

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

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(институт)

Промышленная электроника

(кафедра)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему **МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ
СЕНСОРНЫМ ЭКРАНОМ**

Студент(ка)	<u>В.О. Кирьяков</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	<u>к.т.н., доцент В.А. Медведев</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	_____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	_____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2016

Аннотация

УДК 621.314.572

ББК 32 852

Бакалаврская работа Кирьякова Владислава Олеговича по теме «Микропроцессорный модуль управления сенсорным экраном». Руководитель: Медведев Валерий Александрович. Защищена в Тольяттинском государственном университете в 2016 году.

Пояснительная записка: 78с., 4 разд., 51 рис., 7 табл.

Графическая часть - 6 листов формата А1.

Ключевые слова: управление ЖК индикаторами, контроллер управления жидкокристаллическим дисплеем, резистивные и емкостные сенсорные экраны, принципиальная схема, микроконтроллер семейства PIC18F, программирование контроллера, печатная плата.

Бакалаврская работа посвящена разработке микропроцессорного модуля управления сенсорным экраном. В ходе проектирования устройства разработана структурная схема модуля, дано обоснование выбора элементной базы, разработаны принципиальная схема и печатная плата модуля. Выбраны средства программирования и отладки микроконтроллера.

Содержание

Введение	5
1 Аналитическая часть. Исследование современного состояния систем управления сенсорными ЖКД	6
1.1 Особенности конструктивного исполнения ЖКИ/ЖКД.....	6
1.2 Принципы управления ЖК индикаторами.....	8
1.2.1 Статическое управление	8
1.2.2 Мультиплексное управление	9
1.3 Использование микроконтроллеров для управления ЖКИ/ЖКД.....	9
1.3.1 Внешние контроллеры управления ЖКИ.....	10
1.3.2 Использование внешнего управляющего микроконтроллера	11
1.3.3 Использование МК со интегрированным драйвером ЖКИ.....	11
1.3.4 Использование ЖК-индикатора со встроенным контроллером	12
1.4 Использование специализированных ИС для управления ЖКД	14
1.5 Анализ применимости различных технологий сенсорных экранов.....	20
1.5.1 Резистивные сенсорные панели	22
1.5.2 Емкостные сенсорные панели	24
1.6 Контроллеры резистивных сенсорных панелей	25
1.6.1 Типовая структурная схема контроллеров	26
1.6.2 Основные требования к контроллерам	27
1.6.3 Обзор микросхем контроллеров	28
2 Расчетная часть. Проектирование контроллера управления сенсорным экраном	33
2.1 Выбор контроллера графического ЖКД.....	33
2.2 Выбор контроллера резистивной сенсорной панели	38
2.3 Функциональная схема контроллера управления сенсорным экраном	40
2.4 Обоснование выбора элементной базы устройства	42
2.4.1 Выбор управляющего микроконтроллера	42
2.4.2 Выбор трансивера SPI\USB	45
2.5 Расчет надежности разработанного устройства.....	49

3 Конструкторская часть. Реализация и ввод в эксплуатацию контроллера управления СЭ	52
3.1 Конструкторско-технологическое обеспечение разработки	52
3.2 Калибровка контроллера сенсорной панели	56
3.3 Инструментальные средства отладки и программирования МК PIC18F4525	56
3.3.1 Система разработки программного обеспечения МК PIC 18F45xx...	58
3.3.2 Средства разработки ПО контроллера управления	60
3.4 Внутрисхемное программирование микроконтроллеров PIC.....	64
4 Оценка экономической эффективности разработанного устройства.....	68
4.1 Выбор и обоснование базового варианта.....	68
4.2 Расчет экономической эффективности производства контроллера управления сенсорным экраном.....	68
4.2.1 Затраты по статье «Материалы основные».....	69
4.2.2 Расчет затрат по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты».....	70
4.2.3 Затраты по статье «Зарплата основная»	71
4.2.4 Отчисления и накладные расходы	73
4.2.5 Себестоимость продукции	73
4.2.6 Расчет экономического эффекта.....	74
Заключение	76
Список литературы	77

Введение

В настоящее время в связи с распространением карманных и планшетных компьютеров, электронных книг, различных терминалов сенсорные экраны (Touch Screen) стали такими же привычным явлением [1-4].

Сенсорные экраны не содержат подвижных частей, и принципы их работы не связаны с механическими системами, что способствует высокой надежности таких экранов и продолжительному сроку службы. В промышленной и специальной аппаратуре сенсорные экраны позволяют отказаться от использования дорогостоящей влаго- и пылезащищенной клавиатуры [5].

Еще одно значительное преимущество сенсорного экрана - это то, что при модификации прибора не требуется переделывать клавиатуру, а значит, и корпус. Необходимо только скорректировать программу для вывода на экран соответствующей информации и прорисовки новых «кнопок».

Сенсорные экраны не содержат подвижных частей, и принципы их работы не связаны с механическими системами, что способствует высокой надежности таких экранов и продолжительному сроку службы. В промышленной и специальной аппаратуре сенсорные экраны позволяют отказаться от использования дорогостоящей влаго- и пылезащищенной клавиатуры

Обмен данными с HID устройствами имеет достаточно гибкую структуру для описания любого типа устройства и формата передачи данных. Поскольку все ОС семейства Windows уже имеют встроенные HID-Class драйвера, то отпадает необходимость в трудоемкой разработке собственного драйвера для вновь разрабатываемого устройства.

Из вышесказанного следует, что применение сенсорных экранов для управления различными устройствами позволяет заметно удешевить и повысить надежность не только самих устройств, но и сделать работу с ними более наглядной, удобной и комфортной. Следовательно, разработка устройств, реализующих принципы HID интерфейса, является весьма актуальной задачей.

1 Аналитическая часть. Исследование современного состояния систем управления сенсорными ЖКД

В настоящее время существует огромное количество дисплеев на основе жидких кристаллов (LCD), светодиодов (LED), органических пленок (OLED) и других физических принципов. Не меньшее количество драйверов (интерфейсов) для этих дисплеев предлагают производители и сторонние фирмы.

Тем не менее, пока наибольшее распространение получили только дисплеи на основе жидких кристаллов благодаря их низкой цене, многофункциональности, доступности информации по применению и разработке программного обеспечения.

Установка поверх ЖК дисплея сенсорной панели или сенсорной пленки (Touch Screen или Touch Panel) позволяет вводить в устройство координаты прикосновения к экрану пальцем или иным предметом. Сформировав на экране ЖКД соответствующие изображения, можно реализовать требуемый HID (HMI) интерфейс пользователя.

Рассмотрим принципы работы ЖКД и сенсорных панелей с целью определения требований к аппаратной и программной реализации их систем управления. После этого можно будет выработать пути решения поставленной задачи – разработке контроллера управления сенсорным экраном для устройств класса HMI.

1.1 Особенности конструктивного исполнения ЖКИ/ЖКД

Для отображения информации в большинстве современных устройств используются дисплеи, содержащие в своей основе ту или иную вариацию жидкокристаллического вещества. Такие ЖКИ относятся к пассивному типу индикаторов: они только модулируют внешний световой поток под действием электрического поля. В качестве модулятора используется специальный материал - кристаллическая структура, так называемый «жидкий кристалл».

Принцип работы ЖКИ основывается на твист-эффекте - закручивании молекул ЖК материала в спиралевидную структуру из-за взаимодействия электрических полей диполей. ЖК материал вводится в пространство между двумя под-

ложками, склеенными между собой (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Конструкция ЖК индикаторов и дисплеев.

При этом для равномерности расстояния между подложками, в зазор между ними помимо ЖК введены «спейсеры» - стеклянные или пластиковые шарики либо цилиндры. На внутренние поверхности подложек нанесены электроды в виде пленки оксида индия ИТО (Indium Tin Oxide). Слой ориентирующих покрытий предназначен для правильной ориентации молекул ЖК в пространстве [7,8].

Электроды подложки и сегментов делают предельно прозрачными, нанося тончайший проводящий слой на стекло. Варьируя контуры площади, занимаемой электродом, можно сформировать самые разные изображения: буквы, цифры, иконки и пр. Так создаются символьные ЖК индикаторы. А при создании массива электродов (ортогональной матрицы) можно получить графический ЖК дисплей с разрешением, которое определяется количеством задействованных электродов.

В использовании ЖК индикаторов есть важное ограничение, состоящее в том, что категорически запрещается прикладывать к электродам напряжение постоянной полярности. В этом случае начинается разрушение напылённых проводников, и индикатор быстро выходит из строя. На практике применяют чередование высокого и низкого уровней на подложке и электродах, обеспечивающее изменение полярности на активном сегменте.

Частота изменения уровней напряжения с одной стороны, не должна быть слишком низкой, чтобы не успевал начаться процесс разрушения, с другой стороны, при слишком высокой частоте молекулы рабочей жидкости не будут успевать переориентироваться в электрическом поле. Практика показывает, что достаточно, чтобы частота переключений составляла 100...200 Гц. Диаграммы рабочего процесса показаны на рисунке 1.2.

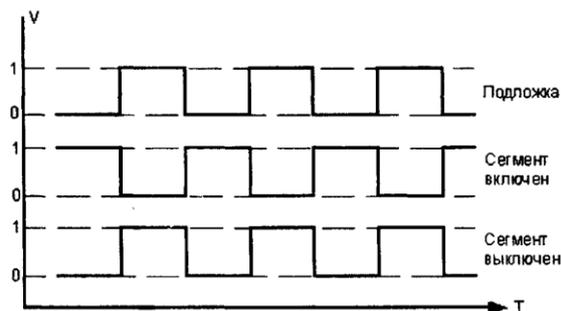


Рисунок 1.2 - Диаграммы напряжений на электродах ЖК индикатора.

Чтобы уменьшить число выводов, сегменты объединяют в группы, используют несколько подложек и/или подают на них ступенчатое напряжение с несколькими уровнями. При этом напряжение на сегментах также меняется ступенчато. В этом случае применяют либо микроконтроллеры со встроенными драйверами ЖКИ, либо специальные микросхемы контроллеров ЖКИ.

1.2 Принципы управления ЖК индикаторами

Управление – это процесс включения и выключения соответствующих элементов ЖК индикатора с целью создания изображения. В настоящее время широко используются статическое управление и мультиплексированное.

1.2.1 Статическое управление

Прямое статическое управление может применяться только для индикаторов с малым числом активизируемых элементов. При этом каждый элемент индикатора имеет собственную цепь управления, и управляющее напряжение прикладывается к каждому элементу (рисунок 1.3).

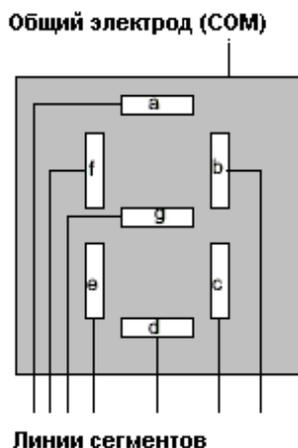


Рисунок 1.3 – Прямое управление элементами ЖК индикатора.

Наибольшее применение статическое управление находит в обычных се-

мисегментных ЖКИ. Для графических ЖКД такой способ управления не применяется.

1.2.2 Мультиплексное управление

Мультиплексирование позволяет управлять большим количеством элементов ЖК индикатора. Если элементы упорядочены, то могут адресоваться по строкам и столбцам (рисунок 1.4).

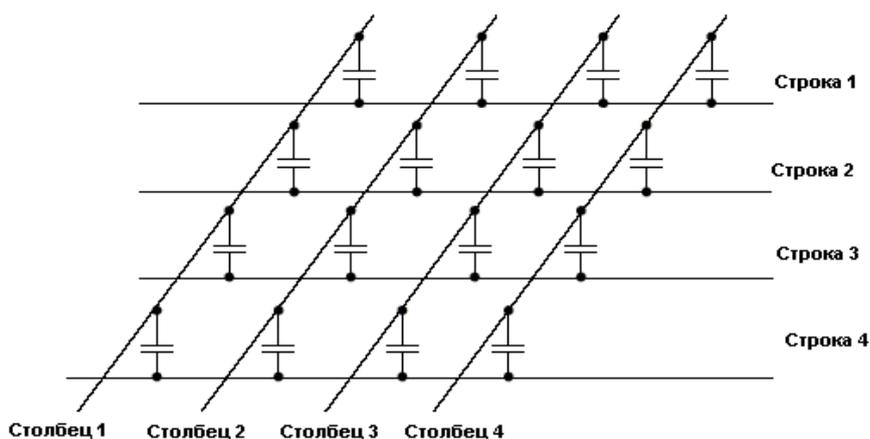


Рисунок 1.4 - Мультиплексное управление ЖКИ.

Таким способом существенно упрощается схема управления, т.к. каждому элементу индикатора не нужна собственная управляющая линия. Для матрицы 4x4 элементов понадобится 16 драйверов при статическом управлении. Если использовать мультиплексное управление, то число драйверов можно снизить до восьми – по одному на каждый столбец и строку (рисунок 1.5).

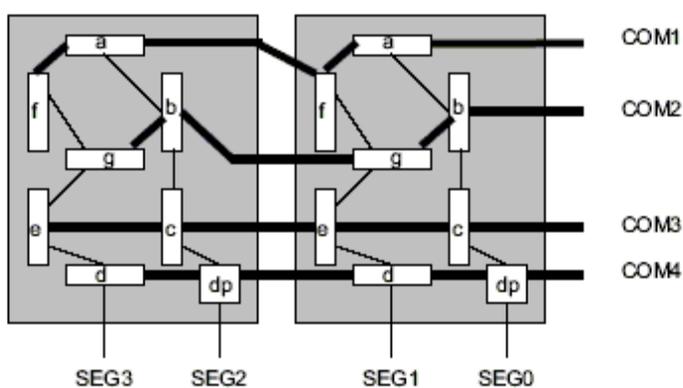


Рисунок 1.5 – Мультиплексное управление семисегментным ЖКИ.

1.3 Использование микроконтроллеров для управления ЖКИ/ЖКД

Микроконтроллеры являются многофункциональными устройствами, существенно отличающимися по набору аппаратных модулей, вычислительной

мощности, объему памяти и прочее. Поэтому рассмотрим основные варианты использования МК для управления ЖК индикаторами и дисплеями.

1.3.1 Внешние контроллеры управления ЖКИ

При управлении ЖК индикаторами, включающими множество цифр или знаков, приходится прибегать к двойному или тройному мультиплексированию [9]. В этом случае наиболее простое решение заключается в использовании внешнего специализированного микроконтроллера, предназначенного для управления многоэлементными индикаторами.

В качестве примера можно привести внешний контроллер для управления ЖКИ (до 48 сегментов) - ИС типа MC145000 фирмы Motorola (рисунок 1.6).

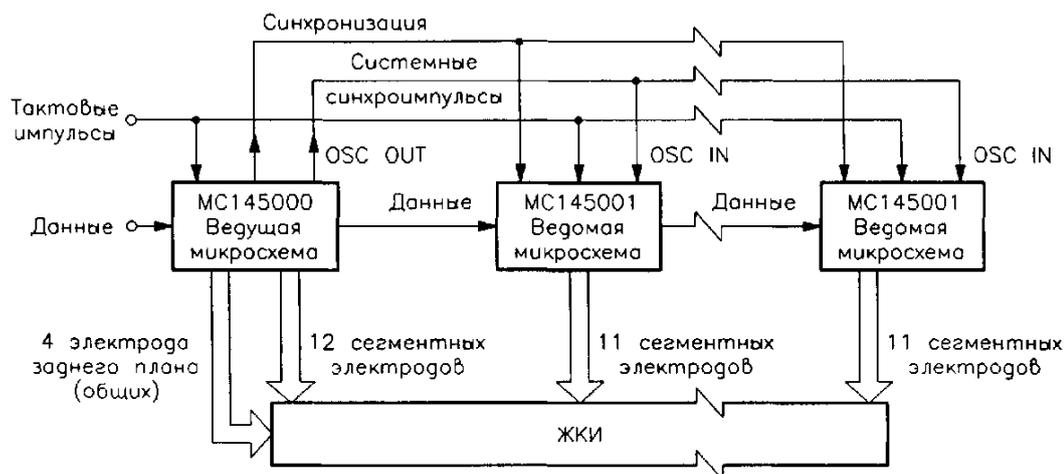


Рисунок 1.6 - Внешний контроллер управления ЖКИ MC145000.

Эта ИС предполагает матричное управление индикатором и имеет четыре выхода для общих электродов (back plane) и двенадцать для сегментных (фронтальных). Если этого недостаточно, можно к схеме MC145000 подсоединить подчиненную микросхему MC 145001.

Кроме обычных функций управления, микросхема MC145000 предоставляет дополнительные возможности. Она позволяет перепрограммировать таблицу знаковогенератора, используемую в ЖКИ для индикации данных. Используя сегментное представление необходимых знаков, можно отобразить самые разнообразные знаки.

В качестве примера более функционального устройства можно привести ИС PCF8566 и PCF8576 фирмы Philips— однокристалльные контроллеры ЖКИ с

встроенным драйвером и ОЗУ данных для соответственно 96 и 160 сегментов. Подключение так же осуществляется всего по двум проводам.

1.3.2 Использование внешнего управляющего микроконтроллера

При подключении ЖК индикатора непосредственно к портам ввода\вывода микроконтроллера основная задача - обеспечить симметричное управляющее напряжение для предотвращения повреждения молекул ЖК. Постоянное смещение должно быть минимизировано.

Сложность формирования управляющих напряжений периодическим изменением выходного значения порта (а также его направления) приводит к существенному программному оверхеду. Контроль ЖКИ становится при этом высокоприоритетной задачей для микроконтроллера, снижая производительность для других задач. Сильное влияние так же будут оказывать прерывания.

Кроме усложнения (в ряде случаев значительного) программы МК, еще одним существенным недостатком такого способа управления является тот факт, что электрические характеристики выходных уровней порта и их температурная нестабильность, также как нестабильность внешних резисторов также могут существенно влиять на величину управляющих напряжений.

Учитывая перечисленные недостатки, этот способ управления ЖК индикатором явно не подходит для решения поставленной задачи.

1.3.3 Использование МК со интегрированным драйвером ЖКИ

Множество фирм-производителей микроконтроллеров, расширяя функциональные возможности своей продукции, обеспечивают аппаратную реализацию различного рода интерфейсов передачи данных: SPI, I²C, CAN, UART и др. поэтому вполне понятно, что существуют контроллеры, у которых аппаратно реализованы интерфейсы управления ЖК-индикатором. При этом возможности МК (количество сегментов ЖКИ) главным образом определяются количеством выводов микроконтроллера.

В качестве примера следует привести фирму Fujitsu Microelectronics, которая предлагает ряд 8 и 16 битных МК с встроенным драйвером управления ЖКИ с разрядностью до 4x70. Для примера рассмотрим микроконтроллер серии

MB90420.

ЖК контроллер (драйвер) содержит средства вывода встроенной дисплейной памяти 12x8 бит на ЖК индикатор посредством выходов COM и SEG. Индикатор подсоединяется напрямую к драйверу. Структурная схема MB90420 приведена на рисунке 1.7.

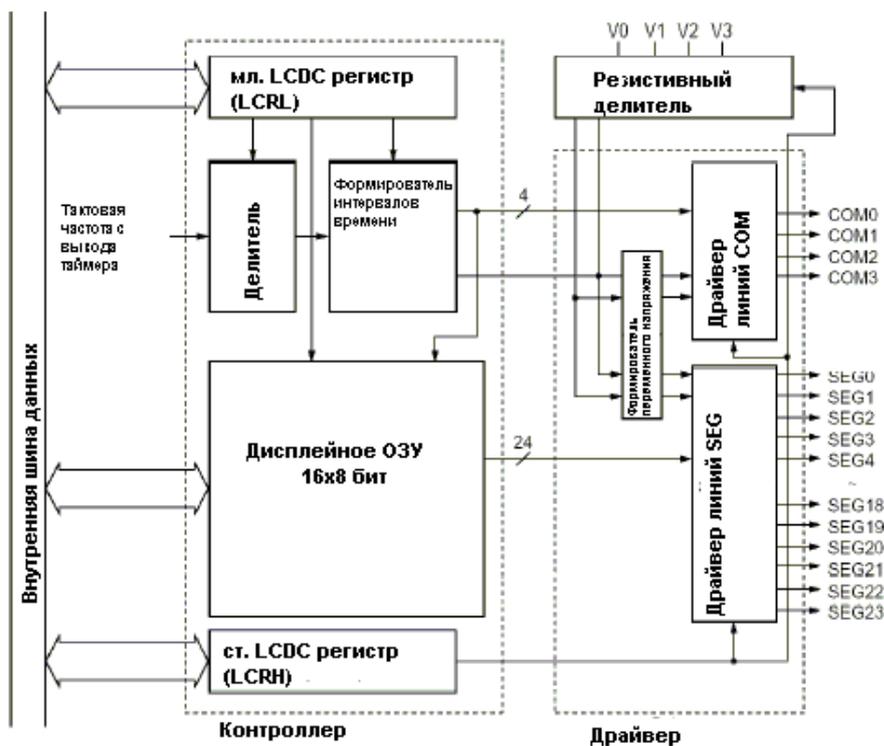


Рисунок 1.7 - Структурная схема микроконтроллера MB90420.

Дисплейное ОЗУ хранит информацию о состоянии («вкл/выкл») каждого из 4x24 сегментов. Каждый единичный бит формирует выходной сигнал, включающий соответствующий сегмент, каждый нулевой бит выключает сегмент.

1.3.4 Использование ЖК-индикатора со встроенным контроллером

Для повышения функциональности ЖКИ, упрощения программного обеспечения и аппаратной реализации интерфейсов в настоящее время широко применяются символьные ЖК модули со встроенным контроллером и драйвером, связанные с микроконтроллером по простому параллельному интерфейсу.

Во многих таких модулях применяется контроллер HD44780 или его аналоги. Контроллер поддерживает до 80 цифробуквенных символов для поддержки модулей с конфигурацией 2x14, 2x16, 2x20, 2x24, 2x40, 4x20 символов.

Требования, предъявляемые к интерфейсу микроконтроллера не сложны.

Для связи требуется всего 7 линий ввода-вывода. На рисунке 1.8 показано подключение такого стандартного модуля.

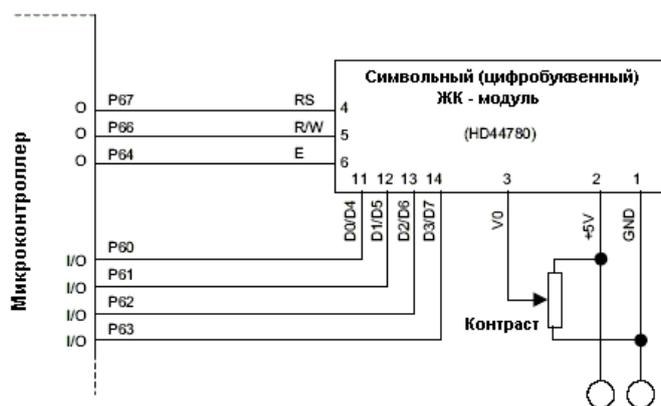


Рисунок 1.8 – Пример подключения ЖКИ с контроллером HD44780.

