

Интегральные контроллеры сенсорных экранов Texas Instruments

Геннадий ШТРАПЕНИН,
к. ф.-м. н.
gshtrapenin@electron.usurt.ru
Михаил МИШАН
mishan@promelec.ru

Применение сенсорных экранов (Touch Screen) 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. Компания Texas Instruments, занимающая лидирующие позиции в современной электронике, предлагает серию интегральных микросхем (ИМС) — контроллеров сенсорных экранов (Touch Screen Controllers), существенно упрощающих разработку аппаратуры с наиболее распространенным типом сенсорных экранов — резистивными панелями.

Рассмотрим кратко преимущества сенсорных экранов по сравнению с традиционными клавиатурными интерфейсами. Во-первых, исключаются затраты на приобретение кнопок, операции сборки и установки клавиатуры, а кроме того, сенсорный экран не требует дополнительного места, что позволяет сократить габариты устройств. Сенсорные экраны не содержат подвижных частей, и принципы их работы не связаны с механическими системами, что способствует высокой надежности таких экранов и продолжительному сроку их службы.

Во-вторых, сенсорный экран — это очень удобное, легко воспринимаемое на интуитивном уровне средство взаимодействия челове-

ка с устройством, так как собственно операция управления сводится к прикосновению к экрану в определенной точке, где отображена необходимая информация. А поскольку на нем могут быть показаны только актуальные в данном режиме органы управления, оператору не требуется разыскивать нужную клавишу среди многих. При этом возможен и графический ввод информации, позволяющий, например, создать прибор, идентифицирующий автограф человека, что практически невозможно при использовании обычной клавиатуры. Сенсорные экраны позволяют эффективно работать с географическими картами в системах навигации и GPS, различными схемами, планами зданий и т. п.

Отдельно следует отметить достоинства применения сенсорных экранов в промышленной аппаратуре и при тяжелых условиях эксплуатации, потому что изготовление клавиатуры с защитой от влаги и агрессивных сред представляет весьма сложную задачу. В полевых условиях использование традиционных клавиатуры и «мышки» вообще весьма затруднительно по многим причинам, и в этом случае сенсорный экран является наиболее оптимальным решением. Достоинством последнего является также возможность работы при слабой освещенности и даже в полной темноте без дополнительной подсветки, так как сенсорные экраны, как правило, имеют встроенную подсветку.

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».

Что же представляет собой сенсорный экран, на котором формируется изображение органов управления и другая информация, и прозрачной сенсорной панели, устанавливаемой перед экраном. Обзор ряда конструкций сенсорных экранов приведен в [1] и на сайтах фирм-производителей, в частности компании Winstar (www.winstar.com).

Сенсорные панели могут быть матричными и аналоговыми. Матричные панели работают по принципу обычной матричной клавиатуры, их недостатком являются строго определенные области расположения кнопок, большое количество выводов и невозможность графического ввода информации, однако они просты в применении.

