

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Информационно-измерительная техника и технологии»

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА.  
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальностей

1-38 02 01 «Информационно-измерительная техника»,

1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности»,

1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества  
и диагностики состояния объектов»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области приборостроения и обеспечения качества*

Минск  
БНТУ  
2021

УДК 004.312:378.147.091.313 (075.8)

ББК 32.97я7

П78

А в т о р ы :

*Р. И. Воробей, В. А. Микитевич, К. Л. Тявловский,  
А. К. Тявловский, А. И. Свистун*

Р е ц е н з е н т ы :

кафедра физики полупроводников и наноэлектроники БГУ,  
зав. кафедрой *В. Б. Оджеев*;  
доцент *В. С. Колбун*

**П78 Программируемые** цифровые устройства. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-38 02 01 «Информационно-измерительная техника», 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности», 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» / Р. И. Воробей [и др.]. – Минск: БНТУ, 2021. – 43 с.  
ISBN 978-985-583-593-7.

Пособие содержит краткие сведения о требованиях к составу и объему курсового проекта, правилах выполнения курсового проекта по дисциплине «Программируемые цифровые устройства», правила выполнения схем. Пособие может использоваться студентами дневного и заочного отделений специальностей 1-38 02 01 «Информационно-измерительная техника», 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности», 1-38 02 04 «Спортивная инженерия», 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» при курсовом и дипломном проектировании.

УДК 004.312:378.147.091.313 (075.8)

ББК 32.97я7

ISBN 978-985-583-593-7

© Белорусский национальный  
технический университет, 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект (курсовая работа) представляет собой самостоятельную работу студента. Основная задача курсового проекта – привить студенту практические навыки разработки и применения программируемых цифровых устройств и их программного обеспечения, научить студентов обосновывать самостоятельно принимаемое проектное решение. Объектом проектирования является информационно-измерительное, контролирующее либо управляющее устройство, включающее функциональный блок объектовой подсистемы на базе микроконтроллера с соответствующим программным обеспечением, имеющий самостоятельное функциональное значение. Задание по курсовому проектированию формируется так, чтобы студент получил навыки инженерной деятельности, связанной с анализом работы микропроцессорных устройств, разработкой и программированием функциональных блоков.

Первый микроконтроллер Intel 8048 появился в 1976 году, через 5 лет после создания первого микропроцессора. Помимо центрального процессора, на кристалле находились 1 КБайт памяти программ, 64 байта памяти данных, два таймера, генератор часов и 27 линий ввода/вывода. В настоящее время практически нет ни одной области техники, где бы ни применялись микроконтроллеры и другие программируемые устройства.

Для обработки аналоговых сигналов применяются операционные усилители или сигнальные процессоры, схема дополняется узлами на транзисторах. Применение сигнальных процессоров оправдано на относительно низких частотах при повышенных требованиях к функциональности устройства и качеству сигнала (большой динамический диапазон, повышенные требования к частотной избирательности, необходимость реализовать в одном устройстве много блоков и т. д.).

Для реализации быстродействующих цифровых устройств (в том числе и предназначенных для обработки аналоговых сигналов) в технике измерений и контроля применяются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Если же требуется построить малогабаритное устройство с достаточно сложным алгоритмом работы, то безальтернативным решением является устройство, спроектированное на основе микроконтроллера (МК).

## 1. ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В процессе курсового проектирования выполняются следующие виды работ:

1. Анализ задания и подготовка технического задания на разработку устройства, обоснование выбора варианта реализации разрабатываемого устройства.
2. Выбор компонентов, разработка схемных решений и конструкторские расчеты.
3. Составление алгоритмов функционирования проектируемого устройства с учетом возможных исключительных ситуаций его работы.
4. Составление и отладка управляющей программы.
5. Оценка технических характеристик созданного устройства.

Тема курсового проекта назначается преподавателем. Тема проекта – это название устройства (прибора), который требуется разработать. Например, «Система охранной сигнализации на базе микропроцессора AVR». Объектами проектирования могут быть измерительные, контрольные, регулирующие и управляющие электронные устройства или их составные части.

Пояснительная записка должна быть сброшюрована, иметь обложку и титульный лист, оформленные в соответствии со стандартом предприятия СТП БНТУ 3.01-2003 Курсовое проектирование.

Все части пояснительной записки излагаются только на одном языке – русском или белорусском.

Пояснительная записка печатается на одной стороне листа формата А4 (210×297 мм). Поля: правое – 10 мм, левое – 30 мм, верхнее и нижнее – по 20 мм. Текст набирается шрифтом Times New Roman размером 14 пунктов (заглавия – полужирным начертанием). Для листингов программ – Courier New размером не менее 10 пунктов. Шрифты разной гарнитуры, выделение текста с помощью рамок, разрядки, подчеркивания рассматриваются как недочеты оформления. Межстрочный интервал следует выбирать из расчета размещения  $40 \pm 2$  строки текста на листе (значение интервала 1,5 или 1,15). Абзацы в тексте начинают отступом, равным 1 см. Листы пояснительной записки должны иметь сквозную нумерацию, т. е. нумеруются все листы между обложкой, но номер (1) на титульном

листе не ставится – он как бы печатается «белым». Оформление пояснительной записки должно удовлетворять требованиям оформления Отчета о научно-исследовательской работе (ГОСТ 7.32-2001).

Пояснительная записка должна содержать разделы, перечисленные в табл. 1. Разделы в пояснительной записке представлены двумя типами: нумерованные (Содержание, Введение, Заключение и т. п.) и нумерованные (1 Обзор литературы, 2 Выбор элементной базы и т. д.). Нумерованные разделы обязательны и их названия не изменяются. Нумерованные разделы имеют названия, обусловленные темой конкретного курсового проекта, например, не «3 Схемотехническая часть», а «3 Схема базового блока системы охранной сигнализации на основе МК типа MSP-430». Состав и наименования нумерованных разделов согласуются с руководителем проекта.

Таблица 1

Разделы пояснительной записки

Раздел	Рекомендуемый объем, содержание раздела
1	2
Титульный лист	Содержит титульные сведения о проекте с подписями исполнителя и руководителя
Задание на курсовой проект	Оформляется преподавателем на двух сторонах одного листа. Включает тему задания, например, «Система сигнализации на базе микропроцессора PIC16» Исходные данные для проектирования – это уточняющие требования, конкретизирующие область возможных технических решений. Например: - Микроконтроллер семейства PIC16, 16 шлейфов, АЦП - TLC545. - Система-прототип: Alligator (Корякин-Черняк, С. Автосигнализации от А до Z / С. Корякин-Черняк. – СПб.: Наука и Техника, 2002. – С. 12)
Техническое задание	Разрабатывается студентом на первой стадии курсового проектирования и утверждается руководителем проекта. В пояснительной записке оформляется как Приложение А

1	2
Содержание	1 лист. Рекомендуется для создания и оформления содержания использовать стили <i>Word</i> и автоматическое оформление содержания со ссылками на заголовки до 3-го уровня
Введение	1...2 листа. Актуальность темы задания, характеристика области применения. Завершается фразой «Целью проекта является разработка ...»
1 Обзор литературы	7...9 листов. Назначение и область применения разрабатываемого устройства (программы). Анализ предметной области разработки, существующих технических решений и выбор оптимального решения, отвечающего требованиям задания. Приводимые по тексту сведения и решения должны сопровождаться ссылками на источник. Далее ссылками на источник сопровождаются все заимствованные сведения
2 Выбор элементной базы. Обоснование выбора	7...9 листов. Описание электронных компонентов, использованных при разработке электрической схемы, в том числе компонентов, определенных заданием. Рекомендуемое содержание: обоснование выбора основных активных электронных компонентов устройства, анализ архитектуры и функциональной схемы, расположение выводов (цоколевка) компонента, назначение выводов, рабочие параметры, типовые схемы включения (относящиеся к примененному схемному решению), временные диаграммы работы. Простые компоненты (резисторы, конденсаторы), не являющиеся уникальными либо прецизионными, описываются кратко: одним-двумя предложениями, обычно включающими такие параметры, как рассеиваемая мощность, напряжение пробоя, полоса рабочих частот, ТКС, ТКЕ.