В данном примере используется порт 6, но можно использовать любой другой порт. Индикатор может работать в двух режимах: три служебные линии (E,R/W,RS) и 4-х или 8-битная шина данных. Для того, чтобы уменьшить используемые выводы, в этом примере использован 4-битный режим. Каждый байт данных передаётся двумя тетрадами с помощью специального протокола.

Подающееся на дисплей напряжение управления контрастом обычно регулируется с помощью потенциометра, который выполняет функцию делителя напряжения.

Жидкокристаллический дисплей подключается через шину, которая обеспечивает быструю передачу (запись) данных на дисплей и считывание с него. Данные имеют восьмибитный формат и пересылается в виде 4- или 8-разрядных кодовых посылок. Если используется 4-разрядный формат передачи, то отсылаются два полубайта данных: сначала старший, а затем младший, сопровождаемые синхроимпульсами по линии E. Вместе они образуют 8-разрядный код.

Выбор формата пересылки данных на дисплей очень важен с точки зрения последующей разработки программных приложений. Режим с 8-разрядным форматом передачи оказывается наиболее удобным, если необходимо обеспечить большую скорость обмена данными в рамках приложения, однако этот режим требует, как минимум десяти выводов микроконтроллера для ввода/вывода данных.

1.4 Использование специализированных ИС для управления ЖКД

Как было показано выше, использование методов управления символьными ЖКИ не подходит для управления графическими ЖКД высокого разрешения (320x200 пикселей и более). Даже в случае мультиплексирования количество линий связи и требуемый объем видео ОЗУ становятся труднореализуемыми факторами. Решение вопроса заключается в использовании специализированных ИС контроллеров, разработанных для управления графическими ЖКД.

Как правило, ЖКД с разрешением до 320x200 имеют встроенный контроллер, но устройства с более высоким разрешением выпускаются без встроенного контроллера. Поэтому при использовании графических ЖКД в устройство нужно ставить внешнюю плату контроллера управления (рисунок 1.9).

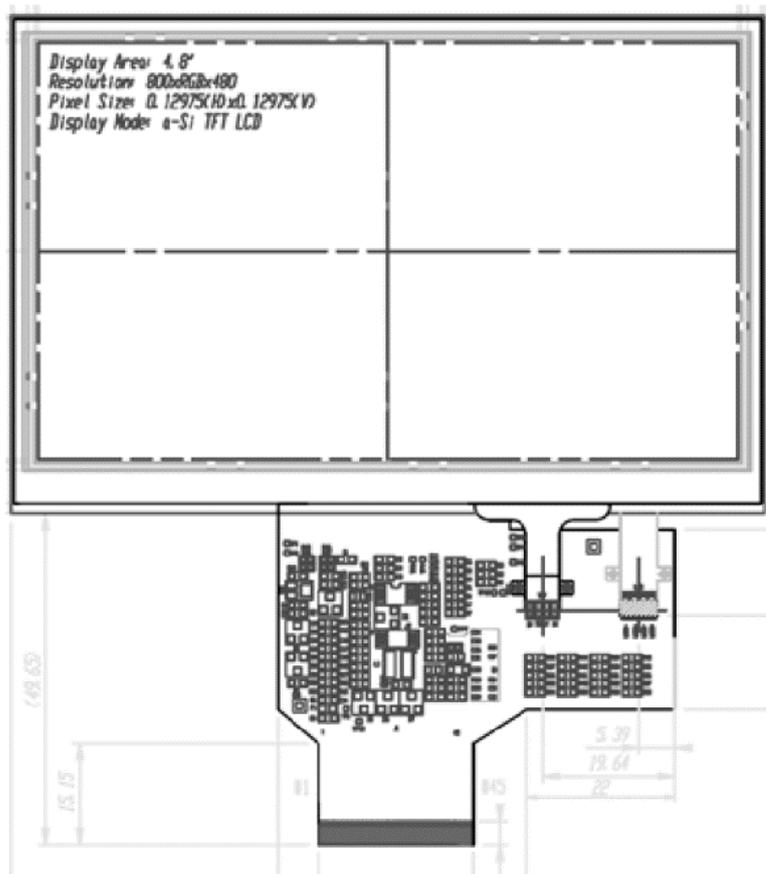


Рисунок 1.9 – Внешний контроллер управления для графического ЖКД.

Одними из наиболее распространенных являются БИС SED1520 (S-MOS Systems) и HD66206 (Hitachi) управления растровыми ЖК индикаторами. Микросхемы предназначены для отображения символов и графики. Структура контроллера графического ЖКД SED1520 показана на рисунке 1.10.

Микросхема генерирует сигналы управления, основываясь на битовом представлении данных изображения, полученных с 8- или 16-разрядного МК и хранящихся во внутрикристальном ОЗУ данных изображения.

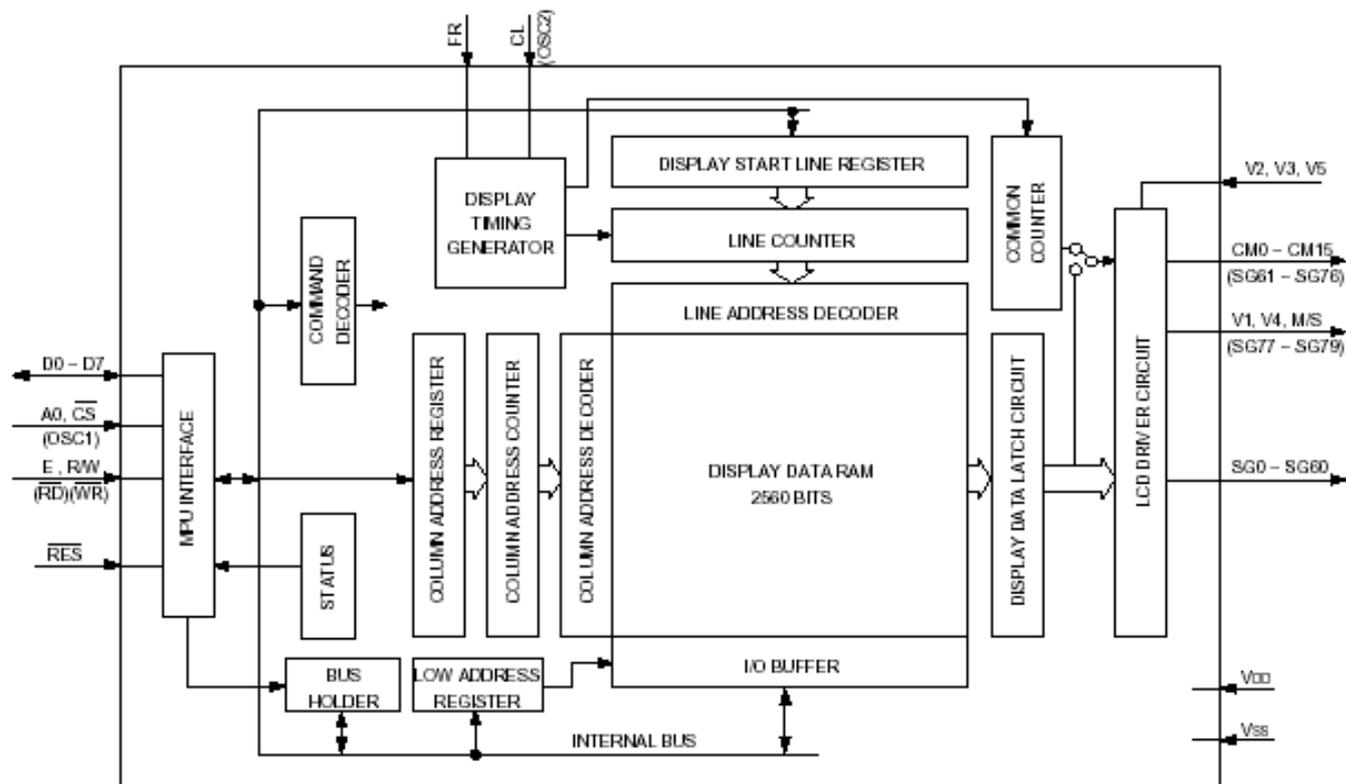


Рисунок 1.10 – Структура контроллера графического ЖКД SED1520.

Для того обеспечения гибкого конфигурирования системы, семейство SED1520 предлагает два типа приложений. Первый тип реализует ЖКИ с изображением 12 символов на 2 строки с единственной микросхемой. Другой тип предназначен для управления до 80 сегментами, формируя изображение среднего размера с помощью минимального количества управляющих микросхем.

Для управления контроллерами ЖКД используется шины данных и управления внешнего 8 или 16 разрядного микроконтроллера (рисунок 1.11).

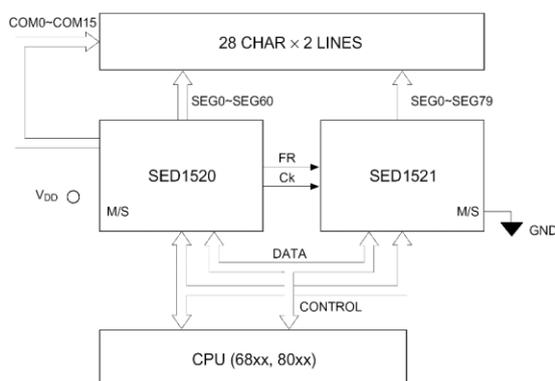


Рисунок 1.12 - Управление контроллерами ЖКД SED1520/21.

При таком построении ЖКД можно представить в виде двух основных частей: собственно, жидкокристаллического индикатора и платы драйверов индикатора. Плата драйверов соединяется с ЖКД линейками контактов для столбцов и строк.

В соответствии с техническим заданием основной сенсорного экрана является ЖК дисплей с разрешением 320x240 пикселей. Так как рассматриваемые контроллеры предназначены для обеспечения работы до 80 строк или столбцов ЖКИ, поэтому для модуля 320x240 нужно 4 драйвера столбцов и 3 драйвера строк. Внутренние регистры драйверов имеют входы и выходы каскадирования, позволяющие представить их в виде одного многозарядного регистра. На рисунке 1.13 показана структура схемы управления графическим ЖК дисплеем с разрешением 320x240, а на рисунке 1.14 – структурная электрическая схема такого ЖКД.

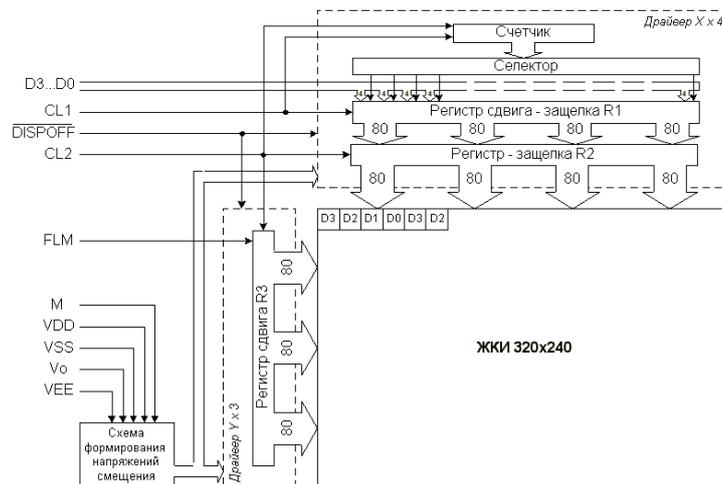


Рисунок 1.13 - Структура управления графическим ЖК дисплеем с разрешением 320x240.

По рассмотренному принципу работают монохромные ЖКМ с разрешением до 640x240. Дисплеи большего разрешения для уменьшения частоты управляющих сигналов обычно разбиваются на две панели: верхнюю и нижнюю. При этом обе панели управляются одними и теми же сигналами, но имеют разные шины данных: 4 разряда для верхней панели и 4 разряда для нижней, и верхняя и нижняя панель заполняются одновременно. Такая организация позволяет для

управления ЖКМ 640x480 использовать сигналы той же частоты, что и для 640x240, не теряя при этом в частоте обновления.

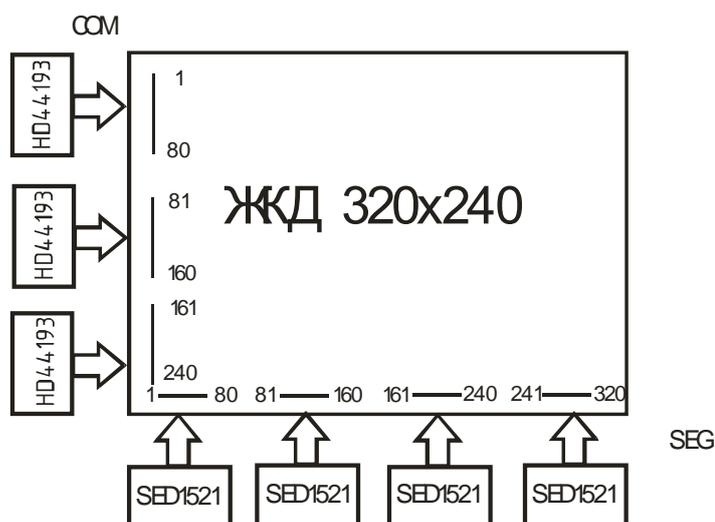
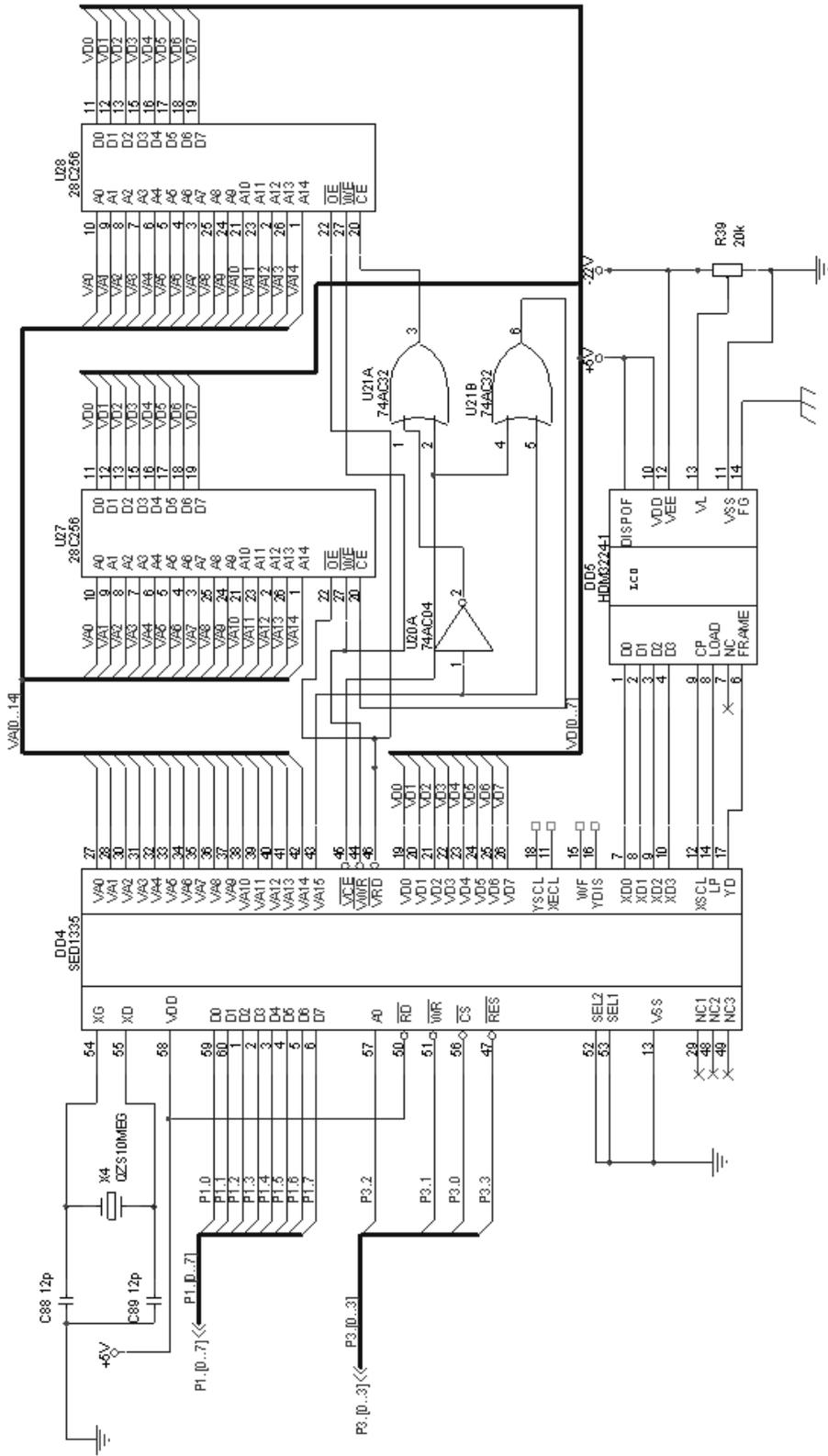


Рисунок 1.14 - Структурная схема графического ЖК дисплея с разрешением 320x240.

Более эффективным решением с точки зрения минимизации схемного решения и упрощения программного обеспечения может стать использование 8-разрядного микроконтроллера совместно с контроллером ЖКД SED1335 (Epson, S-MOS) или MSM6255/6355 (OKI).

В качестве примера на рисунке 1.15 приведена реализация контроллера ЖК дисплея Hantronix 320x240 на базе микроконтроллера Phillips 87C751 и управляющего контроллера SED1335. Дисплей имеет стандартный промышленный 4-разрядный интерфейс, которому необходим контроллер для непрерывного обновления изображения и для поддержания видео RAM.



Перед тем как микроконтроллер сможет использовать ЖКД, требуется послать серию инициализирующих байтов в контроллер SED1335 для установки рабочих параметров и описания изображения в контроллере.

После инициализации приложения МК может отправить текстовые или графические данные в контроллер ЖКД, где они будут отформатированы и сохранены в RAM дисплея. Одновременно с обновлениями RAM, контроллер ЖКД непрерывно читает данные из RAM посылает их дисплею. Дешевле и логичнее для регенерации содержимого видеопамяти на ЖК дисплее использовать программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Алгоритмически задача регенерации является простейшей, и быстродействия самой «медленной» ПЛИС будет достаточно для ее реализации. В результате получаем структуру контроллера ЖКД, показанную на рисунке 1.16.

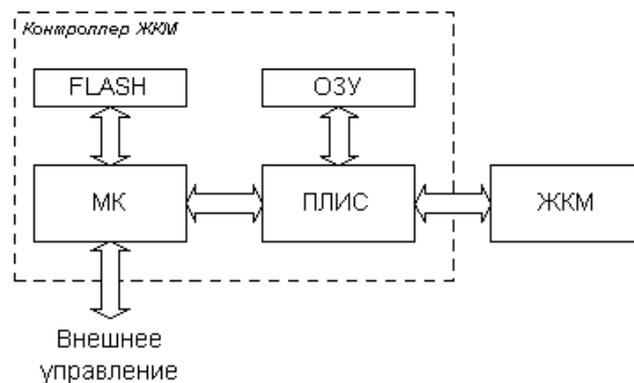


Рисунок 1.16 - Структура контроллера ЖКМ с использованием ПЛИС.

Память flash служит для хранения данных: прошивки ПЛИС, таблицы символов, изображений, иконок и т.д. Микроконтроллер выполняет команды извне: отрисовку линий, вывод текста, поддержка курсора, вывод изображений, закрашивание областей. Требования к МК и flash определяются требованиями конкретной системы: может оказаться достаточно только выводить текст, а может потребоваться и реализация Embedded

Рисунок 1.15 - Пример реализации контроллера ЖКД Nantronix 320x240.

OpenGL.

ПЛИС занимается только тем, что регенерирует ЖК дисплей. Использование нескольких страниц в видео ОЗУ позволяет перерисовывать одну страницу, пока отображается другая что снижает требования к быстродействию МК. ПЛИС также обеспечивает «прозрачные» запись и считывание содержимого ОЗУ микроконтроллером, что позволяет ему работать с видео ОЗУ как со своим собственным внешним ОЗУ.

Проведенный обзор способов практической реализации контроллеров ЖКД позволяет сделать следующие выводы:

а) модули управления, реализованные на базе специализированных БИС контроллеров ЖКД, выпускаются многими зарубежными фирмами;

б) модули обладают обширным набором функций (поддержка курсора, вывод текста с использованием знакогенератора и т.п.);

в) модули достаточно дороги - стоят около 100...130 USD;

г) из-за низкого спроса на такие контроллеры они поставляются в Россию только на заказ, поэтому задержка при разработке системы может составить месяц и даже более;

д) применение высокоинтегрированных контроллеров ЖКД позволяет упростить разработку схемотехнического решения и программного обеспечения конечного изделия.

1.5 Анализ применимости различных технологий сенсорных экранов

Сенсорный экран является устройством ввода/вывода информации через чувствительный к нажатиям дисплей. Экраны современных устройств не только выводят изображение, но и позволяют осуществлять взаимодействие с этим устройством. Изначально для такого взаимодействия использовались кнопки, потом появился манипулятор «мышь», существенно упростивший манипуляции с информацией на дисплее компьютера.

Однако «мыши» для работы требуется горизонтальная поверхность, что не очень подходит для мобильных устройств. Вот тут на помощь приходит дополнение к обычному экрану – Touch Screen, который так же известен под названи-

ями Touch Panel (сенсорная панель или сенсорная пленка). То есть, по сути, сенсорный элемент экраном не является – это дополнительное устройство (панель), устанавливаемое поверх дисплея снаружи, защищающее его и служащее для ввода координат прикосновения к экрану пальцем или иным предметом (рисунок 1.17).

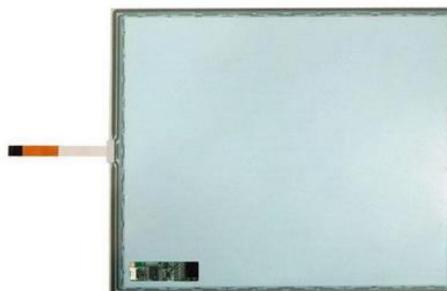


Рисунок 1.17 – Внешний вид сенсорной панели для экрана Touch Screen.

Сенсорная панель состоит из следующих элементов: собственно панель, контроллер и интерфейс.

Панель - прозрачный многослойный экран, плоский или повторяющий форму поверхности монитора. С внутренней стороны имеет поддерживающее стекло, придающее конструкции необходимую жесткость. По периметру панели расположены элементы механического крепления и контакты для съема электрических сигналов.