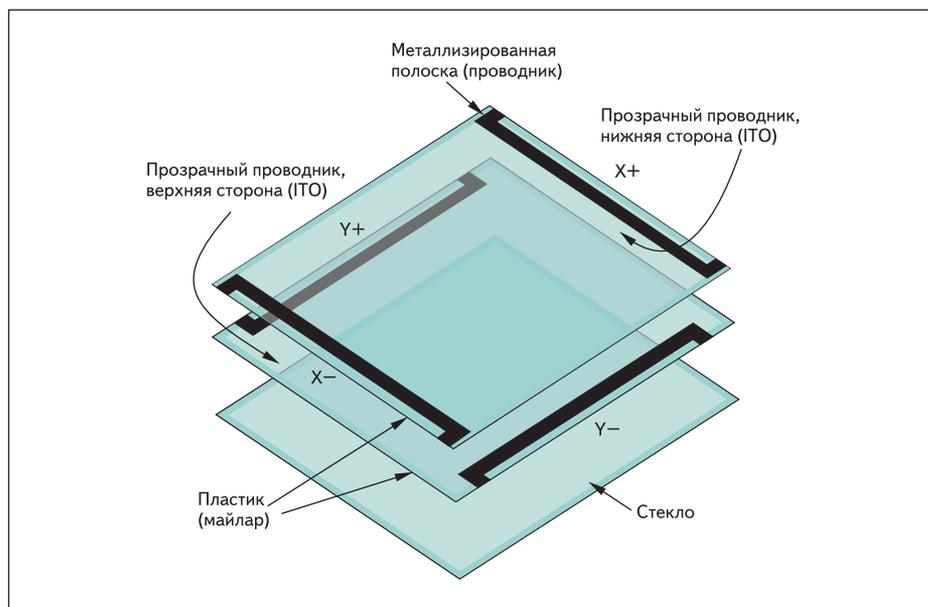


Рис. 1. Устройство 4-проводной резистивной сенсорной панели

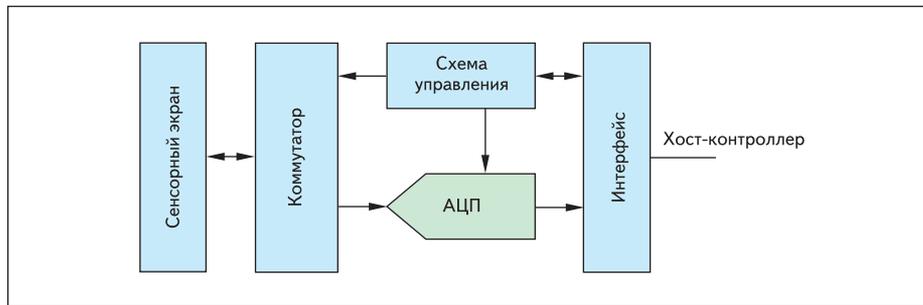


Рис. 2. Обобщенная структурная схема интегрального контроллера сенсорного экрана

Аналоговые панели позволяют определять координаты точки прикосновения в любой области экрана и могут иметь всего 4 вывода. Существует множество технологий производства таких панелей, основанных на различных физических эффектах, — резистивная, емкостная, инфракрасная, ультразвуковая и др. Оптимальной с точки зрения стоимости и разрешения является резистивная технология [2]. Рассмотрим принцип работы 4-проводной аналоговой резистивной сенсорной панели. Схематически ее устройство показано на рис. 1.

На верхние и нижние слои (обычно выполненные из прозрачного и прочного пластика — полиэстера или майлара) равномерно наносится резистивное покрытие — пленка на основе оксидов индия и олова (Indium Tin Oxide — ИТО). Нижний слой имеет металлизированные обкладки сверху и снизу, а верхний слой — справа и слева. Слои накладываются друг на друга с небольшим зазором, который обеспечивается с помощью прозрачных шариков — спейсеров. Поскольку верхний слой имеет гибкую структуру, то при касании экрана в точке соприкосновения между слоями образуется электрический контакт, и по величине сопротивления между обкладками можно определить координаты точки касания.

Делается это поочередно по осям X и Y. Для определения координаты точки касания по оси X подаются опорное напряжение на обкладки верхнего слоя, в результате чего по оси X образуется градиент напряжения. Выходное напряжение, прямо пропорциональное координате X точки касания, измеряют на выводах обкладок нижнего слоя.

Процесс измерения координаты Y аналогичен процессу измерения координаты X, с тем отличием, что опорное напряжение подается на обкладки нижнего слоя, а измерение выходного напряжения, прямо пропорционального координате Y точки касания, производится с выводов обкладок верхнего слоя.

Простейший контроллер сенсорного экрана включает измерительный коммутатор, АЦП, схему управления и интерфейс и может быть выполнен по структурной схеме, приведенной на рис. 2.

Коммутатор используется для формирования измерительной схемы — подачи опорных

напряжений и подключения к АЦП выводов соответствующих слоев сенсорной панели; параметры АЦП — разрядность и быстродействие — определяются спецификой работы обслуживаемого устройства. Схема управления синхронизирует процессы коммутации, измерений и передачи данных на управляющий хост-контроллер через встроенный последовательный интерфейс, обычно I²C или SPI.

