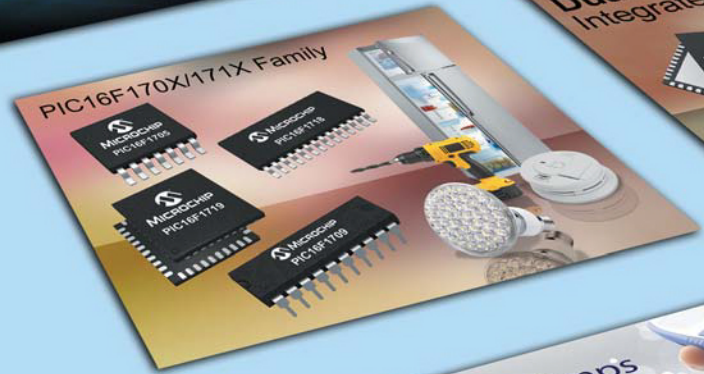




MICROCHIP

Информационный каталог

2015



Гамма Санкт-Петербург

Тел.: +7(812) 325 5115

Факс: +7(812) 325 5114

E-mail: microchip@gamma.spb.ru

www.gamma.spb.ru

Москва:

Тел./Факс: +7 (495) 668-26-46

Белоруссия

Тел.: +375-17-209-8045

Центр технической поддержки:

Ilya.Afanasyev@microchip.com.ru

Alexey.Safronov@microchip.com.ru

Alexander.Tyulpanov@microchip.com.ru

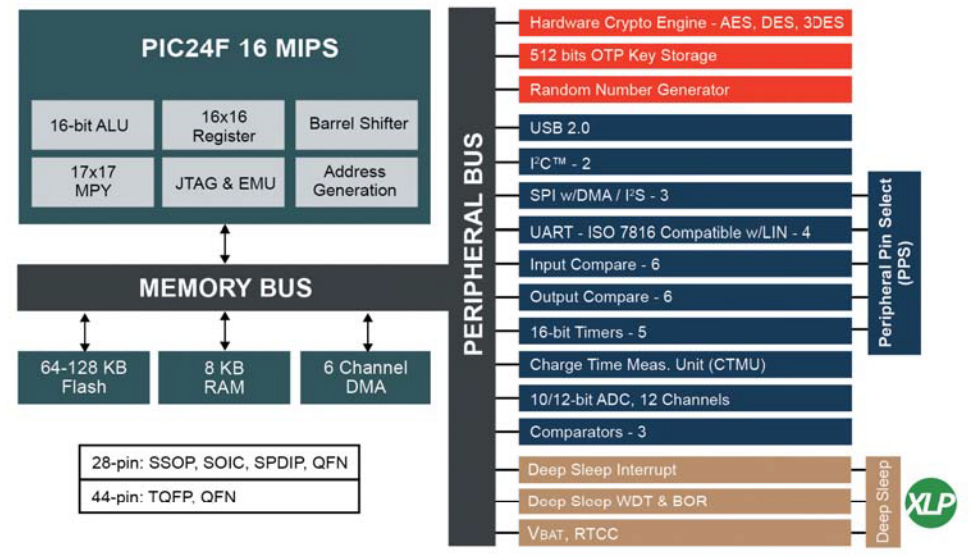
www.microchip.com.ru

Designed for Safety-Critical Applications

Advanced Motor Control Capability



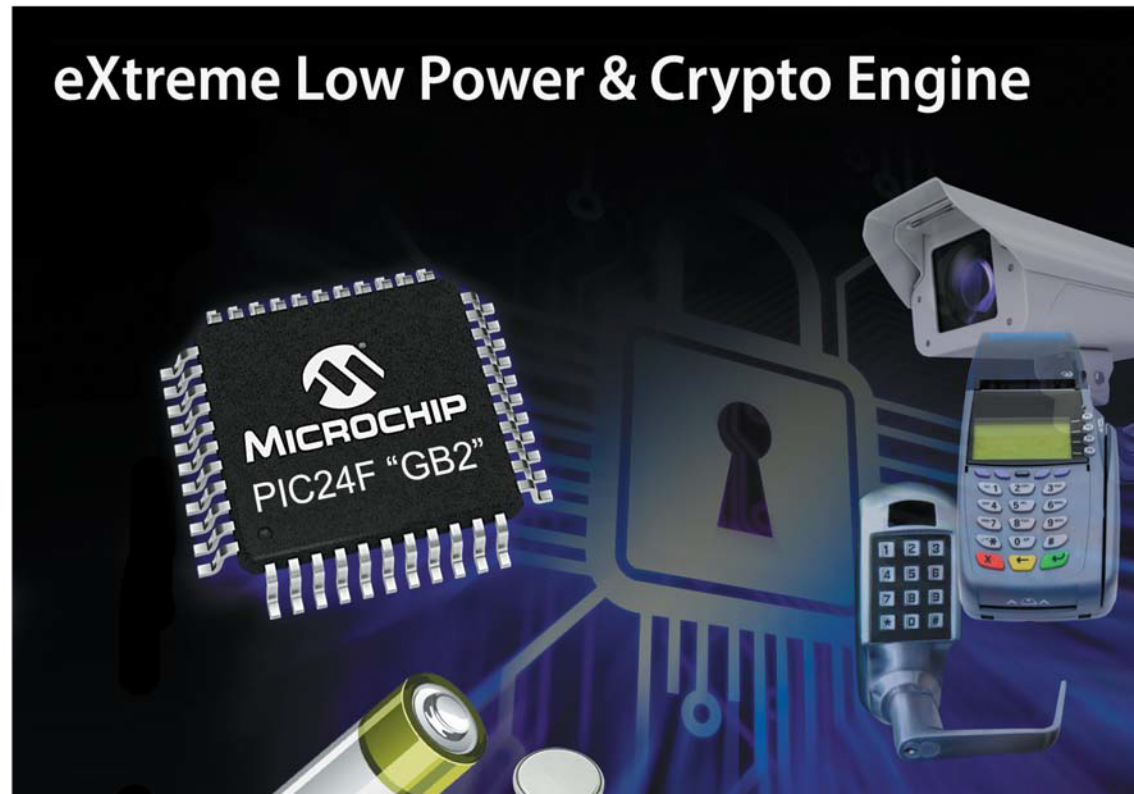
PIC24FJ128GB204 Family

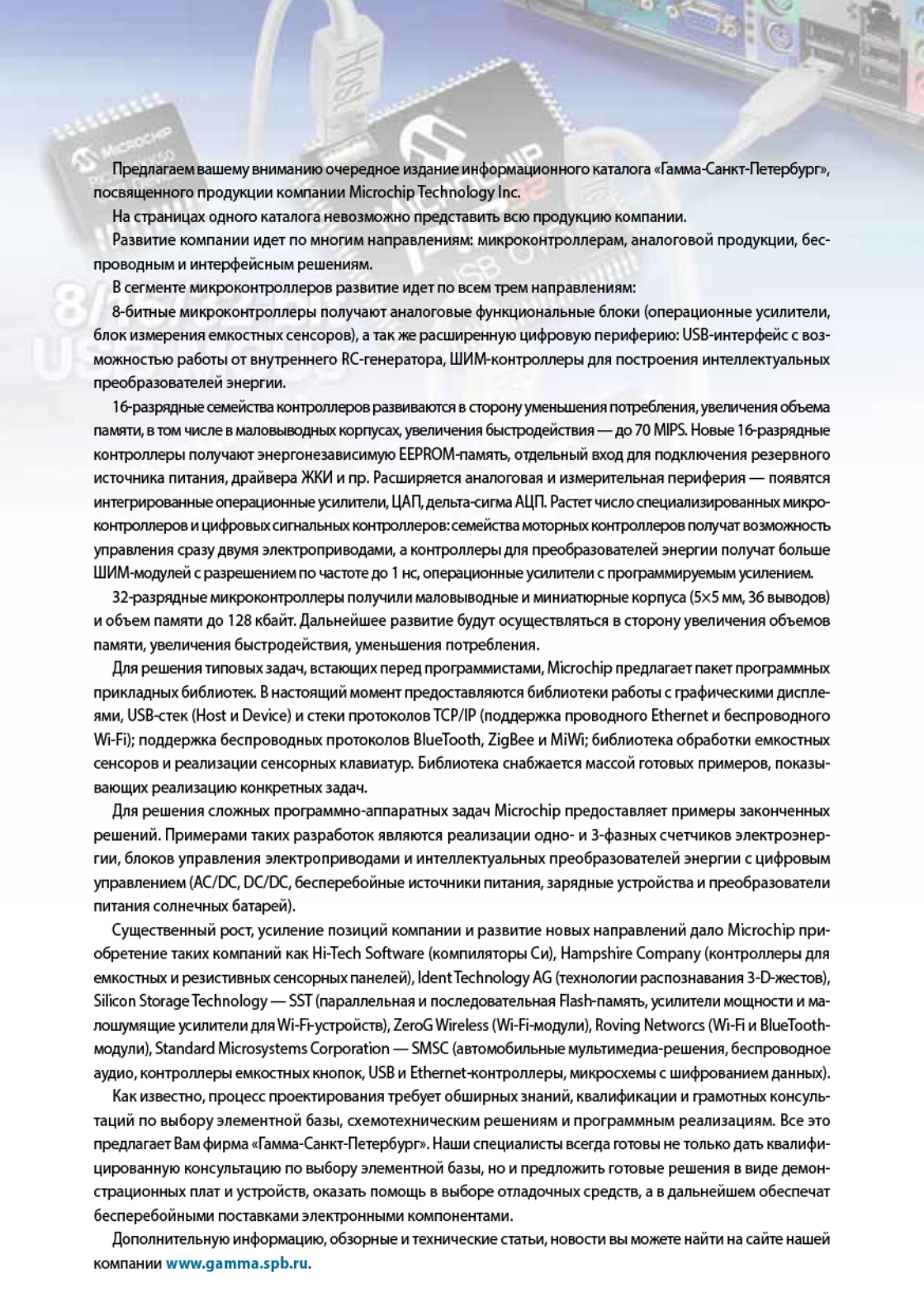


Small Form Factor with 16-bit PWMs and Communications



eXtreme Low Power & Crypto Engine





Предлагаем вашему вниманию очередное издание информационного каталога «Гамма-Санкт-Петербург», посвященного продукции компании Microchip Technology Inc.

На страницах одного каталога невозможно представить всю продукцию компании.

Развитие компании идет по многим направлениям: микроконтроллерам, аналоговой продукции, беспроводным и интерфейсным решениям.

В сегменте микроконтроллеров развитие идет по всем трем направлениям:

8-битные микроконтроллеры получают аналоговые функциональные блоки (операционные усилители, блок измерения емкостных сенсоров), а так же расширенную цифровую периферию: USB-интерфейс с возможностью работы от внутреннего RC-генератора, ШИМ-контроллеры для построения интеллектуальных преобразователей энергии.

16-разрядные семейства контроллеров развиваются в сторону уменьшения потребления, увеличения объема памяти, в том числе в маловыводных корпусах, увеличения быстродействия — до 70 MIPS. Новые 16-разрядные контроллеры получают энергонезависимую EEPROM-память, отдельный вход для подключения резервного источника питания, драйвера ЖКИ и пр. Расширяется аналоговая и измерительная периферия — появляются интегрированные операционные усилители, ЦАП, дельта-сигма АЦП. Растет число специализированных микроконтроллеров и цифровых сигнальных контроллеров: семейства моторных контроллеров получают возможность управления сразу двумя электроприводами, а контроллеры для преобразователей энергии получают больше ШИМ-модулей с разрешением по частоте до 1 нс, операционные усилители с программируемым усилением.

32-разрядные микроконтроллеры получили маловыводные и миниатюрные корпуса (5x5 мм, 36 выводов) и объем памяти до 128 кбайт. Дальнейшее развитие будут осуществляться в сторону увеличения объемов памяти, увеличения быстродействия, уменьшения потребления.

Для решения типовых задач, встающих перед программистами, Microchip предлагает пакет программных прикладных библиотек. В настоящий момент предоставляются библиотеки работы с графическими дисплеями, USB-стек (Host и Device) и стеки протоколов TCP/IP (поддержка проводного Ethernet и беспроводного Wi-Fi); поддержка беспроводных протоколов Bluetooth, ZigBee и MiWi; библиотека обработки емкостных сенсоров и реализации сенсорных клавиатур. Библиотека снабжается массой готовых примеров, показывающих реализацию конкретных задач.

Для решения сложных программно-аппаратных задач Microchip предоставляет примеры законченных решений. Примерами таких разработок являются реализации одно- и 3-фазных счетчиков электроэнергии, блоков управления электроприводами и интеллектуальных преобразователей энергии с цифровым управлением (AC/DC, DC/DC, бесперебойные источники питания, зарядные устройства и преобразователи питания солнечных батарей).

Существенный рост, усиление позиций компании и развитие новых направлений дало Microchip приобретение таких компаний как Hi-Tech Software (компиляторы Си), Hampshire Company (контроллеры для емкостных и резистивных сенсорных панелей), Ident Technology AG (технологии распознавания 3-D-жестов), Silicon Storage Technology — SST (параллельная и последовательная Flash-память, усилители мощности и малощумящие усилители для Wi-Fi-устройств), ZeroG Wireless (Wi-Fi-модули), Roving Networks (Wi-Fi и Bluetooth-модули), Standard Microsystems Corporation — SMSC (автомобильные мультимедиа-решения, беспроводное аудио, контроллеры емкостных кнопок, USB и Ethernet-контроллеры, микросхемы с шифрованием данных).

Как известно, процесс проектирования требует обширных знаний, квалификации и грамотных консультаций по выбору элементной базы, схемотехническим решениям и программным реализациям. Все это предлагает Вам фирма «Гамма-Санкт-Петербург». Наши специалисты всегда готовы не только дать квалифицированную консультацию по выбору элементной базы, но и предложить готовые решения в виде демонстрационных плат и устройств, оказать помощь в выборе отладочных средств, а в дальнейшем обеспечить бесперебойными поставками электронными компонентами.

Дополнительную информацию, обзорные и технические статьи, новости вы можете найти на сайте нашей компании www.gamma.spb.ru.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ PIC10, PIC12, PIC16. ОБЗОР НОВЫХ СЕМЕЙСТВ И ПЕРИФЕРИЙНЫХ МОДУЛЕЙ

Огромная популярность дешевых 8-разрядных PIC-микроконтроллеров семейств PIC10, PIC12 и PIC16, а также их массовое применение во многих отраслях электронной промышленности стимулирует производителя к дальнейшему расширению этих семейств. Особое внимание направлено на снижение стоимости конечного продукта на основе PIC-микроконтроллеров, что достигается сочетанием интегрирования различных периферийных модулей, таких как драйвера ЖК-индикаторов, ШИМ, АЦП, компараторов, таймеров и интерфейсов связи. Помимо стандартных периферийных устройств, компания Microchip постоянно улучшает свою продукцию путем разработки и внедрения уникальных (для микроконтроллеров) периферийных устройств. Эти новые периферийные устройства позволяют инженерам упростить схемотехнику своих устройств и создавать все более функциональные и компактные продукты.

За недавнее время появилось множество новинок и анонсированы новые семейства с уникальными возможностями, которые рассмотрим в этой статье.

НОВЫЕ 8-РАЗРЯДНЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ СЕМЕЙСТВ PIC10, PIC12 И PIC16

Микроконтроллеры PIC10F32x

Первые 6-выводные микроконтроллеры базового семейства PIC10F2xx появились в 2004 г. С тех пор контроллеры PIC10F получили широкое применение благодаря низкой стоимости, наличию встроенного генератора, компаратора и АЦП. Ключевые моменты успеха PIC10F — это возможность их применения в качестве функциональных генераторов сигналов, аналоговых интеллектуальных датчиков, а также нетрадиционных для микроконтроллеров областях, таких как элементы, исправляющие ошибки заказных микросхем ASIC, супервизоры питания процессоров и программируемой логики, компактная замена микросхем жесткой логики.

Новое поколение 6-выводных микроконтроллеров PIC10F32x (табл. 1) получает ядро среднего семейства с аппаратными прерываниями и 8-уровневым стеком, возможность самопро-

Таблица 1. Семейство контроллеров PIC10F32x

Контроллер	Flash, байт	ОЗУ, байт	EEPROM	АЦП, 8 бит	ШИМ	Датчик температуры	CWG	DDS	Диапазон питания, В	Корпуса
PIC10F320	448	32	Эмуляция	3	2	Да	Да	Да	2,3–5,5	6 PDIP, 2×3 DFN, SOT-23
PIC10LF320	448	32	Эмуляция	3	2	Да	Да	Да	1,8–3,6	6 PDIP, 2×3 DFN, SOT-23
PIC10F322	896	64	Эмуляция	3	2	Да	Да	Да	2,3–5,5	6 PDIP, 2×3 DFN, SOT-23
PIC10LF322	896	64	Эмуляция	3	2	Да	Да	Да	1,8–3,6	6 PDIP, 2×3 DFN, SOT-23

граммирования и эмуляции энергонезависимой памяти данных EEPROM, 16 МГц внутренний генератор, ШИМ-контроллер, 8-разрядный АЦП, а также несколько уникальных модулей: CLC (модуль конфигурируемой логики), CWG (генератор комплементарных сигналов), NCO (синтезатор частоты) и интегрированный датчик температуры.

Микроконтроллеры

PIC12F182x/PIC16F182x

Новейшее поколение 8, 14, 18 и 20-выводных микроконтроллеров предлагают улучшенную функциональность с несколькими принципиальными усовершенствованиями. Контроллеры имеют встроенный программируемый 32 МГц генератор, улучшенное ядро среднего семейства (Enhanced Mid-Range) с дополнительными командами, способами адресации и Си-оптимизированной системой команд.

Микроконтроллеры полностью совместимы по выводам с предыдущими поколениями мало-выводных PIC-микроконтроллеров, что позволяет добавить новый функционал в свои приборы без существенного их изменения.

Десять представителей семейства PIC1x182x (табл. 2) предоставляют до 14 кбайт Flash-памяти программ, до 1 кбайт ОЗУ, 256 байт энергонезависимой памяти EEPROM, и множество периферийных модулей.

Интерфейсные модули связи I²C, SPI и EUSART присутствуют во всех микроконтроллерах, в том числе у 8-выводных PIC12F182x. Встроенный модуль измерения емкостных датчиков позволяет также реализовывать емкостные клавиатуры и датчики приближения. Модуль Data Signal Modulator позволяет аппаратно создавать амплитудно- (ASK) и фазово- (PSK) модулированные сигналы.

Микроконтроллеры спроектированы с применением методов nanoWatt XLP-технологии, что позволило получить ток потребления в режиме Sleep всего 20 нА и в активном режиме менее чем 50 мкА/МГц.

Микроконтроллеры PIC16F151x/152x

Современные разработки требуют высокоэффективных микроконтроллеров с улучшением свойств микропотребления и уменьшения цены. Микроконтроллеры семейства PIC16F15x разработаны для удовлетворения подобных за-

Таблица 2. Семейство контроллеров PIC12/PIC16F18xx

	Число выводов	Память программ, кбайт	ОЗУ	EEPROM	Напряжение питания, В	АЦП/Компар.	СД/ЕССР PWM	CSM	EUSART	MSSP/I ² C/SPI	Таймер 8/16бит	Корпуса
PIC12F1822 PIC12LF1822	8	3,5	128	256	1,8–5,5	4/1	0/1	4	1	1/1	2/1	PDIP, SOIC, DFN
PIC12F1840 PIC12LF1840	8	7	256	256	1,8–5,5	4/1	0/1	4	1	1/1	2/1	PDIP, SOIC, DFN
PIC16F1823 PIC16LF1823	14	3,5	128	256	1,8–5,5	8/2	0/1	8	1	1/1	2/1	PDIP, SOIC, TSSOP, QFN
PIC16F1824 PIC16LF1824	14	7	256	256	1,8–5,5	8/2	0/1	8	1	1/1	2/1	PDIP, SOIC, TSSOP, QFN
PIC16F1825 PIC16LF1825	14	14	1024	256	1,8–5,5	8/2	0/1	8	1	1/1	3/1	PDIP, SOIC, TSSOP, QFN
PIC16F1826 PIC16LF1826	18	3,5	128	256	1,8–5,5	12/2	2/2	12	1	1/1	4/1	PDIP, SOIC, SSOP, QFN
PIC16F1827 PIC16LF1827	18	7	256	256	1,8–5,5	12/2	2/2	12	1	2/2	4/1	PDIP, SOIC, SSOP, QFN
PIC16F1847 PIC16LF1847	18	14	1024	256	1,8–5,5	12/2	2/2	12	1	2/2	4/1	PDIP, SOIC, SSOP, QFN
PIC16F1828 PIC16LF1828	20	7	256	256	1,8–5,5	12/2	2/2	12	1	1/1	4/1	PDIP, SOIC, SSOP, QFN
PIC16F1829 PIC16LF1829	20	14	1024	256	1,8–5,5	12/2	2/2	12	1	2/2	4/1	PDIP, SOIC, SSOP, QFN

Таблица 3. Семейство контроллеров PIC16F151х/2х

	Число выводов	Память программ, кбайт	ОЗУ	Напряжение питания, В	АЦП, 10р	ССР/PWM	EUSART	MSSP I ² C/SPI	Таймер 8/16бит	Корпуса
PIC16F1512 PIC16LF1512	28	3,5	128	2,3–5,5 1,8–3,6	17	2	1	1/1	2/1	SPDIP, SOIC, SSOP, 4x4 UQFN
PIC16F1513 PIC16LF1513	28	7	256	2,3–5,5 1,8–3,6	17	2	1	1/1	2/1	SPDIP, SOIC, SSOP, 4x4 UQFN
PIC16F1516 PIC16LF1516	28	14	512	2,3–5,5 1,8–3,6	17	2	1	1/1	2/1	SPDIP, SOIC, SSOP, 4x4 UQFN
PIC16F1517 PIC16LF1517	28	28	1024	2,3–5,5 1,8–3,6	17	2	1	1/1	2/1	SPDIP, SOIC, SSOP, 4x4 UQFN
PIC16F1518 PIC16LF1518	40/44	14	512	2,3–5,5 1,8–3,6	28	2	1	1/1	2/1	PDIP, 10x10 TQFP, 5x5 UQFN
PIC16F1519 PIC16LF1519	40/44	28	1024	2,3–5,5 1,8–3,6	28	2	1	1/1	2/1	PDIP, 10x10 TQFP, 5x5 UQFN
PIC16F1526 PIC16LF1526	64	14	512	2,3–5,5 1,8–3,6	30	10	2	2/2	6/3	10x10 TQFP, 9x9 QFN
PIC16F1527 PIC16LF1527	64	28	1536	2,3–5,5 1,8–3,6	30	10	2	2/2	6/3	10x10 TQFP, 9x9 QFN

просов. Семейство PIC16F15xx состоит из контроллеров с числом выводов 28, 40, 44 и 64 и, как и все контроллеры поколения PIC16F1ххх базируются на высокоэффективном ядре Enhanced Mid-Range. Комбинация высокоэффективной архитектуры, высокого быстродействия, продвинутой периферии и низкой стоимости делают данное семейство подходящим для широкого класса приложений, основным параметром которых является низкая себестоимость. Микроконтроллеры семейства PIC16F15xx (табл. 3) имеют до 28 кбайт Flash-памяти программ, до 1,5 кбайт ОЗУ, до 30 каналов 10-разрядного АЦП, до 2 независимых интерфейсов SPI/PC и EUSART, интегрированный датчик температуры,

до 10 каналов захвата/сравнения/ШИМ, а также другие периферийные модули.

Микроконтроллеры PIC16F1512/13 имеют расширенные функции АЦП — модуль CVD (Capacitive Voltage Divider). Модуль CVD позволяет производить измерение емкости сенсоров с минимальными затратами ресурсов микроконтроллера и упрощает создание емкостных клавиатур, датчиков приближения, датчиков влажности и др.

Микроконтроллеры PIC12F150х/PIC16F150х

Продолжая развитие семейства F15xx, компания Microchip планирует выпустить маловыводные контроллеры PIC12 и PIC16F серии F150х с уменьшенной

Таблица 4. Семейство контроллеров PIC12/PIC16F150х

	Число выводов	Память программ, кбайт	ОЗУ	Напряжение питания, В	АЦП, 10р	Компаратор	PWM	EUSART	MSSP PC/SPI	Таймер 8/16бит	CWG/INCO	CLC
PIC12F1501 PIC12LF1501	8	1	64	2,3–5,5 1,8–3,6	4	1	4	–	–	2/1	1/1	2
PIC16F1503 PIC16LF1503	14	2	128	2,3–5,5 1,8–3,6	8	2	4	–	1/1	2/1	1/1	2
PIC16F1507 PIC16LF1507	20	2	128	2,3–5,5 1,8–3,6	12	–	4	–	–	2/1	1/1	2
PIC16F1508 PIC16LF1508	20	4	256	2,3–5,5 1,8–3,6	12	2	4	1	1/1	2/1	1/1	4
PIC16F1509 PIC16LF1509	20	8	256	2,3–5,5 1,8–3,6	12	2	4	1	1/1	2/1	1/1	4

ценой (табл. 4), с числом выводов 8, 14 и 20. Новые контроллеры получили новую периферию: до 4 модулей CLC (модуль конфигурируемой логики), CWG (генератор комплементарных сигналов), NCO (синтезатор частоты), интегрированный датчик температуры. Помимо новой периферии контроллеры получают до 12 каналов 10-разрядного АЦП, до 2 компараторов с управлением потреблением (быстродействию) и гистерезисом, источник опорного напряжения на 1,024, 2,048 и 4,096 В, 5-разрядный ЦАП, четыре 10-разрядных модулей ШИМ, последовательные интерфейсы I²C и SPI, модуль UART с поддержкой RS-232, RS-485 и LIN.

Микроконтроллеры PIC16F193x/194x

Микроконтроллеры семейств PIC16F193x и PIC16F194x имеют максимальную интеграцию периферийных модулей при минимальном потреблении. Основанные на усовершенствованном ядре базового семейства (Enhanced Mid-Range), что позволяет создавать более эффективный код и ис-

полнять его на более высокой тактовой частоте, чем на «традиционном» ядре Mid-Range. Контроллеры имеют до 28 кбайт Flash-памяти программ, до 1 кбайт ОЗУ и 256 байт энергонезависимой памяти данных EEPROM. Интегрированный драйвер ЖКИ поддерживает индикаторы с числом сегментов до 184 и оптимизирован для микропотребляющих устройств. Микроконтроллеры имеют до 2 SPI/I²C и UART, до 17 каналов 10-разрядного АЦП, 2 компаратора, интегрированную периферию для работы с емкостными клавиатурами, до 5 модулей захвата/сравнения/ШИМ, часы реального времени RTC. Контроллеры имеют низкое потребление: 60 нА в режиме энергосбережения Sleep, потребление генератора RTC 600 нА и менее 50 мкА/МГц в активном режиме.

