

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

**ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(наименование)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Микроконтроллерные вращающиеся часы

Студент

М. Ю. Ёрбеков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент М.В. Позднов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

А.В. Кириллова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

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

**ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ**  
(наименование института полностью)  
Кафедра Промышленная электроника  
(наименование)

## **ЗАДАНИЕ**

### **на выполнение бакалаврской работы**

Студент Ёрбеков М.Ю., Элб-1601а

1. Тема Микроконтроллерные вращающиеся часы

2. Срок сдачи студентом законченной бакалаврской работы \_\_\_\_\_

3. Исходные данные к бакалаврской работе \_\_\_\_\_

Первичный источник питания: сеть 220 В 50Гц

Отображаемая информация: текущее время

Способ отображения информации: динамический, на вращающихся светодиодах

4. Содержание бакалаврской работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов)

Аннотация

Введение

1. Состояние вопроса

1.1 Актуальность поставленной задачи

1.2. Анализ известных решений

2. Разработка электрической схемы

2.1. Разработка управляющей части

2.2. Разработка светодиодной части

2.3. Разработка системы питания

3. Разработка печатных плат

4. Программная часть

4.1. Требования к программе

4.2. Блок-схема алгоритма работы программы

Заключение

Список используемой литературы

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

1. Обзорный лист

2. Структурная схема

3. Схема электрическая принципиальная

4. Временные диаграммы работы

5. Блок-схема программной части

6. Внешний вид печатных плат

6. Консультант по разделам \_\_\_\_\_

7. Дата выдачи задания «25» декабря 2019 г.

Руководитель бакалаврской работы \_\_\_\_\_

(подпись)

М.В. Позднов

(И.О. Фамилия)

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

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»  
(наименование)

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН  
выполнения бакалаврской работы**

Студент М.Ю. Ёрбеков  
по теме Микроконтроллерные вращающиеся часы

Наименование работ	Плановый срок выполнения	Фактический срок выполнения	Отметка о выполнении
Анализ актуальности проекта, написание введения и обзорной главы. Разработка структурной схемы разрабатываемого устройства	10.02.2020	1.04.2020	
Разработка электрической принципиальной схемы . Написание остальных разделов работы.	25.04.2020	25.04.2020	
Оформление пояснительной записки и плакатов	30.05.2020	7.06.2020	

Руководитель бакалаврской работы \_\_\_\_\_

(подпись)

М.В. Позднов  
(И.О. Фамилия)

## **Аннотация**

Объем 43 с., 15 рис., 2 табл., 32 источников  
ЧАСЫ, ЭЛЕКТРОННЫЕ ЧАСЫ, ВРАЩАЮЩИЕСЯ ЧАСЫ,  
ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР, МИКРОКОНТРОЛЛЕР.

Объектом исследования является вращающиеся часы.

Цель работы: разработка микроконтроллерных вращающихся часов

Задачи работы:

1. Обзор состояния вопроса
2. Разработка и расчет принципиальной электрической схемы (управляющей, светодиодной и питающей частей)
3. Разработка печатных плат частей схемы

Решение этих задач описано в 3 главах работы.

Степень внедрения: теоретически рассчитаны параметры системы, разработаны схемы и выбраны элементы, написана программа.

Областью применения данной работы является повседневная домашняя обстановка.

В данной ВКР разработаны светодиодные вращающиеся часы. Часы представляют собой планку со светодиодами и микроконтроллерной системой управления, быстро вращающуюся на неподвижном основании. Благодаря инерции человеческого зрения и горения светодиодов в строго определенные моменты времени, возникает иллюзия висящего в воздухе неподвижного светящегося циферблата.

Разработанные часы помимо прямого функционального назначения (отображения времени), так же несут эстетическую нагрузку и демонстрируют возможности электронной техники.

## **Abstract**

The title of the graduation work is «Microcontroller based rotating clock».

The senior paper consists of an introduction, 4 parts, a conclusion, 15 picture, 2 tables, list of references including 5 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of research is microcontroller based rotating clock.

The aim of the graduation work is development of a microcontroller based rotating clock.

The tasks of the work are

1. A review of the status of the issue
2. Development and calculation of the basic electrical circuit (control, led and power parts)
3. Development of printed circuit boards parts schematic

Degree of implementation: theoretically calculated parameters of the system, the developed scheme and the selected elements of the written program.

The scope of this work is everyday home environment.

The relevance of the rotating clock is due to the fact that the clock, in addition to its direct functional purpose (time display), also carries an aesthetic load and demonstrates the capabilities of electronic technology.

The work is of interest for narrow circle of readers.

## Содержание

Введение.....	3
1. Состояние вопроса.....	4
1.1 Актуальность поставленной задачи, формулирование задач проекта.....	4
1.2. Анализ известных решений .....	5
2. Разработка электрической схемы.....	10
2.1. Разработка управляющей части.....	12
2.2. Разработка светодиодной части.....	16
2.3. Разработка питающей части .....	17
3. Разработка конструкции.....	23
3.1. Анализ вариантов.....	23
3.2. Разработка печатной платы.....	23
3.3. Разработка электромеханической части .....	27
3.4. Разработка светодиодной части.....	29
3.5. Анализ стоимости изготовления макета часов .....	30
4. Программная часть .....	32
4.1. Формулирование требований к программной части и алгоритм ее работы.....	32
4.2. Разработка программной части .....	33
Заключение .....	35
Список используемой литературы .....	36
Приложение А. Перечень элементов .....	40

## Введение

Часы, как элемент обихода давно и прочно вошли в нашу жизнь. За всю историю человечество использовало множество различных типов часов – от солнечных и песочных до современных кварцевых, электронных и даже атомных. В настоящее время домашние часы не только являются полезным предметом обихода, но и могут нести эстетическую нагрузку, являясь предметом интерьера или даже роскоши. По этой причине промышленностью выпускаются множество различных часов, имеющих различную цену, размеры, дизайн и принцип действия.

Другим элементом, прочно вошедшим в нашу жизнь и продолжающим увеличивать свой вес, является электроника, в том числе цифровая. Не даром наиболее популярны сейчас именно электронные часы. В них встроены, как правило, специализированный микроконтроллер, и у часов появилось много сервисных функций (будильники, мелодии, календари и т. д.).

Именно на стыке этих двух популярных элементов (часов и цифровой электроники) выбрана тема ВКР: «Микроконтроллерные вращающиеся часы». Часы представляют собой планку со светодиодами и микроконтроллерной системой управления, быстро вращающуюся на неподвижном основании. Благодаря инерции человеческого зрения и горения светодиодов в строго определенные моменты времени, возникает иллюзия висящего в воздухе неподвижного светящегося циферблата.

Разработанные часы помимо прямого функционального назначения (отображения времени), так же несут эстетическую нагрузку, являясь предметом обихода и демонстрируя возможности современной электронной техники.

# 1. Состояние вопроса

## 1.1 Актуальность поставленной задачи, формулирование задач проекта

В данной ВКР разработаны светодиодные вращающиеся часы. Часы, как элемент обихода давно и прочно вошли в нашу жизнь. Рынок часов очень обширен. Множество различных компаний выпускают тысячи различных типов. Часы могут отличаться размерами, дизайном, принципом действия, особенностями применения и ценовой категорией.

Условно часы можно разделить на два типа: переносные и стационарные.

Переносные часы человек носит с собой. Раньше это были наручные часы, но сейчас их практически вытеснили часы, встроенные в сотовый телефон. Для большинства людей наручные часы из насущной необходимости перешли в разряд предметов имиджа и спрос на них сильно упал.

Стационарные часы располагаются неподвижно. Они могут быть выполнены как отдельными устройствами (вешаются на стену, ставятся на тумбочку и т.д.), так и встраиваться в бытовую технику (плиты, холодильники, микроволновые печи и т.д.). Часто часы являются одной из функций другого прибора (радио, цифрового термометра, пульта дистанционного управления).

В результате столь большого выбора человек, покупая стационарные часы, в первую очередь относится к ним как предмету интерьера. Именно поэтому разработка нового типа часов, которые смогут привлечь внимание покупателя, является актуальной задачей.

Таким образом, целью данной ВКР является разработка светодиодных вращающихся часов.



Для достижения поставленной цели в ВКР решены следующие задачи:

- анализ исходных данных и известных решений
- разработка электрической схемы (управляющей, светодиодной и питающей частей)
- разработка печатных плат частей схемы

## **1.2. Анализ известных решений**

Итак, целью данной работы является разработка часов, способных заинтересовать потенциального покупателя. Одной из представляющих интерес идей является идея вращающихся светодиодных часов, так называемых пропеллерных часов.

Экран этих часов не похож ни на один из привычных нам часов. Для отображения времени используется дисплей с механической разверткой. Он представляет собой быстро вращающийся рычаг с установленными на нем светодиодами, которые зажигаясь в строго определенные моменты времени формируют изображение, создавая иллюзию «парения» светящихся цифр над подставкой (рис.1.1). Центральным элементом таких часов является микроконтроллер, управляющий включением светодиодов. Отсчет времени микроконтроллер осуществляет, считая периоды колебаний кристалла кварца (кварцевого резонатора).



Рис. 1.1. – Вращающиеся светодиодные часы.

Рычаг вращается с частотой около 1500 об/мин и диоды загораются в строго определенных положениях. Поскольку рычаг вращается с большой скоростью, то он почти незаметен, а мы видим только вспышки светодиодов. В каждом положении рычага светодиоды горят в определенной комбинации, что позволяет формировать графическую и текстовую информацию.

В зависимости от формы рычага дисплей может быть в виде цилиндра (рис. 1.1) или диска (рис.1.2а). Прямой рычаг позволяет имитировать стрелочные часы (рис. 1.2а).