Контроллер – блок, преобразующий исходный сигнал (аналоговый или цифровой) к виду, удобному для дальнейшей обработки.

Интерфейс - узел контроллера, состоящий из разъема, соединительного кабеля, а также драйвера (например, конвертора сигналов TTL в RS-232 и обратно). Он предназначен для передачи информации от контроллера к главному управляющему узлу системы, например, к компьютеру. Наиболее часто сенсорные панели оснащаются интерфейсами RS-232\485, а в последние годы все большую популярность приобретает USB. Для подключения к управляющему микроконтроллеру в специализированном приборе сенсорные панели оснащаются последовательными интерфейсами типа I²C или SPI.

Известны следующие варианты технологического исполнения панелей:

а) резистивные (4-х, 5-ти и 8-ми проводные);

- б) емкостные;
- в) цифровые;
- г) на поверхностных акустических волнах (ПАВ или SAW);
- д) инфракрасные.

Кратко рассмотрим принципы работы, устройство, основные преимущества и недостатки различных технологий.

1.5.1 Резистивные сенсорные панели

Резистивные панели - наиболее популярный, отработанный в технологическом плане и дешевый вид сенсорных панелей. Наибольшую популярность имеют 4-х и 5-и проводные конструкции.

Четырехпроводная панель устроена следующим образом. Два слоя прозрачного и прочного пластика (обычно полиэстер или майлар) покрываются прозрачной токопроводящей пленкой на основе двуокиси индия и олова (ITO). Эти пластины устанавливаются таким образом, чтобы проводящие слои на каждом из них были обращены друг к другу. Между ними вносятся изолирующие упругие микроскопические шарики (спейсеры), не позволяющие поверхностям соприкасаться друг с другом при отсутствии внешних сил (рисунок 1.18).

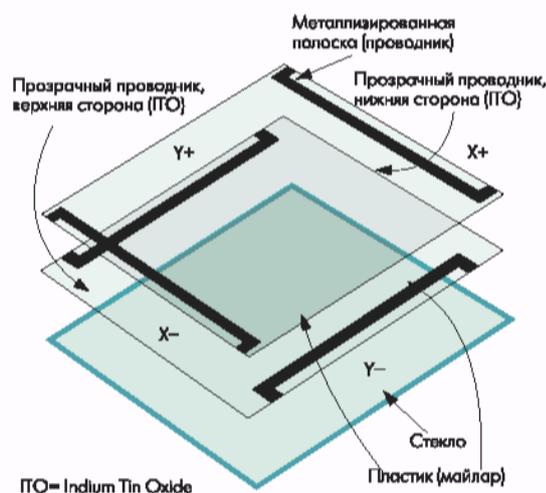


Рисунок 1.18 – Четырехпроводная резистивная сенсорная панель.

Если теперь на электроды одной плоскости (на металлизированные полосы по краям пластика) подать напряжение, то оно распределится между полюсами также равномерно и однородно (рисунок 1.19, а). В момент прикосновения к экрану (панели) плоскости войдут в контакт.

Предположим, что в начале напряжение прикладывается к полюсам верхней (см. рисунок 1.19) плоскости. Вторая плоскость с проводящим покрытием, металлизированные полоски-электроды которой подключены к входам АЦП, служит своеобразным щупом и может использоваться для снятия напряжения в точке контакта (рисунок 1.19, б). Таким образом вычисляется координата X.

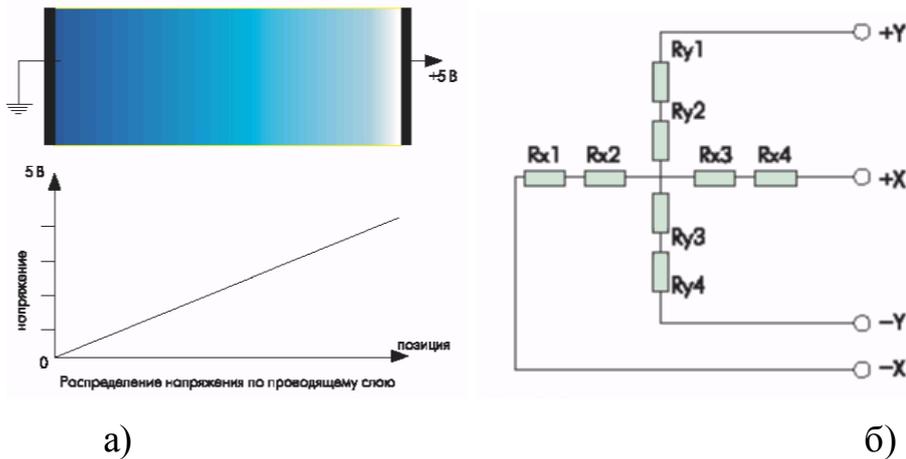


Рисунок 1.19 – Распределение напряжения на токопроводящем слое и эквивалентная схема при измерении координат на 4-х проводной панели.

Затем источники напряжения и входы преобразователя переключаются, меняясь местами. Теперь напряжение прикладывается к металлическим полоскам на нижней плоскости, а потенциал точки соприкосновения снимается при помощи верхней плоскости. АЦП выдаст код пропорциональный координате Y.

В 5-ти проводной панели отсутствует одна из пленок, покрытых составом ИТО (рисунок 1.20).

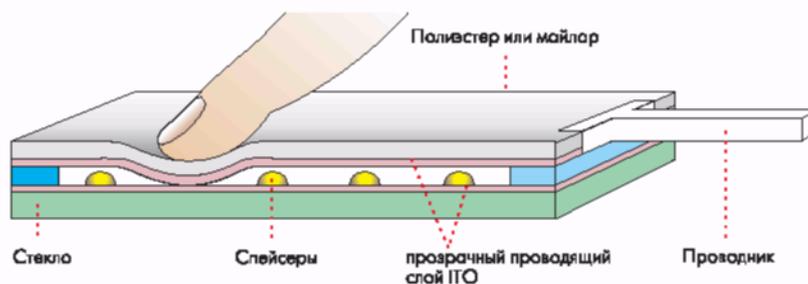


Рисунок 1.20 – Конструкция 5-ти проводной резистивной панели.

Таким образом, в 5-ти проводных панелях стекло не только придает конструкции необходимую жесткость, но и является сенсорной плоскостью.

Исключение из конструкции одной гибкой поверхности позволило существенно улучшить качественные характеристики панели и увеличить ее надеж-

ность. Возросла не только механическая прочность изделия, но и упростилась, стала более надежной электрическая схема контроллера. Лучшие образцы способны выдерживать до 35 миллионов касаний.

Точность 4-х, 5-ти и 8-ми проводных панелей примерно одинакова. Лидирующие производители заявляют о том, что в их продукции стандартная плотность точек касания достигает 10^6 точек/дюйм (то есть различимый интервал между точками равен 0,25 мкм).

Столь высокая точность позволяет использовать данную технологию в прецизионных системах ввода данных. Можно даже рисовать на экранах, вводить подписи под документами и т.п. Попытки такие есть, но пока это экзотика.

К недостаткам резистивных панелей относится также низкое светопропускание - не более 70-85%, из-за чего требуется повышенная яркость подсветки. Зато эти панели предельно дешёвы в производстве, чем и объясняется их широкое распространение.

1.5.2 Емкостные сенсорные панели

В основу конструкции панелей на емкостной технологии положено однородное прозрачное проводящее покрытие стеклянной панели. Электроды, расположенные по углам, равномерно распределяют подаваемое на панель низкое постоянное напряжение по всей его плоскости, создавая равномерное электрическое поле.

Прикосновение к панели вызывает нарушение однородности поля и появление незначительных токов через все электроды. Прозрачное покрытие обладает известным сопротивлением. Ток, протекающий через каждый из электродов, пропорционален этому сопротивлению, т.е. связан с координатой касания (рисунок 1.21). Контроллер выполняет измерения и передает результаты в управляющую программу для последующей обработки.

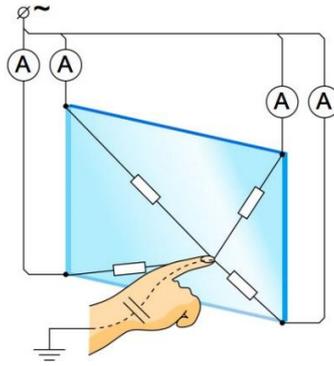


Рисунок 1.21 – Принцип действия емкостной сенсорной панели.

Сенсорные экраны, изготовленные по данной технологии, имеют быстрый и точный отклик, а также огромный ресурс (около 225 миллионов нажатий гарантируется для экранов компании 3M MicroTouch).

У емкостных панелей есть один недостаток: статический заряд, накапливается на поверхности экрана и человек может получить неприятный электрический удар. Использование панелей в помещениях, оборудованных изолирующими полами, так же нежелательно, т.к. панель не будет работать.

У разных производителей есть свои решения для новейших емкостных сенсорных экранов. Бесспорный лидер, компания EloTouch (USA), например, размещает под еще одним стеклом (толстым и закаленным) дополнительный слой, образованный очень тонкими металлическими проволочками, создающими равномерное электрическое поле. Пользователь прикасается теперь к внешнему стеклу, а не к чувствительному слою. Новая конструкция емкостных экранов делает их невосприимчивыми к пыли, дождю и грязи, сохраняя при этом все преимущества традиционной технологии.

Сравнительный анализ различных технологий, используемых при реализации сенсорных панелей, проведенный в [2] показал, что в настоящее время благодаря своей технологической простоте, дешевизне, надежности и приемлемым технико-эксплуатационным параметрам, наибольшее распространение имеют сенсорные панели резистивного типа. Поэтому для решения поставленной в ТЗ проблемы будем ориентироваться на панели резистивного типа.

1.6 Контроллеры резистивных сенсорных панелей

Контроллер резистивного сенсорной панели (touch-screen digitizer) пред-

ставляет собой разновидность аналого-цифрового преобразователя, в котором предусмотрены специфические функции и в который интегрированы соответствующие узлы. Эти контроллеры предназначены для портативной аппаратуры с батарейным питанием, поэтому от них требуются такие качества как низкое энергопотребление, возможность работы при низких напряжениях питания, высокая степень интеграции, и, конечно, у них должны быть компактные корпуса.

1.6.1 Типовая структурная схема контроллеров

Исходя из описания принципа работы резистивных сенсорных панелей, может сложиться впечатление, что для эффективного съема информации с сенсорных экранов достаточно обычного АЦП, встроенного в микроконтроллер. Обобщенная структурная схема контроллера резистивных сенсорных панелей приведена на рисунке 1.22.

Однако на практике существует ряд существенных паразитных эффектов, заметно влияющих на результаты измерений.

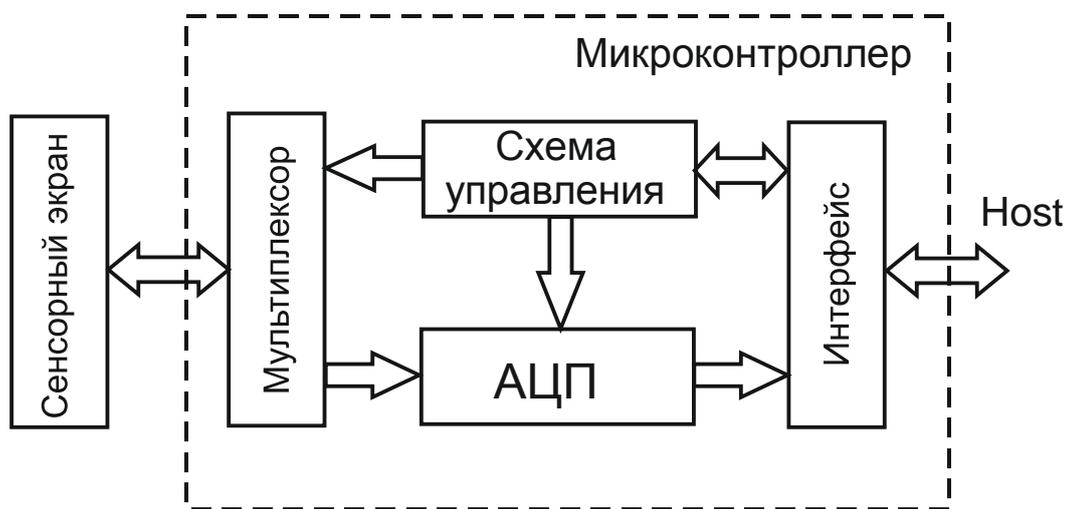


Рисунок 1.22 - Структурная схема контроллера.

Сенсорная панель, подключенная к входам АЦП, обладает значительной площадью резистивного покрытия, которое является своего рода антенной, «собирающей» помехи. Для их устранения обычно используют конденсаторы небольшой емкости, подключенные к выводам сенсорной панели [11].

Другой проблемой является значительная емкость самой панели, в результате чего выходной сигнал АЦП принимает правильное значение лишь через некоторое время. Поэтому для корректных измерений необходимо обеспечить опре-

деленную паузу, что снижает быстродействие и может сделать невозможным ввод графической информации и анализ написанных от руки текстов. И, наконец, контакт между слоями не является абсолютно надежным и имеет склонность к «мерцанию» (дребезгу), который необходимо подавлять аппаратным или программным способом.

Учитывая указанные сложности, разработаны и серийно выпускается довольно большое количество специализированных контроллеров резистивных сенсорных панелей [10,12,13], отличающихся техническими и эксплуатационными параметрами. Поэтому для решения поставленной задачи необходимо выбрать наиболее подходящее устройство.

1.6.2 Основные требования к контроллерам

Для правильного выбора контроллера сенсорной панели следует учитывать ряд факторов в реализуемом устройстве (рисунок 1.23).

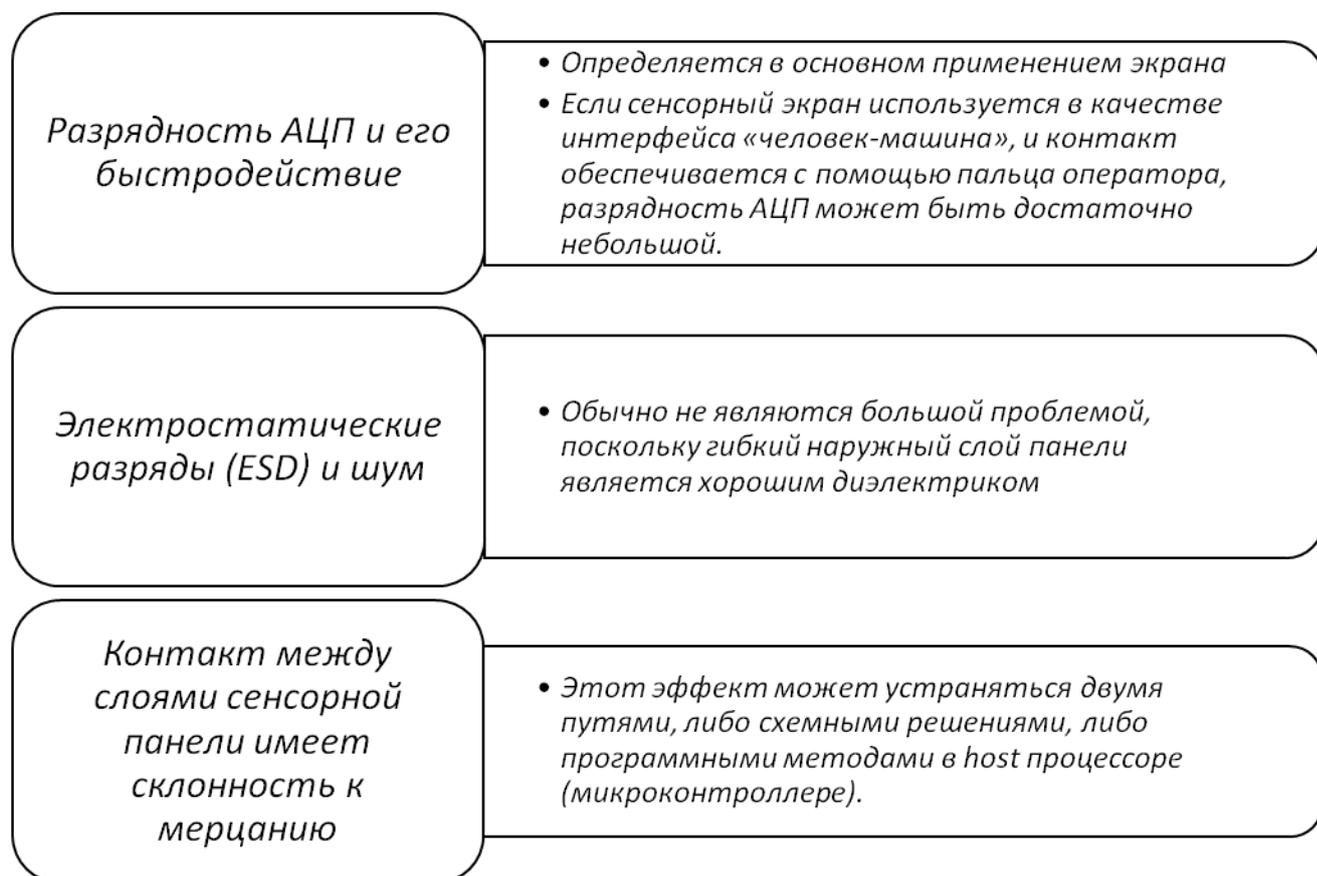


Рисунок 2.23 – Факторы, влияющие на выбор микроконтроллера.

1.6.3 Обзор микросхем контроллеров

Анализ предложений Интернет магазинов (www.e-find.ru) показал, что микросхема ADS7843 компании Texas Instruments является одним из наиболее распространенных, простых и дешевых контроллеров сенсорных панелей [10].

Структурная схема это ИС представлена на рисунке 1.24.

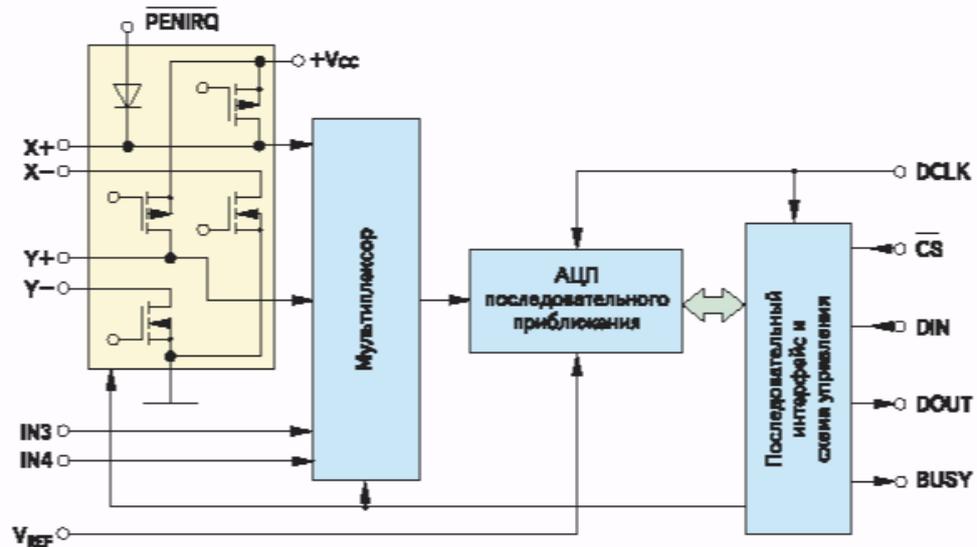


Рисунок 1.24 - Структурная схема контроллера ADS7843.

Микросхема включает измерительный коммутатор на МОП- транзисторах, схему формирования сигнала прерывания на диоде, четырехканальный мультиплексор, 12-разрядный АЦП последовательного приближения с максимальной частотой преобразования 125 кГц и SPI совместимый интерфейс.

Контроллер ADS7843 предназначен для работы только с 4-проводными сенсорными панелями и может работать с обычным, «заземленным» входом или в дифференциальном режиме. В первом случае напряжение с выхода сенсорной панели измеряется относительно общего провода как абсолютная величина и, следовательно, непосредственно зависит от стабильности напряжения питания и источника опорного напряжения АЦП.

ADS7843 обеспечивает формирование сигнала прерывания для host- контроллера при касании сенсорной панели, что позволяет минимизировать потребление энергии (менее 2 мкА) в режиме ожидания путем отключения питания от всех узлов микросхемы.

Управление контроллером и считывание данных производится через по-

последовательный синхронный интерфейс, совместимый с SPI. Полный цикл обращения занимает 24 такта, передача байта всегда начинается со старшего бита, как показано на временных диаграммах, приведенных на рисунке 1.25.

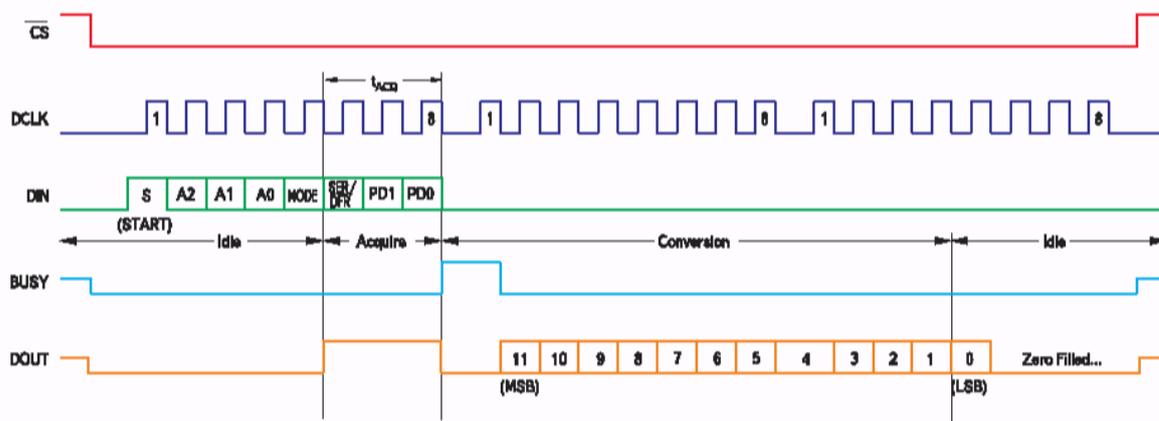


Рисунок 1.25 – Временные диаграммы сигналов на выводах ADS7843.

Для запуска преобразования необходимо сформировать управляющий байт на входе ИМС DIN, при этом старший бит START должен быть единичным, иначе все остальные биты будут проигнорированы, а само преобразование не состоится. Биты A2, A1 и A0 управляют мультиплексором и предназначены для выбора входного канала.