Другое семейство контроллеров с драйвером ЖКИ — PIC16LF190x (табл. 5) предназначено для применения в простых устройствах с ЖКИ с ограниченными требованиями к периферии и требующих минимальной стоимости. Микроконтроллеры

Таблица 5. Семейство контроллеров PIC16F19xx

	Число выводов	Память программы, кбайт	ОЗУ	EEPROM	Напряжение питания, В	Сегментов ЖКИ	АЦП, 10р/компаратор	ЕСР/ССР	Интерфейсы	Корпуса
PIC16LF1902	28	3,5	128	Эмул.	1,8–3,6	72	11/0	–	–	SPDIP, SOIC, SSOP, 4x4 UQFN, die
PIC16LF1903	28	7	256	Эмул.	1,8–3,6	72	11/0	–	–	SPDIP, SOIC, SSOP, 4x4 UQFN, die
PIC16LF1904	40/44	7	256	Эмул.	1,8–3,6	116	14/0	–	EUSART	PDIP, TQFP, 5x5 UQFN, die
PIC16LF1906	28	14	512	Эмул.	1,8–3,6	72	11/0	–	EUSART	SPDIP, SOIC, SSOP, 4x4 UQFN, die
PIC16LF1907	40/44	14	512	Эмул.	1,8–3,6	116	14/0	–	EUSART	PDIP, TQFP, 5x5 UQFN, die
PIC16F1933 PIC16LF1933	28	7	256	256	1,8–5,5 1,8–3,6	60	11/2	3/2	EUSART, I ² C, SPI	SPDIP, SOIC, SSOP, 6x6 QFN, 4x4 UQFN
PIC16F1934 PIC16LF1934	40/44	7	256	256	1,8–5,5 1,8–3,6	96	14/2	3/2	EUSART, I ² C, SPI	PDIP, TQFP, 8x8 QFN, 5x5 UQFN
PIC16F1936 PIC16LF1936	28	14	512	256	1,8–5,5 1,8–3,6	60	11/2	3/2	EUSART, I ² C, SPI	SPDIP, SOIC, SSOP, 6x6 QFN, 4x4 UQFN
PIC16F1937 PIC16LF1937	40/44	14	512	256	1,8–5,5 1,8–3,6	96	14/2	3/2	EUSART, I ² C, SPI	PDIP, TQFP, 8x8 QFN, 5x5 UQFN
PIC16F1938 PIC16LF1938	28	28	1024	256	1,8–5,5 1,8–3,6	60	11/2	3/2	EUSART, I ² C, SPI	SPDIP, SOIC, SSOP, 6x6 QFN, 4x4 UQFN
PIC16F1939 PIC16LF1939	40/44	28	1024	256	1,8–5,5 1,8–3,6	96	14/2	3/2	EUSART, I ² C, SPI	PDIP, TQFP, 8x8 QFN, 5x5 UQFN
PIC16F1946 PIC16LF1946	64	14	512	256	1,8–5,5 1,8–3,6	184	17/3	3/2	2xEUSART, 2xI ² C, 2xSPI	TQFP, 9x9 QFN
PIC16F1947 PIC16LF1947	64	28	1024	256	1,8–5,5 1,8–3,6	184	17/3	3/2	2xEUSART, 2xI ² C, 2xSPI	TQFP, 9x9 QFN

Таблица 6. Семейство контроллеров PIC16F178x

	Число выводов	Память программ, Кслов	ОЗУ, байт	Напряжение питания, В	АЦП, 12р	Компаратор	Операционный усилитель	ЦАП, 8р	PSMC	ССР/PWM	EUSART	MSSP I ² C/SPI	Таймер 8/16 бит
PIC16F1782 PIC16LF1782	28	2	256	2,3–5,5 1,8–3,6	11	3	2	1	2	2	1	1/1	2/1
PIC16F1783 PIC16LF1783	28	4	512	2,3–5,5 1,8–3,6	11	3	2	1	2	2	1	1/1	2/1
PIC16F1784 PIC16LF1784	40/44	4	512	2,3–5,5 1,8–3,6	14	4	3	1	3	3	1	1/1	2/1
PIC16F1786 PIC16LF1786	28	8	1024	2,3–5,5 1,8–3,6	11	4	2	1	3	3	1	1/1	2/1
PIC16F1787 PIC16LF1787	40/44	8	1024	2,3–5,5 1,8–3,6	14	4	3	1	3	3	1	1/1	2/1

PIC16LF190x могут применяться в смарткартах, ключах и брелках для систем сигнализации и контроля доступа, медицинских устройств, бытовой электроники и других устройствах с ЖК-индикаторами. Контроллеры имеют до 14 кбайт Flash-памяти программ, до 512 байт ОЗУ, до 14 каналов 10-разрядного АЦП, EUSART и поддерживают ЖКИ до 114 сегментов.

Микроконтроллеры PIC16F145X

Микроконтроллеры семейства PIC16F145x (табл. 7) первые из PIC16 с Flash-памятью, получившие модуль USB 2.0. Новые контроллеры содержат:

- Модуль USB 2.0 (Low Speed 1,5 Мбайт/с, Full Speed 12 Мбайт/с).
- Внутренний генератор 48 МГц с заводской калибровкой 1% 10-разрядный АЦП.
- Компараторы.
- Источник опорного напряжения 1,024, 2,048 и 4,096 В.
- Цифровые интерфейсы I²C, SPI, USART.

Таблица 7. Семейство контроллеров PIC16F145x

	Число выводов	Память программ, Кслов	ОЗУ, байт	Напряжение питания, В	АЦП, 10р	Компаратор	ЦАП, 8р	Timers (8-bit/16-bit)	ССР/PWM	EUSART	MSSP I ² C/SPI	CTWG	USB
PIC16F1454 PIC16LF1454	14	4	1024	2,3–5,5 1,8–3,6				1/1	2	1	1/1		1
PIC16F1455 PIC16LF1455	14	8	1024	2,3–5,5 1,8–3,6	5	2	1	2/1	2	1	1/1	1	1
PIC16F1459 PIC16LF1459	20	8	1024	2,3–5,5 1,8–3,6	9	2	1	2/1	2	1	1/1	1	1

Основное отличие контроллеров семейства F145x с модулем USB это прецизионный тактовый RC-генератор с возможностью подстройки частоты от шины USB. Такая особенность обеспечивает работу модуля USB без внешнего кварца, только от внутреннего генератора, что позволяет снизить стоимость USB устройств в критичных к цене приложениях.

Микроконтроллеры PIC16F178x

Микроконтроллеры семейства PIC16F178x (табл. 6) имеют расширенную аналоговую периферию и программируемый импульсный контроллер.

Новые контроллеры PIC16F178x содержат:

- 12-разрядный АЦП с дифференциальными входами и скоростью преобразования 100 тысяч выборок в секунду.
- 8-разрядный ЦАП, с возможностью вывода сигнала на вывод микроконтроллера, использование его в качестве опорного напряжения,

Таблица 8. Семейство контроллеров PIC16F170x

	Память программ, слов	ОЗУ, байт	Число выводов	10-бит АЦП	8-бит ЦАП	Быстрые компараторы	ОУ	Zero Cross	Таймера (8/16-р)	СР	ШИМ	COG	EUSART	MSSP (I ² C/SPI)	CLC	PPS
PIC16(L)F1703	2048	256	14	8	0	0	2	1	2/1	2	0	0	0	1	0	Да
PIC16(L)F1704	4096	512	14	8	1	2	2	1	4/1	2	2	2	1	1	3	Да
PIC16(L)F1705	8192	1024	14	8	1	2	2	1	4/1	2	2	2	1	1	3	Да
PIC16(L)F1707	2048	256	20	12	0	0	2	1	2/1	2	0	0	0	1	0	Да
PIC16(L)F1708	4096	512	20	12	1	2	2	1	4/1	2	2	1	1	1	3	Да
PIC16(L)F1709	8192	1024	20	12	1	2	2	1	4/1	2	2	1	1	1	3	Да

внутренние соединения к операционному усилителю, компаратору и АЦП.

- Операционные усилители и быстродействующие компараторы.
- Источник опорного напряжения 1,024, 2,048 и 4,096 В.
- До 3 программируемых импульсных контроллеров (PSMC) с цифровой и аналоговой обратной связью.
- До 3 модулей захвата/сравнения/ШИМ
- Цифровые интерфейсы I²C, SPI, USART.

Микроконтроллеры PIC16F170X

Микроконтроллеры семейства PIC16F170x (табл. 8) продолжают линейку контроллеров F17xx с расширенной аналоговой периферией. Отличия от контроллеров F187x это отсутствие программируемого импульсного контроллера и уменьшенная

до 10 бит разрядность АЦП. Новые контроллеры серии PIC16F170x дополнительно получили модуль детектирования перехода сигнала через Ноль (Zero Cross Detect — ZCD), модуль конфигурируемых логических ячеек и возможность программного переназначения функций выводов (Peripheral Pin Select — PPS).

Микроконтроллеры PIC16F527

Микроконтроллеры PIC16F527 (табл. 9) первые из представителей контроллеров с модифицированным ядром базового семейства (Enhanced Baseline). Модифицированное ядро получает контроллер прерываний (прерывания по таймеру, изменению состояния порта A, окончанию преобразования АЦП и по срабатыванию компаратора), четыре уровня стека и дополнительные инструкции.

Таблица 9. Семейство контроллеров PIC16F527

	Число выводов	Память программ, Кслов	ОЗУ, байт	EEPROM	Напряжение питания, В	АЦП, 8р	Компаратор	ОУ	Таймер (8-bit)
PIC16F527	20	1	68	64	2-5,5	8	2	2	1

Таблица 10. Семейство контроллеров PIC16F753

	Шунт-регулятор	Число выводов	Память программ, Кслов	ОЗУ	АЦП, 10р	Компаратор	ОУ	Таймер (8/16-bit)	ЦАП	ССР/COG	НЛТ	Σ
PIC12F752	Нет	8	1	64	4	2	-	3/1	5-бит	1/1	Да	Да
PIC12HV752	Да											
PIC16F753	Нет	14	2	128	8	2	1	3/1	9-бит	1/1	Да	Да
PIC16HV753	Да											

Из периферийных модулей контроллер получит 8-разрядный АЦП, два аналоговых компаратора и два операционных усилителя.

Микроконтроллеры PIC16F753

Микроконтроллеры PIC12F752 и PIC16F753 (табл. 10) имеют таймер ограничения (Hardware Limit Timer — HLT) и модуль компенсации нарастания (Slope Compensation — SC). Оба контроллера присутствуют в версии с Шунт-регулятором, что позволяет запитывать контроллеры от высокого напряжения.

НОВАЯ ПЕРЕФЕРИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Система питания

Все новые семейства микроконтроллеров PIC10F32x, PIC12F1xxx, PIC16F1xxx, а также ряд других новых семейств имеют два варианта исполнения — F и LF. Контроллеры F имеют широкий диапазон питающих напряжений от 1,8 до 5,5 В и встроенный стабилизатор для питания низковольтного ядра. Таким образом, без применения дополнительных внешних элементов контроллеры имеют периферию, работающую в полном диапазоне питающих напряжений. Микроконтроллеры LF имеют диапазон питания от 1,8 до 3,6 В, при этом, из-за отсутствия встроенного стабилизатора напряжения питания ядра имеют меньшее потребление и более пригодны для приборов с батарейным питанием.

Модуль конфигурируемых логических ячеек (CLC — Configurable Logic Cell) предоставляет возможность создания комбинационных и последовательных логических схем.

Ключевые особенности:

- Конфигурируемые пользователем логические схемы с возможностью программного изменения.
- Логические функции — И/ИЛИ/Исключающее ИЛИ/НЕ/И-НЕ/ИЛИ-НЕ/Исключающее ИЛИ-НЕ
- Последовательная логика/Clock — D-триггер, JK-триггер, SR-триггер
- Входные источники:
 - Внешние выводы.
 - Периферия.
- Выход доступен:
 - Внешние выводы.
 - Периферия.
- Работа в режиме Sleep.

Достоинства:

- Увеличивает число внутренних соединений между периферией и портами ввода/вывода.
- Добавляет аппаратные функции и сохраняет место на печатной плате.
- Программное управление комбинационной и последовательной логики — эффективное создание программируемых логических элементов.
- Программно управляемые логические функции уменьшают размер кода и не требуют процессорного времени.

Примеры использования:

- Модуляция данных.
- Последовательная выдача питания.
- Декодеры Манчестер/IrDA.
- Импульсные источники питания.
- Логика общего назначения.
- Умные системы управления.

Пример повышающего регулятора с аналоговой обратной связью показан на рис. 2.

Модуль конфигурируемых логических ячеек (CLC) доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC10F32x, PIC1xF150x.

Генератор комплементарных сигналов (рис. 3) (CWG – Complementary Waveform Generator).

Ключевые особенности:

- Формирование комплементарных сигналов без участия программы.
- Различные источники входных сигналов: компараторы, ШИМ, CLC, NCO
- Контроль мертвого времени
- Автоматическое выключение/рестарт.
- Управление полярностью.
- Blanking Control (only in PIC12F752).

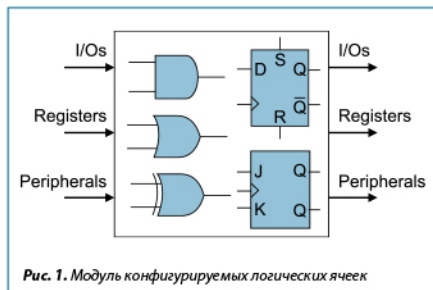


Рис. 1. Модуль конфигурируемых логических ячеек

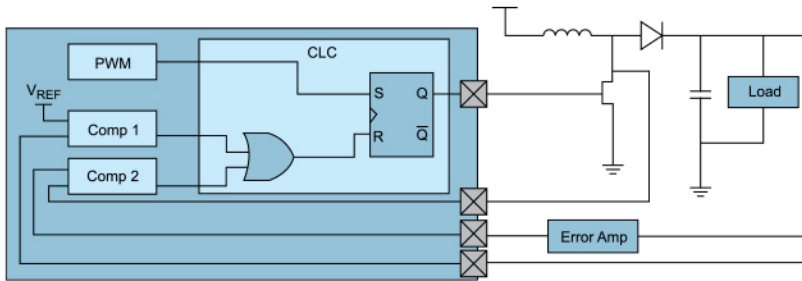


Рис. 2. Повышающий регулятор

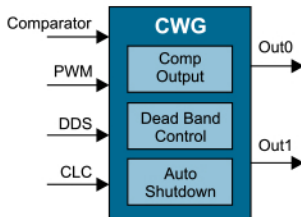


Рис. 3. Генератор комплементарных сигналов

- Управление светодиодным и флюорисцентным освещением.
- Зарядники батарей.
- Управление двигателями.
- Корректоры мощности.
- Звуковые усилители класса D.

Применение функций модуля CWG предоставляет дополнительные возможности управления мертвого времени и автовыключения. На рис. 4 показана полумостовая схема.

Пример понижающего преобразователя для питания светодиодов показан на рис. 5:

- Управление фазой (только в PIC12F752).
- Достоинства:
- Работа с различной периферией.
 - Не требует внешних компонентов.
- Примеры применений:
- Импульсные источники питания.

- Частота модуля CWG определяется частотой ШИМ.
- CWG управляет мертвым временем для предотвращения одновременного открытия обоих ключей.
- Модуль CWG имеет дополнительные функции — автоматическое выключение, управление полярностью.

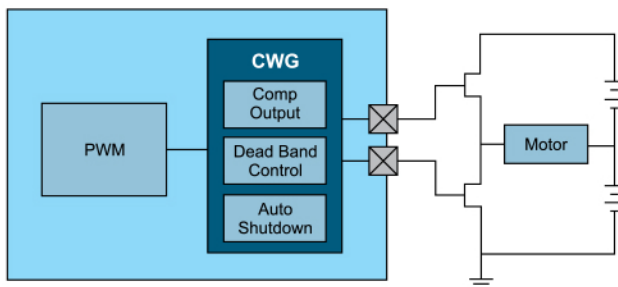


Рис. 4. Полумостовая схема с использованием CWG

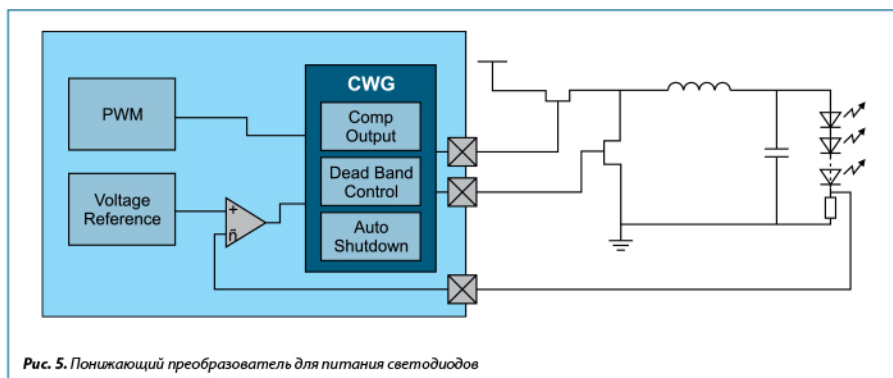


Рис. 5. Понижающий преобразователь для питания светодиодов

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC10F32X, PIC12F752, PIC1XF150X.

Синтезатор частоты (рис. 6) (DDS – Direct Digital Synthesis).

Ключевые особенности:

- Выделенный ШИМ с 20-разрядным разрешением.
- Высокочастотный тактовый вход.
- Различные выходные режимы:
 - Фиксированная скважность 50% (FDC — Fixed Duty Cycle).
 - Частотно-импульсная модуляция (PFM).

Достоинства:

- Линейное управление частоты.
- Увеличенное частотное разрешение.
- Недорогой цифровой управляемый генератор (DCO — Digitally Controlled Oscillator).

Примеры применений (рис. 7):

- Управление флуорисцентными и светодиодными лампами
- Управление неоновыми лампами

- Световые балласты
- Источники питания
- Управление двигателями
- Модемы
- Звуковые усилители класса D
- Ультразвуковые измерители расстояния.

Пример управления флуорисцентной лампой показан на рис. 8.

- DDS используется для создания линейно-изменяющейся частоты на стартовом участке и управления яркостью.
- Уменьшение потребления и увеличение срока службы лампы.

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC10F32X, PIC1XF150X.

Программируемый импульсный контроллер (PSMC — Programmable Switch Mode Controller) — специализированный ШИМ для импульсных источников питания, управления двигателями и освещением (рис. 9).

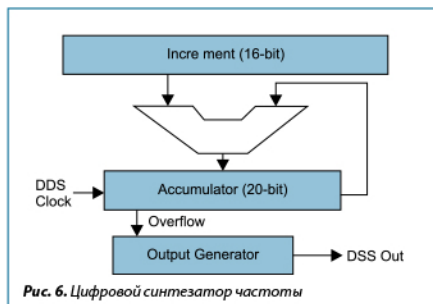


Рис. 6. Цифровой синтезатор частоты

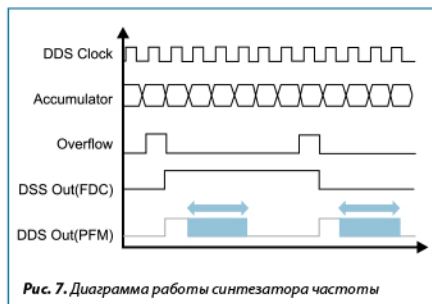


Рис. 7. Диаграмма работы синтезатора частоты

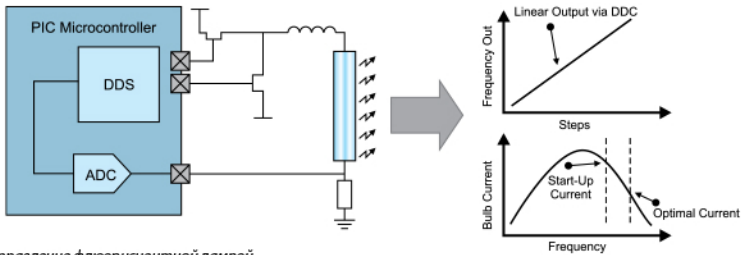


Рис. 8. Управление флюорисцентной лампой

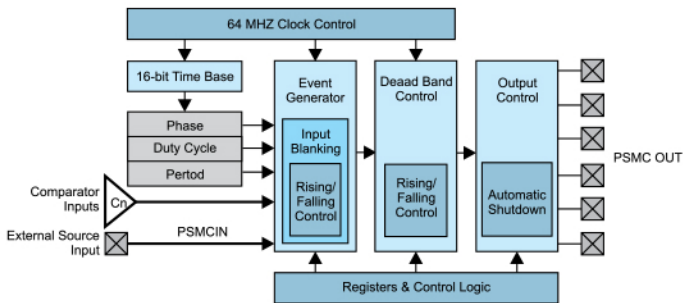


Рис. 9. Программируемый импульсный контроллер

Ключевые особенности:

- Работа на частоте 64 МГц независимо от системного тактового генератора.
- Один ШИМ-генератор до 6 выходами.
- До 3 комплементарных выхода от одного ШИМ.
- Push-pull ШИМ с поддержкой мостового и полумостового включения драйверов.
- Режим пропуска импульсов ШИМ.
- 3-фазный ШИМ.
- Режим с фиксированной скважностью.
- Управление коллекторными двигателями с поддержкой реверса.
- Индивидуальное включение выходов с управлением полярности, мертвого времени.
- Режим Burst
 - Позволяет внешним сигналам активировать или запрещать вывод ШИМ.
 - Диммирование.

Достоинства:

- Настраиваемый высокоскоростной ШИМ с увеличенной разрядностью.

- Упрощает реализацию таких задач как управление двигателями, создание импульсных источников питания и управления светодиодными лампами.

Примеры применений:

- Импульсные источники питания.
- DC/DC-преобразователи.
- Корректоры мощности.
- Управление светодиодной подсветкой и освещением.
- Автомобильные фары.
- Источник питания газоразрядных ламп.
- Электронные балласты.
- Управление двигателями: 3-фазными, коллекторными, БДПТ, асинхронными.
- Датчики: медицинские, температурные, давления.
- Управление зарядом батарей.
- Применения общего назначения, требующие высокочастотный ШИМ.

Пример понижающего источника питания светодиодной лампы показан на рис. 10.

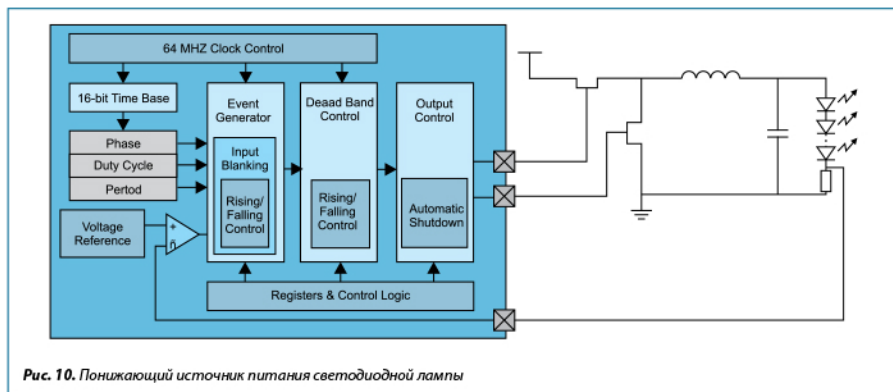


Рис. 10. Понижающий источник питания светодиодной лампы

- Увеличенная частота и контроль мертвого времени для синхронной работы ключей.
- Предоставляет автоматическое выключение, управления полярностью.

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC16F178x.

Операционный усилитель

Ключевые особенности:

- Все выводы подключаются к внешним выводам микроконтроллера.
- Заводская калибровка входного напряжения смещения.
- Выбор полосы единичного усиления.
- Возможность внутреннего подключения к выходу усилителя выходов ЦАП или источника фиксированного напряжения.

Встроенный в микроконтроллер операционный усилитель позволяет уменьшить число внешних элементов и организовать обратную связь в системах

питания, управления яркостью свечения светодиодов, управления электроприводом и других задачах. Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC16F178X, PIC16F527

Индикатор температуры — интегрированный температурный датчик. Пример калибровки датчика температуры приведен на рис. 11.

Ключевые особенности:

- Измерение в диапазоне от -40 до 85 °C.
- Внутреннее соединение с АЦП:
 - показания температурного канала АЦП зависят от температуры.
- Работа с датчиком описана в заметке по применению: AN1333.

Достоинства:

- Low cost temp measurements for any application.
- Не требуются внешние элементы.
- Улучшение точности часов реального времени при изменении температуры:
 - позволяет использовать дешевые кварцы.

Примеры применений (рис. 12):

- Мобильные телефоны.
- Электроинструмент.
- Домашняя электроника.
- Любое устройство, требующее знание окружающей температуры.
- Автоматическое выключение устройства при перегреве.
- Устройства, требующие калибровки генератора от температуры.

Пример кварцевого генератора с температурной компенсацией показан на рис. 13.

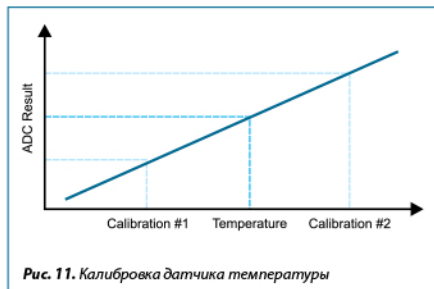
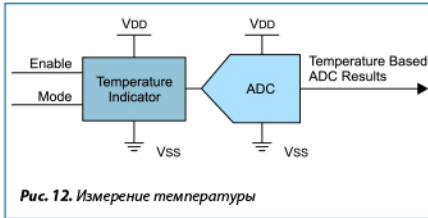


Рис. 11. Калибровка датчика температуры



Возможность использования дешевых кварцев в приборах с широким температурным диапазоном.

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC10F32X, PIC16F72X, PIC1XF15XX, PIC16LF190X, PIC16F182X, PIC16F178X, PIC16F193X/4X, PIC18K22.

Емкостной делитель напряжений (CVD — Capacitive Voltage Divider)

Ключевые особенности:

- Автоматизирование измерений емкости сенсоров.
- Возможность последовательного двойного преобразования.
- Управление драйверами защитного кольца (Guard Ring) сенсоров.
- Подключение до восьми внутренних дополнительных емкостей к УВХ.

Применение емкостного делителя напряжений это один из методов измерения емкости. Суть метода измерения емкости (рис. 14) заключается в уравнивании зарядов емкости сенсора и емкости устройства выборки-хранения (УВХ) АЦП и последующего

измерения результирующего напряжения с помощью АЦП.

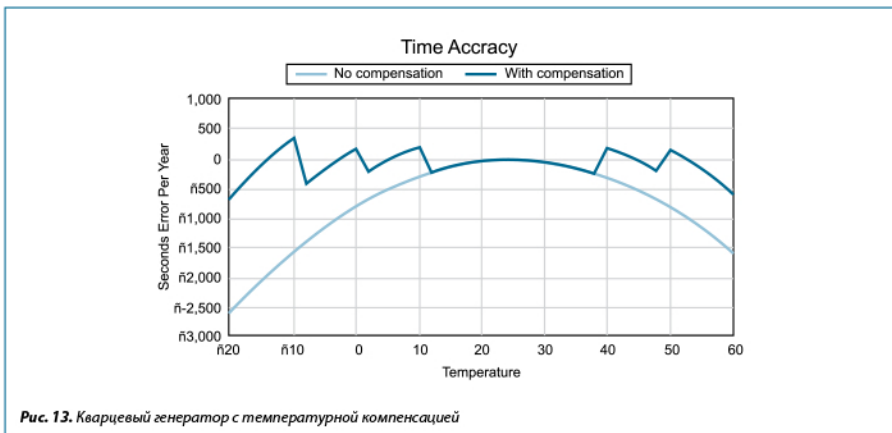
На первом этапе канал АЦП, а значит и конденсатор УВХ, подключаются к напряжению питания V_{DD} (конденсатор C_{HOLD} заряжен до напряжения V_{DD}). Далее аналоговый вход AN настраивается как выход с лог. 0 на выходе — емкость сенсора C_{SENSOR} разряжена. Затем вход AN конфигурируется как аналоговый вход и происходит уравнивание зарядов конденсаторов $C_{SENSORn}$ и C_{HOLD} . На последнем этапе измеряется напряжение V_{CHOLD} . Так как емкость УВХ неизменна, то изменение емкости C_{HOLD} будет приводить к изменению результирующего напряжения V_{CHOLD} . Подобный метод осуществим на любом PIC-контроллере с АЦП.

Автоматизированный емкостной делитель напряжений, появляющийся в новых микроконтроллерах, призван автоматизировать процесс измерения емкости внешних сенсоров.

При запуске модуль автоматически формирует предварительный заряд в течение заданного времени, управление выводом AN, переключением мультиплексора и запуском АЦП.

Помимо автоматизации измерений, модуль CVD имеет ряд дополнительных функций.

1. Для уменьшения влияния помех и увеличения точности модуль CVD позволяет проводить два последовательных измерения для последующего усреднения результатов. Для компенсации синфазной помехи модуль может производить два



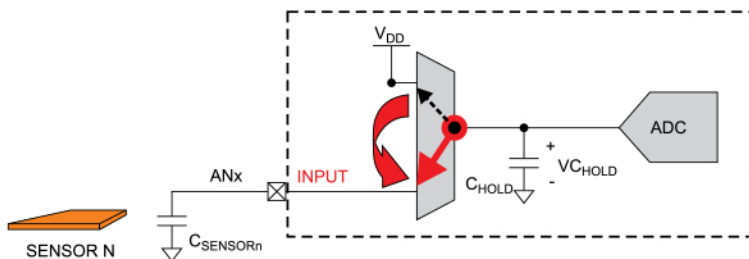


Рис. 14.

измерения — одно с зарядом УВХ до V_{DD} и разрядом сенсора, второе наоборот — с разрядом УВХ и заряженным до V_{DD} сенсором.

- Для увеличения расстояния для сенсоров и компенсации паразитной емкости (ослабления эффектов связанных с утечкой зарядов) аппаратный модуль CVD в микроконтроллерах имеет возможность синхронного управления двумя выходами для формирования «защитного» напряжения. С помощью двух внешних резисторов создается делитель напряжения так, чтобы напряжение на защитном кольце было примерно равно ожидаемому напряжению на сенсоре. Таким образом минимизируется разность напряжений между сенсором и защитным кольцом для уменьшения утечек заряда и экранировании сигнального проводника.
- Для расширения диапазона измеряемых емкостей существует возможность подключения дополнительных внутренних конденсаторов (значение емкости от 4 до 28 пФ) к емкости УВХ АЦП. Дополнительный конденсатор не оказывает влияния на точность АЦП так как он отключается на время преобразования.

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC16F1512/13.

Модулятор сигналов (рис. 15) (DSM — Data Signal Modulator) — простое создание коммуникационных протоколов.

Ключевые особенности:

- Модулирование входного сигнала или внутренних источников.
- Создание произвольных битовых последовательностей.