Очевидно, что применение специализированных контроллеров не является единственным возможным решением задачи эффективного съема информации с сенсорных экранов, и может сложиться впечатление, что с этим может успешно справиться АЦП, встроенный в микроконтроллер. И здесь следует отметить существенные паразитные эффекты, заметно влияющие на результаты измерений. Сенсорный экран, подключенный 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 [1]. 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 определенную 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 аппаратно или программным способом.

Использование специализированных интегральных контроллеров сенсорных экранов Texas Instruments позволяет успешно и с минимальными затратами решить эти проблемы и получить стабильный отклик сенсорной панели в простом цифровом коде, удобном для дальнейшей обработки. Рассмотрим доступные ИМС контроллеров сенсорных экранов подробнее.

Микросхема ADS7843 [3] — широко распространенный, самый простой и дешевый контроллер сенсорных экранов. Структурная схема ИМС представлена на рис. 3, основные параметры приведены в таблице 1. Микросхема включает измерительный коммутатор на МОП-транзисторах, схему формирования сигнала прерывания на диоде, четырехканальный мультиплексор (входы IN3 и IN4 могут использоваться для дополнительных измерений встроенным АЦП), 12-разрядный АЦП последовательного приближения с максимальной частотой преобразования 125 кГц и интерфейс, совместимый со стандартом SPI. Для работы ИМС требуется внешний генератор тактовых импульсов с частотой, в 16 раз превышающей частоту преобразования, и источник опорного напряжения U_{REF} в диапазоне от 1 В до напряжения питания. Величина U_{REF} определяет максимальное значение входного напряжения АЦП.

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, непосред-

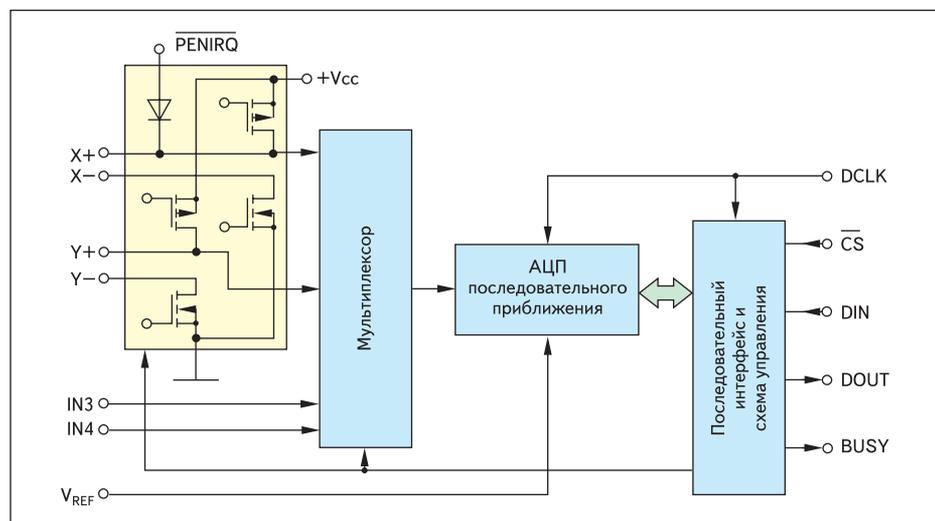


Рис. 3. Структурная схема ИМС ADS7843

Таблица 1. Основные параметры интегральных контроллеров сенсорных экранов Texas Instruments