Первым, кто изобрел и собрал такой прибор, был американец Боб Блик в 1997 году и назвал их «Propeller Clock». Изобретение сразу вызвало интерес у общественности и техников. С тех пор было разработано различные варианты таких часов. Несмотря на давность изобретения и интересный принцип действия, такие часы практически не распространены в продаже и делаются, в основном, электронщиками-энтузиастами в единичных экземплярах.



а)



б)

Рис. 1.2. – Различные варианты исполнения вращающихся часов

За основу в дальнейшей разработке примем часы Боба Блика, т.к. они более просты в исполнении, требуют мало затрат при изготовлении.

Такие часы состоят из двух частей: неподвижной и вращающейся.

На вращающейся части расположены микроконтроллер и управляемая им светодиодная линейка. В ходе разработки часов необходимо определиться с двумя ключевыми вопросами:

- 1) способом передачи энергии на вращающуюся часть;
- 2) способом синхронизации.

Рассмотрим эти вопросы поподробнее.

1. Способ передачи энергии на вращающуюся часть. Как уже говорилось, на вращающейся части расположены микроконтроллер и светодиоды, которым необходимо питания. Эта энергия передается им от неподвижной части, подключенной к сети или элементам питания. Разумеется, можно разместить элементы питания непосредственно на вращающейся части, но такое решение не рационально, т.к. маленький элемент питания потребует частой его замены, а большой будет иметь большую массу и, вращаясь с частотой 25 оборотов/сек приведет к разбалансировке системы и снижению долговечности. Наиболее часто используют 2 способа передачи а) через скользящий контакт, б) через воздушный трансформатор. Рассмотрев отзывы об этих способах было решено использовать воздушный трансформатор, первичная обмотка которого расположена на неподвижной части, а вторичная – на вращающейся. Такое решение обусловлено недолговечностью и ненадежностью скользящего контакта, реального для изготовления в домашних условиях.

2. Вторым вопросом является способ синхронизации вращающейся части с неподвижной. Для неподвижности изображения светодиоды должны зажигаться при определенном положении в пространстве. Если не

осуществлять синхронизацию то из-за малейшего отклонения частоты вращения от заданной изображение будет плыть (смещаться в направлении вращения). В такие системы добавляют возможность плавной подстройки частоты вращения в процессе работы (например, переменным резистором, расположенным на неподвижной части). Тогда пользователь, видя вращение изображения, должен вращать построечную рукоятку, добиваясь его неподвижности. Такие часы, требующие регулярной подстройки, будут не очень удобны в эксплуатации. Более грамотным является решение с наличием синхронизации. Расположим инфракрасный светодиод на неподвижной части и ответный ему фотодиод на вращающейся. Тогда по сигналу с фотодиода микроконтроллерная система сможет корректировать моменты зажигания светодиодов, обеспечивая неподвижность изображения.

Итак, в ходе анализа состояния вопроса было решено разрабатывать вращающиеся светодиодные часы с прямоугольным рычагом (получаемый дисплей в форме цилиндра), передачей энергии на вращающуюся часть через воздушный трансформатор и синхронизацией при помощи инфракрасного светодиода.

## 2. Разработка электрической схемы

В результате анализа известных решений была разработана следующая функциональная блок-схема устройства (рис.2.1), полная схема, разработанная в данной главе, изображена на рис. 2.2.

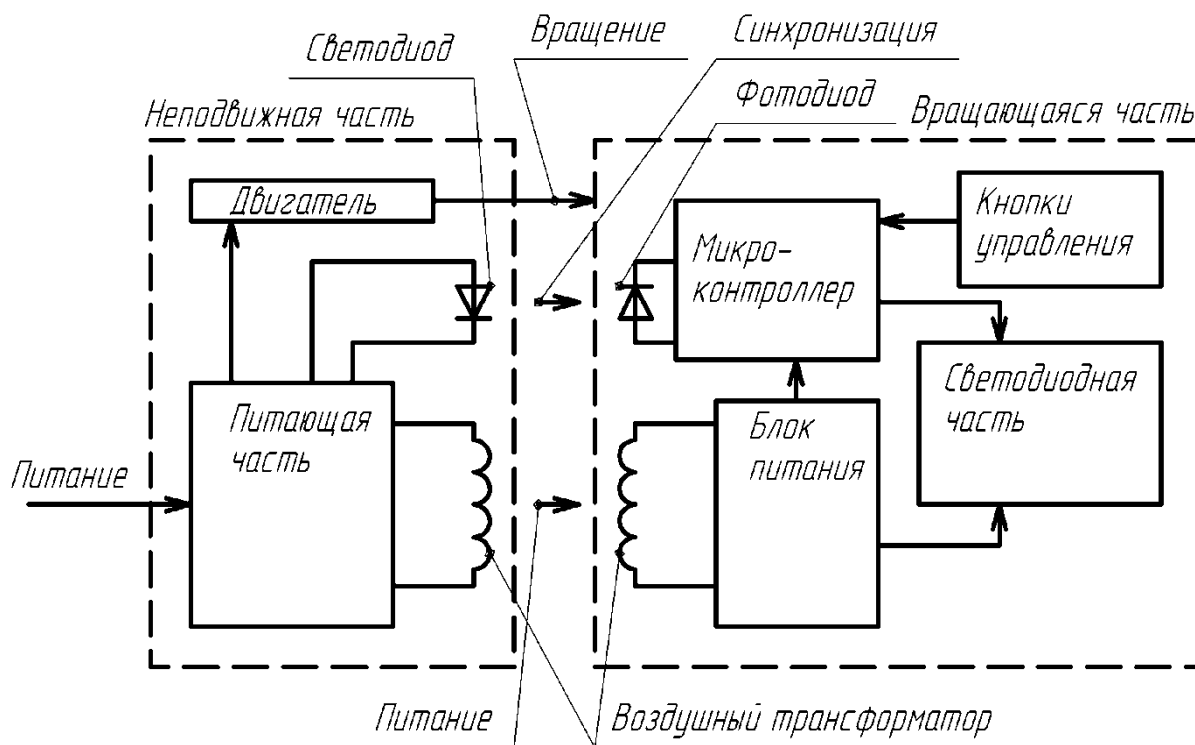


Рис. 2.1. – Функциональная блок-схема вращающихся светодиодных часов.

Часы состоят из двух частей: неподвижной и вращающейся.

Неподвижная часть запитывается от сетевого адаптера. Ее функциями является:

- а) генерация импульсного напряжения на первичной обмотке воздушного трансформатора, питающего вращающуюся часть
- б) обеспечение свечения синхронизирующего инфракрасного светодиода
- в) обеспечение вращения вращающейся части посредством двигателя

