

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 — появятся 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 маломощные 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 обеспечат бесперебойными поставками электронными компонентами.

Дополнительную информацию, обзорные и технические статьи, новости вы можете найти на сайте нашей компании [www.gamma.spb.ru](http://www.gamma.spb.ru).

# НЕЗАВИСИМАЯ ОТ ЯДРА ПЕРИФЕРИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ MICROCHIP

**Н**езависимая от ядра периферия позволяет поднять производительность 8-битных микроконтроллеров Microchip на новый уровень. Она разработана для осуществления специфических и синтезируемых функций без участия кода, но под контролем ядра. В результате периферия, независимая от ядра, упрощает реализацию сложных систем управления и дает разработчикам необходимую гибкость для инноваций. Цель статьи — дать возможность читателям ближе познакомиться с периферийными модулями PIC-контроллеров и со способами взаимодей-

ствия периферии между собой для построения блоков, реализующих некоторые специфические функции.

## КОНФИГУРИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЯЧЕЙКИ В PIC—МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ

Конфигурируемые логические ячейки CLC (Configurable Logic Cell) являются частью периферии, независимой от ядра (CoreIndependentPeripheral, CIP), микроконтроллеров Microchip. Другими словами, функционирование такой периферии асинхронно и не зависит (или почти не зависит) от так-

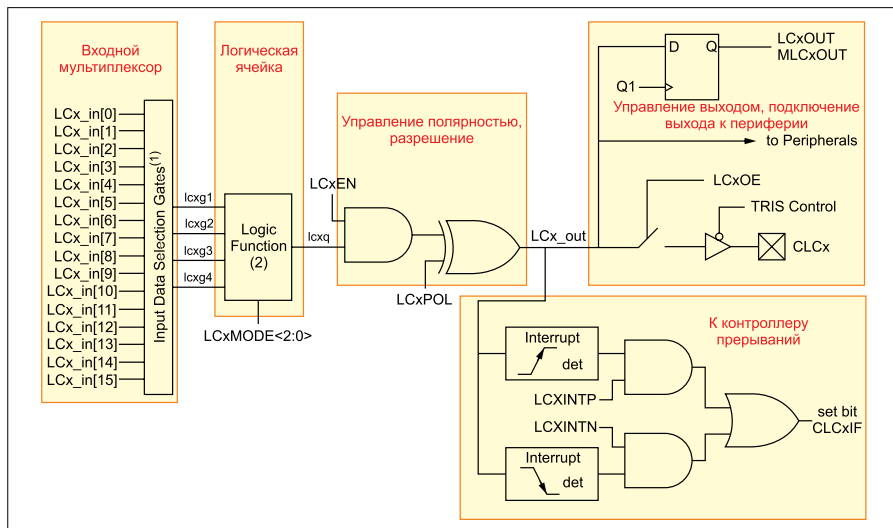


Рис. 1. Структура логической ячейки CLC

товой частоты микроконтроллера и его состояния (RUN, IDLE, SLEEP). Конечно же, подобная периферия конфигурируется программой микроконтроллера, но дальнейшее функционирование может быть совершенно независимым.

Каждая ячейка содержит входной мультиплексор, логическую функцию, управление выходом и подключение к контроллеру прерываний. Общая схема логической ячейки приведена на рис. 1.

Каждая из логических ячеек имеет четыре выхода, сигналы для которых выбираются входным мультиплексором, при этом каждый вход может быть прямым или инверсным. Часть входов может не использоваться и подключаться к уровню лог. 0 или лог. 1.

Выходы для ячеек имеют как внешние (порты ввода/вывода), так и внутренние (сигналы другой периферии: ШИМ, компараторы, таймеры и другие, а также выходы самих CLC) подключения.

Выход ячейки CLC обладает управляемой полярностью, подключается на выходной порт микроконтроллера, к другой периферии, формировать запрос на прерывание по изменению состояния (по фронту и/или спаду).

Логическая функция каждой ячейки выбирается из восьми вариантов (рис. 2).

Поскольку логические ячейки имеют множество настроек, проще всего конфигурировать CLC через плагин MPLABCodeConfigurator (MCC) в среде разработки MPLABX, который создает С-файлы настроек задействованной периферии. На рис. 3 представлена среда разработки Mplab X IDE с запущенным плагином MplabCodeConfigurator (MCC).

Обратите внимание на входные гейты на входе CLC (рис. 3, п. 2), которые выполнены как элементы 4-ИЛИ.

При необходимости, согласно законам де Моргана, входные гейты можно преобразовать из базиса ИЛИ в И (табл.).

## ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ CLC

### Плавное изменение яркости светодиода (мерцание)

Если сигналы двух ШИМ с близкими частотами подключить к входам CLC, сконфигурированной как элемент XOR (исключающее ИЛИ), то можно орга-

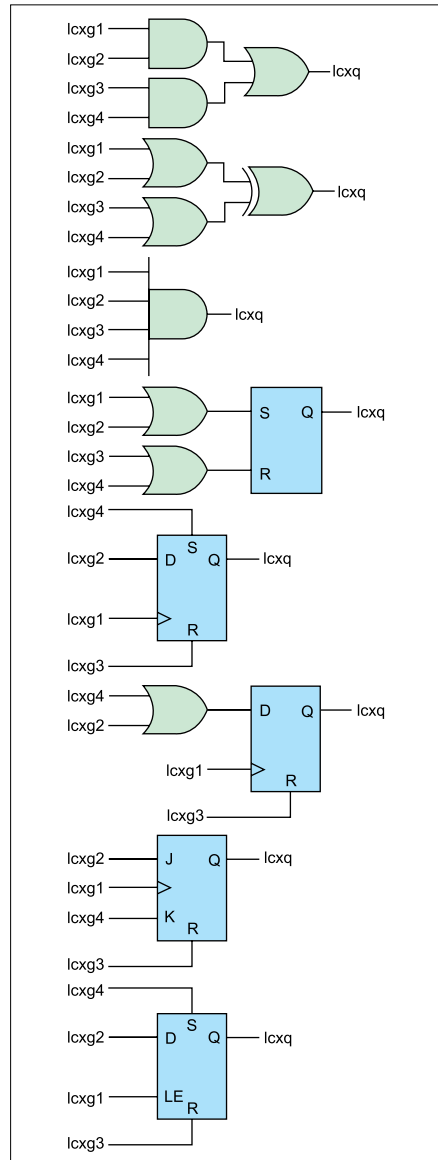
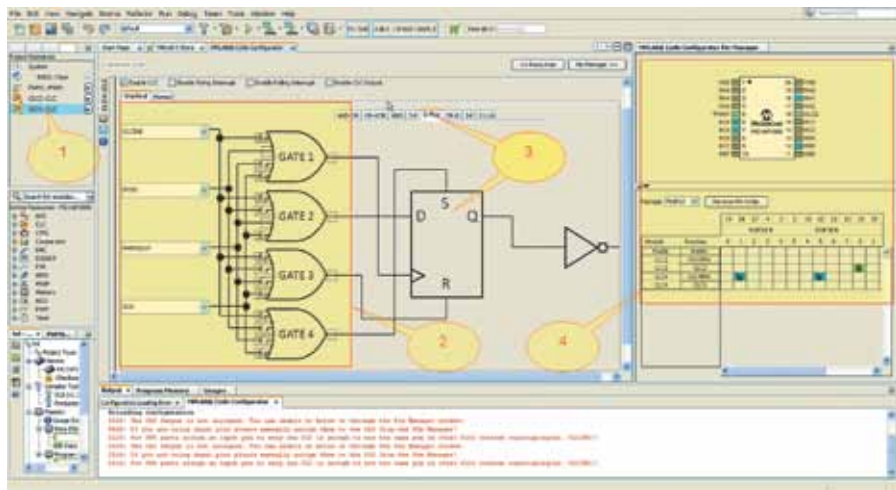


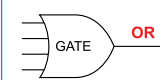
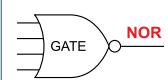

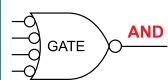
Рис. 2. Варианты функций логических ячеек

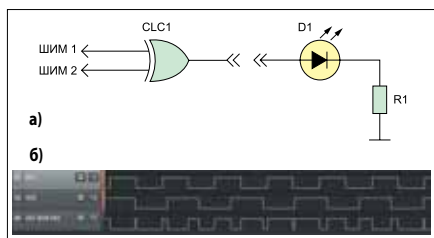
низовать «мерцание» светодиода (периодическое изменение скважности) (рис. 4). При этом решение полностью аппаратное и не требует участия ядра МК (программы).



