

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. Х.М. БЕРБЕКОВА (КБГУ)»**

**Институт информатики, электроники и робототехники**

**Кафедра «Мехатроника и робототехника»**

**СОГЛАСОВАНО**

Руководитель ОПОП \_\_\_\_\_ Х.М. Сенов

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор института \_\_\_\_\_ Н.В. Черкесова

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

***«Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике»***

Направление подготовки  
15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль подготовки  
Промышленные роботы и робототехнические системы

Квалификация (степень) выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
Очная

Нальчик 2021

Рабочая программа предназначена для преподавания дисциплины вариативной части блока 1 студентам направления 15.03.06 Мехатроника и робототехника очной формы обучения в 6 семестре на 3 курсе.

Рабочая программа составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «12» марта 2015 г. № 206

## Содержание

		с.
1	Цели и задачи освоения дисциплины.....	
2	Место дисциплины в структуре ОПОП ВО.....	
3	Требования к результатам освоения содержания дисциплины.....	
4	Содержание и структура дисциплины (модуля).....	
5	Оценочные материалы для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.....	
6	Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности .....	
7	Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля) .....	
8	Материально-техническое обеспечение дисциплины .....	
9	Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья	

## **1 Цели и задачи освоения дисциплины**

Цель учебной дисциплины «Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике» - подготовка студентов к решению задач проектирования устройств управления мехатронными системами и комплексами, методов их синтеза и расчета; формирование навыков разработки прикладного программного обеспечения микроконтроллеров; формирование знаний и умений разработки и изготовления стендов для комплексной отладки и испытаний программно-аппаратных управляющих комплексов.

Курс «Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике» ставит перед собой следующие задачи:

- изучение устройства и принципов работы однокристальных микроконтроллеров;
- изучение принципов разработки и отладки программ на языках ассемблер и Си для однокристальных микроконтроллеров;
- обучение методам и принципам настройки управляющих средств и комплексов, включая их регламентное эксплуатационное обслуживание;
- обучение принципам и технологии использования микропроцессоров в системах управления техническими объектами и технологическими процессами;
- изучение принципов и методов проектирования систем управления на базе микроконтроллеров.

## **2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина «Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике» относится к вариативной части блока 1 учебного плана по направлению подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника.

Дисциплина преподается посредством чтения лекций и проведения практических и лабораторных занятий.

Дисциплина изучает структуру, принципы действия основных типов микропроцессорных систем управления мехатронными устройствами, алгоритмы их функционирования, методы расчета и проектирования, программное обеспечение микропроцессорных систем управления, отладку программ и устройств в целом. Дисциплина является базой для изучения последующих дисциплин профессионального цикла.

Изучение дисциплины базируется на фундаментальных знаниях в области математики, информатики, физики, электротехники и электроники, теории автоматического управления и дискретной математики.

Полученные при изучении данной дисциплины знания используются при изучении дисциплины «Проектирование роботов и РТС», а также в дипломном проектировании.

## **3 Требования к результатам освоения содержания дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки:

- способностью производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием (ПК-11);
- готовностью производить установку и настройку системного, прикладного и инструментального программного обеспечения мехатронных и робототехнических систем и их подсистем (ПК-31).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:**

- принципы построения микропроцессорных устройств и систем на их базе, особенности программируемых микроконтроллеров (31);
- средства разработки программного обеспечения микроконтроллеров, основные задачи, решаемые микропроцессорными средствами автоматики (32);
- архитектуру, принцип работы однокристальных микроконтроллеров (МК) (33);
- использование языков ассемблер и Си для программирования однокристальных микроконтроллеров (34);
- назначение и состав периферийных устройств микроконтроллера (35);
- стандартные интерфейсы, используемые в микропроцессорных техниках (36);
- средства, порядок отладки и испытаний микропроцессорных систем управления (37).

#### **Уметь:**

- проектировать микропроцессорные системы на основе микропроцессорных комплектов и микроконтроллеров (У1);
- использовать стандартные терминологию, определения и обозначения (У2);
- разрабатывать алгоритмы работы однокристальных МК (У3);
- программировать на языке Ассемблер и Си для МК (У4);
- производить отладку программ для МК с использованием стандартных программных средств – симуляторов (У5);
- проектировать устройство сопряжения с объектом управления для выбранного микропроцессорного комплекта (У6);
- разрабатывать программы, реализующие требуемые алгоритмы управления (У7);
- вести отладку и испытания разработанных микропроцессорных систем (У8).

#### **Владеть:**

- методами применения микропроцессорных устройств автоматики в локальных и распределенных системах управления (В1);
- основами программирования микропроцессорных средств на основе однокристальных микроконтроллеров (В2).

## **4 Содержание и структура дисциплины (модуля)**

### **4.1 Содержание дисциплины**

№ разд.	Наименование раздела	Содержание раздела	Формируемая компетенция (часть компетенции)	Форма текущего контроля
1	2	3		4
1.	Основы архитектуры микропроцессорных устройств.	Основные понятия и определения. Архитектура центрального процессора. Современные тенденции развития микропроцессорной техники, место микроконтроллеров в подсистемах мехатронных и робототехнических систем. Организация памяти микроконтроллеров. Особенности архитектуры микроконтроллеров семейства AVR.	ПК-11	Тестирование Вопросы на экзамене Практические занятия
2.	Функциональная организация микропроцессорной системы.	Функциональная схема микроконтроллера. Организация памяти программ. Организация памяти данных. Обзор системы команд. Синхронизация процессора и машинные циклы.	ПК-11	Тестирование Вопросы на экзамене Практические занятия
3.	Особенности программирования	Аппаратные средства программирования микроконтроллеров семейства AVR.	ПК-31	Тестирование Лабораторные работы Практические занятия

	микроконтроллеров инструментальными средствами разработки и отладки.	Система внутрисхемного программирования, параллельный интерфейс программирования. Установка и настройка, прикладного программного обеспечения. Биты настройки микроконтроллеров.		Курсовая работа
4.	Порты ввода/вывода микроконтроллеров.	Организация портов ввода/вывода микроконтроллеров. Описание регистров настройки и управления режимом работы портов.	ПК-11	Тестирование Вопросы на экзамене Курсовая работа Практические занятия Лабораторные работы
5.	Последовательные интерфейсы микроконтроллеров.	Описание последовательных интерфейсов, USART, I2S, SPI. Назначение интерфейсов, организация, описание регистров настройки интерфейсов и обмена данными с внешними устройствами.	ПК-11	Тестирование Вопросы на экзамене Курсовая работа Практические занятия Лабораторные работы
6.	Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) микроконтроллеров.	Принцип действия АЦП, особенности реализации АЦП микроконтроллеров, регистры настройки АЦП.	ПК-31	Тестирование Вопросы на экзамене Практические занятия Лабораторные работы
7.	Принципы построения распределенных систем управления на базе микроконтроллеров.	Общие принципы построения распределенных систем управления. Организация взаимодействия системы из нескольких микроконтроллеров. Подключение микроконтроллеров к ПК.	ПК-31	Практические занятия Лабораторные работы
8.	Правила написания программ на языке ассемблера и Си.	Система команд микроконтроллера. Правила написания программ на языке ассемблера и Си. Установка и настройка прикладного программного обеспечения.	ПК-31	Тестирование Вопросы на экзамене Практические занятия Лабораторные работы

## 4.2 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы (144 часа)

Вид работы	6 семестр	Всего
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
<b>Аудиторная работа:</b>	<b>102</b>	<b>102</b>
<i>Лекции (Л)</i>	34	34
<i>Лабораторные занятия (ЛР)</i>	34	34
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	34	34
<b>Самостоятельная работа, в том числе контактная:</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
Самостоятельное изучение разделов	5	5
Курсовая работа (КР)	5	5
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.),	5	5
<b>Контроль (подготовка и сдача экзамена)</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>Вид итогового контроля (зачет, экзамен)</b>	Экзамен, Кур. раб	Экзамен, Кур. раб.