- Источники сигнала могут быть промодулированы с помощью:
 - Внешний вывод.
 - Модуль тактовых опорных частот.
 - ШИМ.
 - UART/SPI/I²C™.
 - Программно
 - Внутренний компаратор.

Достоинства:

- Легко создается IrDA канал данных или AM, ЧМ и ФМ модулированные последовательности.

Примеры применений:

- Амплитудная манипуляция (ASK).
- Частотная манипуляция (FSK).
- Фазовая манипуляция (PSK).
- Модемы.
- IrDA-поток.
- Пользовательские интерфейсы.

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC16F182x/184x.

SR-триггер (рис. 16) (SR Latch) — интегрированный 555-й таймер может многое.

Ключевые особенности:

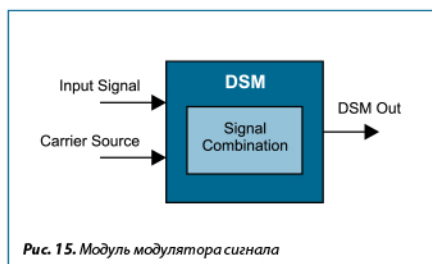


Рис. 15. Модуль модулятора сигнала

- Возможность совместной работы с встроенным компаратором.
- Источники установки и сброса триггера:
 - Выход компаратора.
 - Программное управление.
 - Внешний вывод.
 - Внутренний источник тактирования.
- Выход триггера доступен на внешнем выводе и для внутренней периферии.

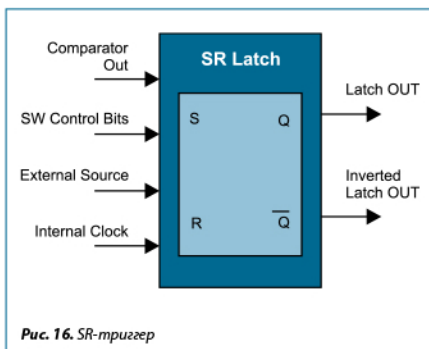
Достоинства:

- Возможность сделать все, что можно сделать на 555-м таймере.
- Создание дешевых генераторов сигналов.
- Несколько внешних компонентов.
- SR-триггер интегрирован в модуль CLC.

Примеры применений:

- Амплитудная манипуляция (ASK).
- Генератор сигналов.
- Импульсные источники питания.
- Управляемые напряжением генераторы.
- Генераторы.
- Управление яркостью ламп.
- Управление двигателями.
- Управляемый звуковой генератор.
- Сравнение фаз.

Аппаратный RS-триггер на выходе компараторов позволяют измерять временные интервалы, генерировать асинхронные импульсы и, как следствие, измерять емкость и реализовывать сенсорные клавиатуры. Microchip имеет запатентованную технологию реализации сенсорных (конденсаторных) клавиатур mTouch™, подробная информация о которой находится на сайте www.microchip.com/mtouch.



Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC16F61X, PIC16F690 Family, PIC16F182X/4X, PIC16F88X, PIC16F193X/4X, PIC18K22, PIC18K50.

Таймер с разрешением (рис. 17) (T1G — Timer 1 Gate) — измерение длительности входных сигналов.

Ключевые особенности:

- Разрешение счета 16-разрядного таймера (TMR1) от внешнего сигнала.
- Разрешающий сигнал:
 - Выходы компаратора.
 - Таймер 0 (TMR0).
 - Внешний вход (T1G вход).
- Источники тактирования:
 - Внутренний генератор.
 - Внутренний генератор с делителем на 4.
 - Кварц генератора Timer 1.
- Разрешение счета от:
 - от спада до спада,
 - от спада до фронта,
 - от фронта до фронта,
 - от фронта до спада,
 - прерывание по завершению события.

Достоинства:

- Измерение длительности импульсов внутренних и внешних сигналов.
- Не требует внешних элементов.

Примеры применений:

- Дельта-Сигма АЦП.
- Преобразование ШИМ-сигналов.
- Измерение длительности импульсов.
- Измерение частоты.

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC12F150X/151X, PIC16F61X Family, PIC16F690 Family, PIC16F72X, PIC16F182X/4X, PIC16F88X, PIC16F193X/4X, PIC18K22.

24-битный таймер измерения сигналов (Signal Measurement Timer – SMT) – измерение длительности входных сигналов.

Может конфигурироваться для измерения различных параметров цифровых сигналов, таких как длительность импульса, частота следования, скважность, а так же время между фронтами двух сигналов.

Ключевые особенности:

- Высокое разрешение в 24 бит.
- Два 24-битных регистра захвата и один 24-битный регистр совпадения периода.
- Управление полярностью входных сигналов.

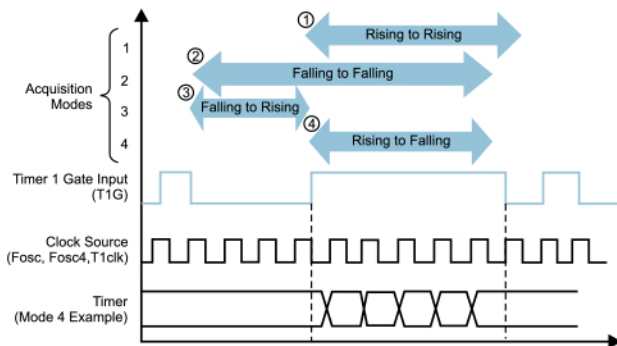


Рис. 17. Диаграмма работы таймера с разрешением

- Возможность использования как обычного таймера.
- Возможность использования для декодирования цифровых протоколов.

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC16F161x, PIC16F188xx, PIC18FxxK42.

Детектор перехода через Ноль (ZCD — Zero Cross Detect).

Модуль Детектора перехода через Ноль (ZCD) определяет ситуации, когда напряжение сигнала переменной амплитуды переходит через нулевой потенциал. Детектируемый сигнал подается на вход микроконтроллера через токоограничивающий резистор. Фактически порог детектора устанавливается немного выше потенциала земли. Модуль содержит источник вытекающего или втекающего тока, которые поддерживают на выводе ZCD постоянное напряжение для предотвращения прямого смещения интегрированных в порт защитных ЭСР-диодов. Модуль ZCD может применяться не только для фиксации моментов перехода переменного напряжения через ноль, но и для других задач как то: измерение периода переменного напряжения, точное измерение длительных процессов, управление диммированием ламп, уменьшение излучаемых помех при переключении нагрузки. Так, например, модуль ZCD может применяться при управлении силовым реле для включения двигателя переменного тока. Включение реле в точке нулевого фазного напряжения уменьшает искрение контакта реле, продлевая срок службы и уменьшая электромаг-

нитное излучение. Модуль ZCD, как и другие аппаратные модули, полностью автономен от ядра и может работать в Sleep-режиме.

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: семейство PIC16F170x.

Переназначение функций выводов (PPS — Peripheral Pin Select).

Модуль PPS известен многим разработчикам, применяющим контроллеры PIC24 и PIC18. Теперь модуль PPS появляется и в младших микроконтроллерах. Модуль PPS позволяет программно переназначать периферийные модули микроконтроллера на различные выводы микроконтроллера. Модуль переназначения выводов помогает оптимизировать разводку печатной платы, максимально использовать всю имеющуюся периферию, увеличить нагрузочную способность выходов, тестировать работу периферии.

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: семейство PIC12F752, PIC16F753.

Таймер ограничения (Hardware Limit Timer — HLT).

Таймер HLT это расширенная версия Timer 2, который может быть сброшен фронтом или спадом сигнала от выбранной периферии. Основное назначение таймера HLT это аппаратный контроль обратной связи от внешней периферии и ограничение времени её работы. Таймер HLT аналогичен сторожевому WDT таймеру, за исключением того, что контролирует не время работы программы, а время работы аппаратных частей. В нормальной ситуации внешний сигнал сброса должен придти раньше, чем срабатывает таймер HLT. Если

сигнал сброса не пришел в ожидаемое время, то срабатывает таймер HLT, который может управлять выходами ШИМ, компараторов, Генератора Комплементарных Сигналов. Таким образом, таймер HLT может управлять периферией микроконтроллера и предотвращать аварийные ситуации в управляемых импульсных источниках, контроллерах электропривода и др.

Доступен в следующих PIC микроконтроллерах: семейство PIC16F170х.

Модуль вычисления контрольной суммы (CRC). Позволяет аппаратно вычислять контрольную сумму данных, а так же проверку области flash-памяти программ и ОЗУ.

Ключевые особенности:

- Задаваемый пользователем полином (от 2 до 16 бит).
- Автоматическое фоновое сканирование памяти flash и ОЗУ.
- Независимая работа от ядра.
- Возможность работы в режиме сохранения энергии (Sleep).

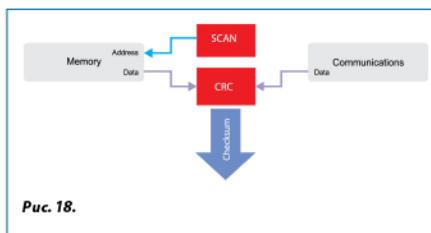


Рис. 18.

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: семейство PIC16F161х.

ШИМ с высоким разрешением (High Resolution PWM – HRPWM).

Совместное использование программируемого генератора и модуля логических ячеек позволяет получить ШИМ с высоким разрешением – до 17 бит при частоте 500 кГц.

Исходные коды примера настройки модулей для реализации ШИМ с высоким разрешением и подробное описание алгоритма см. в примере AN1476 (www.microchip.com).

Таблица 11.

	Обычный ШИМ	HRPWM
Разрешение ШИМ, бит	16	16
Тактовая частота, МГц	32	32
Желаемая частота ШИМ, кГц	50	50
Период ШИМ	1/500 кГц = 2 мкс	1/500 кГц = 2 мкс
Получаемый шаг ШИМ	1/16 МГц = 62,5 нс	15,26 пс
Максимальное число шагов на период	2 мкс / 62,5 нс = 32	2 мкс / 15,26 пс = 131072
Эффективное разрешение ШИМ	$\log_2 32 = 5$ бит	$\log_2 131072 = 17$ бит

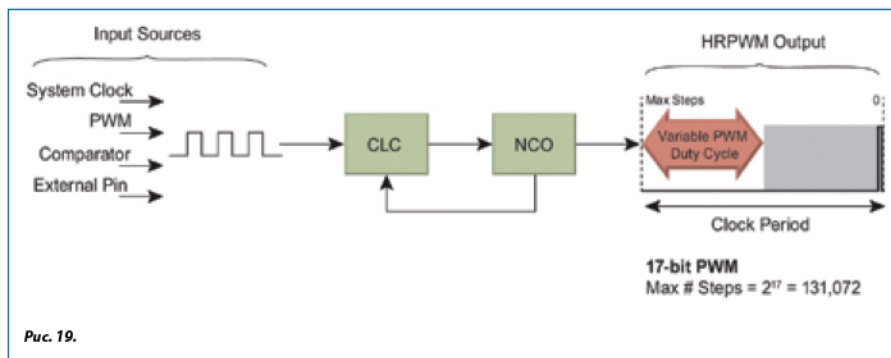


Рис. 19.

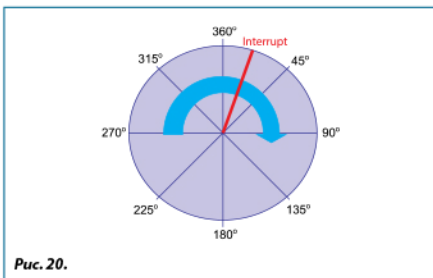


Рис. 20.

Доступен в следующих PIC-микроконтроллерах: PIC10F32х, PIC12F1501, PIC16F1503/7/8/9.

Угловой Таймер (Angular Timer) – упрощает управление двигателями, преобразует временные интервалы в угловые единицы. Позволяет обеспечить автоматическую подстройку частоты, упрощает

математические вычисления в задачах управления приводом.

Делит периодические сигналы на маленькие интервалы и позволяет сформировать сигналы, основанные на фазе входного сигнала.

Позволяет осуществить прерывание в заданной фазе, а также детектировать пропуск импульса.

Доступен в PIC16F1614/5/8/9.

Ускоритель математических функций (Math Accelerator) – аппаратный модуль 16-битного умножения, сложения, умножения с накоплением (MAC), программируемый ПИД-контроллер.

Выполняет операции типа:

$ACC += (A+B) \times C$

$PID = K_p + K_i/s + K_d \times s$

Позволяет существенно ускорить математические операции.

Доступность в PIC16F1614/15/18/19. ■

НОВЫЙ АЦП MCP3911 ДЛЯ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Особенности:

- 2 независимых 24-битных АЦП с дифференциальными входами и усилителями.
- Четыре режима тактирования: выбор между производительностью и энергопотреблением.
- Высшая точность АЦП: 94,5 дБ сигнал/шум + искажения, -106,5 дБ гармонические искажения.
- Встроенный источник опорного напряжения 1,2 В (точность 7 ppm/°C).

Microchip представляет новую измерительную микросхему для электросчетчиков — MCP3911 — два 24-битных дельта-сигма АЦП, работающая от 3 В и имеющая наивысшие в сегменте параметры точности: 94,5 дБ сигнал/шум + искажения и -106,5 дБ гармонические искажения. Каждый из двух дифференциальных каналов имеет программируемый усилитель (*1...*32). Четыре разных режима работы микросхем дают гибкость в выборе между энергопотре-

блением (0,8 мА на канал) и производительностью АЦП (выборка быстрых сигналов, данные для гармонического анализа и пр.). Температурный диапазон работы -40...+85 °С. Микросхема имеет интерфейс SPI для обмена данными и питание в диапазоне напряжений 2,7...3,6 В, что позволяет питать измеритель от того же источника питания, что и микроконтроллер.

Совместно с растущим рынком электросчетчиков, растет и рынок энергетического мониторинга, где требуются более производительные измерительные средства за меньшие деньги. Новая микросхема MCP3911 прекрасно удовлетворяют эти потребности: низкое энергопотребление, высокая точность и питание 3 В — все это снижает общую стоимость измерительной системы.

Для исследования характеристик новых микросхем и разработки выпускается отладочная плата MCP3911 Evaluation Board for 16-bit MCUs (ADM00398).

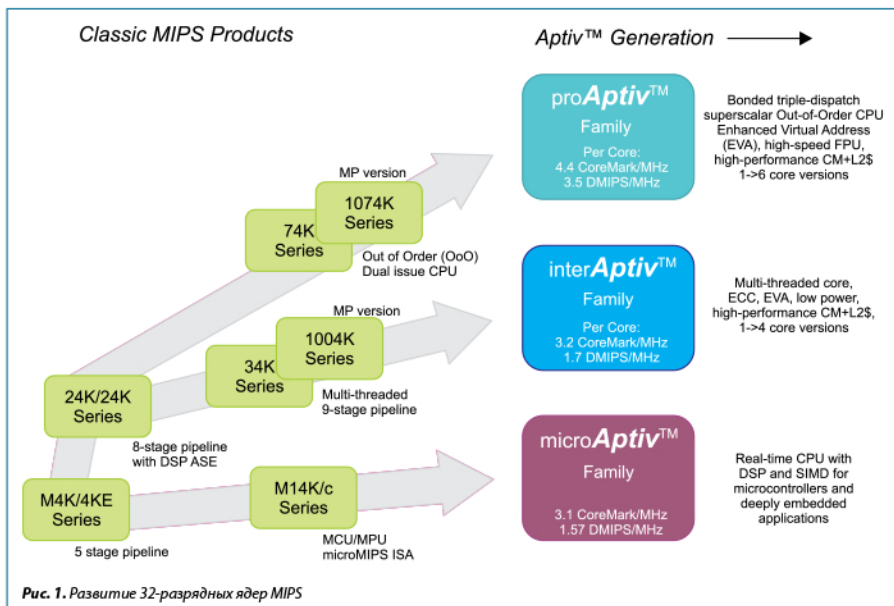
32-БИТ ЯДРА MIPS В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ MICROCHIP

На рынке 32-разрядных процессоров для встраиваемых систем применяются несколько платформ — ARM и MIPS одни из них. С начала своего основания компания ARM была нацелена на рынок встраиваемых систем, в то время как MIPS был сфокусирован на разработке процессорных архитектур для высокопроизводительных рабочих станций и серверов. Позднее компания ARM стала стремиться к более высокой производительности, потому что такие требования диктуются самым большим рынком для ARM — рынком мобильных телефонов. Между тем, MIPS начала стремиться в сторону меньших вычислительных мощностей, потому что там находится ее крупнейший рынок — потребительская электроника.

Архитектуры, разработанные MIPS, занимают серьезную долю рынка сетевых и телекоммуникационных устройств. Компания MIPS имеет более 125 лицензиатов своих ядер, которые совместно производят более 500 млн процессоров каждый год.

Откройте корпус спутниковой приставки, телевизора, DVD проигрывателя и вы в большинстве случаев обнаружите процессор на основе MIPS-ядра.

Для рынка встраиваемых систем MIPS (рис. 1) предлагает несколько ядер, полностью совместимых снизу



вверх. Для 32-битных микроконтроллеров, работающих в задачах реального времени, предназначены ядра M4K/M4KE, дальнейшее развитие этого семейства ядро M14K™ имеет microMIPS™ архитектуру сжатия набора команд, а ядро microArtiv дополнено функционалом цифровой обработки сигналов (ЦОС) с поддержкой множественного потока данных (Single Instruction Multiple Data — SIMD) и функциями защиты.

ЯДРО M4K. СРАВНЕНИЕ С CORTEX-M3

В 2002 г. компания MIPS Technologies представила ядро M4K — высокопроизводительное, синтезируемое ядро, оптимизированное для применения в микроконтроллерах, которое является основой контроллеров PIC32MX компании Microchip Technology Inc.

Ядро M4K разработано с набором функций, комбинация которых предоставляет лучшие в классе быстродействие и значительно превосходит предлагаемые компанией ARM ядра серии Cortex-M3.

Ядро M4K обеспечивает быстродействие 1,5 DMIPS/МГц, в то время как Cortex-M3 предлагает быстродействие примерно на 20% меньше (1,25 DMIPS/МГц), соответственно, для того чтобы выполнять код наравне с MIPS M4K, Cortex-M3 должен работать на частоте на 20% выше и, соответственно, потреблять больше энергии.

Достигнутые показатели быстродействия ядра MIPS M4K обеспечиваются следующими особенностями архитектуры.

Помимо 32-битных инструкций MIPS32, ядро M4K поддерживает набор команд MIPS16e, состоящий из «наиболее востребованных» инструкций MIPS32 в их 16-битном эквиваленте. Команды MIPS16e сжимают код в меньший размер памяти, сохраняя при этом высокий уровень производительности за счет снижения пропускной способности памяти и времени выполнения команд. Применение расширения системы команд MIPS16e™ (Application Specific Extension — ASE) уменьшает размер кода до 40%.

Ядро MIPS M4K имеет набор из 32 32-битных регистров общего назначения (РОН), число таких наборов может быть 1, 2, 4, 8 и 16. Эти наборы регистров сохраняют параметры и команды в чипе, снижая тем самым накладные расходы на пересылки в памяти, и освобождая командные циклы. Это положительно сказывается на увеличении производительности. Использование набора теневых РОН так же увели-

чивает быстродействие системы за счет уменьшения накладных расходов в обработчике прерывания. При возникновении прерывания или немаскированного прерывания (исключения) ядро определит какой теневой набор регистров будет использоваться, установит его как активный набор РОН и позволит выполняться программе с вектора прерывания. Эта особенность полностью устраняет необходимость сохранения и восстановления контекста при обработке прерываний, а так же сохраняет содержимое РОН от изменения в прерываниях, что уменьшает время работы обработчика прерывания.

Конвейер ядра в M4K имеет 5 стадий, в то время как ядро Cortex-M3 имеет 3-стадийный конвейер. Большая длина конвейера дает возможность ядру выполнять больше инструкций в секунду, но, с другой стороны, увеличивает время реакции на прерывания. Однако, как рассмотрено выше, наличие в M4K нескольких наборов РОН, позволяет существенно снизить накладные расходы на сохранение/восстановление контекста в обработчике прерываний. В ядре M4K все операции сдвигов выполняются за один цикл. Специальная логика (Bypass logic) включена в работу конвейера и предоставляет быстрый доступ к данным для использования в следующих инструкциях до того, как команда пройдет весь конвейер. Производительность улучшается в результате уменьшения числа циклов, необходимых для выполнения конкретной задачи.

Еще одно преимущество ядра M4K это высокопроизводительная реализация модуля Умножения и Деления (Multiply Divide Unit — MDU), который выполняет умножение 32x16 бит (или MAC-инструкцию) за один цикл, а операция 32x32 бит умножения выполняется за 2 цикла.

Модуль MDU в MIPS M4K это выделенный вычислительный блок, имеющий собственный конвейер и работающий независимо от конвейера выполнения команд ядра. Любая команда умножения и деления попадает напрямую в MDU, а следующая инструкция (не MDU) в конвейер ядра, тем самым обеспечивается параллельное выполнение команд без задержек (кроме случая, когда следующая за MDU инструкция должна использовать результат предыдущей MDU-команды).

Так как ядро M4K имеет два конвейера, то программист имеет возможность распараллелить процес-

Таблица 1. Сравнения ядер MIPS M4K и ARM Cortex-M3

Ядро	M4K		Cortex-M3	
DMIPS/МГц	1,5		1,25	
СМ/МГц	2,03		1,06–1,9	
Оптимизация ядра	По быстродействию	По площади	По быстродействию	По площади
Максимальная тактовая частота, МГц	228	100	135	50
Площадь кристалла, мм ²	0,64	0,185	0,74	0,38
Типовая мощность, мВт/МГц	0,214	0,066	0,165	0,084

сы, например пересылку данных и MDU инструкции и тем самым получить существенный выигрыш в быстродействии.

Модуль MDU особенно востребован в задачах ЦОС, таких как БПФ, реализации КИХ и БИХ фильтров, которые часто применяются в промышленных приложениях и задачах связи.

Поддержка в M4K инструкций подсчета количества старших нулевых битов (CLZ) и количества старших единичных битов (CLO), так же позволяет ускорить выполнение ЦОС-алгоритмов. Ядро Cortex-M3 не имеет поддержки подобных команд.

Как пример возможностей ускорения задач ЦОС, PIC32 выполняет 256-точечное 16-разрядное по основанию 4 БПФ за 22 000 циклов, что на 14% быстрее контроллера STM32 на базе ядра Cortex-M3.

В таблице 1 сведены параметры по оценке физических параметров архитектур MIPS M4K и ARM Cortex-M3 при реализации на одинаковых техпроцессах. Интересным фактом является то, что оптимизированное по площади ядро M4K, при той же тактовой частоте 100 МГц что и оптимизированный

по быстродействию Cortex-M3, имеет на 75% меньше площадь кристалла и на 58% меньшее потребление.

PIC32MX БОЛЬШЕ ЧЕМ M4K?!

Одним из лицензиатов процессорных архитектур MIPS является компания Microchip Technology Inc., которая на основе ядра MIPS M4K производит семейство контроллеров PIC32MX, краткие характеристики которых приведены в таблице 2.

Синтезируемые ядра MIPS позволяют создавать микроконтроллеры и добавлять ряд пользовательских функций. Разрабатывая PIC32 — сложную систему на кристалле (system-on-chip — SoC), компания Microchip внесла ряд функциональных улучшений в контроллеры PIC32MX относительно базового ядра M4K. К таким улучшениям относятся Кэш инструкций, Шинная матрица (Bus Matrix), Контроллер прерываний и интерфейс отладки ICSP.

Буфер и Кэш предвыборки инструкций

В PIC32 приложение может выполняться как из внешней flash-памяти, так и из внутреннего ОЗУ,

Таблица 2. Семейство контроллеров PIC32MX

Микро-контроллер	Тактовая частота, МГц	Размер памяти Flash/RAM, кбайт	Число выводов	UART/SPI/PC	USB	CAN	Ethernet	PPS	I ² S/AC97
PIC32MX1xx	40/50	16–128 / 4–32	28–44	2/2/2	–	–	–	да	да
PIC32MX2xx	40/50	16–128 / 4–32	28–44	2/2/2	FS Host/OTG	–	–	да	да
PIC32MX3xx	80	32–512 / 16–32	64–100	2/2/2	–	–	–	да	да
PIC32MX4xx	80	64–512 / 16–32	64–100	2/2/2	FS Host/OTG	–	–	да	да
PIC32MX5xx	80	64–512 / 16–64	64–100	6/3/4	FS Host/OTG	да	–	–	–
PIC32MX6xx	80	64–512 / 32–128	64–100	6/3/4	FS Host/OTG	–	да	–	–
PIC32MX7xx	80	128–512 / 32–128	64–100	6/4/5	FS Host/OTG	да	да	–	–

которое можно динамически разделить на области программ и данных.

В высокоскоростных процессорах узким местом, снижающим быстродействие, является Flash память программ, с её ограничениями на время доступа. Семейство PIC32MX имеет flash-память с 128-битной шиной, которая позволяет за одно обращение выбирать четыре 32-битных инструкции, что соответствует выборке из Flash-памяти с учетверенной скоростью. Однако, даже при наличии 128-битного буфера предвыборки, выполнение инструкций с тактовой частотой ядра не представляется возможным, так как реальное приложение содержит ветвления и повторяющиеся инструкции, а также производит чтение данных из флэш-памяти.

Поэтому в архитектуру PIC32MX был введен конфигурируемый кэш предвыборки, состоящий из 16128-битных строк, из них 4 строки могут использоваться в качестве кэша данных, что полезно при обработке массивов данных.

Кэш предвыборки выполняет две задачи: кэширование инструкций, к которым осуществляется доступ и предвыборка инструкций из Flash памяти, до того как они необходимы для исполнения. Каждая строка кэш-строки содержит признак, описывающий что хранится в строке и адреса памяти, команды из которых находятся в Кэше. Обычно строки Кэша содержат копию участка памяти Flash, данные из которой доступны ядру без задержек.

Использование кэша предвыборки позволяет выполнять линейный код на максимальной частоте тактирования без состояний ожидания. Этому способствуют две линии кэша с адресной маской,

которые могут содержать повторяющиеся инструкции, а так же механизм предикативной выборки инструкций.

Bus Matrix — Шинная Матрица

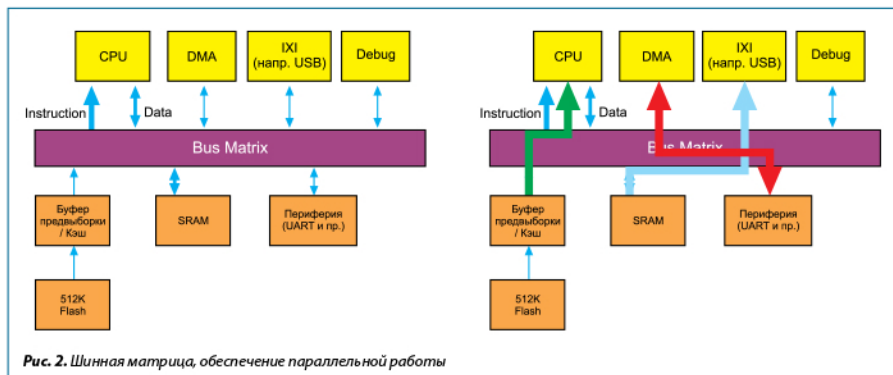
Процессоры PIC32MX имеют две отдельные шины:

- (CPU IS) — для выборки инструкций;
- (CPU DS) — для выборки данных.

Для подключения периферийных устройств PIC32MX содержит две внутренние шины. Одна периферийная шина соединяет большинство периферийных модулей. Другая — высокоскоростная — соединяет контроллер прерываний, контроллер Прямого Доступа к Памяти (ПДП, DMA), канал внутрисхемной отладки и шину высокоскоростной периферии.

Шинная матрица соединяет Ведущие устройства (так же называемые Инициаторами) к Ведомым устройствам (Target). Процессоры PIC32MX имеют до пяти Инициаторов и три Ведомых (Flash, RAM и низкоскоростная периферия).

Инициаторы, всегда присутствующие в PIC32, это Шина Инструкций (CPU IS), Шина Данных (CPU DS), шина внутрисхемного отладчика (ICD) и контроллер ПДП (DMA). Некоторые PIC32MX так же содержат Интерфейс Расширения Инициаторов (Initiator Expansion Interface — IXI), которые подключают высокоскоростную периферию — USB, Ethernet и т. п. Шинная матрица является специальным переключателем, который обеспечивает одновременный множественный доступ между различными ведущими (Masters) устройствами на шинах, которые обращаются к разным адресатам. На рис. 2 приведен пример, когда шинная матрица обеспечивает параллельный



доступ к различным адресатам: Ядро процессора привлекает команду из Flash памяти, Контроллер DMA соединен с низкоскоростной периферией (UART), а высокоскоростной интерфейс USB подключен к ОЗУ. Если необходим одновременный доступ более чем одного Инициатора к одному и тому же Ведомому, шинная матрица организует последовательный доступ с помощью трех режимов арбитража. Режимы арбитража устанавливают уровни приоритетов каждого из Инициатора.