**Рис. 3.** Среда разработки MplabXIDE с запущенным плагинем MplabCodeConfigurator (MCCv2.): 1 — редактируемая ячейка; 2 — настройка входного мультиплексора и полярности входов; 3 — функция логической ячейки; 4 — резервирование портов ввода/вывода

**Таблица.** Преобразование логических функций

Логическая функция	4-ИЛИ (OR)	4-ИЛИ-НЕ (NOR)	4-И-НЕ (NAND)	4-И (AND)
Эквивалентное представление в CLC				

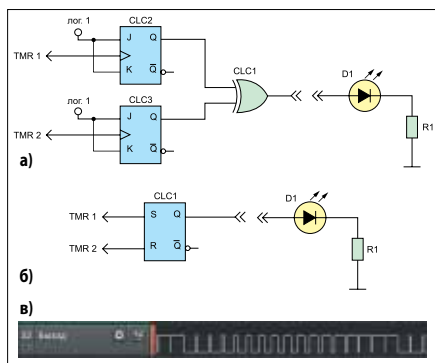


**Рис. 4.** а) схема ШИМ-модулятора; б) диаграмма, демонстрирующая принцип изменения скважности

Если для такой простой задачи использование двух-ШИМ-модулей покажется расточительным, то возможны варианты реализации без ШИМ:

1) Используем сигналы переполнения двух таймеров (события) плюс три ячейки CLC (рис. 5а).

На два JK-триггера в счетном режиме подаем сигналы с таймеров (postscaledout) — получаем на выходе меандры, которые затем подаем на элемент XOR.



**Рис. 5.** а) Реализация ШИМ-модулятора без входных ШИМ сигналов; б) реализация ШИМ-модулятора с использованием сигналов переполнения двух таймеров; в) диаграмма «пилообразного ШИМ»

2) Используем сигналы переполнения двух таймеров и одну CLC (рис. 5б).

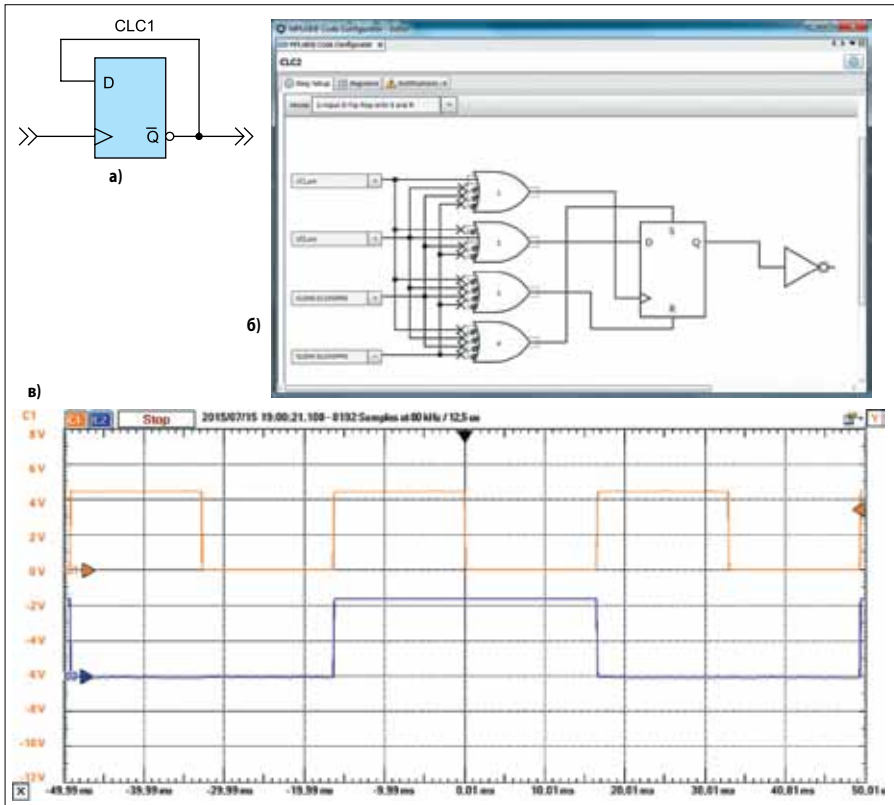


Рис. 6. а) Схема делителя на 2; б) делитель на 2 в настройках MCC; в) диаграмма на входе и выходе делителя

На входы RS-триггера подаем сигналы с таймера (postscaledout) — получаем на выходе «пилообразный ШИМ» (рис. 5в).

### Делитель частоты

Схема делителя частоты на 2 приведена на рис. 6а. Используется один D-триггер в счетном режиме. Входной сигнал подается на вход тактирования, вход D соединен с инверсным выходом триггера. В момент поступления на вход тактирования фронта на входе D всегда будет инверсный сигнал относительно текущего состояния триггера, то есть состояние триггера меняется только по фронту входного сигнала.

В плагине MPLABCodeConfigurator подобная схема может выглядеть, как показано на рис. 6б.

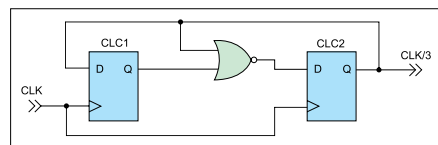


Рис. 7. Схема делителя на 3

На рис. 6в представлена диаграмма на входе и выходе делителя.

Делитель на 3 изображен на рис. 7.

### Драйвер шагового двигателя

Один из самых простых вариантов управления шаговым двигателем (ШД) — полношаговое управление (fullstep). В этом варианте сигналы управления сдвинуты на 90°, а потому можно взять периодиче-

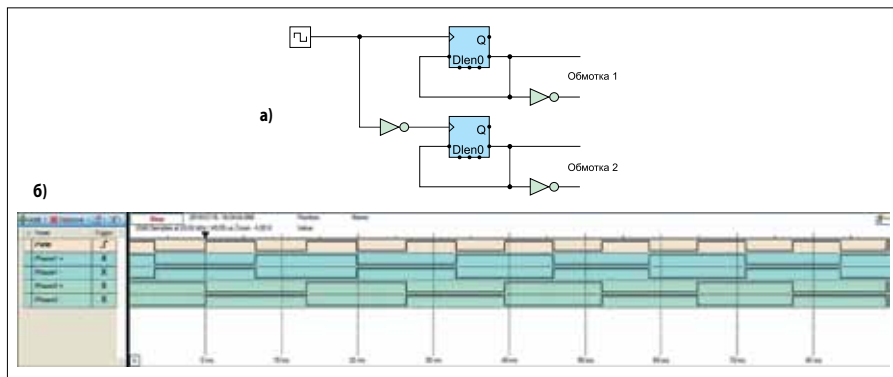


Рис. 8. а) Формирователь сигналов управления шаговым двигателем; б) диаграмма на выходе формирователя

ский сигнал и на один делитель частоты подать его в прямом виде, на другой — в инверсном (рис. 8). Изменение частоты на входе CLC будет менять частоту управляющих сигналов шагового двигателя. Входную частоту можно брать с входа микроконтроллера (внешний сигнал) либо от внутреннего источника — ШИМ- или NCO-генератора.

При управлении ШИМ нужно менять два параметра: регистр периода (частота) и регистр скважности, поскольку управляющий сигнал должен быть с 50%-ной скважностью.

Применение NCO (Numerically Controlled Oscillator, управляемый генератор) выглядит более привлекательным, так как это генератор может автоматически формировать меандр, а значит, для изменения частоты нужно менять значения только в одном регистре.

Для смены направления следует инvertировать сигналы на одной из фаз.

### Задержка. Формирование импульса по фронту, спаду, изменению

Для некоторых задач может понадобиться формирование задержанного импульса, и в этом случае можно применить D-триггер. На счетный вход подаем входной сигнал, на вход тактирования — какой-либо высокочастотный сигнал (например, тактовой частоты  $F_{osc}$ ). Таким образом, изменение выхода триггера будет происходить только по фронту тактового сигнала.

