

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 27.01.2024 11:46:50  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf75e945df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра биомедицинской инженерии

Утверждаю  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
«25» 09 2023 г.



### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ  
для студентов направления подготовки 12.03.04 – «Биотехнические  
системы и технологии» (бакалавр)

Курск 2023

УДК 621.(076.1)

Составители: А.А.Кузьмин

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент *Т.Н. Конаныхина*

Автоматизированные системы расчета и проектирования электронных схем: методические рекомендации по выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 12.03.04 – «Биотехнические системы и технологии» (бакалавр) / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А.Кузьмин. - Курск, 2023. -17 с.

Содержат методические рекомендации к проведению лабораторных работ по дисциплине «Автоматизированные системы расчета и проектирования электронных схем». Методические указания по структуре, содержанию и стилю изложения материала соответствуют методическим и научным требованиям, предъявляемым к учебным и методическим пособиям.

Предназначены для студентов направления подготовки 12.03.04 – «Биотехнические системы и технологии» (бакалавр)

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 25.09.23 Формат 60x84 1/16

Усо.печ.л. 1,0. Уч.-изд.л. 0,9. Тираж 30 экз. Заказ: 1090. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040. г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## Лабораторная работа №1.

### Создание библиотеки элементов электрической схемы

**1.1 Цель работы:** Изучение программно-технических средств для разработки, проектирования и расчета электронных схем, их использования в микропроцессорных системах и их программирования.

#### 1.2. Краткие теоретические сведения

Разработка библиотеки элементов электрической схемы является важной задачей при практическом использовании вычислительных средств для автоматизации процесса разработки и проектирования. При разработке программ для микроконтроллерных устройств разработчик программы встречает ряд трудностей, преодоление которых отнимает время. Программист вынужден детально вникать в структуру программируемого микроконтроллера, изучать назначение множества его регистров, вплоть до каждого разряда, систему команд и т.п. Кроме того, существуют непроизводительные затраты времени, связанные с повторением этапов, многократно пройденных другими разработчиками.

Программисты при разработке программы, как правило, создают коды, с помощью которых выполняются процедуры инициализации регистров и векторов прерываний микроконтроллера, формируют функции и обработчики прерываний для внутренних интерфейсов микроконтроллера и внешних компонентов. Тем самым разработчики программ фактически повторяют многие стандартные процедуры. При этом большая часть времени тратится на отладку создаваемых функций и обработчиков.

Если для реализации конкретного алгоритма работы устройства действительно требуется уникальный код программы, то для организации работы с внутренними интерфейсами микроконтроллера и стандартизованными внешними устройствами вполне можно обходиться готовыми и проверенными библиотеками, имеющими в своём составе набор самых разнообразных функций для конкретного типа микроконтроллера.

Здесь можно провести аналогию с популярной средой разработки программ для персональных компьютеров Microsoft Visual C++, которая комплектуется библиотекой готовых функций MFC. Такой комплект позволяет создавать сложные программы в довольно сжатые сроки, не тратя массу времени на разработку функций для работы с клавиатурой, манипулятором «мышь», портами компьютера, файлами графики, звуком и т.п. Аналогичные функции имеет среда разработки Borland C++ Builder с библиотекой VCL, а также другие мощные инструменты для разработки компьютерных программ для ПК.

Однако, в настоящее время не только разработчики программ для ПК, но и разработчики программ микроконтроллерных устройств могут воспользоваться замечательной средой, имеющей в своём составе настоящий арсенал готовых функций, позволяющих использовать всю внутреннюю архитектуру микроконтроллера с многочисленными типами интерфейсов и множеством стандартизованных внешних устройств. Одним из таких программных инструментов является среда разработки mikroC компании Mikro-Elektronika.

Данная среда разработки позволяет быстро создавать эффективные программы на весьма распространённом и популярном языке высокого уровня Си. Среда имеет удобный и эргономичный интерфейс пользователя (IDE) со встроенным редактором и мощным отладчиком программ. Встроенный в среду разработки мастер проектов позволяет в считанные минуты создать заготовку рабочей программы для любого микроконтроллера из целого семейства микроконтроллеров. Библиотека готовых функций, входящая в состав этой среды, обеспечивает программиста мощной поддержкой для быстрого и безошибочного создания практически любой программы.

