



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЫБИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АВИАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
АКАДЕМИЯ ИМ. П.А. СОЛОВЬЕВА

ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

# ОСНОВЫ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

Программа учебной дисциплины  
и методические указания  
к выполнению курсовой работы

РЫБИНСК  
2004

## ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

УДК 681.32

Основы микропроцессорной техники: Программа учебной дисциплины и методические указания к выполнению курсовой работы / Сост. В. А. Вершинин; РГАТА. – Рыбинск, 2004. – 20 с. – (Заочная форма обучения / РГАТА).

Данные методические указания предназначены для выполнения курсовой работы студентами специальности 200400.

### СОСТАВИТЕЛЬ

кандидат технических наук, доцент В. А. Вершинин

### ОБСУЖДЕНО

на заседании  
кафедры «Электротехника и промышленная электроника»

### РЕКОМЕНДОВАНО

Методическим Советом РГАТА

Зав. РИО М. А. Салкова

Подписано в печать 15.01.2004.

Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л. 1,25. Тираж 70. Заказ 20.

Множительная лаборатория РГАТА 152934, Рыбинск, ул. Пушкина, 53

© РГАТА, 2004

Настоящая программа составлена в соответствии с Государственным общеобразовательным стандартом высшего профессионального образования и учебным планом подготовки специалиста по специальности 200400 «Промышленная электроника».

Цель курса заключается в получении студентами знаний о функционировании, проектировании и отладке микропроцессорных систем.

В результате изучения дисциплины студенты должны: иметь представление о микропроцессорной технике, ее возможностях и целесообразности использования в системах управления; знать и уметь использовать микропроцессорные комплекты интегральных микросхем; владеть методами программирования микропроцессорных систем; иметь навыки проектирования микропроцессорных устройств.

### 1 Содержание дисциплины

Введение. Предмет и методы дисциплины «Основы микропроцессорной техники».

#### 1.1 Цифровые устройства.

Двоичные переменные и двоичные сигналы. Параметры цифровых устройств. Устройства с наличием отключенного состояния выходов.

Комбинационные устройства, и их описание переключательными функциями.

Простейшие цифровые устройства. Дешифраторы, мультиплексоры.

Устройства с памятью. Триггеры.

#### 1.2 Элементы микропроцессорных систем.

Двоичные коды. Логические и арифметические операции над двоичными кодами.

Арифметическо-логические устройства.

Постоянные запоминающие устройства.

Регистры, оперативные запоминающие устройства.

#### 1.3 Архитектура и структура микропроцессорных систем.

Центральный процессор, магистраль, подсистема памяти, подсистема ввода-вывода.

Организация программно-доступных регистров, памяти и ввода-вывода.

Командный цикл, циклы обращения к магистралам. Типовые структуры микропроцессорных систем.



Адресные регистры, регистры данных и специальные регистры. Способы адресации операндов: явная и неявная адресация, прямая, непосредственная и косвенная адресация, многокомпонентная адресация.

Структура команды и ее мнемоник. Команды пересылки, команды логических и арифметических операций, команды передачи управления и специальные команды.

Структура и сопряжение с магистралью микропроцессорной системы оперативного запоминающего устройства, постоянного запоминающего устройства, портов ввода и вывода.

Организация прерываний. Контроллер прерываний.

Организация прямого доступа к памяти. Контроллер прямого доступа к памяти.

#### 1.4 Однокристалльные микро-ЭВМ.

Типовая структура однокристалльной микро-ЭВМ. Набор регистров центрального процессора. Организация памяти программ и памяти данных. Подсистема ввода-вывода, таймеры-счетчики, организация прерываний.

Расширение внутренних ресурсов.

Формат команд, способы адресации операндов, командный цикл. Система команд.

Сравнительная характеристика микро-ЭВМ для различных областей применения.

#### 1.5 Программирование микропроцессорных систем.

Загрузочный модуль. Системы программирования.

Средства описания алгоритмов, языки ассемблера и языки высокого уровня, редакторы текста.

Средства трансляции, ассемблеры, компиляторы, интерпретаторы. Средства редактирования связей и компоновки.

Отладка программ с использованием резидентных средств и кросс-средств.

#### 1.6 Проектирование и эксплуатация микропроцессорных систем.

Отладка аппаратных средств. Комплексная отладка с помощью внутрисхемного эмулятора.

Особенности эксплуатации и сервисного обслуживания микропроцессорных систем.

## 2 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основной

2.1. Глазштейн М.А. Микропроцессоры и микро-ЭВМ в радиоэлектронных средствах: конспект лекций/ РАТИ,- Рыбинск, 1992. - 132 с.

2.2 Щелкунов Н.Н., Дианов А.П. Микропроцессорные средства и системы.- М.: Радио и связь, 1989.- 288 с.: ил.

