

Контроллеры резистивных и емкостных сенсорных интерфейсов компании Semtech

КОНСТАНТИН ВЕРХУЛЕВСКИЙ, info@icquest.ru

С каждым годом сенсорные технологии получают всё более широкое распространение. Эта обзорная статья посвящена линейке специализированных контроллеров компании Semtech, предназначенных для совместной работы с резистивными сенсорными экранами и ёмкостными интерфейсами ввода. Отдельно затронуты вопросы быстрого освоения микросхем при использовании аппаратных и программных оценочных продуктов.

ВВЕДЕНИЕ

Сенсорные технологии и устройства ввода находят всё большее применение. На сегодняшний день их уже можно назвать стандартным пользовательским интерфейсом. Если изначально сенсорные экраны применялись в некоторых карманных компьютерах, то в настоящее время сенсорные дисплеи находят широкое применение в мобильных устройствах, плеерах, фото и видеокамерах, GPS-навигаторах и т.д. О преимуществах использования сенсорных экранов по сравнению с традиционными клавиатурными интерфейсами написано немало статей [1], поэтому мы лишь кратко отметим эти достоинства.

Применение сенсорных кнопок и экранов для управления различными объектами позволяет не только заметно повысить надёжность самих устройств, но и сделать работу с ними более удобной и комфортной. Отсутствие механических частей способствует продолжительному сроку службы. При этом исключаются затраты на приобретение кнопок, операции сборки и установки клавиатуры. Кроме того, сенсорный экран не требует дополнительного места, что позволяет сократить габариты устройств. Отдельно стоит отметить достоинства применения сенсорных экранов и кнопок в промышленной аппаратуре и при тяжёлых условиях эксплуатации, т.к. изготовление клавиатуры, защищённой от влаги и агрессивных сред, представляет сложную задачу.

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ И ЁМКОСТНЫХ СЕНСОРНЫХ ЭКРАНОВ

В настоящее время разработано несколько типов сенсорных панелей, и соответственно, каждая из них обладает своими достоинствами и недостатками. Существуют четыре основных типа сенсорных экранов: резистивные, ёмкостные, с определением поверхностно-акустических волн и инфракрасные. В мобильных же устройствах наибольшее распространение получили только два: резистивные и ёмкостные. Основным их отличием является тот факт что резистивные экраны распознают нажатие, а ёмкостные — касание. Рассмотрим кратко принципы работы данных технологий и преимущества их использования (см. табл. 1).

Резистивный экран представляет собой стеклянный ЖК-дисплей, на который наложена гибкая мембрана [2]. На соприкасающиеся стороны нанесён резистивный состав, а пространство между плоскостями разделено диэлектриком. По краям пластин закреплены электроды. Две наиболее популярные архитектуры резистивных

экранов используют 4- или 5-проводную конфигурацию. При нажатии экран и мембрана соприкасаются в месте нажатия, координаты которого вычисляются путём последовательной подачи тока на верхнюю и нижнюю пластины и замеров напряжения в точке касания пластин. Таким образом обеспечивается основное преимущество резистивного дисплея, заключающееся в том, что он может функционировать как от пальца (в перчатке или без), так и от карандаша, стилуса или любого другого твёрдого предмета. Резистивные сенсорные панели обычно наиболее доступные, но их можно повредить любым острым предметом. Кроме того, из-за нажатий токопроводящий слой подвержен постепенному износу, вследствие чего требуется периодическая калибровка экранов. Более 80% всех сенсорных дисплеев на текущий момент относятся к резистивному типу, хотя уже явно наметилась тенденция к увеличению доли ёмкостных экранов.