Среда mikroC включает в себя огромное количество библиотечных функций - практически на все случаи жизни. Она содержит функции, которые поддерживают следующие устройства и интерфейсы:

1. встроенный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) микроконтроллера;
2. внутреннюю энергонезависимую память EEPROM микроконтроллера;
3. внутренние широтно-импульсные модуляторы (PWM) микроконтроллера;
4. внешние сменные карты памяти типа MMC, SD и Compact Flash;
5. файловую систему FAT;
6. алфавитно-цифровые жидкокристаллические индикаторы (LCD, ЖКИ);
7. графические жидкокристаллические индикаторы (GLCD, ЖК-дисплей);
8. интерфейсы I2C, SPI, 1-Wire, USART, RS-485, CAN, PS/2, USB (HID) и Ethernet.

Компания MikroElektronika создала среду разработки mikroC для таких популярных и известных микроконтроллеров, как семейство PIC компании Microchip, AVR компании Atmel и MCS-51. Ведётся разработка среды и для других типов МК, в том числе, для самых современных 32-разрядных ARM-контроллеров.

### **1.3. Порядок выполнения работы**

#### **1.3.1. Запустите программную среду Proteus**

- 1.3.2. Добавьте в проект микроконтроллер Pic16F877A
- 1.3.3. Подключите к соответствующим линиям микроконтроллера кварцевый резонатор на частоту 20 МГц
- 1.3.4. Подключите к свободным цифровым линиям 8 светодиодов, последовательно к которым подключены токоограничивающие резисторы
- 1.3.5. Напишите программу, зажигающую светодиоды в соответствии с последовательностью, заданной преподавателем.
- 1.3.6. Откомпилируйте и загрузите программу в микроконтроллер
- 1.3.7 Убедитесь в правильности функционирования программного обеспечения микропроцессорной системы.

#### **4. Содержание отчета**

1. Задание на лабораторную работу
2. Последовательность действий, произведенных при выполнении задания
3. Текст программы
4. Скриншот работы созданной микропроцессорной системы

## Лабораторная работа №2

### Разработка электрической схемы

**2.1. Цель работы:** Овладение практическими навыками в использовании систем для разработки, расчета и проектирования электронных схем на примере САПР Proteus. Изучить практических аспектов сопряжения микроконтроллера с жидкокристаллическим индикатором

### 2.2 Краткие теоретические сведения:

Одним из наиболее часто используемых средств автоматизированного расчета и проектирования электронных схем является САПР Proteus. В данной работе мы познакомимся с использованием данного САПР на примере проектирования электронной схемы, в качестве которой будет выступать микроконтроллер с системой индикации. С использованием МП в цифровых измерительных приборах расширяются функциональные возможности последних, им придаются новые свойства. Приборы превращаются в системные комплексы, улучшаются их характеристики, повышается точность измерения, быстродействие, реализуется автоматизация измерения и последующая обработка больших объемов информации, обеспечивается удобство управления прибором. МП встраиваются в цифровые вольтметры, мультиметры, цифровые и люминофорные осциллографы, анализаторы спектра, частотомеры, мосты и компенсаторы переменного тока, регистраторы переходных процессов (логгеры), измерители неэлектрических величин и другие приборы. Использование микропроцессора и интерфейса в измерительной аппаратуре открывает большие перспективы по созданию «интеллектуальных» приборов недоступной ранее сложности с меньшими затратами и меньшим числом компонентов. Сложный измерительный прибор приближается к вычислительным системам, в нем используются шины с определенными характеристиками, программные средства.

