединений, для чего на печатной плате надо предусмотреть контактные площадки.

Все остальные элементы разместим на поверхности печатной платы.

5.2 Разработка печатной платы устройства.

Для размещения элементов устройства построим печатный узел на основе двухстороннего стеклотекстолита фольгированного СФ-2-35-1,5.

Таблица 5.1 - Параметры стеклотекстолита фольгированного СФ-2-35-1,5.

Марка	Электрические параметры фольгированного стеклотекстолита			
	Толщина изоляции d, мм	Толщина фольги h, мкм	Максимальная плотность тока J, А/мм ²	Удельное сопротивление изолятора ρ, Ом/м
СФ-2-35-1.5	1,5	35	4	$1,2 \cdot 10^9$

В схеме имеются как информационные, так и силовые сигналы, поэтому необходимо предусмотреть два типа ширины проводников: для информационных участков основная ширина дорожек будет равной 0,2 мм, а

для питающих дорожек примем основную ширину равной 1 мм.

Монтаж элементов проводится как поверхностным способом, так с помощью монтажа ируются в отверстия. В монтажных и переходных отверстиях необходимо предусмотреть металлизацию. Диаметр контактных площадок для переходных отверстий выбираем равным 1 мм.

Для разводки печатных плат используем программу Altium Designer. Печатную плату будем делать прямоугольной. В соответствии с изложенными правилами настроили пакет трассировки в Altium Designer и выполнили трассировку двусторонней платы.

5.3 Изготовление печатной платы.

Будем считать, что токопроводящие дорожки изготавливают химическим способом, вытравливая незащищенные тем или иным способом участки медной фольги. Металлизированные отверстия получают электрохимическим способом осаждавая медь. Необходимый рисунок токопроводящих дорожек на плате формируют нанося защитный слой на те места, где должны остаться проводники. Стеклотекстолит опускают в химический вытравливающий раствор после нанесения защитного покрытия.

В протравленной плате делают отверстия для навесных элементов и переходных отверстий. После этого плата обслуживается припоем для упрощения монтажа. Для защиты платы от окружающей среды ее покрывают лакокрасочными составами необходимо цвета, нанося методом шелкографии необходимые графические и символные изображения. Защитное покрытие не позволяет окисляться проводникам.

6. Экономическая часть.

В этом разделе рассчитаем затраты на компоненты и материалы, используемые в системе управления маломощным двигателем постоянного тока.

Необходимо учитывать, что некоторые материалы, например хлорное железо, стеклотекстолит фольгированный продаются минимальными партиями, стоимость которых фиксирована.

Результаты расчета затрат на компоненты и материалы свели в табл.6.1

Таблица 6.1 - Затраты на основные материалы для изготовления модуля регистрации параметров электрической энергии.

Наименование материала	Марка	ГОСТ, ТУ	Ед. изм.	Норма расхода шт.	Цена за единицу (руб.)	Затраты (руб.)
Флюс	Спиртовой раствор сосновой канифоли	19113-84	шт.	1	25	25
Припой	ПОС60	48-0220-57-93	шт.	1	80	80
Стеклотекстолит 2х-сторонний	СФ-2-35-1,5	10316-78	шт.	1	32	32
Хлорное железо	FeCl ₃	6-00-05763458-129-91	шт.	1	68	68
Итого						205

Полную стоимость покупных комплектующих изделий определили по табл. 6.2.

Таблица 6.2 - Стоимость покупных комплектующих изделий.

Наименование изделия	Марка, размер	Количество, шт.	Цена за единицу (руб.)	Затраты (руб.)
Микросхемы	ATMEGA328	1	130	130
	E18-MS1-PCB	1	250	250
	BL8530	1	7	7
Диоды	STPS2L60	1	18	18
Диоды	STPS2L60	1	18	18
	IN4148	1	5	5
Дроссель	6000-101K-RC, RF CHOKE, 100UH, 1.4A, 10%, 3.7MHZ	1	150	150
Резисторы	1206DRF 072R	15	0,5	7,5
Конденсаторы	K50-35 - 50мкФ - 25В ±20%	2	20	40
	Y5V - 0.1мкФ - 50В -+80- 20%	2	2	4
Реле	NRP05-A-05D	4	100	400
Транзисторы	S8050	7	5	35
Провода	SG6301, 3м	3м	0,9р/м	2,7
Дисплейный модуль	MCOT064032A1V-BI	1	340	340
Итого:				1407,2

С учетом транспортно-заготовительных расходов стоимость покупных изделий:

$$C_{\text{покуп}} = \sum_{i=1}^n S_{\text{покуп}} \cdot (1 + K_{\text{тз}}),$$

где $K_{\text{тз}}$ – коэффициент транспортно-заготовительных расходов; $K_{\text{тз}} = 0,04$

$S_{\text{покуп}}$ – стоимость покупных комплектующих изделий, руб.

$$C_{\text{покуп}} = 1407,2 \cdot (1 + 0,04) = 1463,5 \text{ руб.}$$

Результаты расчёта затрат материалы и комплектующие сведены в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 - Результаты расчета затрат на материалы и комплектующие

Наименование статей затрат	Абсолютная величина затрат, руб.
Затраты на основные материалы	205
Затраты на комплектующие	1463,5
Итого:	1668,5

Таким образом величина затрат на приобретение по розничным ценам с учетом минимально продаваемых количеств материалов и комплектующих для изготовления одного экземпляра системы управления увлажнителем с функцией приточной вентиляции и подогрева воздуха составят 1668,5р.

7. Безопасность и экологичность проекта.

Идентификация опасных и вредных производственных факторов.