Ёмкостной сенсорный экран в общем случае представляет собой стеклянную панель, на которую нанесён слой прозрачного резистивного материала. По её углам установлены электроды, подающие на проводящий слой низковольтное переменное напряжение. Поскольку тело человека способно проводить электрический ток и обладает некоторой ёмкостью, при касании экрана в системе появляется утечка. Место этой утечки, т.е. точку касания определяет контроллер на основе данных с электродов по углам панели. На экране нет каких-либо гибких мембран, что обеспечивает его высокую надёжность. К сожалению,

Таблица 1. Преимущества и недостатки использования резистивных и ёмкостных сенсорных дисплеев

Тип технологии	Преимущества	Недостатки
Резистивная	<ul style="list-style-type: none">— Может использоваться практически в любых устройствах— Низкая стоимость— Высокая стойкость к загрязнениям	<ul style="list-style-type: none">— Меньшая прозрачность экранов, качество изображения хуже— Требуется периодическая калибровка— Очень быстро на экранах остаются следы от касаний, и, как следствие, мониторы приходят в неряшливый вид— Низкая долговечность
Ёмкостная	<ul style="list-style-type: none">— Высокая долговечность и надёжность— Высокий коэффициент пропускания света	<ul style="list-style-type: none">— Требуется периодическая калибровка— Восприимчивость к электромагнитным помехам— Производительность и отклик зависит от человека и окружающей среды— Ввод только от пальца— Восприимчивость к воздействию влаги, токопроводящих загрязнений

при использовании такого экрана нельзя использовать стилус, т.к. команда, поданная с его помощью, не распознаётся. Отрицательных температур такой экран тоже не любит: в лучшем случае, падает точность определения координат, в худшем он перестаёт реагировать. На простейшем ёмкостном экране невозможно организовать интерфейс «мультиач» (для масштабирования, перемещения, поворота и группировки объектов посредством типовых жестов) — четыре электрода по углам способны фиксировать только одно нажатие в каждый момент времени. От этого недостатка избавлены популярные проекционно-ёмкостные дисплеи с сеткой электродов на обратной стороне экрана: на проводники подаётся слабый ток, а место касания определяется по точкам с повышенной ёмкостью. Такие экраны способны реагировать даже на приближение руки.

Компании, производящие микросхемы, не отстают от современных веяний и выпускают широкий ассортимент специализированных контроллеров для работы с различными видами сенсорных экранов и клавиатур. Среди наиболее известных можно отметить Analog Devices, ST Microelectronics, Texas Instruments, Freescale Semiconductor, Quantum. Компания Semtech относительно недавно на рынке специализированных контроллеров, но её продукция уже успела зарекомендовать себя с самой лучшей стороны, поэтому рассмотрим её внимательнее.

КОНТРОЛЛЕРЫ СЕНСОРНЫХ ДИСПЛЕЕВ ОТ КОМПАНИИ SEMTECH

Основной задачей при проектировании устройства с сенсорным экраном является выбор способа его реализации. Вариант на дискретных логических компонентах считается устаревшим и в настоящее время практически не применяется. Это связано с низкой стабильностью функционирования, неоправданным увеличением места на печатной плате, дополнительным потреблением энергии, а также с увеличением времени на расчёты и отладку схемы. Применение специализированных микросхем-контроллеров позволяет уменьшить стоимость конечного решения и обеспечить стабильную работу при минимальных затратах на программную поддержку. Контроллеры ёмкостных и

резистивных сенсорных экранов представляют собой разновидность высокоточных аналого-цифровых преобразователей, в которых предусмотрены специфические функции и в которые интегрированы соответствующие узлы. Простейший контроллер сенсорного экрана включает узел коммутации входного сигнала, АЦП, схему управления и интерфейс связи. Эти контроллеры предназначены для портативной аппаратуры с батарейным питанием, поэтому от них, в первую очередь, требуются такие качества как низкое энергопотребление, возможность работы при низких напряжениях питания, высокая степень интеграции и малогабаритные корпуса.

Компания Semtech предлагает серию высокоточных контроллеров с минимальным энергопотреблением, позволяющих значительно упростить разработку устройств с наиболее распространёнными типами сенсорных экранов, а также реализовать интерфейсы связи с сенсорными клавиатурами [3]. Миниатюрные ИС с широким набором функциональных возможностей предназначены для использования в мобильных устройствах, например в сотовых телефонах, цифровых видеокамерах, GPS-навигаторах, портативных компьютерах и т.д.