1	2
	<p>Не рекомендуется приводить подробные описания микропроцессоров, их систем команд, общеизвестных интерфейсов обмена данными, правил монтажа и т. п. Достаточно ограничиться краткой характеристикой со ссылкой на литературу</p>
3 Схемотехническая часть	<p>2...6 листов. Описание электронной схемы и ее функционирования. Для всех компонентов схемы должно быть приведено их буквенно-цифровое обозначение, наименование, дано пояснение их функционального назначения в схеме.</p> <p>Рекомендуется пояснять работу схемы временными диаграммами состояний ее узлов, таблицами переходов и т. д.</p> <p>Приводится расчет параметров функционального узла (быстродействие, оценка потребляемой мощности).</p> <p>Выполняется анализ достоинств и недостатков (ограничений области применения) устройства</p>
4 Программная часть	<p>2...6 листов. Описание разработанных алгоритмов и программ.</p> <p>Для всех блоков разработанных алгоритмов приводится расширенный комментарий с указанием номера блока в алгоритме.</p> <p>Рекомендуется указывать программные средства (среду), использованную при разработке, включая их версии и названия фирм-разработчиков.</p> <p>В качестве расчетной части используется анализ времени выполнения программы (подпрограмм), объем кода, место, занимаемое программой в ПЗУ микроконтроллера.</p> <p><b>ВНИМАНИЕ!</b> Алгоритмы функционирования устройства представляются в качестве графического материала в приложении. Листинги программ приводятся в приложении</p>

1	2
Заключение	1 лист. Содержит перечень разработанных документов (с указанием их обозначений), оценку реализованности технических параметров проекта в соответствии с параметрами технического задания, перспективы ее применения.
Список использованных источников	<p>1...2 листа. Перечень использованных источников оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-84 «Библиографическое описание документа» и состоит из элементов:</p> <p>Источник – это книга, журнал и т. п.</p> <p>Ссылки на сайты Интернета и имена файлов допустимо использовать только как дополнение к названию документа.</p> <p>Например:</p> <p>MSC1210. Precision Analog-to-Digital Converter (ADC) with 8051 Microcontroller and Flash Memory / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <a href="http://tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=683">http://tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=683</a>. – Дата доступа 27. 10. 2019 г.</p> <p>Примеры неверных ссылок:</p> <p><a href="http://www.gaw.ru">www.gaw.ru</a>,</p> <p><a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a>,</p> <p><a href="file://localhost/H:/iitt/employees_sidorov.htm">file://localhost/H:/iitt/employees_sidorov.htm</a></p>

При приведении в пояснительной записке теоретических или справочных сведений обязательно приводится ссылка на источник (номер ссылки в квадратных скобках – [11]). Все источники нумеруются и приводятся в порядке их упоминания в тексте пояснительной записки. Список использованных источников оформляется отдельным разделом. Использование заимствованных сведений без ссылок является плагиатом, свидетельствует о несамостоятельном выполнении работы, и служит основанием для недопуска курсового проекта (работы) к защите или ликвидации результатов защиты проекта с выставлением оценки 2 (два).



Приложения (табл. 2) включают техническое задание, функциональную и принципиальную электрические схемы устройства с перечнем элементов, алгоритмы функционирования устройства и листинги разработанных программ. Все материалы проекта представляются также в электронном виде на носителе информации (лазерный CD-R или DVD-R диск). Кроме непосредственных материалов проекта на лазерном диске представляется также презентация проекта. Перечень всех электронных материалов, размещенных на носителе, с указанием программных приложений, в которых они были созданы, расширений, объема, приводится в отдельном приложении.

Таблица 2

Приложения

Раздел	Рекомендуемый объем, содержание
1	2
Техническое задание	Разрабатывается студентом на первой стадии проектирования и согласуется с руководителем проекта
Функциональная и принципиальная электрические схемы	<p>Минимальный формат для принципиальной схемы – А3. Руководствоваться ГОСТ 2.702-75 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем. ГОСТ 2.709-81 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники. ГОСТ 2.710-81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.</p> <p>Условные графические обозначения в электрических схемах приведены в ГОСТ 2.721-74, ГОСТ 2.728-74, ГОСТ 2.730-73, ГОСТ 2.743-91, ГОСТ 2.755-87, ГОСТ 2.759-82, ГОСТ 2.764-86.</p> <p>Для всех входных и выходных цепей должны использоваться разъемы (не допускаются цепи, подключаемые к схеме путем «припаивания» или «накрутки»). Расстояние между линиями схемы должно быть не менее 5 мм.</p> <p>По возможности следует использовать только горизонтальные и вертикальные линии для цепей и компонентов.</p>

1	2
	Высота текста – не менее 3 мм. Рекомендуется минимизировать требования к поступающему на схему питанию (например, переменное напряжение 9 Вольт), размещая на схеме стабилизаторы, аккумуляторы сетевые фильтры и т. п.
Перечень элементов	Перечень элементов является составной частью принципиальной электрической схемы, что должно быть отражено в нумерации его листов
Алгоритмы функционирования устройства	При выполнении алгоритмов отдельные функции алгоритмов изображаются в виде графических обозначений – символов по ГОСТ 19.003-80. Алгоритм и программу рекомендуется структурировать (разбивать на смысловые блоки); особое внимание уделять разработке программного взаимодействия микропроцессора с компонентами, приведенными в исходных данных задания
Листинги программ	Рекомендуется приводить листинг (результат работы компилятора), а не исходный текст программы
Электронные материалы	Приводятся на носителе информации (лазерный CD-R или DVD-R диск)

Титульный лист содержит сведения о проекте с подписями исполнителя и руководителя, заверяется подписью заведующего кафедрой. Подпись руководителя ставится после проверки материалов проекта и свидетельствует о допуске проекта к защите. После защиты на титульном листе проставляется оценка результатов защиты проекта с подписями членов комиссии по приемке.

### 1.1. Примерная тематика проектов

Тематика курсовых проектов предполагает разработку структурных, функциональных, принципиальных электрических схем и алгоритмов работы устройства. В качестве объектов проектирования

могут выступать средства измерений различных физических величин на основе микроконтроллера, контрольные устройства, устройства охранной или пожарной сигнализации. Например, далее приведен примерный перечень тем курсовых проектов по дисциплине «Программируемые цифровые устройства»:

1. Функциональный DDS-генератор (Форма сигнала: 8 типов функций; Диапазон перестройки частоты 10 Гц – 50 кГц).

2. Устройство стабилизации яркости источника света с галогенной лампой (Мощность нагрузки – 300 Вт; У лампы – АС, 230 В, 50 Гц).

3. Устройство стабилизации яркости источника света с мощным светодиодом ( $P = 10$  Вт).

4. Термометр-термостат (Диапазон регулирования и измерения температуры: 0–95 °С; Погрешность регулирования не хуже 0,5 °С).

5. Реверсивный счетчик с энкодером (Диапазон счета  $\pm 9999$ ; Скорость счета не более 10 имп/с).

6. Реверсивный счетчик с оптоэлектронным датчиком (Диапазон счета  $\pm 9999$ ; Скорость счета не более  $10^3$  имп/с; Индикация в об/мин).

7. Устройство ввода аналоговых сигналов в ПК.

8. Двухканальный вольтметр.

9. Вольтметр с усреднением значений отсчетов (Интервал усреднения задается числом отсчетов или числом полных периодов входного сигнала).

10. Цифровой самописец (Число каналов регистрации – 4; Запись данных – SD-карта; Вывод информации – графический ЖКД).

11. Цифровой характериограф (Анализируемые параметры: U, I).

12. Измеритель угла поворота с датчиком Грея (Разрядность датчика – 7).

13. Измеритель линейных перемещений с индуктивным датчиком.

14. Измеритель интенсивности ионизирующего излучения.

15. Узел управления шаговым двигателем.

16. Люксметр.

17. Датчик приближения 0,1–2 мм.

18. Измеритель угловых перемещений.

В задании на курсовое проектирование указывается вид измеряемой физической величины или тип датчика, семейство микроконтроллеров, а также формат выходного сигнала (вид внешнего интерфейса) проектируемого устройства. Кроме того, задаются числовые

значения основных характеристик устройства, такие как напряжение питания, диапазон измерения, погрешность измерения, быстродействие, эксплуатационные характеристики и т. п.

Задания на курсовое проектирование легко варьировать изменением основных параметров устройства. Например, в различных заданиях с одним названием можно указать семейство микроконтроллера, на котором будет проектироваться устройство. Для проекта «Термометр-термостат» совершенно другая реализация будет при указании диапазона термостатирования 150–450 °С, и еще другая для термостата отрицательных температур – другие датчики, другие исполнительные устройства, другие программы.

## 1.2. Разработка технического задания

Техническое задание разрабатывается студентом на первой стадии проектирования и согласуется с руководителем проекта. В техническом задании (ТЗ) указываются основные характеристики проекта (сроки выполнения этапов, исполнитель и др.), объекта проектирования, области его применения. Техническое задание оформляется в виде обязательного приложения пояснительной записки – Приложение А. Техническое задание должно иметь титульный лист, оформленный в соответствии с образцом, приведенном на рис. 1.1, который после проверки и устранения замечаний подписывается руководителем.