Неподвижная часть

Вращающаяся часть

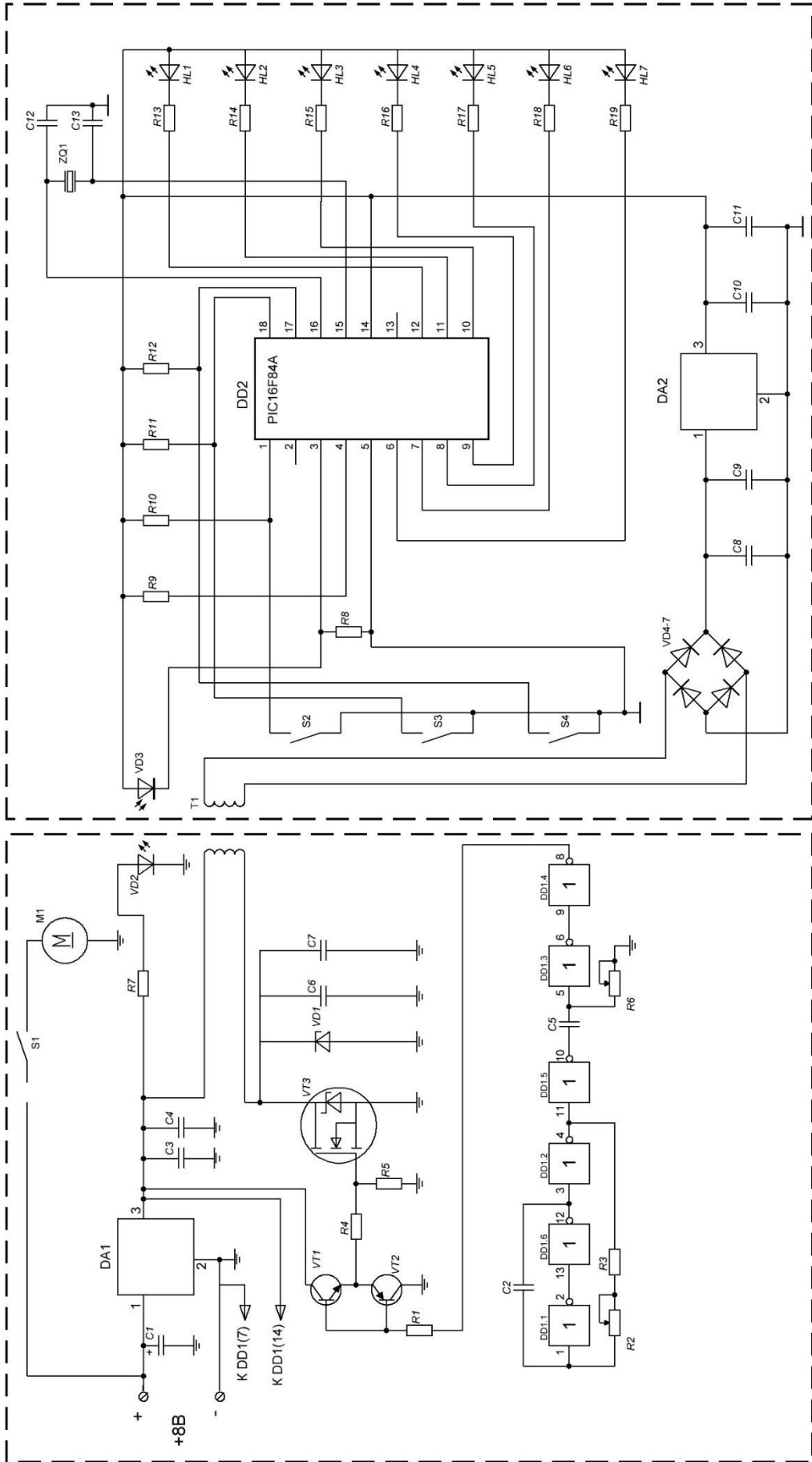


Рис. 2.2 – Вращающиеся часы. Схема электрическая принципиальная

Вращающаяся часть закреплена на роторе двигателя и вращается со скоростью около 1500 об/мин (25 об/сек). Блок питания выпрямляет и стабилизирует принятое вторичной обмоткой воздушного трансформатора напряжение. Микроконтроллер в соответствии с синхроимпульсами, принимаемыми фотодиодом, и заданными кнопками режимом работы осуществляет управление светодиодной частью. Светодиоды, расположенные на плате светодиодной части, зажигаются в необходимые моменты времени, формируя изображения циферблата часов.

Далее рассмотрим каждый из блоков более подробно.

## **2.1. Разработка управляющей части**

Функциональное назначение управляющей части описано вначале этой главы при описании рис. 2.1. К управляющей части относятся все элементы, находящиеся на вращающейся части кроме светодиодной части R13-R19, HL1-HL7 (см. рис. 2.2.). А именно:

- микроконтроллер с обвязкой;
- инфракрасный фотодиод синхронизации;
- кнопки управления.
- вторичная сторона воздушного трансформатора;
- блок питания;

Центральным элементом является микроконтроллер DD2.

Сделав обзор, проанализировав отзывы инженеров, выбрали микроконтроллер PIC16F84A.

Электрические характеристики микроконтроллеров PIC16F84

Температурный диапазон эксплуатации  $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$

Температурный диапазон сохранения данных  $-65^{\circ}\text{C} \dots +150^{\circ}\text{C}$

Напряжение Vdd относительно Vss  $-0.3 \dots +7.5\text{В}$

Напряжение CMLR относительно Vss  $-0.3 \dots +14\text{В}$



Напряжение на всех выводах (кроме Vdd и CMLR) относительно Vss	-0.6В
Общее потребление электроэнергии	800мВт
Максимальный выходной ток на Vss	150мА
Максимальный входной ток с Vdd	100мА
Максимальный ток, входящий в PORTA	80мА
Максимальный ток питания от PORTA	50мА
Максимальный ток, входящий в PORTB	150мА
Максимальный ток питания от PORTB	100мА

Блок питания вращающейся части построен по стандартной схеме, состоит из диодного моста, интегрального стабилизатора напряжения DA2 на +5В типа L7805CV, конденсаторов C8 – C11. С воздушного трансформатора на диодный мост поступает переменное напряжение, где оно выпрямляется. Далее напряжение подается на стабилизатор, с выхода которого снимается стабильное напряжение +5В. Согласно широко распространенной практике построения таких сем выбрали конденсаторы C8 – C11 (эти и другие стандартно выбираемые элементы см. в перечне элементов).

Диодный мост VD3-6 построили на диффузных кремниевых диодах КД102А .

Для управления микроконтроллером (МК) и задания часов и минут присутствуют три тактовых кнопки (S2-S4) для выставления часов, десятков минут и минут, соединенные через подтягивающие резисторы R8 – R10 с МК ко входам 1, 17, 18. Величину резисторов R9-R12 выбрали согласно стандартным схемам включения микроконтроллера.

Элементы C12, C13, кварцевый резонатор ZQ1, задающие частоту работы МК, так же выбрали согласно рекомендациям производителя.

Для синхронизации вращения на плату монтируется фотодиод VD2, подключаемый последовательно с нагрузочным резистором R8. При

вращении платы вращающейся части в моменты нулевого положения  $t_0$  на закрепленной на фотодиод падает излучение от инфракрасного светодиода VD2, расположенного на неподвижной части часов. Эти моменты отслеживаются микроконтроллером по высокому потенциалу (рис. 2.3). Величину резистора R8 выбрали согласно стандартной схеме включения.

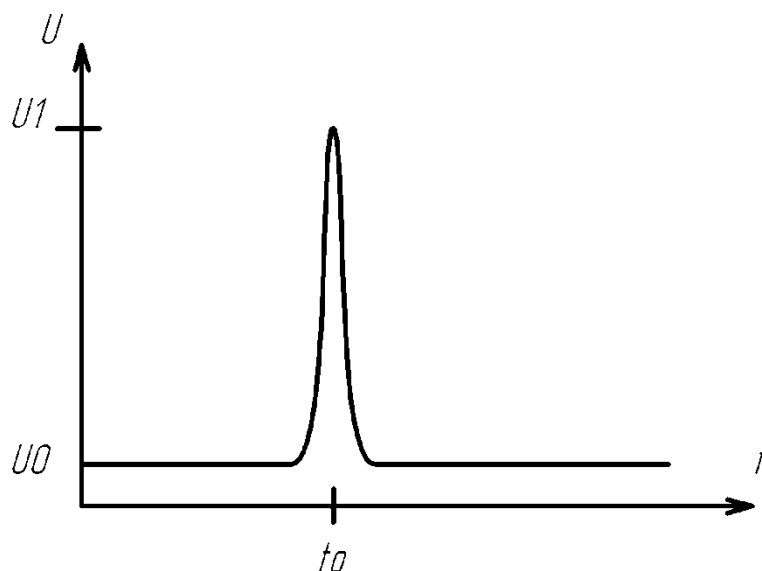


Рис. 2.3 - Сигнал с светодиода синхронизации.

Рассмотрим совместную работу управляющей и светодиодных частей на примере формирования числа «5». На рис. 2.4 изображено число «5», которое должно отобразиться (сверху обозначены моменты времени, слева – номера светодиодов, снизу – направление вращения). Вращение светодиодной части осуществляется по часовой стрелке, т.е. справа на лево с точки зрения наблюдателя. Например, по рис. 2.4 видно, что светодиод HL1 должен зажечься в момент времени  $t_1$  и потухнуть в момент  $t_4$ . Светодиод HL2 должен зажечься в момент  $t_2$  и потухнуть в момент  $t_4$ . Микроконтроллер отсчитывает задержку времени  $t_1-t_0$ , начиная с момента  $t_0$  прихода сигнала на инфракрасный фотодиод синхронизации (рис.2.5). В момент  $t_1$  микроконтроллер низкими уровнями на соответствующих выводах (порт В) формирует токи I1, I4, I5, I6 и I7 в соответствующих светодиодах. Далее согласно рис.2.5 в нужные моменты зажигаются нужные светодиоды,

чем формируется изображение числа «5». На следующем обороте вращающейся части процесс повторится и в результате инерции человеческого зрения у наблюдателя возникнет иллюзия парящих в воздухе светящихся цифр.

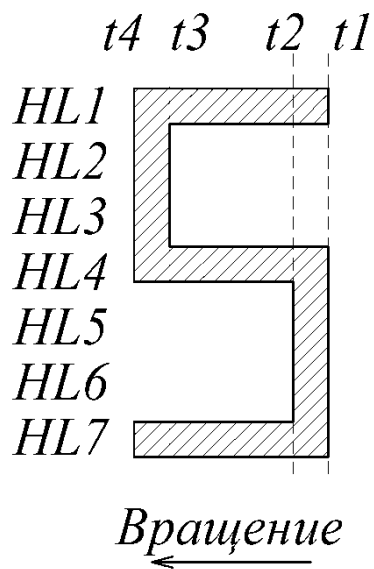


Рис.2.4 - Число «5».