КОНТРОЛЛЕРЫ ДЛЯ ЁМКОСТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ВВОДА

В настоящее время линейка ёмкостных контроллеров SX863x/4x/6x состоит из 8- и 12-канальных ИС. В таблице 2 представлены технические характеристики различных контроллеров ёмкостных сенсорных интерфейсов ввода. Все приведённые контроллеры предназначены для работы в температурном диапазоне $-40...85^{\circ}\text{C}$ при напряжении питания 2,7...3,6 В, а собственный ток потребления в спящем режиме не превышает 8 мкА. Данные микросхемы могут применяться для создания интерфейсов ввода с обычными кнопками и регуляторами произвольной формы — колесами и полосами прокрутки (слайдерами). Подключение сенсорной клавиатуры, а также запуск внутреннего источника тактирования не требуют использования внешних компонентов [4]. Все компоненты выпускаются с цифровым интерфейсом I²C, а контроллеры серии SX866x, помимо этого, содержат два аналоговых выхода для звуковой или визуальной индикации работы. Самые

Таблица 2. Контроллеры ёмкостных сенсорных интерфейсов ввода компании Semtech

	Кол-во входов	Кол-во светодиодных драйверов (12 мА)	Интерфейс	Функция определения приближения	Кнопка	Слайдер	Колесо прокрутки	Мин. период сканирования, мс	Ток потребления (doze mode), мкА	Толщина покрытия, мм	Регулировка яркости	Корпус
SX8633	12	8	I ² C	+	+			15	80	>5	Лин./Лог.	MLPQ-W32
SX8634	12	8	I ² C	+	+	+		15	80	>5	Лин./Лог.	MLPQ-W32
SX8635	12	8	I ² C	+	+		+	15	80	>5	Лин./Лог.	MLPQ-W32
SX8636	8	8	I ² C	+	+			15	70	>5	Лин./Лог.	MLPQ-UT28
SX8638	8	8	I ² C	+	+	+		15	70	>5	Лин./Лог.	MLPQ-UT28
SX8639	8	8	I ² C	+	+		+	15	70	>5	Лин./Лог.	MLPQ-UT28
SX8643	12	8	I ² C		+			15	80	>5	Лин./Лог.	MLPQ-W32
SX8644	12	8	I ² C		+	+		15	80	>5	Лин./Лог.	MLPQ-W32
SX8645	12	8	I ² C		+		+	15	80	>5	Лин./Лог.	MLPQ-W32
SX8646	8	8	I ² C		+			15	70	>5	Лин./Лог.	MLPQ-UT28
SX8647	8	8	I ² C				+	15	70	>5	Лин./Лог.	MLPQ-UT28
SX8648	8	8	I ² C		+	+		15	70	>5	Лин./Лог.	MLPQ-UT28
SX8649	8	8	I ² C		+		+	15	70	>5	Лин./Лог.	MLPQ-UT28
SX8660	8	8	I ² C/аналоговый					15	70	>5	Лин./Лог.	MLPQ-UT28
SX8661	8	8	I ² C/аналоговый	+	+			15	70	>5	Лин./Лог.	MLPQ-UT28
SX8662	12	8	I ² C		+			15	70	>5	Лин./Лог.	MLPQ-W32
SX8663	12	8	I ² C	+	+			15	70	>5	Лин./Лог.	MLPQ-W32