В измерительных приборах МП могут выполнять следующие операции:

- автокалибровку;
- автоматическую установку пределов измерения;
- корректировку погрешностей в процессе измерения;
- статистическую обработку данных, определение средних значений измеряемых величин за определенные интервалы времени, вычисление вариаций, дисперсии, среднеквадратических значений и др.;
- определение абсолютных и процентных отклонений от номинальных значений, вычисление отношений максимум-минимум, умножение и деление на константу;
- обработку данных по упрощенным алгоритмам, определение контролируемых параметров по измеренным значениям и известным зависимостям;

- визуальное отображение и регистрацию данных на осциллографах, дисплеях, обработку по специальным алгоритмам, определение временных интервалов между двумя маркерами, мощности импульсного и среднего значений и др.;
- управление процессами измерения на осциллографах, записи данных в память, сложных видов синхронизации в цифровых осциллографах, формирования знаков и маркерных меток, изменения цвета и интенсивности и др.;
- управление процессом измерения по заданной программе в цифровых мультиметрах, уравнивания в приборах сравнения, работой отдельных узлов (АЦП, ЦАП и др.);
- диагностику функциональных узлов до начала измерения в осциллографах, мультиметрах и др.

В процессе автоматической диагностики МП анализирует свои в работе как аналоговых, так и цифровых узлов прибора. В память МП заносится программа, определяющая порядок тестовых операций. Суть операции состоит в подаче на функциональные узлы прибора контрольных эталонных сигналов (для аналоговой части) и кодовых комбинаций (для цифровой части) и сравнение реальных сигналов на выходе с номинальными, заложенными в памяти.

Если прибор с встроенным МП планируется включить в измерительную систему, то это реализуется с помощью приборного интерфейса.

При использовании МП в приборе аналого-цифровой преобразователь перемещается к входу, так как основная доля обработки сигналов осуществляется цифровым способом, т. е. с цифровыми эквивалентами. Структура измерительной системы на базе микроконтроллера как правило включает в себя следующие элементы:

1. Масштабирующий усилитель с гальванической развязкой прибора или без него
2. Антиалиазинговый фильтр (antialiasing filter)
3. Аналого-цифровой преобразователь
4. Микроконтроллер
5. Схема индикации и отображения информации.

Рассмотрим возможный вариант построения системы индикации на базе микроконтроллера PIC16F877 и жидкокристаллического дисплея LM016L. Дисплей представляет собой алфавитно-цифровое средство для отображения информации с разрешением 16X2. При этом приняты следующие обозначения выводов устройства

1. VSS вход, предназначенный для подключения общего провода
2. VDD вход для подключения положительного напряжения +5V.
3. VEE дополнительный вход для управления контрастностью дисплея.
4. Вход сброса устройства

5. Управляющий вход, определяющий чтение информации из устройства (логическая 1) или запись информации в устройство (логический 0)
6. Вход разрешения работы устройства (Enable), активный уровень логической 1.
7. D0-D7 информационные входы, данные для отображения.

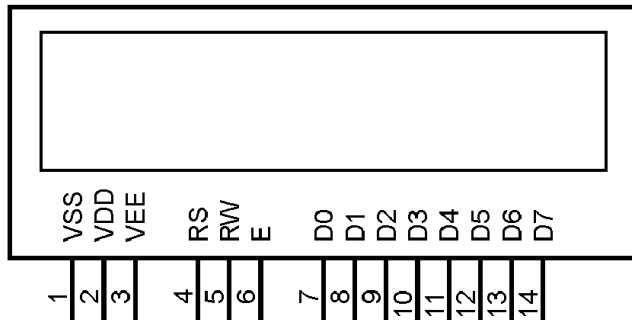


Рис. 1. LCD дисплей LM016L

Устройство отображения информации может подключаться как с использованием 8-битной схемы, так и с использованием 4-битной схемы подключения. В последнем случае происходит передача одного байта за 2 цикла.