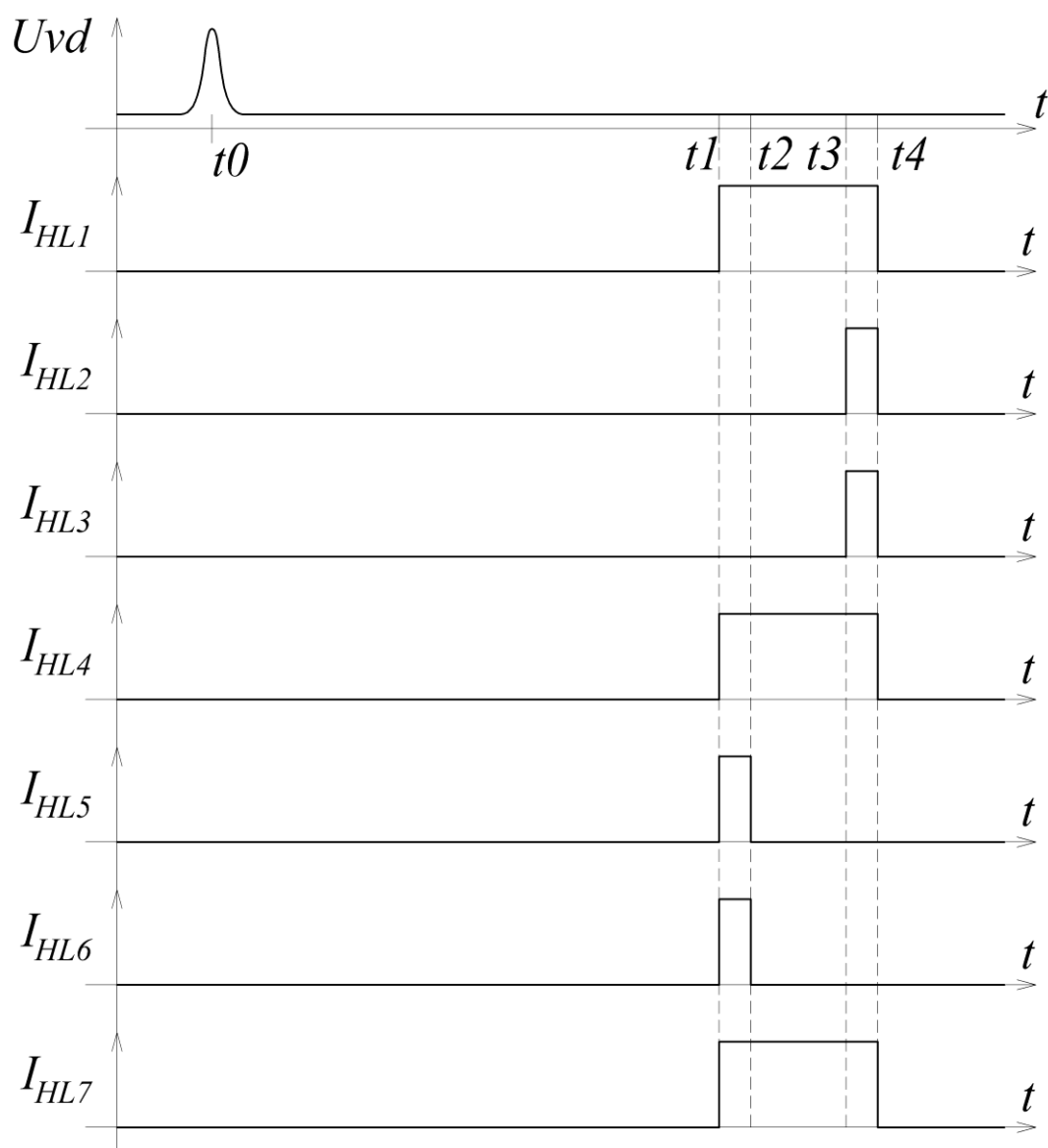


Рис. 2.5 - Диаграммы управления светодиодной частью.

## 2.2. Разработка светодиодной части

Светодиодная часть представляет из себя стеклотекстолитовую планку с светодиодами и токоограничительными резисторами, закрепленную перпендикулярно к управляющей части.

Для индикации и отображения времени на плате расположены семь светодиодов. Светодиоды HL1 – HL7 (рис.2.2) работают на втекающем в МК токе через токоограничительные резисторы R13 – R19. Например, для светодиода HL1 рабочий ток протекает по цепи: DA2 – HL1 – R11 – DD2(12).

Светодиоды подключили к порту В МК, допускающему втекающий ток в 150 мА, что вполне достаточно для яркого свечения без использования усилительных элементов.

Для отображения времени выбраны светодиоды 5мм с диффузной линзой. Из документации известны допустимые значения напряжения и тока на светодиоде что  $U=2.5\text{В}$  и  $I=30\text{ мА}$ .

Зададимся током светодиодов, достаточным для яркого свечения  $I=20\text{мА}$  и рассчитаем токоограничительные резисторы

$$R=(U_{\text{п}}-U_{\text{VD}})/I=(5-2.5)/0.02\approx 125\text{ Ом}, \quad (2.1)$$

где  $U_{\text{п}}=5\text{ В}$  – напряжение питания светодиодной части;

$U_{\text{VD}}=2.5\text{ В}$  – прямое падение напряжения на светодиоде;

Выбираем токоограничительные резисторы номиналом 120 Ом.

### **2.3. Разработка питающей части**

Функциональное назначение питающей (неподвижной) части приведено в начале главы 2 при описании блок-схемы часов (рис. 2.1). А именно: питающая часть должна запитывать а) воздушный трансформатор, б) инфракрасный светодиод и в) двигатель. Разработанная схема питающей (неподвижной) части изображена на рис.2.2.

Для собственного питания питающей части будем использовать сетевой адаптер, дающий напряжение +8 В. Для дальнейшей стабилизации напряжения используем интегральный стабилизатор DA1 и конденсаторы C1-C4 стандартных номиналов, включенные по стандартной схеме.

Выбрали и купили сетевой адаптер с регулируемым выходным напряжением с параметрами (тип и производитель на адаптере не указаны):

Вход: 200-240 В, 50-60 Гц, 130 мА.

Выход: 1-10 В, 750 мА.

Страна изготовитель: Китай.

Инфракрасный светодиод VD2 подключим к напряжению +5 В через токоограничительный резистор R7. Из параметров светодиода взяли  $U_{VD}=2.2\text{В}$ . Зададимся током светодиода  $I=10\text{ мА}$  и рассчитаем значение резистора по формуле (2.1)

$$R=(U_{П}-U_{VD})/I=(5-2.2)/0.01=280\text{ Ом},$$

Выбрали резистор  $R7=270\text{ Ом}$ .

Т.к. во вращающейся части предусмотрена синхронизация, то в высокой стабильности скорости вращения нет нужды. Поэтому двигатель, взятый от стандартного компьютерного вентилятора, подключим непосредственно к нестабилизированному напряжению +8В. Для возможности наладки вращающейся части подключим двигатель через тумблер S1. Это даст возможность работать с запитанной вращающейся частью в неподвижном состоянии.

Все остальные элементы питающей части необходимы для обеспечения питания первичной стороны воздушного трансформатора.

Самостоятельное изготовление вращающегося воздушного трансформатора с нуля – сложная задача. Поэтому изготовим трансформатор на основе электродвигателя вентилятора компьютера. При подаче напряжения на первичную катушку по ней течет ток и тем самым создает переменный магнитный поток, который практически без рассеивания пронизывает все витки вторичной обмотки. Известно из явления электромагнитной индукции, что в замкнутом контуре при изменении магнитного потока проходящего через него возникает электрический ток. За счет электромагнитной индукции во вторичной катушке возникает переменное напряжение.

На первичную (неподвижную) обмотку трансформатора необходимо подавать высокочастотное переменное напряжения. Для создания импульсов высокой частоты соберем генератор ВЧ на микросхеме K561ЛН2, состоящий из DD1, C2, C5, R2, R3, R6 (см. рис. 2.2). От генератора ВЧ подаются

импульсы на двухтактный каскад усиления тока, состоящий из транзисторов VT1 и VT2. В свою очередь он управляет полевым транзистором VT3. Когда VT3 находится в открытом состоянии, то к первичной обмотке трансформатора от источника +5 В прикладывается напряжение, трансформируясь во вторичную обмотку и питая вращающуюся часть.

Рассмотрим работу схемы более подробно. На рис. 2.6 изображены временные диаграммы работы схемы. Предположим, в нулевой момент времени на выводе DD1(2) находится высокий потенциал. Тогда на выводе DD1(12) находится низкий потенциал, а на выводе DD1(4) снова высокий. В результате этого конденсатор C2 заряжается по цепи: DD1(4) – R3 – R2 – C2 – DD1(12) и потенциал в точке DD1(1) увеличивается. Когда потенциал в DD1(1) увеличится до значения, воспринимаемого микросхемой DD1 как единица (примерно середина напряжения питания), на выводах DD1(2) и DD1(4) появятся низкие потенциалы, а на выводе DD1(12) – высокий. Потенциал в точке DD1(1), связанный через конденсатор с DD1(12) резко скакнет вверх и начнется разряд C1 по цепи: DD1(12) – C2-R2-R3-DD1(4). Потенциал в точке DD1(1) будет уменьшаться примерно до середины питания, далее DD1(2,12, и 4) вновь изменят свои состояния. Далее процессы будут повторяться. В результате этого на выводе DD1(10) будут формироваться прямоугольные импульсы. Частота этих импульсов зависит от скорости заряда C1, т.е. от постоянной времени цепочки  $\tau=C2 \times (R2+R3)$ . Элементы C5, R6, DD1.3, DD1.4 служат для формирования импульса заданной длительности в момент фронта импульса DD1(10). Когда потенциал на DD1(5) переходит из нуля в единицу при помощи дифференциальной цепочки C5, R6 на входе DD1(5) формируется короткий импульс, затухающей по экспоненте (см. рис. 2.6). При появлении этого импульса на выходе DD1(6) потенциал падает в ноль, а при переходе этого импульса через значение примерно середины питания потенциал DD1(6) плавно вырастает до единицы.