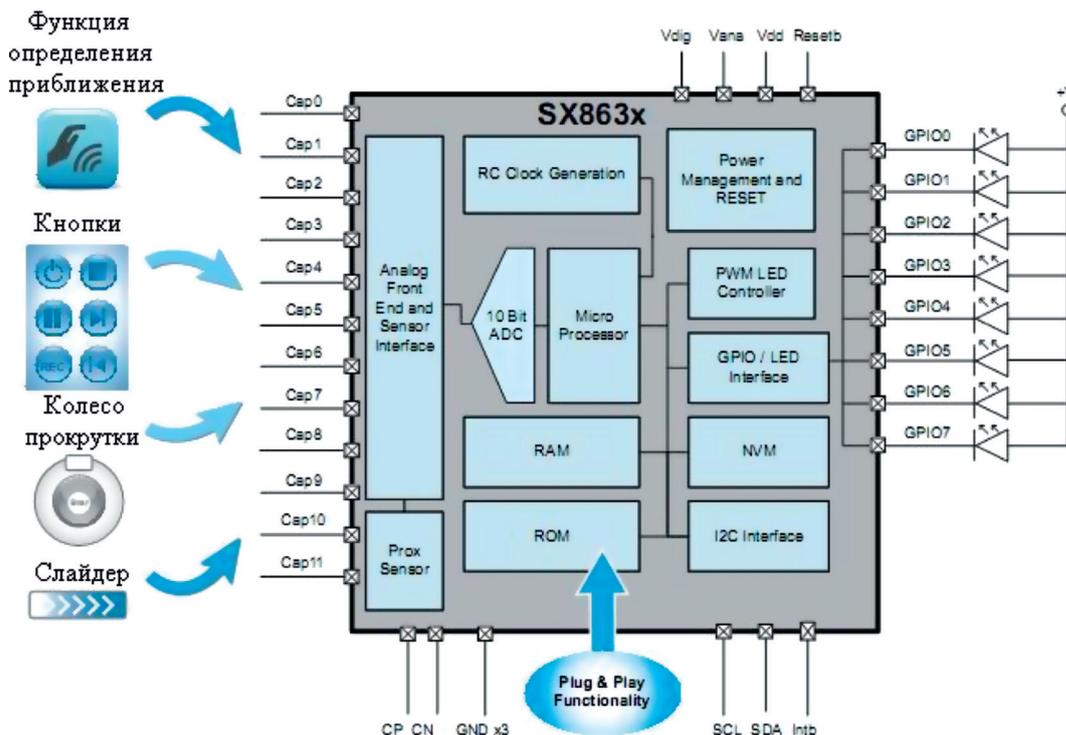


Рис. 1. Структурная схема контроллера серии SX863x



Рис. 2. Алгоритм работы встроенных светодиодных драйверов

новые представители в линейке ёмкостных контроллеров (SX8662 и SX8663) обеспечивают подключение матрицы, состоящей из 36 кнопок. Структурная схема на примере SX863x серии приведена на рисунке 1.

Превосходная чувствительность серии SX863x/4x/6x позволяет определить приближение пальца человека с расстояния до 10 см. Толщина покрывающего материала при этом может достигать 5 мм. Такая возможность позволит реализовать интеллектуальные сенсорные интерфейсы. Например, при определении приближения целевая система выходит из спящего режима, затем включается подсветка дисплея, и выполняются подготовительные операции для работы с сенсорным интерфейсом. Данные контроллеры идеальны для применения в автомобильной, компьютерной, бытовой технике, а также в медицинских приборах и промышленном оборудовании, где требуется технология определения приближения объекта к сенсорным кнопкам. Отличительной особенностью контроллеров серии SX863x/4x/6x являются интегрированные светодиодные драйверы с индивидуальным управлением интенсивностью свечения (линейным или логарифмическим), оптимизированным для человеческого зрения. Наличие светодиодных драйверов позволяет проектировать кнопки, свечение которых автоматически плавно увеличивается, когда кнопка нажата, и уменьшается, когда она отпущена. Алгоритм подобной работы

приведен на рисунке 2. Скорость переключения, а также 256 уровней интенсивности свечения устанавливаются разработчиком.

КОНТРОЛЛЕРЫ ДЛЯ РЕЗИСТИВНЫХ СЕНСОРНЫХ ЭКРАНОВ

Компания Semtech выпускает две линейки контроллеров резистивных сенсорных дисплеев SX865x и SX867x, предназначенных для применения в качестве преобразователей сигналов от 4- и 5-проводных экранов [5]. Контроллеры данной серии оснащены интерфейсами SPI или I²C и могут работать при напряжениях питания 1,65...3,7 В. Высокая точность измерения координат места касания и его давления обеспечивается прецизионным 12-бит АЦП с максимальной частотой дискретизации 74 кГц. Контроллеры компании Semtech идеально подходят для применения в портативных устройствах с питанием от аккумуляторной батареи (в карманных компьютерах, цифровых фотоаппаратах, коммерческих терминалах, принтерах и других устройствах). При частоте дискретизации 8 кГц потребляемый контроллером ток составляет всего 23 мкА. Кроме того, существует возможность дополнительно включить режим ожидания в промежутках между преобразованиями, что ещё более сокращает энергопотребление. Экономичные контроллеры серий SX865x и SX867x совместимы с большинством