2.3 Стапин В.В., Урусов А.В., Мологонцева О.Ф. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах. М.: Энергоатомиздат 1990

### Дополнительный

2.4 Микропроцессоры. В 3 кн.: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. Л.Н.Преснухина.- М.: Высшая школа, 1986.- Кн.1.-495 с.; Кн.2.- 383 с.; Кн.3.- 351 с.: ил.

2.5. Глазштейн М.А. Проектирование устройств передачи и обработки информации на базе однокристалльных микроконтроллеров. Учебно-справочное пособие.- Рыбинск: РГАТА, 1998.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

### 1 Введение

Целью курсового проекта "Устройство преобразования аналоговых сигналов" является получение студентами практических навыков разработки электрических схем и программного обеспечения устройств с применением микроконтроллеров, аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей.

В курсовом проекте студентам предлагается провести разработку устройства, в котором осуществляется многоканальное преобразование аналоговых сигналов в последовательность двоичных кодов, обработка кодов и преобразование результатов обработки в напряжения или сигналы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

Курсовой проект должен содержать: принципиальную схему устройства и пояснительную записку (30 – 50 страниц).

Разработке подлежит структурная, функциональная и принципиальная схемы устройства, алгоритм функционирования микроконтроллера и программное обеспечение, связанное с процессом обработки информации в микроконтроллере. Принципиальная схема выполняется в соответствии с



требованиями ЕСКД. Пояснительная записка выполняется должна соответствовать СТП 1.01-2002.

Варианты заданий к курсовому проекту выдаются преподавателем. Задание содержит следующие данные: тип используемого микроконтроллера; вид и параметры входного и выходного сигналов; количество каналов преобразования; период дискретизации; входное сопротивление канала преобразования; параметры нагрузки канала преобразования; подлежащее разработке программное обеспечение.

## 2 Структура курсового проекта

Обобщенная структурная схема устройства преобразования аналоговых сигналов приведена на рисунке 2.1. Устройство имеет  $N$  каналов преобразования и включает мультиплексор  $M$  аналоговых сигналов, преобразователь на-

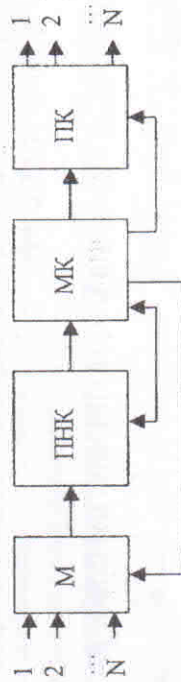


Рисунок 2.1

пряжения в код ПНК, микроконтроллер МК, преобразователь кода в напряжение ПКН и многоканальный преобразователь кода ПК в напряжения или в сигналы с ШИМ. Структурная схема конкретного разрабатываемого устройства определяется заданием.

Пояснительная записка должна включать следующие разделы: анализ задания; структурная схема, функциональная схема; базовые элементы и их параметры; принципиальная схема и расчет ее элементов; алгоритм функционирования микроконтроллера; программное обеспечение. В зависимости от особенностей конкретного устройства содержание пояснительной записки может быть изменено по согласованию с преподавателем.

## 3 Пример описания функциональной схемы и параметров элементов

### 3.1 Задание

Требуется разработать устройство преобразования аналоговых сигналов, которое будет осуществлять восьмиканальное преобразование аналоговых сигналов в последовательность двоичных кодов, обработку кодов и преобразование результатов обработки в сигналы с ШИМ длительностью 1 мкс. Входное сопротивление устройства должно быть не менее 100 кОм, диапазон изменения входного сигнала от -10 В до 10 В. Нагрузочная способность выходов должна соответствовать стандартным выходам микросхем серии КР1554. Устройство разработать на базе микроконтроллера AT89S51.

### 3.2 Функциональная схема

На рисунке 3.1 представлена функциональная схема устройства. Аналоговый коммутатор SW служит для переключения каналов в соответствие с адресными сигналами  $A$ , поступающими из порта P3 микроконтроллера MC.

Преобразователь напряжения в код включает в себя устройство выборки-хранения (УВХ) DS, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) AD и два операционных усилителя  $A1$  и  $A2$ , образующих с резисторами  $R1 - R4$  два инвертирующих усилителя. Усилитель на элементах  $A1$ ,  $R1$  и  $R2$  необходим для согласования уровня входного аналогового сигнала с диапазоном допустимых входных напряжений УВХ.  $R1$  определяет входное сопротивление всего устройства. УВХ сохраняет на своем выходе постоянным значение напряжения в течение цикла преобразования АЦП. Инвертирующий усилитель на элементах  $A2$ ,  $R3$  и  $R4$  предназначен для получения на входе АЦП заданного диапазона напряжения. Для обеспечения биполярного режима работы АЦП необходимо на вход  $V_R$  подать опорное напряжение, а на вход  $V_B$  подать напряжение смещения, причём эти напряжения должны подаваться от прецизионного источника REF, чтобы обеспечить высокую точность преобразования.