Бит MODE определяет разрядность преобразования: если $MODE=1$, преобразование будет 12 битным, если же $MODE=0$, то 8 битным. Преобразование с пониженной разрядностью целесообразно использовать при работе с «быстрыми» сенсорными экранами небольших размеров, когда 8 битной точности определения координат точки касания может быть вполне достаточно, но уменьшение времени преобразования существенно.

Бит SHR/DFR отвечает за режим измерений: при $SHR/DFR=0$ устанавливается дифференциальный режим, при $SHR/DFR=1$ обычный, «заземленный». Последние два бита управляющего байта PD1 и PD0 служат для перевода контроллера в различные режимы пониженного энергопотребления. Оставшиеся 16 тактов, как показано на рисунке 1.25, используются для выдачи через вывод DOUT результатов измерений координат точки касания.

Типовая схема включения ИМС ADS7843 приведена на рисунке 1.27. Следует отметить, что при практической реализации устройств с сенсорными экра-

нами может возникнуть необходимость снижения шумов и помех на входах ADS7843, для этого следует подключить к входам микросхемы конденсаторы емкостью порядка 0,01 мкФ.

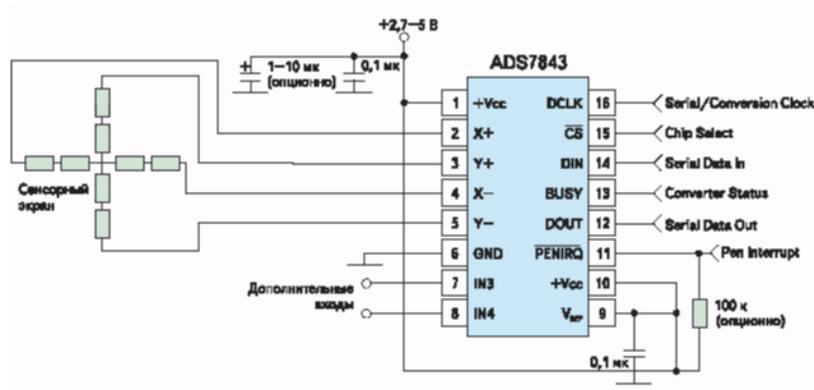


Рисунок 1.27 - Типовая схема включения ИМС ADS7843.

Для исключения погрешности из-за увеличения времени установления выходного напряжения сенсорной панели при измерениях с 12-битным преобразованием необходимо выдержать временную паузу длительностью порядка десяти постоянных времени заряда конденсаторов - путем организации «пустых» преобразований или проводить серию преобразований со сравнением результатов.

Широко используемые микросхемы TSC2000 и TS2200 предназначены для применения в устройствах с напряжением от 2,7 до 3,6 В. Кроме собственно контроллера сенсорной панели с интерфейсом SPI они включают два канала измерения напряжения элементов питания, датчик температуры и два универсальных входа АЦП. Дополнительно микросхема TSC2000 содержит 8 битный ЦАП, который может использоваться для управления яркостью или контрастностью подсветки экрана.

В 2007 году компания Texas Instruments выпустила четыре контроллера сенсорных панелей, использующих новейшую технологию NanoPower, работоспособных при напряжении питания от 1,2 до 3,6 В и потребляемой мощности в режиме измерений от 75 мкВт. Это ИМС TSC2005 и TSC2006 с интерфейсом SPI и TSC2004 и TSC2007 с интерфейсом I²C.

Структурная схема ИМС TSC2004 (остальные устроены аналогично) приведена на рисунке 1.28 и содержит все элементы контроллера сенсорной

панели, датчик температуры и дополнительный вход АЦП.

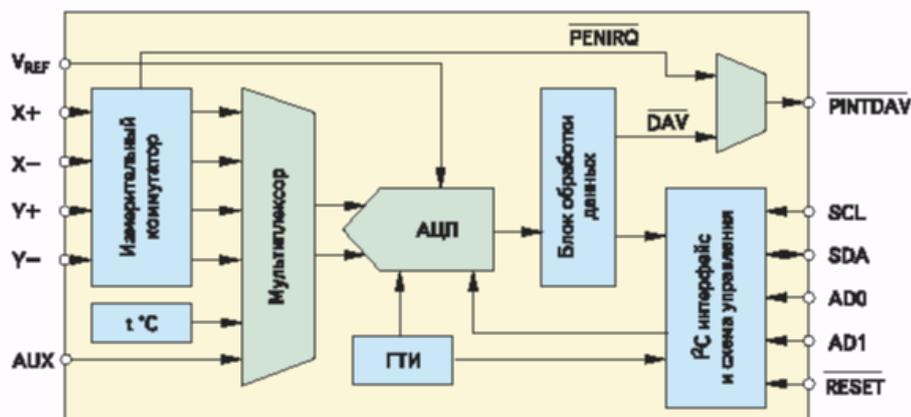


Рисунок 1.28 – Структурная схема контроллера TSC2004.

Благодаря встроенному блоку обработки данных (Preprocessing) удастся снизить нагрузку на системную шину и уменьшить время измерений. Регистровая структура управления всеми основными функциями позволяет программировать контроллер для работы в различных приложениях. Входы микросхемы имеют встроенную защиту от статического электричества.

Во многих мобильных устройствах наряду с сенсорным экраном имеется развитая аудиосистема, включающая устройства ввода, вывода и обработки звуковых сигналов. Для таких устройств имеются контроллеры сенсорных панелей со встроенными аудиосистемами, в состав которых входят аудиокодеки, несколько АЦП и ЦАП, усилители звуковой частоты, блоки спецэффектов и пр.

Поскольку наличие аудиосистемы в разрабатываемом устройстве не предусмотрено требованиями ТЗ, рассматривать подробно такие контроллеры не будем.

В заключение исследования современного состояния систем управления сенсорными графическими ЖКД можно сделать следующие выводы:

- а) использование сенсорных экранов значительно повышает эксплуатационно-технические характеристики и надежность устройств класса HDI, а так же возможности их модернизации;
- б) установка сенсорной панели требует минимальной доработки конструкции ЖК дисплея;
- в) применение современных БИС контроллеров ЖКД упрощает схе-

технику и программное обеспечение конечного изделия;

г) в настоящее время сенсорные панели резистивного типа являются наиболее популярными, технологичными, дешевыми и имеют отработанную схемотехнику и ПО;

д) в аппаратуре с контроллерами сенсорных панелей существенно разгружается управляющий хост-контроллер и, как следствие, сокращается время разработки и отладки, что в итоге создает значительный экономический эффект.

Из сделанных выводов следует, что применение специализированных контроллеров управления ЖКД и сенсорных панелей целесообразно и настоятельно рекомендуется даже для малобюджетных устройств. При этом сравнительно простыми и доступными средствами достигается значительное повышение степени интеграции, уменьшение числа элементов, размеров печатной платы и габаритов конечного устройства.

2 Расчетная часть. Проектирование контроллера управления сенсорным экраном

Прежде чем приступить к проектированию, выберем контроллеры ЖК дисплея и сенсорной панели, т.к. их функциональные возможности и наличие в них различных интегрированных модулей типа АЦП, мультиплексоров, модулей интерфейсов прочих, будут определять структуру общей функциональной и принципиальной схем устройства.

2.1 Выбор контроллера графического ЖКД

Как показал аналитический обзор, проведенный в разделе 1.4, одним из наиболее подходящих для управления ЖКД разрабатываемого устройства является контроллер SED1335 компании Epson. При относительно невысокой стоимости, контроллер функционально насыщен и позволяет совместно с небольшим количеством навесных элементов управлять ЖКД средних размеров.

Микросхема SED1335F-многоцелевой контроллер ЖКД, дает возможность представлять многослойный текст и графику, прокрутить изображение в любом направлении и разделять изображение на несколько экранов.

SED1335F сохраняет текст, коды символов и графические данные побитового изображения во внешней памяти буфера изображения. Функции контроллера дисплея:

- а) пересылка данных от управляющего микропроцессора к буферной памяти;
- б) чтение данных памяти;
- в) преобразование данных для отображения пикселей и генерации временных сигналов для буферной памяти и панели индикатора на жидких кристаллах.

SED1335F имеет в своем распоряжении внутренний генератор символов на 160 символов размером 5x7 пикселей во внутреннем шаблоне ROM. Кроме этого он поддерживает до 64 символов размером 8x16 пикселей во внешнем генераторе символов RAM и до 256 символов размером 8x16 пикселей во внешнем генераторе символов ROM.

Контроллер обеспечивает три режима работы ЖКД: текстовый, графиче-

ский и комбинированный текстовый/графический с разрешением до 640x256 пикселей. При этом в графическом режиме он может совмещать все три экрана.

Напряжение питания SED1335F от 2,7 до 5,5В при рабочем токе 3,5 мА ($V_{DD}=3,5$ В), ток в ждущем режиме - 0,05 мкА

Структурная схема контроллера SED1335F приведена на рисунке 2.1.

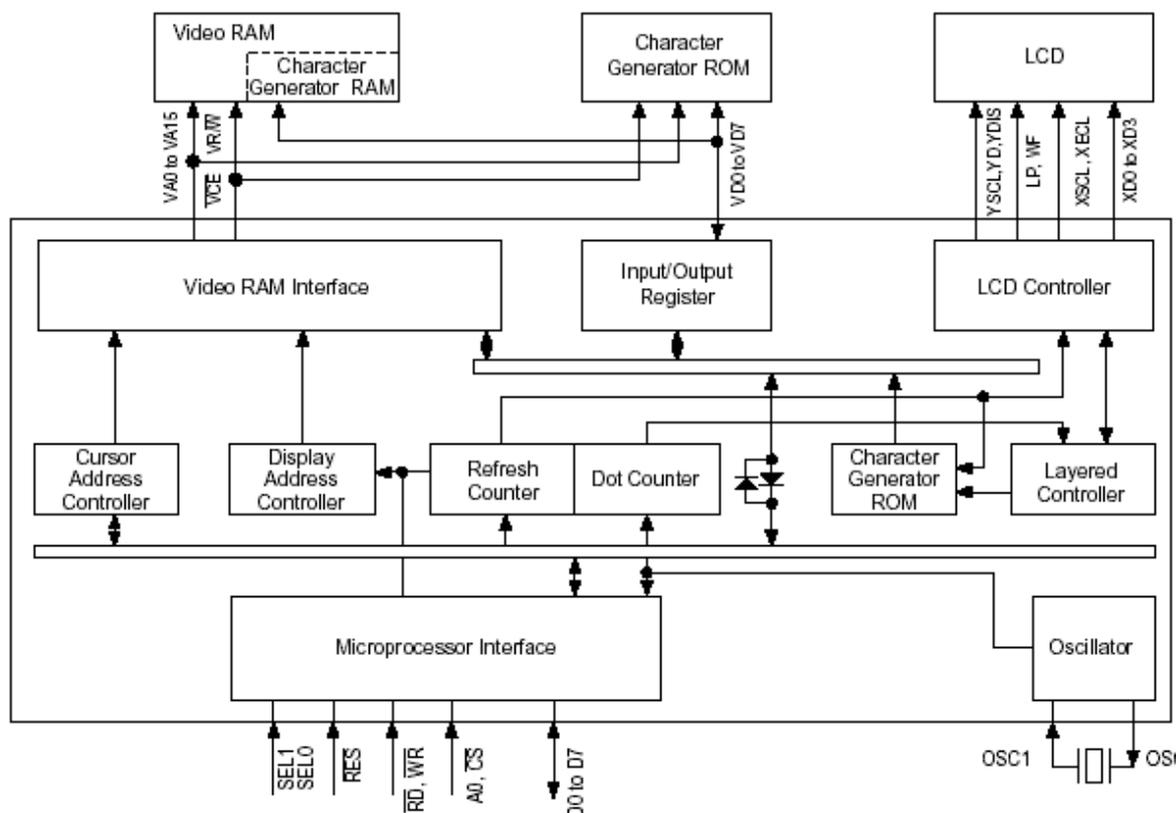


Рисунок 2.1 - Структурная схема контроллера SED1335F.

Управление ЖК дисплеем осуществляется встроенным контроллером SED1335 посредством сигналов, приведенных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сигналы управления ЖК дисплеем (контроллер SED1335)

№ контакта	Сигнал	Уровень Н (высокий) / L (низкий)	Описание
1	/RESET	H/L	Сброс (Reset Signal)
2	/RD	H/L	80 серия: Сигнал чтения (Read Signal); 68 серия: Сигнал чтения/записи (R/W Signal)
3	/WR	H/L	80 серия: Сигнал записи (Write signal) 68 серия: Сигнал чтения/записи (R/W Signal)
4	/CS	H/L	Сигнал выборки кристалла (Chip Select Signal)
5	A0	H/L	Выбор типа передачи - данные/команда (Data Type Selection)

Продолжение таблицы 2.1

№ кон-такта	Сигнал	Уровень H (высокий) / L (низкий)	Описание
6-13	DB0-DB7	H/L	Передаваемые данные 8 бит ((Data Input 8 bits)
14	VCC	-	Напряжение питания (+3-5В) (Power Supply for Logic)
15	VSS	-	«Земля» (Ground)
16	YCTL	-	Уровень контрастности (Contrast Adjustment Input)
17	EL_ON	H/L	Подсветка вкл./выкл. (EL On/Off)
18	/DISPOFF	H/L	Выключение дисплея (Display Off Function)

Для управления ЖКД используются два типа внешнего сигнального интерфейса от микропроцессоров серий 8080 и 6800, которые могут быть выбраны с помощью переключки.

По умолчанию определен интерфейс 8080, который и был оставлен для использования. Временные диаграммы передачи команд и данных для интерфейса 8080 приведены на рисунке 2.2.

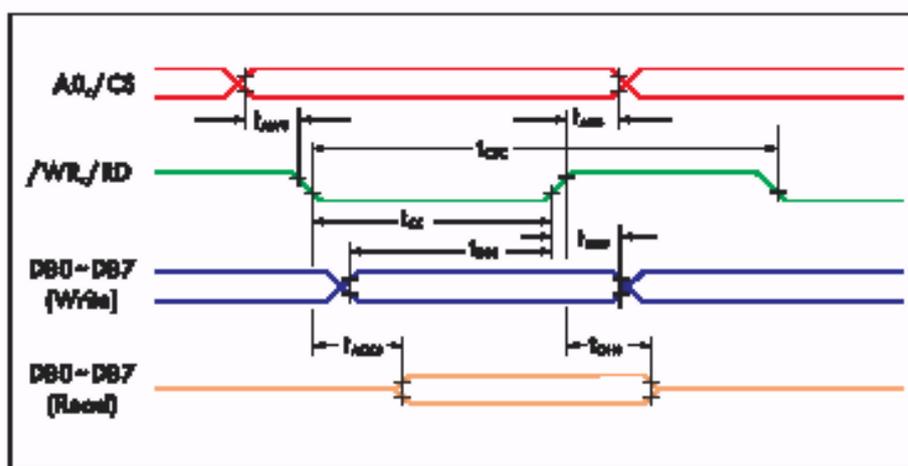


Рисунок 2.2 - Временные диаграммы интерфейса 8080.

В таблице 2.2 приведены уровни сигналов для обеспечения режимов записи и чтения параметров и данных.

Таблица 2.2- Уровни сигналов для режимов записи и чтения

A0	/RD	/WD	Описание
0	0	1	Чтение флага статуса
1	0	1	Чтение данных из дисплея и адреса курсора
0	1	0	Запись данных параметров
1	1	0	Запись команд

Подробную информацию о временных параметрах сигналов можно найти в технической документации на контроллер SED1335. Используя приведенные

временные диаграммы, несложно подключить любой другой микропроцессор или микроконтроллер для управления дисплеем.

Все внутренние сигналы для управления дисплеем осуществляются контроллером SED1335 самостоятельно, а режимы его работы задаются от внешнего управляющего МК через сигнальный интерфейс. При этом обеспечивается достаточно широкий набор функций и режимов, позволяющих выводить на экран текст, графику, смесь текста и графики. Причем возможно устанавливать до трех слоев графики одновременно, программно управлять курсором, делать горизонтальную и вертикальную прокрутку, кроме того, имеется встроенный знакогенератор на 64 символа.

Полное описание возможностей и функций контроллера приведено в техническом описании (файл SED1335.pdf на сайте Ampire).

В разделе 1.4 было показано, что для управления ЖКД разрешением 320x240 (требование ТЗ) кроме SED1335 потребуется еще 7 драйверов управления: 4 драйвера X (сегменты SEG) и 3 драйвера Y (общий провод COM). Кроме этого, потребуются еще и микросхемы видео ОЗУ, стабилизаторы питания, источник отрицательного напряжения питания для регулировки контрастности ЖКД и прочие радиокомпоненты.

Для упрощения проектирования сенсорного ЖКД, в частности его схемотехнического решения, был проведен поиск в сети Интернет с целью нахождения ЖКД со встроенным контроллером управления [11-20]. В результате поиска был найден графический ЖКД WX320240C0 компании WinStar, удовлетворяющий поставленным требованиям [17].

Структура управления ЖКД соответствует рисунку 1.14, а его схемотехника – рисунку 1.15. Управляется ЖКД по интерфейсам микропроцессоров серий 8080 и 6800, что позволяет использовать практически любой бюджетный управляющий RISC микроконтроллер. Структурная схема ЖКД WX320240C0 и управление им отображены на рисунке 2.3.

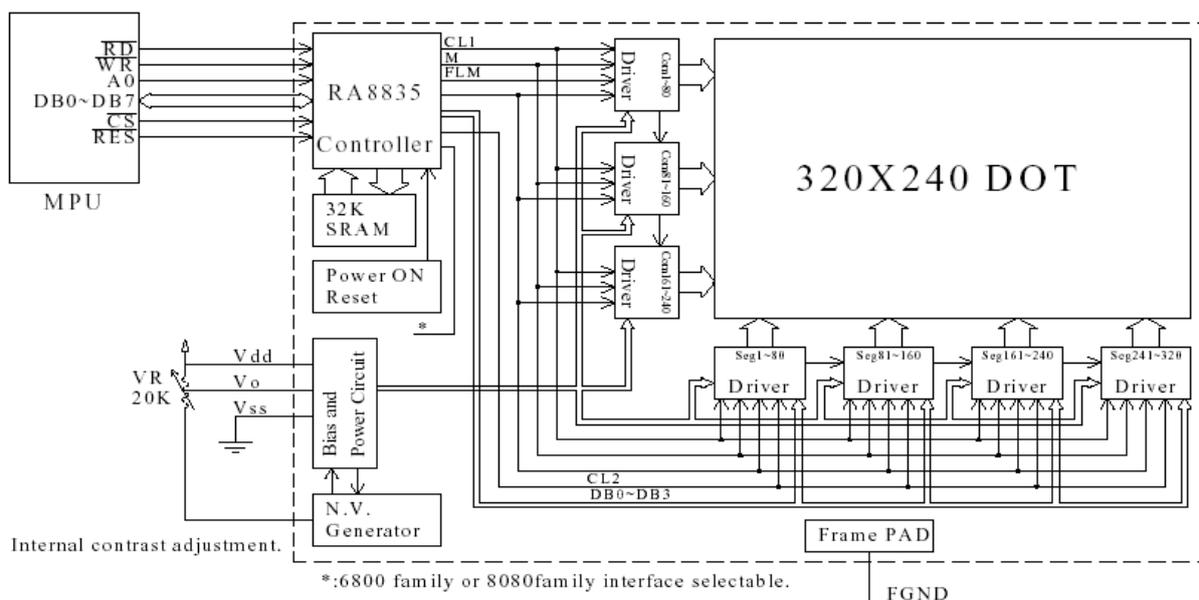


Рисунок 2.3 - Структурная схема ЖКД WX320240C0.

Расчет объема ОЗУ и требуемой частоты регенерации

Контроллер ЖКД должен содержать ОЗУ для хранения содержимого экрана и таблицы знакогенератора, ПЗУ для хранения таблицы символов и блок управления, который будет регенерировать ЖКД и выполнять другие функции, свойственные контроллерам ЖКД.

Требуемую емкость оперативной памяти $C_{OЗУ}$ можно вычислить по следующей формуле:

$$C_{OЗУ} = W \cdot H \cdot K / 8 + C_{ЗГ}, \quad (2.1)$$

где:

W - ширина экрана в пикселах;

H - высота экрана в пикселах;

K - количество видеостраниц;

$C_{ЗГ}$ - емкость ОЗУ знакогенератора.

Главной задачей блока управления контроллера является регенерация содержимого видео ОЗУ на ЖКД. Частота регенерации, требуемая для обеспечения ровного, немерцающего изображения, обратно пропорциональна времени реакции ЖКД и обычно составляет 30...70 Гц. Зависимость частоты передачи тетрад данных от частоты регенерации выражается формулами:

$$F_{тет} = W \cdot H \cdot F_{рег} / 4 \text{ для однопанельных дисплеев,} \quad (2.2)$$

$$F_{\text{тет}} = W \cdot H \cdot F_{\text{рег}} / 8 \text{ для двухпанельных дисплеев.} \quad (2.3)$$

Очевидно, что частота считывания данных из ОЗУ будет равна половине $F_{\text{тет}}$ для однопанельных дисплеев и $F_{\text{тет}}$ для двухпанельных. $F_{\text{тет}}$ для ЖКД 320x240 при частоте регенерации 60 Гц составит 1,152 МГц. В принципе существуют МК, обеспечивающие такую частоту, но вычислительных ресурсов для выполнения других операций у них не останется. При увеличении разрешения частота будет расти, и использование МК для регенерации будет все более и более нереальным.

2.2 Выбор контроллера резистивной сенсорной панели

Анализ, проведенный в пункте 1.6, показал, что для реализации сенсорного эффекта в разрабатываемом устройстве достаточно использовать контроллер ADS7843 (Texas Instruments). Однако дальнейший поиск по сети Интернет показал, что при использовании более современной микросхемы AD7879 компании Analog Devices возможно существенное улучшение функциональных возможностей и технических характеристик контроллера сенсорной панели.

Структурная схема контроллера резистивной сенсорной панели AD7879 приведена на рисунке 2.4.

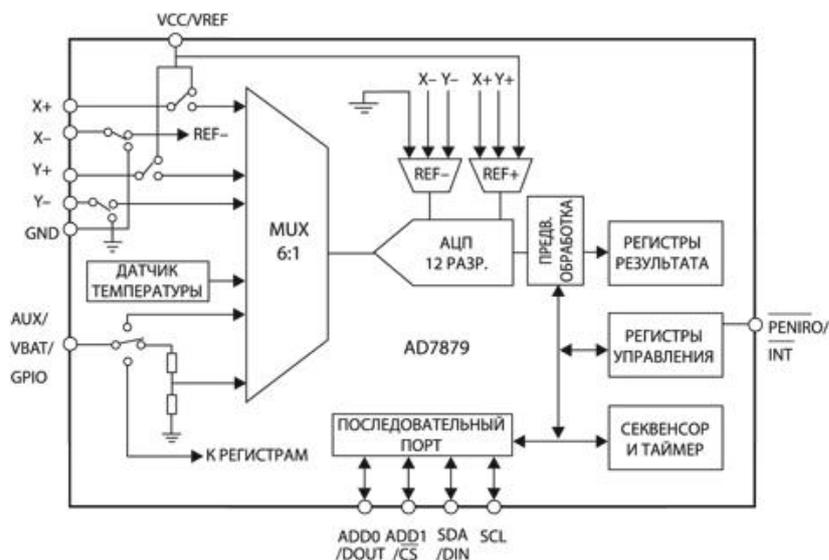


Рисунок 2.4 – Структурная схема контроллера AD7879.