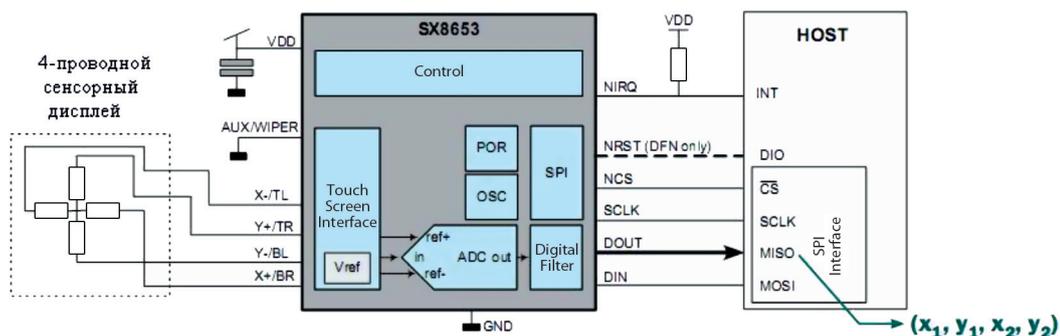


Рис. 3. Структурная схема контроллера SX8653

промышленно выпускаемых сенсорных дисплеев и изготавливаются в компактных корпусах. Диапазон рабочих температур микросхем составляет $-40 \dots 85^\circ\text{C}$. Из общих полезных функций следует отметить поддержку как программного, так и аппаратного сброса, наличие встроенного блока предварительной обработки данных для снижения нагрузки на интерфейс и управляющее устройство, возможность измерения силы касания сенсорного экрана, а также настройки минимального интервала между преобразованиями. Последняя из перечисленных функций обеспечивает достаточный запас времени для точного выполнения каждого преобразования. Кроме того, в некоторых микросхемах рассматриваемой серии доступна функция определения приближения с расстояния более 5 см, что позволяет реализовать интеллектуальный интерфейс общения. Разработчики имеют доступ к четырём пользовательским режимам, комбинирующим работу по опросу и прерываниям, что обеспечивает гибкость применения в различных приложениях. Обобщённые технические характеристики контроллеров резистивных сенсорных экранов представлены в таблице 3. Структурная схема с изображением основных блоков на примере SX8653 изображена на рисунке 3.

Одной из основных причин выхода из строя устройств с сенсорными экранами является воздействие электростатических разрядов. Аналоговые входы контроллеров SX865x/7x разработаны с учётом возможного воздействия статического электричества и могут выдерживать разряды напряжением до 15 кВ согласно тестам стандарта IEC 61000-4-2. Наличие встроенной защиты устраняет

необходимость использования внешних защитных компонентов и уменьшает стоимость конечного решения.

Представители нового поколения управляющей электроники — контроллеры семейства SX867x — объединяют возможность детектирования приближения к резистивным сенсорным экранам и функцию «мультитач», что позволяет производителям устройств дополнить существующие разработки опцией распознавания популярных жестов сжать/растянуть/повернуть, реализованных в программах просмотра изображений, браузерах и играх. В отличие от других контроллеров сенсорных экранов, устройства серии SX867x для поддержки функции «мультитач» не требуют дорогостоящей резистивной сенсорной панели матричного типа. Реализованная схема обнаружения прикосновений в устройствах серии SX867x распознаёт такие широко распространённые жесты как сжатие, растягивание и поворот, используя для этого любые аналоговые 4-проводные резистивные сенсорные панели. Контроллеры семейства SX867x обнаруживают приближение на расстоянии 5 см, что позволяет реализовать различные режимы энергопотребления, такие как автоматическое снижение яркости подсветки или переход устройства в активный режим при приближении руки человека к экрану. В отличие от традиционных IR-решений, требующих дополнительных компонентов для детектирования приближения, новое поколение контроллеров резистивных сенсорных экранов позволяет обнаруживать приближение без применения внешних элементов. Компоненты данной линейки выпускаются в миниатюрных корпусах, имеют собственный ток потребления 0,4 мкА в