№ раз-дела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Контактная работа			Вне-ауд. Работа СР
			Л	ЛР	ПЗ	
1.	Основы архитектуры микропроцессорных устройств.	6	4			2
2.	Функциональная организация микропроцессорной системы.	7	4		2	1
3.	Особенности программирования микроконтроллеров инструментальными средствами разработки и отладки.	14	4	4	4	2
4.	Порты ввода/вывода микроконтроллеров.	12	2	4	4	2
5.	Последовательные интерфейсы микроконтроллеров.	18	4	6	6	2
6.	Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) микроконтроллеров.	12	2	4	4	2
7.	Принципы построения распределенных систем управления на базе микроконтроллеров.	14	4	4	4	2
8.	Правила написания программ на языке ассемблера и Си.	34	10	12	10	2
Итого:		117	34	34	34	15

#### 4.3 Лабораторные работы

№	Темы занятий	Кол. Часов
1.	Знакомство с элементами модуля «Микропроцессорные системы управления электроприводов», изучение программного обеспечения, создание и отладка программ для микроконтроллеров AVR.	2
2.	Порты ввода/вывода микроконтроллера AVR, реализация программной задержки.	2
3.	Изучение таймеров микроконтроллера и их применение в динамической индикации, в режиме подсчета временных интервалов, в широтно-импульсной модуляции.	4
4.	Использование матричной клавиатуры.	2
5.	Изучение принципа работы жидкокристаллического индикатора и способов его программирования.	4
6.	Внешние прерывания микроконтроллера.	4
7.	Изучение аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера.	2
8.	Изучение принципов построения цифровой системы микроконтроллерного управления шаговым электродвигателем.	2
9.	Изучение UART интерфейса микроконтроллера, и подключения различных информационных устройств.	4
10.	Изучение принципов работы и построение разомкнутой цифровой системы управления широтно-импульсным преобразователем, работающим на двигатель постоянного тока.	4

11.	Построение замкнутой по скорости цифровой системы управления широтно-импульсным преобразователем, работающим на двигатель постоянного тока.	4
ИТОГО		34

#### 4.4 Практические занятия

№	Тема	Кол. Часов.
1	Изучение программного обеспечения, создание и отладка программ для микроконтроллеров AVR. Основы архитектуры микропроцессорных устройств.	6
2	Организация портов ввода/вывода	6
3	Последовательные интерфейсы микроконтроллеров.	6
4	Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) микроконтроллеров.	6
5	Принципы построения распределенных систем управления на базе микроконтроллеров.	2
6	Правила написания программ на языке ассемблера и Си.	8
ИТОГО		34

#### 4.5 Курсовая работа

Целью выполнения курсовой работы по теме «Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике» является практическое применение полученных теоретических знаний к самостоятельному проектированию микропроцессорной системы управления мехатронным модулем.

При выполнении курсовой работы студент проектирует заданную систему управления на базе микроконтроллера семейства AVR.

Объем курсовой работы: расчетно-пояснительная записка – 30-35 страниц машинописного текста. Графическая часть проекта должна содержать принципиальную электрическую схему системы, алгоритм и описание управляющей программы микроконтроллера.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать:

- а) Краткое описание микроконтроллера;
- б) рисунки с принципиальной электрической схемой разработанной системы управления мехатронным модулем;
- в) описание, алгоритм, и листинг управляющей программы микроконтроллера.

Каждый студент получает расписанное на специальном бланке индивидуальное задание на проектирование. Законченная курсовая работа проверяется руководителем и защищается студентом.

Трудозатраты на выполнение курсовой работы составляют 5 часов.

#### 4.6 Самостоятельное изучение разделов дисциплины

№	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов
1	2	3
1.	Последовательные интерфейсы микроконтроллера, USART, I2S, SPI.	3



2.	Подключение микроконтроллеров к ПК.	2
3.	Итого	5

## 5 Оценочные материалы для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

### 5.1 Оценочные материалы для текущего контроля успеваемости

#### Темы для рефератов:

За подготовку и защиту реферата студент может набрать 6 баллов (по 2 балла за три контрольные рейтинговые точки). При подготовке реферата студент должен ознакомиться с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники, конспект основных положений, терминов, сведений, требующих для запоминания и являющихся основополагающими в этой теме. Необходимо составить аннотации к прочитанным литературным источникам. Структуру реферата студент определяет сам. Оценивание проводится с учетом количества обработанных литературных источников, качества оформления реферата, ответа на вопросы по реферату. Тему для реферата студент может предложить сам, либо выбрать из предложенных.

1. Особенности архитектуры микроконтроллеров компании ATMEL.
2. Использование микроконтроллеров в системах управления электроприводов мехатронных устройств.
3. Стандартные интерфейсы микроконтроллеров.
4. Сопряжение микроконтроллера с персональным компьютером, варианты интерфейсов.
5. Использование микроконтроллеров для оцифровки аналогового сигнала, возможности и ограничения.

#### Тесты:

В рамках балльно-рейтинговых мероприятий студент трижды проходит тестирование на компьютере. В зависимости от процента правильных ответов компьютер выставляет от 0 до 6 баллов. Примеры тестовых заданий, приведены ниже.

#### **Архитектура микроконтроллеров ATMEL?**

- архитектура Неймана;
- + Гарвардская архитектура;
- как Гарвардская, так и архитектура Неймана.

#### **Интерфейс USART микроконтроллеров ATMEL?**

- работает только в синхронном режиме обмена информацией;
- работает только в асинхронном режиме обмена информацией;
- + может работать как в синхронном, так и в асинхронном режиме обмена информацией.

#### **АЦП микроконтроллеров ATMEL?**

- 8-и разрядный;
- + 10-и разрядный;
- 16-и разрядный.

#### **В гарвардской архитектуре микроконтроллеров?**

- общая память программ и данных;
- + память программ и данных разделена.

#### **Разрядность АЛУ микроконтроллеров ATMEL?**

- 4 разряда;
- + 8 разрядов;
- 16 разрядов;
- 64 разряда.

#### **АЦП микроконтроллеров ATMEL?**

- параллельный АЦП;
- + последовательный АЦП;
- может работать как в параллельном, так и в последовательном режиме.

#### **Количество портов ввода/вывода микроконтроллеров ATMEЛ?**

- только 2 порта;
- только 4 порта;
- только 8 портов;
- + зависит от модели микроконтроллера.

#### **Для формирования сигналов тактовой частоты в микроконтроллерах ATMEЛ?**

- используется только встроенный генератор;
- используется только генератор внешних сигналов;
- используется только внешний кварцевый резонатор;
- + может быть использован любой из перечисленных вариантов.

#### **Для формирования сигналов тактовой частоты в микроконтроллерах?**

- используется только встроенный генератор;

### **Задания к лабораторным работам**

При выполнении лабораторных работ используется комплект учебного оборудования «Микропроцессорные системы управления электроприводов». Задания к лабораторным работам приведены в методических указаниях: Комплект учебного оборудования «Микропроцессорные системы управления электроприводов» ПО1033 Методические указания к выполнению лабораторных работ. ООО ТД «ПрофОбразование» 2015.

При выполнении лабораторной работы, студент изучает теоретическую часть, проводит сборку электрической схемы и записывает управляющую программу в микроконтроллер. Студент представляет отчет и демонстрирует работоспособность собранной схемы. За выполнение и защиту лабораторных работ студент может набрать 18 баллов (по 3 балла в каждую рейтинговую точку). Образец лабораторной работы представлен ниже.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА**

#### **«ИЗУЧЕНИЕ ТАЙМЕРОВ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА AVR И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ: В ДИНАМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ. В РЕЖИМЕ ПОДСЧЕТА ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ В ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ»**

**Цель работы:** Познакомиться с таймерами микроконтроллера Atmega8535; исследовать режимы работы и способы программной реализации режимов динамической индикации; реализовать программы – счетчика входных импульсов с отображением результата на семисегментном индикаторе, подсчет временных интервалов, широтно-импульсную модуляцию.

#### **Теоретическая часть**

Микроконтроллер Atmega8535 содержит три таймера общего назначения: два 8-разрядных таймера T0 и T2, один 16-разрядный таймер T1.

Все таймеры имеют возможность работы в разных режимах:

- измерение промежутков времени;
- счёт внешних событий (кроме T2);
- преобразование выходного сигнала контроллера в сигнал с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ);
- возможность работы в качестве часов реального времени (асинхронный режим работы таймера T2).

#### **Альтернативные функции портов**

Для подключения входов-выходов таймеров к выводам микросхемы контроллера (т.е. для соединения таймеров с внешними устройствами), используются альтернативные

функции портов ввода-вывода. После включения альтернативной функции данный бит порта используется только для ввода или вывода информации в таймер, использовать этот бит для цифрового ввода-вывода невозможно.

Альтернативные функции портов для работы с таймерами приведены в таблице 1. При этом для реализации режима счёта внешних событий вход таймеров необходимо подключить к выводам микросхемы – к конкретному биту порта ввода/вывода. При работе таймера в режиме ШИМ. Выход таймеров также подключается к конкретному биту порта.

Таблица 1 Альтернативные функции портов, используемые таймерами

Таймер	Обозначение	Описание	Вывод порта
T0	T0	Внешний вход таймера T0	PB0
	OCO	Внешний выход таймера T0	PB3
T1	T1	Внешний вход таймера T1	PB1
	OC1A	Внешний выход А таймера T1	PD5
	OC1B	Внешний выход В таймера T1	PD4
T2	TOSC1	Внешний вывод 1 для подключения резонатора таймера T2	PC6
	TOSC2	Внешний вывод 2 для подключения резонатора для таймера T2	PC7
	OC2	Внешний выход таймера T2 1 pp7	PD7

Для использования альтернативных функций портов, соответствующие биты портов предварительно необходимо сконфигурировать на ввод или вывод, например, при использовании альтернативной функции OCO для вывода информации из таймера T0, вывод микросхемы PB3 должен быть определен как выход бит DDRB3 равен 1.

#### Прерывания от таймеров

Разрешение и запрещение работы прерываний от таймеров микроконтроллера выполняется с помощью регистра TIMSK (Timers Interrupt Mask Register) – регистра маски прерываний от таймеров. Биты регистра TIMSK приведены в таблице 2. Индикация поступления прерываний от таймеров выполняется с помощью регистра TIFR (Timers Interrupt Flag Register) – регистра флагов прерываний от таймеров. Формат регистра представлен в таблице 3.