Структура контроллера AD7879 соответствует обобщенной структурной схеме контроллеров сенсорных резистивных панелей (рисунок 1.24), а его основные модули – контроллеру ADS7843.

Дополнительно в контроллере AD7879 имеется функция программируемой

задержки первого преобразования. Эта задержка позволяет дождаться окончания переходных процессов во время прикосновения стилуса или пальца к панели, получить отсчеты, свободные от шумов, и таким образом более точно определить координаты точки прикосновения.

Время задержки необходимо устанавливать в зависимости от свойств сенсорной панели и от требуемых параметров быстродействия и точности. Время преобразования можно выбирать из ряда значений 2, 4, 8 или 16 мкс. С помощью встроенного таймера можно устанавливать периодичность выполнения преобразования (или последовательности преобразований) в пределах от 550 мкс до 9,44 мс с шагом 35 мкс.

Кроме этого, устройство может работать в режиме однократного преобразования, что значительно экономит электроэнергию в режиме ожидания. Встроенные средства подавления шумов и помех включают усреднение по задаваемому программно числу отсчетов - 1, 4, 8 или 16.

Секвенсор (автомат последовательного управления устройствами) и таймер могут обеспечить работу AD7879 в режиме Master. В этом случае контроллер автоматически запускает преобразование в момент прикосновения к экрану (панели). Когда преобразование закончено, результат обработан и стал доступен, контроллер вырабатывает прерывание для host-контроллера. Таймер позволяет настроить процессор таким образом, что рабочая последовательность отсчетов повторяется, если сохраняется нажатие на экран. Данный режим позволяет существенно снизить нагрузку на host-контроллер.

В режиме Slave алгоритм работы несколько другой. Когда происходит прикосновение к панели, контроллер вырабатывает сигнал прерывания Penirq, который «пробуждает» host-контроллер. Затем от host-контроллера требуется, чтобы он запустил преобразование или загрузил последовательность преобразования. Таймер тоже может быть настроен так, чтобы последовательность преобразования повторялась автоматически.

В контроллере AD7879 имеется очень полезная функция - возможность цифровой фильтрации полученных отсчетов. Как и любое другое электронное

устройство, резистивная сенсорная панель и контроллер испытывают различные помехи. Значительным источником импульсных помех является сам ЖКД. Кроме того, помехи вносят и цифровые схемы, в большом количестве имеющиеся в любом современном устройстве.

В результате из-за помех оцифрованные отсчеты сильно «загрязнены». Проявляется это в неправильном определении координат прикосновения к экрану. Обычно происходит отклонение от реальной точки по горизонтали или по вертикали (рисунок 2.5).

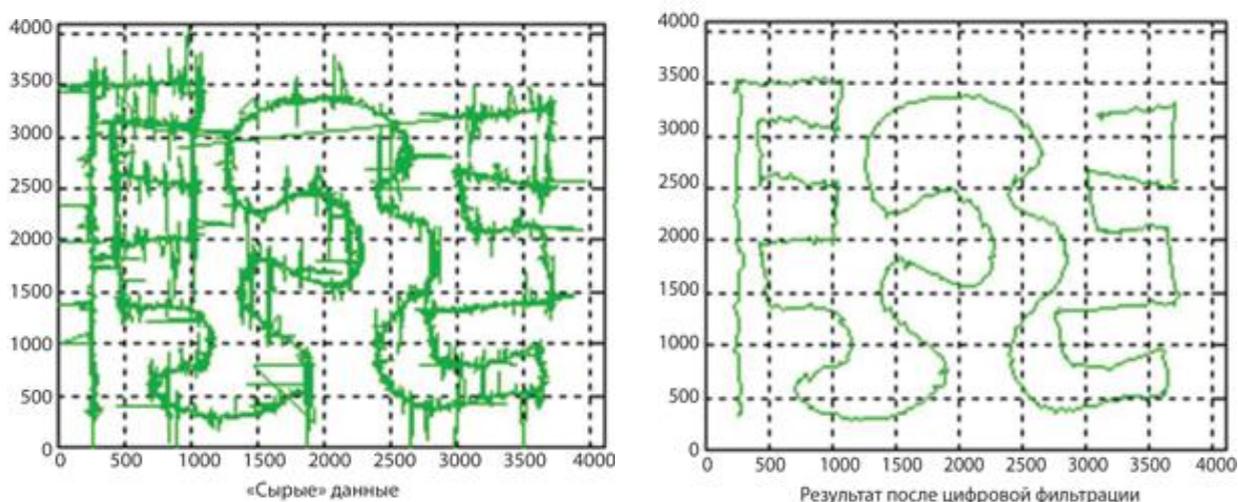


Рисунок 2.5 - Результат работы цифровой фильтрации сигнала.

В приборе AD7879 медианный фильтр позволяет устранить резкие выбросы, а усредняющий фильтр - устранить шумы и обеспечить более точное определение координат, особенно при резких переломах линии ведения стилуса. Таким образом, встроенная цифровая фильтрация способствует разгрузке вычислительного ядра, хотя, конечно, при наличии запаса вычислительной мощности эти алгоритмы могут быть легко реализованы и в host-контроллере.

2.3 Функциональная схема контроллера управления сенсорным экраном

Разработанная функциональная схема контроллера управления сенсорным экраном приведена на рисунке 2.6.

Основу устройства составляет графический ЖК дисплей с разрешением 320x240 со встроенной системой управления на специализированном видеоконтроллере SED1335 компании Epson. Этот контроллер при относительно

низкой цене позволяет совместно с небольшим количеством навесных элементов эффективно управлять ЖК дисплеем средних размеров.

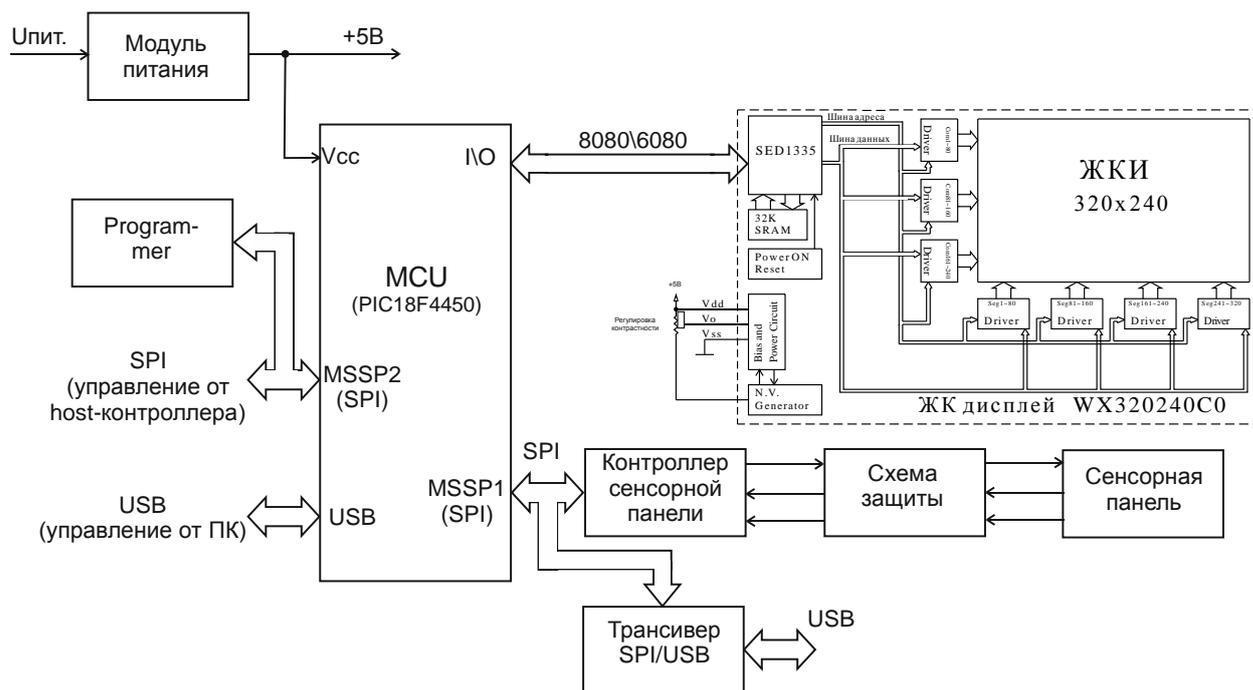


Рисунок 2.6 - Контроллер управления сенсорным экраном. Схема функциональная.

Контроллер SED1335 способен генерировать около 500 различных символов, может показывать многослойный текст и графику, прокручивать изображение в любом направлении и разбивать изображение на несколько экранов. Обмен данными с ЖК дисплеем осуществляется по микроконтроллерному интерфейсу 8080.

Управляющий (коммуникационный) микроконтроллер PIC18F4550 обеспечивает взаимодействие всех модулей сенсорного экрана. Для этого используются его периферийные модули, на аппаратном уровне реализующие соответствующие интерфейсы обмена данными.

Общее управление ЖКД может осуществляться с помощью персонального компьютера по интерфейсу USB или по интерфейсу SPI от внешнего host-контроллера.

Сенсорная панель резистивного типа устанавливается поверх экрана ЖКД. Информация о координатах прикосновения снимается контроллером сенсорной

панели AD7879 и по второму интерфейсу SPI передается на управляющий PIC контроллер. Цифровая фильтрация полученных сигналов в контроллере AD7879 позволяет устранить шумы и обеспечить более точное определение координат прикосновения, особенно при резких переломах линии ведения стилуса.

Трансивер SPI\USB, подключенный к AD7879, используется в случае применения сенсорной панели отдельно от разработанного контроллера управления.

2.4 Обоснование выбора элементной базы устройства

Выше было приведено обоснование выбора графического ЖК дисплея WX320240C0 и контроллера сенсорной панели AD7879, поэтому выберем оставшиеся элементы – микроконтроллер управления ЖКД (host контроллер для SED1335) и контроллеры USB интерфейсов (управление и программирование).

2.4.1 Выбор управляющего микроконтроллера

Проведенный обзор наиболее популярных МК PIC (Microchip), AVR (Atmel), МК Motorola, TI и других показал, что наиболее подходящим для решения задачи управления контроллером ЖКД SED1335 являются PIC микроконтроллеры компании Microchip. Этот выбор сделан по совокупности ряда факторов: бесплатная и доступная в сети Интернет среда программирования, низкая стоимость, наличие огромного количества примеров в технической литературе и Интернет, простота схемной реализации.

Так как управление контроллером сенсорного экрана должно осуществляться от ПК по интерфейсу USB, выберем PIC контроллер с интегрированным модулем USB. Такое решение сведет к минимуму время разработки устройства и его программного обеспечения.

Компания Microchip предлагает эффективное ядро PIC18, которое идеально подходит для приложений, требующих быстродействия 10-16 MIPS, с объемом памяти Flash программ до 128 кб, корпусах от 18 до 100 выводов. Семейства микроконтроллеров PIC18 имеют следующие свойства:

- а) эффективное кодирование на языке C;
- б) продвинутая архитектура (16-и разрядные слова программ);
- в) низкая цена (5-10\$);

г) гибкость самопрограммирования;

д) поддержка широко распространенных протоколов связи (CAN, USB, ZigBee™, TCP/IP).

Pin-to-pin («вывод в вывод») и программная совместимость, а так же совместимость периферийных модулей предоставляют возможность расширения и развития при дальнейшем развитии разработок.

Все контроллеры имеют встроенный АЦП, последовательные интерфейсы, часть контроллеров выпускается по NanoWatt технологии и имеют встроенный программируемый генератор.

Обзор семейства PIC18 показал, что в его состав входит 20 контроллеров с интегрированным полноскоростным (full-speed) USB 2.0 с возможностью передачи данных со скоростью до 12 Мбит/сек. Контроллеры отличаются, объемом памяти, количеством портов ввода-вывода, разрядностью АЦП, дополнительной периферией и пр.

Из соображений цены, технологичности корпуса для процессов пайки и требуемого объема памяти, был выбран МК PIC18F4550 стоимостью 6\$. Структурная схема МК приведена на рисунке 2.7.

Из схемы видно, что PIC18F4550 имеет встроенный модуль USB интерфейса, 2 модуля MSSP (Master Synchronous Serial Port) способных работать в режиме SPI, 7 портов ввода-вывода (I/O) общего назначения.

Модуль USB интерфейса будет использоваться для управления контроллером сенсорного экрана от ПК, модуль MSSP1 – для управления по интерфейсу SPI от host-контроллера и программирования PIC, MSSP2 – для подключения по интерфейсу SPI контроллера сенсорной панели AD7879, выводы I/O – для обмена данными с ЖКД WX320240C0 по микропроцессорному интерфейсу 8080.

Организация USB интерфейса управления показана на рисунке 2.8. Из рисунка видно, что для этого требуется всего 2 резистора и один USB разъем.

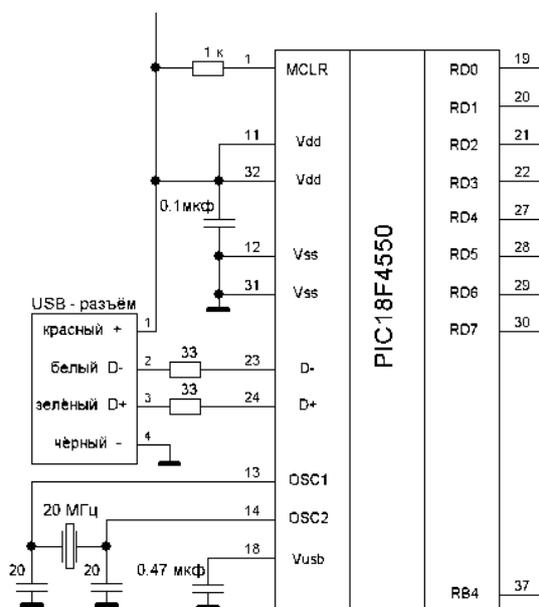


Рисунок 2.8 - Организация USB интерфейса управления.

2.4.2 Выбор трансивера SPI\USB

Контроллер управления сенсорным экраном конструктивно разбит на три функционально законченных модуля: модуль ЖКД, модуль управления и модуль сенсорной панели. Такое разбиение обеспечивает функциональную гибкость разработанного устройства, что позволяет легко расширять и модернизировать конечное устройство.

Для обеспечения функциональной автономности модуля сенсорной панели в него дополнительно был введен трансивер SPI\USB интерфейсов. Это позволяет использовать его автономно с другими ЖК дисплеями или ПК.

В разработанном модуле применен интерфейсный мост SPI/USB, реализованный на микросхеме FT232RL фирмы Future Technology Devices International Limited (FTDI) Тайвань. Эта микросхема преобразует USB порт в «виртуальный» последовательный или параллельный порт, обмен данными с которым ведут привычными, хорошо известными методами.

Вопросы организации полноценного узла USB микросхема выполняет на аппаратном уровне, а программное обеспечение базируется на драйвере и одной динамической библиотеке с набором простых и достаточно прозрачных функций. Всё это можно свободно получить на сайте фирмы FTDI (<http://www.ftdichip.com>).

Контроллер моста FT232RL состоит из:

- а) USB приемопередатчика;
- б) USART контроллера;
- в) буферов;
- г) стабилизатора напряжения;
- д) умножителя частоты.

Контроллер является готовым решением для быстрой и недорогой модернизации системы с COM портом для работы с USB интерфейсом. Включение в схему FT232BM требует минимального количества дополнительных внешних компонентов.

Контроллер FT232RL совместим со спецификациями USB 1.1 и USB 2.0 при скорости передачи до 12 Мбит в секунду (Full Speed) и поддерживает интерфейсы хост-контроллеров UHCI (Universal Host Controller Interface) Intel и OHCI (Open Host Controller Interface) Microsoft, Compaq и новым EHCI (Enhanced Host Controller Interface) Intel.

Буфер передатчика USB составляет 128 байт, приемника - 384 байта с возможностью программирования таймаута по приему данных с периодом от 1 до 255 мс, что позволяет гибко настраивать быстродействие устройства при передаче коротких пакетов данных.

Функциональная схема моста FT232 представлена на рисунке 2.9.

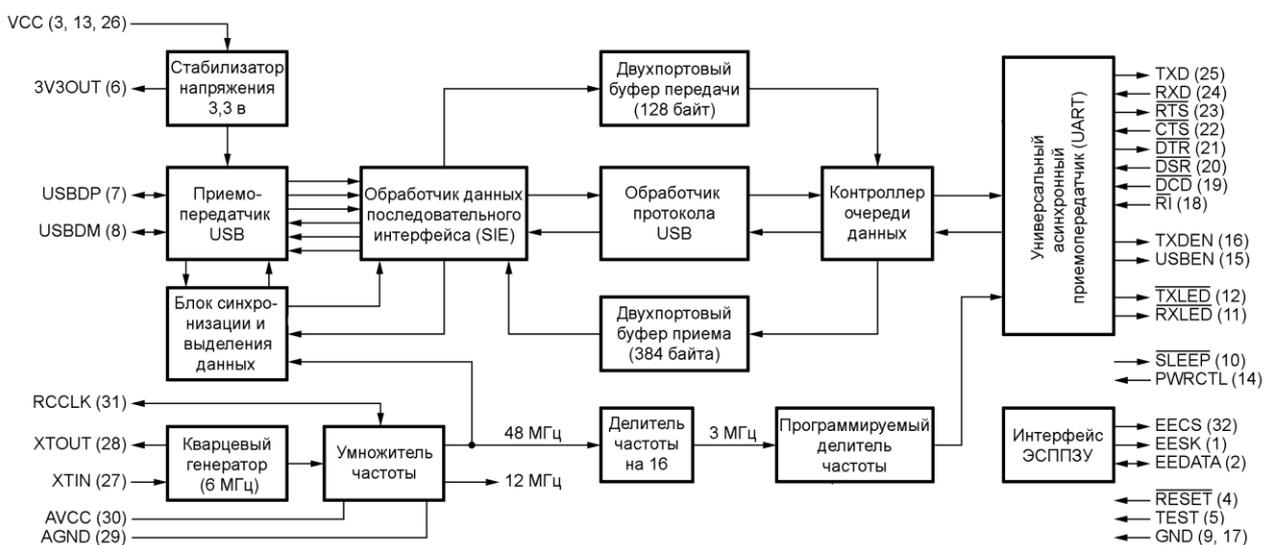


Рисунок 2.9 - Функциональная схема контроллера моста FT232.

Основой микросхемы являются приемопередатчики обоих интерфейсов. Блок USART снабжен полным набором сигнальных цепей стандарта RS-232, приемопередатчик USB - всего двумя информационными выводами USBDP и USBDM, образующими двунаправленный канал передачи данных. Блок SIE преобразует последовательный код в параллельный и обратно, выполняет процедуры «битстаффинга», генерирует (для исходящего потока данных) и проверяет (для входящего) контрольные коды.

Обработчик протокола USB нижнего уровня формирует ответы на запросы host-контроллера (компьютера). Через него же управляют режимом работы UART. Предусмотрены два буфера промежуточного хранения данных (FIFO) емкостью 384 байта (на прием) и 128 байт (на передачу). Управление FIFO возложено на соответствующий контроллер.

Выводы EECS, EESK, EEDATA микросхемы FT232 предназначены для подключения внешней энергонезависимой памяти, в которой хранят идентификаторы изготовителя (VID) и персональный (PID), заводской номер изделия и другие данные. Особенно важен серийный номер, так как программный драйвер полагается на его уникальность, ассоциируя тот или иной виртуальный COM-порт с конкретным устройством.

Низким уровнем на входе RESET микросхему FT232 приводят в исходное состояние. К выводу RCCLK должна быть присоединена RC-цепь, задерживающая начало работы микросхемы на время, достаточное для «раскачки» кварцевого резонатора, подключенного к выводам XTIN, XTOUT. Вход TEST используют только в отладочном режиме. При обычной работе он должен быть соединен с общим проводом (GND).

Имеется несколько вспомогательных выходов. Высокий уровень на выходе USBEN сигнализирует о завершении процесса инициализации микросхемы по USB. Если некоторое время обмена данными не происходит, микросхема автоматически переходит в «спящий режим», о чем свидетельствует низкий уровень на выходе SLEEP.

Аналогичные уровни на выходах TXLED и RXLED показывают, что идет соответственно передача или прием данных. Сигнал с выхода TXDEN предназначен для управления приемопередатчиком интерфейса RS-485. Его уровень - высокий, когда по линии TXD идет передача данных.

Напряжение питания микросхемы FT232RL (V_{CC}) от 4,4 до 5,25 В, потребляемый ток - не более 50 мА в рабочем и 250 мкА в спящем режиме. Логические выходы микросхемы рассчитаны на ток до 4 мА (вытекающий) и до 8 мА (втекающий).

Схема подключения FT232 приведена на рисунке 2.10.

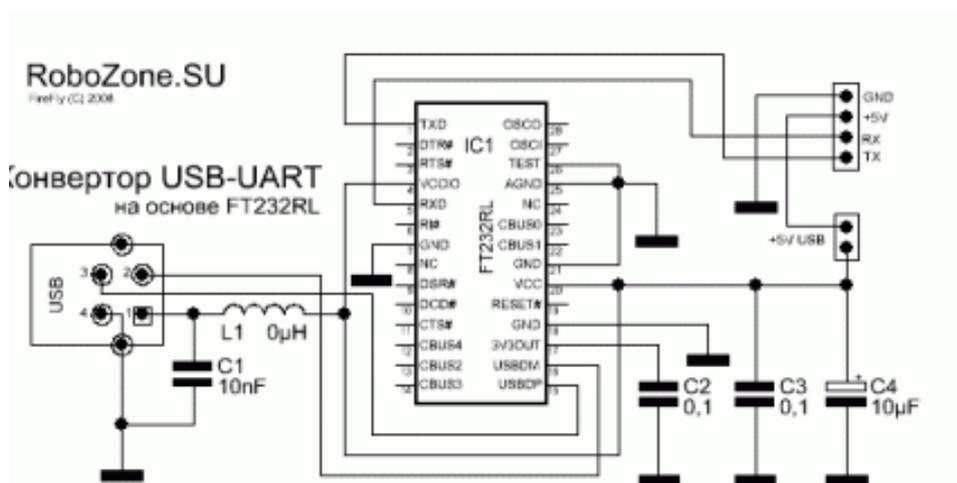


Рисунок 2.10 -Схема подключения FT232.