DMA-интерфейс

Контроллер DMA предназначен для передачи данных между блоками памяти и периферийными модулями без участия ядра контроллера.

Семейство PIC32MX имеет до 8-идентичных каналов DMA, которые могут использоваться как для передачи данных между периферией и памятью, так и для переноса данных между блоками памяти. Дополнительно в PIC32MX присутствует до 8 выделенных каналов DMA для работы с высокоскоростной периферией (USB, Ethernet, CAN).

Контроллер DMA позволяет обеспечивать транзакции на уровне слов и байтов. В последнем случае выравнивания по слову данных не требуется. Арбитраж доступа осуществляется на основании фиксированных приоритетов каналов.

Два канала DMA могут быть объединены в цепочку — после окончания передачи ведущего канала автоматически запускается ведомый канал.

Каналы могут работать в двух адресных режимах: нормальном и расширенном. В нормальном режиме объем передаваемых данных ограничен 256 байтами, но допустима транзакция по не выравненному адресу и передача типа «память-периферия». В расширенном режиме адресации объем передаваемых данных может достигать 64 кбайт.

Контроллер DMA имеет в своем составе модуль вычисления циклического избыточного кода (CRC), который может быть подключен к любому каналу. Модуль позволяет вычислять CRC любой разрядности с произвольным полиномом.

Набор теневых регистров

В процессорах PIC32MX реализовано два набора Регистров Общего Назначения (ПОН, General Purpose Registers — GPR). Второй набор предназначен для ис-

пользования с высокоприоритетными прерываниями. Этот дополнительный набор ПОН так же называется теневым набором регистров (shadow register set). Когда происходит высокоприоритетное прерывание, процессор автоматически переключается на теневой набор ПОН без вмешательства программы. Это снижает задержку в обработке прерывания на сохранение контекста и уменьшает время реакции на прерывание. Набор теневых регистров управляется регистрами системного сопроцессора (System Coprocessor — CPO), а так же контроллером прерываний.

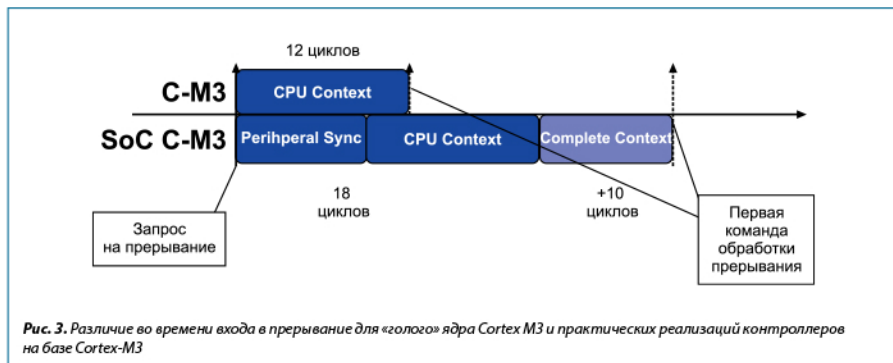
Контроллер прерываний

Ядро M4K поддерживает три варианта реализации контроллера прерываний: совместимый с ранней реализацией MIPS32 Release 1; векторный; внешний контроллер прерываний. Векторный контроллер прерываний в M4K поддерживает только восемь приоритетных прерываний, поэтому в SoC PIC32MX реализован внешний векторный контроллер прерываний, аналогичный применяемому в 16-разрядных контроллерах Microchip (PIC24 и dsPIC).

Контроллер прерываний в PIC32MX обладает следующими характеристиками:

- время реакции на прерывание — не более 5 тактов генератора;
- до 96 источников прерываний;
- до 64 векторов прерываний;
- каждый вектор прерывания может иметь приоритет от 1 до 7;
- каждый вектор прерывания может иметь дополнительный приоритет от 0 до 3;
- теневой набор ПОН для обслуживания высокоприоритетного прерывания;
- конфигурируемое положение векторов прерываний;
- конфигурируемая дистанция между векторами прерываний;
- возможность программной генерации любого прерывания;
- таймер отложенных прерываний.

В контроллере прерываний PIC32MX векторов прерываний меньше чем источников, поэтому часть источников прерываний используют один вектор. Как правило, это прерывания одного периферийного модуля. Приоритеты назначаются пользователем не источнику прерывания, а вектору.



Вектора с приоритетами 7 могут использовать дополнительный набор РОН, что позволяет снизить время входа в функцию обработки прерывания, так как в этом случае контекст сохранять не требуется.

Интересной особенностью контроллера прерываний является наличие таймера отложенных прерываний. Для использования этого таймера необходимо установить его период (32-битный регистр) и приоритет прерывания таймера. При возникновении запроса на прерывание все источники с приоритетом ниже или равным приоритету таймера запустят этот таймер. Как только значение таймера будет равно нулю, установится флаг источника прерывания, запустившего таймер.

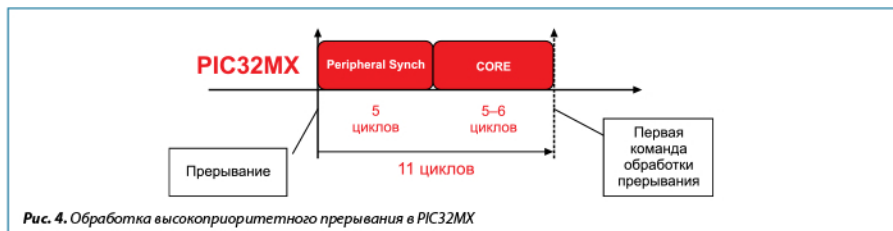
Процессоры PIC32MX являются системой на кристалле. Аналогично и процессоры на базе Cortex-M3 нужно рассматривать не как «голое» ядро, а как систему со своими особенностями. Рассмотрим отличия контроллеров прерываний, реализованных в SoC PIC32 и некоторых из System on Chip на базе Cortex-M3. Ядру Cortex-M3 требуется 12 циклов для сохранения контекста. Однако, в практических реализациях процессоров

на базе Cortex-M3, ситуация несколько иная. Так, в SoC на базе Cortex-M3, обработку прерываний нужно от 18 до 28 циклов на вход в прерывание (рис. 3). Время входа в обработчик прерывания состоит из: 6 циклов реакции на прерывание и синхронизации периферийной шины SoC; автоматического сохранения контекста ядра C-M3 (сохранение регистров r0–r3, r12, LR, PC) за 12 циклов; и полного сохранения контекста — еще 10 циклов (сохранение регистров r4–r11, r13, r14).

При обработке высокоприоритетного прерывания, как писалось выше, в PIC32MX используется набор теневого РОН, поэтому не требуется сохранение и восстановление контекста. На вход в прерывание требуется только 11 циклов (рис. 4).

При обработке низкоприоритетных прерываний процессору PIC32 требуется 28 цикла (рис. 5). Время обработчика низкоприоритетных прерываний состоит из: 5 циклов реакции на прерывание и синхронизации периферии; 5–6 циклов для автоматического сохранения регистров ядра и 13 циклов на сохранение контекста.

Только простой обработчик прерываний выигрывает от автосохранения контекста в Cortex-M3. Ком-



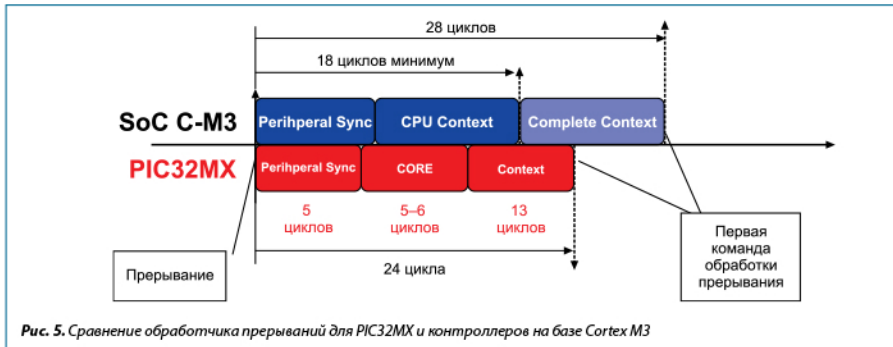


Рис. 5. Сравнение обработчика прерываний для PIC32MX и контроллеров на базе Cortex M3



Рис. 6. Вариант автосохранения контекста без использования цепочек

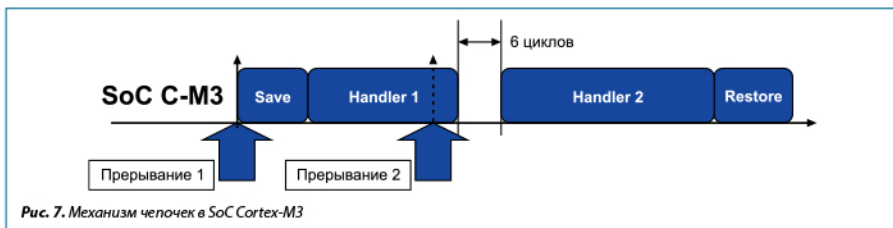


Рис. 7. Механизм цепочек в SoC Cortex-M3

пلياتоры Си автоматически сохраняют контекст при вызове функций и использовании регистров, поэтому общее время обработки прерывания становится больше.

Рассмотрим случай, когда начата обработка одного прерывания и поступает второе прерывание с таким же приоритетом. Автосохранение контекста в SoC Cortex-M3 в таком случае не эффективно (рис. 6), поэтому применяется специальный механизм цепочек.

Механизм цепочек уменьшает задержку между обработкой двух прерываний, запрещая автосохранение контекста (рис. 7).

Архитектура PIC32MX не требует специальных механизмов для обработки нескольких прерываний. Все-

го 3 дополнительных цикла требуется для обработки двух прерываний в многовекторном режиме (рис. 8).

Интерфейс отладки ICSP

Помимо стандартного для архитектуры MIPS интерфейса JTAG, в PIC32 добавлен интерфейс отладки ICSP, присутствующий во всех PIC-микроконтроллерах Microchip, что обеспечивает совместимость отладочных средств и программаторов с остальными семействами контроллеров.

За счет этого, разработчики могут переходить от одного семейства контроллеров к другому, в рамках одного производителя, не меняя отладочные средства. Для тех же, кто имеет JTAG отладчики остается возможность отладки через этот интерфейс.

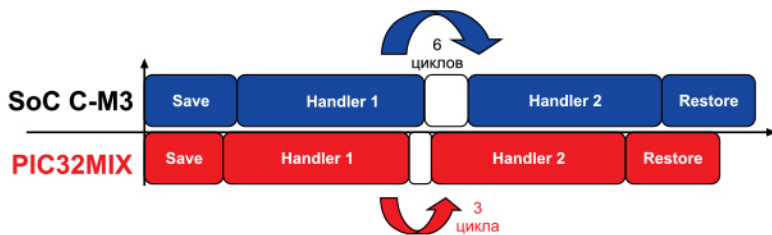


Рис. 8. Сравнение обработки последовательных прерываний в PIC32MX и SoC Cortex-M3

Итоги

За счет перечисленных особенностей ядра MIPS M4K, а так же перечисленных улучшений, внесенных Microchip при разработке PIC32MX, получившиеся процессоры имеют большее быстродействие, чем «голое» ядро M4K (1.56DMIPS/МГц против стандартных 1,5 DMIPS/МГц).

Архитектура ядра M4K, а соответственно и PIC32 имеет хорошую гибкость кода, позволяя применять две системы команд: MIPS32 и MIPS16e. Разработчик может использовать обе системы команд одновременно. Система команд Thumb2 конкурирующего ядра ARM Cortex-M3 теряет гибкость — можно применять либо 16-либо 32-битные команды.

На многих задачах с плавающей точкой PIC32MX работает существенно быстрее, чем, например

Cortex-M3. Диаграмма на рис. 9 демонстрирует нормированное, приведенное к одной частоте время выполнения алгоритмов работы с плавающей точкой на контроллерах Cortex-M3 (Thumb2) относительно PIC32MX (источник www.smxrtos.com, данные для Cortex-M3 приведены для STM32F103VBT6 и компилятора Keil v4.13; для LM3S8962 и компилятора IAR v5.20; для PIC32 используется GNU-компилятор). Диаграмма показывает, что при использовании библиотек плавающей точки в компиляторах Keil и IAR архитектура Cortex-M3 существенно проигрывает MIPS32 M4K и в частности контроллерам PIC32MX.

Контроллеры PIC32 являются лидерами в своем классе по производительности. Одно и то же приложение занимает меньше памяти и выполняется

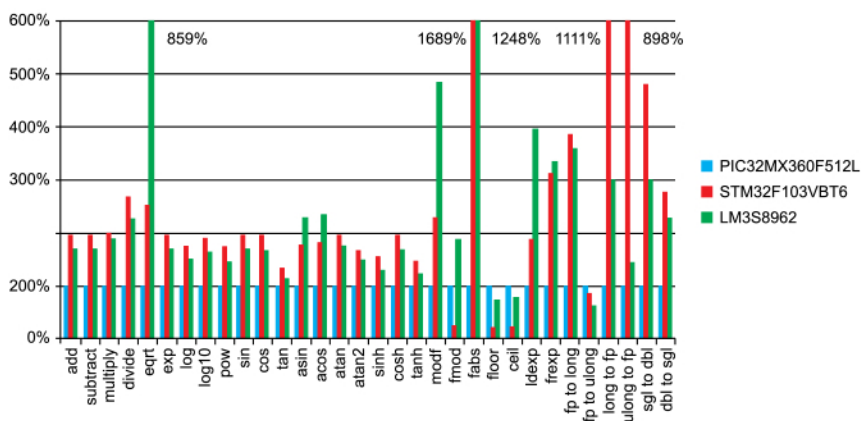


Рис. 9. Сравнение времени выполнения алгоритмов с плавающей точкой для PIC32 и контроллеров, на базе Cortex-M3

быстрее, что позволяет уменьшить тактовую частоту процессора, обеспечив меньше потребление.

ЯДРО MICROAPTIV

Ядро M14K (и версия с кэшем M14Kc) является развитием ядра M4K, в котором реализована система команд microMIPS™, которая содержит как 16- так и 32-битные инструкции, что позволяет увеличить плотность кода и пропускную способность ядра. Система команд microMIPS™ уменьшает размер кода как минимум на 30% при сохранении быстродействия на уровне ядра M4K.

Ядро microAptiv™ это следующая ступень развития ядра MIPS32 (рис.10). Основанное на M14K, ядро microAptive получило большее быстродействие, дополнено ЦОС расширением ядра MIPS и новыми возможностями защиты памяти и интерфейса отладки.

Основное улучшение архитектуры microAptiv это ЦОС расширение ядра и системы команд (MIPS32 DSP Application Specific Extension — ASE), позволяющее выполнять за один такт любую команду из полного набора DSP- и команд умножения с накоплением (Multiply and Accumulate — MAC).

Расширение MIPS32 DSP ASE это комбинация аппаратной и программной частей, разработанное для улучшения возможностей применения ядра в задачах ЦОС. При разработке DSP ASE разработчики старались как можно больше задействовать существующие цепи ядра для того, чтобы не влиять на площадь кристалла и тактовую частоту.

Ядро microAptive, как M14K и M4K, имеет два независимых 5-стадийных конвейера: конвейер ядра, который выполняет стандартные команды (загрузка/хранение, вычисления, переходы) и конвейер MDU (Multiply Divide Unit). Оба конвейера работают параллельно и независимо друг от друга. Расширение MIPS32 DSP ASE использует оба конвейера ядра и MDU для выполнения своих инструкций.

В дополнение к операциям целочисленного деления и умножения, конвейер MDU выполняет DSP инструкции с командами умножения и доступом к аккумуляторам (microAptive имеет до четырех 64-битных аккумуляторов). Кроме того, реализованы переадресации внутри конвейера ядра, а так же между АЛУ и MDU, когда результат предыдущей команды посылается непосредственно к текущей, в обход обновления регистров.

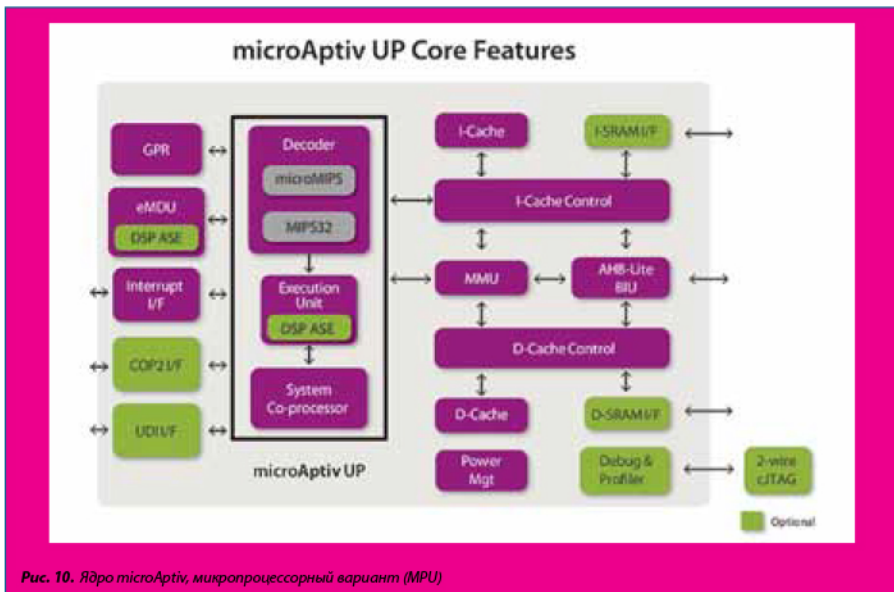
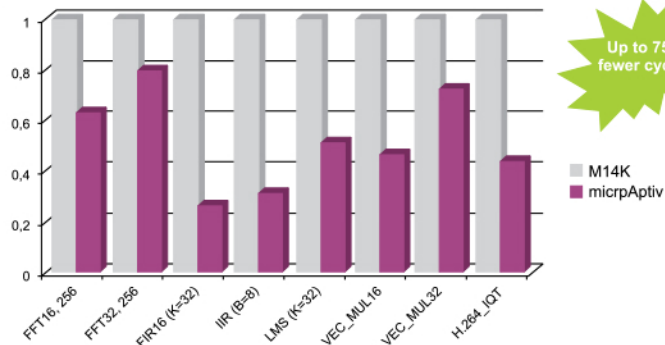


Рис. 10. Ядро microAptiv, микропроцессорный вариант (MPU)

Cycles



Up to 75% fewer cycles

Рис. 11. Сравнение microAptiv (с DSP ASE) и M14K (без DSP ASE). (Чем меньше циклов, тем лучше)

Расширенный набор инструкций добавляет 159 DSP команд, включая 70 команд поддерживающих множественный поток данных (Single Instruction Multiple Data — SIMD) и 38 команд умножения/MAC. Специализированный ЦОС набор включает ряд арифметических инструкций с опциями насыщения и округления, операции сравнения/выборки, загрузки и накопления и команды упаковки/распаковки данных, которые обычно используются в функциях масштабирования. В дополнение к обычно встречающимся операциям, DSP ASE также включает некоторые функции, повышающие производительность. Примером являются функции извлечения произвольных битов, например из входного потока. Другие функции позволяют эффективно обрабатывать комплексные числа. Набор команд также включает в себя новый и эффективный способ для поддержки виртуальных кольцевых буферов.

Инструкции умножения/MAC работают со встроенным массивом умножителей 32x32, который выполняет 32x32, 16x16, две по 16x16, две 16x8 и две 8x8 операции умножения за один такт. Результаты умножения/MAC инструкций могут быть записаны на любом ПОН или аккумуляторе.

Дополнительный аппаратный модуль ЦОС позволяет существенно повысить быстродействие для приложений, требующих математических вычислений. Так, в сравнении с ядром M14K, большинство DSP-инструкций требуют в два раза меньше време-

ни, а реализация 16-битного КИХ-фильтра ($\kappa = 32$) требует на 75% меньше циклов (рис. 11).

Высокое быстродействие и функционирование ядра микроконтроллера в реальном времени обеспечивается быстрой реакцией на прерывание, одноцикловым доступом к статическому ОЗУ и Flash-памяти. Возможности отладки так же были улучшены с добавлением возможности использования 2-проводного JTAG интерфейса. В дополнение, microAptiv предоставляет повышенный уровень секретности при помощи модуля защиты памяти и новыми защищенными возможностями отладки.

Ядро microAptiv включает контроллер Кэш-памяти и Модуль управления памятью (Memory Management Unit — MMU), что делает его пригодным для использования операционных систем реального времени, требующих управления виртуальной памятью. Ядро microAptiv конфигурируется для поддержки трех систем команд: MIPS32, MIPS32 + microMIPS или только microMIPS. В режиме системы команд microMIPS, ядро microAptiv достигает быстродействия 3,09 CoreMark/МГц и 1,57 DMIPS/МГц.

Ядро microAptiv доступно в двух вариантах:

- microAptiv MCU ядро — микроконтроллерный вариант без кэша с быстродействующим интерфейсом со статической памятью ОЗУ;
- microAptiv MPU ядро — микропроцессорный вариант с контроллером кэш-памяти, контроллером управления памятью с буфером динамической

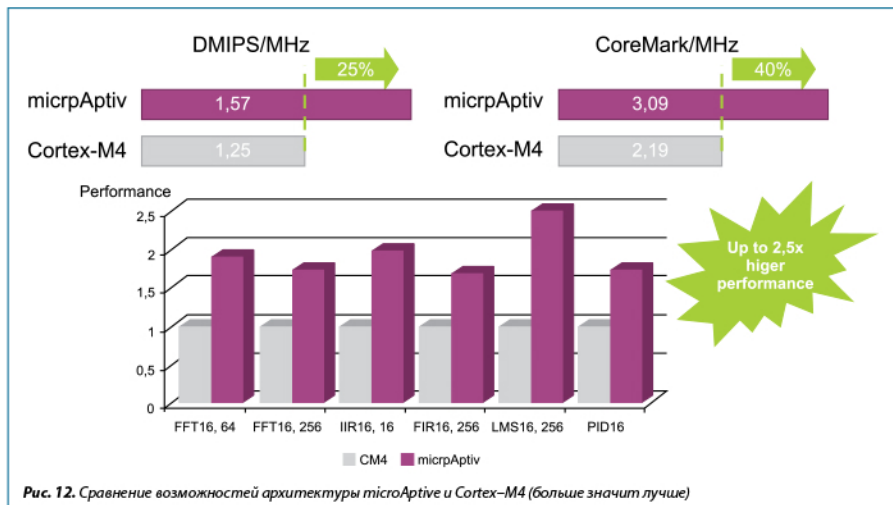


Рис. 12. Сравнение возможностей архитектуры microAptiv и Cortex-M4 (больше значит лучше)

Таблица 3.
Сравнение архитектур microAptiv и Cortex-M4

	MIPS microAptiv	ARM Cortex-M4
Особенность		
Длина конвейера	5	3
Версия с Кэшем/MMU	Да	Нет
Система команд	MIPS32 и microMIPS	Thumb2
Число инструкций	300	155
РОН (наборов)	32 (32)	16 (1)
Closely coupled memory support	Да	Нет
Реакция на прерывания	10 циклов	12 циклов
Трассировка команд	Да	Нет
Быстрый канал отладки	Да	Нет
DSP-возможности		
Число DSP-инструкций	159	80
SIMD команд	70	38
Команд умножения/MAC	38	29
Выделенный DSP/MDU	Да	Нет
Аккумулятор	Да (64 бит ×4)	Нет
16x8, два 8x8 умножителя/MAC	Да	Нет
Команды сдвига	Да	Нет
Команды Сравнения/Pick	Да	Нет

трансляции адресов (TLB MMU), что позволяет запускать операционные системы, которые оперируют виртуальной памятью, например, Linux или Android.

СРАВНЕНИЕ АРХИТЕКТУР MIPS MICROAPTIVE И ARM CORTEX-M4

Наиболее близким конкурентом ядра microAptive является Cortex-M4. Обе архитектуры microAptive и Cortex-M4 были разработаны для микроконтроллеров с возможностью выполнения задач ЦОС. Однако microAptive предлагает более богатый набор микроконтроллерных и ЦОС возможностей. Сравнение основных отличий приведено в табл. 3.

Ядро Cortex-M4 основано на Cortex-M3 с добавлением простых функций ЦОС. По тестам производительности ядро microAptiv показывает большую на 25% (DMIPS) и 40% (CoreMark) производительность относительно Cortex-M4 (рис. 12).

При оценке возможностей Цифровой Обработки Сигналов отличия становятся еще более существенными. Расширение DSP ASE ядра microAptiv имеет свой отдельный конвейер, работающий параллельно конвейеру ядра, тогда как в Cortex-M4 существует только один конвейер. Ядро microAptiv имеет до четырех 64-битных аккумуляторов и дополнительные наборы РОН для хранения результатов ЦОС-инструкций, тогда

Таблица 4. Основные параметры контроллеров PIC32MX и PIC32MZ

	PIC32MX	PIC32MZ
Ядро	M4K	microActive MPU
Тактовая частота (МГц)/быстродействие (DMIPS)	80 МГц/125 DMIPS	200 МГц/314 DMIPS
Размер памяти Flash/ОЗУ (кбайт)	512 (+12K Boot Flash)/128	2048 (+160K Boot Flash)/512
Кэш	2 кбайт предвыборки команд	Кэш L1 (16 кбайт инструкций и 4 кбайт данных)
РОН (число наборов)	32(2)	32(8)
ЦОС	Нет. Отдельный MDU с поддержкой MAC-команд	Да. Отдельный MDU с поддержкой MAC-команд, DSP и SIMD-команды, четыре 64 бит аккумулятора
Интерфейсы внешней памяти	–	EBI (до 64 Мбайт) и SQI (до 64 Мбайт)
DMA	8 (+ до 8 для высокоскоростной периферии USB, Ethernet и CAN)	8 (+ до 14 для высокоскоростной периферии: USB, Ethernet, SQI и др.)
USB-интерфейс	USB FS Host, Device и OTG	USB HS/FS Host, Device и OTG
Крипто модуль	Нет	Да, поддержка AES, 3DES, SHA, MD5 и HMAC, RND-генератор

как Cortex-M4 не имеет аккумуляторов и использует общий с ALU набор РОН, который к тому же, состоит только из 16 регистров (против 16 наборов из 32 регистров). Ядро microArtiv имеет в два раза больше ЦОС команд, больший набор функций и больше SIMD и MAC-инструкций. И наконец, microArtiv имеет более гибкие операнды сдвига/масштабирования.

Компания ARM предоставляет программную библиотеку для Cortex-M4, называемую Cortex Microcontroller Software Interface Standard (CMSIS). Включенный в CMSIS набор ЦОС алгоритмов аналогичен представленным алгоритмам в библиотеке MIPS DSP Library. Отличия в производительности одних и тех же алгоритмов приведены на рис. 12. Результаты были получены для платы ST32FM4 Discovery с использованием отладочной платформы Keil MDK. Результаты для ядра microArtiv были измерены на плате MIPS SEAD-3 с применением компилятора Mentor Sourcery CodeBench gcc. Полученные результаты иллюстрируют существенное превосходство ядра microActive при выполнении наиболее часто применяемых ЦОС алгоритмов.

Библиотека MIPS DSP Library содержит функции БПФ (FFT-16, FFT-32), фильтрации (IIR16, FIR, LMS), векторной математики и функции кодирования и декодирования видео H264. Эти алгоритмы были разработаны и оптимизированы с учетом описанных свойств ядра. Критические части кода написаны на ассемблере, другие, менее используемые и не критические подпрограммы, реализованы

на Си. Версия DSP библиотеки, оптимизированная под ядро microArtiv, использует DSP ASE по возможности в microMIPS формате.

PIC32MZ С ЯДРОМ MICROACTIVE

Компания Microchip запускает производство новые высокопроизводительные 32-разрядные контроллеры PIC32MZ (табл. 4). Новые контроллеры PIC32MZ семейства EC (Embedded Connectivity) имеют уникальные параметры, прежде не встречавшиеся в продукции Microchip. Основанные на ядре microArtiv MPU (микропроцессорный вариант с контроллером кэш-памяти, контроллером управления памятью с буфером динамической трансляции адресов TLB MMU) микропроцессоры имеют до 2 Мбайт Flash-памяти программ, 512 кбайт ОЗУ, тактовую частоту 200 МГц.

ОСОБЕННОСТИ PIC32MZ

Память программ (Flash) контроллеров имеет две панели размером до 1 Мбайт и две области загрузки (Boot сектор), по 80 кбайт каждый, то есть суммарный размер памяти 2 Мбайт + 160 кбайт. Подобная организация памяти позволяет иметь независимые секции и использовать часть памяти для эмуляции EEPROM или обновлять прошивку контроллера «на лету» без потери управления на время записи flash-памяти. Контроллеры PIC32MZ имеют возможность

обнаружения и коррекции ошибок (Error Correction Code, ECC), что увеличивает надежность системы. Специальный регистр конфигурации позволяет указать какая область памяти будет основной, то есть из какой области выполняется программа при старте. Модуль предвыборки команд в PIC32MZ может обнаружить два типа ошибок Flash памяти: ошибку двух бит (ECC Double-bit Error Detected, DED) и одиночную ошибку (ECC Single-bit Error Corrected, SEC). Двойная ошибка DED является критичной и обнаружение такой ошибки приведет к немаскируемому прерыванию. Одиночная ошибка памяти SEC не критична (исправима) и обнаружение такой ошибки может быть выявлено через установку прерывания. При обнаружении ошибки пользовательский код может перезаписать проблемный участок памяти.