Данный метод будет сдвигать фронт и спад сигнала на период  $F_{osc}$ , только если оба сигнала синхронны. Поэтому для гарантированного сдвига на 1 период  $F_{osc}$  сдвигаемый сигнал должен фор-

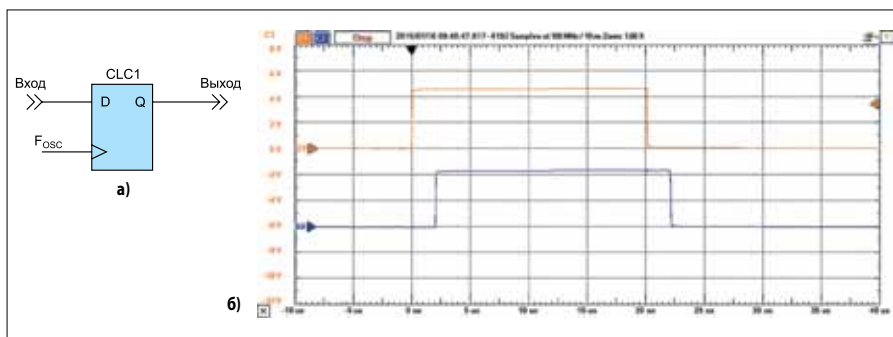


Рис. 9. а) Формирователь задержанного сигнала; б) диаграммы на входе и выходе формирователя задержанного сигнала

мироваться самим микроконтроллером (ШИМ, NCO и др.). Если входной сигнал асинхронный, то на входе можно поставить синхронизатор на точно таком же D-триггере, то есть первым этапом сдвинуть асинхронный сигнал до первого тактового импульса, а затем — на полный период тактового сигнала.

На основе приведенной схемы (рис. 9) легко реализовать формирователь импульсов по изменению состояния входа, по фронту и спаду. В качестве примера на рис. 10 приведены схема формирователя импульсов по фронту и спаду и диаграммы на входе и выходе формирователя импульсов по фронту и спаду.

Подобные схемы можно использовать, например, при построении импульсного источника питания для бланкирования сигнала обратной связи от компаратора во время переключения силового ключа, что и будет рассмотрено далее.

### Подавление дребезга контакта

При замыкании и размыкании механических контактов, как правило, наблюдается дребезг. Наверняка с этим явлением многие сталкивались при опросе состояния механических кнопок. Логические ячейки совместно с таймером могут решить задачу подавления дребезга аппаратно.

Схема реализации точно такая же, как для формирования задержанного импульса, только период тактового сигнала нужно брать немного больше. Суть метода заключается в том, что выход триггера не реагирует на вход, если нет сигнала тактирования, поэтому схема (рис. 11) не реагирует на каждое переключение входа.

Еще один вариант реализации подавления дребезга — с помощью RC-цепи (рис. 12). В отличие от предыдущего примера задержка определяется параметрами RC-цепи и не требует задействования таймера.

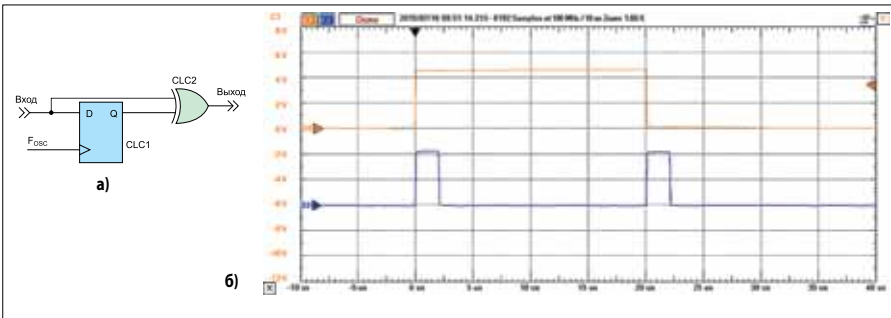


Рис. 10. а) Формирователь импульсов по фронту и спаду; б) диаграммы на входе и выходе формирователя импульсов по фронту и спаду



Рис. 11. Подавление дребезга: а) схема; б) диаграммы сигналов на входе и выходе схемы

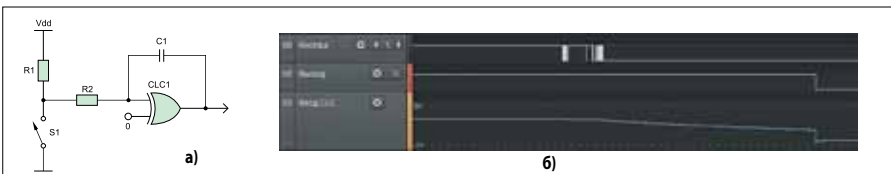


Рис. 12. а) Подавление дребезга с задержкой с RC-цепочкой; б) диаграммы сигналов на входе и выходе схемы подавления дребезга с задержкой с RC-цепочкой

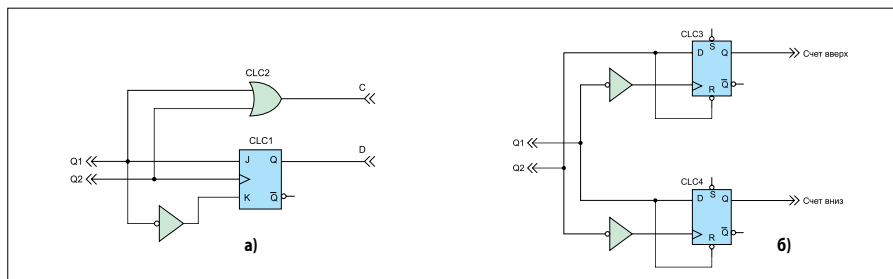


Рис. 13. Квадратурный декодер: а) со счетным выходом и сигналом направления; б) с двумя счетными выходами

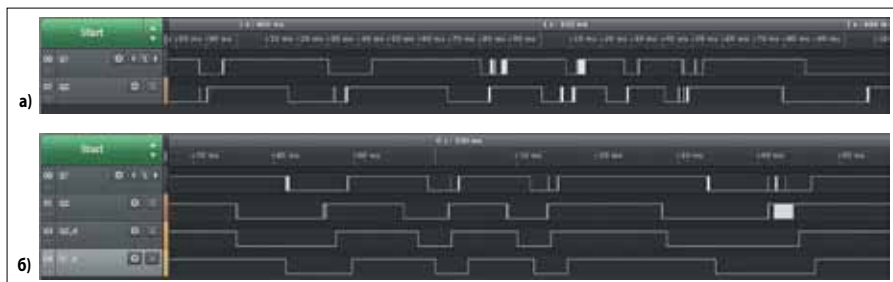


Рис. 14. Сигналы механического квадратурного энкодера: а) с выходов; б) входные с энкодера и очищенные от дребезга



Рис. 15. Диаграммы сигналов обработки квадратурного энкодера для схем: а) с выходом направления; б) с двумя счетными выходами

### Квадратурный энкодер

Квадратурный энкодер — устройство, при вращении оси которого формируется два квадратурных сигнала, сдвинутых по фазе относительно друг друга. Применяется в определении скорости (угла поворота или числа оборотов) и направления вращения/пере-

мещения. Пожалуй, самое известное применение — это колесо компьютерной мышки. Схемана рис. 13а детектирует фазы входных сигналов (состояние выхода D показывает направление вращения энкодера) и выдает тактовые сигналы (выход С).





Рис. 16. Диаграммы формирователя манчестерского кода

Схема на рис. 13б выдает импульсы: на одном выходе при вращении по часовой стрелке, а на втором выходе — при обратном вращении.

Механический энкодер при переключении контактов выдает множественные ложные срабатывания, или дребезг контактов (рис. 14а).

Поэтому обе вышерассмотренные схемы нуждаются вочищенных от дребезга сигналов (рис. 14б). Ранее мы уже рассматривали варианты аппаратного подавления дребезга на ячееках CLC.

Под обработку сигналов квадратурного энкодера понадобится четыреячейки CLC — две для подавления дребезга и две для декодирования (рис. 15).

Входы и выходы логических ячеек могут подключаться к портам микроконтроллера или иметь только внутренние соединения. Для данного примера необходимо только два входа, а выходы декодера могут подключаться к внутренним счетчикам микроконтроллера, формировать прерывания, опрашиваться программой и т.д. Но для задач тестирования можно все выходы CLC вывести наружу и проверить правильность работы схемы.

Области применения: механические и оптические энкодеры, подсчет числа входящих и выходящих людей, сигнализация и блокирование турникета при прохождении в непопозволенном направлении.

### Манчестерский кодер

Манчестерское кодирование широко применяется при передаче сигналов. Каждый бит делится на два интервала, после первого интервала (в середине информационного бита) происходит смена уровня сигнала. Передача каждого информационного бита сопровождается изменением уровня, нули и единицы отличаются фазой («1» — перепад из 0 в 1; «0» — из 1 в 0). Таким образом, манчестерский код имеет следующие особенности:

- Самосинхронизирующийся — нет необходимости передачи специальных синхросигналов, так

как уровень передаваемого сигнала гарантированно меняется в середине информационного бита; высокая плотность информации.