Таблица 3. Контроллеры резистивных сенсорных экранов от компании Semtech

	Сенсорный экран	Разрешение, бит	Интерфейс	Ток потребления (standby mode), мкА	Встроенная защита от ESD, кВ	Цифровой фильтр	Программируемый период опроса	Мульти-тач	Функция определения приближения	Корпус
SX8650	4-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+			3,0×3,0 мм DFN
SX8651	4-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+	+		3,0×3,0 мм DFN
SX8652	4/5-проводный	12	SPI	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+			4,0×3,0 мм DFN
SX8653	4/5-проводный	12	SPI	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+	+		4,0×3,0 мм DFN
SX8654	4/5-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+		+	4,0×4,0 мм DFN
SX8655	4/5-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+			4,0×4,0 мм QFN
SX8656	4/5-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+		+	4,0×4,0 мм QFN
SX8657	4/5-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+		+	4,0×4,0 мм QFN
SX8658	4/5-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+			4,0×4,0 мм QFN
SX8674	4/5-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+	+	+	4,0×4,0 мм QFN
SX8675	4/5-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+	+		4,0×4,0 мм QFN
SX8676	4/5-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+	+	+	4,0×4,0 мм QFN
SX8677	4/5-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+	+	+	4,0×4,0 мм QFN
SX8678	4/5-проводный	12	I ² C	0,4	± 25 (воздух)/ ± 15 (контакт)	+	+	+		4,0×4,0 мм QFN

режиме ожидания и идеально подходят для применения в мобильных телефонах, планшетных ПК, цифровых аппаратах, GPS-навигаторах, IP-телефонах, автомобильных центральных панелях, банковских и платёжных терминалах.

Интегрированный в микросхему драйвер вибромотора для управления линейным резонансным приводом (LRA) и микродвигателем эксцентричной массы вращения (ERM) (до 250 мА) позволяет подтвердить прикосновение к экрану, эмулируя осязательную обратную связь, подобную механическим клавишам (см. рис. 4). Компания Immersion Corporation уже сертифицировала контроллеры **SX8677** и **SX8678** в качестве оптимальных драйверов вибромотора для комплекта TouchSense 3000 (программное обеспечение средств взаимодействия с пользователем). Совместимые по выводам контроллеры серии **SX865x** поддерживают тот же набор функций, за исключением схемы распознавания «мультиач», тем самым позволяя разработчикам использовать одну и ту же печатную плату для нескольких видов электронных устройств.

Учитывая сказанное, можно сделать вывод, что контроллеры резистивных сенсорных экранов компании Semtech позволят OEM-производителям улучшить взаимодействие устройств с пользователем в своих новейших изделиях, не увеличив значительно стоимость при повышении цены комплекта распознавания «мультиач».

БЫСТРЫЙ СТАРТ С ОЦЕНОЧНЫМИ КОМПЛЕКТАМИ

Для оценки возможностей и разработки приложений компания Semtech предлагает несколько отладочных комплектов. Исходя из необходимых требований к разрабатываемому изделию, пользователь может выбрать для себя подходящее решение. Большинство оценочных плат имеет одинаковые функциональные узлы, отличие же заключается во внешних интерфейсных модулях, содержащих сенсорные кнопки разной формы, слайдеры и колеса прокрутки, а также сенсорные экраны. Оценочные комплекты предоставляют всё необходимое для начала работы. Стандартный набор включает в себя плату, USB-кабель связи с ПК и компакт-диск со всей необходимой документацией [6]. Кроме того, компакт-диск содержит утилиту конфигурации оценочной платы с графическим интерфейсом пользователя, позволяющим настроить опции контроллера. Документация на отладочные комплекты, а именно схемы электрические принципиальные, топологии печатных плат, а также требования к геометрическим размерам сенсорных кнопок и регуляторов произвольной формы находятся в свободном доступе на сайте компании-производителя. Для примера на рисунке 5 приведён внешний вид оценочного модуля на базе контроллера **SX8644**.