Для использования модуля понадобится установить на ПК специальный драйвер, который можно получить с официального сайта производителя - <http://www.ftdichip.com/Drivers/VCP.htm> (в наличии имеются драйвера практически ко всем известным операционным системам).

Информационный обмен осуществляется так же, как и с обычным COM-портом. Для проверки работоспособности SPI\USB трансивера можно сделать тестовую прошивку контроллера AD7879.

```
'-----
name : test_serial.bas
copyright : (c) VUIT, ICz611
micro : AD7879
commercial addon needed : no
' проверка работоспособности COM-порта
'-----
```

```
$regfile = «m8def.dat» 'контроллер AD7879
$crystal = 16000000 ' тактовая частота
```

\$baud = 9600 ' скорость COM-порта

Dim Sname As String * 20 ' объявляем переменную

' главный цикл программы

Do

Wait 1 ' задержка 1 сек

Input «You name? : « , Sname ' вводим свое имя

Wait 1 ' задержка 1 сек

Print «Hello - « ; Sname ' вывод на терминал приветствия и ранее введенное слово

Wait 2 ' задержка 2 сек

Print «Worked!!!» ' вывод на терминал сообщения - Работает =>

Loop

End

После прошивки можно создать соединение любой терминальной программой (после запуска терминала возможно понадобится сброс контроллера) и проверить работу трансивера (конвертора) SPI\USB.

В процессе проектирования была разработана плата модуля сенсорной панели с применением SMD компонентов. Для упрощения процесса пайки микросхема FT232 была заменена на аналог – микросхему CY7C68013A-100AXC компании Cypress Semiconductor, имеющую корпус большего размера и соответственно большее расстояние между выводами.

2.5 Расчет надежности разработанного устройства

При проектировании РЭА расчет надежности может быть проведен аналитическими методами и по статистическим данным, полученным в процессе эксплуатации или испытаний. Вполне очевидно, что в данном случае должен быть использован первый вариант.

Сущность аналитического расчета состоит в определении числовых значений основных показателей надежности $P(t)$, $\lambda(t)$ или T_0 по известным интенсивностям отказов элементов или отдельных элементов (устройств), входящих в состав данной РЭА.

При этом проводятся ориентировочные методы расчета для РЭА, работающей при $+20^{\circ}\text{C}$ и все компоненты которой имеют коэффициент нагрузки $K_n=1,0$. Такие методы используются на этапе первоначального проектирования для оценки достижимого уровня надежности. Для более точных (полных) мето-

дов расчета необходимо иметь опытные образцы РЭА для оценки реальных значений температуры и коэффициентов нагрузок K_n всех радиоэлементов.

Вероятность безотказной работы РЭА с последовательным соединением элементов по надежности можно представить в виде произведения вероятностей безотказной работы ее элементов:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t), \quad (2.4)$$

где: N - число элементов в РЭА.

В период нормальной эксплуатации РЭА, интенсивность отказов ее компонентов подчиняется экспоненциальному закону распределения [21]. Поэтому интенсивность отказов РЭА можно считать величиной постоянной во времени:

$$\lambda_0(t) = \lambda = \text{const} = \sum_{i=1}^K N_i \lambda_i. \quad (2.5)$$

В этом случае, вероятность безотказной работы будет определяться выражением:

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0 t}. \quad (2.6)$$

Для аналитического расчета надежности необходимо иметь данные об интенсивности отказов элементов, законе их распределения и среднем времени текущего ремонта, которые можно получить из соответствующей литературы (например, [22]) и сети Интернет. Данные расчета надежности приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.3 - Данные расчета надежности

Наименование элемента	Обозначение по схеме	Количество, n_i	Интенсивность отказов, $\lambda_i \cdot 10^{-6}$, 1/ч	$n_i \lambda_i \cdot 10^{-6}$, 1/ч
Конденсаторы К10-17а	С	12	1,2	14,4
Конденсаторы К50-35	С	6	1,4	8,4
Микросхемы аналоговые	DA	1	0,1	0,1
Микросхемы цифровые	DD	2	0,1	0,2
Резисторы С2-33	R	4	0,4	1,6
Разъемы IDC10F, USB	X	3	0,3	1,2

Паяные соединения	-	154	0,01	1,54
-------------------	---	-----	------	------

Итого

27,44

Наработка на отказ разработанного контроллера сенсорной панели составит:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_0} = \frac{1}{27,76 \cdot 10^{-6}} \approx 36 \text{ тысяч часов.}$$

Проведенные расчеты показывают, что разработанный контроллер обладает высокой надежностью, удовлетворяющей требованиям практики. В случае круглосуточной эксплуатации устройства при назначенном сроке службы 10 лет, можно ожидать появления не более двух отказов.

3 Конструкторская часть. Реализация и ввод в эксплуатацию контроллера управления СЭ

3.1 Конструкторско-технологическое обеспечение разработки

Так как разрабатываемый контроллер является автономным, то основные конструкторские задачи при его проектировании связаны с проблемой размещения электронной схемы в заданные размеры печатной платы. При этом немаловажную роль играет конечная стоимость полученного конструктивного модуля. Кроме этого особое внимание следует уделить обеспечению взрыво- и пожаробезопасности аппаратуры.

Разрабатываемая печатная плата является двухсторонней класса точности не более 4. Требование неизменности габаритных размеров печатной платы в свою очередь требует обеспечения относительно высокой плотности монтажа. Поэтому для проектирования печатной платы применим систему автоматического проектирования печатных плат (САПР ПП).

Любая САПР ПП представляет собой сложный комплекс программ, обеспечивающий сквозной цикл, начиная с прорисовки принципиальной схемы и заканчивая генерацией управляющих файлов для оборудования изготовления фотошаблонов, сверления отверстий, сборки и электроконтроля. Существует довольно большое количество САПР ПП, отличающихся по функциональным возможностям, интерфейсу пользователя, цене, доступности и т.д.

В области мелкосерийного производства благодаря своей невысокой стоимости и, тем не менее, высокой функциональности, устойчивое положение занимает отечественный продукт САПР ПП фирмы Novarm пакет DipTrace. Он представляет собой полнофункциональную систему для разработки принципиальных схем и печатных плат. Обладает весьма удобным, интуитивным, Windows-подобным и, естественно, русифицированным интерфейсом. Включает в себя четыре программы (рисунок 3.1).

В DipTrace используется удобная система работы со слоями, количество слоев соответствует числу сигнальных слоев в печатной плате. Проводники устанавливаются в текущий сигнальный слой, при построении трасс можно пе-

рейти в другой слой. Любой фрагмент трассы, вся трасса или сеть могут быть перемещены в другой слой, при этом автоматически создаются межслойные переходы.

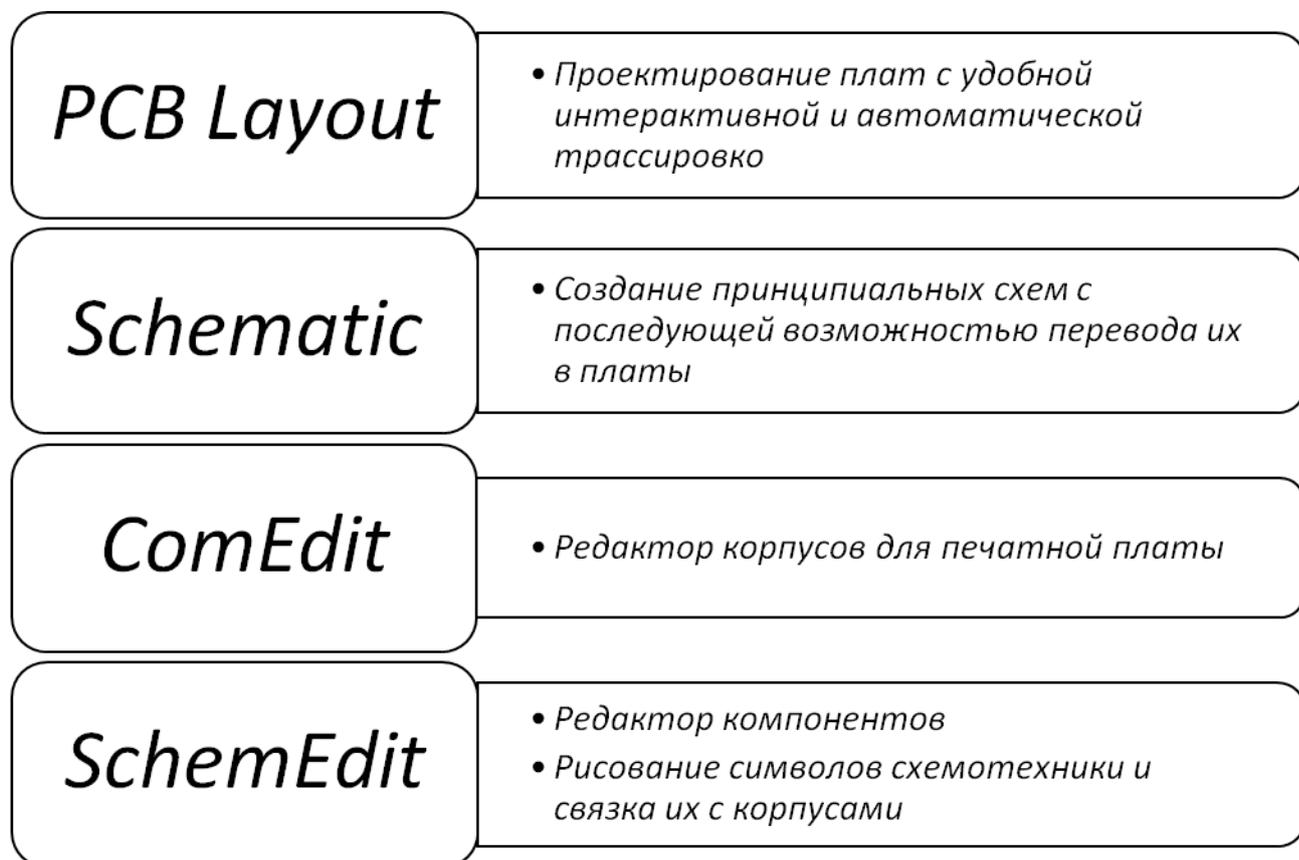


Рисунок 3.1 – Компоненты программы DipTrace.

Программа включает встроенный сеточный оптимизационный автотрассировщик Grid Router, который может создавать несколько вариантов трассировки платы и выбирать лучший.

Учитывая вышесказанное, разработку печатной платы контроллера сенсорной панели будем вести с помощью САПР ПП DipTrace.

Для создания перечня (таблицы) электрических соединений в программе Schematic была создана принципиальная электрическая схема и контроллера СП. Отсутствующие в прилагаемых библиотеках корпуса элементов были созданы в программе ComEdit - редакторе корпусов для печатной платы. В программе SchemEdit (редактор компонентов) были разработаны оригинальные символы схемотехники и осуществлена их связка с корпусами.

На рисунке 3.2 представлен результат работы в программе Schematic.

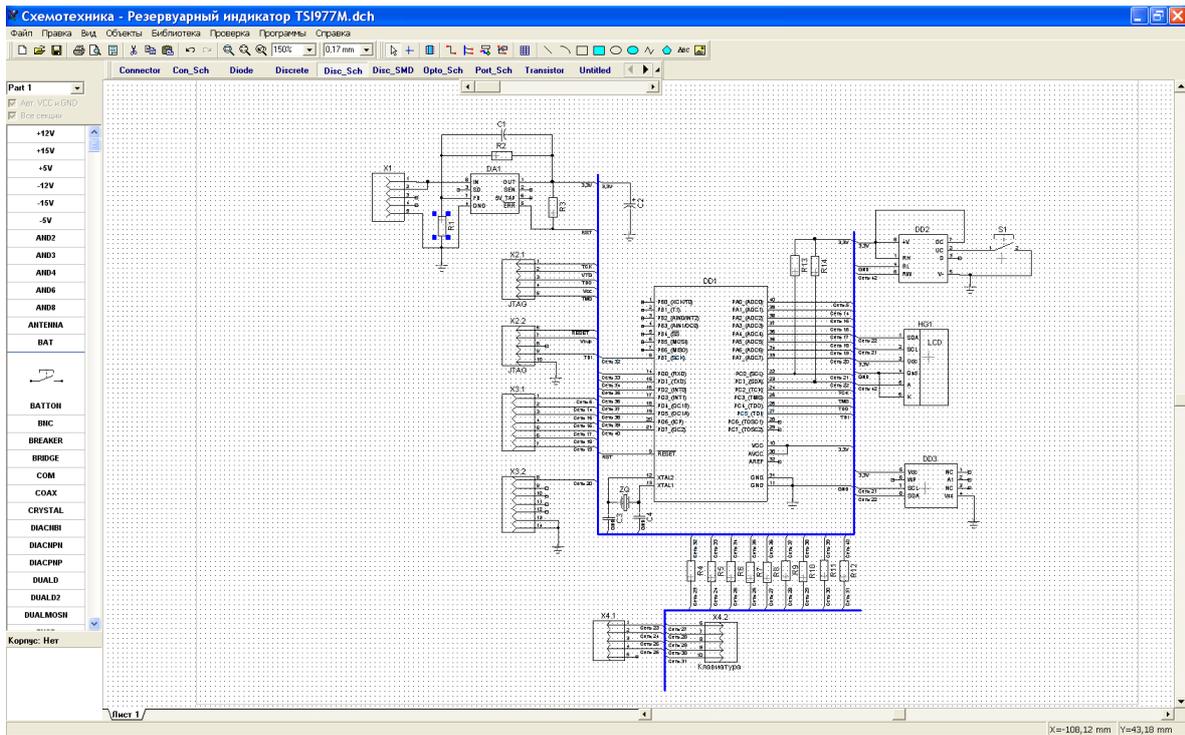


Рисунок 3.2 - Результат работы в программе Schematic.

После создания принципиальной схемы разрабатываемого устройства в программе Schematic был осуществлен перевод электрической схемы в программу PCB Layout - программу проектирование печатных плат с интерактивной и автоматической трассировкой (рисунок 3.3).

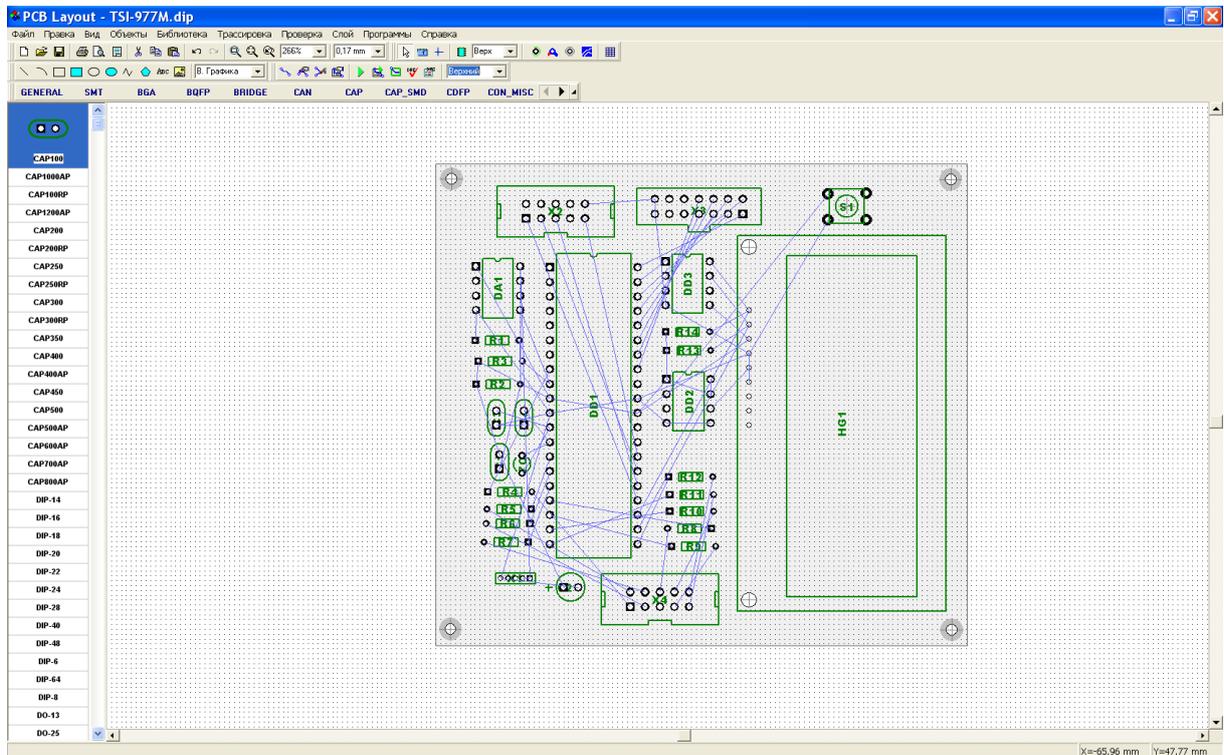


Рисунок 3.3 - Результат перевода схемы в программу PCB Layout.

Для использования встроенного автотрассировщика Grid Router необходимо выбрать из главного меню пункт «Трассировка\Запуск» или соответствующий инструмент на панели трассировки. Для открытия диалога изменения параметров текущего автотрассировщика необходимо выбрать из главного меню команду «Трассировка \ Параметры автотрассировки» или соответствующий инструмент на панели трассировки. Также это возможно из окна параметров трассировки.

При автотрассировке возможно несколько режимов создания трасс. По умолчанию автотрассировщик не трогает уже разведенные трассы и создает новые только на основе логических связей.

После выбора из главного меню команды «Трассировка \ Параметры трассировки», были установлены параметры (ширина трасс и расстояние между ними, расстояние до выводов и пр.), соответствующие 4 классу точности печатных плат. Результаты трассировки печатной платы контроллера СП приведены на рисунке 3.4.

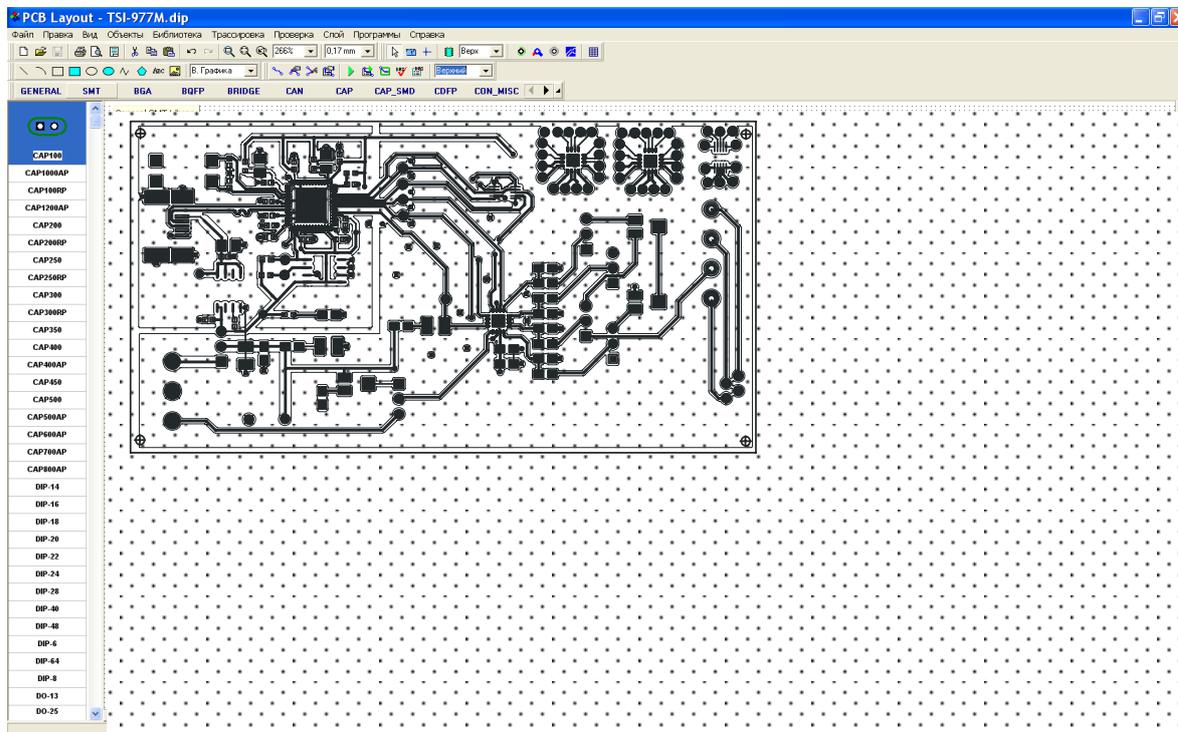


Рисунок 3.4 – Результат трассировки в программе PCB Layout.

Для разработки конструкторских документов в программе DipTrace предусмотрен экспорт печатной платы в *.dxf формат, который поддерживают боль-

шинство PCB CAD программ. Для этого необходимо выбрать из главного меню пункт «Экспорт \ DXF», сохранить файл и затем экспортировать его в программу AutoCAD, Corel Draw и т.п.

Другой вариант создания конструкторских документов заключается в использовании виртуального принтера Acrobat Distiller для получения *.pdf формата, который так же поддерживают большинство программ - графических редакторов.

При создании чертежей печатной платы и сборочного чертежа в программе Corel Draw 12 для графической части бакалаврской работы был использован второй вариант конвертации файлов DipTrace.

3.2 Калибровка контроллера сенсорной панели

Температура и влажность окружающей среды могут сильно поменять резистивные характеристики покрытия, что в свою очередь исказит результаты измерения позиции касания сенсорной панели. Временной дрейф свойств покрытия и калибровки контроллера также могут привести к неточности результатов измерений. В связи с этим, физическая ориентация сенсоров относительно экрана LCD сильно изменяется от образца к образцу.

Чтобы избежать подобных искажений, нужно выполнить начальную калибровку сенсорной панели. Иногда, для поддержания высокой точности, необходима периодически повторяющаяся процедура калибровки. Тип необходимой калибровки диктуется конкретным применением сенсорного экрана.

Процедура калибровки экрана может быть выполнена в следующем порядке (рисунок 3.5).

3.3 Инструментальные средства отладки и программирования МК PIC18F4525

Разработка приложений на базе микроконтроллеров мало отличается от создания приложений на основе микропроцессоров вообще. При разработке таких приложений одним из главных вопросов является оптимальное разделение функций между аппаратурой и программным обеспечением.