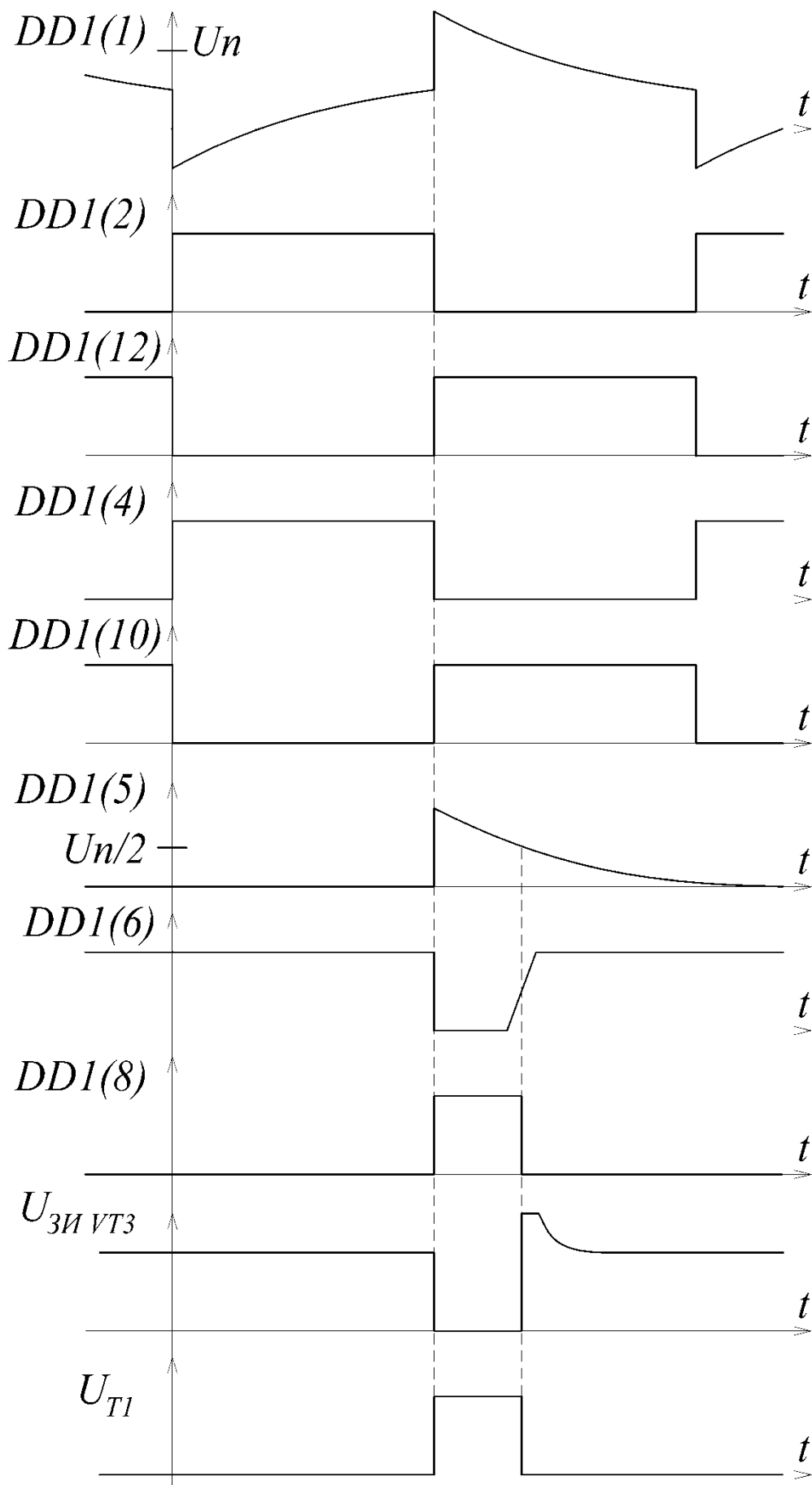


Рис. 2.6. – Временные диаграммы работы неподвижной части.



На выходе DD1(8) сигнал имеет уже четкую прямоугольную форму. Он усиливается по току транзисторами VT1,2 и служит для открытия транзистора VT1. При открытии транзистора VT3 его напряжение Сток-Исток падает в ноль и все напряжения питания прикладывается к первичной обмотке трансформатора T1.

При закрытии транзистора VT3 из-за наличия в трансформаторе индуктивностей рассеяния и паразитных индуктивностей к транзистору прикладывается выброс перенапряжения. Для предотвращения пробоя транзистора выбросом перенапряжения используем защитные конденсаторы малой емкости C6, C7 и защитный стабилитрон VD1.

Следует обратить внимание, что при открытии транзистора VT1 емкости C6, C7 разряжаются непосредственно на него, создавая всплеск тока. Экспериментальным путем установлено, что использование конденсаторов вышеуказанных номиналов (малой емкости) не приводит к выходу транзистора из строя.

Воздушный трансформатор работает следующим образом. При подаче напряжения на его первичную обмотку создается переменный магнитный поток, который практически без рассеивания пронизывает все витки вторичной обмотки. В замкнутом вторичном контуре при изменении магнитного потока проходящего через него, возникает напряжение. Для выпрямления полученного переменного напряжения используем диодный мост. Далее выпрямленное напряжение будет сглажено емкостными фильтрами и интегральным стабилизатором и использовано для питания вращающейся части.

Выберем значения времязадающих элементов C2, R3, R4 и C5, R6.

Зададимся необходимой частотой работы трансформатора  $f=10\text{кГц}$ . Тогда период составит  $1/f=1/10\text{кГц} = 100 \text{ мкс}$ , а пол периода соответственно 50 мкс. Зададимся величиной  $\tau=50 \text{ мкс}$ , величиной  $C2=1000 \text{ пФ}$  и найдем среднее значение суммы резисторов  $R2+R3$ :

$$R = \tau / C1 = 50 \text{ мкс} / 1 \text{ нФ} = 50 \text{ кОм}.$$

Резистор R3 выполняет токоограничительную функцию на случай, если сопротивление переменного резистора R2 станет равным нулю. Выбрали R3=1кОм. Эта величина много меньше R=50 кОм, поэтому пренебрежем ей при выборе резистора R2.

Для осуществления возможности регулировки частоты резистор R2 должен обеспечить изменение своего сопротивления в окрестностях значения R=50кОм. Выбрали резистор R2=100 кОм, позволяющий менять свое сопротивление от нуля до 100кОм.

Исходя из полной длительности периода 100 мкс зададимся меньшим временем открытого состояния транзистора VT3 в 10 мкс. Зададимся постоянной времени  $\tau = C5 \cdot R6$ , примерно равной полученной величине в 10мкс. С целью унификации выберем резистор R6 таким же, как и R2 (R6=R2=100кОм), тогда его среднее сопротивление составит R=50кОм. Рассчитаем величину

$$C5 = \tau / R = 10 \text{ мкс} / 50 \text{ кОм} = 200 \text{ пФ}.$$

Выбрали ближайшую емкость C5=180 пФ.

Для ограничения токов транзисторов VT1 и VT2 и ограничения скорости переключения транзистора VT3 поставили токоограничительный резистора R4=51 Ом, выбранный согласно рекомендациям по использованию транзистора VT3.

Для предотвращения открывания транзистора VT3 токами утечки подсоединим его базу на землю через резистор R5. Согласно рекомендациям по использованию транзистора VT3 и из соотношения  $R5 \gg R4$  выбрали R5=22 кОм.

## **3. Разработка конструкции**

### **3.1. Анализ вариантов**

В ходе анализа состояния вопроса было решено разрабатывать вращающиеся светодиодные часы с прямоугольным рычагом (получаемый дисплей в форме цилиндра), передачей энергии на вращающуюся часть через воздушный трансформатор и синхронизацией при помощи инфракрасного светодиода.

В результате поиска и анализа информации, имеющейся в сети интернет, было найдено описание самодельных часов, удовлетворяющих нашим требованиям. Эти светодиодные часы были приняты за прототип. Использованные в них конструктивные решения приняты за отправную точку и описаны в п. 3.3 и 3.4. данной пояснительной записки.

### **3.2. Разработка печатной платы**

Разработку печатной платы осуществляли с использованием специализированного программного пакета Layout. А именно, его модуля S-Print. При этом вся схема была разбита на 2 печатных платы:

1. Неподвижная часть (рис. 3.1.).
2. Вращающаяся часть (рис 3.2.). Печатная плата вращающейся части включает в себя печатную плату управляющей части (верхняя большая часть рисунка) и светодиодную плату (нижняя меньшая часть рисунка). Такое решение принято для простоты изготовления плат. После операции травления печатная плата управления будет выпилена по обозначенному контуру (в форме перевернутой колбы), а светодиодная часть по контуру в форме прямоугольника. В дальнейшем управляющая часть будет закреплена

на роторе двигателя, а светодиодная прикреплена перпендикулярно к нижнему торцу управляющей части.

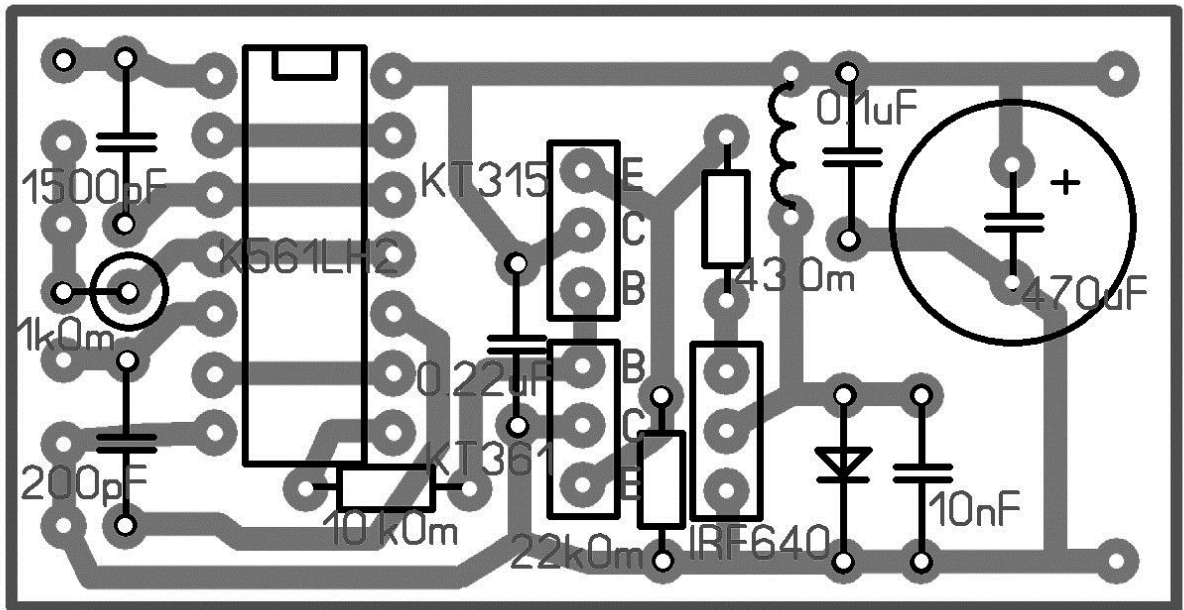


Рис. 3.1а. - Печатная плата неподвижной (питающей) части с изображенными элементами.