Высокоскоростная периферия включает интерфейсы USB HS, Ethernet, шины EBI (Extended Bus Interface) и SQI (Serial Quad Interface). Интерфейс EBI позволяет подключать по параллельному интерфейсу внешнюю память, дисплеи, видеокамеры и пр. Адресуемая через EBI внешняя память (до 64 Мбайт) отображается по умолчанию в область в KSEG2 контроллера.

Интерфейс SQI предназначен для подключения последовательной памяти (до 64 Мбайт), которая также отображается в сегменте KSEG2. Интерфейс SQI обеспечивает быстрое обращение к памяти через два выделенных канала DMA, а так же позволяет выполнять код во внешней памяти.

Модуль поддержки Крипто-функций призван ускорить приложения, использующие криптографические алгоритмы. Модуль обеспечивает поддержку AES, DES/TDES, SHA, MD5, HMAC и др., а так-

же генератор случайных и псевдослучайных чисел с настраиваемым полиномом (до 64 бит).

К **низкоскоростной периферии** относятся интерфейсы CAN, UART, I²S/SPI и I²C.

Контроллеры PIC32MZ имеют семь отдельных периферийных шин. Частота каждой шины настраивается индивидуально, что позволяет наборы периферийных модулей тактировать разной частотой. Порты ввода вывода в контроллерах PIC32MZ получили возможность переопределения функций (Peripheral Pin Select, PPS), имеют возможность подключения встроенной подтяжки к напряжению питания или земле, часть портов толерантна к напряжению 5 В.

Модуль Аналого-Цифрового преобразователя (АЦП) существенно отличается от АЦП предыдущих контроллеров Microchip. Дифференциальный АЦП обеспечивает разрешение 10 бит при 0,5 Msps, имеет конвейерную архитектуру и 6 УВХ. Наличие шести УВХ позволяет производить одновременную выборку 6 каналов. Пять каналов АЦП подключаются к фиксированным выводам контроллера, а шестой имеет возможность измерения множества каналов. Все каналы АЦП могут быть включены в автоматизированный список сканирования (scan list). Часть каналов имеют выделенные триггеры на запуск измерения, а часть имеют общий триггер запуска. Модуль АЦП имеет шесть цифровых фильтров передискретизации для увеличения разрядности и шесть цифровых компараторов, для формирования прерываний при попадании сигнала в заданное окно результатов.

СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ

Компания Microchip предлагает бесплатную среду разработки MPLAB X, поддерживающую все 8-, 16-

Таблица 5. Семейство контроллеров PIC32MZ

Микроконтроллер	Тактовая частота, МГц	Размер памяти Flash/RAM, кбайт	Число выводов	UART/SPI/PC	I2S/AC97	USB	Крипто	CAN	Ethernet	PPS
PIC32MZ1024ECG	200	1024/512	64/100/ 124/144	6/6/6 (6/4/6 в 64выв. корпусах)	Да	HS Host/ OTG	-	-	да	да
PIC32MZ1024ECH							-	да	да	да
PIC32MZ1024ECM							да	да	да	да
PIC32MZ2048ECG		-					-	да	да	
PIC32MZ2048ECH		-					да	да	да	
PIC32MZ2048ECM	2048/512	да	да	да	да					

и 32-битные контроллеры, а также C/C++ компиляторы для PIC32. Текущая версия компилятора основана на GNU Compiler Collection (GCC) v4.5.2.

Вместе с анонсом PIC32MZ компания Microchip объявила выходе новой системы разработки программного кода для 32-разрядных микроконтроллеров – MPLAB® Harmony. Новый фреймворк включает в себя: программные драйверы, библиотеки и ОСРВ разработанные не только Microchip, но и сторонними компаниями. MPLAB® Harmony предоставляет возможность использовать бесплатные и лицензируемые программные решения. В данный момент Harmony содержит USB, TCP/IP-стеки, графические библиотеки а также программные продукты сторонних производителей: Express Logic, FreeRTOS, InterNiche, WITTENSTEIN High Integrity Systems и wolfSSL. В создании MPLAB Harmony участвовали несколько компаний, благодаря их совместным усилиям сократилось число возможных ошибок при интеграции нескольких решений в одно, что в свою очередь сильно упрощает процесс написания программного кода для микроконтроллеров и позволяет быстрее выпустить товар на рынок.

Архитектура MIPS известна много лет и поддерживается многими производителями средств разработки. Для поддержки сторонних разработчиков MIPS Technologies создала MIPS Alliance Program (MAP). Альянс включает более ста компаний, которые предлагают сотни решений для поддержки MIPS архитектуры: компиляторы, отладчики, интегрированные среды и комплексы разработки (IDE, EDA), операционные системы и прикладные библиотеки.

Некоторые партнеры альянса, которые предоставляют поддержку MIPS-платформы:

- Операционные системы реального времени (RTOS) предоставляют такие компании как Express Logic, Mentor Graphics, Micrium, Segger, Green Hills Software, Wind River, CMX, FreeRTOS, Interniche Technologies, AVIX-RT, Pumpkin, RoweBots.
- Отладчики, эмуляторы и программаторы предлагают Ashling, Lauterbach, Macraigor, Corelis, Elnec.
- Программные средства разработки, включая компиляторы, IDE, EDA/ESL предлагают компании Green Hills, Mentor Graphics, Synopsys, Cadence, Magma, mikroElektronika, RoweBots.
- Модели для симуляции доступны от Carbon и Imperas. Некоторые Open Source и бесплатные проекты:

- OpenOCD (бесплатный и открытый проект, предоставляющий внутрисхемную отладку, программирование и граничное сканирование).
- JTAGпрогу утилита для подключения GNU-отладчика к PIC32-микроконтроллерам через JTAG или ICSP-адаптер. Реализует стандартный последовательный протокол GDB для удаленной связи. Может использоваться совместно с Eclipse, DDD, Insight или другими совместимыми отладчиками. Поддерживает: PICkit 2, PICkit 3, Olimex ARM-USB-xxx, Olimex MIPS-USB-xxx, Bus Blaster v2 (JTAG адаптер от Dangerous Prototypes) и Flyswatter (JTAG адаптер от TinCanTools).
- Программатор Pic32prog для программирования flash-памяти контроллеров PIC32. Поддерживаемые программаторы и протоколы: PICkit 2, PICkit 3, Olimex ARM-USB-xxx, Olimex MIPS-USB-xxx, Bus Blaster v2 (JTAG адаптер от Dangerous Prototypes) и Flyswatter (JTAG адаптер от TinCanTools), AN1388 HID bootloader (Microchip).
- chipKIT – Arduino совместимая OpenSource платформа с бесплатной средой разработки и C++ компилятором.
- TNKernel – Операционная Система Реального Времени.
- Кроссплатформенный фреймворк QP (Quantum Platform) от компании Quantum Leaps – средство разработки приложений для встраиваемых систем в виде конечных автоматов на основе UML-диаграмм состояний.

ИТОГИ

MIPS предоставляет ядра, составляющие серьезную конкуренцию ARM платформам. Новые процессоры PIC32MZ Embedded Connectivity, основанные на процессорном варианте ядра MIPS microAptive, имеют уникальные параметры и могут применяться как в задачах управления, так и в задачах Цифровой Обработки Сигналов. Существенное превосходство в быстродействии по сравнению с процессорами ARM Cortex позволяют выполнять одни и те же задачи быстрее или на более низкой частоте, что позволит уменьшить потребление системы. ■

ТЕХНОЛОГИЯ mTouch.

СОЗДАНИЕ ЕМКОСТНЫХ КЛАВИАТУР И СЕНСОРОВ

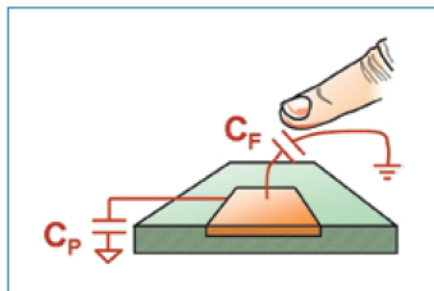
Компания Microchip уделяет большое внимание сенсорным технологиям. Сенсорные технологии Microchip, объединенные под общим названием mTouch™, предлагают разработчикам различные методы работы с сенсорами, микроконтроллеры поддерживаемые библиотеками программ, специализированные микросхемы для работы, как с одиночными емкостными сенсорами, так и с емкостными экранами с поддержкой multi Touch, распознавания 2D- и 3D-жестов.

ОСНОВЫ РАБОТЫ ЕМКОСТНОЙ КНОПКИ И СЕНСОРОВ ПРИБЛИЖЕНИЯ (PROXIMITY)

Обычно емкостной сенсор — это участок металлизации на печатной плате. Емкость такого сенсора определяется базовой (паразитной) емкостью сенсора (C_P) и емкостью C_F , вносимой при «касании» сенсора или покрывающего его лицевой панели или при приближении к сенсорной поверхности в случае реализации датчика приближения. Таким образом, задача детектирования касания сенсора, это задача измерения емкости C_F , причем не нужно знать абсолютное значение вносимой емкости, главное детектировать изменение емкости.

Общая емкость сенсора C_{SENSOR} определяется как:

$$C_{\text{SENSOR}} = C_F + C_P \quad (1)$$



МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ

Существует несколько методов измерения емкости, рассмотрим некоторые из них. Самый простой способ измерения емкости — это частотный метод. В данном методе емкостной сенсор является частота задающим элементом генератора.

Простейшую емкостную кнопку или датчик приближения можно сделать на одном б-выводном микроконтроллере с интегрированным компаратором PIC10F и двух внешних элементах — диоде и резисторе. Более совершенные схемы для реализации многоканального сенсорного управления могут быть построены с использованием встроенного RS-триггера и двух компараторов (рис. 1) или специализированного периферийного модуля CSM (Capacitive Sensing Module) (тоже частотный метод измерения, не требует внешних элементов).

Количество сенсоров легко увеличивается за счет интегрированного входного мультиплексора (рис. 2). Недостатком частотного метода является сравнительно низкое быстродействие.

Другой метод измерения емкости (C) основан на заряде емкости постоянным током (I) и измерении полученного напряжения (V) по истечении фиксированного интервала времени (t). Напряжение на конденсаторе определяется выражением:

$$V = I(t/C). \quad (2)$$

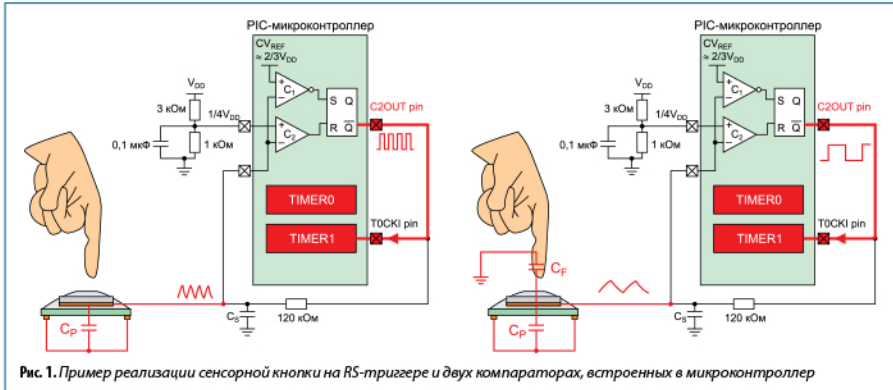


Рис. 1. Пример реализации сенсорной кнопки на RS-триггере и двух компараторах, встроенных в микроконтроллер

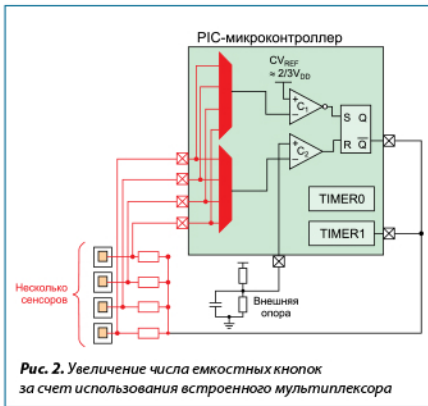


Рис. 2. Увеличение числа емкостных кнопок за счет использования встроенного мультиплексора

напряжение на конденсаторе будет зависеть только от емкости конденсатора (рис. 3).

ЕМКОСТНОЙ ДЕЛИТЕЛЬ НАПЯЖЕНИЯ

Метод емкостного делителя напряжения (Capacitive Voltage Divider) основан на уравнивании зарядов двух емкостей. Например, мы имеем два конденсатора, емкость одного из них постоянна (C_1), емкость другого (C_2) — может меняться. Если зарядить C_1 до напряжения V_{DD} и подключить к разряженному C_2 , то часть заряда «перетечет» из C_1 в C_2 и изменится общее напряжение на обоих конденсаторах. Результирующее напряжение будет зависеть от отношения емкостей C_1 и C_2 и при изменении одной из емкости так же будет меняться и напряжение. В качестве C_1 используют емкость устройства выборки и хранения — УВХ АЦП (C_{HOLD}), а в качестве C_2 — емкость сенсора ($C_{SENSOR} = C_P + C_s$). Метод CVD имеет несколько преимуществ:

Многие микроконтроллеры семейств PIC18, PIC24 и PIC32 имеют аппаратный модуль измерения времени заряда (Charge Time Measurement Unit, CTMU), который имеет программируемый источник тока. При постоянном токе и заданном времени заряда

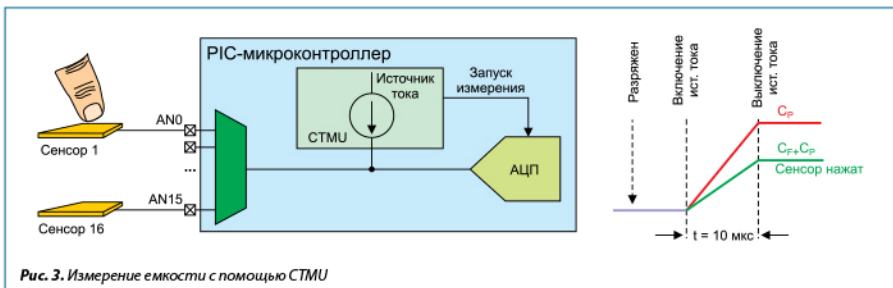


Рис. 3. Измерение емкости с помощью CTMU

- Используется только модуль АЦП микроконтроллера, что позволяет использовать этот метод для большинства микроконтроллеров;
- Низкая температурная зависимость: при изменении температуры от -20 до $+60$ °С смещения сигнала изменяется лишь на 1–3%;
- Низкое влияние изменения напряжения питания;
- Возможность дифференциального измерения, для увеличения чувствительности и фильтрации низкочастотных помех.

Метод CVD позволяет измерять емкость сенсора относительно емкости устройства выборки и хранения АЦП, которая из-за технологических особенностей производства микроконтроллеров может изменяться до 20% от экземпляра к экземпляру.

Рассмотрим три стадии последовательности действий при измерении емкости с помощью метода CVD.

1. Предварительный заряд (рис. 4а). Обе емкости заряжаются до фиксированных разнополярных значений напряжений (C_{HOLD} до V_{DD} , C_{SENSOR} до V_{SS} — вывод МК настроен как выход с уровнем «лог. 0»).
2. Выравнивание зарядов (рис. 4б). АЦП подключается к входу с сенсором, то есть емкость УВХ подключается параллельно с емкостью сенсора. Вывод микроконтроллера с сенсором настраивается как вход.
3. Измерение результирующего напряжения (рис. 4в). При дифференциальном CVD-методе производятся два последовательных измерения: в первом измерении (А) C_{HOLD} изначально заряжен, а C_{SENSOR} разряжен, а во втором измерении (В) наоборот — C_{HOLD} изначально разряжен, а C_{SENSOR} заряжен (рис. 5).

В дифференциальном методе измеряется разница полученных напряжений (рис. 6), так как такое измерение позволяет хорошо фильтровать низкочастотные помехи.

Время между измерениями А и В должно быть минимизировано для увеличения полосы и подавления влияния низкочастотных помех. Для уменьшения влияния высокочастотных шумов на результаты измерений и дополнительной ESD-защиты рекомендуется установить резистор между сенсорной площадкой и входом микроконтроллера.

Когда начинается разработка системы с емкостными клавиатурами важно знать основное назначение разрабатываемого продукта, а именно как будет осуществляться его питание. Для приборов с питанием от сети основной проблемой являются наведенные

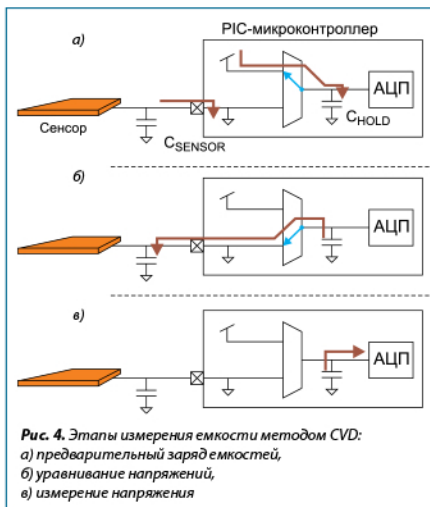


Рис. 4. Этапы измерения емкости методом CVD:
а) предварительный заряд емкостей,
б) уравнивание напряжений,
в) измерение напряжения

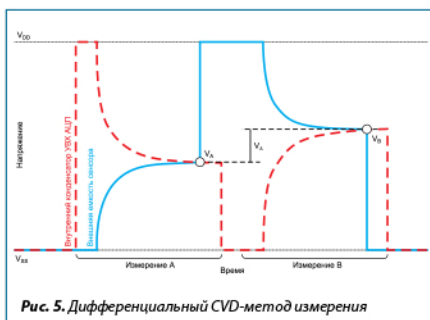


Рис. 5. Дифференциальный CVD-метод измерения

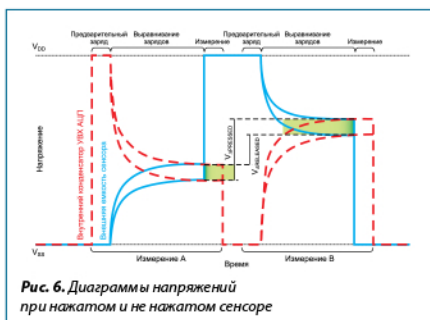


Рис. 6. Диаграммы напряжений при нажатом и не нажатом сенсоре

(кондуктивные) помехи и обеспечение устойчивости к ним, а такой параметр как потребление энергии не очень важен. Для таких устройств более подходят

Таблица 1. Сравнение методов измерения

Метод	Необходимая периферия	Быстродействие (время на канал)	Потребление	Достоинства и недостатки
Частотный	Компаратор, RS-триггер или модуль CSM, таймер	Единицы — десятки мс	Среднее	– шумы + возможность работы с емкостными экранами (с модулем CSM)
CVD	АЦП или аппаратный модуль CVD	Десятки мкс	Низкое	Хорошо работает если величина емкости сенсора меньше или сопоставима с емкостью УВХ АЦП. Применим для измерения относительного изменения емкости. Подавляет НЧ помехи.
СТМУ	Модуль СТМУ	Единицы мкс	Низкое	Больше точность чем у CVD при емкости сенсора больше емкости УВХ. Применим для измерения относительного и абсолютного значения емкости

Замечание. При всей видимой простоте метода CVD компания Microchip не рекомендует реализовывать метод самостоятельно. Компания Microchip предоставляет программные библиотеки *mTouch*, в которых реализовано автоматическое сканирование каналов. Библиотеки *mTouch* отлажены и протестированы для обеспечения высокого уровня подавления шумов.

методы измерения емкости на основе CVD и СТМУ (измерение напряжения).

Для приборов с батарейным питанием важным является наименьшее потребление. Для таких приборов подходят как частотный метод, так и измерение напряжения (CVD и СТМУ). Для устройств со смешанным питанием, например приборов которые имеют аккумуляторы и возможность подзаряда их от сети, нужно применять методы на основе измерения напряжения.

Современные микроконтроллеры Microchip имеют внутренние мультиплексоры и позволяют обрабатывать до 32 независимых каналов емкостных сенсоров (табл. 2). Количество сенсоров может быть увеличено за счет разделения обработки сигналов каждого сенсора по времени и/или применения внешнего мультиплексора.

АППАРАТНЫЙ МОДУЛЬ CVD

Некоторые новые PIC микроконтроллеры получили модуль АЦП с возможностью формирования аппаратного измерения CVD. Аппаратный модуль CVD добавляет следующую функциональность 10-битного АЦП:

- Автоматическое формирование последовательности стадий дифференциального CVD на любом аналоговом входе,
- Два набора регистров для хранения результатов преобразования АЦП на стадиях А и В,

Таблица 2. Семейства микроконтроллеров Microchip и количество сенсорных каналов

Семейство контроллеров	Количество выводов	Метод измерения	Максимальное количество емкостных каналов
PIC10Fxxx	6	Частотный на компараторе	3
PIC12Fxxx	8	CSM	4
PIC16Fxxx, PIC18Fxxx	14/18/20/28/44/64/100	CSM, CVD	8/12/12/17/30/16
PIC12LF1552/PIC16F151x	8/28	Аппаратный CVD + Guard Ring	5/17
PIC18Fxxx	28/44/64	СТМУ, CVD	14/28/24
PIC16F707	44	CSM	32
PIC24F	14/20/28/44/64/80/100	СТМУ, CVD	7/12/12/14/16/16/24
PIC24H	28/36/44/64/100/144	СТМУ, CVD	10/8/13/24/32/32
PIC32	28/36/44/64/100	СТМУ, CVD	10/12/13/16/16

Таблица 3. Параметры микроконтроллеров с аппаратным модулем CVD

Микро-контроллер	Память		10-разрядный АЦП с CVD	EUART	I ² C/SPI	Число выводов
	Программ, кСлов	ОЗУ, байт				
PIC12LF1552	2	256	5	–	1	8
PIC16F1512	2	128	17	1	1	28
PIC16F1513	4	256	17	1	1	28

- Программно подключаемый к входу АЦП набор конденсаторов (от 0 до 28 пФ с шагом 4 пФ),
- Конфигурируемые времена задержек для стадий предварительного заряда и уравнивания зарядов,
- Синхронное управление защитным проводником (о влиянии защитного проводника см. в разделе «Способы увеличения помехоустойчивости»),
- Опциональное подключение входа АЦП для наблюдения формы сигналов.

Набор внутренних конденсаторов поможет в случае, если емкость сенсора гораздо больше емкости УВХ. Подключение дополнительных внутренних конденсаторов поможет приблизить установившееся напряжение к величине $V_{DD}/2$.

АППАРАТНЫЕ СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ. СОВЕТЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Для увеличения устойчивости к помехам может быть применено экранирование. Однако к экранированию нужно относиться с учетом следующих моментов.

Экранирующая заливка верхнего слоя печатной платы, выполненная с малым зазором до сенсора, увеличит величину емкости C_{BASE} и уменьшит чувствительность (рис. 7). Рекомендуется заземление верхнего слоя печатной платы выполнять сплошной заливкой (увеличивает вносимую емкость C_p с зазором до сенсора, равным не менее одного-двух значений толщины лицевой панели).

Экранирование (заземление) нижнего слоя существенно уменьшает чувствительность сенсора и увеличивает емкость C_p , что в свою очередь еще уменьшает чувствительность системы (меньше соотношение C_f/C_p — меньше величина полезного сигнала).

Поэтому сплошное экранирование под сенсором применять не следует. Экранирующий полигон в виде сетки (рис. 8), будет иметь меньшую величину базовой емкости, увеличит чувствительность сенсора и сохранит защиту сенсора от помех.

Существенно повысить чувствительность можно путем введения защитного проводника-кольца (Guard Ring), который, по сути, является тем же низкоим-

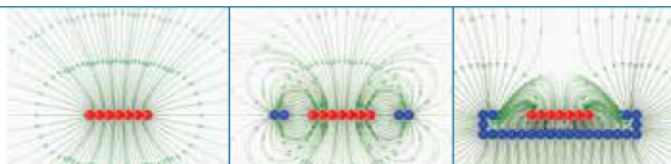


Рис. 7. Влияние экранирования на чувствительность емкостного сенсора

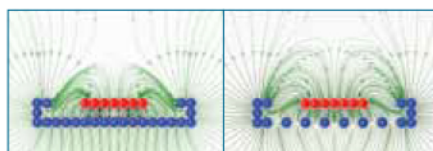


Рис. 8. Изменение чувствительности сенсора от типа экрана

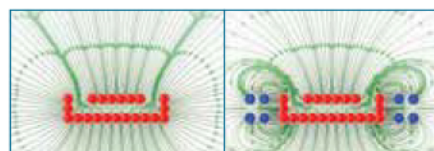
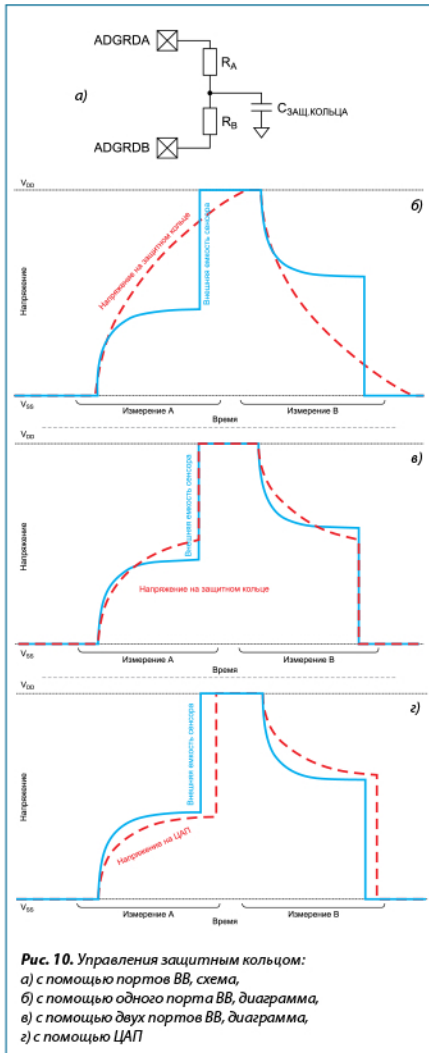


Рис. 9. Влияние на чувствительность емкостного сенсора введения Guard Ring



педанским экраном, но не с потенциалом «земли», а с потенциалом сенсора.

Защитное кольцо вокруг сенсора экранирует его от внешних помех. При этом если защитный проводник имеет тот же потенциал что и защищаемый, то емкость между сенсором и экраном будет равна нулю (минимизировано значение C_p), минимизированы утечки и сенсор защищен от помех.

Классическим способом управления защитным кольцом является применение буферного усилителя, повторяющего напряжение сенсора на окружающее защитное кольцо. Однако такая схема удорожает конструкцию и требует дополнительных внешних элементов.

Наиболее просто можно реализовать драйвер защитного кольца с помощью порта микроконтроллера или двух выходов порта микроконтроллера с двумя резисторами (рис. 10).

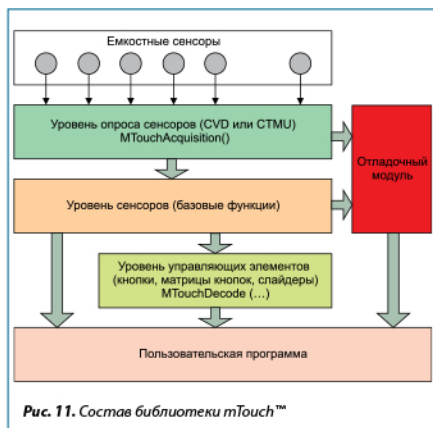
Емкость CGUARD — емкость защитного кольца на печатной плате. Сопротивление резисторов R_A и R_B подбираются для максимального совпадения профиля напряжения на защитном кольце с профилем измерения емкости. Простым делителем сложно добиться совпадения профилей изменения потенциалов на сенсоре и защитном кольце (рис 10в), однако, как показывают практические результаты, такой простой метод дает 50–70% эффективности от случая полного следования профилю изменения потенциала на сенсоре.

В некоторых новых микроконтроллерах Microchip введен аппаратный модуль CVD с возможностью управления драйвером защитного проводника Guard Ring. Другой способ управления защитным кольцом — использование ЦАП микроконтроллера. Этот метод позволяет более точно управлять профилем напряжения на защитном проводнике и позволяет достичь 70–90% эффективности от классического метода с буферным усилителем.