Таблица 2 Регистр маски прерываний от таймеров TIMSK

Номер бита	Наименование бита	Назначение
0	TOIE0	Флаг разрешения прерывания по переполнению таймера T0
1	OCIE0	Флаг разрешения прерывания по совпадению таймера T0
2	TOIE1	Флаг разрешения прерывания по переполнению таймера T1
3	OCIE1B	Флаг разрешения прерывания по совпадению В таймера T1
4	OCIE1A	Флаг разрешения прерывания по совпадению А таймера T1
5	TICIE 1	Флаг разрешения прерывания по захвату таймера T1
	TOIE2	Флаг разрешения прерывания по переполнению таймера T2
7	OCIE2	Флаг разрешения прерывания по совпадению таймера T2

Таблица 3 Регистр флагов прерываний от таймеров TIFR

Номер бита	Наименование бита	Назначение	Обозначение вектора	Номер вектора
------------	-------------------	------------	---------------------	---------------

			прерывания	прерывания
0	TOV0	Флаг прерывания по переполнению таймера T0	TIMER0_OVF	10
1	OCF0	Флаг прерывания по совпадению таймера T0	TIMER0_COMP	20
2	TOV1	Флаг прерывания по переполнению таймера T1	TIMER1_OVF	9
3	OCF1B	Флаг прерывания по совпадению В таймера T1	TIMER1_COMPB	8
4	OCF1A	Флаг прерывания по совпадению А таймера T1	TIMER1_COMPA	7
5	ICF1	Флаг прерывания по захвату таймера T1	TIMER1_CAPT	6
6	TOV2	Флаг прерывания по переполнению таймера T2	TIMER2_OVF	5
7	OCF2	Флаг прерывания по совпадению таймера T2	TIMER2_COMP	4

При наступлении события соответствующий флаг в регистре TIFR устанавливается в единичное состояние. При запуске программы обработки прерывания, он аппаратно сбрасывается в «0».

### Восьмиразрядный таймер T0

Для применения восьмиразрядного таймера T0 в микроконтроллерах AVR. Используются три специальных регистра:

- счетный регистр TCNT0 (Timer CouNTER таймера T0);
- регистр сравнения OCR0 (Output Compare Register таймера T0);
- регистр управления TCCR0 (Timer/Counter Control Register таймера T0).

Таймер T0 работает в трёх режимах:

- формирователь временных интервалов;
- счётчик внешних событий;
- широтно-импульсный модулятор.

При работе таймера T0 могут генерироваться два прерывания:

- при переполнении счётного регистра TCNT0;
- при совпадении значений регистра TCNT0 и регистра сравнения OCR0.

Флаги прерываний находятся в регистре TIFR, разрешение прерываний выполняется с помощью регистра масок TIMSK.

### Счётный регистр TCNT0

Регистр TCNT0 представляет собой реверсивный счётчик. В зависимости от режима работы таймера, содержимое счётного регистра может сбрасываться в нулевое состояние, инкрементироваться (увеличиваться на 1) или декрементироваться (уменьшаться на 1) по каждому входному импульсу. Регистр доступен в любой момент времени как для чтения, так и для записи. При подаче питания на контроллер в регистре TCNT0 находится нулевое значение. Диапазон изменения значений счётчика составляет 0...255. При достижении счётчиком максимального значения 255 и подаче очередного импульса, значение счётчика изменяется на нулевое, при этом генерируется прерывание по переполнению счётчика TOV0 в регистре TIFR (табл. 3). Разрешение прерывания осуществляется установкой в «1» разряда TOIE0 регистра TIMSK.

### Регистр сравнения OCR0

Регистр OCR0 содержит восьмиразрядное целое число, которое непрерывно (на каждом такте контроллера) сравнивается с содержимым счётного регистра TCNT0. В случае равенства содержимого этих регистров устанавливается флаг прерывания OCF0 регистра TIFR (если это прерывание разрешено в регистре TIMSK). Кроме этого, при совпадении значений регистров может измениться состояние OC0 микроконтроллера. Это происходит, если выход таймера T0 соединён с выводом OC0 (определяется регистром управления TCCR0) и вывод PB3 микроконтроллера сконфигурирован как выход.

### Регистр управления TCCR0

Регистр TCCR0 предназначен для управления работой таймера T0. Формат регистра представлен в таблице 4. С помощью этого регистра осуществляется конфигурирование таймера на один из режимов работы. Также здесь можно подключить выводы микроконтроллера к таймеру и выбрать частоту, с которой таймер будет считать импульсы генератора частоты микроконтроллера.

Таблица 4 Регистр управления TCCR0

Номер бита	Наименование бита	Назначение
0...2	SC00...SC02	Управление предделителем. SC02 SC01 SC00 Коэффициент предделителя 0 0 0 Таймер отключен 0 0 1 Кдел = 1 0 1 0 Кдел = 8 0 1 1 Кдел = 64 1 0 0 Кдел = 256 1 0 1 Кдел = 1024 1 1 0 Подключен вход T0 (полож. Фронт) 1 1 1 Подключен вход T0 (отриц. Фронт)
3,6	COM00:COM01	Подключение вывода таймера OC0 COM01 COM00 Состояние вывода OC0 0 0 Вывод OC0 отключен 0 1 Зависит от режима работы 1 0 Вывод OC0 устанавливается в «0» при совпадении 1 1 Вывод OC0 устанавливается в «1» при совпадении
4,5	WGM00:WGM01	WGM01 WGM00 Режим работы 0 0 Normal 0 1 Фазовый ШИМ 1 0 CTC (сброс при совпадении) 1

7	FOC0	Принудительное изменение состояния вывода OC0 (в режимах Normal и CTC)
---	------	---

### Программирование 16-разрядного таймера T1 микроконтроллера

Модуль 16-разрядного таймера T1 входит в состав микроконтроллера ATmega8535. Таймер/счётчик T1 может использоваться для отсчёта временных интервалов и как счётчик внешних событий. Кроме того он может выполнять запоминание своего состояния по внешнему сигналу. Он может работать также в качестве многоканального широтно-импульсного модулятора переменной разрядности. Структурная схема таймера T1 приведена на рис.3.1.

#### Входы/выходы таймера T1

Каждый таймер/счётчик использует один или более выводов микроконтроллера. Как правило, эти выводы — линии портов ввода/вывода общего назначения, а функции, реализуемые этими выводами при работе совместно с таймерами/счётчиками, являются их альтернативными функциями. Для микроконтроллера ATmega8535 такими выводами являются:

- PB1 (T1) — вход внешнего сигнала таймера T1.
- PD6 (ICP) — вход захвата таймера T1.
- PD4 (OC1B), PD5 (OC1A) - Выходы схем сравнения A и B таймера T1.

При использовании альтернативных функций портов ввода/вывода необходимо самостоятельно сконфигурировать эти выводы в соответствии с их функциональным назначением — на вход или выход.

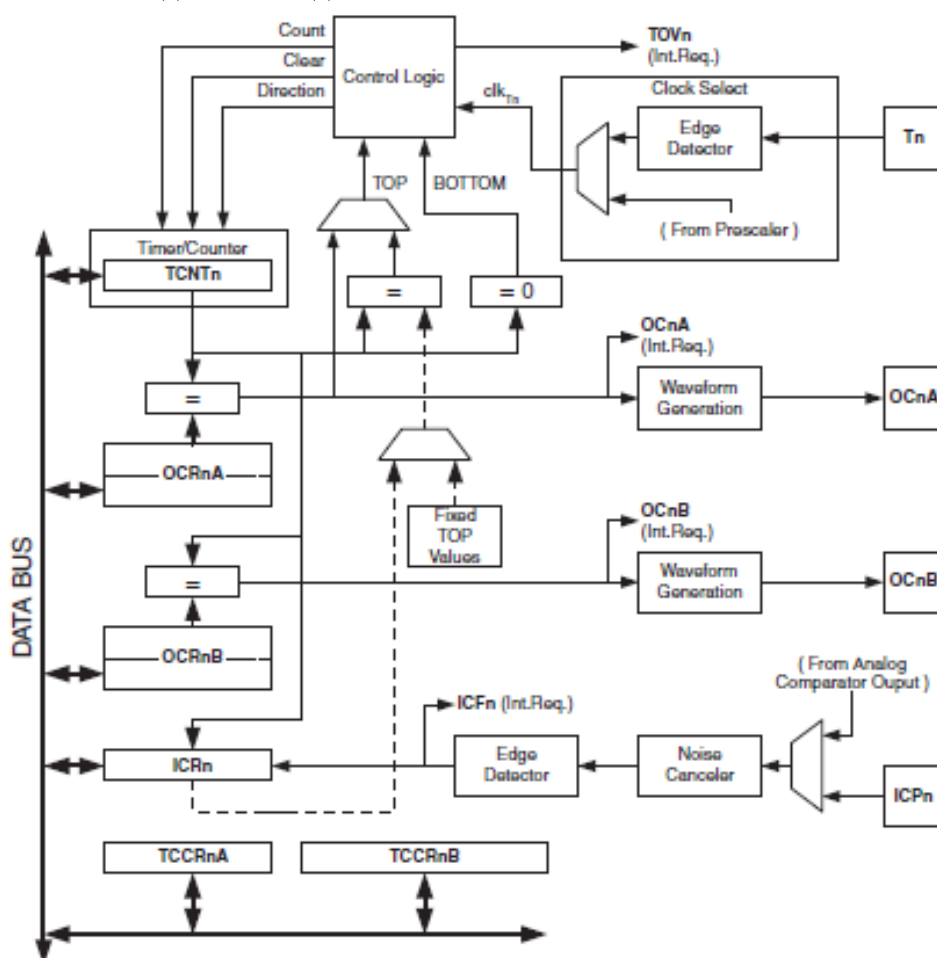


Рис. 3.1 Структура таймера T1.