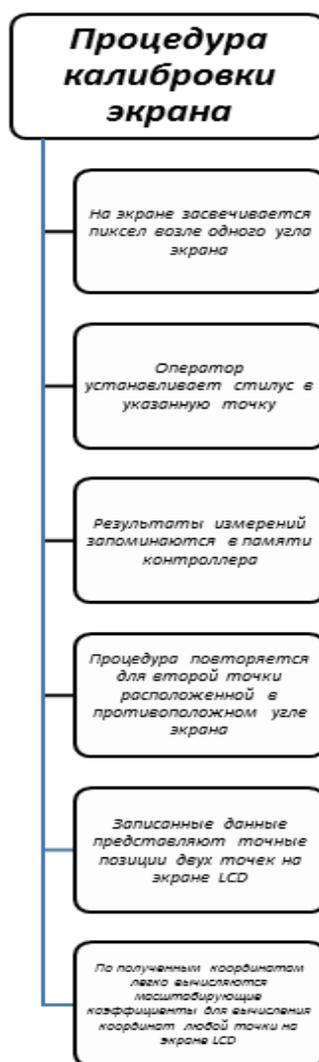


Рисунок 3.5 – Порядок проведения процедуры калибровки экрана.

Таким образом, прежде чем начинать разработку приложения с применением микроконтроллера, важно хорошо продумать варианты решений и оценить объем аппаратной и программной составляющей разрабатываемого устройства. Когда выбор сделан, наступает следующий этап - написание и тестирование программного обеспечения.

Выбор средств разработки является не простой задачей, так как PIC- микроконтроллеры используются практически повсеместно и множество фирм, иногда очень маленьких и мало знакомых широкой публике, предлагают продукты в этой области. Поэтому остановимся на наиболее популярных средствах разработки, предлагаемыми фирмами Microchip и Parallax, обеспечивающих эффективную работу с PIC-микроконтроллерами.

3.3.1 Система разработки программного обеспечения МК PIC 18F45xx

Разработка любой компьютерной программы может быть осуществлена с помощью языка низкого уровня (машинного языка, ассемблера) или языка высокого уровня (C, Basic, Pascal). Для PIC-микроконтроллеров ассемблер - самое лучшее решение, даже если он кажется более трудным в применении.

Размер памяти программ, доступной в PIC контроллерах, относительно мал, что делает невозможным размещение большой программы. Программа, написанная на ассемблере, требует минимального объема памяти и позволяет реализовать максимальное количество функций. Напротив, если она создана на языке высокого уровня, то в памяти МК может храниться код, соответствующий всего лишь нескольким десяткам или сотням операторов языка.

В таких языках, как C, Basic или Pascal, имеется множество типов переменных и обрабатывающих их операторов, что позволяет писать очень компактные исходные тексты программ. Но даже самый простой оператор на языке высокого уровня при компиляции генерирует несколько десятков команд машинного языка, из-за чего доступная память заполняется очень быстро.

Язык высокого уровня целесообразно использовать для МК с большим объемом памяти, или в тех случаях, когда время, отведенное на разработку приложения, очень ограничено.

Комплекс разработки всегда включает как минимум ассемблер и иногда один или несколько компиляторов языков высокого уровня, которые используются для программирования. Ассемблер переводит мнемокоды команд машинного языка в двоичные (бинарные) коды, исполняемые PIC-микроконтроллером. Текст с последовательностью мнемокодов называется листингом, или исходным кодом программы, в то время как бинарный код называется объектным, или исполняемым. Компилятор переводит операции, операторы и другие конструкции языка высокого уровня, образующие исходный текст программы, в исполняемый бинарный код PIC-микроконтроллера.

В хорошо продуманной системе (среде) разработки обе программы, ассемблер и компилятор, могут сосуществовать отдельно или использоваться вместе.

Это позволяет строить сложные алгоритмы на языке высокого уровня, а те программные модули, которые требуют высокой производительности или предназначены для управления периферией через порты ввода/вывода (драйверы), писать на ассемблере. Очень важно, чтобы компилятор языка высокого уровня допускал включение программных сегментов на ассемблере.

Эти обе программы, ассемблер и/или компилятор, должны обязательно «прогоняться» на так называемом хост- компьютере. В таком качестве может выступать практически любая машина: специализированная система производителя PIC-микроконтроллеров (все более и более редкий случай, так как это очень дорого), мощная ЭВМ (VAX, рабочая станция Sun, Apollo или HP и т.п.) или просто, и это становится правилом, IBM совместимый ПК. Последний вариант позволяет уменьшить капиталовложения, поскольку наверняка уже имеется IBM совместимый компьютер, используемый для других целей.

После написания программы на ассемблере или языке высокого уровня следует провести компиляцию для получения исполняемого бинарного кода. Однако прежде чем тиражировать созданное приложение, надо тщательно его протестировать. Чтобы обеспечить полный контроль, программа должна тестироваться в условиях, максимально близких к условиям будущего реального использования. Для этого существует несколько возможных решений.

Первое решение, которое является самым эффективным, но также и наиболее дорогостоящим, - приобрести специальную аппаратуру. Аппаратный эмулятор, составляющий «сердце» этой системы, фактически представляет собой специальное устройство, иногда очень сложное, которое выполняет все функции PIC-микроконтроллера и заменяет его.

Эмулятор снабжен специальным соединительным шлейфом (зонд эмуляции) с разъемом, аналогичным выводам корпуса PIC-контроллера. С помощью этого шлейфа эмулятор подключается к макету приложения вместо настоящего PIC- микроконтроллера. Для подключения эмулятора к компьютеру обычно используется последовательный интерфейс RS-232. Через него в эмулятор загружается программа микроконтроллера и осуществляется управление ее выполне-

нием с помощью специальной компьютерной программы.

Т.к. эмулятор- это «разобранная» версия PIC-контроллера, то легко обеспечивается доступ к его различным внутренним узлам и шинам. Это позволяет, в частности, узнать, по каким адресам «проходит» программа, какие коды записаны в управляющие регистры и т.п. В случае необходимости можно остановить исполняемую программу, чтобы считать состояние памяти или некоторых регистров.

Эмулятор обеспечивает работу приложения в реальном времени, поскольку способен функционировать на частоте микроконтроллера. Эмулятор - дорогостоящее промышленное средство, поэтому вряд ли имеет смысл покупать его для создания мелкосерийных или единичных приложений.

Второе возможное решение - использовать симулятор, но он не позволяет провести все необходимые тесты. Симулятор- это программа, написанная специально для МК, работу которого она будет имитировать. Симулятор обычно функционирует на той же машине, где писалась программа приложения. На ее вход подается объектный (или исполняемый) код, который необходимо протестировать, и программа ведет себя так, как вел бы себя имитируемый МК.

Симулятор значительно дешевле, чем эмулятор, ведь это только программа, сложность которой пропорциональна сложности микроконтроллера. Стоит он в десятки раз меньше, чем эмулятор,

Некоторые функции, связанные со временем, нельзя полностью смоделировать на симуляторе. Тем не менее, хорошее владение симулятором позволяет достаточно быстро и с минимальными капиталовложениями тестировать приложения.

3.3.2 Средства разработки ПО контроллера управления

Разработку МК приложений для промышленного использования, целесообразно проводить в определенной последовательности, показанной на рисунке 3.6.

Вначале нужно определить элементную базу для разрабатываемого устройства, так как от этого зависит и качество аппаратуры (надежность, стабильность, быстродействие), и объем разрабатываемого программного обеспече-

НИЯ.

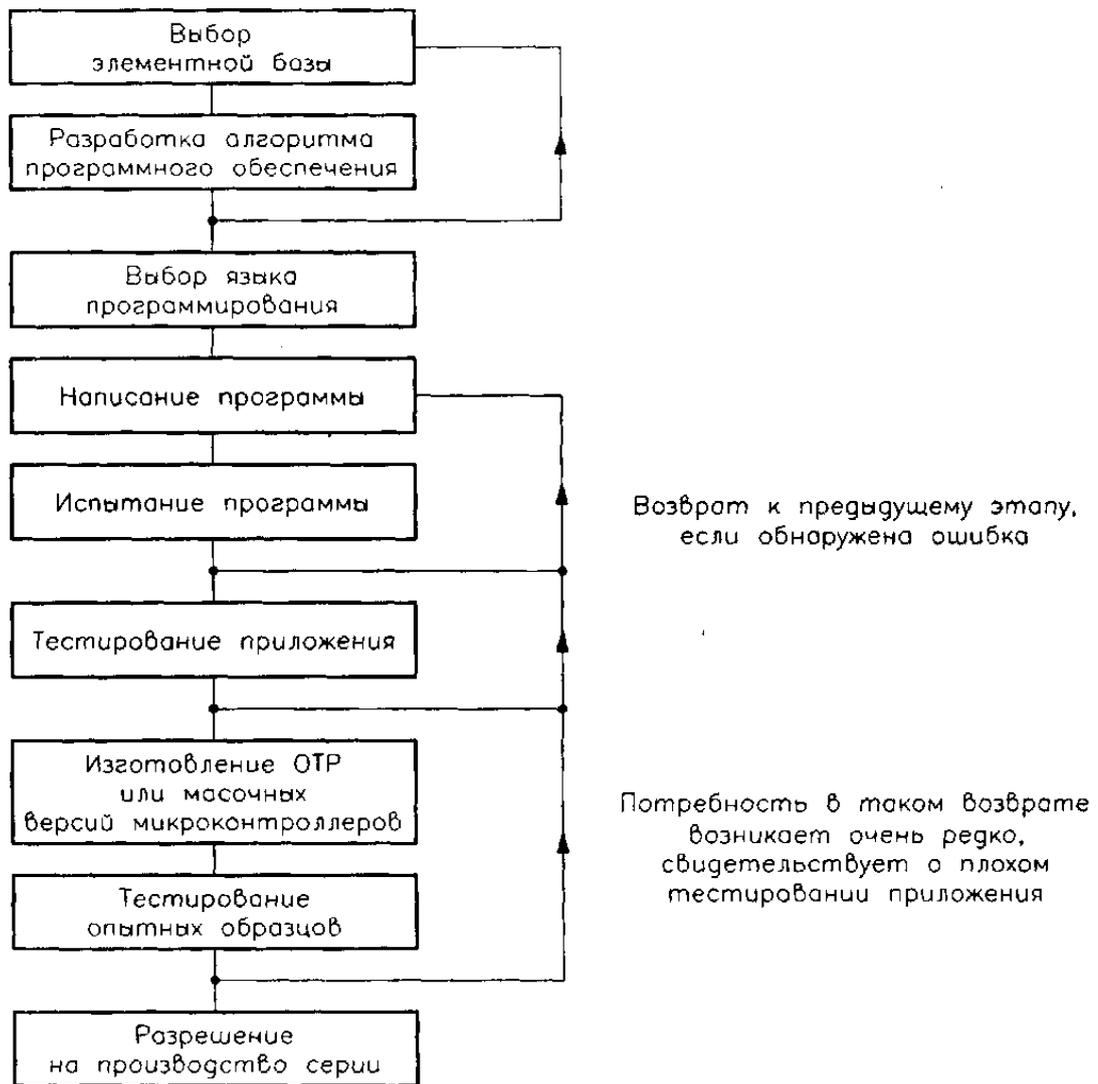


Рисунок 3.6 – Последовательность разработки приложений для микроконтроллера.

Далее необходимо выбрать структуру программного обеспечения. Результатом этой работы может оказаться, что в элементную базу требуется внести какие-нибудь изменения.

Когда структура программного обеспечения собрана, приходит время написания программы. Для упрощения последующего тестирования и отладки, необходимо разбить ее на несколько модулей, каждый из которых будет выполнять установленные функции. Эти модули надо писать поочередно и тестировать один за другим, что особенно важно для модулей драйверов, управляющих портами ввода/вывода. Когда программное обеспечение готово, его нужно про-

тестировать.

Для тестирования применяют симулятор или эмулятор. По завершении тестирования можно выполнить натурное моделирование работы устройства. Для этого предназначены перепрограммируемые версии микроконтроллера (EEPROM - с электрическим стиранием, UVPR0M - с ультрафиолетовым стиранием, Flash контроллеры), идентичные версии OTP, которую можно использовать позже, когда программное обеспечение будет доработано.

Именно перепрограммируемые версии нужно использовать для проведения последних тестов устройства на макете или опытном образце. Это предоставляет возможность для внесения необходимых изменений. Если все окажется правильным, можно будет перейти к программированию микросхем OTP.

Из сказанного видно, что этапы создания МК приложений и программного обеспечения классической информационной системы практически совпадают, но в первом случае некоторые из них оказываются более критичными из-за тесной взаимосвязи между элементной базой и программным обеспечением.

Для разработки приложений на основе МК с единичной или мелкосерийной программой выпуска не имеет смысла инвестировать средства в дорогостоящий эмулятор. Особенно это касается разработок с использованием МК PIC18F для которых легко можно обойтись и без эмулятора благодаря комплектам для разработки, выпускаемым фирмами Microchip и Parallax. Такие комплекты содержат хороший ассемблер и достаточно эффективный симулятор.

Фирма Microchip предлагает различные средства разработки, среди которых - внутрисхемный эмулятор-отладчик M1CD2-MC1, базирующийся на использовании функции ICD (In-Circuit Debugging), современных Flash PIC контроллеров производства компании Microchip. Одновременно, M1CD2 является и внутрисхемным программатором (рисунок 3.7).

На рисунке 3.8 показана схема подключения модуля к отлаживаемому устройству с 40-выводной версией PIC18F.

Устройство работает под управлением Интегрированной Среды Разработки MPLAB-IDE, обеспечивающей запуск, пошаговую отладку, установку/снятие

точки останова программы и пр.

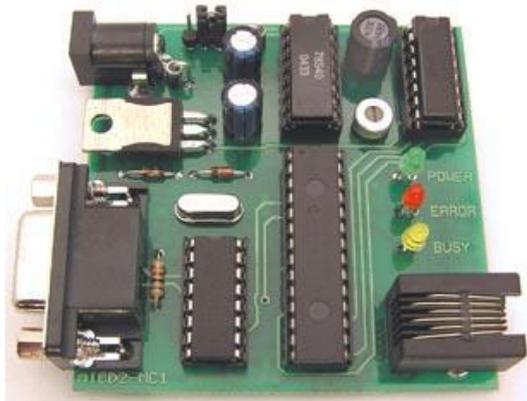


Рисунок 3.7 - Внутрисхемный эмулятор-отладчик MICD2-MC1 (Microchip).

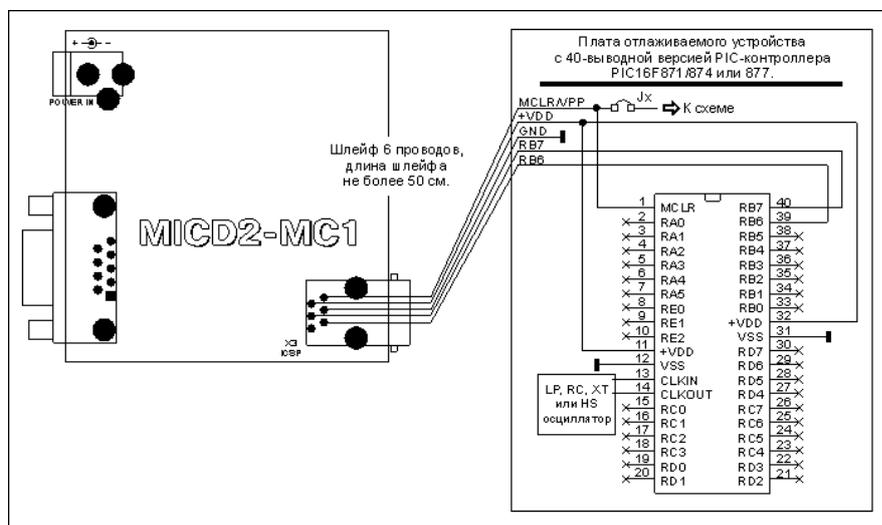


Рисунок 3.8 - Схема подключения MICD2 к отлаживаемому устройству.

В процессе программирования отлаживаемого PIC-контроллера, к отлаживаемой пользователем программе дописывается маленькая подпрограмма отладчика ICD, которая получает управление при старте или сбросе МК. Эта подпрограмма реализует связь с компьютером и дает возможность выполнять команды, такие как:

- а) установка/снятие контрольной точки (breakpoint);
- б) выполнение одного шага отлаживаемой программы (Step);
- в) запуск отлаживаемой программы в реальном времени (Run);
- г) приостановка (Halt);
- д) выполнение сброса микроконтроллера (Reset);
- е) передача компьютеру содержимого управляющих регистров или реги-

стров памяти;

ж) изменение содержимого управляющего регистра или регистра памяти.

Подпрограмма Отладчика ICD занимает некоторое пространство памяти программ МК в области последних (старших адресов), несколько ячеек в памяти данных, один уровень стека и использует выходы RB6 и RB7 МК для связи с MICD2-МС1 (MPLAB-ICD2). Адреса ячеек в памяти данных и памяти программ необходимо зарезервировать и не использовать на всём протяжении отладки.

Подпрограмма отладчика ICD автоматически дописывается модулем MICD2-МС1 всякий раз при программировании кода программы в отлаживаемый МК и пользователь не должен заботиться об этом.

При необходимости применения в отлаживаемом устройстве однократно программируемых (OTP - One Time Programming) кристаллов, с учетом того, что все PIC-контроллеры, выпускаемые в одинаковых корпусах совместимы по выводам между собой и отличаются только объемом памяти и встроенными периферийными устройствами, рекомендуется для отладки программных модулей и подпрограмм использовать похожий кристалл, выполненный по технологии Flash. В большинстве случаев они с запасом перекрывают ресурсы однократно программируемых МК. После отладки программных модулей и сборки программы на Flash версии PIC-контроллера ее можно с минимальными изменениями перенести на более дешевый OTP кристалл.

3.4 Внутрисхемное программирование микроконтроллеров PIC

Управляющий микроконтроллер PIC18F как и большинство PIC- контроллеров компании Microchip допускает внутрисхемное программирование в составе действующего устройства.

На рисунке 3.9 приведена схема подключения программатора к программируемой плате разработанного контроллера управления.

На рисунке 3.10 представлена принципиальная схема программатора SkyProg, а на рисунках 3.11 и 3.12 представлены нумерация и расположение контактов внутрисхемного программирования ISP (или ICSP).

Стабилизатор +5В(Vdd) программатора рассчитан на ток 50 мА (кратко-

временно 100 мА).

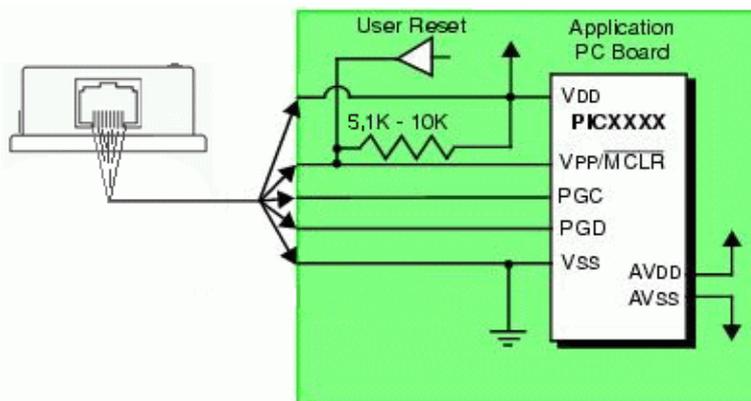


Рисунок 3.9 - Схема подключения программатора к программируемой плате разработанного контроллера управления.

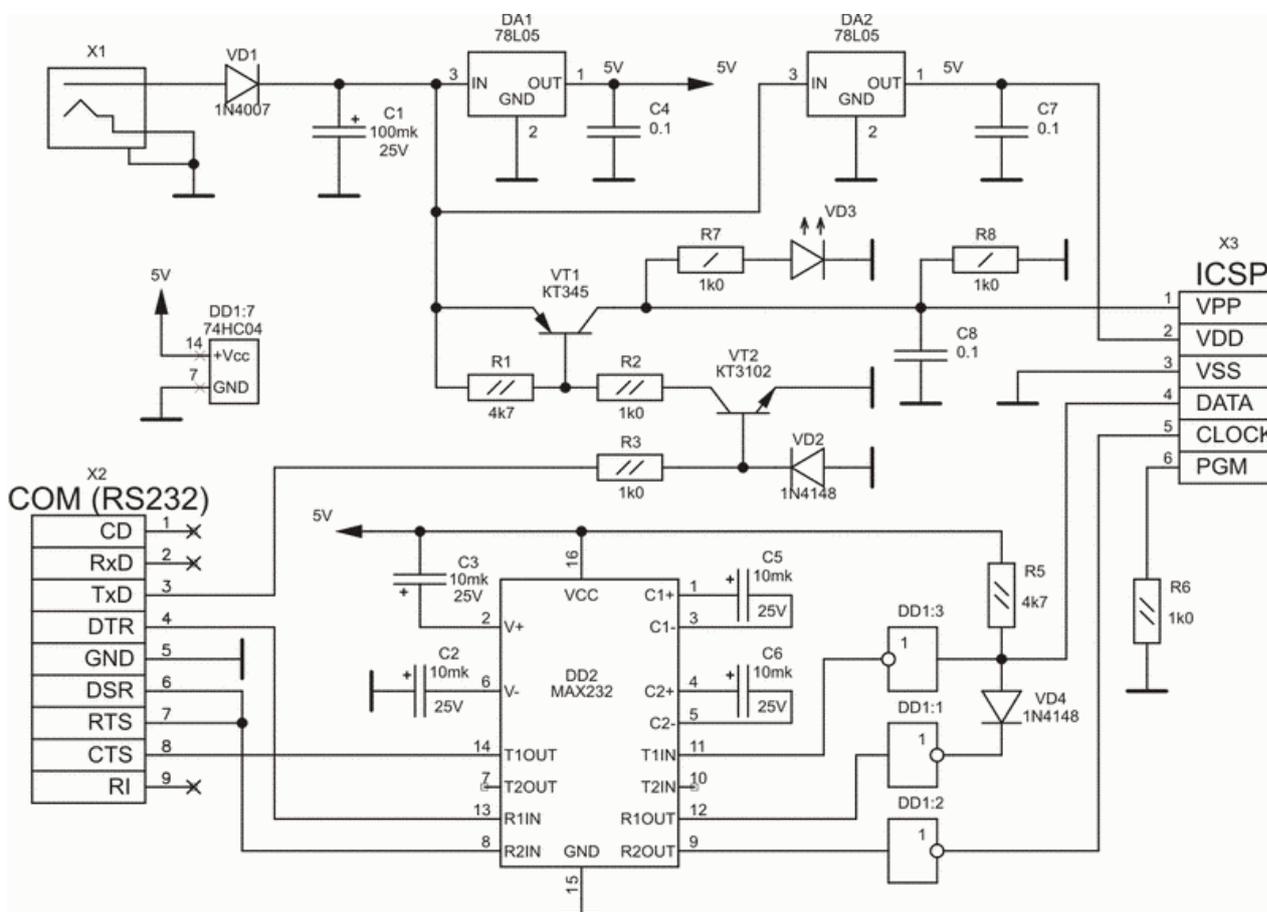


Рисунок 3.10 - Схема ISP программатора SkyProg.