Техническое задание должно включать следующие разделы:

**1. Наименование и область применения (использования) продукции:** описывается, где и для чего должно применяться проектируемое изделие, например: *Система измерения температуры с цифровой индикацией и системой звуковой сигнализации предназначена для измерения температуры в жилых и производственных помещениях и, в случае обнаружения превышения температуры окружающей среды выше заданного уровня, выдачи тревожных извещений в виде звуковых сигналов.*

**2. Разработчик:** студент гр. \_\_\_\_\_ Фамилия Имя Отчество.

**3. Основание для разработки:** задание на курсовой проект от ... (указывается дата утверждения задания).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Приборостроительный факультет

Кафедра «Информационно – измерительная техника и технологии»

Курсовой проект

по дисциплине

Программируемые цифровые устройства в ИИТ

Люксметр

Техническое задание

БНТУ 11303115.006 ТЗ

Разработал студент  
гр. 11303115

\_\_\_\_\_ А.О. Гаврош

Руководитель КП

\_\_\_\_\_ К.Л. Тявловский  
к.ф.-м.н., доцент

подпись

Минск 2020

Рис. 1.1. Пример выполнения титульного листа ТЗ

#### **4. Технические требования:**

**4.1. Требования назначения:** описываются основные технические характеристики изделия, которые должны быть учтены при разработке проекта. Все числовые характеристики (кроме счетных величин) должны задаваться с допуском «от... до...», «не более», «не менее» или « $X \pm Y$ ».

Пример: Изделие рассчитано на непрерывную круглосуточную работу и применяются в закрытых помещениях жилых и производственных зданий и сооружений автономно или совместно с приемно-контрольными приборами.

*4.1.1. Пределы измерения температуры – от 0 °С до плюс 70 °С.*

*4.1.2. Погрешность измерения температуры –  $\pm 1$  %.*

*4.1.3. Температура срабатывания звуковой сигнализации – плюс  $(55 \pm 1)$  °С.*

*4.1.4. Уровень громкости звукового сигнала «Пожар» на расстоянии 1 м от извещателя – не менее 90 дБ.*

*4.1.5. Цифровой вывод информации – по протоколу RS232 и т. д.*

**4.2. Требования совместимости:** оговаривается возможность совместной работы проектируемого устройства с другими устройствами и системами.

Пример: Система имеет возможность работать как автономно, так и в группе, при объединении их соединительной линией (шлейфом). Кроме этого, система позволяет включаться в шлейф ПКП для формирования в линии сигнала «Пожар».

**4.3. Требования к взаимозаменяемости и унификации:** задаются в общем виде.

Пример: *Изделие должно иметь следующие возможности:*

– *взаимозаменяемость с изделиями той же серии;*

– *задание новых режимов работы системы путем внутрисхемного программирования управляющего блока.*

**4.4. Условия эксплуатации (использования), требования к техническому обслуживанию и ремонту (при необходимости):** указываются (с допусками) числовые значения влияющих факторов.

Пример:

*4.4.1. Напряжение питания – от 3 В до 5,5 В.*

*4.4.2. Ток потребления в режиме индикации времени – не более 20 мА.*

4.4.3. Ток потребления в режиме звуковой сигнализации – не более 50 мА.

4.4.4. Часы должны выдерживать условия эксплуатации, соответствующие умеренно-холодному климату:

- а) влажность до 95 % при температуре 25 °С;
- б) диапазон рабочих температур от –20 до +40 °С.

**5. Экономические показатели:** описываются обобщенно, поскольку в проекте не рассчитываются.

Пример: стоимость разработки должна быть минимальна (при этом студент должен озаботиться применением дешевых компонентов).

**6. Стадии и этапы разработки:** указываются в соответствии с заданием на курсовое проектирование.

Пример:

6.1. Разработка технического задания	15.02.2021 г.
6.2. Обзор литературы	24.02.2021 г.
6.3. Выбор элементной базы	01.04.2021 г.
6.4. Схемотехническая часть	05.04.2021 г.
6.5. Программная часть	15.04.2021 г.
6.6. Оценка характеристик устройства	25.04.2021 г.
6.7. Графический материал	30.04.2021 г.
6.8. Расчетно-пояснительная записка	05.05.2021 г.
6.9. Защита проекта	15.05.2021 г.

### **1.3. Особенности проектирования узлов на программируемых цифровых устройствах**

Если при написании программы для универсального компьютера, такого как IBM PC, можно не задумываться о схеме, так как она стандартная, то перед написанием программы для микроконтроллера необходимо разработать схему устройства, в состав которого будет входить микроконтроллер. Мельчайшие изменения в принципиальной схеме устройства (изменение номеров выводов МК, к которым подключены периферийные устройства) приводят к изменению программы, написанной для этого устройства.

При разработке схемы не стоит забывать о том, что некоторые решения легко реализуются схемотехнически, но при этом могут потребовать очень сложных программных решений или чрезвычай-

но высоких требований к производительности микроконтроллера. И наоборот, элементарное программное решение может быть эквивалентно крайне сложному схемному решению. Поэтому очень важно правильно разделять программную и аппаратурную часть реализации алгоритма работы разрабатываемого устройства.

При разделении аппаратурной и программной части устройства необходимо правильно выбирать конкретный тип микроконтроллера. Ведь в одних микросхемах присутствуют блоки, отсутствующие в других. При этом в случае разработки серийного устройства приходится учитывать возможность прекращения выпуска выбранного типа микросхем. С этой точки зрения лучше выбирать микроконтроллеры, выпускаемые как можно большим числом фирм-производителей микросхем.

Между подсистемами с различными напряжениями питания требуется использование согласующих устройств. С одной стороны, это обусловлено тем, что низкоуровневые схемы могут не обеспечить переключение высокоуровневых из-за того, что порог переключения может быть выше или сравним с уровнем логической 1 низкоуровневой части схемы, с другой – из-за электрической перегрузки входов низкоуровневых схем выходным напряжением высокоуровневых. При этом быстродействие всей системы должно быть сохранено или, в худшем случае, должно снизиться незначительно. Поэтому использование выходов с подтягивающими резисторами нежелательно.

Современные системы обработки данных обычно содержат в себе устройства со смешанными сигналами (mixed-signal devices), такие как АЦП, ЦАП, а также быстродействующие цифровые сигнальные процессоры (DSP). Обработка аналоговых сигналов требует большого динамического диапазона, поэтому возрастает роль высокопроизводительных АЦП. Обеспечение широкого динамического диапазона с низкими шумами в цифровом окружении возможно только при использовании эффективных приемов проектирования высокоскоростных схем: технически грамотную трассировку сигнала, развязку и заземление.

Заземляющие поверхности позволяют передавать высокоскоростные цифровые и аналоговые сигналы. Использование провода в качестве заземления неприемлемо из-за его импеданса на частоте, соответствующей скорости переключения большинства схем. Например, провод диаметром 0,64 мм обладает индуктивностью около



8 нГн/см. Проходящий по этому проводу ток цифрового сигнала со скоростью нарастания 10 мА/нс будет создавать импульс напряжения величиной в 80 мВ на 1 см провода. Даже в полностью цифровых схемах эта ошибка будет означать значительное уменьшение запаса помехоустойчивости

Одним из средств размыкания паразитных контуров заземления является использование изолирующих методов. Методы цифровой изоляции через оптроны обеспечивают надежный способ передачи цифрового сигнала через интерфейс, не вызывающий помех на заземлении.

### ***1.3.1. Минимальная обязанка микроконтроллера***

Особенность разработки микропроцессорных устройств заключается в том, что большая часть схемы является стандартизованной. Как и любая микросхема, микроконтроллер требует подключения питания. Однако в состав микроконтроллера входит генератор и множество цифровых узлов, работающих на высокой частоте, поэтому микроконтроллер является источником помех. Для подавления помех по цепям питания обязательно нужно поставить конденсатор. В качестве индуктивности этого фильтра обычно используется паразитная индуктивность проводника, по которому подводится питание. Конденсатор нужно использовать высокочастотный (безындуктивный) керамический или стеклокерамический и располагать его как можно ближе к выводам микросхемы.

Следующей важной частью схемы включения микроконтроллера является задающий генератор. Обычно в справочных данных на микросхему приводится типовая схема включения генератора. Однако при отладке схемы могут возникнуть трудности запуска генератора. Например, генератор может не запускаться при пониженных температурах. В этом случае типовая схема может быть изменена в соответствии с общими принципами разработки генераторов.