Предделитель таймера

В качестве источника тактовых импульсов таймера T1 могут использоваться как внешние импульсы (с входа T1), так и сигнал с выхода тактового генератора. Эти сигналы поступают на вход предделителя, формирующего тактовые сигналы таймера T1. Для управления состоянием предделителя используется регистр SFIOR.

### Регистры таймера T1

В состав таймера/счётчика T1 входят следующие регистры:

- 16-разрядный счётный регистр TCNT1 ;
- 16-разрядный регистр захвата ICR1;
- два 16-разрядных регистра сравнения OCR1A, OCR1B;
- два 8-разрядных регистра управления TCCR1A, TCCR1B.

Каждый из 16-разрядных регистров физически размещается в двух регистрах ввода/вывода, названия которых получаются добавлением к названию регистра буквы «H» (старший байт) и «L» (младший байт). Счётный регистр таймера счётчика TCNT1, например, размещается в регистрах TCNT1H : TCNT1L.

### Счётный регистр TCNT1 и регистры сравнения OCR1A и OCR1B

Как только таймер T1 запускается, то при поступлении очередного импульса с источника (им является выход предделителя, на вход которого подается сигнал с тактового генератора или импульсы со входа T1), содержимое счётного регистра TCNT1 увеличивается на единицу. Так будет происходить непрерывно до тех пор, пока не наступит переполнение счётчика или принудительное его обнуление. При переполнении регистра TCNT1 возможна генерация прерывания TIMER1\_OVF по переполнению таймера T). В регистры сравнения OCR1A и OCR1B записываются необходимые пользовательские значения. При совпадении значений счётного регистра и регистров OCR1A или OCR1B, напряжения на выходах OC1A или OC1B изменяются. Этот момент можно использовать для генерирования прерываний по совпадению TIMER1\_COMPA и TIMER1\_COMPB.

### Регистры управления TCCR1A и TCCR1B

Для управления таймером/счётчиком используются два регистра управления: TCCR1A, TCCR1B. Форматы этих регистров и назначение отдельных битов приведены в таблице 2 ...5.

Таблица 5 Разряды регистра TCCR1A

Бит	Название	Описание
1,0	WGM11:WGM10	Режим работы таймера/счётчика. Совместно с разрядами WGM13:WGM12 регистра TCCR1B определяют режим работы таймера/счётчика T1
3,2	FOC1A:FOC1B	Принудительное изменение состояния выводов соответственно OC1A и OC1B
5,4	COM1B1:COM1B0	Режим работы блоков сравнения A и B. Эти разряды определяют поведение выводов OC1A и OC1B при наступлении события «Совпадение». Влияние содержимого этих разрядов на состояние вывода зависит от режима работы таймера/счётчика
7,6	COM1A1 :COM1A0	

Таблица 6 Формат регистра TCCR1B

Бит	7	6	5	4	3	2	1	0
Обозначение	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10

Биты WGM13...WGM10 используются в основном для работы таймера в режимах ШИМ. Содержимое битов COM1n1:COM1n0 должно быть «0» при отсутствии связи таймера T1 с выводами OC1x.

Значения разрядов CS12...CS10 определяют коэффициент деления тактовой частоты и источник тактовых импульсов для таймера T1. Их возможные значения представлены в таблице 7.

Таблица 7. Выбор коэффициента предделителя таймера T1

Биты TCCR1B			Коэффициент предделителя таймера T1
CS12	CS11	CS10	
0	0	0	Таймер/счётчик остановлен
0	0	1	clk
0	1	0	clk/8
0	1	1	clk/64
1	0	0	clk/256
1	0	1	clk/1024
1	1	0	Вывод T1, счет осуществляется по спадающему фронту импульсов
1	1	1	Вывод T1, счет осуществляется по нарастающему фронту импульсов

#### Регистр захвата ICR1

Регистр захвата ICR1 входит в состав блока захвата, назначение которого - сохранение в определенный момент времени состояния таймера/счётчика в регистре захвата ICR1. Это действие может производиться либо по активному фронту сигнала на выводе ICP микроконтроллера, либо по сигналу от аналогового компаратора. Одновременно с записью в регистр захвата устанавливается флаг ICF1 регистра TIFR и генерируется запрос на прерывание. Разрешение прерывания осуществляется установкой разряда TICIE1 регистра TIMSK. Для управления схемой захвата используются два разряда регистра TCCR1B - ICNC1 (бит 7) и ICES1 (бит 6). Разряд ICNC1 управляет схемой подавления помех. Если этот разряд сброшен в «0», схема подавления помех выключена и захват производится по первому же активному фронту. Если же этот разряд установлен в «1», то при появлении активного фронта производится 4 выборки с частотой, равной тактовой частоте микроконтроллера. Захват будет выполнен только в том случае, если все выборки имеют уровень, соответствующий активному фронту сигнала (логическая «1» для нарастающего и логический 0 для спадающего). Активный фронт сигнала, т. е. фронт, по которому будет выполнено сохранение содержимого счетного регистра в регистре захвата, определяется состоянием разряда ICES1. Если этот разряд сброшен в «0», то активным является спадающий фронт. Если разряд установлен в «1», то активным является нарастающий фронт.

Для захвата по сигналу с вывода ICP, этот вывод должен быть сконфигурирован как входной (разряд регистра DDRx, соответствующий выводу ICP, должен быть сброшен в «0»). Если же он будет сконфигурирован как выходной, захват можно будет осуществлять программно, управляя соответствующим разрядом порта. Следует понимать, что между изменением состояния входа блока захвата и копированием счетного регистра в регистр захвата таймера/счётчика проходит некоторое время. Эту задержку вносит каскад, состоящий из синхронизатора и детектора фронта. Величина задержки составляет 2,5..3,5 машинных циклов. При включении схемы подавления помех задержка увеличивается еще на 4 машинных цикла.



### **Регистры разрешения и обработки прерываний T1MSK и T1FR**

Для разрешения/запрета прерываний от таймеров/счётчиков предназначен регистр T1MSR (Timer/Counter Interrupt MaSK Register - регистр маски прерываний от таймеров/счётчиков). Для таймера T1 в этом регистре задействованы следующие биты.

- T1CE1 (бит 5) - флот разрешения прерывания по событию «Захват» таймера T1;
- O1CE1A (бит 4) - флаг разрешения прерывания по событию «Совпадение А» таймера T1;
- O1CE1B (бит 3) - флаг разрешения прерывания по событию «Совпадение В» таймера T1;
- T1OE1 (бит 2) - флаг разрешения прерывания по переполнению таймера T1.

Для индикации наступления прерываний от таймеров предназначен регистр T1FR (Timer/Counter Interrupt Rlag Register - регистр флагов прерываний от таймеров/счётчиков). Для таймера T1 в этом регистре задействованы следующие биты:

- ICF1 (бит 5) - флаг прерывания по событию «Захват» таймера T1;
- O1CF1A (бит 4) - флаг прерывания по событию «Совпадение А» таймера T1;
- O1CF1B (бит 3) - флаг прерывания по событию «Совпадение В» таймера T1;
- TOV1 (бит 2) - флаг прерывания по переполнению таймера T1.

При наступлении какого-либо события соответствующий флаг регистра T1FR устанавливается в «1». При запуске подпрограммы обработки прерывания он аппаратно сбрасывается в «0». Любой флаг может быть сброшен в «0» вручную.

### **Семисегментные индикаторы**

В ЭВМ отображение информации пользователю обычно осуществляется через монитор, но для большого числа микропроцессорных устройств, выполняющих относительно простые функции управления, контроля или измерения бывает достаточным отображение информации или результатов измерений на основе простейших устройств индикации. Обычно для этого используют семисегментные индикаторы. Один индикатор имеет восемь сегментов (семь для начертания числа и один сегмент - точка) и один общий контакт обычно подключаемый к питанию. По этой причине для управления одним индикатором требуется один целый порт микроконтроллера. Если число индикаторов более двух, что бывает сложно подключить их по такому принципу.

Для уменьшения количества управляющих линий семисегментные индикаторы подключают в динамическом режиме. Для этого одинаковые сегменты табло соединяют параллельно и подключают к одному порту микроконтроллера, а ток же питающий провод каждого индикатора тоже подключают к микроконтроллеру. Таким образом, табло из 4-х индикаторов будет использовать  $8+4=12$  линий микроконтроллера, а не  $8*4=32$  как при классическом подключении.

Итак, с целью сокращения числа выводов в многоразрядном индикаторе все одноименные сегменты соединены вместе и имеют один общий вывод (рис. 3.2). Для нумерации сегментов используются латинские буквы от a до h. Чтобы управлять свечением какой-либо цифры каждое знакоместо (цифра) имеет общий вывод, который может быть общим анодом или общим катодом светодиодов-сегментов (зависит от типа индикатора).