- Нет постоянной составляющей (сигнал меняется каждый такт).

Схема кодирования последовательности очень проста и использует один логический элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ.

На выходе получаем кодированный поток (рис. 16).

### Декодер манчестерского кода

Схема манчестерского декодера гораздо сложнее (рис. 17). Ее задача выделить синхриимпульсы и битовый поток.

В примере применения AN1470 [1] предлагается следующая реализация аппаратного декодирования манчестерского кода на основе CLC и NCO (управляемого генератора).

**Стадия 1: D-триггер.** Ячейка CLC4 (D-триггер) защелкивает входной поток по спаду сигнала синхронизации. Выход с этого триггера будет являться декодированными (восстановленными) данными из входного потока.

**Стадия 2: элемент XOR (CLC2).** Поскольку в манчестерском кодировании изменение сигнала происходит в середине каждого информационного бита, можно использовать элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, чтобы обеспечить нарастающий фронт на стадии 3 в середине каждого бита, то есть синхронизировать декодер в середине каждого бита.

**Стадия 3: NCO + AND-OR (CLC1).** Модуль NCO применяется для генерации 3/4-битового интервала, по завершении которого производится захват (фиксация) данных. NCO используется в режиме с активным низким состоянием. Длительность импульсов можно регулировать с помощью регистров. Модулю NCO необходим источник тактовых импульсов, которые поступают из CLC1.

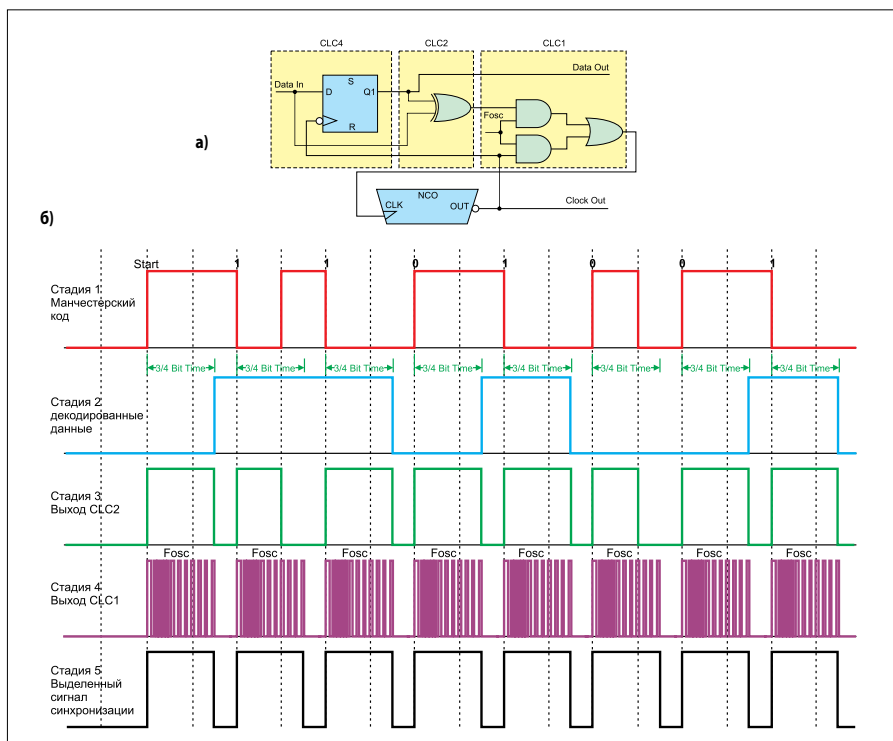


Рис. 17. Декодер манчестерского кода: а) схема; б) диаграммы, поясняющие работу

Эти два блока являются наиболее важными в декодере. Они создают импульсы фиксированной длины после каждого нарастающего фронта сигнала, выходящего из «стадии 2». Выходной сигнал NCO подается обратно в элемент И-ИЛИ так, что если выход из «стадии 2» становится равным нулю, то NCO будет продолжать тактироваться до своего переполнения. Выделенные сигналы синхронизации и данных можно завести на модуль SPI. Тогда, по приему кодовой посылки, в буфере SPI получим декодированные данные и прерывание по приему.

### Ждущий мультивибратор

Для формирования одиночного импульса по фронту или спаду входного сигнала служат ждущие мультивибраторы (рис. 18).

Инвертирование сигнала на входе синхронизации реализует ждущий мультивибратор с запуском по спаду входного сигнала (рис. 18г).

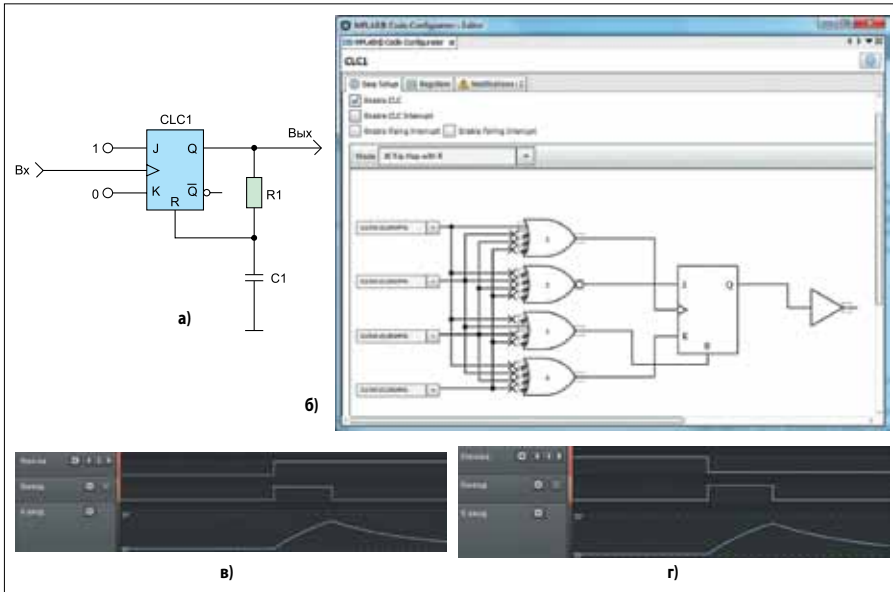
В отличие от рассмотренных ранее формирователей импульса по фронту и спаду у данной схемы длительность импульса задается не частотой сигнала на входе тактирования, а параметрами RC-цепочки.

### Мультивибратор

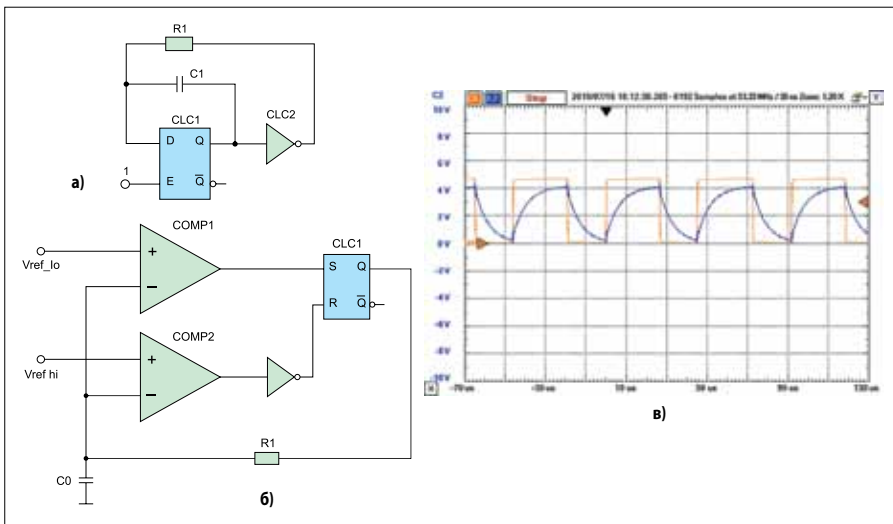
Простейший генератор можно сделать на двух ячейках CLC (D-триггер + инвертор) (рис. 19а).

Недостатком является низкая стабильность, так как пороги переключения зависят от уровней лог. 0 и 1 конкретного типа микроконтроллера, которые могут «гулять» от температуры, напряжения питания и т. д. К тому же не очень правильно, когда на цифровом входе уровень сигнала долгое время находится между 0 и 1.