Для правильной работы микроконтроллера при включении питания необходимо осуществить сброс микросхемы. В типовых схемах подключения микроконтроллеров обычно в качестве схемы сброса при включении питания используется конденсатор. Однако, при плавном нарастании напряжения питания, напряжения на выходе конденсатора может оказаться недостаточно для надежного сброса микроконтроллера. Для надежного запуска МК при включении питания

схема дополняется специальной микросхемой супервизора питания (рис. 1.2), которая обеспечивает начальный сброс и сброс микроконтроллера при уменьшении напряжения питания ниже допустимого уровня.

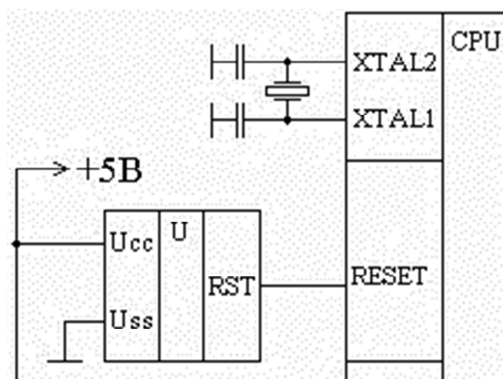


Рис. 1.2. Схема тактирования и сброса микроконтроллера

Питание контроллера делится на цифровую часть ( $V_{CC}$ , GND) и аналоговую ( $AV_{CC}$ , AGND). Обычно можно смело объединить  $V_{CC}$  с  $AV_{CC}$  и GND с AGND. В контроллере также присутствует вывод  $A_{REF}$ . Напряжение, присутствующее на данном выводе, будет задавать опорное напряжение для аналоговых входов (АЦП). Если данный вывод ни к чему не подключен (на платах Arduino), то контроллер автоматически (по умолчанию) задает значение опорного напряжения равное 5 вольтам. Для фильтрации ВЧ помех рекомендуется установить конденсатор емкостью 0,1 мкФ между питанием контроллера и землей.

### ***1.3.2. Стандартные интерфейсы МК***

Связь с внешним миром в контроллерах ATmega8, 168, 328 представлена 3 видами интерфейсов.

I<sup>2</sup>C (англ. Inter-Integrated Circuit) – последовательная шина данных для связи интегральных схем, использующая две двунаправленные линии связи (SDA и SCL). Используется для соединения низкоскоростных периферийных компонентов с материнской платой, встраиваемыми системами и мобильными телефонами.

UART (англ. Universal Asynchronous Receiver-Transmitter – узел вычислительных устройств, предназначенный для связи с другими цифровыми устройствами. Преобразует заданный набор данных в последовательный вид так, чтобы было возможно передать их по однопроводной цифровой линии другому аналогичному устройству. Метод преобразования хорошо стандартизован и широко применяется в компьютерной технике.

SPI (англ. Serial Peripheral Interface, SPI bus – последовательный периферийный интерфейс, шина SPI) – последовательный синхронный стандарт передачи данных в режиме полного дуплекса, разработанный компанией Motorola для обеспечения простого и недорогого сопряжения микроконтроллеров и периферии. SPI также иногда называют четырехпроводным (англ. four-wire) интерфейсом.

### ***1.3.3. Приоритет выводов***

Казалось бы, если стоит задача управлять модулем реле, как известно он управляется цифровым выводом, то проблема отсутствует. К примеру, на плате Arduino UNO их 14, значит можно присоединить к любому. Выбираем пин 0. С одной стороны, это верно, устройство будет работать. Но если появится необходимость управлять нашим реле дистанционно, к примеру, через «блютуз», то тут и возникает проблема, так как он работает по интерфейсу UART, а это цифровые пины 0 и 1. Значит возникнет необходимость их переподключать и искать свободные выводы и исправления.

В связи с этим перед началом разработки было бы очень хорошо понимать какие выводы у нас приоритетные, т. е. могут быть задействованы для передачи данных, управления сервоприводами и т. д., а какие просто «пустышки», способные выполнять только основные универсальные функции цифровых или аналоговых пинов.

В категорию «неприкасаемых, пока есть другие свободные» следует отнести выводы, отвечающие за интерфейсы.

Не всегда можно называть «пустышками» и выводы D2 и D3 на Atmega 328. На них можно подключать внешние аппаратные прерывания. Так что если в проекте предполагается использовать прерывания, то выводы D2 и D3 также можно отнести в резерв.

Еще одно полезное замечание. Все аналоговые входы могут работать и как цифровые выходы, и их инициализация и работа абсолютно идентичны.

### *1.3.4. Выбор и обоснование элементной базы*

Очень часто студенты при выполнении курсового проекта приводят перечень использованных элементов без какого-либо обоснования. Такой выбор выглядит как случайное решение, а иногда им и является. Ключевым моментом при выполнении данных частей курсового проекта является обоснование. В настоящее время существуют тысячи электронных элементов с одинаковым функциональным назначением, но с несколькими отличающимися параметрами, определяющими пригодность их применения в конкретном приложении. Неправильный выбор может привести к невозможности реализации параметров технического задания или даже к неработоспособности устройства. Поэтому обоснование выбора элементной базы является одним из ключевых моментов выполнения учебного проекта, и определяет оценку проекта в целом.

Обоснование выбора электронных компонентов устройства может выглядеть, например, следующим образом.

«В данном устройстве информация о давлении в разных частях химического реактора и температуре должна выводиться одновременно. С учетом этого выбран ЖКИ-модуль DV-16210NRB/R, который имеет две строки по 16 разрядов в каждой строке.

Датчик давления в рассматриваемом устройстве должен отвечать следующим критериям:

1. Датчик должен иметь стандартный выходной сигнал в диапазоне значений от 0,2 В до 4,8 В, что обеспечивает непосредственное соединение датчика с микроконтроллером.
2. Датчик должен измерять относительное давление (относительно атмосферного).
3. Максимальное измеряемое давление должно лежать в пределах от 30 кПа до 50 кПа, так как требуемый диапазон измерения давления составляет от 0 до 900 мм рт. ст.

Принимая во внимание эти основные требования, выбран датчик давления фирмы MOTOROLA типа MPX5050DP.

Выбор микроконтроллера произведен с учетом следующих требований:

1. Линий ввода-вывода должно быть не менее 15, т. к. 11 линий необходимо для работы с индикатором, а две линии для работы с сигналами, поступающими от датчика давления, и две от датчика температуры.

Микроконтроллер должен иметь встроенный АЦП для работы с аналоговыми сигналами, поступающими от датчика давления MPX5050DP на входы АЦП микроконтроллера.

Принимая во внимание эти два требования, был выбран микроконтроллер фирмы ATMEL семейства At Mega 328.

Естественно, для каждого из типов элементов при их выборе должен рассматриваться свой набор параметров. При этом для разных устройств (тем курсовых проектов) выбор даже одного типа элемента будет зависеть от разной группы параметров. Например, при выборе резистора для одних устройств это будет только требование минимальных размеров (подтягивающие сопротивления), для других – минимальные шумы (цепь обратной связи в усилителе сигнала датчика) или высокое рабочее напряжение (исполнительное устройство в сети 230 В).

Так как RISC-микроконтроллеры выполняют одну команду за один такт, то производители провозглашают однозначное превосходство RISC-процессоров над CISC-процессорами, однако при выборе процессора нужно учитывать все параметры в целом. Обычно тактовая частота RISC-процессора ниже по сравнению с CISC-процессором. Для выполнения одной и той же процедуры для RISC-процессора может потребоваться большее число команд, следовательно, время на выполнение RISC-контроллером последовательности нескольких коротких команд, эквивалентных одной «длинной» команде CISC-процессора, может сравняться или даже превысить время выполнения «длинной» команды CISC-процессора. Разрядность команды RISC-процессора может оказаться выше, чем у CISC-процессора (что чаще всего и бывает). В результате общий объем исполняемой программы для RISC-процессора превысит объем подобной программы для CISC-процессора. Это ведет к повышенным требованиям к объему ПЗУ. Поэтому общая производительность микропроцессорной системы, построенной на RISC-процессоре, может оказаться той же или ниже по сравнению с микропроцессорной системой, построенной на CISC-микропроцессоре. Все зависит от направленности программы (задача управления, математическая обработка, работа в мультипроцессорной системе и т. д.) и относительной доле «длинных» команд в программе и др.