Тип	Разрядность АЦП, бит, тип.	Частота преобразования АЦП, кГц, макс.	Интерфейс	ИОН	Напряжение питания, В		Измерение силы касания	Дополнительные входы АЦП	Корпус	Примечание
					мин	макс				
ADS7843	8, 12	125	SPI	Внешний	2,7	5,2	нет	2 доп	16SSOP/QSOP	
ADS7846	8, 12	125	SPI	Внутренний	2,7	5,2	есть	1 доп/1 бат	16QFN, 16SSOP/QSOP, 16TSSOP, 48BGA	Совместим по выводам с ADS7843
TSC2000	8, 10, 12	125	SPI	Внутренний	2,7	3,6	есть	2 доп/2 бат	20TSSOP	Встроенный 8-битный ЦАП
TSC2200	8, 10, 12	125	SPI	Внутренний	2,7	3,6	есть	2 доп/2 бат	28TSSOP, 32QFN	То же, интерфейс клавиатуры 4x4
TSC2003	8, 12	50	I ² C	Внутренний	2,7	5,2	есть	2 доп/2 бат	16TSSOP, 48BGA, 48TSSOP	
TSC2046	8, 12	125	SPI	Внутренний	1,5	5,2	есть	1 доп/1 бат	16QFN, 16TSSOP, 48BGA	Совместим по выводам с ADS7843
TSC2004	10, 12	200	I ² C	Внешний	1,2	3,6	есть	1 доп	20QFN, 24DSBGA	NanoPower, полностью программируемый
TSC2005	10, 12	200	SPI	Внешний	1,6	3,6	есть	1 доп	28DSBGA	То же
TSC2006	10, 12	200	SPI	Внешний	1,2	3,6	есть	1 доп	20QFN	То же
TSC2007	10, 12	20	I ² C	Внешний	1,2	3,6	есть	1 доп	12DSBGA, 16TSSOP	То же, микромощный

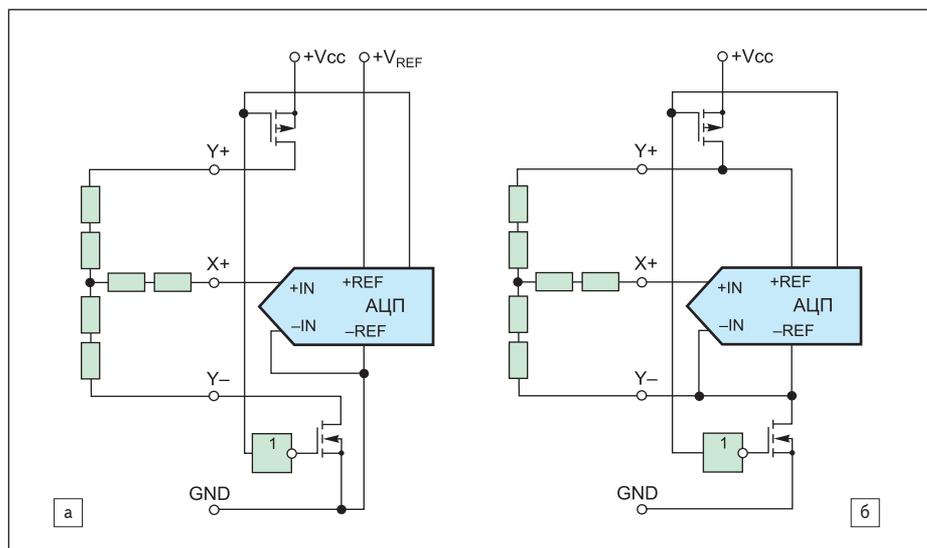


Рис. 4. Упрощенная схема включения ИМС ADS7843: а) с «заземленным» входом; б) в дифференциальном режиме

венно зависит от стабильности напряжения питания и источника опорного напряжения АЦП.

Исключить данный эффект позволяет дифференциальный режим, в котором напряжение питания экрана одновременно используется и как опорное для АЦП. Рис. 4 поясняет работу ИМС ADS7843 в обычном и дифференциальном режимах. Переключение режимов осуществляется определенной установкой бита SHR/DFR управляющего сигнала на входе ИМС DIN, о чем подробно будет сказано далее.

ADS7843 обеспечивает формирование сигнала прерывания для хост-контроллера — логического нуля при касании сенсорной панели, что позволяет минимизировать потребление энергии в режиме ожидания касания путем установки измерительных ключей в положение, соответствующее схеме на рис. 5, и отключения питания всех узлов ADS7843, при этом потребляемый микросхемой ток не превышает 2 мкА. Если замыкания между слоями нет, ток через диод отсутствует, и напряжение на выводе ИМС PENIRQ почти равно напряжению питания. При касании поверхности панели через диод начинает течь ток, и напряжение на выводе PENIRQ пада-

ет до 0,6 В, что может служить сигналом активизации рабочего режима.