Следующая схема (рис. 19б) использует два встроенных компаратора и одну ячейку CLC. Здесь пороги срабатывания компараторов задаются источником опорного напряжения и внешним делителем (или



**Рис. 18.** Ждущий мультивибратор: а) схема на JK-триггере; б) реализация на JK-триггере в PIC-контроллере; в) диаграммы, поясняющие работу; г) диаграммы с запуском по спаду



**Рис. 19.** Мультивибратор: а) простейший на D-триггере; б) на двух компараторах и RS-триггере; в) диаграммы, поясняющие работу

встроенным ЦАП). Схема будет более стабильной, к тому же компараторы имеют аналоговые входы

и позволяют любые напряжения на входе в пределах напряжения питания (рис. 19в).

Для данного примера от независимой от ядра периферии нам понадобится двакомпаратора, помимо CLC, а также источники опорного напряжения (внешние на делители или внутренние).

В начальном состоянии на выходе триггера установлен уровень лог. 0, конденсатор разряжен, на компараторе COMP1 на выходе появляется лог. 1, триггер устанавливается в 1, конденсатор заряжается через резистор до уровня напряжения верхнего порога ( $V_{refhi}$ ), при достижении которого на входе R-триггера появляется лог. 1. Триггер «перекидывается» в противоположное состояние, конденсатор начинает разряжаться через резистор и т.д. Таким образом, мы получили полностью программно-независимый генератор. Но в данной схеме микроконтроллер может программно менять частоту с помощью изменения порога срабатывания одного из компараторов (изменением опорного напряжения встроенным ЦАП или др.).

### Измерение емкости. Емкостный сенсор. Сенсорная кнопка

Частота мультивибратора (рис. 19) зависит от значения емкости конденсатора и сопротивления резистора. Если один из параметров изменяется,

то изменяется частота. Поэтому данная схема позволяет измерять сопротивление или емкость, например, с помощью таймера микроконтроллера (рис. 20).

В качестве конденсатора может использоваться проводящая площадка, при касании которой мы будем вносить в схему дополнительную емкость, что приведет к уменьшению частоты генератора. Подобным методом детектируется протечкаводы, определяет-ся влажность почвы и т.д.

### Импульсный источник питания

Таймер TMR периодически устанавливает RS-триггер и открывает силовой транзистор. Ток начинает течь через индуктивность, напряжение на резисторе R1 линейно увеличивается. При достижении напряжения на R1 порогового значения срабатывает компаратор COMP1 и сбрасывает триггер, транзистор закрывается. Ток через индуктивность не может прерваться мгновенно, поэтому ток начинает течь через диод D1 и заряжает выходной конденсатор. При срабатывании таймера триггер снова устанавливается и процесс повторяется.

На рис. 21 приведена схема повышающего источника, но для других топологий (рис. 22) работа схемы

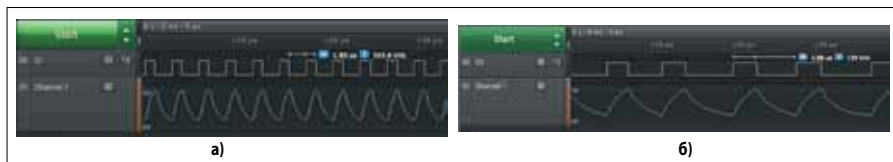


Рис. 20. Диаграммы работы мультивибратора при изменении времязадающей емкости: а) осциллограмма без касания сенсора; б) осциллограмма при нажатом сенсоре

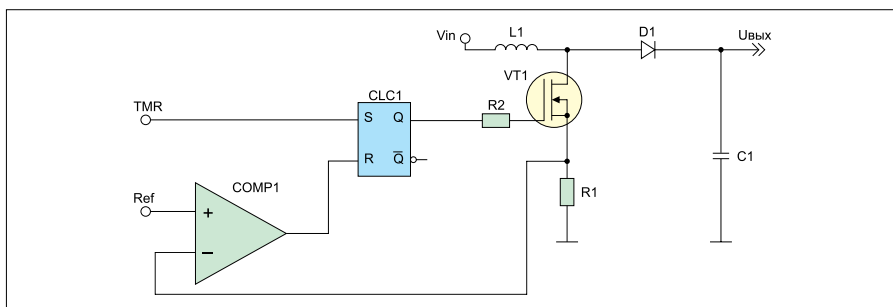
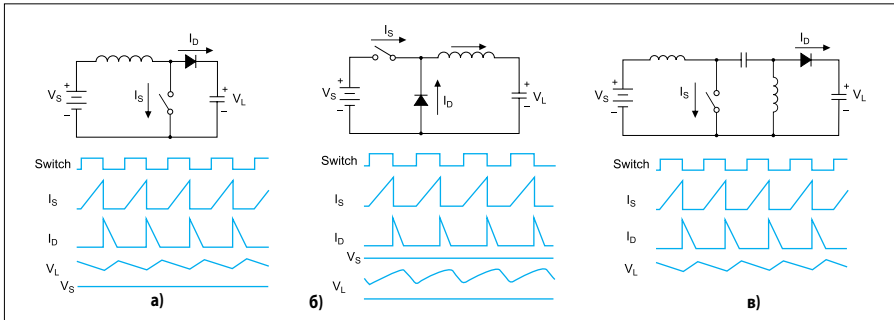


Рис. 21. Простейший импульсный источник питания



**Рис. 22.** Различные топологии импульсных источников питания: а) повышающий преобразователь; б) понижающий преобразователь; в) *Series*-преобразователь

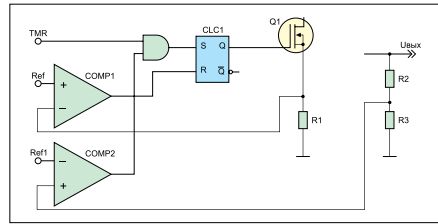
будет аналогичной, поэтому выходной каскад далее мы изображать не станем.

Приведенная на рис. 21 схема выполняет функцию преобразования энергии и работает по пиковому значению тока в индуктивности. В схему можно ввести контур регулирования выходного напряжения. Наиболее просто сделать гистерезисное управление: когда напряжение на выходе ниже нормы — происходит накачка источника, когда напряжение выше — выдача управляющих импульсов на силовой транзистор блокируется (рис. 23).

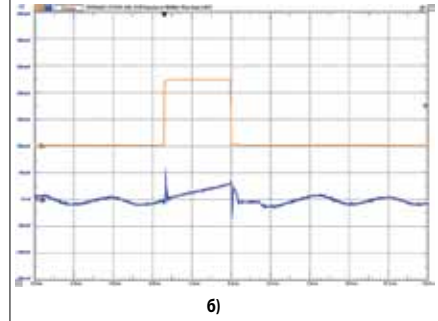
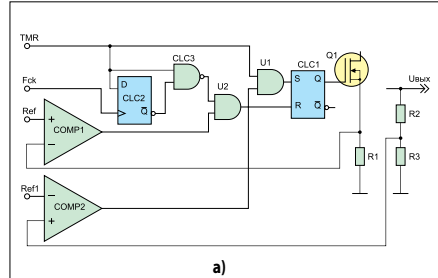
Включение силового транзистора будет генерировать помеху, способную приводить к преждевременному срабатыванию компаратора COMP1. Для избавления от этого можно включить RC-фильтр в цепь между R1 и компаратором или добавить рассмотренный ранее блок бланкирования (формирование импульса по фронту), который после включения транзистора будет блокировать сброс триггера на короткий интервал времени (рис. 24).

Элементы U1 и U2 можно привести к реализации на элементах ИЛИ и отнести к входу CLC1, тогда вся логическая часть схемы реализуется на трех ячейках CLC (обычно в микроконтроллерах Microchip имеется четыре ячейки).

Все, что на схеме изображено левее силового ключа, — находится внутри микроконтроллера, связи периферийных модулей также осуществляются внутри кристалла микроконтроллера. Напряжения порогов Ref и Ref1 могут задаваться встроенными источниками опорного напряжения или ЦАП. Таким образом, импульсный источник питания с регулируемым выходным напряжением можно реализовать



**Рис. 23.** ИИП с гистерезисным управлением



**Рис. 24.** ИИП с гистерезисным управлением и бланкированием помехи переключения

на периферийных модулях микроконтроллера. После первоначального конфигурирования схема будет работать полностью аппаратно без необходимости участия ядра в поддержании функции преобразователя. Ядро может заниматься интерфейсными задачами, индикации контроля и др.

Вообще, для построения импульсных источников питания в новых семействах PIC16F17xx микроконтроллеров Microchip есть дополнительные аналоговые (операционные усилители) и специализированные периферийные модули: модули пилообразной компенсации (SlopeCompensation) и программируемый рамп-генератор (ProgrammableRampGenerator, PRG), операционные усилители, модуль формирования комплементарных выходных сигналов (COG), HLT-таймера.