## 2. ВЫПОЛНЕНИЕ СХЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Схемы выполняют без соблюдения масштаба и действительного пространственного расположения составных частей изделия. Необходимое количество типов схем, разрабатываемых на проектируемое изделие, а также количество схем каждого типа определяется разработчиком в зависимости от особенностей изделия, и согласуется с руководителем проекта. Комплект схем должен быть по возможности минимальным, но содержать сведения в объеме, достаточном для проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта изделия. Схему разрешается выполнять на нескольких листах.

В зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия, схемы имеют следующие буквенные коды:

Наименование схемы	Буквенный код схемы
Электрические	Э
Гидравлические	Г
Пневматические	П
Газовые (кроме пневматических)	Х
Кинематические	К
Вакуумные	В
Оптические	Л
Деления	Е
Комбинированные	С

Под комбинированной схемой понимается один конструкторский документ, на котором выполнены схемы двух или более видов, выпущенные на одно изделие. Например, схема электрогидравлическая.

В зависимости от основного назначения типы схем имеют следующие цифровые коды:

Наименование схемы	Цифровой код схемы
Структурные	1
Функциональные	2
Принципиальные (полные)	3
Соединений (монтажные)	4
Подключения	5
Общие	6
Расположения	7
Объединенные	0

Код схемы состоит из буквы, определяющей вид схемы, и цифры, обозначающей тип схемы, например, Э3 – схема электрическая принципиальная, Э4 – схема электрическая соединений.

Схемы электрические должны изображаться согласно требованиям ЕСКД: ГОСТ 2.743-82, ГОСТ 2.708-81, ГОСТ 2.701-84 и т. д.

Объединенная схема в одном конструкторском документе совмещает схемы двух или нескольких типов, выпущенных на одно устройство, например, схема структурная, принципиальная и соединений.

Допускается разрабатывать совмещенные схемы, если на схеме одного типа помещают сведения, характерные для схемы другого типа, например, на схеме соединений изделия показывают его внешние подключения.

При необходимости допускается разрабатывать схемы прочих типов. К схемам выпускают в виде самостоятельных документов таблицы, содержащие сведения о расположении устройств, соединениях, местах подключения и др. Таким документам присваивают код, состоящий из буквы Т и кода соответствующей схемы. Например, код таблицы соединений к электрической принципиальной схеме – ТЭ3.

Полное обозначение схемы на изделие, например, электрической функциональной, имеет следующий вид: **АБВГ ХХХХХХ.ХХХ Э2.**

## **2.1. Структурная схема устройства**

Структурная и функциональная схемы являются первой моделью электронного устройства. Структурная схема определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Структурные схемы разрабатывают при проектировании изделий (установок) на стадиях, предшествующих разработке схем других типов. Их используют для общего ознакомления с изделием. Достоинством структурной схемы при изучении ЭУ является то, что по ней можно быстро получить представление о составе, структуре и выполняемой им функции (функциях), не отвлекая внимания на схемную реализацию его функциональных частей (рис. 2.1).

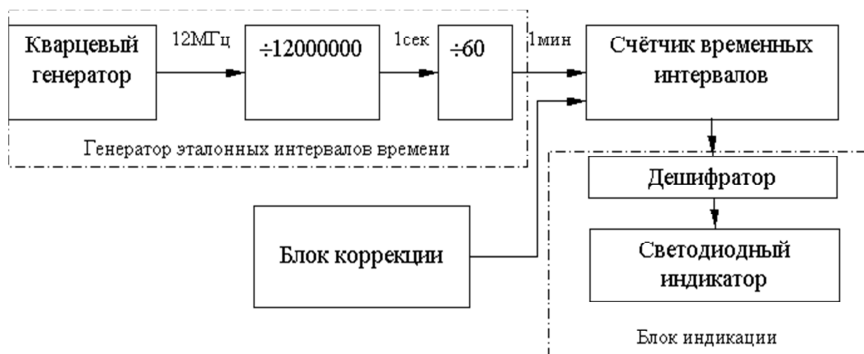


Рис. 2.1. Структурная схема таймера

## 2.2. Функциональная схема устройства

Схема электрическая функциональная является одним из основных чертежей проекта, который служит для разъяснения процессов, протекающих в отдельных функциональных цепях изделия, дает детальное представление о работе устройства в целом и отображает все цепи, задействованные для передачи цифровых и аналоговых сигналов. На линиях взаимосвязи рекомендуется стрелками указывать направления действия сигналов или потоков энергии. Такие схемы используют для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, контроле и ремонте в процессе эксплуатации.

Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей устройства. При этом в основных полях УГО опускаются наименования компонентов, т. к. на этом этапе разработки они еще не определены, опускаются цифры, обозначающие номера выводов микросхем.

При разработке схемы устройства основное внимание уделяется сопряжению микроконтроллера с первичным преобразователем, исполнительными устройствами и заданным интерфейсом. Такие вопросы, как разработка и расчет источника питания или экономическая целесообразность выбора той или иной элементной базы в данном курсовом проекте являются второстепенными, и при необходимости для них могут быть использованы типовые решения без подтверждения расчетами. В то же время параметры основной части схемы, обеспечивающей сопряжение ее основных элементов



и узлов, и в особенности метрологические характеристики устройства, должны быть в обязательном порядке обоснованы расчетом либо ссылкой на справочную литературу.

### 2.3. Схема электрическая принципиальная

Схема электрическая принципиальная является основным чертежом проекта, по которому в дальнейшем изготавливаются чертежи печатных плат и, в конечном счете, само устройство. Принципиальная схема определяет полный состав элементов и связей между ними и дает детальное представление о принципах работы изделия. Все микросхемы и электронные компоненты должны изображаться в виде УГО (рис. 2.2).

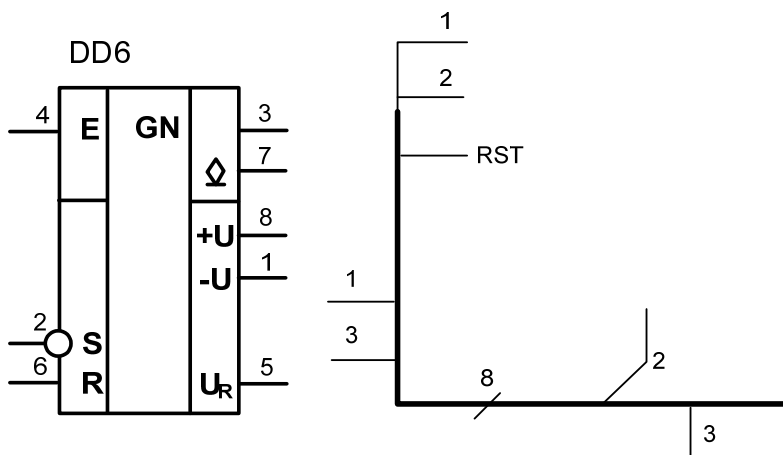


Рис. 2.2. Изображения УГО микросхем и линии групповой связи (шины)

По возможности линии связи объединяются в шины (рис. 2.2). Рекомендуется формировать шины в соответствии с функциональным назначением цепей. Если необходимо подчеркнуть назначение шин, они могут именоваться. Линии связи, входящей в шину, присваивается уникальный в пределах шины числовой номер. Вместо цифр могут использоваться буквы или функциональное назначение линии. Отводы линий могут быть выполнены не только под прямым углом, но и с наклоном кратным  $45^\circ$ . В этом случае направление примыкания указывает на направление прохождения данной линии

в линии групповой связи. Если на групповой линии имеется короткая косая засечка, то цифра рядом с ней отображает число линий в групповой линии или разрядность цифровой шины.

Минимальное расстояние между соседними линиями, отходящими от групповой в разные стороны, должно быть не менее 2 мм. Линии, выходящие из конца линии групповой связи, изображают линиями нормальной толщины.

#### **2.4. Схемы монтажные, подключения, расположения**

Схема соединений (монтажная) показывает соединения составных частей изделия (установки) и определяет провода, жгуты, кабели, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т. п.). Схематическими соединениями пользуются при разработке чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов, кабелей или трубопроводов в изделии. Схемы используют также при контроле, эксплуатации и ремонте изделий (установок) в процессе эксплуатации.

Схема подключения показывает внешние подключения изделия. Схематическими подключениями пользуются при разработке других конструкторских документов, а также для осуществления подключений изделий и при их эксплуатации. Общая схема определяет составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации. Схематическими подключениями пользуются при ознакомлении с комплексами, а также при их контроле и эксплуатации.