При выполнении монтажных, сборочных и наладочных работ на выполняющих работы людей воздействует ряд вредных и опасных производственных факторов. Среди них считают повышенную запыленность и загазованность рабочих зон; высокий и опасный уровень напряжения в электрических сетях; электромагнитные излучения, а также статическую нагрузку на человека.

При пайке работник может дышать испарениями флюсов, пары припоев, содержащие свинец, окись углерода и другие элементы. Конкретный состав испаряющихся веществ определяется видом флюсов и припоев. Как правило, немалое количество припоев является токсичным. Воздействие этих веществ на организм человека, зачастую является причиной острых и хронических профессиональных заболеваний и отравлений.

Кроме этого, при монтаже электронных схем, производственные работники подвергаются воздействию таких факторов, как поражение электрическим током и статическим электричеством, поражение химическими веществами, при нарушении герметизации приборов содержащих опасные вещества. Не исключена возможность травм при работе со специнструментом, например, ожогов раскаленным припоем или паяльником, порезов и уколов об острые части элементов схем. Кроме этого, на организм человека действуют вредные вещества, содержащиеся в дыме, который возникает при монтаже элементов.

Таблица 7.1 – Перечень опасных и вредных факторов производства

№ п/п	Наименование опасного и вредного производственного фактора	Виды работ, оборудование, технологические операции при которых встречается данный производственный фактор
1	поражение химическими веществами	Пайка (аэрозоль флюс и припой), травление печатных плат (раствор хлорного железа) нарушение герметизации приборов (электролитические конденсаторы)
2	поражение электрическим током и статическим электричеством	Изготовление электронных схем. электрооборудование (неисправности, повышенные значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека)
3	ожоги	Пайка (ожоги раскаленным припоем и паяльником)
4	порезы и уколы	Изготовление печатных плат, монтаж элементов (острые части элементов схем)

8. Заключение.

В результате выполнения работы была разработана система управления увлажнителем воздуха с функцией приточной вентиляции и подогрева воздуха. Разработана схема электрическая принципиальная устройства, предложено словесное описание алгоритма работы и его оформление в виде блок-схемы. Проработаны вопросы взаимодействия микроконтроллера ATMEGA328сдвигателем, ультразвуковой увлажняющей мембраной и нагревательным элементом. Подсчитана стоимость комплектующих. Даны практические советы по обеспечению безопасного и экологически чистого производства устройства.

Список используемой литературы:

1. Шпак Ю.А. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров. - К.: «МК-Пресс», 2006. – 400 с.
2. П. Хоровиц, У. Хилл Искусство схемотехники, 2011. – 593 с.
3. Ю.Н. Андреев, А.И. Антонян, Д.М. Иванов и др.; Под ред. И.И. Четверткова Резисторы (справочник) – М. Энергоиздат, 1981.- 352 с.
6. www.gaw.ru
7. www.radiokot.ru
8. <http://slovari.yandex.ru/dict/bse>
9. www.cxem.net
10. www.atmel.com
11. Масленников М.Ю., Соболев Е.А. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база. Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 298 с.
12. В. П. Берзан, М. Ю. Геликман. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с.: ил.
13. И. Н. Сидоров, В. В. Мукосеев, А. А. Христинин. Малогабаритные трансформаторы и дроссели. – М.: Радио и связь, 1985. – 416 с., ил.
15. www.chipdir.ru - Интернет-сервер электронных компонентов и приборов. Интернет-магазин, описание, техническая документация на электронные компоненты.
16. www.platan.ru – Интернет-сервер электронных компонентов и измерительной техники. Интернет-магазин, электронные компоненты, техническая информация.
17. www.chipinfo.ru – Интернет-сервер поиска электронных компонентов и радиодеталей.
18. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов: М.: Солон-Р, 2001, 327 с.: ил.

19. MC34152, MC33152, NCV33152 High Speed Dual MOSFET Drivers. Publication Order Number: MC34152/D. Semiconductor Components Industries, LLC, 2010 October, 20019– Rev. 11.

20. MC34063A. DC-DC CONVERTER CONTROL CIRCUITS. DS1157: DC-DC converter control circuits. <http://www.st.com>.

21. Si1442DH Vishay Siliconix. Document Number: 63772. S12-0546-Rev. A, 12-Mar-12. // www.vishay.com

22. 8-bit Microcontroller with 2K Bytes In-System Programmable Flash AT-tiny2313/V Preliminary. Rev. 2543I–AVR–04/06. // www.atmel.com

23. STPS2L60. Power Schottky rectifier. Doc ID 9173 Rev 6. // www.st.com

24. Radial Lead RF Chokes. REV. 06/07 // www.bourns.com

25. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C

26 <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/1788-kondensatornye-dvigateli-ustrojstvo.html>

27. <https://promplace.ru/kondensatornij-elektrodvigatel-ustrojstvo-i-printcip-raboti-486.htm>

28. <http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/induction2ph/>

29. <http://electricalschool.info/elprivod/1740-chastotnoe-regulirovanie-asinkhronnogo.html>

30. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D1%80%D0%B5%D0%B3%D1%83%D0%BB%D0%B8%D1%80%D1%83%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4

31. <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/1788-kondensatornye-dvigateli-ustrojstvo.html>
32. <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/1056-mnogoskorostnye-jelektrodvigateli.html>
33. <https://masterxoloda.ru/4/upravlenie-skorostyu-vrashheniya-odnofaznyh-dvigatelej>
34. <http://www.intechnics.ru/article15.htm>
35. http://sovetexpert.ru/kak-rabotaet-uvlazhnitel-vozduxa.html#h2_2