8-канальный преобразователь кода, поступающего из порта P2 микроконтроллера, в сигналы с ШИМ включает в себя дешифратор DC, необходимый для выбора канала, генератор G тактовых импульсов для широтно-импульсных модуляторов и 8 одинаковых блоков  $B1 - B8$ . В состав каждого блока входят: 8-разрядный регистр RG хранения преобразуемого кода; широтно-импульсный модулятор PWM, осуществляющий преобразование кода, записанного в регистр, в сигналы с ШИМ.

Микроконтроллер МС выполняет задачу приёма 8-разрядного двоичного кода от АЦП (по линиям порта P1), его обработки и выдачи в порт P2. Также микроконтроллер выдаёт адрес входного и выходного канала на линии порта P3, который поступает на адресные входы аналогового коммутатора и дешифратора. Кроме того, на линиях порта P3 микроконтроллер вырабатывает управляющие сигналы для УВХ, АЦП и дешифратора.

3.2 Базовые элементы и их параметры

Аналоговый коммутатор (SW на функциональной схеме) выполнен на базе микросхемы КР590КН6, условное графическое обозначение которой приведено на рисунке 3.2. Назначение выводов. IN – входы аналоговых сигналов, OUT – выход аналогового сигнала, A – адресные входы; E – управляющий вход;  $V_P$  – положительное питающее напряжение;  $V_N$  – отрицательное питающее напряжение; 0V – общий. Микросхема позволяет производить адресный опрос каналов в зависимости от сигналов на входах A0, A1, A2 и имеет вход разрешения работы E. Порядок подключения каналов в зависимости от комбинации сигналов на адресных входах приведён в таблице 3.1.

Таблица 3.1

| Адресные входы |    |    |   | Открыт канал |
|----------------|----|----|---|--------------|
| A2             | A1 | A0 | E |              |
| 0              | 0  | 0  | 1 | 0            |
| 0              | 0  | 1  | 1 | 1            |
| 0              | 1  | 0  | 1 | 2            |
| 0              | 1  | 1  | 1 | 3            |
| 1              | 0  | 0  | 1 | 4            |
| 1              | 0  | 1  | 1 | 5            |
| 1              | 1  | 0  | 1 | 6            |
| 1              | 1  | 1  | 1 | 7            |
| X              | X  | X  | 0 | –            |

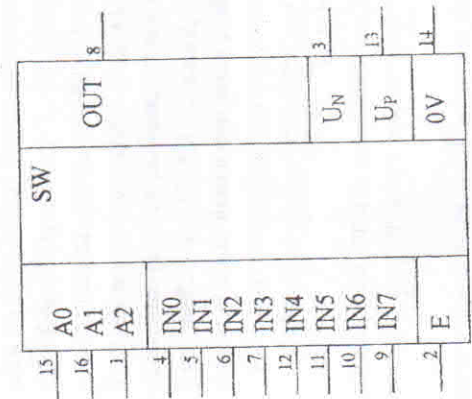
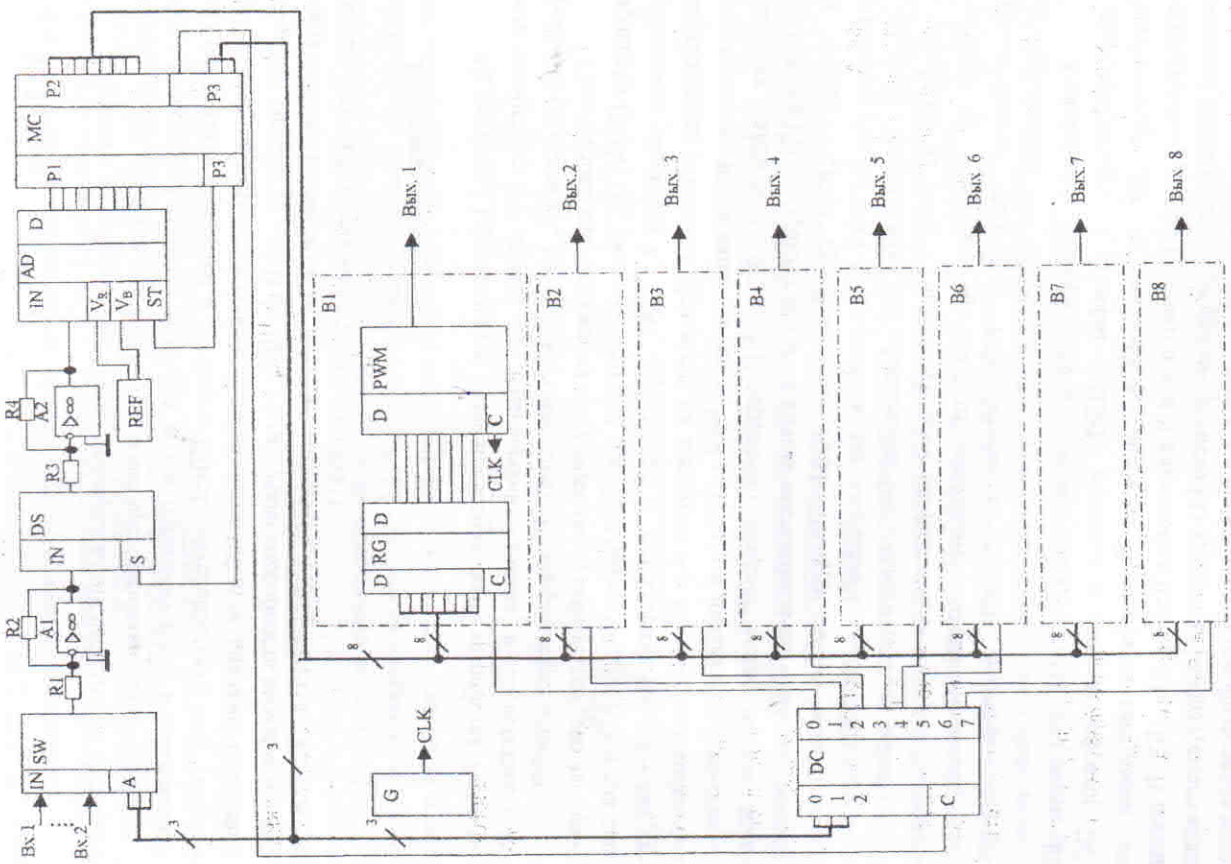