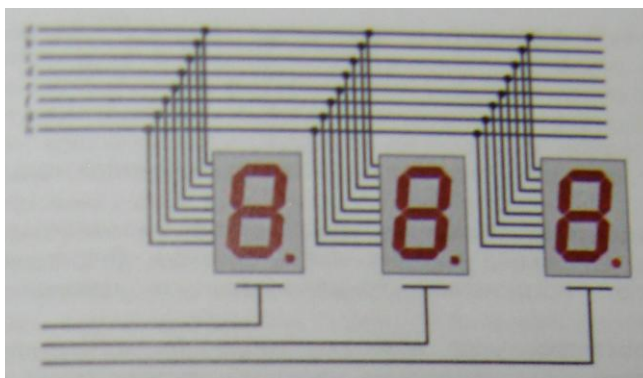


Рис. 3.2 Принципиальная схема соединения массива индикаторов

Для обеспечения работы многоразрядных индикаторов или нескольких одnorазрядных индикаторов используют динамическую, то есть непрерывную индикацию. Суть динамической индикации заключается в поочерёдном включении индикаторов с помощью общего анода или общего катода с одновременной подачей кода символа для данного, активного индикатора. Если переключения между индикаторами сделать достаточно быстрыми (с частотой порядка 50...100 Гц) то все они будут равномерно светиться нужными символами.

Поскольку, например, в 4-разрядном табло время свечения одного каждого сегмента составляет лишь 1/4 часть, то яркость свечения индикаторного табло может существенно снизиться. Тогда для обеспечения хорошего свечения индикаторов можно увеличить напряжение, прикладываемое к сегментам индикатора, так чтобы увеличился и ток, проходящий в импульсе через сегменты индикатора. Такой способ динамической индикации часто применяется при управлении устройством индикации от микропроцессоров и микроконтроллеров.

Преимущество способа динамической индикации ощутимо при числе разрядов больше 2. Схема с динамической индикацией потребляет меньший ток, имеет меньшие габариты и меньшую стоимость.

#### **Широтно-импульсная модуляция**

ШИМ — широтно-импульсная модуляция. Известно, что пульсирующее напряжение в зависимости от заполнения периода, будет эквивалентно постоянному напряжению. Т.е. если за период напряжение 50% времени было включено, 50% выключено, то эквивалент постоянного напряжения будет равен 50% от номинального. Например, при питании в 5В постоянного напряжения, получив на выходе контроллера ШИМ с половинным заполнением, то после сглаживания получим 2.5В. Если заполнение импульса равно 75%, то эквивалентное постоянное напряжение будет 3.75В.

ШИМ в сочетании с аналоговым фильтром может использоваться для генерации аналоговых входных сигналов, т.е. в качестве цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). В качестве основы используется последовательность прямоугольных импульсов с постоянным периодом следования (фиксированная частота следования). Для генерации различных аналоговых уровней регулируется заполнение импульсов и, таким образом, изменяется длительность импульсов. Если необходимо сформировать высокий аналоговый уровень, то длительность импульса увеличивают и наоборот.

В микроконтроллерах AVR для генерации ШИМ-сигналов используются таймеры-счетчики. Для изменения несущей частоты ШИМ изменяется частота синхронизации таймера и вершина счета, частоты синхронизации или снижение вершины счета приводят к повышению частоты переполнения таймера и, как следствие, увеличивается частота ШИМ. Максимальной разрешающей способности (вершина счета 255) соответствует максимальная частота ШИМ 250 кГц. Дальнейшее увеличение частоты ШИМ возможна путем уменьшения разрешающей способности, но в этом случае сокращается количество шагов при установке заполнения импульсов от 0 до 100%.

Изменение содержимого регистра сравнения (OCR) влияет на заполнение импульсов. Увеличение значения OCR увеличивает заполнение импульсов. До достижения счетчиком значения из регистра OCR ШИМ-выход находится в высоком состоянии, затем переходит в низкое состояние до достижения вершины счета, после чего счетчик переходит в нулевое состояние и цикл повторяется. Такой способ генерации у AVR-микроконтроллеров получил название быстрой ШИМ.

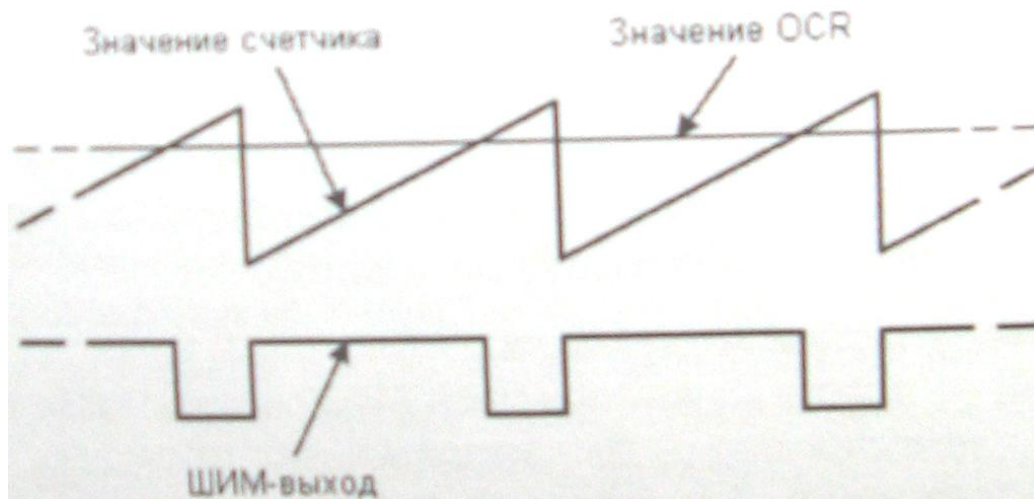


Рис. 3.4 Значение счетчиков и ШИМ выход

При использовании высокочастотной ШИМ для генерации аналоговых сигналов, ширина аналоговых уровней зависит от разрешающей способности ШИМ. Чем выше несущая частота, тем более просто ее подавить и тем самым минимизировать уровень пульсаций. Таким образом, необходимо оптимизировать соотношение разрешающей способности и несущей частоты.

### Рекомендации к написанию программы «Динамическая индикация»

Основной принцип управления семисегментными индикаторами в динамическом режиме - это поочередная подача питающего напряжения на каждый из индикаторов табло и одновременная подача второго полюса к соответствующим сегментам индикатора. Например, для вывода числа «123» на индикаторах HGI-HG3 можно последовательно выводить цифры на индикаторы: вначале на индикатор HG1 цифру «1», затем на второй индикатор HG2 цифру «2» и далее на третий индикатор HG3 цифру «3». Если эту операцию последовательного вывода выполнять с суммарной скоростью более 25 Гц для каждой цифры, то мерцания символов человеческому глазу видно не будет. То есть в нашем случае частота смены символов должна быть не менее  $25 \times 3 = 75$  Гц.

Рекомендуется переходить от подсветки одного индикатора к другому через равные промежутки времени и это удобно реализовать через прерывания встроенного в микроконтроллер таймера.

**Алгоритм программы** может быть примерно следующим:

- Конфигурируем на выход пины, к которым подключены линии сегментов индикаторов, а ток же и на выход пины к которым подключены столбцы. Присваиваем соответствующие начальные значения.
- В основном цикле программы можно реализовать опрос кнопки при нажатии которой меняется информация, выводимая на дисплей.
- Необходимо так же преобразование цифр, выводимых на индикатор в код корректный для индикатора.

Параллельно с работой основной функции программы происходят периодические прерывания таймера. В обработке прерывания следует прописать поочередное изменение номера активного индикатора и запись нужного значения в переменную, отображаемую на текущем индикаторе.

### **Динамическая индикация с программной задержкой.**

Рассмотрим пример программы, которая реализует данный алгоритм для вывода число «123». Частота вывода символов определяется программной паузой. Пусть сегменты a...h подключены соответственно к выводам порта A: PA0-PA7, а аноды индикаторов HG1-HG3 - соответственно к выходам порта B: PBO-PB3. Тестовая программа расположена в файле laboratoma\_3.c, а ее текст приведен ниже.

```
#define F_CPU 8000000UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
int main(void)
{
    DDRA =0xFF; // порт A - на выход
    PORTA=0xFF; // все сегменты не светятся
    DDRB =0x07; // младшие три бита порта B - на выход
    PORTB=0x00; // индикаторы не выбраны
    while (1) // бесконечный цикл
    {
        // вывод цифры "1" на индикатор HG1
        PORTA=0xF9; // сегменты "b" и "c" в порт A
        PORTB=0x01; // выбор индикатора HG 1
        _delay_ms(2); // программная пауза 2 мс
        // вывод цифры "2" на индикатор HG2
        PORTA=0xA4; // сегменты "a, b, d, e, g"
        PORTB=0x02; // выбор индикатора HG2
        _delay_ms(2); // программная пауза 2 мс
        // вывод цифры "3" на индикатор HG3
        PORTA=0xB0; // сегменты "a, b, c, d, g"
        PORTB=0x04; // выбор индикатора HG3
        _delay_ms(2); // программная пауза 2 мс
        // вывод цифры "4" на индикатор HG4
        PORTA=0x99; // сегменты "b, c, f, g"
        PORTB=0x08; // выбор индикатора HG4
        _delay_ms(2); // программная пауза 2 мс
    }
}
```

Использование в данной программе для индикации символов пустых циклов для реализации программной задержки не совсем удобно и неэффективно. Можно использовать гораздо более эффективный подход, когда необходимая временная задержка между сменой символов будет реализована с помощью таймера, а сама смена индицируемого символа будет организована в программе обработки прерываний от таймера.