Рис.2.1 иллюстрирует наиболее общепринятую схему подключения LCD дисплея к микроконтроллеру измерительной системы:

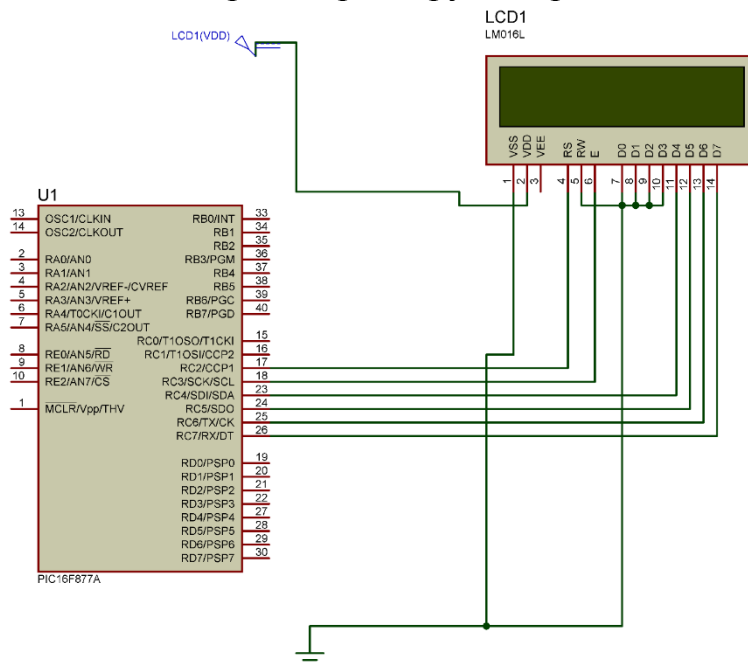


Рис. 2.1 Подключение устройства отображения информации к микроконтроллеру



Для программирования устройства отображения информации обычно используется язык С, который компилируется в исполнимый код микроконтроллера (.hex) с использованием пакета программ MikroC.

### 2.3. Порядок выполнения работы

2.3.1 Запустите программный комплекс Proteus

2.3.2 Создайте микропроцессорную систему, с подключенным жидкокристаллическим индикатором в соответствии с рис. 2.1.

2.3.3. Напишите программу, которая позволяет вывести бегущую строку с текстом "Hello students"

2.3.4. Отладьте созданную программу, откомпилируйте ее и загрузите в микроконтроллер

2.3.5. Убедитесь в правильности функционирования разработанной системы

### 2.4 Содержание отчета

1. Титульный лист
2. Задание на лабораторную работу
3. Листинг программы
4. Скриншот работы созданной системы

### Лабораторная работа №3

Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование, создание цифровых приборов и систем на базе современных микроконтроллеров и микропроцессоров

**3.1. Цель работы:** изучить основы использования САПР Proteus для автоматизированного проектирования схем с использованием аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей.

### 3.2. Краткие теоретические сведения

Микроконтроллеры PIC16 имеют в своем составе 10-ти разрядный модуль аналого-цифрового преобразователя (АЦП) последовательного приближения. Метод последовательного приближения предполагает получение результата за несколько измерений (сравнений), с постепенным увеличением точности в каждом последующем сравнении. Таким образом, преобразование выполняется за несколько машинных циклов. Естественно, данный метод уступает параллельным АЦП по скорости преобразования, в которых результат получают за один такт (машинный цикл). На рисунке ниже представлена структурная схема аналогового входа АЦП:

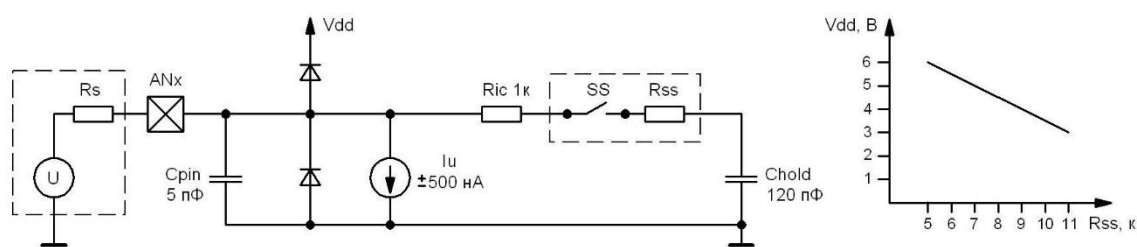


Рис.3.1. Структурная схема АЦП

Здесь  $R_s$  – это внутреннее сопротивление источника напряжения,  $ANx$  – линия порта микроконтроллера, обладающая емкостью  $C_{pin}$  и током утечки  $I_u$ . Внутренние соединения микроконтроллера имеют сопротивление  $R_{ic}$ . Переключатель  $SS$  имеющий сопротивление  $R_{ss}$ , подключает линию порта  $ANx$  к конденсатору  $Chold$  модуля АЦП. Коммутация переключателя  $SS$  производится при выборе аналогового