Схема расположения определяет относительное расположение составных частей устройства, а при необходимости и проводов, жгутов, кабелей, трубопроводов и т. п. Схематическими расположениями пользуются при разработке других конструкторских документов, а также при эксплуатации и ремонте.

#### **2.5. Выполнение блок-схемы алгоритма программы**

Программирование микроконтроллеров является неотъемлемой частью разработки электронного устройства. На данном этапе развития электроники наиболее популярны микроконтроллеры PIC, MSP, AVR, STM, ARM (процессор). Для каждого вида МК существует узконаправленная среда программирования. Это связано с внутренней структурой МК и технического обеспечения записи про-

граммы в память МК. Алгоритм и программу можно разрабатывать одновременно. Правила выполнения схем алгоритмов, программ, данных и систем регламентируются ГОСТ 19.701-90 «Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения».

Схемы программ (алгоритмов программ) отображают последовательность операций в программе.

Схема программы состоит из:

1) символов процесса, указывающих фактически операции обработки данных (включая символы, определяющие путь, которого следует придерживаться с учетом логических условий);

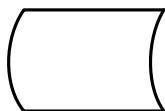
2) линейных символов, указывающих поток управления;

3) специальных символов, используемых для облегчения написания и чтения схемы.

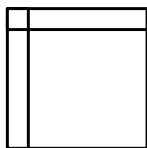
#### *Символы данных*



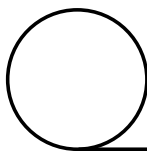
Данные – символ отображает данные, носитель данных не определен.



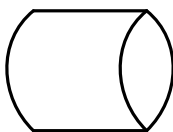
Запоминаемые данные – символ отображает хранящиеся данные в виде, пригодном для обработки, носитель данных не определен.



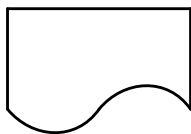
Оперативное запоминающее устройство – символ отображает данные, хранящиеся в оперативном запоминающем устройстве.



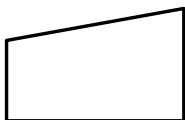
Запоминающее устройство с последовательным доступом – символ отображает данные, хранящиеся в запоминающем устройстве с последовательным доступом (магнитная лента, кассета с магнитной лентой, магнитофонная кассета).



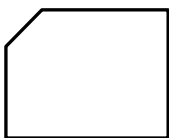
Запоминающее устройство с прямым доступом – символ отображает данные, хранящиеся в запоминающем устройстве с прямым доступом (магнитный диск, магнитный барабан, гибкий магнитный диск).



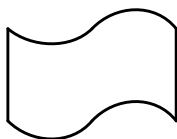
Документ – символ отображает данные, представленные на носителе в удобочитаемой форме (документ для оптического или магнитного считывания, микрофильм, рулон ленты с итоговыми данными, бланки ввода данных).



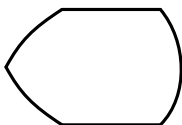
Ручной ввод – символ отображает данные, вводимые во время обработки вручную (клавиатура, переключатели, кнопки, световое перо, палочки со штриховым кодом).



Карта – символ отображает данные, представленные на носителе в виде карты (перфокарты, магнитные карты, карты со считываемыми метками, карты со сканируемыми метками).



Бумажная лента – символ отображает данные, представленные на носителе в виде бумажной ленты.

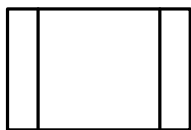


Дисплей – символ отображает данные, представленные в человекочитаемой форме на отображающем устройстве (индикаторы, экран для визуального наблюдения).

### *Символы процесса*



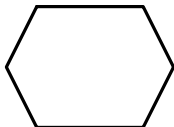
Процесс – символ отображает функцию обработки данных любого вида (выполнение определенной операции или группы операций, приводящее к изменению значения, формы или размещения информации или к определению, по которому из нескольких направлений потока следует двигаться).



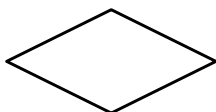
Предопределенный процесс – символ отображает предопределенный процесс, состоящий из одной или нескольких операций или шагов программы, которые определены в другом месте (в подпрограмме, модуле).



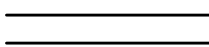
Ручная операция – символ отображает любой процесс, выполняемый человеком.



Подготовка – символ отображает модификацию команды или группы команд с целью воздействия на некоторую последующую функцию (установка переключателя, модификация индексного регистра или инициализация программы).

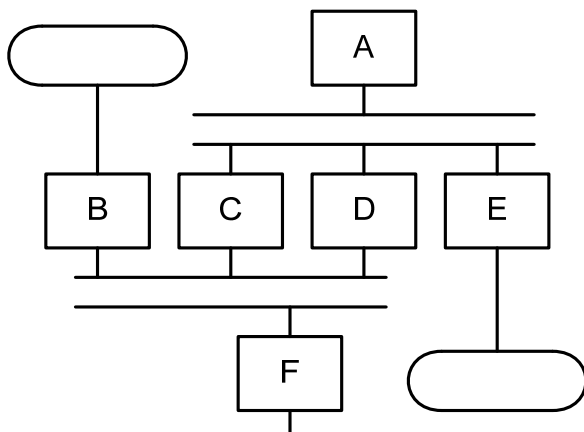


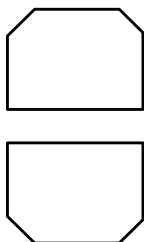
Решение – символ отображает решение или функцию переключательного типа, имеющую один вход и ряд альтернативных выходов, один и только один из которых может быть активизирован после вычисления условий, определенных внутри этого символа. Соответствующие результаты вычисления могут быть записаны по соседству с линиями, отображающими эти пути.



Параллельные действия – символ отображает синхронизацию двух или более параллельных операций.

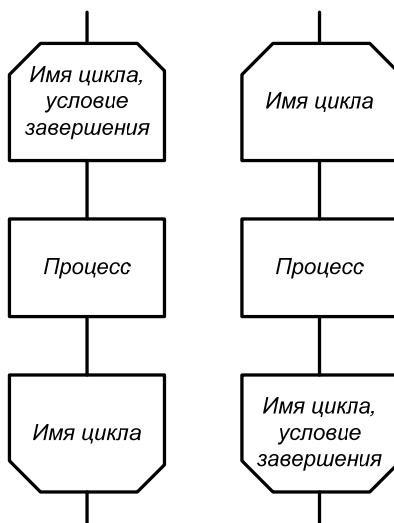
*Пример:*





Граница цикла – символ, состоящий из двух частей, отображает начало и конец цикла. Обе части символа имеют один и тот же идентификатор. Условия для инициализации, приращения, завершения и т. д. помещаются внутри символа в начале или в конце в зависимости от расположения операции, проверяющей условие.

*Примеры:*



*Символы линий*



Линия – символ отображает поток данных или управления.

Для повышения удобочитаемости могут быть добавлены стрелки-указатели.



Передача управления – символ отображает передачу управления от одного процесса к другому, иногда с возможностью прямого возвращения к иницилирующему процессу после того, как иницированный процесс завершит свои функции. Тип передачи управления должен быть назван внутри символа (например, запрос, вызов, событие).

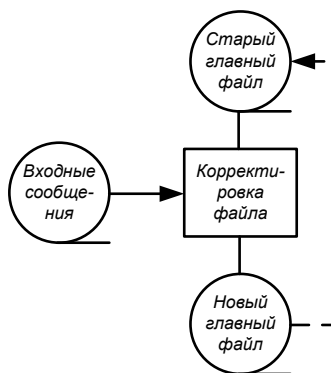


Канал связи – символ отображает передачу данных по каналу связи.

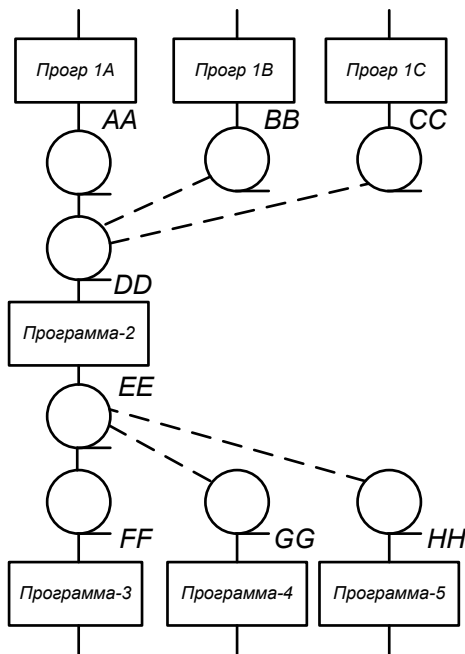


Пунктирная линия – символ отображает альтернативную связь между двумя или более символами. Кроме того, символ используют для обведения аннотированного участка.