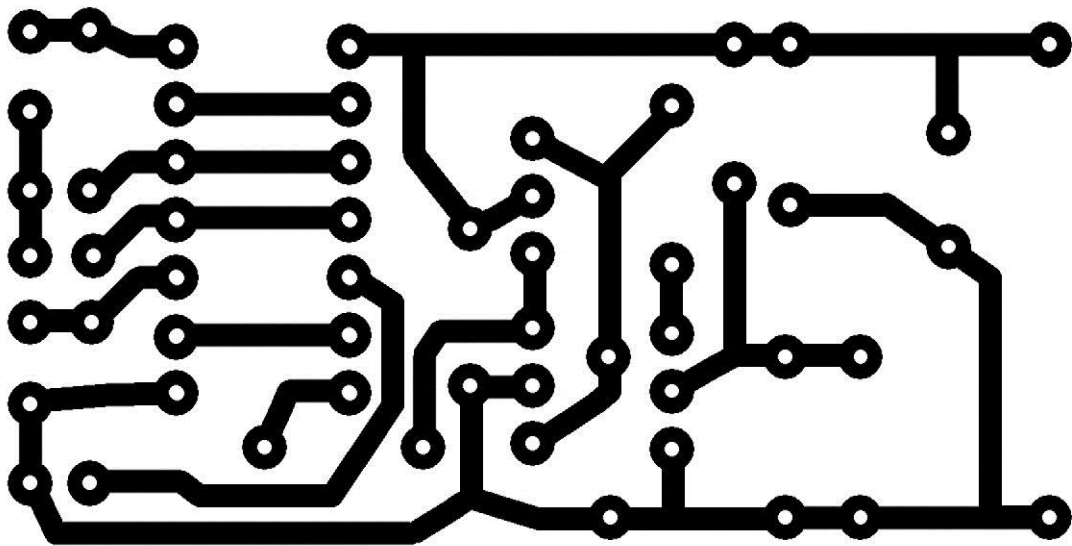


Рис. 3.1б. - Печатная плата неподвижной (питающей) части (маска для травления).

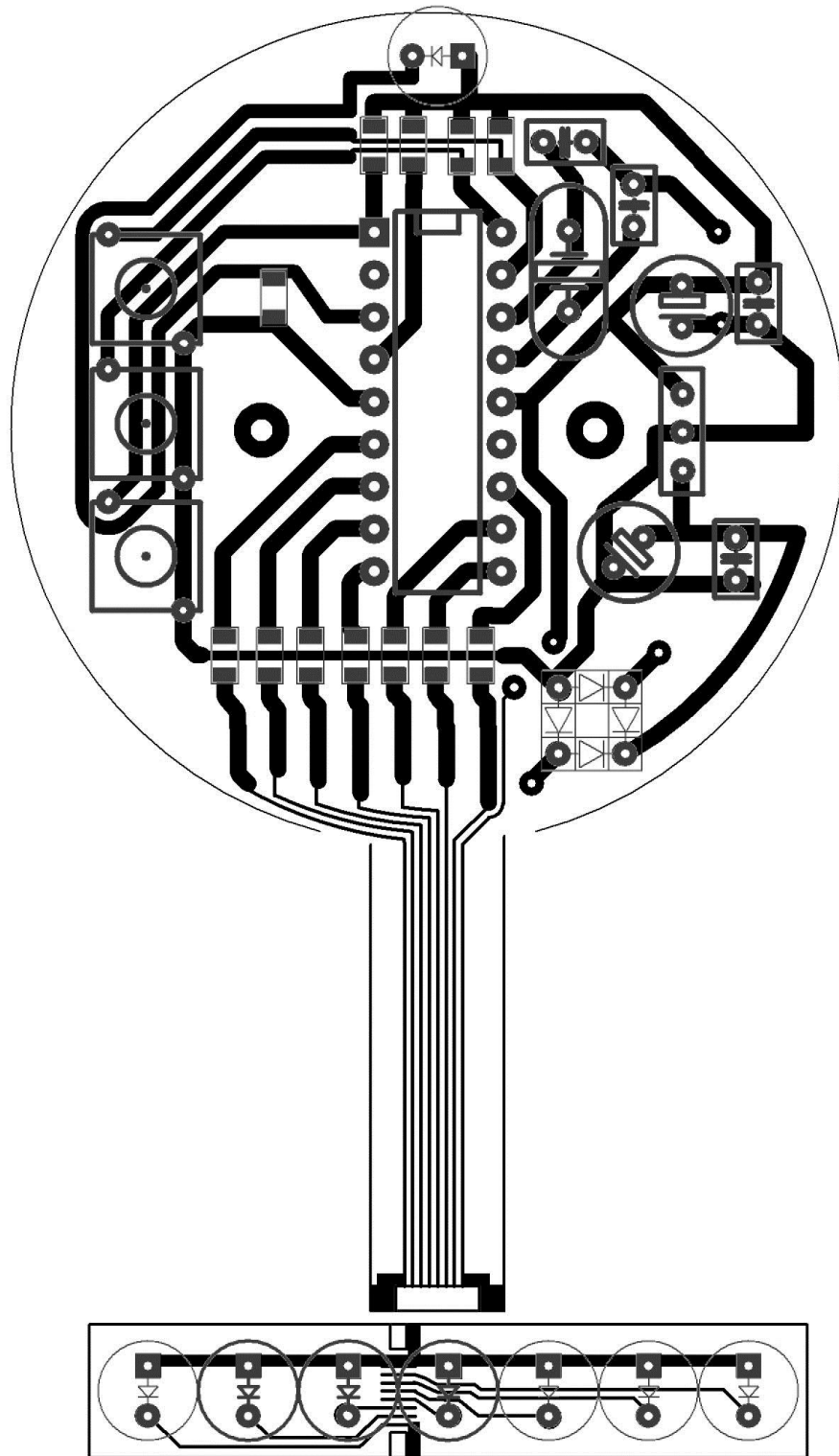


Рис. 3.2а – Печатная плата вращающейся части с изображенными элементами.

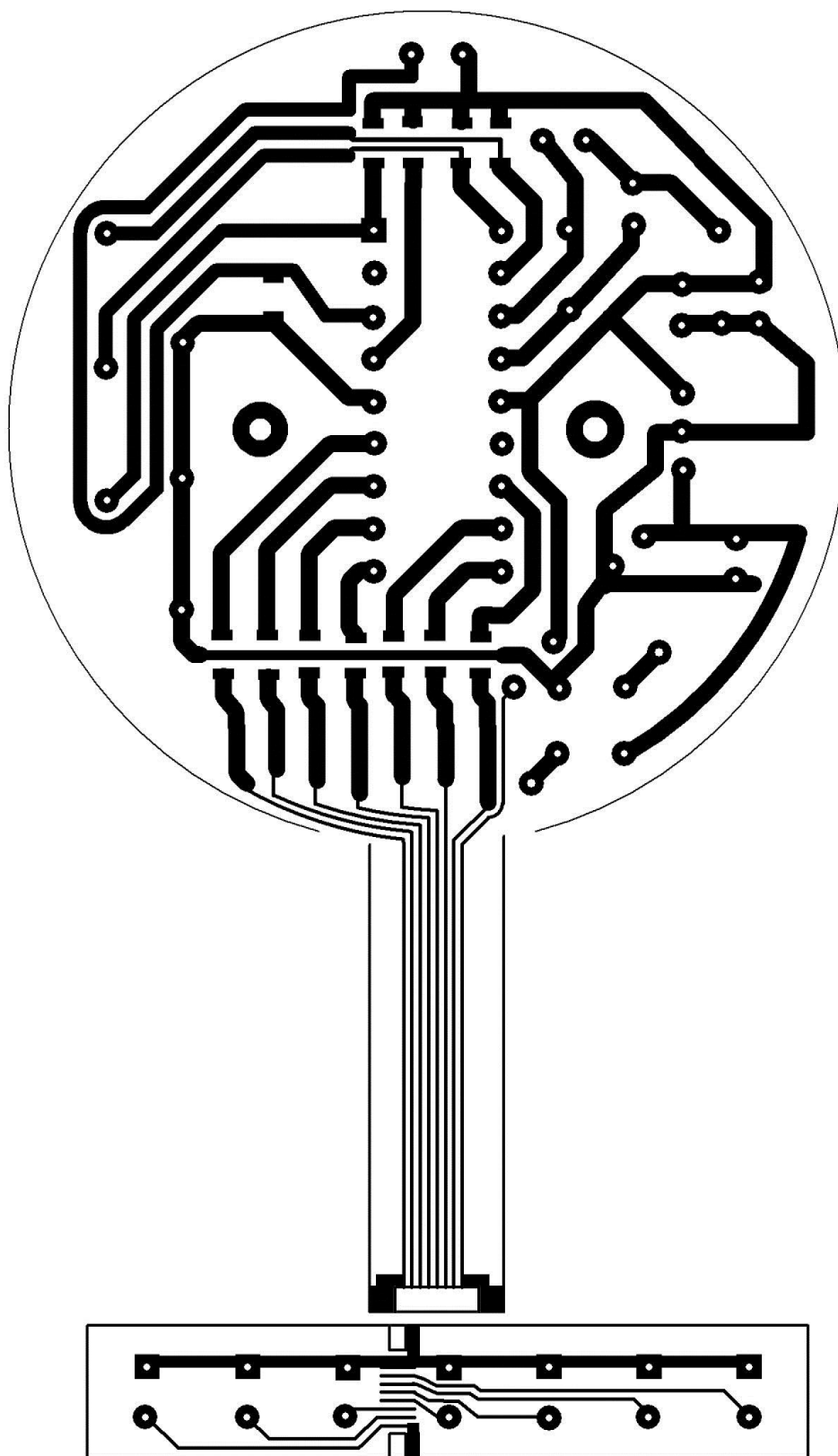


Рис. 3.26 – Печатная плата вращающейся части (маска для травления).