Управление контроллером и считывание данных производится через последователь-

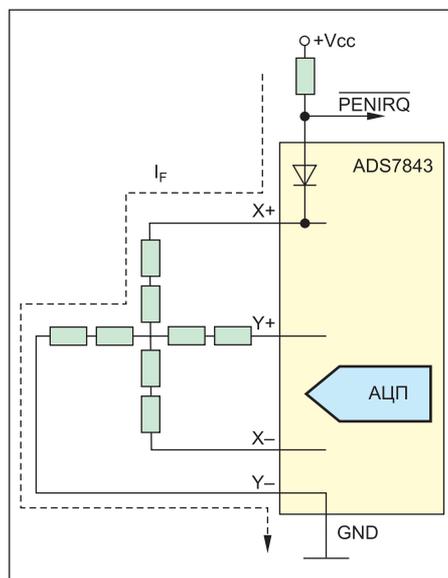


Рис. 5. Принцип формирования сигнала прерывания в контроллере ADS7843 при касании экрана

ный 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 рис. 6.

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 — 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 рис. 6, используются для выдачи через вывод DOUT результатов измерений координат точки касания.

Типовая схема включения ИМС ADS7843 приведена на рис. 7. Следует отметить, что при практической реализации устройств с сенсорными экранами может возникнуть необходимость снижения шумов и помех на входах ADS7843, для этого следует подключить к входам микросхемы конденсаторы емкостью порядка 0,01 мкФ. 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.

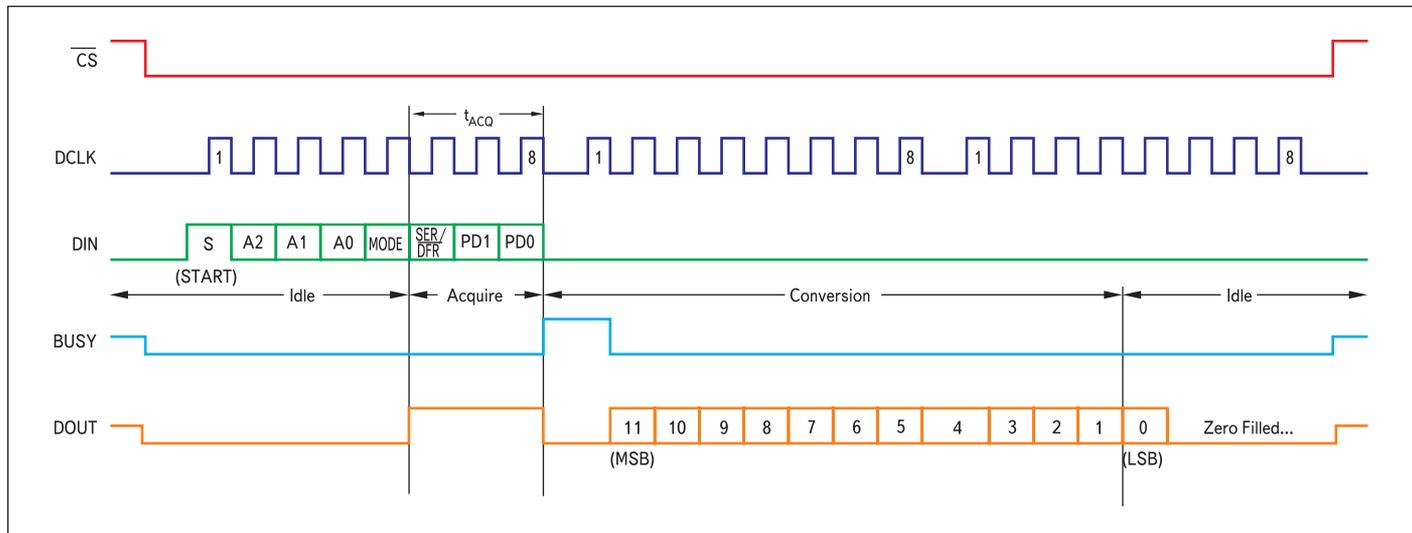


Рис. 6. Временные диаграммы сигналов на основных выводах ИМС ADS7843

Перейдем к рассмотрению других доступных ИМС контроллеров сенсорных экранов Texas Instruments, их параметры приведены в таблице 1.