### **Динамическая индикация с прерываниями от таймера.**

В данном случае целесообразно задать глобальные переменные в которых находятся выводимые на индикацию символы в виде кодов, выдаваемых на «сегментный» порт, и текущий номер выводимого индикатора. В программе обработки прерываний меняется этот номер, и на «сегментный» порт выводится соответствующий ему символ. Ниже приведен пример программы динамической индикации числа «123», выполненной с использованием прерывания таймера T0.

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
```

```

unsigned char c1 =! 0x06, //код цифры "1"
c2=!0x5B,      // код цифры 7
c3=!0x4F;      // код цифры "3"
unsigned char n;      // номер индикатора
// Обработка прерывания Таймера T0
#pragma interrupt_handler indic: 10
void indic (void)
{ PORTD&=0xF8;      // выключаем все индикаторы HG1-HG3
switch (n)
{
case 0:
PORTC =c1;      // код "1"
PORTD=0x01; // индикатор HG1
break;
case 1:
PORTC= c2; //код "2"
PORTD=0x02; // индикатор HG2
break;
case 2:
PORTC=c3; //код "3"
PORTD=0x04; // индикатор HG3
}
n++;      // смена номера индикатора
n%=3;
}
//——   главная   функция   ——
void main(void)
{
DDRC =0xFF; // все биты порта C - на выход
PORTC=0xFF; // сегменты не светятся
DDRD =0x07; // младшие три бита порта D - на выход
PORTD=0x0;  //индикаторы не выбраны
TIMSK = 0x01;      // разрешение прерывания по переполнению
sei(); // общее разрешение прерываний
TCCR0=0x04; // 00000100. коэффициент делителя 256.
// частота прерываний будет 8000000/256/256
// частота обновления числа (3 цифры) 122/3 = 40 Гц
for(;;);
}

```

### **Рекомендации к написанию программы «Счетчик количества прерываний»**

Исследуем таймер T0 в режиме работы формирователя временных интервалов. Для этого создадим программу подсчёта количества прерываний таймера T0.

```

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
int i=0; // объявление глобальной переменной i
void port_init(void)
{
PORTD = 0x00;
DDRD = 0xFF; // порт D работает на выход
}
void timer0_init(void) // инициализация таймера T0

```

```

{
TCCR0 = 0x00; //остановка счётчика
TCNT0 = 0x64; //задание начального значения в счётный регистр
TCCR0 = 0x05; //запуск таймера с параметрами TCCR= 0000 0101
//SC02:SC01 :SC00=101 — Kdel=1024
//COM01 :COM00=00 —» OC0 отключен
//WGM01 :WGM00= 00 —» режим работы Normal
}
#pragma interrupt_handler timer0_ovf_isr : 10
void timer0_ovf_isr(void) // Работа счётчика при прерываниях по переполнению
{
TCNT0 = 0x64; //установка начального значения счётчика
i++; //инкремент переменной i
}
void init_devices(void)
{
cli();
port_init();
timer0_init();
TIMSK = 0x01;
//TIMSK=0x01 - разрешено прерывание по переполнению таймера T0
sei();
}
void main(void)
{
init_devices();
while (1)
PORTD = i; // Запись в порт значения i;
}

```

#### **Рассмотрим особенности программы:**

а) в начале программы введена глобальная переменная *i*, с начальным значением *i*=0;  
 б) из всех портов инициализирован только порт D, работающий на вывод функция `port_init()`;

в) в функции `timer0_init()` выполняется ввод параметров работы таймера T0. Вначале счётчик останавливается, для этого в регистр управления записывается нулевое значение: `TCCR0 = 0x00`;

Затем записывается начальное значение в счётный регистр: `TCNT0=0x64`; и устанавливаются требуемые параметры для предделителя KDEL и режима работы: `TCCR0 = 0x05`: (`TCCR0=00000101`)

Этим устанавливаются коэффициент деления предделителя, равный 1024 и режим работы счётчика Normal.

г) строки программы:

```

#pragma interrupt_handler timer0_ovf_isr: 10
void timer0_ovf_isr(void) // прерывание по переполнению
{ TCNT0 = 0x64; // установка начального значения счётчика
i++; // инкремент переменной i
}

```

создается обработчик прерывания по переполнению счётчика T0, где 10 номер вектора прерывания по переполнению, а имя `timer0_ovf_isr()` представляет собой название функции, которая вызывается при появлении прерывания. В теле функции только два оператора; первый устанавливает начальное значение счётного регистра `TCNT0 = 0x64`, второй инкрементирует глобальную переменную *i*. Таким образом, при каждом появлении

прерывания, увеличивается значение переменной  $i$  на единицу. С какой частотой это происходит в микроконтроллере? Рассчитаем эту частоту;

$$f = f_{clk} / K_{del} / (E_{to} - N_o).$$

где:  $f_{clk}$  - частота кварцевого резонатора = 8 МГц;

$K_{del}$  - коэффициент предделителя  $K_{DEL} = 1024$ ;

$E_{to}$  - емкость счётчика  $T_0$ ,  $E_{to} = 255$ ;

$N_o$  - начальное значение счётчика,  $N_o = 0x64 = 100$ .

Подставим значения в формулу и получим:

$$f = 8000000 / 1024 / (255 - 100) = 50.4 \text{ Гц}.$$

следовательно, примерно 50 раз в секунду выполняется прерывание таймера  $T_0$  и увеличивается значение переменной  $i$ .

д) строка  $TIMSK = 0x01$  в функции `init_devices()` разрешает прерывание по переполнению счётчика  $T_0$ . Действительно в двоичном виде  $TIMSK = 00000001$  и, согласно табл. 3, бит  $TOIE0 = 1$ ;

е) в функции `main()` после инициализации всех устройств (вызова функций инициализации портов и таймера  $T_0$ ) бесконечно выполняется оператор  $PORTD = i$ ;

Этот оператор выводит в порт  $D$  текущее значение переменной  $i$ , т.е. при возникновении каждого прерывания по переполнению таймера  $T_0$  происходит обновление содержимого порта  $D$ . Проанализируйте, что произойдет, если мы заменим этот оператор на следующий  $PORTD = i/50$  где переменная  $i$  целого типа.

#### **Рекомендации к написанию программы «Широтно-импульсная модуляция»**

```
#include <avr/io.h>
```

```
#include <avr/interrupt.h>
```

```
void port_init(void)
```

```
{
```

```
PORTA = 0xFF;
```

```
DORA = 0x00; // порт A конфигурируем как входной порт.
```

```
PORTB = 0xFF;
```

```
DDRB = 0xFF; // порт B конфигурируем на вывод - для вывода ШИМа на пин B3
```