Рисунок 3.2

Основные параметры КР590КН6.

|                                  |                  |
|----------------------------------|------------------|
| Напряжения питания (номинальные) | –15 В, 15 В.     |
| Диапазон входных напряжений      | от –15В до 15 В. |
| Коммутируемый ток                | ≤ 20 мА.         |

Рисунок 3.1





|   |           |
|---|-----------|
| Входное напряжение высокого уровня        | ≥ 4 В.    |
| Входное напряжение низкого уровня         | ≤ 0.8 В.  |
| Ток потребления                           | ≤ 3.5 мА. |
| Время включения и выключения              | ≤ 300 нс. |
| Входной ток по выводам 1, 2, 15, 16       | ≤ 3.5 мА. |
| Сопротивление канала в открытом состоянии | ≤ 300 Ом. |
| Ток утечки в закрытом состоянии           | ≤ 70 нА.  |

Технология ..... КМОП.

Операционные усилители (A1 и A2 на функциональной схеме) выполняются на базе микросхем КМ1432УД3А.

Основные параметры КМ1432УД3А.

|  |                   |
|--|-------------------|
| Номинальные питающие напряжения          | -15 В и 15 В.     |
| Диапазон выходного напряжения            | от -12 В до 12 В. |
| Выходной ток                             | ≤ 25 мА.          |
| Скорость нарастания выходного напряжения | ≤ 250 В/мкс.      |
| Входное сопротивление                    | ≥ 100 МОм.        |
| Выходное сопротивление                   | ≤ 25 Ом.          |
| Входная емкость                          | 5 пФ.             |
| Ток потребления                          | ≤ 10 мА.          |
| Диапазон рабочих температур              | от -60°C до 85°C. |

На базе операционного усилителя КМ1432УД3А выполнен инвертирующий усилитель на элементах A1, R1, R2. Номинальные значения сопротивлений резисторов R1 и R2 равны 150 кОм и 75 кОм соответственно, поэтому этот инвертирующий усилитель имеет коэффициент усиления -0.5. Также на базе операционного усилителя КМ1432УД3А выполнен инвертирующий усилитель на элементах A2, R3, R4. Номинальные значения сопротивлений резисторов R3 и R4 равны 10 кОм и 20 кОм соответственно, что позволяет получить коэффициент усиления этого инвертирующего усилителя -2.

УВХ (DS на функциональной схеме) выполнено на основе микросхемы AD781. Условное графическое обозначение микросхемы приведено на рисунке 3.3.

|   |    |    |                |   |
|---|----|----|----------------|---|
| 2 | IN | DS | OUT            | 8 |
| 7 | S  |    | V <sub>P</sub> | 1 |
| 3 | 0V |    | V <sub>N</sub> | 5 |
| 4 | NC |    | NC             | 6 |

Назначение выводов: IN – вход аналогового сигнала; S – управляющий вход; OUT – выход аналогового сигнала; NC – неиспользуемые выводы; V<sub>P</sub> – положительное питающее напряжение; V<sub>N</sub> – отрицательное питающее напряжение; 0V – общий вывод.

Рисунок 3.3

УВХ осуществляет выборку, если S=1, и переходит в режим хранения при S=0.