### 3.3. Разработка электромеханической части

Электромеханическая часть включает в себя весь конструктив разрабатываемых светодиодных вращающихся часов.

Напомним, что часы будут включать в себя:

- Корпус неподвижной части;
- Печатную плату неподвижной части;
- Двигатель
- Воздушный трансформатор
- Подвижную часть, подсоединенную к ротору двигателя и состоящую из платы управления и подсоединенной к ней светодиодной платы.

Рассмотрим конструктивные решения каждого из блоков, наиболее подходящие для наших целей из найденных в интернете.

Двигатель проще всего сделать на основе компьютерного вентилятора, отломав от него лопасти (рис. 3.3).



а) компьютерный вентилятор



б) используемые детали,  
извлеченные из вентилятора

Рис. 3.3. – Использование компьютерного вентилятора для изготовления воздушного трансформатора.

В качестве корпуса неподвижной части возможно использование коробки из под компьютерных CD-дисков (рис 3.4а). Статор двигателя

(вентилятора) можно закрепить в центре основания коробки (левая часть рис. 3.4.б). На верхнюю часть крышки можно намотать обмотку, которая послужит первичной обмоткой воздушного трансформатора. (правая часть рис. 3.4б).



а) коробка от CD-дисков



б) коробка от CD-дисков с приклеенными элементами

Рис. 3.4. – Использование коробки от CD-дисков в качестве корпуса неподвижной части.

Вторичная обмотка воздушного трансформатора может быть намотана на месте отломанных лопастей вентилятора (рис. 3.5).



Рис. 3.5 – Вторичная обмотка воздушного трансформатора, намотанная на месте отломанных лопастей вентилятора.



Таким образом, когда верхняя часть вентилятора (с отломанными лопастями) окажется одета на нижнюю (закрепленную в центре коробки от CD-дисков), то вторичная обмотка воздушного трансформатора окажется внутри первичной обмотки, расположенной на крышке коробки.

На верхнюю крышку вентилятора могут быть приклеены гайки, в которые будут вкручены болтики, удерживающие плату подвижной части.

### 3.4. Разработка светодиодной части

Светодиодная часть, изготовленная на основе платы (рис. 3.2) может быть прикреплена перпендикулярно к управляющей части, как показано на рис. 3.6.



Рис. 3.6 – Крепление светодиодной части перпендикулярно к торцу управляющей части и результирующая конструкция.

Таким образом, на рис. 3.6. изображена результирующая конструкция, взятая за основу при разработке микроконтроллерных вращающихся часов.

### 3.5. Анализ стоимости изготовления макета часов

Проанализируем денежные затраты на изготовление макета часов (таблицы 3.1. и 3.2.).

Таблица 3.1 - Затраты на основные материалы

Наименование материала	Марка	ГОСТ, ТУ	Ед. изм.	Норма расхода шт.	Цена за единицу (руб.)	Затраты (руб.)
Стекло-текстолит	СФ-1.5-1		м <sup>2</sup>	0.02	1750	35
Припой	ПОС-60		кг	0.05	1400	70
Флюс	ФКЭт		мл	30	3	90
Вентилятор	Zalman ZM-F1-Plus		шт.	1	180	180
Провод	Провод лакированный, d=0.5мм		м	20	10	200
провод	Провод лакированный, d=0.4мм		м	30	7	210
Итого						<b>778</b>

Таблица 3.2 - Стоимость покупных комплектующих изделий

Наименование изделия	Марка, размер	Количество, шт.	Цена за единицу (руб.)	Затраты (руб.)
Резисторы	C2-29	19	7	133
Конденсаторы	K50-35	1	20	20
Конденсатор	K10-17Б	12	7	84
Микросхема	K156ЛН2	1	17	17
Микро-контроллер	PIС16F84А	1	250	250
Транзистор	КТ315Г	1	15	15
Транзистор	КТ361Г	1	15	15
Транзистор	IRF540N	1	25	25
Диод защитный	P6KE18A	1	37	37
Диод ИК	АЛ106А	1	21	21
Фотодиод	ФД265	1	25	25
Диод	КД102А	4	8,1	32,4
Светодиод	KingBright L-7113PWC	7	15	105
Стабилизатор напряжения	L7805CV	2	20	40
Кварцевый резонатор	НС-49U 4мГц	1	28	28
Итого				<b>847,4</b>

Таким образом, затраты на материалы и комплектующие составят

$$778+847 = 1625 \text{ руб.}$$

## 4. Программная часть

### 4.1. Формулирование требований к программной части и алгоритм ее работы

Были выделены общие требования для программного обеспечения МК:

- единичность
- завершенность
- последовательность
- выполнимость
- проверяемость

Алгоритм — набор инструкций, описывающих порядок действий исполнителя для достижения результата решения задачи за конечное время.

Итак, сформулируем требования к программе:

- Программа должна позволять с помощью кнопок выставлять текущее время и вести в дальнейшем самостоятельный отсчет времени (пока включено питание).

- В случае наличия вращения (отслеживается по наличию синхроимпульсов на фотодиоде) осуществлять формирование изображение текущего времени.

В соответствии с приведенными требованиями был разработан алгоритм работы программы

1. Задание начальных значений, запуск таймеров и настройка прерываний, отвечающих за отсчет текущего времени
2. Обработка состояния кнопок, корректировка текущего времени в случае нажатия кнопок.

3. Проверка наличия тактового импульса. Запуск подпрограммы формирования одного кадра изображения текущего времени в случае наличия тактового импульса
4. Переход к шагу 2

#### **4.2. Разработка программной части**

Первым шагом при разработке программы традиционно является разработка блок-схемы алгоритма (БСА) ее работы.

Блок-схема — распространенный тип схем (графических моделей), описывающих алгоритмы или процессы, в которых отдельные шаги изображаются в виде блоков различной формы, соединенных между собой линиями, указывающими направление последовательности.

Графическое изображение алгоритма решения задачи в виде блок-схемы - важный этап подготовки задачи к решению на ЭВМ. Блок-схема алгоритма помогает пользователю адекватно представить работу программы. Анализируя блок-схему, можно выяснить, как различные входные данные влияют на окончательный результат.

Итак, БСА - одна из важных частей документации, подготавливаемой для решения задачи на ЭВМ.

В соответствии с вышесказанным и опираясь на требования и алгоритм работы программы, сформулированные в п.4.1 составили БСА (рис.4.1).

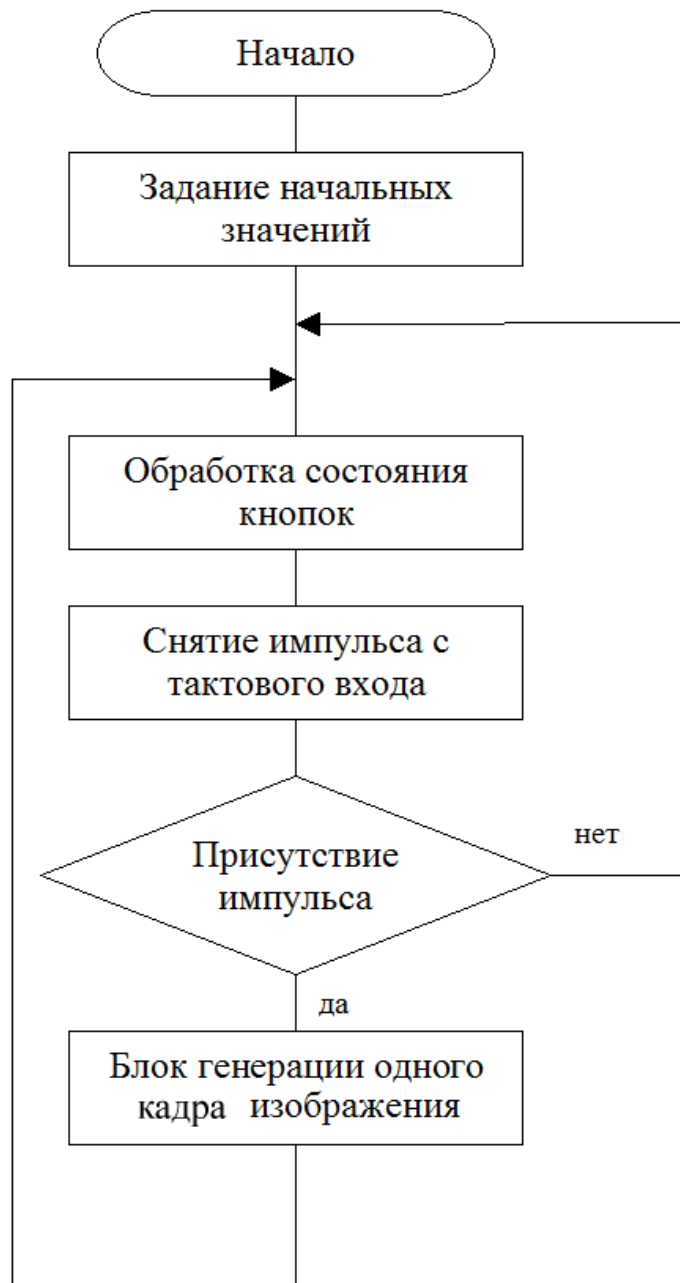


Рис. 4.1. Блок-схема алгоритма программы микроконтроллера.