```
}
```

```
void timer0_init(void)
```

```
{
```

```
TCCR0 = 0x00; //stop
```

```
TCNT0 = 0x01; //set count
```

```
OCR0 = 0xFF; //set compare
```

```
TCCR0 = 0x69; //start timer TCCR0=0110 1001
```

```
// Kdel=001 = 1 -  $f = 8 \text{ МГц} / 256 = 31.25 \text{ кГц}$ 
```

```
// rejimT0 = 11 - быстрый ШИМ 26
```

```
// regimOC0 = 10 - установка OC0 в "0"
```

```
}
```

```
void init_devices(void)
```

```
{ port_init();
```

```
timer0_init;
```

```
}
```

```
void main(void)
```

```
{
```

```
init_devices();
```

```
while(1)
```

```
{
```

```
switch(PINA & 3)
```

```
{ case 0: OCR0 = 0x00; // скважность  $y = 0$ 
```

```

break;
case 1: OCR0=0x40; //      скважность y=0.25
break;
case 2: OCR0=0x80; //      скважность y=0,5
break;
case 3: OCR0=0xFF; // скважность y=1
} } }

```

### Практическая часть

1. Соедините аноды (1,2,3,4) семисегментного дисплея с контактами какого-либо порта микроконтроллера (например с пинами 0, 1, 2, 3 порта В). Соедините контакты катодов (a,b,c,d,e,f,g,h) с другим портом микроконтроллера (например пины 0-7 порта А) как на рисунке 3.5.

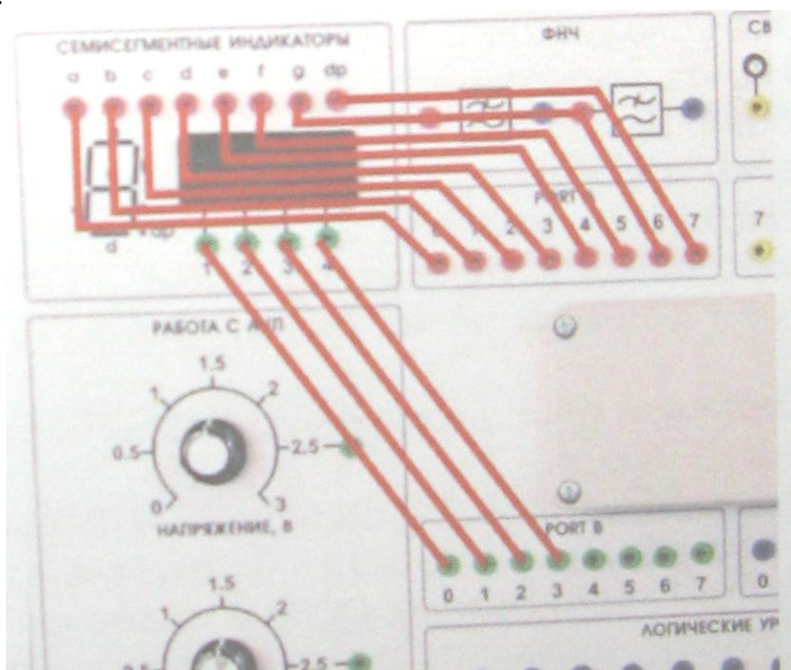


Рис. 3.5 Примерная схема подключения семисегментного табло

2. Напишите программу для микроконтроллера, используя рекомендации, приведенные в теоретическом блоке.
3. Осуществите программирование микроконтроллера и наблюдайте получившийся результат.

Контрольные вопросы

1. Почему применяют динамическую индикацию?
2. Как часто надо засвечивать отдельные разряды?
3. Почему снижается яркость индикатора в динамическом режиме?
4. Почему индикатор называется семисегментным, но имеет 8 выводов?

## 6.2 Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проходит в форме защиты выполненной курсовой работы и экзамена в 6 семестре ОФО. Экзаменационный билет включает три теоретических вопроса. На экзамене студент может набрать максимум 30 баллов. При защите курсовой работы, студент может набрать максимум 30 баллов.

### Вопросы к защите курсовой работы



1. Порты ввода/вывода микроконтроллера, назначение, режим работы.
2. Таймеры микроконтроллера, их назначение.
3. Использование таймеров для получения выходного сигнала с широтно-импульсной модуляцией.
4. Интерфейс USART микроконтроллера.
5. Система прерываний микроконтроллера, приоритеты прерываний.
6. Прерывания таймеров микроконтроллера.

### **Критерии оценки (зачета) при защите курсовой работы.**

Защита курсовой работы проходит в устной форме (собеседование) и представляет собой ответы на вопросы.

### **Экзаменационные вопросы**

1. Архитектура центрального процессора.
2. Особенности архитектуры микроконтроллеров семейства AVR.
3. Современные тенденции развития микропроцессорной техники.
4. Организация памяти микроконтроллеров семейства AVR.
5. Организация памяти программ микроконтроллера семейства AVR.
6. Организация памяти данных микроконтроллера семейства AVR.
7. Организация и назначение энергонезависимой памяти данных микроконтроллера семейства AVR.
8. Синхронизация процессора и машинные циклы.
9. Порты ввода/вывода микроконтроллера, назначение, режим работы.
10. Назначение регистров портов ввода/вывода.
11. Последовательные интерфейсы микроконтроллера.
12. Таймеры микроконтроллера, их назначение.
13. Использование таймеров для получения выходного сигнала с широтно-импульсной модуляцией.
14. 8-битный таймер микроконтроллера, описание управляющих регистров.
15. 16-битный таймер микроконтроллера, описание управляющих регистров.
16. Сторожевой таймер микроконтроллера, его назначение.
17. Система прерываний микроконтроллера, приоритеты прерываний.
18. Интерфейс USART микроконтроллера.
19. Назначение регистров USART микроконтроллера, режимы работы интерфейса.
20. Интерфейс I2C микроконтроллера, его назначение.
21. Регистры интерфейса I2C микроконтроллера.
22. Организация обмена данными по интерфейсу I2C.
23. Интерфейс SPI микроконтроллера, назначение, режим работы.
24. АЦП микроконтроллера, организация, режим работы.
25. Регистры АЦП, настройка режима работы.
26. Регистр состояния микроконтроллера, его назначение.
27. Особенности организации оперативной памяти микроконтроллеров семейства AVR.
28. Внешние прерывания микроконтроллеров.
29. Регистры настройки внешних прерываний.
30. Интерфейс RS232, назначение и область применения.
31. Интерфейс RS485, назначение и область применения.
32. Использование интерфейса USART микроконтроллера для подключения к COM порту ПК.
33. Аппаратные средства программирования микроконтроллеров семейства AVR.
34. Система внутрисхемного программирования микроконтроллеров AVR.
35. Параллельный интерфейс программирования микроконтроллеров.

36. Биты настройки микроконтроллеров.
37. Принципы построения распределенных систем управления на базе микроконтроллеров.
38. Периферийные устройства микроконтроллера.
39. Прерывания таймеров микроконтроллера.
40. Прерывания интерфейса USART микроконтроллера.
41. Интерфейс SPI при подключении нескольких ведомых устройств.

## 6 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 6.1 Результаты освоения учебной дисциплины, подлежащие проверке

Контролируемые компетенции (часть компетенций)	Результаты обучения (объекты оценивания)	Основные показатели оценки результатов	Оценочные средства
способностью производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем (ПК-11)	<b>31</b> Знать принципы построения микропроцессорных устройств и систем на их базе, особенности программируемых микроконтроллеров	Знание принципов построения микропроцессорных устройств и систем с учетом особенностей микроконтроллеров ATMEL	практическое занятие, лабораторная работа, тестирование, курсовой проект, экзамен
	<b>32</b> Знать средства разработки программного обеспечения микроконтроллеров, основные задачи, решаемые микропроцессорными средствами автоматизации	- Знание средств разработки программного обеспечения микроконтроллеров; - Знание задач, решаемых микропроцессорными средствами автоматизации.	практическое занятие, лабораторная работа, тестирование, экзамен
	<b>33</b> Знать архитектуру, принцип работы однокристальных микроконтроллеров	Знание архитектуры и принципа работы однокристальных микроконтроллеров ATMEL.	практическое занятие, лабораторная работа, тестирование, экзамен
	<b>34</b> Знать языки ассемблер и Си для программирования однокристальных микроконтроллеров	Знание порядка написания программ для микроконтроллеров ATMEL на языках ассемблер и Си.	практическое занятие, лабораторные работы
	<b>35</b> Знать назначение и состав периферийных устройств микроконтроллера	Знание назначения периферийных устройств микроконтроллера.	практическое занятие, лабораторная работа, тестирование, экзамен
	<b>36</b> Знать стандартные интерфейсы, используемые в микропроцессорных техниках.	Знание назначения стандартных интерфейсов.	практическое занятие, лабораторная работа, тестирование, экзамен
	<b>37</b> Знать средства, порядок отладки и испытаний микропроцессорных систем управления.	Средства, порядок отладки и испытаний микропроцессорных систем управления.	практическое занятие, лабораторная работа, тестирование, экзамен

	<b>У1</b> Уметь проектировать микропроцессорные системы на основе микропроцессорных комплектов и микроконтроллеров.	Умение проектировать микропроцессорные системы (разрабатывать принципиальные электрические схемы и управляющие программы) на основе микропроцессорных комплектов и микроконтроллеров.	практическое занятие, лабораторная работа, курсовая работа, экзамен
	<b>У2</b> Уметь использовать стандартные терминологию, определения и обозначения.	Свободное владение принятой терминологией, использование технической документации на микроконтроллеры.	практическое занятие, лабораторная работа, экзамен
производить установку и настройку системного, прикладного и инструментального программного обеспечения мехатронных и робототехнических систем и их подсистем (ПК-31)	<b>У3</b> Уметь разрабатывать алгоритмы работы однокристальных МК.	Умение разрабатывать алгоритмы, подбирать микроконтроллеры с учетом поставленной задачи и возможности оборудования.	практическое занятие, лабораторная работа
	<b>У4</b> Уметь программировать на языке Ассемблер и Си для МК.	Умение разрабатывать управляющие программы с использованием различных языков программирования.	практическое занятие, лабораторная работа, экзамен
	<b>У5</b> Уметь производить отладку программ для МК с использованием стандартных программных средств – симуляторов.	Умение производить отладку программ для МК с использованием стандартных программных средств – симуляторов.	практическое занятие, лабораторная работа
	<b>У6</b> Уметь проектировать устройство сопряжения с объектом управления для выбранного микропроцессорного комплекта.	Умение проектировать устройство сопряжения с объектом управления (с использованием различных стандартных интерфейсов) для выбранного микропроцессорного комплекта.	практическое занятие, лабораторная работа
	<b>У7</b> Уметь разрабатывать программы, реализующие требуемые алгоритмы управления.	Умение разрабатывать программы, реализующие требуемые алгоритмы управления.	практическое занятие, лабораторная работа
	<b>У8</b> Уметь вести отладку и испытания разработанных микропроцессорных систем.	Умение вести отладку и испытания разработанных микропроцессорных систем.	практическое занятие, лабораторная работа
	<b>В1</b> Владеть методами применения микропроцессорных устройств автоматики в локальных и распределенных системах управления.	Владение методами применения микропроцессорных устройств автоматики в локальных и распределенных системах управления.	практическое занятие, лабораторная работа
	<b>В2</b> Владеть основами программирования микропроцессорных средств на основе однокристальных микроконтроллеров.	Владение основами программирования микропроцессорных средств на основе однокристальных микроконтроллеров.	практическое занятие, лабораторная работа

## 6.2 Шкала оценивания планируемых результатов обучения

### 6.2.1 Текущий и рубежный контроль

В рамках текущего и рубежного контроля по дисциплине студент может набрать до 70 баллов