БИБЛИОТЕКИ mTOUCH™

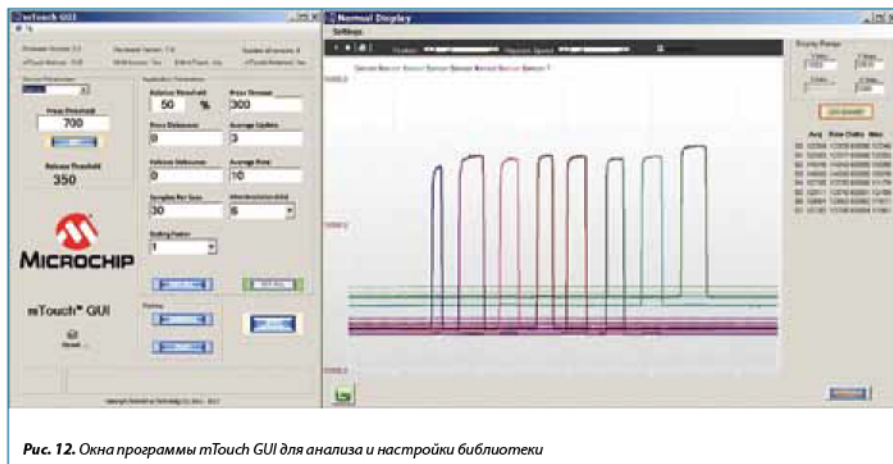
Программная библиотека «Capacitive mTouch™ Software Library» предоставляет программный интерфейс пользователя (API) для разработки емкостных клавиатур на базе измерения емкости с помощью модулей CVD и CTMU на контроллерах PIC18F, PIC24F, PIC24H, dsPIC33 и PIC32. Библиотека написана на языке Си и может быть скомпилирована с помощью компиляторов Microchip (MPLAB C, XC и Hi-Tech PICC-18). Библиотеки предоставляют возможность интегрирования mTouch™ решений в пользовательскую программу.

Для настройки алгоритмов в прототипах библиотека mTouch™ предоставляет функции по мониторингу и отладки. Для связи с программным обеспечением на компьютере можно использовать RS-232 или



анализатор последовательных протоколов PICkit Serial Analyzer.

Оболочка программы позволяет наблюдать форму сигналов для исследуемых сенсоров, взаимное влияние сенсоров друг на друга, изменять параметры настройки алгоритмов mTouch™ (рис. 12). Описание влияния параметров алгоритмов и рекомендации по оптимальной настройке сенсорных клавиатур приведены файле помощи к библиотеке mTouch™. Для ознакомления с технологиями построения емкостных кнопок и обработки сигналов компания Microchip предлагает отладочный комплект mTouch Cap Touch Eval Kit (номер для заказа DM183026-2).



СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АВТОНОМНЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ

Для тех, кто не желает разбираться с особенностями библиотеки mTouch™ компания Microchip предлагает законченные решения — микросхемы контроллеров емкостных кнопок и датчиков приближения. В 2012 году компания Microchip купила компанию SMSC и владеющую технологией создания емкостных сенсоров RightTouch®.

Контроллеры емкостных клавиатур SMSC-серии CAPxxx имеют встроенный фильтр для подавления помех (генерируемых импульсными источниками питания, радиопередающими устройствами Wi-Fi, ZigBee, сотовыми телефонами и др.). Контроллеры конфигурируются и выдают данные по интерфейсам I²C, SMBus, SMSC BC-Link™ или SPI. Контроллеры SMSC имеют лучшие в индустрии параметры по устойчивости к электростатическому разряду (ESD) и обеспечивают защиту до ±8 кВ без применения внешних защитных цепей.

Контроллеры емкостных кнопок SMSC имеют несложную трехстадийную настройку, поддерживают работу с широким диапазоном емкостей сенсоров, что предоставляет больше возможностей разработчикам и дизайнерам в выборе материалов и толщин лицевых панелей.

Емкостные контроллеры RightTouch® имеют функцию перекалибровки, что позволяет компенсировать изменения параметров клавиатур из-за изме-

Таблица 4. Емкостные контроллеры mTouch™ и RightTouch®

	MTCH101	MTCH102	CAP1214	CAP1114	CAP1188	CAP1166	CAP1133	CAP1128	CAP1126	CAP1105/6
Число емкостных входов	1	2	14	14	8	6	3	8	6	5/6
Слайдер	–	–	Да	Да	–	–	–	–	–	–
Управление светодиодами	–	–	11	11	8	6	3	2	2	
Proximity	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Интерфейс	Лог. выход	Лог. выход, I ² C	I ² C/ SMBus	I ² C/ SMBus	I ² C/SPI/ BC-Link	I ² C/SPI/ BC-Link	I ² C/SPI/ BC-Link	I ² C/SPI/ BC-Link	I ² C/SPI/ BC-Link	I ² C/SPI/ BC-Link
Корпуса	SOT-23	8-выв. SOIC, 2x3 DFN	32-выв. 5x5 QFN	32-выв. 5x5 QFN	24-выв. 4x4 QFN	20-выв. 4x4 QFN	10-выв. 3x3 QFN	20-выв. 4x4 QFN	16-выв. 4x4 QFN	10-выв. 3x3 QFN

нения окружающей среды (температуры влажности и пр.), а так же загрязнения поверхности.

Для уменьшения потребления контроллеры серии CAPxxx имеют функции сохранения энергии. Разработчик может запрограммировать какое количество сенсоров должны опрашиваться в энергосберегающем режиме Sleep, частоту их сканирования и тип опрашиваемого сенсора — кнопка или датчик приближения. Эти особенности позволяют, чтобы, например, устройство в микропотребляющем режиме сканировало только датчик приближения, просыпалось при поднесении руки к устройству и после этого включало работу сенсорной клавиатуры и самого устройства. В таких микропотребляющих режимах с опросом одного сенсора контроллеры серии CAPxxx потребляют порядка 50 мкА (5 мкА в Deep Sleep).

В дополнение к емкостным контроллерам компания Microchip предлагает миниатюрные (6 и 8 выводов) микросхемы контроллеров датчиков приближения (proximity) MTCH10x. Отличительной особенностью proximity контроллеров MTCH101/102 является настраиваемая чувствительность, встроенный фильтр подавления помех, автоматическая компенсация изменения окружающей среды, малые габариты и низкое потребление (до 5 мкА в режиме энергосбережения).

ЕМКОСТНЫЕ ДАТЧИКИ ПРИБЛИЖЕНИЯ

Емкостной датчик приближения (proximity sensor) определяет относительное расстояние до пользователя и позволяет взаимодействовать с прибором без физического контакта. Известно несколько методов реализации датчиков приближения: инфракрасные,

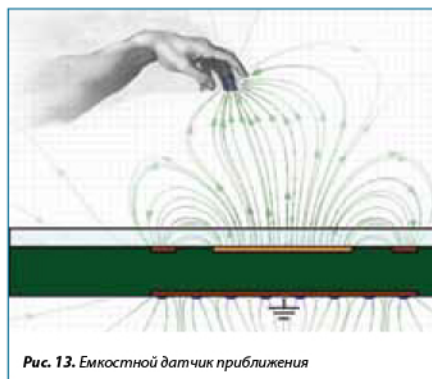


Рис. 13. Емкостной датчик приближения

оптические, магнитные, основанные на эффекте Доплера, индуктивные и емкостные. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки.

Как и в случае реализации емкостных кнопок, емкостные датчики приближения представляют собой проводящие поверхности, подключенные (желательно через последовательный резистор) к выводу микроконтроллера или микросхемы датчика приближения. Как и в случае с емкостными кнопками, на сенсор будут оказывать влияние близкорасположенные проводящие объекты. Емкостной датчик приближения может регистрировать объекты только в ближнем поле, однако, в отличие от емкостных методов, имеет низкую стоимость, низкое потребление и простую реализацию.

Работа емкостных датчиков приближения основана на тех же принципах, что и емкостных кнопок — устройство постоянно измеряет емкость и фиксирует

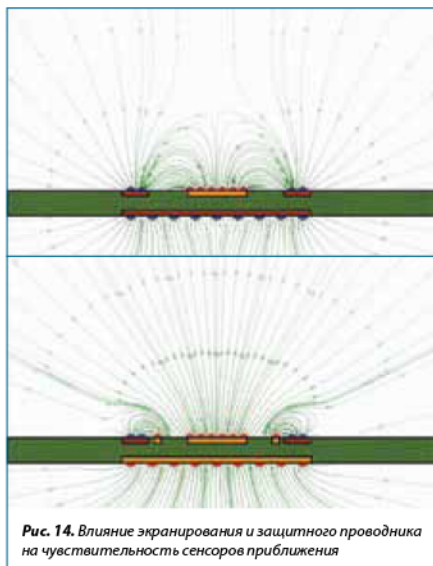


Рис. 14. Влияние экранирования и защитного проводника на чувствительность сенсоров приближения

её значительные изменения. Сигнал датчика приближения существенно меньше, чем сигнал емкостной кнопки, так как фиксируется на значительно больших расстояниях. Плюс к этому диэлектрическая проницаемость воздушной среды существенно ниже, чем у пластика или стекла. Для надежного детектирования приближения нужно хорошее соотношение сигнал/шум. Поэтому, при создании датчиков приближения, требуется уделять больше внимания вопросам проектирования, чем при создании емкостных клавиатур. Дальность действия сенсора приближения зависит от напряжения питания и можно оценить как 3–5 диаметра сенсора.

Любой слой заземления или металлическая поверхность рядом с емкостной антенной-сенсором будет снижать дальность датчика приближения из-за экранирования (если металл находится на пути к обнаруживаемому объекту) и из-за увеличения паразитной емкости (когда экран находится за антенной-сенсором). Поэтому непосредственно под емкостным сенсором приближения и в непосредственной близости от него не рекомендуется располагать слой заземления (рис. 14).

Так как из-за конструктивных особенностей разрабатываемого устройства емкостной сенсор приближе-

ния может располагаться близко к большим заземленным участкам или интерфейсным проводникам или сигналам управления светодиодами и т.п., то все это уменьшает С/Ш за счет увеличения паразитной емкости или генерирования помех. Как и в случае емкостных кнопок, ситуацию может улучшить применение защитного кольца. Активный защитный проводник уменьшает паразитную емкость за счет уменьшения разности потенциалов между сенсором и его ближайшим окружением, а так же защищает сенсор от помех.

ЕМКОСТНЫЕ ЭКРАНЫ, MTOUCH™ PROJECTED CAPACITIVE

Проекционно-емкостные (Projected Capacitive) сенсорные экраны часто применяются в смартфонах и планшетных компьютерах, управляющих панелях домашней автоматизации, клавиатурах систем доступа, автомобильных центральных панелях, игровых устройствах и пультах дистанционного управления. Проекционно-емкостные экраны имеют большую популярность, так как:

- Конструкция стеклянных сенсорных экранов обеспечивает высокую прочность, хорошие оптические свойства и надежное распознавание касания;
- Возможность распознавания множественного касания (multi touch) и жестов;
- Возможность реализации на печатной плате — недорогой способ создания сенсорного интерфейса.

Принцип действия проекционно-ёмкостных сенсорных экранов и сенсорных панелей (touch-pad) основан на измерении емкостей сетки электродов X и Y (рис. 15), нанесенной под лицевой стороной экрана или на слоях печатной платы емкостной панели. Такие сенсоры измеряют незначительные изменения емкости электрода, внесенные при касании пальцем или другим объектом. Следует отметить, что в проекционно-емкостных экранах детектируется очень маленькие, на уровне 0,05%, изменения емкости электродов (собственная паразитная емкость электродов ~100 пФ; изменение емкости при «сильном» нажатии 0,5–1 пФ, при «слабом» касании — 0,05 пФ). Точка контакта экрана определяется по изменению емкости X- и Y- проводников. Контроллер экра-

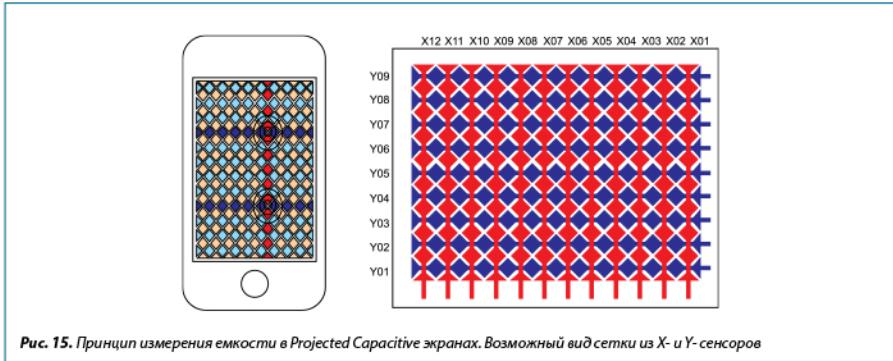


Рис. 15. Принцип измерения емкости в Projected Capacitive экранах. Возможный вид сетки из X- и Y-сенсоров

на сканирует сенсоры и определяет изменение собственной емкости электродов. Такое «Self» измерение призвано быстро распознать возможное касание экрана без указания точного места касания. Затем осуществляется «взаимное» («Mutual») измерение, которое измеряет емкость одного электрода, в то время когда на другом перпендикулярном электроде формируется импульс. Этот тип измерения индицирует место изменения емкости (узел) на пересечении сенсоров (рис. 15). Далее методом интерполяции вычисляется точное место касания экрана. Так, например, сетка электродов 9x12 позво-

ляет получить разрешение по определению точки касания сенсора до 1024x1024 или выше. Некоторые микроконтроллеры PIC имеют два независимых модуля CSM с возможностью подключения до 32 емкостных сенсоров. Такие микроконтроллеры, например PIC16F707, могут работать напрямую с проекционно-емкостными экранами с диагональю до 3,5 дюйма. Программная библиотека реализовывает multiTouch функции (одновременное касание в двух точках), распознавание жестов, разрешение по определению положения касания до 1024x1024 за счет интерполяции.

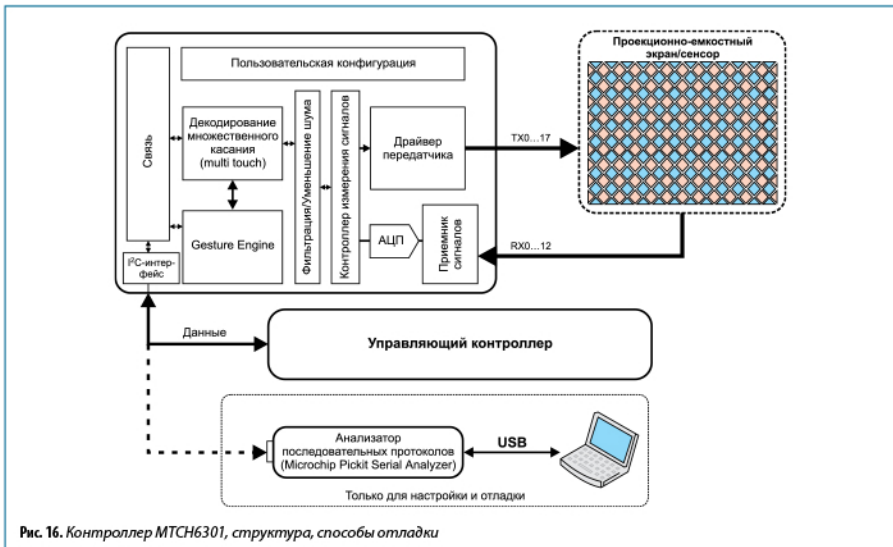


Рис. 16. Контроллер MCH6301, структура, способы отладки

Таблица 5. Сравнение контроллеров проекционно-емкостных экранов

Контроллер	Способ обработки данных	Multi-Touch	Распознавание жестов	Разрешение определения координат
PIC16F707	Программная библиотека mTouch	2	Да	До 10 бит
МТСН6301	Аппаратная поддержка	10	Да, до 10 различных жестов	До 12 бит

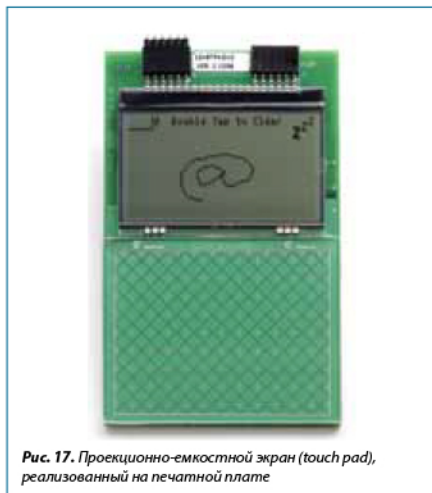


Рис. 17. Проекционно-емкостной экран (touch pad), реализованный на печатной плате

Компания Microchip Technology Inc. предлагает так же автономный контроллер проекционно-емкостных экранов. Структурная схема микросхемы МТСН6301 приведена на рис. 16. Контроллер имеет встроенную обработку сигналов, декодер множественного касания, распознавания жестов, управляющую логику

и интерфейс связи I2C, что позволяет использовать любой внешний микроконтроллер для работы с проекционно-емкостными экранами или Touch Pad.

Проекционно-емкостной экран (рис. 17) легко реализуется на печатной плате. При реализации такого touch pad-a рекомендуется использовать 4-слойную печатную плату (хотя для некоторых случаев допустимо применение 2-слойной платы), применять лицевую панель толщиной до 3 (пластик) или до 5 мм (стекло), приклеенной к печатной плате, например, с помощью двухсторонней клейкой пленки. Рекомендуется иметь лицевую панель с диэлектрической проницаемостью не менее 3 (акрил, поликарбонат, ABS или стекло).

Для возможности отладки и настройки проекционно-емкостных экранов компания Microchip предоставляет утилиту конфигурации контроллера МТСН6301 — «Projected Capacitive Configuration Utility», работающую совместно с анализатором протоколов PICkit Serial Analyzer. Утилита позволяет указать число применяемых сенсоров, их подключение к контроллеру, откалибровать связку сенсоры — контроллер (рис. 18).

Для поддержки разработчиков Microchip предлагает отладочные комплекты «mTouch Projected Capacitive

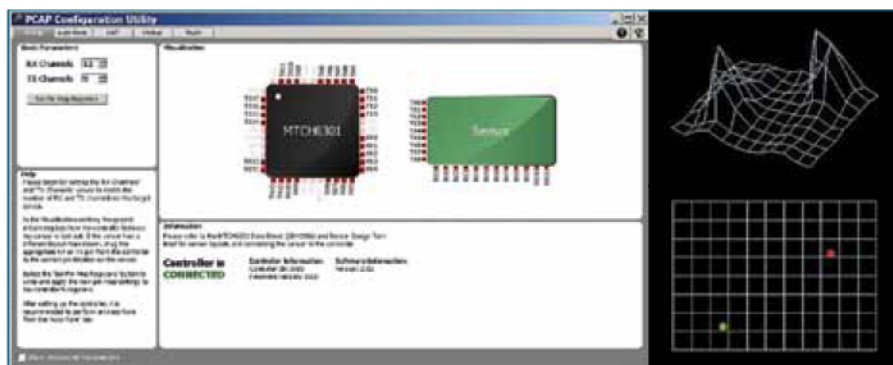


Рис. 18. Окна утилиты «Projected Capacitive Configuration Utility»



Рис. 19. Комплект разработчика
mTouch Projected Capacitive Development Kit

Development Kit» (DM160211) и «PIC32 GUI Development Board with Projected Capacitive Touch» (DM320015). Комплект разработчика «mTouch Projected Capacitive Development Kit» (рис. 19) содержит проекционно-емкостной экран диагональю 3,5 дюйма с 21 сенсором (организация 9x12) и плату с запрограммированным микроконтроллером PIC16F707. Комплект позволяет подключать экраны с числом сенсорных каналов до 24 без модификации исходных кодов программы. Предоставляемая бесплатная библиотека поддерживает подключение экранов с числом сенсоров до 32. Комплект сопровождается программной утилитой, которая позволяет настроить основные параметры программы для работы с емкостным экраном. Отладочная плата «PIC32 GUI Development Board with Projected Capacitive Touch» (рис. 20) позволяет разрабатывать графический пользовательский интерфейс (GUI) с multi touch функциями. Этот комплект основан на 32-разрядном контроллере PIC32MX795F512H с быстродействием 105 DMIPS, 512КБ Flash памяти



Рис. 20. Отладочная плата
«PIC32 GUI Development Board with Projected Capacitive Touch»

и 128КБ ОЗУ. Контроллер PIC32 в паре с недорогой параллельной статической памятью служит высокоскоростным графическим контроллером для 4.3" WQVGA TFT дисплея с разрешением 480x272, что позволяет применять недорогие цветные TFT-дисплеи без встроенного контроллера. Микроконтроллер PIC32 управляет контроллером сенсорного проекционно-емкостного экрана МТСН6301 и реализует multi touch графический интерфейс с пользователем. Микроконтроллер PIC32 имеет USB host и device интерфейсы для работы с другими USB-устройствами, на плате предусмотрены контакты для подключения внешних устройств.

3D-ЖЕСТЫ, GESTIC

Новым и интересным направлением в построении сенсорного интерфейса является распознавание жестов рук в пространстве.

Компания Microchip представила первый в мире контроллер отслеживания положения и жестов руки в пространстве на основе измерения электрического поля. Основанный на патентованной технологии GestIC[®], контроллер позволяет пользователю взаимодействовать с приборами с помощью жестов рук и пальцев в пространстве в реальном времени. Созданный контроллер MGC3130 это уникальное решение, которое вносит новые возможности в пользовательский интерфейс человек — машина.

Существуют оптические и ультразвуковые методы отслеживания жестов, но преимуществами GestIC технологии является низкое потребление, диапазон работы от 0 (касание) до 15 см, отсутствие слепых зон, использование тонких и дешевых электродов (проводники на печатной плате), отсутствие восприимчивости к внешним факторам (свет, звук), высокая чувствительность и устойчивость к влиянию радиочастотных полей.

Контроллер MGC3130 распознает 3D жесты рукой, определяет положение руки в 3 координатах x, y и z. Имеет высокое разрешение — до 150 dpi, имеет встроенное ядро цифровой обработки сигналов, маломощные аналоговые блоки, изменение частоты для отстройки от шумов, цифровой интерфейс и встроенную библиотеку распознавания жестов «Colibri».

Созданная патентованная сенсорная 3D-технология GestIC использует электрическое поле для опре-

деления расстояния. Такая технология позволяет создавать пользовательский интерфейс на детектировании, отслеживании и распознавании рук пользователя или движения пальцев в пространстве.

Электрическое поле создается электрическими зарядами и распространяется вокруг поверхности, несущей заряд. Контроллер GestIC подает частоту на передающий (Tx) электрод в диапазоне 100 кГц (длина волны ~3 км). Размеры электродов порядка 20 см, что существенно меньше длины волны излучаемого сигнала, поэтому магнитная составляющая поля практически равна нулю. В результате этого создается квазистатическое электрическое ближнее поле, которое можно использовать для детектирования проводящих предметов, таких как человеческое тело. Попадание пользователя в область чувствительности сенсора приводит к искажению электрического поля. Линии поля шунтируются проводящим телом. Как показано на рисунке (рис. 21), внесенная рука вызывает искажение эквипотенциальных линий, что детектируется приемными электродами (Rx) контроллера GestIC. Таким образом, контроллер GestIC формирует электрическое поле, с помощью нескольких приемных электродов определяет изменения электрического поля и вычисляет относительное положение руки, её перемещение в трех координатах и определяет жесты по нескольким шаблонам.

Созданная Microchip технология GestIC может использовать электроды из любых проводящих материалов. Передающий и приемные электроды могут быть выполнены на печатной плате, или из фольги, приклеенной на какую либо поверхность, или выполнены в виде ИТО (оксид индия-олова) покрытием на стекле или пластике. Все это позволяет применять технологию GestIC в приборах без увеличения размеров конечного изделия.

Для распознавания жестов Microchip использует библиотеку «Colibri Gesture Suite», которая использует Скрытую Марковскую модель (СММ) в отношении векторов изменения координат. Выбранный метод обеспечивает высокую степень распознавания 3D-жестов руки и пальцев вне зависимости от конкретного пользователя.

Технология GestIC имеет высокое разрешение отслеживания жестов, достаточное для современных

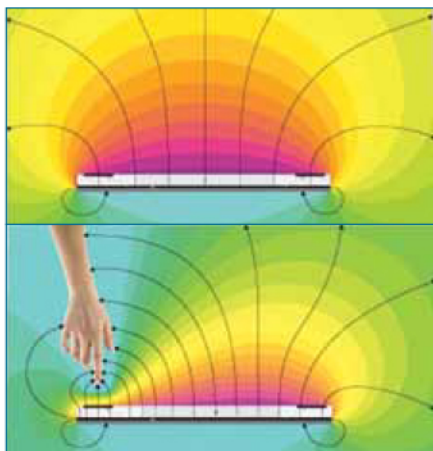


Рис. 21. Искажение электрического поля при внесении руки

приложений. Контроллер GestIC предоставляет пользователю законченный набор трехмерных жестов рукой и пальцами, например: пробуждение по приближению руки, отслеживание положения руки, постукивание, круг, символы, на основе которых можно осуществлять включение и выключение устройства, запуск приложений, выбор объекта, указание и щелчок, масштабирование, прокрутка и пр. Разработчики могут быстро сделать готовое изделие и снизить риски при разработке, используя отлаженный набор перечисленных возможностей. Помимо этого, возможен анализ «сырых» данных, поступающих непосредственно с сенсоров, расширяющих функциональность библиотеки.

Контроллер GestIC имеет программируемую функцию обнаружения приближения: контроллер может периодически просыпаться и сканировать действия пользователя. Если обнаружено взаимодействие с пользователем, система автоматически переключается в режим полного сканирования сенсоров и может вернуться в режим сохранения энергии, как только пользователь покидает область чувствительности. В результате распознавание 3D жестов становится реальностью даже для батарейной продукции. В помощь разработчику Microchip приготовила оценочный комплект MGC3130 Single Zone Evaluation Kit “Sabrewing” (DM160217) (рис. 22).

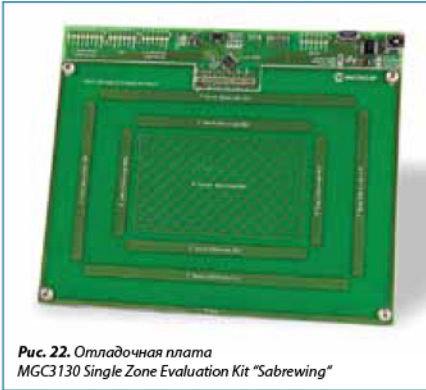


Рис. 22. Отладочная плата
MGC3130 Single Zone Evaluation Kit "Sabrewing"

Законченное решение позволяет изучить GestIC контроллер MGC3130, встроенную библиотеку распознавания жестов и отслеживания положения руки. С сайта компании доступны для скачивания API, предоставляющий программистам возможность создавать свои приложения для работы с GestIC контроллером, и Windows программа Aurea для управления параметрами контроллера MGC3130 и настройки и сохранения параметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компания Microchip, имея большой опыт в проектировании микроконтроллеров и аналоговых продуктов для промышленных и автомобильных применений, в обработке сигналов и создании за-

конченных программных библиотек, предоставляет широкие возможности разработчикам при создании сенсорного пользовательского интерфейса различного уровня.

Глубокая теоретическая проработка, отладка и тестирование интегральных микросхем и программных решений в жестких условиях помех позволили создать надежные решения для сенсорных интерфейсов, которые можно успешно применять не только в бытовой технике, но и в автомобильных применениях, панелях управления промышленным оборудованием, лифтах, панелях домофонов, систем доступа и др. Специалисты компании Microchip Technology Inc. оказывают всестороннюю техническую поддержку и помогают разработчикам создавать законченные продукты.

Емкостные сенсорные кнопки на микроконтроллерах Microchip используются в таких продуктах, как ноутбуки TOSHIBA серий Portege и Satellite, игровых устройствах Activision и Logitech, ЖК-телевизорах LG, роутерах ZyXEL, продуктах JVC, Acoustic Research, Sharp, кодовых панелях доступа, Blue Ray DVD проигрывателях, весах, холодильниках и многих других устройствах. ■

Полная версия статьи доступна на сайте www.pickit2.ru

Или перейдите к статье по QR-коду.



ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ТРАНСИВЕРЫ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕО И ИНТЕРНЕТ ТРАФИКА ПО КОАКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Компания Microchip представляет новые решения для передачи цифровых данных по коаксиальной линии – микросхемы серии EQCO. Изначально эта продукция была разработана компанией EqscoLogic. Недавно Microchip приобрела эту компанию и в настоящее время изделия EqscoLogic выпускаются под маркой Microchip.

Эти устройства позволяют использовать уже существующий кабель для передачи видео, а также реализовать соединение по различным интерфейсам, таким как Ethernet, LVDS, FireWire. При этом исключаются дополнительные затраты на покупку кабеля и работу по его монтажу.

Функционально микросхемы EQCO представляют собой аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи. Цифровой сигнал преобразовывается в аналоговый для передачи его по коаксиальной линии, а затем преобразовывается обратно в цифровой формат для последующей обработки на приемной стороне.