канала, каждому каналу соответствует свой переключатель. Сопротивление переключателя защелки зависит от напряжения питания, график зависимости показан на рисунке справа.

Процесс измерения напряжения выглядит следующим образом: при выборе аналогового канала происходит коммутация переключателя SS, тем самым конденсатор Chold подключается к соответствующей линии порта микроконтроллера и начинает заряжаться. После получения команды начинается процесс преобразования, на время которого конденсатор отключается от линии порта. После выбора аналогового канала битами CHS(2:0) регистра ADCON0, необходимо организовать определенную паузу (T<sub>acq</sub>) перед началом преобразования, для того чтобы конденсатор Chold успел зарядиться. В технической документации приводится расчет этого времени, который представлен ниже:

$$\begin{aligned} T_{ACQ} &= \text{Время задержки усилителя} + \text{Время заряда конденсатора } C_{\text{HOLD}} + \text{Температурный коэффициент} \\ &= T_{\text{AMP}} + T_C + T_{\text{COFF}} \\ &= 2\text{мкс} + T_C + [(Температура - 25^\circ\text{C})(0.05\text{мкс}/^\circ\text{C})] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_C &= -C_{\text{HOLD}} (R_{\text{IC}} + R_{\text{SS}} + R_S) \ln(1/2047) \\ &= -120\text{пФ} (1\text{кОм} + 7\text{кОм} + 10\text{кОм}) \ln(0.0004885) \\ &= 16.47\text{мкс} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{ACQ} &= 2\text{мкс} + 16.47\text{мкс} + [(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})(0.05\text{мкс}/^\circ\text{C})] \\ &= 19.72\text{мкс} \end{aligned}$$

В основном на время заряда влияет внутреннее сопротивление источника напряжения R<sub>s</sub>, которое не должно превышать 10 кОм, для компенсации внутреннего тока утечки I<sub>u</sub>, кроме этого влияние оказывает сопротивление переключателя защелки R<sub>ss</sub> и емкость самого конденсатора Chold, которая может различаться у различных моделей микроконтроллеров.

Время преобразования составляет 12T<sub>ad</sub>, где T<sub>ad</sub> это время получения одного бита, для корректного результата T<sub>ad</sub> не должно быть меньше 1,6 мкс. Время T<sub>ad</sub> в зависимости от частоты тактового генератора подбирается настройкой битов ADCS(2:0), в даташите на микроконтроллер для этого приводится таблица, где можно подобрать правильное значение. После окончания преобразования необходимо

выдержать паузу не менее  $2T_{ad}$  перед началом нового преобразования, в течение этого времени конденсатор  $Chold$  не подключен к выбранной линии порта микроконтроллера. В принципе, если аналоговый канал не меняется и частота преобразований небольшая (время между преобразованиями больше чем  $T_{acq}+2T_{ad}$ ), можно и не рассчитывать временные задержки  $T_{acq}$ ,  $2T_{ad}$ , и забыть о них.

Чтобы использовать линии порта микроконтроллера для АЦП, необходимо их настроить как аналоговые входы битами  $ANS(7:0)$  регистра  $ANSEL$ , при этом линия порта должна быть настроена на вход битами регистра  $TRIS$ . После этого выбирается требуемый аналоговый канал.

Результат преобразования (10 бит) сохраняется в регистрах  $ADRESH$  и  $ADRESL$ . Эти регистры представляют собой спаренный 16-ти разрядный регистр, запись результата может выполняться с правым или левым выравниваем, как показано на картинке ниже. Настройка выравнивания осуществляется с помощью бита  $ADFM$  регистра  $ADCON0$ .