Подобный набор компонентов имеется практически на каждой оценочной плате. Кроме того, на отладочных модулях контроллеров резистивных сенсорных экранов имеется 4- или 5-проводной дисплей, а также дополнительный разъём внешнего питания, вибромотор и акселерометр [7]. Программная GUI-утилита позволяет простым нажатием соответствующей пиктограммы настраивать практически все рабочие параметры контроллера (чувствительность аналоговых входов, интенсивность свечения светодиодов, различные режимы работы и т.д.) и наглядно отображать его состояние. Таким образом, для успешного начала работы имеются все необходимые составляющие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение специализированных контроллеров значительно повышает степень интеграции, уменьшает число элементов, размеры печатной платы и габариты устройства. Семейства контроллеров резистивных сенсорных экранов, а также ёмкостных интерфейсов ввода от компании Semtech могут найти применение в системах

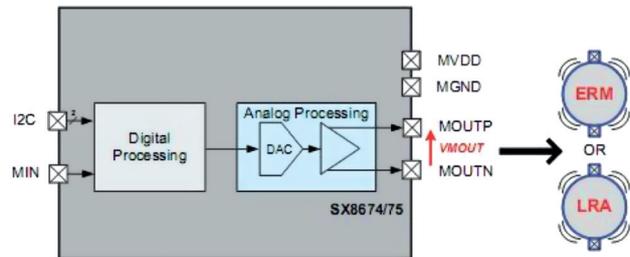


Рис. 4. Функциональная схема встроенного драйвера LRA и ERM

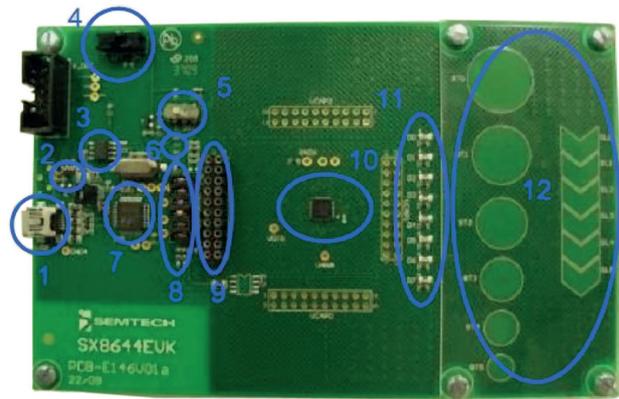


Рис. 5. Внешний вид отладочной платы **SX8644EUK**: 1 — разъём USB для подключения к ПК и питания платы; 2 — преобразователь с выходным напряжением 3,3 В для обеспечения корректной работы интерфейса связи I²C между **SX86344** и **FT232D**; 3 — ИС EEPROM для хранения параметров микросхемы **FT232D** при отключении питания; 4 — переключатель вкл./выкл., осуществляющий подачу питания на плату; 5 — переключатель «Тест» для входа в тестовый режим; 6 — красный светодиод индикации питания; 7 — преобразователь USB-UART (ИС **FT232D** фирмы **FTDI**); 8 — джамперы для соединения **SX86344** и **FT232D**; 9 — дополнительный разъём для доступа к различным сигналам на плате; 10 — контроллер **SX8644**; 11 — ряд зеленых светодиодов, подключенных к выводам общего назначения контроллера; 12 — сенсорные кнопки различного размера, покрытые прозрачным оргстеклом толщиной 2 мм

диспетчерской связи, домофонах, охранных системах, медицинских приборах и других пользовательских и промышленных устройствах, где из соображений надёжности, безопасности, эстетичности или улучшения потребительских свойств возникает необходимость отказаться от использования механических кнопок. Высокая устойчивость к статическому электричеству, наличие встроенных драйверов светодиодов и вибромоторов, широкие функциональные возможности, включая функции «мультиач» и определения приближения, а также низкое энергопотребление и компактный размер делают эти контроллеры идеальными для использования в большинстве современных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Штрапенен, М. Мишан. Интегральные контроллеры сенсорных экранов компании Texas Instruments//Компоненты и технологии. 2007. №9. С. 64–68.
2. Олег Нечай. Ёмкостные против резистивных/Цифровой журнал «Компьютерра». №13.
3. Touch-Interface Design Guide//www.semtech.com/images/mediacenter/collateral/4dtouchdg-0811.pdf.
4. Application Note. Capacitive Touch Sensing Layout Guidelines. Rev. 1. 04.2010.
5. Datasheet. SX8674/SX8675/SX8676. Rev. 1, 07.2011.
6. SX8634/35/44/45 Evaluation Kit. User's Guide. Rev 0.9. September 2010.
7. SX8654 Evaluation Kit. User's Guide. Rev 1. August 2011.