Основные параметры AD781.

|  |                        |
|--|------------------------|
| Напряжения питания                       | 12 В ±10%, -12 В ±10%. |
| Диапазон входного аналогового напряжения | от -5 В до 5 В.        |
| Выходной ток                             | от -5 мА до 5 мА.      |
| Время выборки                            | ≤ 700 нс.              |
| Время установления                       | ≤ 500 нс.              |
| Управляющее напряжение высокого уровня   | ≥ 2 В.                 |
| Управляющее напряжение низкого уровня    | ≤ 0.8 В.               |
| Входной ток (вход S)                     | ≤ 10 мкА.              |
| Ток потребления                          | ≤ 6.5 мА.              |
| Потребляемая мощность                    | ≤ 175 мВт.             |
| Входная ёмкость                          | ≤ 2 пФ.                |
| Ёмкость нагрузки                         | ≤ 20 пФ.               |
| Диапазон рабочих температур              | от 0°C до 70°C.        |

АЦП (AD на функциональной схеме) выполнен на основе микросхемы КР572ПВ3. Это 8-разрядный АЦП последовательных приближений, сопряженный с микро-ЭВМ. Схема включения АЦП в данном устройстве при работе в режиме медленной памяти приведена на рисунке 3.4. Для обеспечения двуполярного режима работы на вход V<sub>R</sub> подается опорное напряжение -10 В, а на вход V<sub>B</sub> – напряжение смещения 10 В. Диапазон изменения входного напряжения составляет от -10 В до 10 В. При работе АЦП в биполярном режиме, каждый раз после окончания преобразования на выходы DB0 – DB8

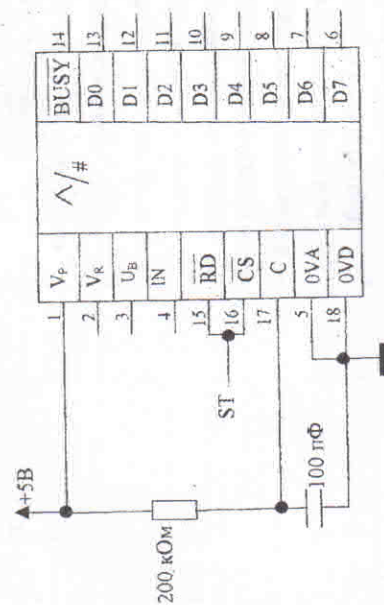


Рисунок 3.4



выдается смещённый код результата.

Назначение выводов:  $V_P$  – напряжение питания,  $V_P$  – опорное напряжение;  $V_R$  – напряжение смещения; IN – аналоговый вход; RD – вход сигнала чтения; CS – вход выбора микросхемы; C – вход тактовых импульсов; OVA и OVD – аналоговый и цифровой общие выходы; BUSY – выход сигнала состояния; D0 – D7 – выходы разрядов кода.

Временные диаграммы работы АЦП в режиме медленной памяти показаны на рисунке 3.5.

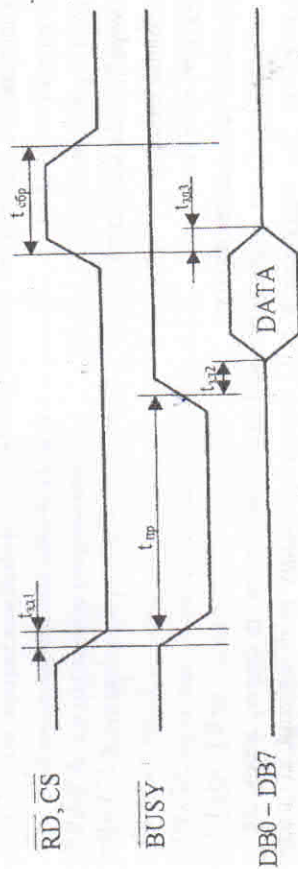


Рисунок 3.5

#### Основные параметры КР572ПВ3.

|  |                    |
|--|--------------------|
| Напряжение питания   | 5 В ±5%            |
| Опорное напряжение (номинальное)                             | -10 В              |
| Диапазон входных напряжений                                  | от -10 В до 10 В   |
| Выходное напряжение высокого уровня                          | ≥ 4 В              |
| Выходное напряжение низкого уровня                           | ≤ 0.8 В            |
| Ток потребления  | ≤ 5 мА             |
| Потребляемая мощность  | ≤ 25 мВт           |
| Время преобразования   | ≤ 7.5 мкс          |
| Время установления в начальное состояние ( $t_{\text{ср}}$ ) | ≤ 2 мкс            |
| Время задержки выдачи сигнала состояния ( $t_{\text{д1}}$ )  | ≤ 90 нс            |
| Время задержки выдачи данных ( $t_{\text{д2}}$ )             | ≤ 120 нс           |
| Время задержки сброса данных ( $t_{\text{д3}}$ )             | ≤ 80 нс            |
| Входной ток по выводам 15 и 16                               | 0.01 мА            |
| Входное сопротивление по выводам 3 и 4                       | от 6 кОм до 30 кОм |

Входное сопротивление по выводу 2 ..... от 3 кОм до 15 кОм.  
Диапазон рабочих температур ..... от -10 °C до 70 °C.