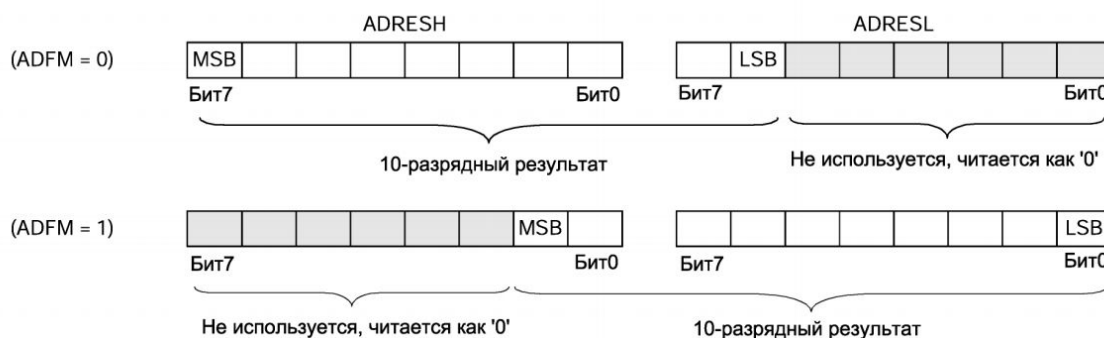


Рис.3.2. Регистры аналого-цифрового преобразователя

В качестве опорного напряжения может использоваться внешнее напряжение с вывода  $V_{ref}$ , или внутреннее  $V_{dd}$  от источника питания, настройка осуществляется битом  $VCFG$ . Для увеличения точности результата опорное напряжение должно быть стабилизированным с минимальным уровнем пульсаций. При опорном напряжении  $V_{ref} = 5$  В, получим дискретность  $5V/1024 = 0,0049$  В = 4,9 мВ для 10-ти битного результата. Для получения 8-ми битного результата необходимо применить левое выравнивание и считывать только регистр  $ADRESH$ , в этом случае для  $V_{ref} = 5$  В дискретность составит  $5V/256 = 0,0195$  В = 9,5 мВ.

Включение модуля АЦП производится битом ADON регистра ADCON0, запуск преобразования осуществляется установкой бита GO/-DONE регистра ADCON0, который аппаратно сбрасывается после окончания преобразования, то есть проверкой этого бита можно определить конец преобразования.