## ПОРТЫ ВВОДА/ВЫВОДА

### Стандартные функции портов

Порты ввода/вывода также можно отнести к периферии, независимой от ядра, так как входы портов являются асинхронными, состояние портов сохраняется в спящем состоянии ядра. Наверное, сложна и уникальна возможность «портовой» периферии, но некоторые новые особенности все же заслуживают внимания.

Порты современных микроконтроллеров PIC имеют набор стандартных функций:

- Аналоговые входы:
  - входы АЦП;
  - входы компараторов;
  - входы операционных усилителей;
  - входы опорного напряжения.
- Аналоговые выходы:
  - выходы ОУ;
  - выходы ЦАП;
  - выходы источника опорного напряжения.
- Цифровые входы:
  - настройка типа входа TTL или ST (триггер Шмитта);
  - возможность включения внутренней подтяжки к Vdd.
- Цифровые выходы:
  - стандартный выход или выход типа открытый сток;

- возможность ограничения скорости нарастания фронта/спада (полезная функция для уменьшения EMI-помех);
- высокая нагрузочная способность выхода (обычно для PIC-контроллеров втекающий/вытекающий ток имеет верхнее значение 25 мА, но у некоторых семейств нагрузочная способность пары выводов портов увеличена до 50 или даже до 100 мА).

### Переназначение функций портов ввода/вывода, PPS

Из «нестандартных», но весьма полезных особенностей следует отметить возможность переназначения функций портов (PeripheralPinSelect, PPS).

Переназначение функций портов интересно потому, что предоставляет следующие возможности:

- оптимизация трассировки печатной платы — разработчик может «перетащить» те или иные входы/выходы периферии по выводам контроллера;
- уменьшение влияния помех (можно максимально отдалить высокочастотные цифровые выходы (ШИМ, интерфейсы и др.) от аналоговых цепей);
- наиболее полное использование периферии (микроконтроллеры Microchip всегда славились обилием периферийных модулей, но из-за ограничения числа выводов корпусов микросхем разработчику не всегда удавалось применить нужный ему набор периферии, так как разная периферия могла использовать один и тот же вывод микросхемы, то есть приходилось чем-то жертвовать);
- увеличение нагрузочной способности порта — выход периферии (UART, ШИМ и др.) можно подключить к нескольким портам МК, эти порты соединить на плате и тем самым увеличить нагрузочную способность;
- объединение функций на один вывод (к примеру, один и тот же вход можно подключить к входу UART и входу прерывания);
- тестирование и отладка.

В концепции периферии, независимой от ядра, различные периферийные модули могут соединяться внутри МК и не иметь выходов наружу. Для конеч-



Package: PIC16F18855			Pin Manager: Grid (MCC)																							
Module	Function	Direction	Part A							Part B							Part C									
			0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
CLC1	CLC1OUT	output	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒																
CLC2	CLC2OUT	output	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒																
CLC3	CLC3OUT	output									🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
CLC4	CLC4OUT	output																								
CLC0	CLC00	input	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒																
	CLC01	input	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒																
	CLC02	input									🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
	CLC03	input																								
NCO1	NCO	output	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒																
OSC	-																									
PWM5	PWM5OUT	output	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒																
PWM7	PWM7OUT	output	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒																
GP0	GP0	input	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
	GP0	output	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
RESET	MCLR	input																								
TMR2	T2IN	input	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒																
TMR4	T4IN	input									🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
TMR5	T5IN	input									🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒

Рис. 25. Пример конфигурирования PPS в среде разработки MPLABXIDE

ного отлаженного устройства это замечательно, так как позволяет минимизировать размер корпуса МК и изделия (и скрыть от конкурентов возможность понять внутреннюю логику работы), но на этапе отладки бывает полезно через PPS вывести наружу часть «тестовых» сигналов и отладить работу «железа» (рис. 25).

### Контроль тока выходных драйверов портов

В некоторых новейших семействах, например PIC16F18855, появилась функция контроля тока выходного драйвера — управление втекающим/вытекающим током (Current-Control Drive Mode, CCDM). Теперь можно установить, какой ток будет вытекать или втекать в порт. При включении данного режима для каждого вывода микроконтроллера предусмотрено включение контроля тока, причем имеется возможность индивидуального разрешения контроля втекающего и вытекающего тока.

Вариантов значений токов не так много: можно выбрать значения 1, 2, 5 и 10 мА, к тому же выбранное значение будет единым для всех контролируемых выходов.

Однако контроль тока выходных драйверов портов предоставляет множество возможностей:

- самодиагностика, обеспечение надежности;
- уменьшение числа токоограничивающих резисторов на плате, упрощение печатной платы;
- уменьшение излучаемых помех;
- возможность формирования пилообразных сигналов и т.д.

Пожалуй, лучше всего — показать возможности новых функций портов на конкретных примерах.

## ПРИМЕРЫ

### Самодиагностика

Допустим, на плате произошло короткое замыкание между двумя портами, настроенными на выход. Если один порт будет в состоянии лог. 1, а второй в лог. 0, то через порт будет протекать ток. При нагрузочной способности до 25 мА (реально до 50 мА) через порты будет протекать большой ток, что может привести к выходу из строя порта или контроллера.

Функция ограничения тока может предотвратить повреждение порта.

Дополнительно следует организовать диагностирование портов, определение нагрузки.

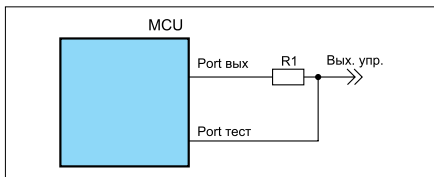


Рис. 26. Самотестирование порта МК

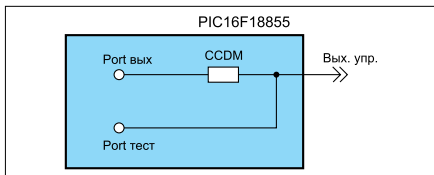


Рис. 27. Самотестирование с использованием ограничения тока порта

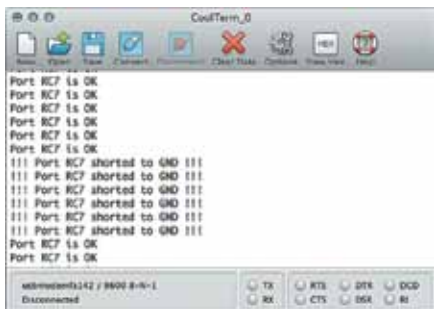


Рис. 28. Вывод в терминал информации тестирования порта RC7

При необходимости тестирования порта используем подобные схемы (рис. 26). В этом случае сигнал подают на один порт и считывают состояние другим выводом порта. В принципе, за счет структуры портов МК Microchip, можно тестировать без внешнего резистора (подать в порт какой-либо лог-уровень и считать вход этого же порта), но при коротком замыкании по выходу не будет ограничения тока.

При наличии функции ограничения тока порта можно обеспечить безопасное тестирование порта, поскольку ток КЗ будет ограничен с помощью функции CCDM (рис. 27).

Например, в программе настраиваем порт (RC7) на выход с ограничением тока, подаем лог. 1, далее считываем состояние этого же порта на входе (рис. 28).

Считать можем как в цифровом виде, так и с помощью АЦП, причем во втором случае определяем сопротивление нагрузки (так как известны напряжение питания и ток через порт).

## Генераторы

В разделе, посвященном логическим ячейкам CLC, мы уже описывали разного рода генераторы/мультивибраторы, теперь посмотрим, как CCDM и PPS позволяют упростить и до того простые схемы, основанные на независимой от ядра периферии (CLC). На рис. 29 изображен ранее генератор на D-триггере, инверторе и RC-цепочке (в данном случае схема чуть перерисована для отображения внешних по отношению к микроконтроллеру подключений). Частота генератора определяется параметрами R и C. Резистор R задает ток заряда/разряда конденсатора C. Теперь, при наличии встроенного контроллера тока драйвера порта, мы можем убрать резистор и немного упростить схему (рис. 30).

Следует отметить, что совсем не обязательно для CLC1 использовать D-триггер, пойдет любой вариант реализации неинвертирующего гейта (рис. 31).