Базовым элементом микроконтроллер (МС на функциональной схеме) является микросхема AT89S51. В её состав входит 8-разрядный центральный процессор, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) данных, 32 линии устройства параллельного ввода-вывода, последовательный порт, два 16-разрядных многорежимных таймера/счетчика, логика двухуровневой системы прерываний с пятью источниками запросов, встроенный тактовый генератор. Для сокращения ширины физического интерфейса большинство логических линий совмещаются. Условное графическое обозначение микросхемы приведено на рисунке 3.6.

Назначение выводов:

0V – общий вывод;

$V_P$  – напряжение питания;

XTAL1, XTAL2 – выходы для подключения кварцевого резонатора;

RST – вход общего сброса;

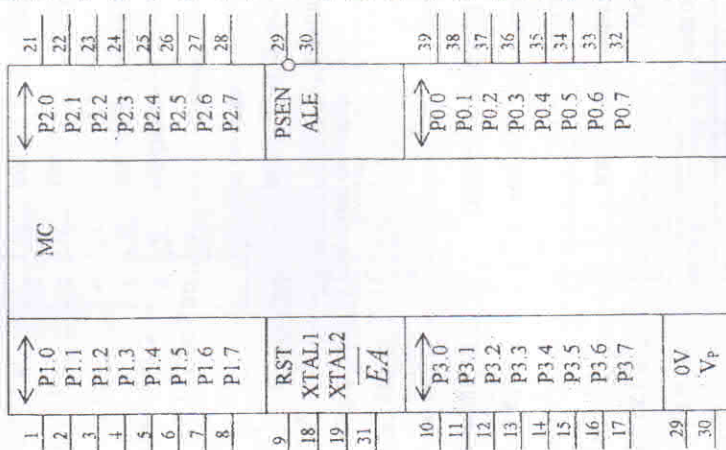
PSEN – выход сигнала разрешения выгрузки кода операции на шину порта P0 из внешней памяти программ, выдается только при обращении к внешнему ПЗУ;  
ALE – строб адреса внешней памяти;

ти;

EA – вход блокировки работы с внутренней программной памятью;  
P1 – восьмиразрядный квазидвуправленный порт ввода-вывода, каждый разряд порта можно запрограммировать как на ввод, так и на вывод информации, независимо от состояния других разрядов, кроме того, некоторые выходы этого порта могут выполнять ряд альтернативных функций, которые используются при работе SPI;

P2 – восьми битный квазидвуправленный порт, аналогичный P1, кроме того, выходы этого порта ис-

Рисунок 3.6









Поскольку выходы дешифратора инвертирующие, а необходимо иметь неинвертированные сигналы, то к каждому выходу дешифратора подключается по логическому элементу НЕ.

Основные параметры КР1554ИД7:

|                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| Напряжение питания                  | 5 В ± 10%          |
| Входное напряжение низкого уровня   | ≤ 1.65 В           |
| Входное напряжение высокого уровня  | ≥ 3.85 В           |
| Выходное напряжение низкого уровня  | ≤ 0.32 В           |
| Выходное напряжение высокого уровня | ≥ 3.86 В           |
| Ток потребления                     | ≤ 80 мкА           |
| Входной ток (абсолютная величина)   | ≤ 0.1 мкА          |
| Выходной ток (абсолютная величина)  | ≤ 24 мА            |
| Входная ёмкость                     | ≤ 3.5 пФ           |
| Ёмкость нагрузки                    | ≤ 50 пФ            |
| Диапазон рабочих температур         | от -45 °С до 85 °С |

Регистры (RG на функциональной схеме) в блоках В1 – В8 представляют собой микросхему типа КР1554ИР22. Это восьмиразрядный управляемый по уровню регистр с тремя состояниями на выходе. Условное графическое обозначение микросхемы показано на рисунке 3.8.

Назначение выводов: DI – входы данных; DO – выходы данных; C – вход записи по уровню; EZ – вход разрешения отключенного состояния выходов; V<sub>p</sub> – напряжение питания; 0V – общий вывод.

Таблица 3.3 поясняет работу регистра.

Здесь: Н – высокий уровень напряжения; X – любое состояние; Z – отключенное состояние.

Таблица 3.3

| Режим    | EZ | C | DI | DO |
|----------|----|---|----|----|
| Запись   | L  | H | H  | H  |
| Запись   | L  | H | L  | L  |
| Хранение | L  | L | X  | DI |
| Хранение | H  | X | X  | Z  |

При разработке принципиальной схемы вход EZ должен быть соединён с общим выводом, а управление записью в регистр ведётся по входу C.