ИМС **ADS7846** является более совершенной версией ADS7843 и дополнительно содержит встроенный источник опорного напряжения $U_{REF} = 2,5$ В, схему измерения напряжения питания (Battery Monitor) и встроенный диодный датчик температуры. В ADS7846 реализована возможность измерения силы касания сенсорного экрана (Pressure Measurement) как величины, пропорциональной сопротивлению межслойного контакта RTOUCH. Сопротивление RTOUCH рассчитывается по результатам трех измерений — координаты X и двух дополнительных комбинированных измерений, когда опорное напряжение прикладывается между обкладками Y+ и X-, а выходное напряжение снимается с обкладок X+ и Y- соответственно (рис. 1). Обработка результатов измерения силы касания дает возможность повысить точность определения координат точки касания и помехоустойчивость.

В результате проведенных усовершенствований возрастает степень интеграции и, следовательно, уменьшаются размеры и стоимость аппаратуры, учитывая же, что у ADS7846 мощность потребления в активном режиме не превышает 0,75 мВт, данную микросхему можно успешно применять в портативных и мобильных устройствах. Примечательно также, что тип корпуса и расположение выводов у ADS7846 полностью совпадает с ADS7843, и это позволяет провести замену микросхем путем сравнительно несложной корректировки программного обеспечения хост-контроллера без модернизации аппаратной части устройства.

Последние разработки контроллеров сенсорных экранов Texas Instruments маркируются трехбуквенным кодом TSC (Touch Screen Controller). Первая ИМС новой серии TSC2003 является дальнейшей модернизацией ADS7846.

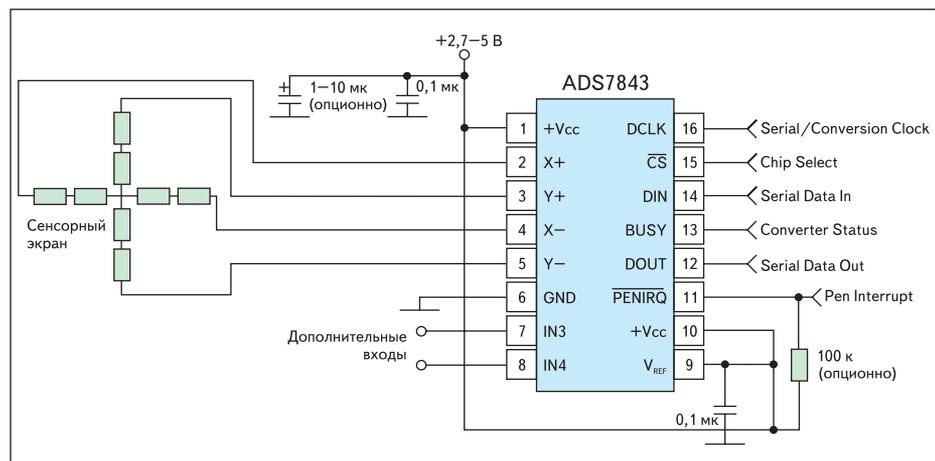


Рис. 7. Типовая схема включения ИМС ADS7843

Изменения коснулись интерфейса — вместо SPI используется популярный двухпроводной интерфейс I²C, добавлен еще один вход для измерения напряжения питания, что дает возможность контролировать состояние основного аккумулятора и отдельной батареи, предназначенной для питания ИМС часов реального времени. Основные параметры TSC2003 приведены в таблице 1. Область применения данной микросхемы — различная портативная аппаратура с автономным питанием: измерительные приборы, пейджеры, мобильные телефоны и т. п.