Возможность избавиться от одного резистора не та цель, ради которой стоило бы рассматривать данную тему, но в этом примере мы дополнительно имеем следующее:

- а) уменьшение используемого числа выводов МК (вы же помните, что у нас есть часть неза-

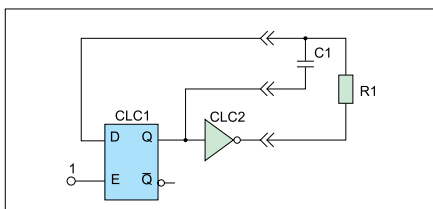


Рис. 29. Мультивибратор на двух гейтах

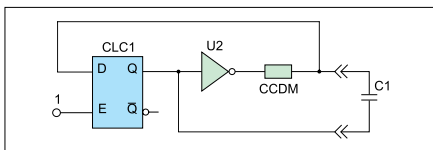


Рис. 30. Мультивибратор с ограничением выходного тока порта CLC2



висимой периферии в виде PPS), то есть для одного и того же корпуса появляется больше возможностей;

- б) возможность программного изменения частоты. Если мы меняем ток заряда/разряда конденсатора, то меняем и скорость изменения напряжения на конденсаторе, а значит, частоту переключения мультивибратора (рис. 32).

В первоначальной схеме от микроконтроллера понадобилось бы 3 три вывода, модифицированная схема с использованием PPS и CCDM требует только два.

На самом деле мультивибратор можно сделать и на одном гейте (рис. 33), тогда от микроконтроллера понадобится вообще один внешний вывод. Выход CLC можно подключить внутри МК к другой периферии. На конденсаторе будет виднотреугольный сигнал, но мы можем убедиться в том, что на выходе CLC все же присутствует последовательность из нулей и единиц, если выход той же самой CLC вывести на другой, контрольный вывод МК с помощью PPS (рис. 34).

### Генератор пилообразного напряжения

Для режима контроля тока драйвера порта мы можем задавать фиксацию втекающего и вытекающего тока. На схеме на рис. 33 контролируются оба тока. Если включить контроль только вытекающего тока, получим следующую картину (рис. 35).

То есть в данном случае конденсатор заряжается ограниченным током 1 мА, а разряжается через порт без ограничения тока (следует учесть, что максимально допустимый ток для порта 50 мА, поэтому все же может понадобиться последовательный резистор для некоторого ограничения тока).

Как видно из диаграмм (рис. 34, 35), на конденсаторе получаем пилу, верхнее и нижнее значение напряжений которой лежит между уровнями лог. 1 и 0 цифровых выходов.

Если хотим увеличить амплитуду, то можно дополнительно использовать два внутренних компаратора — в начале статьи мы уже рассматривали данную схему генератора. Теперь повторим ее, но уже с использованием функции контроля тока драйвера порта выхода (CCDM), без внешнего резистора и с уменьшенным числом задействованных портов входа/выхода (рис. 36).

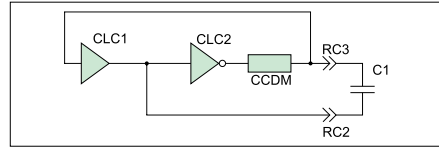


Рис. 31. Другой вариант мультивибратора на двух логических гейтах



а)



б)

Рис. 32. Управление током позволяет программно изменять частоту мультивибратора

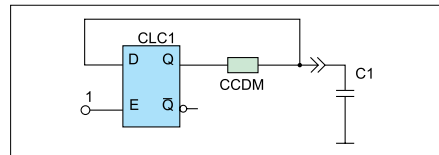


Рис. 33. Мультивибратор на одном гейте



Рис. 34. Форма сигнала на конденсаторе мультивибратора и контрольный выход логического элемента



Рис. 35. Генератор пилообразного напряжения

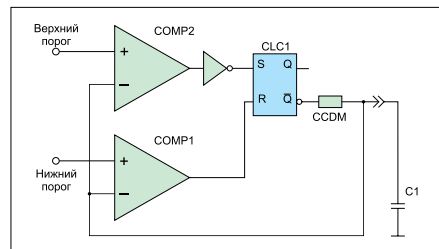


Рис. 36. Мультивибратор с компараторами

За счет контроля тока получаем более линейный генератор пилообразного напряжения, чем в схеме, приведенной в начале статьи.

Так же как и для предыдущего варианта мультивибратора, частоту можно менять программно, за счет изменения тока порта (рис. 37).



Рис. 37. Выход мультивибратора

### Генератор, управляемый напряжением

Если изменять опорное напряжение на компараторе, то получим генератор, управляемый напряжением. Опору компаратора можно менять как встроенным ЦАП, так и подавать с внешних цепей микроконтроллера (рис. 38).



Рис. 38. Изменение частоты генератора за счет изменения опорного напряжения компаратора

Схему мультивибратора на двух компараторах и RS-триггере можно немного оптимизировать. Нижний порог срабатывания схемы (вход R-триггера) оставить с управлением от компаратора, а второй — от порта (S-вход триггера) (рис. 39). Освободившийся компаратор совместно с построенным генератором пилы можно использовать для построения ШИМ-модулятора.

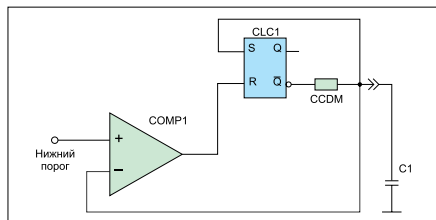


Рис. 39. Вариант мультивибратора с одним компаратором

### ШИМ-модулятор

Итак, если теперь на один вход компаратора подать пилообразно меняющееся напряжение,

а на другой «опорное» напряжение, то получим ШИМ-модулятор (рис. 40). Скважность ШИМ будет определяться уровнем порогового напряжения, а частота — частотой пилы (рис. 41).

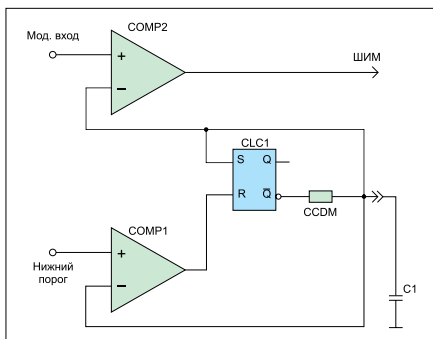


Рис. 40. ШИМ-модулятор из генератора пилы и компаратора



Рис. 41. Диаграмма на выходе ШИМ-модулятора

Мы уже рассматривали ШИМ-модулятор для формирования мерцания светодиода с помощью таймеров и CLC. Теперь же, с помощью CCDD, выполним мерцающий светодиод, полностью независимый от ядра, и данная «функция» может работать в Sleep.

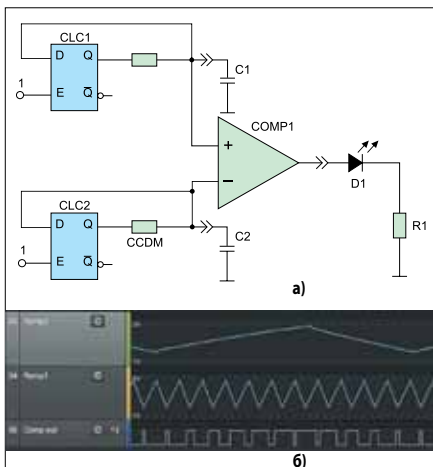


Рис. 42. Мерцающий светодиод: а) схема; б) диаграмма

Для этого сделаем две пилы и подадим их на два входа компаратора, схема и диаграммы сигналов изображены на рис. 42.

Потребление такой схемы выше, чем на таймерах или ШИМ, но работа схемы не зависит от тактовой частоты, и схема будет работать в режиме сохранения энергии Sleep.

### Усилитель D-класса

Частота пилы рассматриваемых генераторов определяется емкостью С и током порта. Можем сформировать пилу с частотой сотни кГц.

Опорный сигнал бывает внешним или формируется, например, встроенным ЦАП. Если опорный сигнал поступает с источника звука, нам остается совсем немного до построения усилителя класса D (рис. 43). У микроконтроллеров серии PIC16F188xx есть модуль формирования комплементарных сигналов (Complementary Wave form Generator, CWG), который из входного сигнала формирует сигналы управления мостовой схемой.

Итак, из таких частей периферии, независимой от ядра, как порт с контролем тока выхода CCDM, конфигурируемые логические ячейки CLC, компараторы, ЦАП, формирователь комплементарных сигналов CWG, мы получили усилитель класса D.

Мы рассмотрели порты ввода/вывода микроконтроллеров Microchip. Большинство возможностей, включая переназначение функций выводов, присутствует во многих семействах PIC16F1xxx, одна-

коновая «фича» — CCDM (управление током выходного драйвера порта), появилась совсем недавно в семействе PIC16F188xx (PIC16F18855 и др.).