Основные параметры КР1554ИР22:

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| Напряжение питания                | 5 В ± 10% |
| Входное напряжение низкого уровня | ≤ 1.65 В  |

|                                     |                    |
|-------------------------------------|--------------------|
| Входное напряжение высокого уровня  | ≥ 3.85 В           |
| Выходное напряжение низкого уровня  | ≤ 0.32 В           |
| Выходное напряжение высокого уровня | ≥ 3.86 В           |
| Ток потребления                     | ≤ 80 мкА           |
| Входной ток (абсолютная величина)   | ≤ 0.1 мкА          |
| Выходной ток (абсолютная величина)  | ≤ 24 мА            |
| Входная ёмкость                     | ≤ 3.5 пФ           |
| Ёмкость нагрузки                    | ≤ 50 пФ            |
| Диапазон рабочих температур         | от -45 °С до 85 °С |

Базовым элементом широтно-импульсного модулятора (PWM на функциональной схеме) выбрана на микросхеме AD9560. Она представляет собой высокоскоростной программируемый модулятор, предназначенный для работы в составе микропроцессорных систем. На рисунке 3.9 приведена схема включения микросхемы в данное устройство.

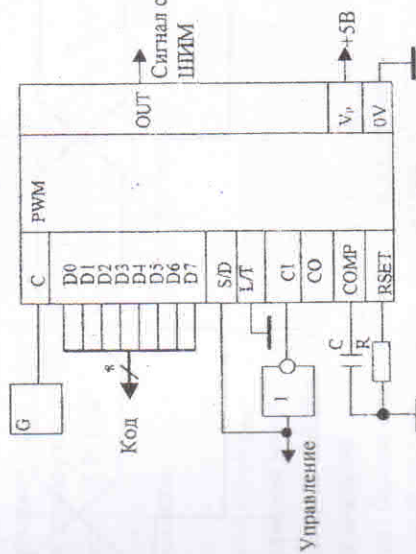


Рисунок 3.9

Назначение выводов: C – вход тактовых импульсов; D0 – D7 – входы кода; S/D – вход выбора режима; L/T – вход выбора режима; C0 – выход сигнала конца калибровки; C1 – вход сигнала начала калибровки; COMP – вход коррекции; RSET – вход коррекции; OUT – выходной сигнал с ШИМ; V<sub>p</sub> – вывод питания; 0V – общий вывод.

Микросхема предназначена для преобразования 8-разрядного двоичного кода на входах D0 – D7 в двоичный сигнал с ШИМ на выходе OUT. Период

### Основные параметры AD9560.

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Напряжение питания                  | ..... 5 В $\pm 10\%$ .                                 |
| Входное напряжение низкого уровня   | ..... $\leq 1$ В.                                      |
| Входное напряжение высокого уровня  | ..... $\geq 3,5$ В.                                    |
| Выходное напряжение низкого уровня  | ..... $\leq 0,4$ В.                                    |
| Выходное напряжение высокого уровня | ..... $\geq 4,6$ В.                                    |
| Ток потребления                     | ..... $\leq 87$ мА.                                    |
| Потребляемая мощность               | ..... $\leq 435$ мВт.                                  |
| Входной ток (абсолютная величина)   | ..... $\leq 1$ мкА.                                    |
| Выходной ток (абсолютная величина)  | ..... $\leq 10$ мА.                                    |
| Входная ёмкость                     | ..... $\leq 5$ пФ.                                     |
| Номинальная ёмкость нагрузки        | ..... $\leq 50$ пФ.                                    |
| Диапазон рабочих температур         | ..... от $0^{\circ}\text{C}$ до $70^{\circ}\text{C}$ . |

В качестве генератора тактовых импульсов (G) для ШИМ выберем микросхему фирмы HOSONIC серии HO-21C, которая формирует импульсную последовательность частотой 1 МГц.

### Основные параметры микросхемы.

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Напряжение питания                  | 5 В $\pm 10\%$ .                                       |
| Частота                             | ..... 1 МГц.   |
| Стабильность частоты                | ..... $\pm 0,5\%$ .                                    |
| Ток нагрузки                        | ..... $\leq 20$ мА.                                    |
| Время нарастания (спада)            | ..... $\leq 5$ нс.                                     |
| Выходное напряжение высокого уровня | ..... $\geq 4,5$ В.                                    |
| Выходное напряжение низкого уровня  | ..... $\leq 0,4$ В.                                    |
| Температурный диапазон              | ..... от $0^{\circ}\text{C}$ до $70^{\circ}\text{C}$ . |

В качестве базового элемента источника напряжения -10 В и 10 В (REF на функциональной схеме) выбрана микросхема AD2702. Схема включения микросхемы в устройстве показана на рисунке 3.11.