### 3.3. Порядок выполнения работы

#### 3.3.1. Загрузите программный комплекс Proteus

#### 3.3.2 Разработайте микропроцессорную систему, принципиальная схема которой предстваленна на рис. 3.2.

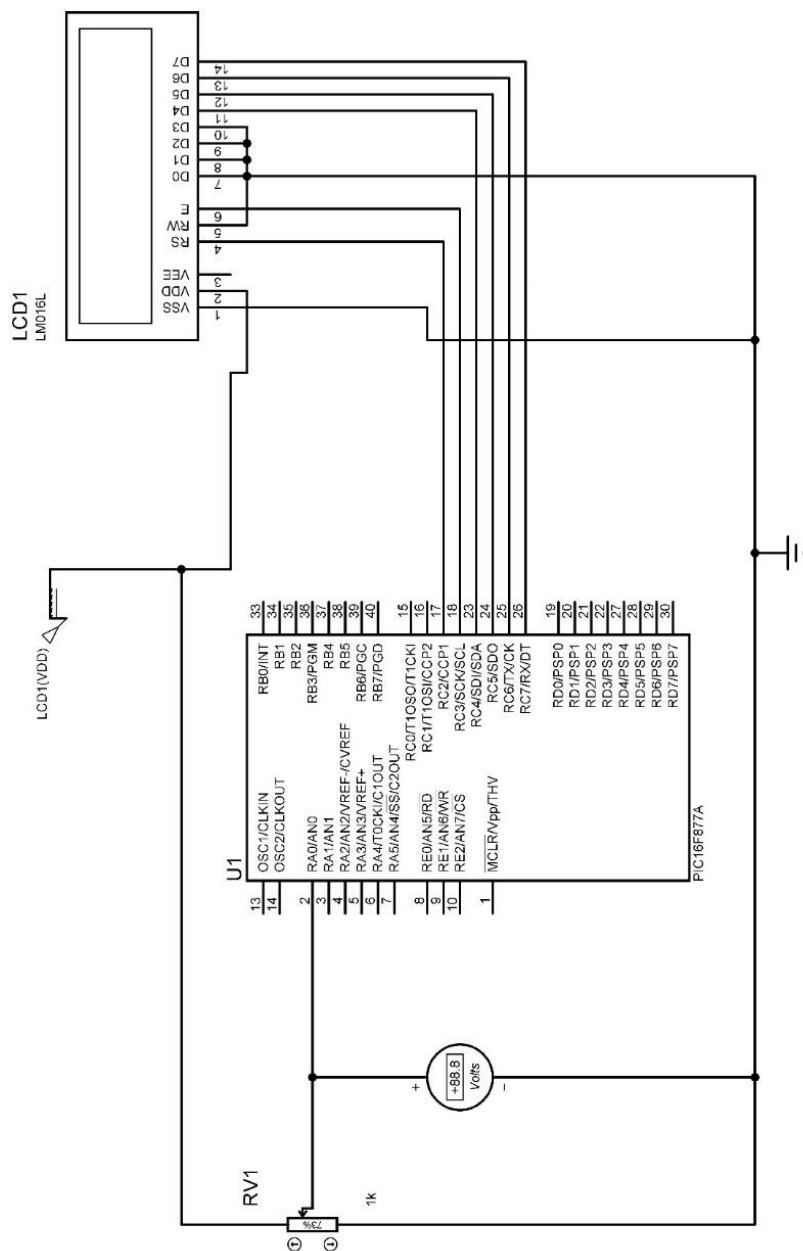


Рис.3.2. Принципиальная схема измерителя напряжения на базе микропроцессора PIC16f877A

3.3.3. Разработайте программу, позволяющую производить запуск АЦП, ожидание преобразования, чтение результата, вывод результата на модуль жидко-кристаллической индикации с представлением результата измерения в вольтах.

3.3.4 Отладьте программу и загрузите ее в микроконтроллер

3.3.5. Сделайте скриншот работы системы и внесите его в отчет

### **3.4 Содержание отчета**

1. Титульный лист
2. Задание на лабораторную работу
3. Листинг программы
4. Скриншот работы системы

## Лабораторная работа № 4

### Автоматизированное проектирование узлов приборов и систем обработки сигнала во временном домене

**4.1. Цель работы:** Приобретение практических навыков в реализации приборов и систем, позволяющих проводить автоматическую обработку сигналов во временном домене. Использование программного комплекса Matlab для расчета цифровых фильтров.

#### 4.2. Краткие теоретические сведения:

Существует два принципиальных подхода в фильтрации сигнала: аналоговые фильтры, построение которых ведется с использованием активных и пассивных элементов, таких как операционные усилители, катушки индуктивности, транзисторы, конденсаторы и прочие. И цифровой способ обработки, когда для процесса фильтрации используется микроконтроллер и соответствующее программное обеспечение. Второй способ предпочтительнее, поскольку позволяет создавать любые фильтры высокого порядка с использованием программных средств, существенно снижая себестоимость конечного изделия, одновременно реализуя реализацию фильтров высокого порядка.