ИМС **TSC2000** и **TS2200** предназначены для применения в устройствах с напряжением питания от 2,7 до 3,6 В. Как и другие микросхемы серии, кроме собственно контроллера сенсорной панели с интерфейсом SPI, они включают два канала измерения напряжения элементов питания, датчик температуры, встроенный отключаемый источник опорного напряжения и два универсальных входа АЦП. Дополнительно микросхема TSC2000 содержит 8-битный ЦАП, который может быть использован для управления яркостью

или контрастностью подсветки экрана. Еще большей степенью интеграции обладает ИМС TSC2200, в состав которой кроме упомянутого ЦАП входит контроллер матричной клавиатуры 4×4. Распознавание нажатой клавиши и обнаружение касания экрана организовано внутри ИМС аппаратно и не отнимает ресурсов хост-контроллера.

Контроллеры **TSC2046** и **TSC2046e** — последние версии рассмотренной выше ИМС ADS7846, полностью совместимые по выводам. Основные изменения коснулись уменьшения энергопотребления и повышения точности измерений. ИМС TSC2046e содержит элементы защиты входных цепей от статического электричества с превышением рекомендаций стандарта IEC 61000-4-2.

Тенденции к уменьшению энергопотребления портативных устройств стали особенно актуальны в последние годы, поскольку продление срока службы элементов питания за счет экономии электроэнергии существенно сокращает затраты на обслуживание подобных устройств. Специалисты Texas Instruments прогнозируют, что после бума батарейных

Таблица 2. Основные параметры интегральных контроллеров сенсорных экранов Texas Instruments со встроенными аудиосистемами

Тип	Разрядность АЦП, бит, макс	Частота преобразования АЦП, кГц, макс	ИОН	Количество каналов аудио ЦАП	Количество каналов аудио АЦП	Количество аудио входов/ выходов	Разрядность аудио кодека, бит, макс	Частота дискретизации аудиокодека, кГц, макс	Напряжение питания, В		Выходная мощность УЗЧ, мВт, макс	Корпус	Примечание
									мин	макс			
TSC2100	12	125	Внутренний	2	1	2/2	32	48	2,7	3,6	325	32QFN, 32TSSOP	УЗЧ громкоговорителя
TSC2101	12	125	Внутренний	2	1	6/5	32	48	2,7	3,6	200	48QFN	То же, УЗЧ для стереонаушников
TSC2102	12	125	Внутренний	2	-	0/2	32	48	2,7	3,6	11	32TSSOP	Упрощенный, УЗЧ для стереонаушников
TSC2111	12	125	Внутренний	2	1	6/5	32	48	2,7	3,6	400	48QFN	Блок звуковых эффектов, УЗЧ громкоговорителя
TSC2300	12	125	Внутренний	2	1	3/5	20	48	2,7	3,6	27	64TQFP	Интерфейс клавиатуры 4×4, 8-битный ЦАП
TSC2301	12	125	Внутренний	2	2	3/5	20	48	2,7	3,6	27	120BGA, 64TQFP	То же
TSC2302	12	125	Внутренний	2	2	3/5	20	48	2,7	3,6	27	48QFN	8-битный ЦАП, блок звуковых эффектов

устройств с малым энергопотреблением грядет бум устройств, которые вообще не потребуют подзарядки или замены батарей, так как, благодаря ничтожному энергопотреблению, для их питания будет достаточно энергии, взятой из внешней среды, например тепловой энергии или энергии микровибраций. Следуя данной идеологии, в 2006–2007 гг. компания Texas Instruments выпустила четыре ИМС контроллеров сенсорных экранов, 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 устройства аналогично) приведена на рис. 8 и содержит все элементы контроллера сенсорного экрана, датчик температуры и дополнительный вход АЦП. Источник опорного напряжения — внешний. Благодаря встроенному блоку обработки данных (Preprocessing) удается 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. Основные параметры ИМС TSC2004/5/6/7 приведены в таблице 1.