Далее, в соответствии с вышеприведенной БСА, необходимо написать программу управления и прошить ее в микроконтроллер часов.

## Заключение

В данной ВКР разработаны микроконтроллерные вращающиеся часы. Часы представляют собой планку со светодиодами и микроконтроллерной системой управления, быстро вращающуюся на неподвижном основании. Благодаря инерции человеческого зрения и горения светодиодов в строго определенные моменты времени, возникает иллюзия висящего в воздухе неподвижного светящегося циферблата. Управление светодиодами осуществляется микроконтроллером, что делает разработанное устройство универсальным объемным цилиндрическим дисплеем и позволяет простым изменением программы изменить функциональное назначение устройства (настроив его на отображение иной информации).

Часы состоят из двух частей: неподвижной и вращающейся. На вращающейся части расположены микроконтроллер и управляемая им светодиодная линейка.

Передача энергии на вращающуюся часть осуществляется через воздушный вращающийся трансформатор (без использования скользящих контактов и щеток), что является красивым решением и повышает долговечность устройства.

Итак, в ходе выполнения ВКР были произведены:

- анализ исходных данных и известных решений
- разработка электрической схемы.
- разработка печатных плат частей схемы

Разработанные часы помимо прямого функционального назначения (отображения времени), так же несут эстетическую нагрузку и демонстрируют возможности электронной техники.

## Список используемой литературы

1. Резисторы: Справочник / В.В. Дубровский, Д.М. Иванов, Н.Я. Пратусевич и др. Под ред. И.И. Четверткова и В.М. Терехова. -2-е изд., перераб. И доп. – М.: Радио и связь, 1991.-528 с.:ил.
2. Ильин В. А. Технология изготовления печатных плат. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1984. -77 с., ил.
3. Жигалов А.Т., Котов Е.П., Шихаев К.Н., ХохловБ.А. Конструирование и технология изготовления печатныхплат. Учебн. пособие для радиотехнических специальностей вузов. М., «Высшая школа», 1973. - 216 с, ил.
4. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.platan.ru](http://www.platan.ru) (дата обращения: 17.05.2020)
5. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высш. Школа, 1982. 496 с.
6. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: учеб.пособ./ Зиновьев, Г.С. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 664с.
7. Масленников М.Ю. и др. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база. М. «Энергоатомиздат» 1993. - 224с.
8. Микросхемы и их применение: Справочное пособие / В.А. Батушев, В.И. Вениаминов и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984 – 272с.,ил.
9. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: Справочник – 2-е изд. стереотип. - /А.Б. Гитцевич, А.А.Зайцев, В.В. Мкряков и др. Под ред. А.В. Гомедова.- М.: КубК-а, 1996-528с., ил.



10. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база/ Масленников М.Ю., Соболев Е.А., Соколов Г.В. и др.; Под ред. Масленникова М.Ю. М.: Радио и связь,1996.

11. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир,1982. – 512 с.,ил.

12. Шило В.Л. Популярные микросхемы КМОП. Справочник. – М.: Изд-во «Ягуар», 1993. – 64 с.

13. Фрунзе А.В. Микроконтроллеры это же просто. –М.:Скимен,2002.-336с.ил

14.Конденсаторы: Справочник / Четверков И.И., Дьяконов М.Н, Присняков В.И. и др.: Под ред. Четверкова И.И., Дьяконова М.Н.-М.: Радио и связь. -1993. -392с.: ил.

15.Полупроводниковые приборы: Справочник / Гитцевич А.Б.-М.: Радио и связь, 1988.-528с.:ил.

16. Масленников М.Ю. Справочник разработчика и конструктора РЭА. –М.: Радио и связь, 1988.-300с.: ил.

17.Сидоров И.Н. и др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник / И.Н. Сидоров, В.В. Мукосеев.-М.: Радио и связь, 1985. – 416с., ил.

18. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. Пособие для приборостроит. Спец. Вузов. –М.: Высш. шк.1991.- 622 с.

19.CHIPINFO – информация по микросхемам и их применение. <http://www.Chipdocs.com>.

20.Электроника и наноэлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.

21.Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.11.2019 решение №254 : [Электронный ресурс]. URL:

[https://yadi.sk/d/Fs-9ts\\_VInrE3Q/BKP\\_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о ВКР (Дата обращения: 18.02.2020)

22.Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts\\_VInrE3Q/BKP\\_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Оформление ВКР (Дата обращения: 18.02.2020)

23.Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts\\_VInrE3Q/BKP\\_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о Антиплагиате (Дата обращения: 18.02.2020)

24.ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления [Текст]. - Введ. 2002-07-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 2001.- 23с.

25.ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения схем.- Введ. 2012-01-01. - М.: Стандартинформ: Изд-во стандартов, 2011.- 22с.: ил.

26.Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 17.02.2020)

27.S. A. Prasad, B. S. Kariyappa, R. Nagary, S. K. Thakur, Microcontroller Based AC Power Controller, Wireless Sensor Network, Vol. 1, Issue 2, Jul 2009, pp. 76-81.

28.AT89S8252 Primer [Электронный ресурс]. URL: <http://www.shrubbery.net/~heas/willem/PDF/ATMEL%20Flash%20Microcontroller/8051-Architecture/Application%20Notes/AT89S8252%20Primer.pdf> (дата обращения: 27.05.2020)

29.AT89S8252 Datasheet (PDF) - ATMEL Corporation [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/175000/ATMEL/AT89S8252.html> (дата обращения: 27.05.2020)

30. Diodes Incorporated [Электронный ресурс]. URL:  
<https://www.diodes.com> (дата обращения: 27.05.2020)

31. Electrical resistance and conductance [Электронный ресурс]. URL:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_resistance\\_and\\_conductance](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance) (дата  
обращения: 17.05.2020)

32. Resistor [Электронный ресурс]. URL:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Resistor> (дата обращения: 17.05.2020)

## Приложение А. Перечень элементов

Перв. примен.										
	Справ. №	Обознач.	Наименование	Кол.	Примечание					
			<i>Резисторы</i>							
		R1	C2-29 - 10 кОм - 0,125 - 1%	1						
		R2,R6	СПЗ-38а - 100 кОм - 0,125	2						
		R3	C2-29 - 1 кОм - 0,125 - 1%	1						
		R4	C2-29 - 43 Ом - 0,125 - 1%	1						
		R5	C2-29 - 22 кОм - 0,125 - 1%	1						
		R7	C2-29 - 200 Ом - 0,125 - 1%	1						
		R8	C2-29 - 47 кОм - 0,125 - 1%	1						
	R9-R12	C2-29 - 10 кОм - 0,125 - 1%	4							
	R13-R19	C2-29 - 120 Ом - 0,125 - 1%	7							
		<i>Конденсаторы</i>								
Подп. и дата		C1	K50-35 - 4,7мкФ - 16В - 105°C		Jamicon ECAP					
		C2	K10-17Б - 1нФ - 50В - ± 5%							
		C3	K10-17Б - 0,1пФ - 50В - ± 5%							
		C4	K10-17Б - 22нФ - 50В - ± 5%							
		C5	K10-17Б - 180пФ - 50В - ± 5%							
		C6	K10-17Б - 10нФ - 50В - ± 5%							
		C7	K10-17Б - 1нФ - 50В - ± 5%							
		C8,C10,C11	K10-17Б - 0,1мкФ - 50В - ± 5%							
		C9	K10-17Б - 100мкФ - 50В - ± 5%							
		C12,C13	K10-17Б - 33пФ - 50В - ± 5%							
	Взам. инв. №									
Инв. № подл.										
20-110304.113/09.295.03 ПЗ										
	Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата					
	Разраб.	Ердеков М.Ю.				Лит.	Лист	Листов		
	Проб.	Позднов М.В.					1	2		
	Н.контр.	Позднов М.В.				Микроконтроллерные вращающиеся часы Перечень элементов ТГУ, ЭЛБ-1601а				
	Утв.	Шевцов А.А.								
Копировал					Формат А4					

Продолжение Приложения А

		Обознач.	Наименование	Кол.	Примечание
		DD1	Микросхема К561ЛН2	1	
		DD2	Микроконтроллер PIC16F84A	1	
		<i>Транзисторы</i>			
		VT1	КТ315Г	1	
		VT2	КТ361Г	1	
		VT3	IRF540N	1	
		<i>Диоды</i>			
		VD1	Р6КЕ18А	1	
		VD2	АЛ106А	1	
		VD3	ФД265	1	
		VD4-VD7	КД102А	4	
		HL1-HL7	L-7113PWC-A	7	
Инв. № подл.	Подп. и дата	DA1,DA2	Стабилизатор напряжения L7805CV	2	
		ZQ1	Кварцевый резонатор НС-49U 4МГц	1	
Взам. инв. №	Инв. № подл.	M1	Вентилятор Zalman ZM-F1-PLUS	1	
Лист					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Копировал				Формат А4	