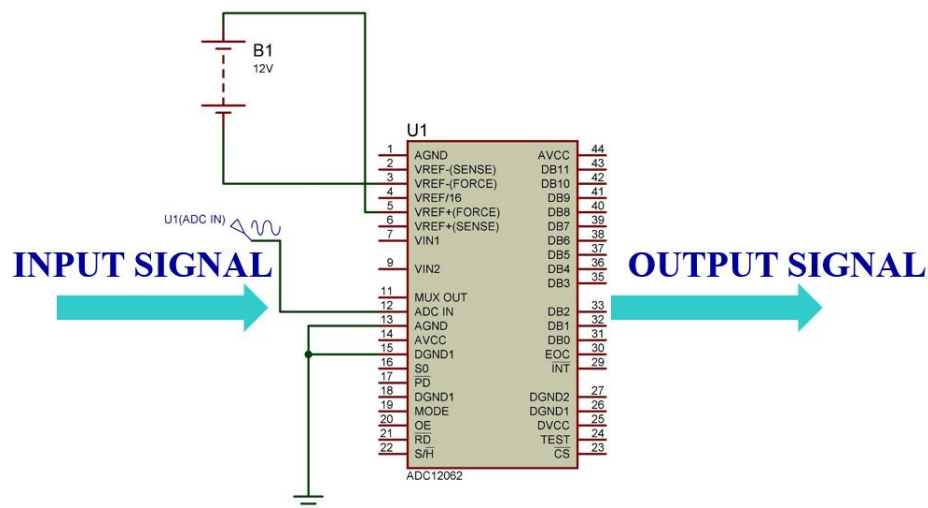


Рис.4.1. структура системы, реализующей цифровую фильтрацию

При этом, основой для обработки цифрового сигнала является так называемое преобразование под названием свертка сигнала или его умножение в частотном домене:

$$y[n] = x[n] * h[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k] \cdot x[n - k] \quad 4.1,$$

где  $h[n]$  - импульсный ответ системы,  $x[n]$  - входной сигнал.

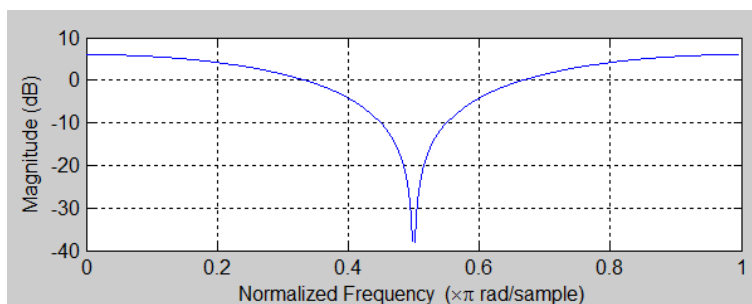


Рис.4.2. Расчет АЧХ фильтра средствами системы Matlab

Рис.4.2. иллюстрирует частотный ответ системы, имеющую цифровой фильтр с импульсной характеристикой  $[1;0;1]$

### 4.3. Порядок выполнения работы

4.3.1 Запустите программный комплекс Matlab

4.3.2 Получите у преподавателя задание на расчет цифрового фильтра. Фильтр должен функционировать на частоте дискретизации 100 Гц.

4.3.2. Используя комплекс Matlab получите импульсную характеристику рассчитываемого фильтра.

4.3.3. Разработайте микропроцессорную систему, которая реализует разработанный вами фильтр. В качестве примера используйте рисунок 4.3.

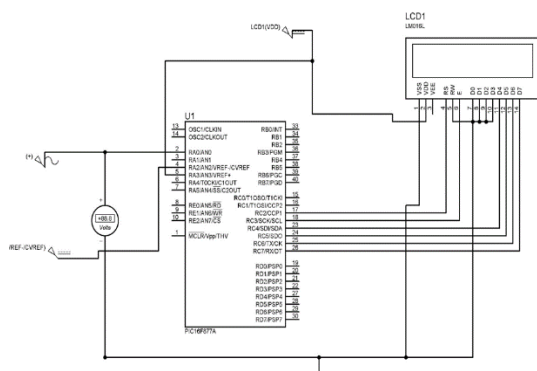


Рис.4.3. Принципиальная схема микропроцессорной системы



- 4.3.3. Запрограммируйте микропроцессорную систему таким образом, чтобы она реализовывала разработанный вами фильтр.
- 4.3.4. Отладьте и откомпилируйте программу
- 4.3.5. Убедитесь в правильной работе микроконтроллера и создайте скриншот работы системы

#### **4.4 Содержание отчета**

- 1. Титульный лист
- 2. Задание на лабораторную работу
- 3. Листинг программы
- 4. Скриншот работы приложения