При прохождении сигнала через кабель, его высокочастотные составляющие затухают больше, чем низкочастотные, в результате чего принятые данные могут оказаться искаженными. В продукции серии EQCO применяется лучшая на сегодняшний день технология выравнивания спектра — **Multi-Rate adaptive equalization**, позволяющая восстановить сигнал на приемной стороне, обеспечив тем самым корректный прием данных.

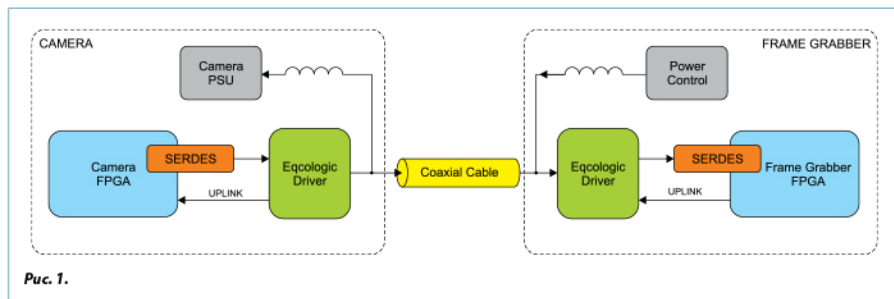
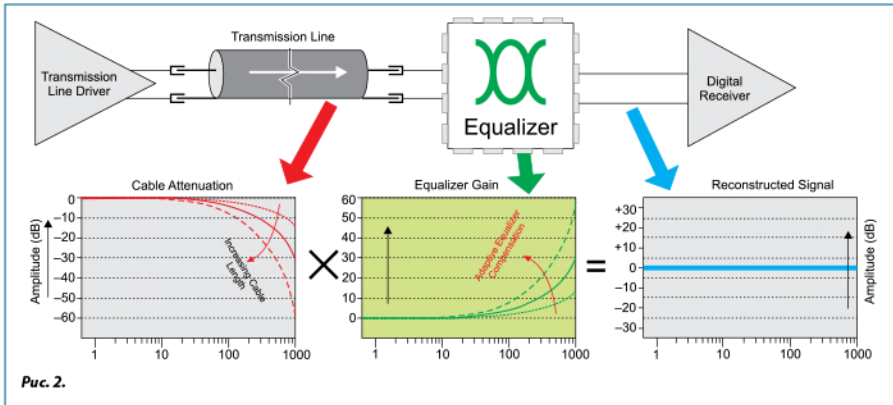
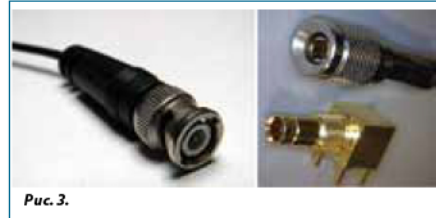


Рис. 1.



Области применения:

- Передача видео по протоколу CoaXPress.
- Передача IP-видео по коаксиальной линии.
- Передача SDI-видео (включая SD-SDI, HD-SDI и 3G-SDI).
- Firewire.
- Fast Ethernet/Gigabit Ethernet.
- Протокол LVDS.



ПЕРЕДАЧА HD-ВИДЕО ПО ПРОТОКОЛУ COAXPRESS (CXP)

CoaxPress – это промышленный стандарт, определяющий передачи HD-видео с цифровой камеры по коаксиальной линии. Физической средой для передачи данных служит коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом. Скорость передачи зависит от длины кабеля и от качества его изготовления. Ниже приведены сравнительные таблицы, в которых отражены зависимости для кабелей трех популярных производителей –

Belden, Герсо и Canare. Например, при использовании кабеля производства Belden марки 7731A длиной менее 58 м, возможно, достичь предельного значения скорости, которое составляет 6,25 Гбит/с.

Стандартом CoaXPress установлены типы коннекторов для подключения устройств к линии. Стандартные разъемы – это 75 Ом BNC, DIN 1.0/2.3, внешний вид которых приведен на рис. 3.

Стандарт CoaxPress применяется в промышленных приложениях, медицине, а также в системах видеонаблюдения.

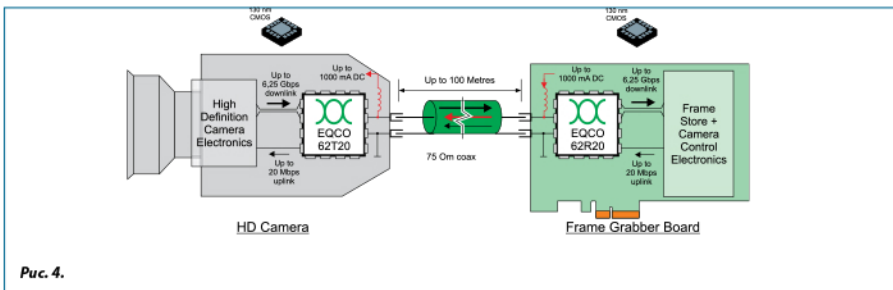


Таблица 1.

BELDEN	Name Type	Belden 7731A Long Distance	Belden 1694A Industry Standart	Belden 1505A Compromis Coax	Belden 1505F Flexible	Belden 1855A Thinnest cable
Diameter	mm	10.3	6.99	5.94	6.15	4.03
1.25 Gbps	m	194	130	107	80	55
2.5 Gbps	m	162	110	94	66	55
3.125 Gbps	m	147	100	86	60	55
5 Gbps	m	87	60	52	35	38
6.25 Gbps	m	58	40	35	23	25

Таблица 2.

GEPCO	Name Type	Gepco VHD1100 Long Distance	Gepco VSD2001 Industry Standart	Gepco VPM2000 Compromis Coax	Gepco VHD2000M Flexible	Gepco VDM230 Thinnest cable
Diameter	mm	10.3	6.91	6.15	6.15	4.16
1.25 Gbps	m	212	140	109	81	66
2.5 Gbps	m	185	120	94	67	66
3.125 Gbps	m	169	110	86	61	62
5 Gbps	m	102	66	53	36	38
6.25 Gbps	m	68	44	35	24	25

Таблица 3.

CANARE	Name Type	Canare L-7CFB Long Distance	Canare L-5CFB Industry Standart	Canare L-4CFB Compromis Coax	Canare L-3CFB Flexible	Canare L-2.5CFB Thinnest cable
Diameter	mm	10.2	7.7	6.1	5.5	4
1.25 Gbps	m	165	118	94	72	43
2.5 Gbps	m	135	98	79	66	43
3.125 Gbps	m	122	88	71	60	43
5 Gbps	m	71	52	42	36	30
6.25 Gbps	m	46	34	28	24	20

Для реализации передачи видео через коаксиальный кабель с использованием стандарта CoaxPress применяются две микросхемы: EQCO62T20 (передатчик) и EQCO62R20 (приемник). Структурная схема системы передачи видео изображена на рис. 4. Сочетание этих двух устройств позволяет создать полнодуплексное соединение по коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом. При этом

возможно передавать одновременно по одному кабелю следующие сигналы:

- Изображения с цифровой камеры. Скорость передачи видео при этом составляет до 6,25 Гбит/с.
- Сигнал управления камерой. Скорость передачи данных при этом составляет до 21 Мбит/с
- Напряжение питания. Ток потребления нагрузки при этом должен быть менее 900 мА.

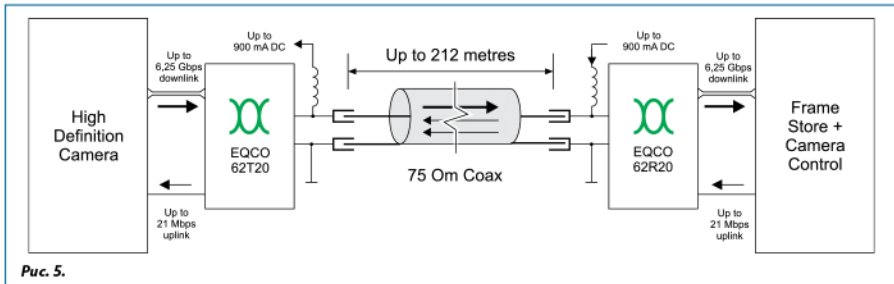


Рис. 5.

Таблица 4.

Наименование	Описание	Области применения	Поддерживаемые протоколы	Нисходящий трафик, Гбит/с	Восходящий трафик, Мбит/с
EQCO62T20 EQCO62R20	Передатчик Приемник	Системы видеонаблюдения	CoaXPress (CXP), LVDS, Differential & 8b/10b Signaling	До 6,25	21
EQCO31T20 EQCO31R20	Передатчик Приемник	Системы видеонаблюдения	CoaXPress (CXP), LVDS, Differential & 8b/10b Signaling	До 3,125	21

Микросхемы обладают низким энергопотреблением. Напряжение питания каждой их микросхем EQCO62T20 и EQCO62R20 составляет 1,2 В. При этом потребляемая мощность равна 70 мВт.

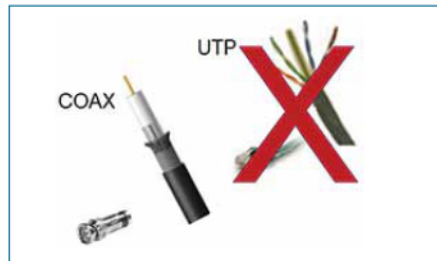
Для менее скоростных приложений существуют микросхемы EQCO31T20 и EQCO31R20, аналогичные соответственно микросхемам EQCO62T20 и EQCO62R20. Максимальная скорость передачи по коаксиальной линии для них составляет 3,125 Гбит/с. Скорость трафика для управления камерой остается неизменной – до 21 Мбит/с.

Компания Microchip выпустила также платы, на которых смонтированы микросхемы EQCO с обвязкой и разъемом для подключения кабеля.

EVB-DBSUB1584 – плата, на которой смонтирована микросхема передатчика.

EVB-DBSUB1586 – плата, на которой смонтирована микросхема приемника.

ПЕРЕДАЧА IP-ВИДЕО И ETHERNET-ТРАФИКА ПО КООКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ



В настоящее время аналоговые камеры видеонаблюдения интенсивно вытесняются IP-камерами, которые подключаются к устройству сбора данных через кабель UTP (медная витая пара). Таким образом, при замене аналоговых видеокамер возникает необходимость прокладки нового кабеля, что влечет за собой дополнительные расходы, складывающиеся из стоимости самого кабеля и монтажных работ. Недавно на рынке появилось решение от компании Microchip – специальные микросхемы, позволяющие использовать для передачи цифровых данных уже проложенный ранее коаксиальный кабель.

Все Ethernet-трансиверы, использующие коаксиальную линию, сведены в таблицу 5.

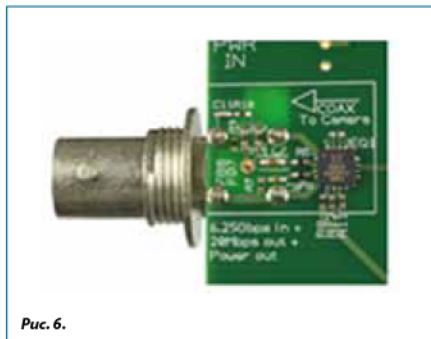
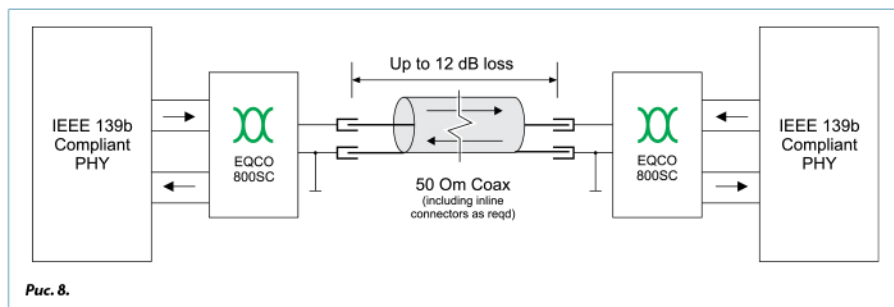


Рис. 6.



Таблица 5.

Наименование	Описание	Области применения	Поддерживаемые протоколы	Нисходящий трафик	Восходящий трафик
EQCO875SC	Трансивер для передачи по оптическому или коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом	Передача Ethernet-трафика (включая видео) через коаксиальный кабель	Fast Ethernet	100 Мбит/с	100 Мбит/с
EQCO875SC-HS	Трансивер для передачи по оптическому или коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом	Передача Ethernet-трафика (включая видео) через коаксиальный кабель	Gigabit Ethernet IEEE 1394 (FireWire) Optical	1,2 Гбит/с	1,2 Гбит/с
EQCO850SC	Трансивер для передачи по оптическому или коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 50 Ом	Передача Ethernet-трафика (включая видео) через коаксиальный кабель	Fast Ethernet	100 Мбит/с	100 Мбит/с
EQCO850SC-HS	Трансивер для передачи по оптическому или коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 50 Ом	Передача Ethernet-трафика (включая видео) через коаксиальный кабель	Gigabit IEEE 1394 (FireWire) Optical	1,2 Гбит/с	1,2 Гбит/с
EQCO1R6 EQCO1T6	Приемник и передатчик для обмена данными по коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом	Передача Ethernet-трафика (включая видео) через коаксиальный кабель на расстояние до 470 м	Fast Ethernet	100 Мбит/с	6 Мбит/с



EQCO8755C используется при длине кабеля менее 250 м, а EQCO1T6 и EQCO1R6 – при длине кабеля свыше 470 м.

Помимо этого, все микросхемы серии EQCO позволяют одновременно передавать данные и питающее напряжение по одному кабелю.

Помимо передачи изображения данные трансиверы применяются для передачи любого Ethernet-трафика. Например, можно организовать FireWire соединение через проложенную коаксиальную линию. Функциональная схема такого решения приведена на рис. 8.

Основные преимущества такого подхода:

- Экономическая выгода – используется уже проложенный кабель.
- Коаксиальная линия позволяет передавать данные на большие расстояния, чем витая пара, максимальная длина сегмента которой ограничена 100 м.
- Возможность подачи питающего напряжения по коаксиальному кабелю одновременно с передаваемыми данными.

ПЕРЕДАЧА ВИДЕО ПО ПРОТОКОЛУ SDI ЧЕРЕЗ КОАКСИАЛЬНЫЙ КАБЕЛЬ

SDI (Serial Digital Interface) — стандартизованный последовательный цифровой видеоинтерфейс.

Существует несколько стандартов SDI:

- SD-SDI — для передачи цифрового видео вещательного качества стандартного разрешения.
- ED-SDI (Enhanced Definition Serial Digital Interface) — для передачи цифрового видео улучшенного качества с прогрессивной развёрткой.

- HD-SDI (High-Definition Serial Digital Interface) — SDI для телевидения высокой чёткости (ТВЧ) предусматривает поток данных 1485 Мбит/с.
- DualLink HD-SDI — для ТВЧ с прогрессивной развёрткой, позволяет передавать до 2970 Мбит/с посредством двух физических соединений HD-SDI.
- 3G-SDI — для передачи ТВЧ с прогрессивной развёрткой потоком до 2970 Мбит/с посредством одного коаксиального кабеля.

Эти стандарты используются для передачи несжатых и некодированных цифровых видеосигналов (могут также иметь вложенные аудиопотоки и/или таймкод) в профессиональном телевизионном оборудовании.

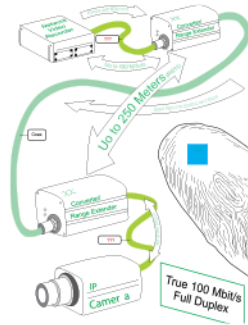
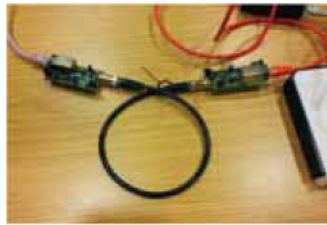


Рис. 9.

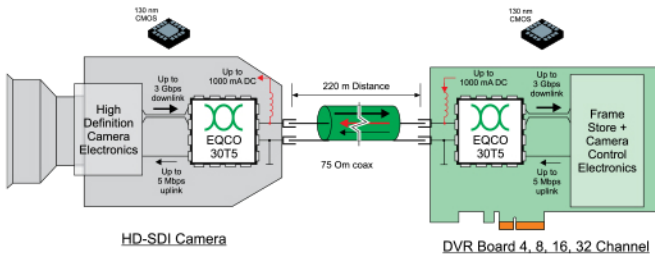


Рис. 10.

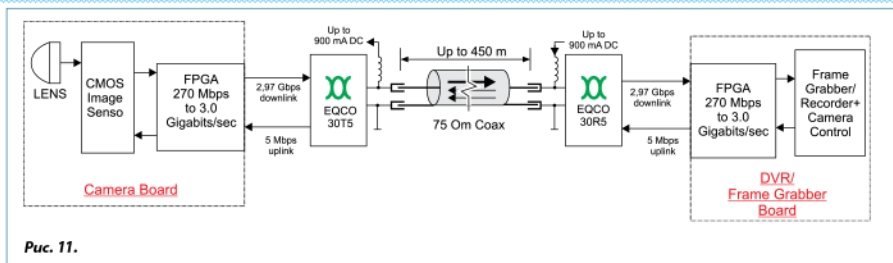


Таблица 6.

Range using Belden 1694A (including 5 Mbps uplink and power supply transmission)	
270 Mbps	450 m
1,5 Gbps	200 m
3 Gbps	140 m

Таблица 7.

Наименование	Описание	Области применения	Поддерживаемые протоколы	Нисходящий трафик	Восходящий трафик
EQCO30R5 EQCO30T5	HD-SDI приемник и передатчик	Камеры видеонаблюдения, DVR	SDI, SMPTE	до 3 Гбит/с	5 Мбит/с

довании. Поскольку изображение передается в несжатом виде, то его качество чрезвычайно высоко. Скорость передачи по стандарту SDI зависит от длины кабеля и достигает 3 Гбит/с. Передача потока данных со скоростью 270 Мбит/с возможно на расстоянии до 300 м по коаксиальному кабелю. Для HD-потоков расстояние не превышает 100 м. Для передачи видео от камеры используются специальная микросхема передатчика - EQCO30T5. Управление камерой осуществляется по протоколу RS-485 одновременно с передачей данных (в дуплексном режиме). Для передачи управляющих сигналов по коаксиальному кабелю используется микросхема приемника - EQCO30R5. Сказанное иллюстрирует рис. 10.

Кроме того, использование такого решения позволяет одновременно с передаваемыми в обе стороны данными, подавать также питающее напряжение по одному коаксиальному кабелю. Ток потребления нагрузки при этом должен быть менее 1000 мА. Особенности решения, представленного на рис. 10 и 11:

- Передача изображения, сигналов управления камерой и питающего напряжения по одному кабелю



- Возможность управления камерой по протоколу RS-485. Скорость передачи при этом — до 5 Мбит/с
- Скорость передачи видео до 3 Гбит/с

В таблице 6 приведены несколько значений скоростей в зависимости от длины кабеля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продукция компании Microchip серии EQCO открывает широкие возможности для простой замены аналоговых камер видеонаблюдения на цифровые, а также установки нового сетевого оборудования с подключением его к уже проложенному коаксиальному кабелю. Благодаря использованию уже существующей линии, отсутствует потребность в приобретении нового кабеля и его последующего монтажа.

На базе микросхем EQCO можно создавать переходники с Ethernet, FireWire, LVDS, SDI на коаксиал и обратно.

Данное решение особенно хорошо подходит для задач видеонаблюдения для передачи цифрового HD-видео по коаксиальному кабелю с последующим преобразованием его в цифровой формат на приемной стороне. Благодаря технологии Multi-Rateadaptiveequalization качество сигнала после прохождения по линии практически не ухудшается.

В таблице 8 приведена полная линейка продукции серии EQCO. Устройства выполнены в компактных 16-контактных QFN-корпусах с размерами 4×4 мм.

Таблица 8.

Наименование	Описание	Области применения	Поддерживаемые протоколы	Нисходящий трафик	Восходящий трафик
EQCO62T20 EQCO62R20	Передатчик Приемник	Системы видеонаблюдения, мониторинг движения транспорта	CoaXPRESS (CXP), LVDS, Differential & 8b/10b Signaling	До 6,25 Гбит/с	21 Мбит/с
EQCO31T20 EQCO31R20	Передатчик Приемник	Системы видеонаблюдения, мониторинг движения транспорта	CoaXPRESS (CXP), LVDS, Differential & 8b/10b Signaling	До 3,125 Гбит/с	21 Мбит/с
EQCO8755C	Трансивер для передачи по оптическому или коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом	Передача Ethernet-трафика (включая видео) через коаксиальный кабель	Fast Ethernet	100 Мбит/с	100 Мбит/с
EQCO8755C-HS	Трансивер для передачи по оптическому или коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом	Передача Ethernet-трафика (включая видео) через коаксиальный кабель	Gigabit Ethernet IEEE 1394 (FireWire) Optical	1,2 Гбит/с	1,2 Гбит/с
EQCO8505C	Трансивер для передачи по оптическому или коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 50 Ом	Передача Ethernet-трафика (включая видео) через коаксиальный кабель	Fast Ethernet	100 Мбит/с	100 Мбит/с
EQCO8505C-HS	Трансивер для передачи по оптическому или коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 50 Ом	Передача Ethernet-трафика (включая видео) через коаксиальный кабель	Gigabit IEEE 1394 (FireWire) Optical	1,2 Гбит/с	1,2 Гбит/с
EQCO1R6 EQCO1T6	Приемник и передатчик для обмена данными по коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом	Передача Ethernet-трафика (включая видео) через коаксиальный кабель на расстояние до 470 м.	Fast Ethernet	100 Мбит/с	6 Мбит/с
EQCO30R5 EQCO30T5	HD-SDI-приемник и передатчик	Камеры видеонаблюдения, DVR	SDI, SMPTE	до 3 Гбит/с	5 Мбит/с
EQCO400T8	Передача данных по FireWire через кабель UTP (CAT5/6) на расстоянии до 100 м	Камеры видеонаблюдения, FireWire кабели и репиторы	IEEE 1394 (FireWire)	400 Мбит/с	400 Мбит/с

ОТЛАДКА МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ PIC ПРОДВИНУТЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИМУЛЯТОРА

ИСТОРИЯ

Много-много лет назад, в Microchip в команде разработчиков симулятора MPLAB был разработан VHDL-подобный язык SCL – StimulusControlLanguage, с помощью которого можно создавать тестовые модули (testbench) для отладки и тестирования кода. Однако, в связи с уходом из команды автора реализации SCL и «сложности» языка, было решено создать GUI, которая освобождает embedded-программиста от вникания в тонкости VHDL-подобного SCL и помогает создать последовательности тестовых сигналов и инжекций данных в регистры симулируемого микроконтроллера. Такая GUI-обертка в MPLAB IDE называется Stimulus.

Microchip особо не продвигал SCL и не предоставлял описание языка. В 2006 году даже было объявлено, что в следующей версии MPLAB IDE v8.xx вообще уберут поддержку SCL, но участники forum.microchip.com высказались против этого и SCL оставили в следующих релизах.

Некоторые энтузиасты даже начали «реверсить» SCL (благо Stimulus может генерировать SCL-файлы) и создавать учебник по SCL и репозиторий примеров. Особо стоит отметить русскоязычный труд с описанием SCL, сопровождающийся несколькими примерами (от простого генератора,

до эмуляции UART и генерации DTMF-сигналов) <http://pic24.ru/doku.php/osa/articles/scl>.

В связи с тем, что новое поколение MPLAB X IDE полностью переписано и получило кроссплатформенность (MPLAB X основан на NetBeans), то реализация SCL так же переписана и нынешние разработчики в документацию к MPLAB X IDE уже включили «неофициальный» SCL User's Guide.

ВОЗМОЖНОСТИ GUI STIMULUS

Сейчас Stimulus позволяет:

1. Создавать синхронные последовательности изменений состояний выводов или значений регистров, что удобно для формирования повторяющихся последовательностей:

Во время T_n состояние (pin, регистр) = XX

Во время T_m состояние (pin, регистр) = YY

Процесс можно повторять, начиная с шага i ; между повторами задать задержку ii .

2. Создавать комплексные воздействия:

Если выполняется условие, что (pin, bit или регистр) становится (=, !=, <=, <, >= или >), то через N (тактов, нс, мкс, мс или ч.м.с) выполнить (однократно или с периодом M) воздействие (одно или несколько): записать в регистр значение, изменить состояние pin или bit, установить напряжение на аналоговом входе.

3. Генерировать сигналы:

На выводе (pin_yy) с начальным значением (ВЫСОКОЕ или НИЗКОЕ) выдать последовательность (задается длительность ВЫСОКОГО и НИЗКОГО состояния). Задается условия запуска и останова (старт программы или по значению программного счетчика или в заданное время или когда значение на pin_xx== ВЫСОКОЕ или НИЗКОЕ).

4. Инъекция данных в регистры:

Из указанного файла взять значение и записать его в заданный регистр. Действие произвести когда: происходит чтение из регистра (то есть в отлаживаемой программе читаем регистр) или программный счетчик примет зафиксированное значение или выполнится указанное в файле условие. Например, можно инжектировать в UART данные из файла вида:

```
wait 1 sec // ждать 1 секунду
01 54 106 // инжектируемые данные
02 55
wait 200 ms // ждать 200 мс
"hello" // инжектируемые данные
rand 1 15 sec // случайная пауза от 1 до 15 с
32 33 34
```

Stimulus, помимо описанного, позволяет сохранить созданные воздействия в виде SCL файла и (!) загружать собственные SCL-сценарии.

ЯЗЫК SCL

Stimulus является достаточно мощным инструментом, но имеет существенные ограничения – служит в основном для задания простых и детерминированных воздействий, не всякую модель поведения «внешней среды» можно описать с помощью предлагаемой в среде разработки GUI.

SCL, являясь языком программирования, дает больше гибкости: доступны условные выражения (конструкции if-elsif-else), циклы, инструкции работы с файлами и др.

Некоторые возможности SCL:

- Инжектирование значения в pin или в память данных микроконтроллера.
- Чтение значения рипили из памяти данных
- Чтение и обработка файлов

- Выполнение действий на основании времени симуляции, командных циклов на основании значения программного счетчика
- Выдача информационных сообщений в окно симулятора

То есть SCL может все, что доступно через GUI Stimulus в MPLAB IDE, но при этом предоставляет больше возможностей и позволяет формировать сложные зависимости между значениями на выводах и значениями регистров микроконтроллера; моделировать взаимодействие с внешней периферией; моделировать воздействия, которые сложно воспроизвести в «железе» и выявлять ситуации, приводящие к ошибкам. Кроме того, среда разработки позволяет подключать несколько SCL файлов, для их параллельного выполнения. Это может пригодиться, например, для подключения к проекту типовых testbench-ев.

ПРИМЕРЫ

Допустим, для проверки программы нужно сформировать манчестерский код на входе микроконтроллера для отладки и тестирования программного декодера. С применением Stimulus задачу можно выполнить с помощью формирования последовательности изменения состояния вывода, но это слишком нудное занятие, так как каждое изменение битов нужно прописывать руками, типа так:

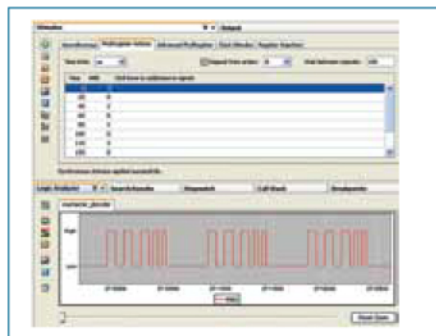


Рис. 1.

Другое дело с использованием SCL: пишем testbench, который берет входной битовый поток (не кодированный), кодирует его и отправляет на вход симулируемого микроконтроллера. Для удобства изменения данных, входной битовый поток можно

брать из внешнего файла. Попутно наш testbench может выводить информационные сообщения в окно симулятора.

Пример SCL-файла:

```
configuration for «pic16f1509» is
end configuration;

testbench for «pic16f1509» is
begin

process is
filefileVar : text;
variablelineVar : line;
-- Строка, прочитанная из файла
variable status: file_open_status;
variabledata_in: integer;

begin
loop
file_open (status, fileVar, «dat.txt», read_mode);

whileendfile (fileVar) == false loop
-- Обработываем, покафайлнепуст

readline (fileVar, lineVar);
report («Прочитанастрока»);
RB5 <= '1';
-- стартовый бит (1/2 битового интервала)
report («== start bit ==»);
wait for 500 us;

whilematch (lineVar, «») == falseloop
-- Обработываем строку, пока она не пуста

read (lineVar, data_in);
if data_in == 0 then--кодируем 0
report («== 0 ==»);
RB5 <= '0';
wait for 500 us;
RB5 <= '1';
wait for 500 us;
elseifdata_in == 1 then --кодируем 1
report («== 1 ==»);
RB5 <= '1';
wait for 500 us;
```

```
RB5 <= '0';
wait for 500 us;
else
report («Ошибка данных!»);
end if;
end loop; -- match InLine
end loop; -- endfile
RB5 <= '0';
file_close (fileVar);
waitfor 15 ms; -- пауза между пакетами
end loop;
wait;
end process;
endtestbench;
```

Файл внешних данных с битовой последовательностью:

```
0000000000000000
101011100000011
111010100111000
```

В случае применения SCL гораздо проще изменять данные, длину последовательности, и временные параметры симулируемого потока, что облегчает проверкуалгоритма, обработку ошибок и т.п.