Назначение выводов: FA – выводы коррекции;  $V_N$  – вывод источника отрицательного напряжения;  $V_P$  – вывод источника положительного напряжения;  $V_{ON}$  – выход отрицательного напряжения;  $V_{OP}$  – выход положительного напряжения; +10В, 0В – общий вывод.

Выходного сигнала определяется частотой тактовых импульсов от генератора (от 1 МГц до 50 МГц), поступающих на вход С. Для получения выходного сигнала с ШИМ длительностью 1 мкс частота тактовых импульсов должна быть равна 1 МГц.

В зависимости от выбранной частоты подбирается сопротивление резистора  $R=10^{(10,931-1,033\log(f))}$ , где  $f$  – частота (Гц). Конденсатор С выбирается независимо то частоты  $C=0,47$  мкФ. Входы микросхемы S/D и L/T нужны для задания одного из трёх режимов вывода выходного сигнала: выравнивание по левому краю (S/D=1, L/T=0), выравнивание по правому краю (S/D=1, L/T=1); выравнивание по центру (S/D=0, L/T=X). Диаграммы работы модулятора в данном устройстве в режиме выравнивания по левому краю (S/D=1, L/T=1) имеют вид, приведенный на рисунке 3.10.

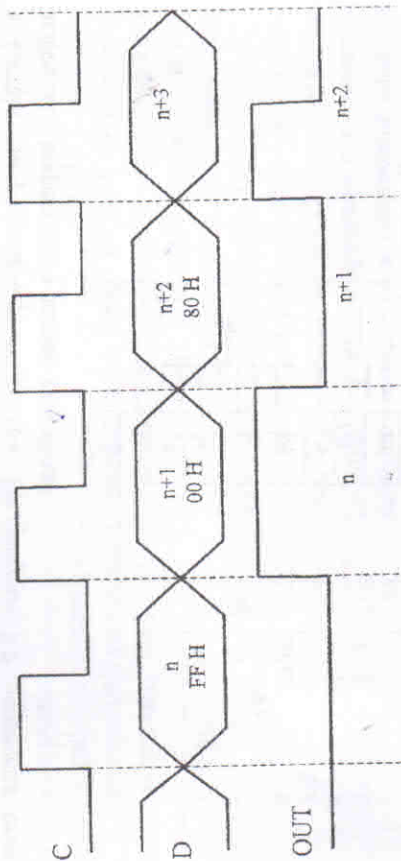


Рисунок 3.10

В модуляторе предусмотрена возможность автокалибровки. Для этого на вход С1 надо подать единичное значение сигнала (длительностью не менее 1 мкс). Причём, автокалибровка будет неэффективной, если на входах D0 – D7, S/D и L/T не будут присутствовать нулевые значения сигналов. Алгоритм работы всего устройства должен быть такой, что каждый раз во время его инициализации осуществляется автокалибровка модулятора. Включение автокалибровки осуществляется нулевым значением сигнала на входе управления (смотри рисунок 3.9). На функциональной схеме вход управления автокалибровкой не показан. Продолжительность автокалибровки можно определить как  $2048 \cdot T_{\text{clock}}$ , где  $T_{\text{clock}}$  – период импульсов CLOK. Таким образом, автокалибровка будет длиться 2.048 мс.



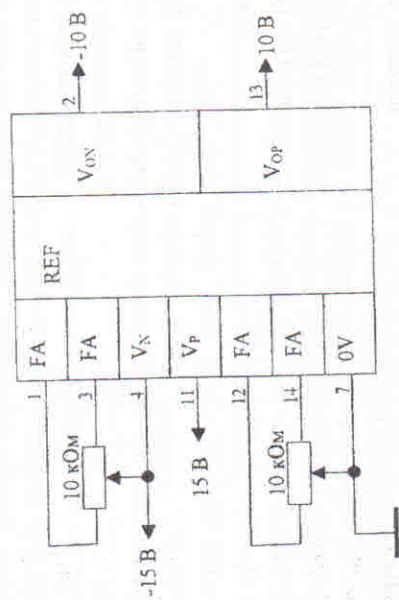


Рисунок 3.11

## Основные параметры AD2702.

|   |  |
|---|--|
| Напряжения питания .....                | $15\text{ В} \pm 5\%$ , $-15\text{ В} \pm 5\%$ . |
| Выходное отрицательное напряжение ..... | $-10.000\text{ В} \pm 0.005\text{ В}$ .          |
| Выходное положительное напряжение ..... | $10.000\text{ В} \pm 0.005\text{ В}$ .           |
| Токи потребления .....                  | $\leq 17\text{ мА}$ .                            |
| Потребляемая мощность .....             | $\leq 450\text{ мВт}$ .                          |
| Выходной ток .....                      | $\leq 10\text{ мА}$ .                            |
| Выходное сопротивление .....            | $\leq 0.05\text{ Ом}$ .                          |
| Диапазон рабочих температур .....       | от $-25^\circ\text{C}$ до $85^\circ\text{C}$ .   |