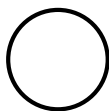
*Пример 1.* Выход, используемый в качестве входа в следующий процесс, может быть соединен с этим входом с помощью пунктирной линии



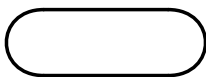
*Пример 2.* Если один из ряда альтернативных выходов используют в качестве входа в процесс, либо когда выход используется в качестве входа в альтернативные процессы, эти символы соединяют пунктирными линиями



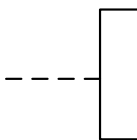
## Специальные символы



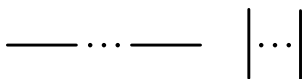
Соединитель – символ отображает выход в часть схемы и вход из другой части этой схемы и используется для обрыва линии и продолжения ее в другом месте. Соответствующие символы-соединители должны содержать одно и то же уникальное обозначение.



Терминатор – символ отображает выход во внешнюю среду и вход из внешней среды (начало или конец программы, внешнее использование и источник или пункт назначения данных).



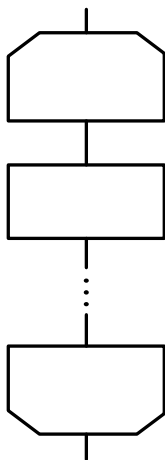
Комментарий – символ используют для добавления описательных комментариев или пояснительных записей в целях объяснения или примечаний. Пунктирные линии в символе комментария связаны с соответствующим символом или могут обводить группу символов. Текст комментариев или примечаний должен быть помещен около ограничивающей фигуры.



Пропуск – символ (три точки) используют в схемах для отображения пропуска символа или группы символов, в которых не определены ни тип, ни число символов. Символ используют только в символах линии или между ними. Применяется в схемах, изображающих общие решения с неизвестным числом повторений.



*Пример:*

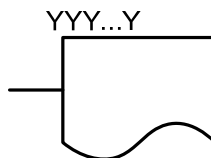
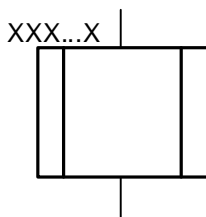


*Правила применения символов*

Символы могут быть вычерчены в любой ориентации, но, по возможности, предпочтительной является горизонтальная ориентация. Зеркальное изображение формы символа обозначает одну и ту же функцию, но не является предпочтительным. Минимальное количество текста, необходимого для понимания функции данного символа, следует помещать внутри данного символа. Текст для чтения должен записываться слева направо и сверху вниз независимо от направления потока. Если объем текста, помещаемого внутри символа, превышает его размеры, следует использовать символ комментария.

В схемах может использоваться идентификатор символов. Это связанный с данным символом идентификатор, который определяет символ для использования в справочных целях в других элементах документации (например, в листинге программы). Идентификатор символа должен располагаться слева над символом.

*Пример:*



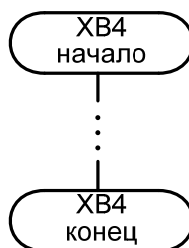
В схемах может использоваться подробное представление, которое обозначается с помощью символа с полосой для процесса или данных. Символ с полосой указывает, что в этом же комплексе документации в другом месте имеется более подробное представление.

Символ с полосой представляет собой любой символ, внутри которого в верхней части проведена горизонтальная линия. Между этой линией и верхней линией символа помещен идентификатор, указывающий на подробное представление данного символа.

### Символ с полосой



### Подробное представление



В качестве первого и последнего символа подробного представления должен быть использован символ указателя конца. Первый символ указателя конца должен содержать ссылку, которая имеется также в символе с полосой.

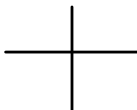
### *Правила выполнения соединений*

Потоки данных или потоки управления в схемах показываются линиями. Направление потока слева направо и сверху вниз считается стандартным.

В случаях, когда необходимо внести большую ясность в схему (например, при соединениях), на линиях используются стрелки. Если поток имеет направление, отличное от стандартного, стрелки должны указывать это направление.

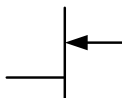
В схемах следует избегать пересечения линий. Пересекающиеся линии не имеют логической связи между собой, поэтому изменения направления в точках пересечения не допускаются.

Пример:



Две или более входящие линии могут объединяться в одну исходящую линию. Если две или более линии объединяются в одну линию, место объединения должно быть смещено.

Пример:



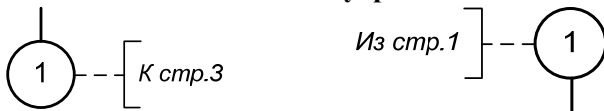
Линии в схемах должны подходить к символу либо слева, либо сверху, а исходить либо справа, либо снизу. Линии должны быть направлены к центру символа.

При необходимости линии в схемах следует разрывать для избежания излишних пересечений или слишком длинных линий, а также, если схема состоит из нескольких страниц. Соединитель в начале разрыва называется внешним соединителем, а соединитель в конце разрыва – внутренним соединителем.

Ссылки к страницам могут быть приведены совместно с символом комментария для их соединителей. Несколько выходов из символа следует показывать:

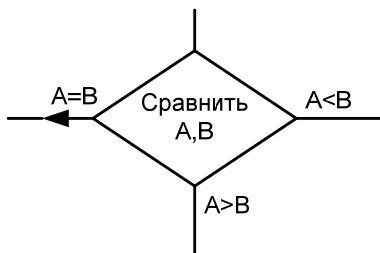
- 1) несколькими линиями от данного символа к другим символам;
- 2) одной линией от данного символа, которая затем разветвляется в соответствующее число линий.

Пример: **Внешний соединитель**      **Внутренний соединитель**



Каждый выход из символа должен сопровождаться соответствующими значениями условий, чтобы показать логический путь, который он представляет с тем, чтобы эти условия и соответствующие ссылки были идентифицированы.

Примеры:



### 3. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОЕКТА В ЭЛЕКТРОННОЙ ФОРМЕ

В настоящее время проектирование устройств на базе микроконтроллеров не производится в «ручном» режиме, и выполнение учебного проекта также связано с использованием средств автоматизации. Каждый проект с использованием микроконтроллеров полностью или в большей своей части выполняется в электронной форме. Для проектирования устройств на микроконтроллерах используют средства автоматизации и прототипирования: программные пакеты проектирования, отладочные платы с программным обеспечением – интегрированной средой разработки – IDE, ориентированной на конкретные семейства микроконтроллеров.

Часто одни и те же части программного кода многократно используются в различных программах. Например, это код каких-то математических функций или код для работы с различными датчиками. Чтобы не писать этот код каждый раз заново, эти части кода выносятся в отдельные файлы – библиотеки. Огромное количество готового кода уже написано другими людьми, и с помощью библиотек этот код можно легко использовать в своих программах. Библиотеку можно написать и самому, но большое число библиотек для различных семейств МК и периферийных устройств уже находится в свободном доступе в Интернете. Как правило, среда разработки содержит большой список примеров базовых проектов, и позволяет подключать библиотеки работы с различными периферийными устройствами: от датчиков температуры до графических экранов и драйверов шаговых двигателей.

Например, программный пакет Atmel Studio (ранее AVR Studio) позволяет работать как на ассемблере, так и на C/C<sup>++</sup>. Содержит в себе мастер проектов, виртуальный симулятор, редактор исходного кода, модуль внутрисхемной отладки и интерфейс командной строки. Поддерживает компилятор GCC и плагин AVR RTOS (операционной системы реального времени). Пользователи могут выбрать наиболее оптимальные для их проекта способы кодирования. Визуальные инструменты позволяют ускорить написание программы. Благодаря связке программных пакетов Atmel Studio и Proteus от фирмы Labcenter Electronics возможно программирование микроконтроллеров без наличия какой-либо материальной базы. Atmel Studio считается лучшей средой создания приложений для контроллеров AVR.

Отладочной платформой для микроконтроллеров ATMEGA с ядром AVR или ARM является семейство отладочных плат и модулей Arduino. Arduino-устройство представляет собой плату с микроконтроллером Atmel ATmega, всей необходимой для него обвязкой, стабилизатором напряжения и USB-UART мостом. Все выводы платформы выведены на края платы, и, как правило, уже оборудованы разъемами. Среда разработки Arduino представляет собой текстовый редактор программного кода, область сообщений, окно вывода текста (консоль), панель инструментов и несколько меню. Программирование осуществляется на языке Processing/Wiring, который имеет синтаксис схожий с C++. Для написания программ используется свободно-распространяемый редактор Arduino IDE. Для загрузки программ и связи среда разработки подключается к аппаратной части Arduino, причем для физического программирования Arduino не требуется внешний программатор, так как в микроконтроллере уже зашит загрузчик (BootLoader). Загрузка программы в Arduino осуществляется посредством последовательного порта (RS232), либо при помощи USB-интерфейса. Таким образом, чтобы запрограммировать Arduino, достаточно подключить плату к персональному компьютеру через USB-порт.