Скрипт SCL может разбирать входной файл и получать внешние команды. Например, помимо битового потока можно изменять параметры сигналов. Например, задание параметров ШИМ-кодированной посылки с синхро-преамбулой:

```

sync_bit_hi 2000 us
sync_bit_lo 500 us
pulse_lo 500 us
pulse_hi_0 500 us
pulse_hi_1 1000 us
1 0 0 0 1 1 0 1
wait 2 ms
1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0
wait 3 ms
0 0 0 0 1 1 1 1
1 0 1 0 1 0 1 1
wait 15 ms

```



Рис. 3.

Возможность работы SCL с внешними файлами существенно расширяет возможности симуляции. Так, в «репозитории SCL» [3] есть пример получения данных для симуляции из внешнего приложения (Input to a Simulation From an External Application). Данный пример симулирует матричную клавиатуру и входной сигнал для АЦП (написано на VBA в Excel). «Нажатия» кнопок и изменения напряжения записываются в два файла, SCL скрипт читает эти файлы и симулирует изменение логических уровней портов В/В и напряжение на входе АЦП.

ИТОГИ

SCL-программе доступны метки, адреса и переменные отлаживаемого .c или .asm кода. Доступно со-

стояния регистров, программного счетчика микроконтроллера, время симуляции. SCL позволяет формировать несколько параллельных процессов в пределах одного testbench. Также скрипты SCL могут быть синхронизированы с отлаживаемой программой.

Таким образом, SCL помогает организовать testbench-и для отладки кода микроконтроллера. Так как SCL является частью родного симулятора, то в одном проекте и в одном цикле отладки доступны SCL-сценарии, точки останова, секундомер, стек, логический анализатор и др., выполняется симуляция периферии (таймера, UART, АЦП и пр.), прерывания и все это работает в одной среде разработки.

Следует отметить и некоторые недостатки текущей реализации SCL:

- ограниченные возможности отладки SCL-кода (при подключении к проекту скрипта с ошибкой получаем лишь сообщение типа «ошибка парсера в строке №xx»). Если при подключении скрипта вы получили сообщение о дублировании переменных, то, скорее всего, вы подключили этот же testbench второй раз. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. SCL User's Guide (в составе документации пакета MPLAB X IDE, www.microchip.com/mplabx/).
2. Язык SCL <http://pic24.ru/doku.php/osa/articles/scl>.
3. SCL Code repository <http://www.microchip.com/forums/m109149.aspx>.
4. SCL PRIMER / TUTORIAL <http://www.microchip.com/forums/m111255.aspx>.

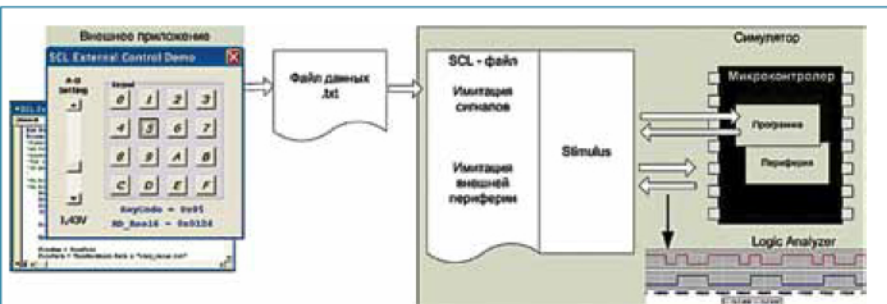


Рис. 4.

ГИБРИДНЫЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Понижающие преобразователи стали неотъемлемой частью современной электроники. Без них не обходится бытовая, телекоммуникационная, автомобильная электроника, портативные зарядные устройства и т. д. Не смотря на то, что импульсные источники питания обладают большими габаритами и уровнем помех по сравнению с линейными стабилизаторами, они практически всегда обеспечивают большее значение КПД.

При разработке схемы управления питанием большинство инженеров придерживается аналоговых схем построения источников питания с простейшим цифровым управлением. Такой выбор с одной стороны связан с:

- применением традиционных и изученных схемы управления;
- сравнительно низкой стоимостью комплектующих;
- способностью генерации высокочастотного ШИМ;
- малым энергопотреблением аналоговых источников.

С другой стороны, большая часть аналоговых разработчиков ИИП просто не знакомы с возможностями цифровых методов управления питанием и сталкиваются с ограничениями аналоговых схем такими как:

- настройка источника только посредством перепайки схемы;
- сравнительно большое количество компонентов, что влияет на стоимость в производстве и габариты устройства;
- влияние температурных уходов и разброса параметров пассивных элементов ухудшает параметры источника;
- практически невозможно адаптивное управление;
- сложности реализации нелинейного управления для получения требуемых переходных характеристик.

Цифровые источники позволяют:

- программно задавать выходные параметры
- требуют минимум компонентов
- реализовывать автокоррекцию температурных влияний;
- сохранить «ноу-хау» за счет программных алгоритмов управления в защищенном микроконтроллере;
- применять современные методы контроля (нелинейное, адаптивное управление);
- управлять профилем выходного напряжения/тока в зависимости от режимов работы питаемой схемы.

Однако при построении цифровых источников питания тоже возникает ряд трудностей:

- цифровые методы регулирования в основном не знакомы инженерам, работающим в данной области, необходимость знаний в программировании;
- влияние разрешения и скорости преобразования АЦП на точность ИИП;
- необходимость в высокой вычислительной скорости во избежание снижения параметров регулирования;
- для получения высокочастотного ШИМ с высокой разрядностью (МГц) нужна высокая тактовая частота генератора (ГГц), за счет этого выше энергопотребление.

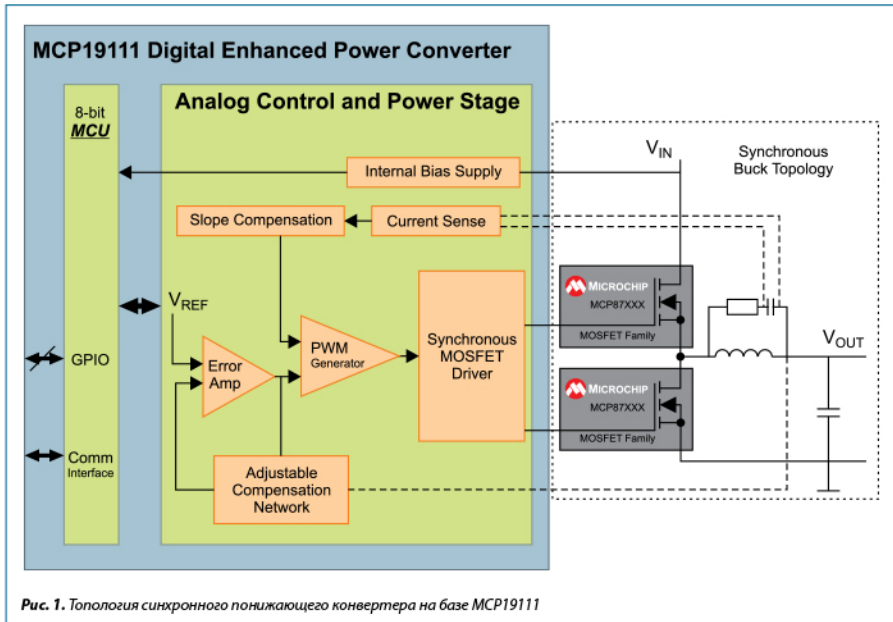


Рис. 1. Топология синхронного понижающего конвертера на базе MCP19111

Таким образом, оптимальное решение лежит между аналоговым и цифровым решениями. Чтобы заполнить этот пробел Microchip представили первый в мире аналоговый ШИМ-контроллер с цифровым управлением MCP19111.

MCP19111 включает в себя аналоговый ШИМ-контроллер, синхронный MOSFET драйвер, LDO и управляющий PIC-микроконтроллер. Сочетание высокой производительности и программируемости микроконтроллера с малым временем отклика высокоскоростного аналогового модуля позволяет создавать более гибкие и более высокопроизводительные системы преобразования мощности с полным цифровым контролем.

Использование семейства контроллеров MCP19111 совместно с силовыми MOSFET транзисторами (MCP87018, MCP87030, MCP87090, MCP87130) позволяет создавать DC/DC-преобразователи для широкого круга задач с КПД более чем 96%.

Основные особенности синхронного понижающего преобразователя:

- напряжение питания: 4,5–32 В;
- программируемое выходное напряжение;

- частота ШИМ: от 10 кГц до 1,6 МГц;
- режим управления по пику тока;
- защита от перегрева;
- конфигурируемые параметры:
 - предел перегрузки по току;
 - нижний предел выходного напряжения;
 - верхний предел выходного напряжения;
 - внутренняя аналоговая компенсация;
 - частота коммутации;
 - профиль мягкого старта;
 - «мертвое» время управления MOSFET;
- поддержка интерфейса I²C (совместимость с SMBus/PMBus).

СИЛОВЫЕ MOSFET

Используя передовые полупроводниковые технологии и корпусирование, в Microchip создали серию силовых MOSFET транзисторов MCP87xx с низким зарядом затвора Q_G и низким сопротивлением сток-исток $R_{DS(ON)}$, что позволяет более эффективно преобразовывать энергию и снизить потери переключения и проводимости.

Таблица

Наименование	V_{DS} , В	$R_{DS(ON)}$ (4,5 В), мОм	$R_{DS(ON)}$ (10 В), мОм	Q_G (4,5 В), нК (макс.)	I_D , А	V_{GS} (пор.), В(мин.)	Тип корпуса	Размеры, мм x мм
MCP87130	25	16,5	13,5	8	54	1,1	8/PDFN	3,3x3,3, 5x6
MCP87090		12	10,5	10	64	1,1		3,3x3,3, 5x6
MCP87055		7	6	14	60	1		3,3x3,3
MCP87050		6	5	15	100	1		5x6
MCP87030		4	3,5	22	100	1		5x6
MCP87022		2,6	2,3	29	100	1		5x6
MCP87018		2,2	1,9	37	100	1		5x6

Особенности:

- низкое входное сопротивление канала сток-исток;
- низкий заряд затвора (Q_G) и заряда затвор-сток (Q_{GD});
- низкое сопротивление канала.

MCP19111 EVALUATION BOARD (ADM00397)

Отладочная плата позволяет изучить и оценить работу MCP191111 в схеме синхронного понижающего преобразователя в широком диапазоне входных напряжений и нагрузок на выходе. Практически все рабочие и системные параметры можно задать программно с помощью интегрированного в микросхему микроконтроллера.

Среда разработки MPLAB X IDE и плагина конфигурирования MCP19111 позволяет легко сконфигурировать микросхему и добавить свои части кода для управления параметрами источника, обработку аварийных ситуаций и интерфейсы связи. На плате есть внешние выводы для внутрисхемного про-

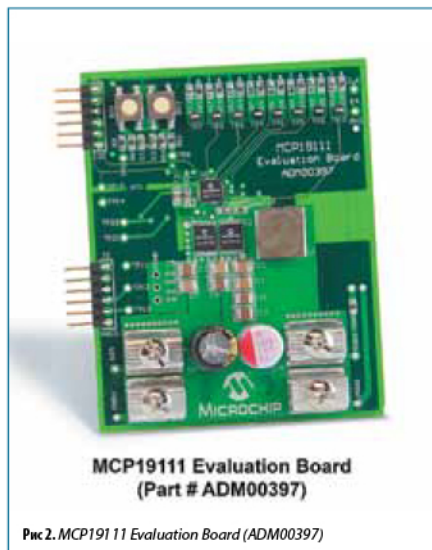


Рис 2. MCP19111 Evaluation Board (ADM00397)

граммирования, подключения интерфейса I²C, выходы I/O и входы АЦП.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ MICROCHIP GESTIC® ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЖЕСТОВ

Особенности:

- MGC3130 — первая в мире микросхема распознавания трехмерных жестов на основе электромагнитных полей.
- Библиотека распознавания жестов и точное отслеживание положения руки.
- Наименьшее потребление из существующих технологий.
- Отсутствие слепых зон.

Microchip представляет свою новую запатентованную технологию GestIC®, реализующую современный бесконтактный интуитивно понятный пользовательский интерфейс на основе жестов. Микросхема MGC3130 — первая в мире микросхема для отслеживания жестов руки на основе электромагнитных полей.

Технология GestIC® имеет высокое разрешение отслеживания жестов, достаточное для всех современных приложений, основанное на применении встроенной библиотеки Colibri Suite. Распознавание жестов производится на основе стохастической модели Маркова отслеживания координат руки, предоставляя пользователю законченный набор трехмерных жестов рукой и пальцами, например: пробуждение по приближению руки, отслеживание положения руки, постукивание, круг, символы, на основе которых можно осуществлять вкл/выкл устройства, запуск приложений, выбор объекта, указание и щелчок, масштабирование, прокрутка и пр. Помимо этого, возможен анализ «сырых» данных, поступающих непосредственно с электродов.

Для изготовления электродов может применяться любые проводники, например, на печатной плате или оксид индия-олова

(ITO, прозрачные проводники). GestIC® обеспечивает 100% покрытие и отсутствие слепых зон, в отличие от других технологий. Микросхема MGC3130 имеет рабочий диапазон расстояний порядка 15 см, что делает ее идеальной для интерфейсов современных устройств, рассчитанных на тесную работу человека с системой.

Особенности микросхемы MGC3130:

- Разрешение 150 DPI (как у мыши), 200 выборов в секунду.
- Сверхмалощумящий аналоговый тракт.
- Настраиваемое пробуждение по поднесению руки (150 мкВт), обеспечивая постоянную работу системы в мобильных и малопотребляющих приложениях.
- Функция автокалибровки.
- 32-битная цифровая обработка сигнала, работа в реальном времени, библиотека распознавания Colibri Suite.
- Flash память для пользовательских расширений.
- Диапазон рабочих частот 70...130 кГц с постоянной сменой частот для снижения наводок. Отсутствие влияния внешней засветки и звуков.

Отладочная плата Sabrewing MGC3130 Single Zone Evaluation Kit (DM160217) доступна для заказа и предназначена для исследования возможностей микросхемы MGC3130 с электродами 7 дюймов (178 мм). В состав набора входит GUI AUREA (также доступный для бесплатного скачивания), который позволяет отслеживать жесты, распознанные микросхемой и настраивать параметры библиотеки Colibri Suite. Библиотека запрограммирована в MGC3130 и является ядром распознавания жестов. ■

ДА БУДЕТ СВЕТ!

В апреле 2014 года компания Microchip официально объявила о покупке компании Supertex. Основанная в 1976 году Supertex Inc. успешно занимается разработкой высококачественных комплементарных металло-оксидных полупроводников (CMOS) и металло-оксидных полупроводников с двойной диффузией (DMOS). 20 лет назад Supertex стала пионером в изготовлении совместных высоковольтных структур HVCMOS® с низковольтными CMOS и DMOS-структурами полупроводников, и на сегодняшний день уверенно занимает лидирующие позиции в этом направлении.

Наибольшую популярность Supertex Inc. получила за свои разработки высоковольтных линейных и импульсных драйверов с широким диапазоном входных напряжений – от 8 до 450 В, которые нашли широкое применение в различных областях светодиодного освещения. Первым настоящим хитом на рынке LED освещения от Supertex стала выпущенная в 2004 году микросхема HV9910. Благодаря простоте схемотехники и доступной цене, она моментально нашла применение, как в офисных, так и промышленных светильниках, и в особенности в светильниках для ЖКХ. В HV9910 используется управление ключевым понижающим преобразователем по пиковому току дросселя, что позволяет создавать на ее основе неизолированные источники тока для светодиодных линеек с выходным током более 1 А. Начиная с 2008 года, было сделано несколько незначительных модернизаций HV9910: HV9910B, HV9910C, не отличающихся по параметрам и способам применения от своей предшественницы. Продолжая совершенствовать схемотехнику драйвера, в 2009 году Supertex выпустил микросхему с совершенно другим принципом работы – HV9961.

HV9910 и HV9961 полностью совместимы по выводам, но в HV9961 используется управление ключевым понижающим преобразователем по среднему току дросселя, что в значительной степени сокращает разброс уровня стабилизации тока светодиодов (примерно с 20-25 до 3-5%). Такой разброс при управлении током дросселя по пиковому значению обусловлен разницей между пиковым и средним значением тока – $\Delta I_{(ERR)}$ (см. рис.2), которая возникает вследствие того что микросхема управляет пиковым током дросселя $I_{L(PK)}$, в то время как необходимо управлять средним значением тока $I_{L(AVG)}$. Разницу между этими двумя токами можно выразить формулой:

$$\frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_o t_{off}}{2L},$$

где V_o – напряжение на светодиодах; t_{off} – время нахождения вывода GATE в выключенном состоянии; L – величина индуктивности дросселя.

Еще одной причиной возникновения ошибки является время задержки распространения сигнала в компараторе Δt_{cs} . Из-за этой задержки реальный пиковый ток $I_{L(PK)}$ превышает пороговое опорное значение сигнала компаратора $I_{L(CS)}$. Таким образом, полная ошибка усредненного тока равна:

$$\Delta I_{L(ERR)}(ERR) = \frac{V_o t_{off} - 2V_{in} \Delta t_{cs}}{2L},$$

где V_{in} – входное напряжение; V_o – выходное напряжение; t_{off} – время пребывания вывода GATE в выключенном состоянии; Δt_{cs} – время задержки распространения сигнала в компараторе.

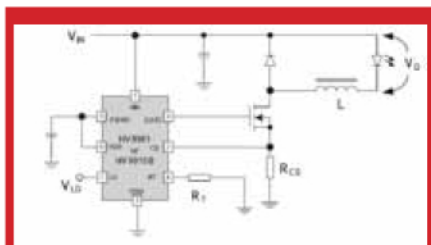


Рис. 1. Типовая схема включения интегральных схем HV9910 и HV9961

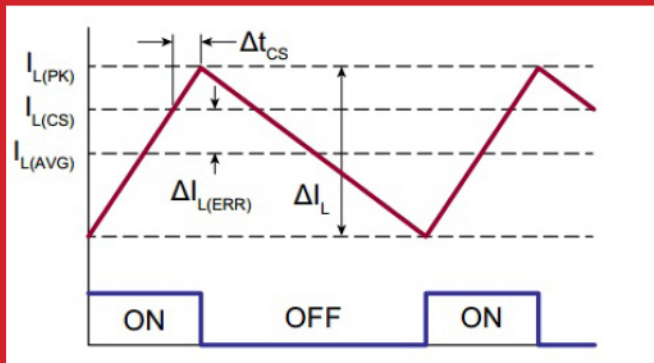


Рис. 2. Управление ключевым понижающим преобразователем по пиковому току дросселя

Помимо этого в микросхеме HV9961 по сравнению с HV9910 расширены функции диммирования и добавлена функция защиты от короткого замыкания по выходу.

Конечно, если инженеры удовлетворены работой HV9910, то переходить на HV9961 особых причин у них нет, но не стоит забывать, что качество сигнала влияет и на продолжительность жизни светодиодов, и яркость получаемого освещения, а, следовательно, и на количество необходимых светодиодов. Поработав над HV9961, инженерам из Supertex удалось сделать ее удешевленный вариант HV9861A. HV9861A совместимая по выводам замена для HV9961, доступная по более привлекательной цене. Единственное отличие новой версии от предыдущей состоит в минимальном значении входного напряжения: 12 В для HV9861A и 8 В для HV9961.

Полный список понижающих драйверов с коммутацией на землю приведен в табл. 1.

BOOST/SEPIC LED-драйверы позволяют достичь очень высокой стабилизации тока светодиодов. Интересной особенностью этих драйверов является широкий диапазон частоты диммирующего сигнала (свыше 20 кГц) (табл. 2).

DC/DC LED-драйверы приведены в табл. 3.

DC/DC LED-драйверы с автомобильной квалификацией (табл. 4).

Еще одно интересное направление разработок Supertex – драйвер последовательной линейки светодиодов. Это односхемное решение для управления последовательностью светодиодов напрямую от сети. При этом микросхема позволяет сократить число внешних компонентов: не требует электромагнитных элементов или электролитических конденсаторов, не создает помех, превышающих

Таблица 1.

Наименование	Пороговое опорное напряжение, мВ	Выходное напряжение, мВ	Тип управления	Режим	Входное напряжение, В	Тип корпуса
HV9910B	250±10%	$V_{LD} \pm 12$	По пиковому току	Fixed Freq/Fixed toff	8~450	S08/S016
HV9910C	250±10%	$V_{LD} \pm 12$	По пиковому току	Fixed Freq/Fixed toff	15~450	S08/S016
HV9961	275±3%	0,182~0,188 $V_{LD} +0/-10$	По среднему току	Fixed toff	8~450	S08/S016
HV9861A	270±3%	0,175~0,182 $V_{LD} \pm 10$	По среднему току	Fixed toff	15~450	S08/S016
HV9803	Нет	0,49 $V_{LD} \pm 6$	По среднему току	Fixed toff	8~16	S08
HV9803B	Нет	0,495 $V_{LD} \pm 6$	По среднему току	Fixed toff	8~16	S08

Таблица 2.

Наименование	Кол-во каналов	Входное напряжение Uвх, В	Основные особенности	Корпус
HV9911	1	9~250	защелкивание при размыкании выходной цепи или КЗ	SO16
HV9912	1	9~90	перезапуск при размыкании выходной цепи или КЗ	SO16
HV9964	1	8~40	широкий диапазон частоты диммирования	SO16
			защелкивание при размыкании выходной цепи	
HV9982	3	10~40	трехканальный LED-драйвер	QFN-40
			перезапуск при размыкании выходной цепи или КЗ	
HV9985	3	10~40	трехканальный LED-драйвер оптимизированный для работы с MOSFETом логического уровня	QFN-40
HV9986	3	10~40	Независимая защита по КЗ и разомкнутому цепи для каждого канала	QFN-40

Таблица 3.

Наименование	Uвх, В	Топология	Принцип работы	Основные особенности	Корпус
HV9918	4,5~40	Buck	Гистерезис	<ul style="list-style-type: none"> • встроенный ключ на 40 В, 1 Ом • встроенный конвертор аналогового сигнала в ШИМ 	DFN8
HV9919B	4,5~40	Buck	Гистерезис	<ul style="list-style-type: none"> • встроенный драйвер затвора полевого транзистора с током истока 0,5 и током стока 1 А • встроенный конвертор аналогового сигнала в ШИМ 	DFN8
HV9919B	4,5~40	Buck	Гистерезис	<ul style="list-style-type: none"> • встроенный драйвер затвора полевого транзистора с током истока 0,5 и током стока 1 А • встроенный конвертор аналогового сигнала в ШИМ 	DFN8
HV9930	8~200	Boost-Buck (Cuk)	Гистерезис	<ul style="list-style-type: none"> • Задаваемое ограничение входного тока • Превосходное подавление шумов переходного напряжения 	SO8
HV9967B	8~60	Buck	Гистерезис	<ul style="list-style-type: none"> • Встроенный МОП транзистор, 60 В, 0,8 Ом • Защита от КЗ и перегрева 	MSP08 / DFN8

требования ЭМС и позволяет достигнуть значения коэффициента мощности свыше 0,95.

Зачастую, при создании устройства, работающего от сети, инженеров возникает желание применить простое и изящное решение для подачи питания на микроконтроллер, светодиоды, датчики и пр., без лишнего нагревания. Supertex не оставил это желание без внимания и предлагает как высоковольтные линейные регуляторы напряжения, так и бездрессельные off-line регуляторы. Первые представляют из себя компактное решение, заключенное

в миниатюрном корпусе с 2/3 выводами, преобразующее широкий диапазон входных напряжений (от 90 до 450 В) и/или токов до фиксированного значения или настраиваемого пользователем напряжения или тока. Off-line-регулятор преобразует входной сигнал от сети в последовательность импульсов фиксированных или подстраиваемых пользователем периода и амплитуды. При этом они не требуют гальванической развязки и имеют встроенный конденсатор. В основном подобные микросхемы применяются в LED-освещении, бытовой технике,

Таблица 4.

Наименование	Uвх, в	Топология	Принцип работы	Основные особенности	Корпус
AT9917	5,3~40	Boost / SEPIC	Замкнутый контур Фикс. частоты	Программируемая компенсация температурного отклонения низкое энергопотребление в спящем режиме	TSSOP24
AT9919B	4,5~40	Buck	Гистерезис	Встроенный драйвер затвора полевого транзистора с током истока 0,5 и током стока 1 А встроенный конвертер аналогового сигнала в ШИМ	DFN8
AT9932	5,3~40	Boost-Buck (Cuk)	Замкнутый контур Фикс. частоты	Превосходное подавление шумов переходного напряжения программируемая термокомпенсация	TSSOP24
AT9933	8~75	Boost-Buck (Cuk)	Гистерезис	Программируемый порог входного тока превосходное подавление шумов переходного напряжения	SO8

Таблица 5.

Наименование	Vвх, В	Vвых, В	Выходной ток, мА, пиковый	Количество ступеней	Диммирование	Возможность параллельного включения	Корпус
CL8800	90-275	70-350	115	6	Внешнее	Да	QFN-33
CL8801	90-275	70-350	200	4	Внешнее	Да	QFN-33

Таблица 6.

Наименование	Vвх, В	Подстраиваемый диапазон Vвых, В	Фиксированное Vвых, В	Iвых, мА	Регулировка нагрузки, %/мА	Корпус
SR086	80-285	9-50	3,3	100	0,025	8-Lead SOIC w/Heat Slug
SR087	80-285	9-50	5	100	0,017	8-Lead SOIC w/ Heat Slug
SR10	80-285	6-28	6, 12, 24	60	-	8-Lead SOIC

Таблица 7.

Наименование	+Vвх Min, В	+Vвх Max, В	Выходное напряжение	Iвых Max, мА	Линейное регулирование Тур, %/V	Регулирование нагрузки Тур, %/мА	Корпус
LR8	12	450	1,2-440	10	0,003	0,15	TO-252, TO-92, SOT-89
LR12	12	100	1,2-88	50	0,003	0,06	TO-252, 8-Lead SOIC, TO-92
LR645	15	450	10	3	0,0001	0,5	TO-220, 8-Lead SOIC, TO-92, SOT-89
LR745	25	450	20	2	0,0001	0,5	TO-92, SOT-89

Таблица 8.

Наименование	Vв, В	Vвых, В	Iвых, мА	Диммирование	Возможность параллельного включения	Корпус	Особенность
CL2	5–90	5–90	20	Внешнее	Да	TO-252 TO-92 SOT-89	—
CL25	5–90	5–0	25	Внешнее FET	Да	TO-92 SOT-89	—
CL220	5–220	5–220	20	Внешнее FET	Да	TO-252 TO-220	—
CL320	6,5–90	4–0	20	ШИМ	Да	SOIC-8 w/Heat Slug	OTP and Separate Enable Pin
CL325	6,5–90	4–0	25	ШИМ	Да	SOIC-8 w/Heat Slug	OTP and Separate Enable Pin
CL330	6,5–90	4–90	30	ШИМ	Да	SOIC-8 w/Heat Slug	OTP and Separate Enable Pin
CL520	4,75–90	1–90	20	-	Да	TO-252 TO-92-3	—
CL525	4,75–90	1–0	25	-	Да	TO-252 TO-92-3	—
CL6	6,5–90	4–90	100	Нет	Да	TO-252 TO-220	Reverse Polarity Protection and OTP
CL7	6,5–90	4–90	100	ШИМ	Да	SOIC-8 w/Heat Slug	Reverse Polarity Protection and OTP

измерительных приборах, пусковых схемах и т. п. Рассмотрим эту линейку более подробно.

Линейные регуляторы напряжения приведены в табл. 6

В табл. 7 приведены линейные регуляторы тока. Бездукторные off-line-регуляторы см. в табл. 8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день компания Supertex Inc. является лидером в производстве совмещенных высоковольтных HVCMOS® структур с низковольтными CMOS и DMOS структурами полупроводников. Портфолио компании включает множество интересных

решений для построения источников питания, работающих в диапазоне от 8 до 450 В. Продукция компании Supertex по сравнению с конкурентами обладает рядом преимуществ: требует меньше внешних компонентов, отличается высокой стабильностью сигнала и невысокой ценой.

Более подробно с продукцией Supertex можно ознакомиться на сайтах www.microchip.com, где Вы можете найти документацию, примеры применения, описания отладочных плат. За технической поддержкой или бесплатными образцами Вы можете обратиться к официальному дистрибьютору компании Microchip в России и СНГ, компании Гамма—Санкт-Петербург. ■