Если программируемая плата по Vdd потребляет большой ток, то необходимо либо использовать питание самой программируемой платы (при этом, разъем +5В идущий от программатора нужно отсоединить), либо уменьшить ток потребления программируемой платы, путем отключения других частей схемы с помощью переключки (что бывает менее удобным).

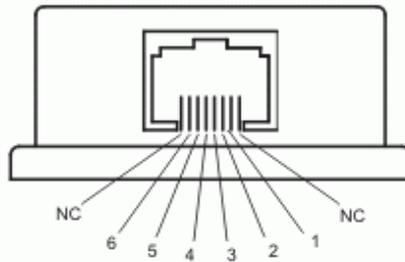


Рисунок 3.11 – Нумерация и расположение контактов ISP программатора.



- 1 - PGC
- 2 - VPP
- 3 - NC (не используется)
- 4 - GND
- 5 - +5V
- 6 - PGD

Рисунок 3.12– Нумерация контактов ISP разъема BLD-6 на плате управления.

Вывод PGM (низковольтное программирование) редко используют, т.к. это занимает дополнительный порт контроллера. При подключении кабеля ISP к программируемой плате, контроллер должен перейти в состояние сброса. Резистор R8 программатора «притягивает» MCLR МК к земле, что вызывает сброс контроллера.

Если этого не происходит, то нужно увеличить номинал сопротивления резистора R между выводами Vdd и Vpp программируемой платы (рисунок 3.12). При малом номинале сопротивления R в программируемой плате, можно поставить последовательно с ним диод, чтобы не превысить +5В на Vdd во время программирования.

К программатору прилагается кабель-удлиннитель COM-порта (DB9M - DB9F), кабель с разъемом BLD-6 для программирования, стабилизированный блок питания, CD диск (ПО IC-PROG, описание настроек IC-PROG, описание программатора, принципиальная схема программатора, схема подключения программатора к программируемой схеме/микроконтроллеру, интегрированная сре-

да разработки на ассемблере (MPLAB v7.43), IDE C компилятор (mikroC Version: 6.2.1.0), C компилятор встраиваемый в MPLAB (PICC_V8.05PL1) и описание компилятора, техническая документация на PIC микроконтроллеры).

Особенности программатора SkyProg:

а) функционально совместим с ПО программаторов JDM, но в отличие от них работает со всякими COM-портами;

б) не перегружает по току COM-порт компьютера, так как использует стандартный формирователь интерфейса RS232 (MAX232 или аналогичный) и при правильной эксплуатации не представляет опасности для COM-порта;

в) поддерживается распространёнными программами IC-PROG, Pony Prog и другими, как программатор JDM;

г) для питания программатора используется любой стабилизированный источник питания напряжением от 13 до 14 В.

4 Оценка экономической эффективности разработанного устройства

При прочих равных условиях, по сравнению с обычными кнопочными устройствами, устройства с использованием сенсорных экранов обладают повышенной надежностью, большей функциональностью, в них легко реализуется «человеко-машинный» интерфейс HMI (или MMI).

4.1 Выбор и обоснование базового варианта

Определение показателей экономической эффективности разработанного устройства базируется на сравнении его с базовым вариантом, адекватность которому является важнейшим фактором для определения количественных значений показателей эффективности, что имеет существенное значение для объективной оценки новых технических решений.

При выборе базы для сравнения необходимо руководствоваться двумя основными правилами:

а) это может быть устройство, выполняющее те же основные функции, что и разработанное;

б) должно быть выбрано современное и наиболее эффективное устройство, т.к. только в этом случае, если показатели разработанного устройства выше, производство будет целесообразным.

На основании аналитического обзора, проведенного в первом разделе, в качестве базового варианта для разработанного устройства управления движением был выбран графический контроллер с сенсорным экраном GL-001, выпускаемый ООО «Утес» г. Ульяновск.

Схемотехника и конструкция разработанного контроллера не требуют капитальных вложений на запуск производства, т.к. используемые технологии являются типовыми для производства радиоаппаратуры на интегральных микросхемах.

4.2 Расчет экономической эффективности производства контроллера управления сенсорным экраном

Для расчета затрат на производство необходимо выбрать завод-изготовитель, условия и технологическая оснащенность которого позволяют организо-

вать выпуск разработанного контроллера СЭ. На основании затрат на производство в выбранном цехе завода-изготовителя рассчитаем себестоимость и оптовую цену изделия.

На различных стадиях проектирования в зависимости от полноты исходной информации себестоимость изготовления может быть определена различными методами: по удельным весам, по типовой структуре производственных затрат, путем калькулирования и др.

Расчет себестоимости изделия путем калькулирования позволяет провести наиболее точный расчет цены контроллера управления. Сущность данного метода заключается в последовательном расчете статей калькуляции для определения себестоимости выпускаемой продукции.

Выбранный в качестве базового изделия графический контроллер с сенсорным экраном GL-001 имеет отпускную цену 6236,80 рублей. Структура производства этого контроллера на ООО «Утес» соответствует мелкосерийному производству.

Расчет себестоимости будем проводить исходя из сложившихся затрат по данному производству. Исходные данные для расчета:

- а) зарплата дополнительная $Z_{\text{доп}}$ 10% от $Z_{\text{осн}}$;
- б) ТЗР_м по статье «Материалы» 7,6% (М);
- в) ТЗР_п по статье «Полуфабрикаты» 10,8% (П);
- г) норма расходов по содержанию и эксплуатации оборудования $У_{\text{с.о.}}$ 10,85% от $Z_{\text{осн}}$;
- д) процент отчислений по единому социальному налогу $У_{\text{с}}$ 34 % от $(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$;
- е) норма цеховых расходов $У_{\text{ЦЕХ}}$ 82% от $Z_{\text{осн}}$;
- ж) норма общезаводских расходов $У_{\text{О.З.}}$ 96,8% от $Z_{\text{осн}}$;
- з) внепроизводственные расходы 5% от $C_{\text{пр}}$;
- и) рентабельность 25% от $C_{\text{п}}$.

4.2.1 Затраты по статье «Материалы основные»

Количество паек, общий расход материалов взяты из приведенных ниже

материалов по технологии изготовления и сборки контроллера управления сенсорным экраном для устройств класса HDI.

При составлении таблицы необходимо учесть нормативный расход материалов на 1 пайку.

Таблица 4.1 - Расчет затрат по статье «Материалы»

Наименование материалов	ГОСТ, ОСТ, ТУ	Кол-во паек, шт.	Норма на 1 пайку, кг	Цена за 1 кг, руб.	Вес, кг	Стоимость, руб.
Припой ПОС-61	21193-76	356	0,00007	420,0	0,011	10,54
Флюс ФСК	70033.200	356	0,00003	330,0	0,005	3,77
Спирт	5977-72	356	0,00001	33,7	0,002	0,15
Лак УР-231	6-10-1547	-	-	74,9	0,06	4,494
Клей ВК-9	4ГО.029	-	-	29,1	0,01	0,29
Стеклотекстолит ФС-1	10316-78	-	-	68,0	0,21	14,28

Итого:

33,52

Припой ПОС-61 может быть заменен на аналогичный низкотемпературный припой с температурой плавления 260°C, а флюс ФСК- на любой флюс на основе древесной канифоли, не содержащий кислотных компонентов.

Указанные расходы материалов для пайки являются усредненными как для ручных способов, так и для групповых (окувание в расплавленный припой, пайка «волной» и др.).

Затраты по $TЗР_m$ по статье «Материалы основные» составят:

$$TЗР_m = 33,52 \cdot 0,076 = 2,55 \text{ руб.}$$

Итоговые затраты по данной статье составят:

$$M' = M + TЗР_m = 33,52 + 2,55 = 36,07 \text{ руб.}$$

4.2.2 Расчет затрат по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»

Полученные расчетные данные по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты» сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Расчет затрат по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»

Наименование	ГОСТ, ТУ	Кол-во, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.	
Резисторы	C2-33	ОЖ0.467.093	27	0,20	54,00
	СП5-2ВБ	ОЖ0.468.559	1	27,00	27,00
Конденсаторы	K10-17-16	ОЖ0.460.068	22	3,90	85,80
	K50-35	ОЖ0.464.232	7	0,60	4,20
Микросхемы	PIC18F4525	Microchip	1	170,80	170,80
	ADS7879	Analog Devices	2	47,20	94,40
	CY7C68013A-100AX	Cypress Sem.	1	85,00	85,00
	ADP3303	Analog Devices	1	140,0	140,00
Светодиоды АЛ307КМ	ДД3.377.059	2	1,20	2,40	
ЖК дисплей WX320240C0	Winstar	1	1220,00	1220,00	
Кольца Fe В64290		2	12,00	24,00	
Резонатор РПК01-НС491V	ОД0.338.017	1	6,00	6,00	
Резонатор Murata 4,0000Mhz	Murata	1	24,0	24,00	
Шлейф гибкий AVJ 158-2809		2	31,20	62,40	
Разъемы IDC10F	Tyco Electronics	4	15,30	61,20	
	USB Astron	2	14,50	29,00	
Сенсорная резистивная панель SN6500		1	1230	1230	
Плата печатная (изготовление)		2	75,0	150,00	

Итого:

3470,20

Затраты на ТЗР_п по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»:

$$\text{ТЗР}_п = 3470,20 \cdot 0,108 = 374,78 \text{ руб.}$$

Итого затрат:

$$\Pi' = \Pi + \text{ТЗР}_п = 3844,98 \text{ руб.}$$

4.2.3 Затраты по статье «Зарплата основная»

Процесс изготовления разработанного контроллера управления разбит на технологические операции, порядок и содержание которых определены в «Типовых технологических процессах изготовления радиоэлектронной аппаратуры». Расход материалов определяется из «Типовых норм расхода материалов на электромонтажные работы».

Общемашиностроительные нормы времени («Сборник типовых норм»)

определяют разряд рабочего, выполняющего ту или иную технологическую операцию, и время на её выполнение.

Порядок технологических операций и временные затраты при изготовлении спроектированного контроллера управления сенсорным экраном.

Таблица 4.3 - Порядок технологических операций

№	Вид работ	Разряд работ	Кол-во элем.	Время опер.1эл.	Общее время
1	Формовка выводов резисторов и конденсаторов	3	56	0,00416	0,2330
2	Формовка выводов светодиодов и резонаторов	3	4	0,00416	0,0166
3	Обрезка выводов	3	120	0,00345	0,4140
4	Покрытие печатных плат флюсом. Площадь 2,4 дм ²	2	1дм ²	0,0161	0,0386
5	Пайка печатных плат	3	356	0,00367	1,3065
6	Установка подстроечных резисторов	3	1	0,033	0,033
7	Формовка и пайка проводов	3	19	0,01	0,09
8	Настройка контроллера	5	1	-	0,42

Полученные данные по статье «Зарплата основная» сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 - Затраты по статье «Зарплата основная»

Наименование технологической операции	Разряд рабочего	Трудоемкость операции, час	Тарифная ставка, руб./час	Доплаты, %	Стоимость работ, руб.
Формовка выводов резисторов и конденсаторов	3	0,2330	43,0	23	12,32
Формовка выводов светодиодов и резонаторов	3	0,0166	43,0	23	0,88
Обрезка выводов	3	0,4140	43,0	23	21,90
Покрытие печатной платы флюсом	2	0,0386	43,0	22	2,04
Пайка печатной платы	3	1,3065	43,0	23	69,10
Формовка и пайка проводов	3	0,01	43,0	23	5,29
Установка подстроечного резистора	3	0,0330	43,0	23	1,75
Настройка печатной платы	5	0,4200	63,0	28	33,87

Продолжение таблицы 4.4

Наименование технологической операции	Разряд рабочего	Трудоемкость операции, час	Тарифная ставка, руб./час	Доплаты, %	Стоимость работ, руб.
Покрытие платы лаком УР-231	2	0,0860	34,0	22	3,57

Итого: 2,0012 150,72

Зарплата дополнительная. Это сумма доплат к основной зарплате за не проработанное, но оплачиваемое согласно ТК время: за отпуска, за сокращенный рабочий день и т.д.

$$З_{\text{доп}} = 150,72 \cdot 0,1 = 15,07 \text{ руб.}$$

4.2.4 Отчисления и накладные расходы

Отчисления на социальное страхование (единый социальный налог):

$$O_{\text{сс}} = (З_{\text{осн.}} + З_{\text{доп.}}) \cdot Y_{\text{сс}} / 100\% = (150,72 + 15,07) \cdot 34 / 100 = 56,37 \text{ руб.} \quad (4.1)$$

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$H_{\text{со}} = З_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{со}} = 150,72 \cdot 0,1085 = 16,35 \text{ руб.} \quad (4.2)$$

Общехозяйственные расходы:

$$H_{\text{оц}} = З_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{оц}} = 150,72 \cdot 0,82 = 123,59 \text{ руб.} \quad (4.3)$$

4.2.5 Себестоимость продукции

Цеховая себестоимость:

$$C_{\text{ц}} = M' + П' + З_{\text{осн.}} + З_{\text{доп.}} + O_{\text{сс}} + H_{\text{со}} + H_{\text{оц}} = 4243,15 \text{ руб.} \quad (4.4)$$

Общезаводские расходы:

$$H_{\text{оз}} = З_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{оз}} = 150,72 \cdot 0,986 = 148,61 \text{ руб.} \quad (4.5)$$

Производственная себестоимость:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{ц}} + H_{\text{оз}} = 1308,063 + 106,06 = 4391,76 \text{ руб.} \quad (4.6)$$

Внепроизводственные расходы:

$$B_{\text{пр}} = C_{\text{пр}} \cdot Y_{\text{впр}} = 4391,76 \cdot 0,05 = 219,59 \text{ руб.} \quad (4.7)$$

Полная цена изделия включает производственную себестоимость $C_{\text{пр}}$ и внепроизводственные расходы $B_{\text{пр}}$:

$$Ц_{\text{п}} = Ц_2 = C_{\text{пр}} + B_{\text{пр}} = 4391,76 + 219,59 = 4611,35 \text{ руб.} \quad (4.8)$$

Для комплексной технико-экономической оценки нового изделия рассчитаем его проектную оптовую цену $Ц_{\text{опт.}}$. Она больше полной себестоимости на

величину прибыли Пр, которая определяется в зависимости от установленного уровня рентабельности Р в процентах от $C_{п}$:

$$C_{\text{опт}} = C_{п} + \text{Пр} = C_{п}(1+P) = 4611,35 \cdot 1,25 = 5764,18 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

4.2.6 Расчет экономического эффекта

Используя полученные данные, определим эффективность разработанного контроллера управления в сфере производства. Экономия условно-годовая в расчете на единицу составит:

$$\text{Э}_{\text{г.у.пр.}} = C_1 - C_2 = 6236,80 - 5764,18 = 472,62 \text{ руб.}, \quad (4.10)$$

где: C_1 - цена базового графического контроллера GL-001.

В настоящее время большинство PIC контроллеров (в том числе и семейство PIC18F) поддерживаются средствами разработки компании Microchip, которые включают бесплатную среду разработки MPLAB-IDE, отладочные комплекты EZ-KIT и платы расширения к ним и эмуляторы-отладчики. Стоимость внутрисхемного эмулятора-отладчика составляет 1600 рублей. По оценке отдела программирования, полная стоимость разработки программного обеспечения контроллера управления сенсорным экраном составит около 20000 рублей. В расчете на единицу изделия при годовом выпуске 2400 изделий указанные затраты составят 9 рублей.

Аналогичность элементной базы, технологии производства и настройки, используемого технологического и испытательного оборудования, отсутствие специальных требований к квалификации персонала обеспечивают отсутствие капитальных затрат при замене выпускаемого контроллера GL-001 на разработанный контроллер управления СЭ (как более эффективный).

На 2015 год программа выпуска контроллера GL-001 составляет $N = 2400$ штук. При указанной замене годовой экономический эффект составит:

$$\text{Э}_{\text{э.пр}} = N \cdot (C_1 - C_2) = 2400 \cdot 463,62 = 1112688 \text{ руб.} \quad (4.11)$$

Опираясь на результаты расчетов можно сделать вывод о целесообразности производства разработанного контроллера управления СЭ и рекомендовать его для замены выпускаемого графического контроллера GL-001.

На рисунке 4.1 приведена диаграмма, показывающая структуру затрат в полной себестоимости производства спроектированного контроллера управления сенсорным экраном для устройств класса HDI. Из рисунка видно, что основные статьи затрат в себестоимости устройства составляют покупные изделия.

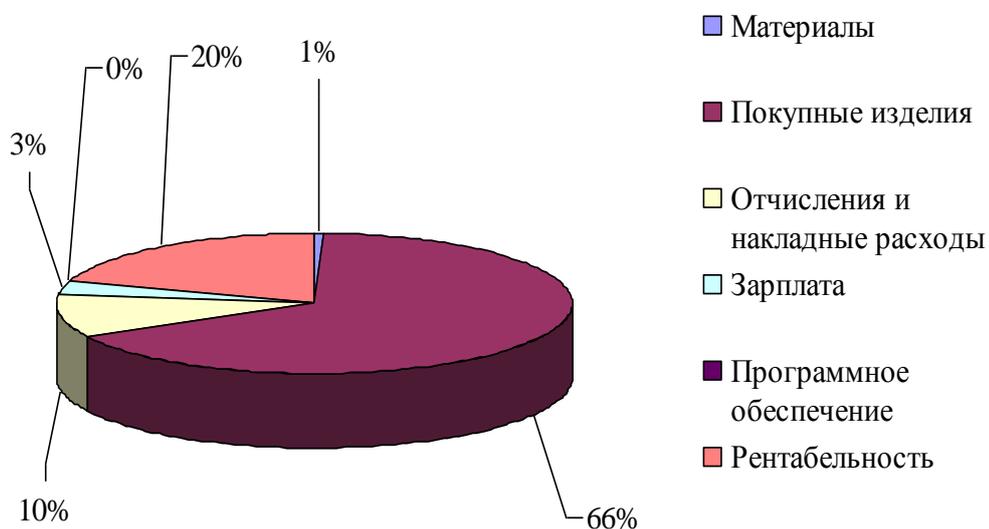


Рисунок 4.1 - Структура затрат в полной себестоимости контроллера управления сенсорным экраном.

Заключение

Сенсорные мониторы максимально упрощают взаимодействие человека с миром машин. Благодаря использованию объектно-ориентированной графики и графическому отображению архивных данных (трендов) и данных реального времени, применение сенсорного интерфейса упрощает работу со сложными устройствами.

Проведенные в первом разделе исследования показали, что в настоящее время сенсорные панели резистивного типа являются наиболее технологичными, дешевыми, имеют отработанную схемотехнику и программное обеспечение. Так же было показано что специализированные контроллеры управления ЖК дисплеями и сенсорными панелями легко доступны и недороги. Их использование позволяет существенно упростить и ускорить разработку схемотехники и программного обеспечения конечного изделия.

Проведенный выбор элементной базы разрабатываемого модуль управления позволил создать устройство, отличающееся простотой схемотехнического решения, высокой надежностью и относительно низкой стоимостью.

В процессе конструкторско-технологической проработки устройства была разработана печатная плата модуля управления сенсорной панелью с помощью САПР печатных плат DipTrace. В результате были разработаны чертежи печатной платы и сборочный чертеж устройства, сгенерированы управляющие файлы для автоматизированного оборудования, используемого при ее изготовлении. Так же были рассмотрены вопросы, связанные с разработкой и отладкой программного обеспечения.

Проведенные расчеты показали, что разработанный модуль управления обладает высокой надежностью, удовлетворяющей требованиям практики.

Расчеты, проведенные в экономическом разделе проекта, подтвердили правильность выбранных технических решений и высокую экономическую эффективность предложенной разработки.

Список литературы

1. Аналоговые сенсорные экраны// www.gaw.ru/html.cgi/txt/app/lcd/analog_touch_screen.htm.
2. Вихарев Л. Легким движением руки...//Компоненты и технологии. – 2005. - №5.
3. Самарин А. Сенсорные панели – взгляд изнутри// Схемотехника. – 2001. - №7,8.
4. Самарин А. Новые типы сенсорных панелей для портативных приборов// Компоненты и технологии. – 2002. - №3.
5. Применение сенсорного оборудования в промышленности// www.touch.ru/article.
6. USB Human Interface Device// www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/usb/hid.
7. Белецкий Я. Дисплеи на основе жидких кристаллов (ЖКИ)// Chip News Украина. – 2006. -№5. –С.32-36.
8. Конструкция ЖКИ// www.mt-system.ru.
9. Белецкий Я. Дисплеи на основе жидких кристаллов (ЖКИ)// Chip News Украина. – 2006. -№5. –С.32-36.
10. Штрапенин Г., Мишан М. Интегральные контроллеры сенсорных экранов Texas Instruments//Компоненты и технологии. – 2007. - №9.
11. Самарин А. Жидкокристаллические дисплеи. Схемотехника, конструкция, применение. – М.: Солон-Р, 2002. – 347 с.
12. Советы по контроллерам сенсорных экранов//www.gaw.ru.
13. Контроллеры сенсорных экранов от Analog Devices//Электронные компоненты. – 2009. -№1.
14. Сергеев В. Жидкокристаллический графический дисплей формата 320x240 элементов//Компоненты и технологии. – 2002. - №8.
15. Емелин А., Шагурин И. RISC-микроконтроллеры с процессорным ядром ARM//www.chipinfo.ru.
16. Подключение цветного ЖКИ к микроконтроллеру AVR // www.rigexpert.com.

17. Контроллер графического ЖКИ WG32240//eldigi.ru/site/doc/2.
18. Подключение графического модуля Hantronix 320x240 к 8-разрядному микроконтроллеру семейства MCS-51//www.gaw.ru/data/lcd.
19. Особенности использования графических индикаторов Fordata с контроллером S6B0108 в микроконтроллерной системе//www.gaw.ru.
20. S1D13504– Контроллер цветных графических ЖКИ, ЭЛТ//www.gaw.ru.
21. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры/ А.К.Быкадоров, Л.И.Кульбак, В.Ю.Лавриненко и др.; Под ред. В.Ю.Лавриненко.- М.: Высшая школа, 1978.- 320с.
22. Падерно И.П. теоретические основы конструирования и надежности радиоэлектронной аппаратуры. – Л-д.:Изд-во СЗЗПИ, 1982. – 255 с.
23. Гук М. Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2002.- 576с.
24. Гончаров Н.Р. Охрана труда на предприятиях связи. - М.: Связь, 1971.- 392с.