Почти все современные МК имеют возможность внутрисхемного программирования ISP, т. е. если ваш микроконтроллер запаян на плату, то для того чтобы сменить прошивку нам не придется выпаять его с платы.

Естественно, существуют отладочные комплексы (рис. 3.1) и специализированные среды разработки и для других семейств микроконтроллеров: MicroChip, MSP430, C6000, Sitara, 8051 и др.

Для моделирования работы устройств на базе МК часто используют такие программы, как Proteus, Altium Designer, NI Multisim. Proteus Professional – это пакет программ для автоматизированного проектирования электронных схем, базирующийся на основе моделей электронных компонентов принятых в PSpice, и обеспечивающий возможность моделирования работы программируемых устройств: микроконтроллеров, микропроцессоров, DSP и т. д. Дополнительно в пакет Proteus Professional входит система проектирования печатных плат. Proteus Professional может симулировать работу различных семейств микроконтроллеров: 8051, ARM7, ARM Cortex-M3,

AVR, Texas Instruments (TI), Motorola, PIC, Basic Stamp. Библиотека компонентов содержит справочные данные.

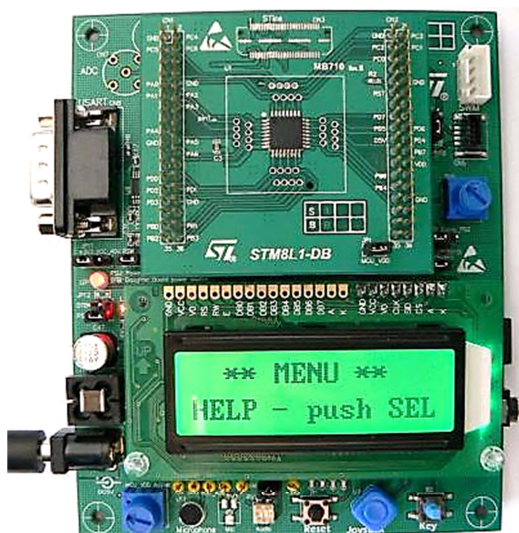


Рис. 3.1. Внешний вид оценочной платы STM8L101-EVAL

Altium Designer – комплексная система проектирования высокоскоростных электронных устройств на базе печатных плат, которая позволяет разработчику создавать проекты, начиная с принципиальной схемы и VHDL-описания ПЛИС, проводить моделирование полученных схем и VHDL-кодов, подготовить файлы для производства, а концепция Live Design, так называемое живое проектирование, позволяет завершить проект его отладкой на плате NanoBoard.

После успешного проведения моделирования работы устройства в программном комплексе проектирования и/или испытаний макета-прототипа устройства формируется файл с окончательной версией кода управляющей программы, вносятся последние корректировки во все материалы устройства.

При оформлении курсового проекта все материалы учебного проекта представляются также в электронном виде на носителе информации (лазерный CD-R или DVD-R диск). Кроме непосредственных материалов проекта на лазерном диске представляется также презентация проекта, а перечень всех электронных материалов

с указанием программных приложений, в которых они были созданы, расширений, объема, приводится в отдельном приложении.

По решению кафедры защита курсового проекта проводится в электронной форме. При этом студент также выполняет весь объем работ. Изменяется только перечень и форма представляемых к защите материалов.

К защите студент представляет пояснительную записку в печатном виде в составе:

- а) титульный лист;
- б) лист задания;
- в) реферат;
- г) выводы;
- д) опись файлов проекта, находящихся на электронном носителе компакт диске (только CD-R, не CD-RW).

Основные материалы работы представляются на электронных носителях информации в виде:

- в файле index – опись файлов проекта (работы);
- в каталоге DOC – пояснительная записка и графические материалы;
- в каталоге EXE – исполняемые файлы и файлы разработанных приложений;
- в каталоге GRAF – иллюстративный материал и файлы презентации.

Структура пояснительной записки должна поддерживать форматирование стилями и обеспечивать формирование оглавления в автоматическом режиме. Наименования в тексте (подписи к рисункам и таблицам) должны иметь уникальное обозначение, формирование которого должно производиться в автоматическом режиме. Все главы и разделы пояснительной записки должны иметь единое стилистическое оформление.

Опись файлов проекта (работы) оформляется в соответствии с таблицей и представляется отдельным файлом **index** в формате **rtf**. Файл описи размещается на носителе в корневом каталоге. Имена файлов должны отражать индивидуальные особенности проекта: номер группы (последние три цифры), фамилию студента (сокращается до трех-пяти букв) или название темы проекта.



## ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Матюшин, А. Программирование микроконтроллеров. Стратегия и тактика / А. Матюшин. – М. : ДМК Пресс, 2016. – 356 с.
2. Шпак, Ю. А. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров / Ю. А. Шпак. – К. : МК-Пресс, 2011. – 544 с.
3. Ревич, Ю. В. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера / Ю. В. Ревич. – 2-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 352 с.
4. Семейство микроконтроллеров MSP430x1xx. Руководство пользователя / пер. с англ. – М. : ЗАО «Компэл», 2004. – 368 с.
5. Катцен, С. PIC-микроконтроллеры. Полное руководство / С. Катцен; пер. с англ. А. В. Евстифеева. – М. : Додэка-XXI, 2010. – 656 с.
6. Баранов, В. Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы / В. Н. Баранов. – М. : Додэка-XXI, 2004. – 288 с.
7. Трамперт, В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR-микроконтроллеров / В. Трамперт. – К. : МК-Пресс, 2007. – 208 с.
8. Кохц, Д. Измерение, управление и регулирование с помощью PIC микроконтроллеров (+ CD-ROM) / Д. Кохц. – К. : МК-Пресс, 2007. – 304 с.
9. Гладштейн, М. Микроконтроллеры смешанного сигнала C8051Fxxx фирмы Silicon Laboratories и их применение / М. Гладштейн. – М. : Додэка-XXI, 2008. – 336 с.
10. Болл, С. Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров / С. Р. Болл. – М. : Додэка-XXI, 2007. – 360 с.
11. Бэйкер, Б. Что нужно знать цифровому инженеру об аналоговой электронике / Б. Бэйкер. – М. : Додэка-XXI, 2010. – 360 с.
12. Коледов, Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок / Л. А. Коледов. – СПб. : Изд-во «Лань», 2009. – 400 с.
13. Митин, Г. П. Условные обозначения в отечественных и зарубежных электрических схемах / Г. П. Митин. – М. : Изумруд, 2003. – 224 с.

14. Лешкевич, А. Ю. Выполнение схем электронных устройств: учебно-методическое пособие к лабораторным работам по вычерчиванию принципиальных электронных схем для студентов технических и технологических спец. / А. Ю. Лешкевич [и др.]. – Мн. : БНТУ, 2008. – 78 с.

## *Содержание*

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	4
1.1. Примерная тематика проектов .....	10
1.2. Разработка технического задания .....	12
1.3. Особенности проектирования узлов на программируемых цифровых устройствах .....	15
1.3.1. Минимальная обвязка микроконтроллера .....	17
1.3.2. Стандартные интерфейсы МК .....	18
1.3.3. Приоритет выводов .....	19
1.3.4. Выбор и обоснование элементной базы .....	20
2. ВЫПОЛНЕНИЕ СХЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	22
2.1. Структурная схема устройства .....	23
2.2. Функциональная схема устройства .....	24
2.3. Схема электрическая принципиальная .....	25
2.4. Схемы монтажные, подключения, расположения .....	26
2.5. Выполнение блок- схемы алгоритма программы .....	26
3. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОЕКТА В ЭЛЕКТРОННОЙ ФОРМЕ .....	37
ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	41

Учебное издание

**ВОРОБЕЙ** Роман Иванович  
**МИКИТЕВИЧ** Владимир Александрович  
**ТЯВЛОВСКИЙ** Константин Леонидович и др.

**ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА.  
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальностей  
1-38 02 01 «Информационно-измерительная техника»,  
1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности»,  
1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества  
и диагностики состояния объектов»

Редактор *Е. В. Герасименко*  
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 26.03.2021. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,00. Тираж 100. Заказ 727.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.