Во многих мобильных устройствах наряду с сенсорным экраном имеется развитая аудиосистема, включающая устройства ввода, вывода и обработки звуковых сигналов. Для таких устройств Texas Instruments выпускает серию интегральных контроллеров сенсорных экранов со встроенными аудиосистемами, в состав которых входят аудиокодеки, несколько АЦП и ЦАП, усилители звуковой частоты (УЗЧ), аттенюаторы и блоки спецэффектов. Поскольку рассмотрение аудиофункций мобильных устройств не является задачей данной статьи, а сам контроллер сенсорной панели в этих ИМС аналогичен рассмотренным ранее, ограничимся приведением их основных параметров и особенностей в таблице 2.

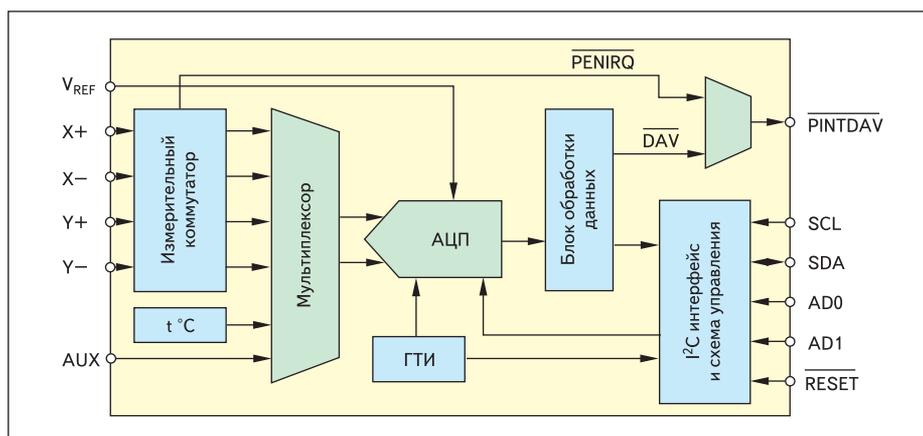


Рис. 8. Структурная схема ИМС TSC2004

Одна из наиболее интегрированных микросхем серии TSC2302 содержит полный набор элементов контроллера сенсорного экрана с дополнительными функциями по типу TSC2000 с возможностью программной установки разрядности преобразования 8, 10 или 12 бит, формирования временных интервалов задержек и усреднения результатов. Аудиосистема включает высококачественный 20-битный стереоаудиокодек на основе сигма-дельта АЦП и ЦАП [4], микрофонный и линейный усилители, набор цифровых аттенюаторов, трехполосный эквалайзер и двухканальный выходной усилитель для наушников сопротивлением 16 Ом. Прием и передача цифрового звука производится по стандартному последовательному звуковому интерфейсу I²S с синхронизацией программируемой системой ФАПЧ, что дает возможность подключать к цифровому входу различные устройства, например выход MP3 декодера, без использования дополнительных элементов. Управление работой TSC2302 осуществляется через набор внутренних регистров по трехпроводному последовательному интерфейсу SPI.

В заключение отметим, что применение специализированных интегральных контроллеров сенсорных экранов 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 устройства. В аппаратуре с контроллерами сенсорных экранов существенно разгружается управляющий хост-контроллер и, как следствие, сокращается время разработки и отладки, что в итоге создает значительный экономический эффект. Компания Texas Instruments через своих российских партнеров и официальный сайт www.ti.com оперативно предоставляет бесплатные образцы микросхем контроллеров сенсорных экранов и демонстрационные платы. Рассмотренные ИМС, а также другие компоненты производства компании Texas Instruments можно приобрести в ЗАО «Пром-электроника» <http://www.promelec.ru>.

Литература

- Самарин А. В. Жидкокристаллические дисплеи. Схемотехника, конструкция и применение. М.: Солон-Р. 2002.
- Самарин А. В. Сенсорные панели — взгляд изнутри // Схемотехника. 2001. № 7. С. 20–22; № 8.
- Amplifier and Data Converter Selection Guide. Texas Instruments Inc. 2006.
- Штрапенин Г. Л. Сигма-дельта аналого-цифровые преобразователи Texas Instruments // Компоненты и технологии. 2007. № 1.