Семестр	Шкала оценивания			
	0-35 баллов	36-50 баллов	51-60 баллов	61-70 баллов
6	Частичное посещение аудиторных занятий. Неудовлетворительное выполнение лабораторных и практических работ. Плохая подготовка к балльно-рейтинговым мероприятиям. Студент не допускается к промежуточной аттестации	Полное или частичное посещение аудиторных занятий. Частичное выполнение и защита лабораторных и практических работ. Выполнение контрольных работ, тестовых заданий на оценки «удовлетворительно».	Полное или частичное посещение аудиторных занятий. Полное выполнение и защита лабораторных и практических работ. Выполнение контрольных работ, тестовых заданий на оценки «хорошо».	Полное посещение аудиторных занятий. Полное выполнение и защита лабораторных и практических занятий. Выполнение контрольных работ, тестовых заданий на оценки «отлично».

В рамках текущего и рубежного контроля выполнения курсовой работы студент может набрать 70 баллов. Распределение баллов приведено в таблице:

Семестр	Шкала оценивания			
	0-35 баллов	36-50 баллов	51-60 баллов	61-70 баллов
6	Студент не посещал консультации с преподавателем. Неудовлетворительное выполнение составных частей курсовой работы. Студент не допускается к защите курсовой работы	Частичное посещение консультаций с преподавателем. Выполнение курсовой работы с отставанием от графика. Составные части курсовой работы выполнены не полностью, либо допущены ошибки.	Полное или частичное посещение консультаций с преподавателем. Составные части курсовой работы выполнены полностью, но с отставанием от графика, либо допущены незначительные огрехи.	Полное посещение консультаций с преподавателем. Безошибочное решение всех задач, поставленных в курсовой работе без отставания от графика.

### 6.2.2 Промежуточная аттестация

Оценка результатов освоения учебной дисциплины в 6 семестре проводится по шкале, используемой на экзамене:

Семестр	Шкала оценивания			
	Неудовлетворительно (36-60 баллов)	Удовлетворительно (61-80 баллов)	Хорошо (81-90 баллов)	Отлично (91-100 баллов)
6	Студент имеет 36-60 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене не дал полного ответа ни на один вопрос. Студент имеет 36-45 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ только на один вопрос	Студент имеет 36-50 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ на один вопрос и частично (полностью) ответил на второй. Студент имеет 46-60 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ на один вопрос или частично ответил на оба вопроса. Студент имеет по итогам текущего и рубежного контроля 61-70 баллов на экзамене не дал полного ответа ни на один вопрос.	Студент имеет 51-60 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ на один вопрос и частично (полностью) ответил на второй. Студент имеет 61 – 65 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ на один вопрос и частично ответил на второй. Студент имеет 66-70 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене) дал полный ответ только на один вопрос.	Студент имеет 61-70 баллов по итогам текущего и рубежного контроля, на экзамене дал полный ответ на один вопрос и частично (полностью) ответил на второй.

На защите курсовой работы студент может набрать 30 баллов.

Для оценки защиты курсовых работ используется следующая схема:

Объект оценки	Критерии	Максимальный балл
Оформление работы	Соответствует полностью требованиям	10
	Соответствует частично требованиям	5
	Не соответствует требованиям	0
Оценка на защите	Владеет материалом	20
	Частично владеет материалом	10
	Не владеет материалом	0

## **Шкала соответствия рейтинговых оценок пятибалльным оценкам для оценивания курсовой работы**

Рейтинговая оценка (в баллах)	Оценка по пятибалльной шкале
91-100	«отлично»
81-90	«хорошо»
61-80	«удовлетворительно»
менее 61	«неудовлетворительно»

### **7 Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля)**

#### **7.1 Основная литература**

1. Болдырихин, О. В. Гарвардская RISC-архитектура в микроконтроллерах AVR. Средства ввода-вывода, хранения и обработки цифровой и аналоговой информации в микроконтроллерах AVR для построения микропроцессорных систем управления [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторной работе по дисциплине "Микропроцессорные системы" / О. В. Болдырихин. — Электрон. текстовые данные. — Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. — 39 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22860.html>
2. Хартон В.Я. Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих. –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007, -240 с.
3. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «Atmel» -М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. -560 с.
4. Ревич Ю.В. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера. –СПб.: БВХ-Петербург, 2008. -384 с.

#### **7.2 Дополнительная литература**

1. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: Учеб. Пособие. –М.: Машиностроение, 2007. -400 с.
2. Михеев В.П., Просандеев А.В. Датчики и детекторы: Учеб. Пособие. –М.: МИФИ, 2007. – 172 с.
3. Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем: Учеб. пособие. –М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 384 с.
4. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект/ -М.: Бином. 2008. -359с.
5. Робототехнические системы и комплексы: Учеб. Пособие для вузов/ Мачульский И.И., Запаятой В.П., Майоров Ю.П. и др. М.: Транспорт 1999. 446 с.
6. Куафе Ф. Взаимодействие робота с внешней средой: Пер. с франц. –М.: Мир, 1985. - 285 с.
1. Бугров В.Е., Виноградова К.А. Оптоэлектроника светодиодов. Учеб. Пособие. –СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 174 с.

#### **7.3 Перечень методических указаний**

1. Комплект учебного оборудования «Микропроцессорные системы управления электроприводов» ПО1033 Методические указания к выполнению лабораторных работ. ООО ТД «ПрофОбразование» 2015.

#### 7.4 Интернет-ресурсы

1. Wikipedia – свободная энциклопедия. - <http://ru.wikipedia.org/>.
2. <http://www.atmel.com>.
3. <http://www.iprbookshop.ru>

#### 7.5 Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий

1. Microsoft Windows 7 - 10.
2. Пакет Microsoft Office.
3. Пакет Atmel Studio.
4. Microsoft Visual Studio 2010.

### 8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Требования к условиям реализации дисциплины:

№ п/п	Вид аудиторного фонда	Требования
1.	Лекционная аудитория	Оснащение специализированной учебной мебелью. Оснащение техническими средствами обучения: настенный экран с дистанционным управлением, мультимедийное оборудование.
2.	Кабинет для практических занятий	Оснащение специализированной учебной мебелью. Оснащение техническими средствами обучения: подвижная маркерная доска, считывающее устройство для передачи информации в компьютер; настенный экран с дистанционным управлением, мультимедийное оборудование.
3.	Компьютерные классы	Оснащение специализированной учебной мебелью. Оснащение техническими средствами обучения: ПК с возможностью подключения к локальным сетям и Интернету. Наличие ВТ из расчета один ПК на два студента.

Перечень материально-технического обеспечения дисциплины:

№ п/п	Вид и наименование оборудования	Вид занятий	Краткая характеристика
1.	IBM PC - совместимые персональные компьютеры.	Практические занятия.	Процессор серии не ниже Pentium IV. Оперативная память не менее 512 Мбайт. ПК должны быть объединены локальной сетью с выходом в Интернет.
2.	Мультимедийные средства.	Лекционные и практические занятия.	Демонстрация с ПК электронных презентаций, документов Word, электронных таблиц, графических изображений.

№ работ	Материальное обеспечение лабораторных занятий
---------	---

1	2
	1. Комплект учебного оборудования «Микропроцессорные системы управления электроприводов». 2. Микроконтроллеры фирмы Atmel. 3. Программаторы для микроконтроллеров. 4. Макетная плата для микроконтроллера, датчики различных параметров, средства индикации, шаговые электродвигатели и электродвигатели постоянного тока.

## **9 Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Для студентов с ограниченными возможностями здоровья созданы специальные условия для получения образования. В целях доступности получения высшего образования по образовательным программам инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья университетом обеспечивается:

1. Альтернативная версия официального сайта в сети «Интернет» для слабовидящих;

2. Для инвалидов с нарушениями зрения (слабовидящие, слепые)

- присутствие ассистента, оказывающего обучающемуся необходимую помощь, дублирование вслух справочной информации о расписании учебных занятий; наличие средств для усиления остаточного зрения, брайлевской компьютерной техники, видеоувеличителей, программ не визуального доступа к информации, программ-синтезаторов речи и других технических средств приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями зрения;

- задания для выполнения на экзамене зачитываются ассистентом;

- письменные задания выполняются на бумаге, надиктовываются ассистенту обучающимся;

3. Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху (слабослышащие, глухие):

- на зачете/экзамене присутствует ассистент, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (он помогает занять рабочее место, передвигаться, прочесть и оформить задание, в том числе записывая под диктовку);

- зачет/экзамен проводится в письменной форме;

4. Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, созданы материально-технические условия обеспечивающие возможность беспрепятственного доступа обучающихся в учебные помещения, объекты питания, туалетные и другие помещения университета, а также пребывания в указанных помещениях (наличие расширенных дверных проемов, поручней и других приспособлений).

- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением или надиктовываются ассистенту;

- по желанию студента экзамен проводится в устной форме.

Обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечены электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.