## АЦП и АЦП С ВЫЧИСЛИТЕЛЕМ

### Обзор возможностей АЦП

АЦП с полной уверенностью можно назвать периферией, независимой от ядра, так как АЦП имеет вариант тактирования от встроенного RC-генератора и может выполнять преобразование в режиме сохранения энергии Sleep. Но этим независимость не ограничивается. Многие семейства PIC16F1xxx оснащены АЦП с возможностью старта по событиям, а совсем новые семейства PIC16F188xx получили еще и поствычислитель.

Рассмотрим возможности АЦП на примере МК семейства PIC16F18855/75.

АЦП контроллеров этого семейства имеет:

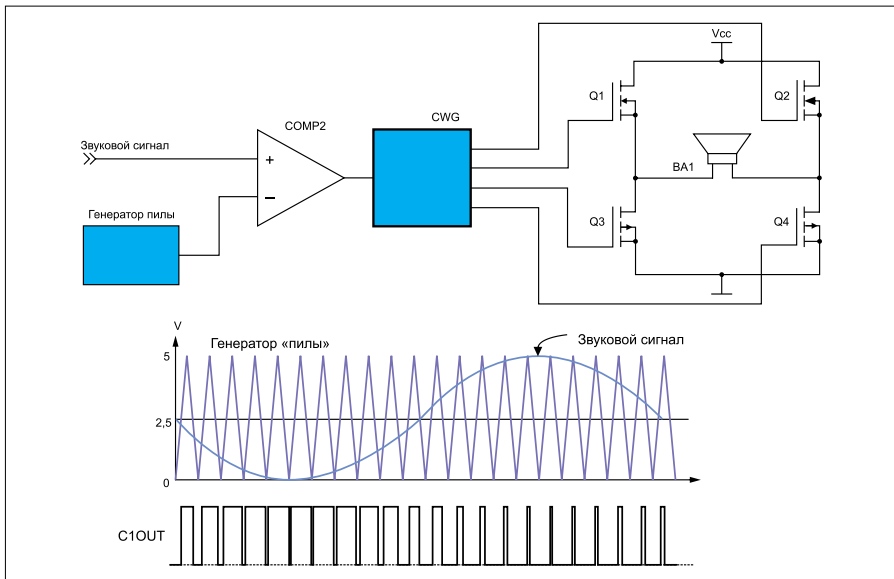


Рис. 43. Усилитель класса D на микроконтроллере с использованием CIP: а) схема; б) диаграмма сигналов

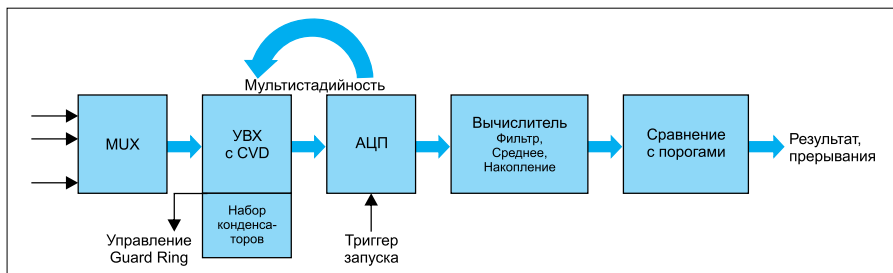


Рис. 44. Структура АЦП с вычислителем в семействе PIC16F18855

- 8-битный таймер предвыборки (Acquisition Timer);
- аппаратную поддержку емкостного делителя напряжения (Capacitive Voltage Divider, CVD):
  - 8-разрядный таймер предзаряда,
  - массив конденсаторов подстройки емкости UBX,
  - выходной драйвер защитного кольца (Guardring);
- автоматическое повторение операций и последовательностей Automatic repeat and sequencing:
  - автоматизированное двойное преобразование для CVD,
  - два набора регистров результата (результат и предыдущий результат),
  - триггер автопреобразования,

- внутренний «ретриггер» (Internalretrigger);
- возможности вычислителя:
  - усреднение и фильтр низких частот,
  - сравнение с опорным значением,
  - 2-уровневое пороговое сравнение,
  - выбираемые прерывания.

АЦП с поствычислителем состоит из нескольких блоков, представленных на рис. 44.

### Триггер запуска АЦП

Прошли те времена, когда запуск измерения АЦП осуществлялся только «вручную» установкой бита. Теперь АЦП может запускаться по следующим событиям:

- внешний вход;
- срабатывание таймеров (общего назначения и 24-битных SMT-таймеров измерения сигналов);

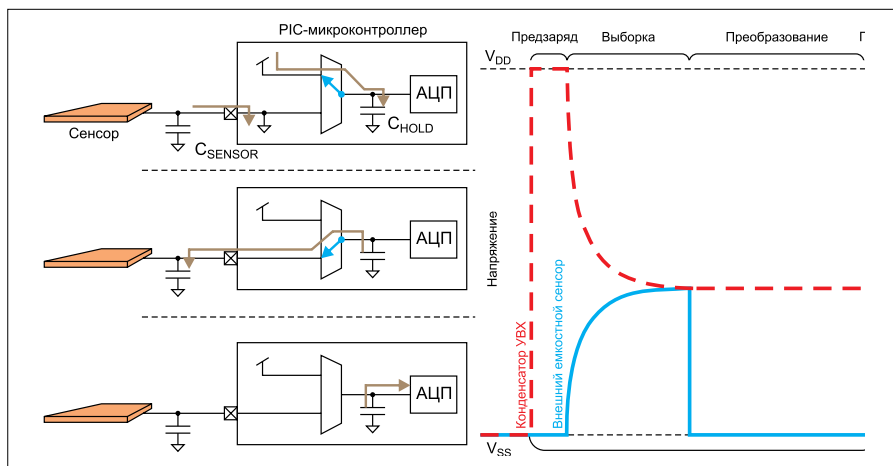
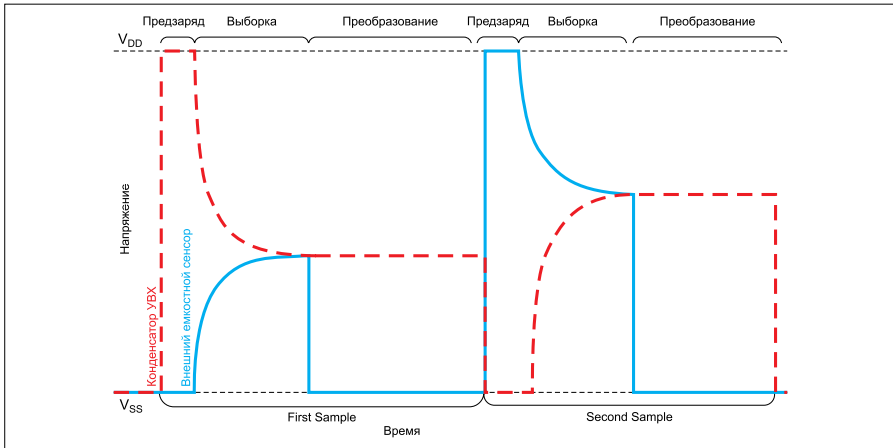


Рис. 45. Диаграммы, поясняющие измерение емкости с помощью емкостного делителя напряжения



**Рис. 46.** Диаграмма сигналов при дифференциальном CVD

- выход модуля сравнения и ШИМ;
- срабатывание компаратора;
- изменение состояния входов настроенных как прерывание по изменению состояния;
- выход логических ячеек;
- чтение результата измерения АЦП;
- изменение номера канала АЦП.

### УВХ и CVD

Устройство выборки/хранения (УВХ) получило дополнительные возможности, в основном связанные с упрощением определения емкости подключенной к входу АЦП. В первую очередь это помогает в создании интерфейсов с емкостными (сенсорными) кнопками.

Microchip предлагает определять емкость сенсора с помощью емкостного делителя напряжения (Capacitive Voltage Divider, CVD). Суть метода сводится к следующему. На первом шаге (рис. 45) вход сенсора подключается к «земле» (его емкость разряжается), а канал АЦП — к напряжению питания, емкость УВХ заряжается.

Затем вход сенсора подключается к УВХ АЦП, происходит перераспределение заряда между емкостью сенсора и емкостью УВХ. Затем выполняется измерение напряжения на емкости УВХ.

При касании сенсора начнет изменяться его емкость, а значит, мы будем фиксировать разные установившиеся значения напряжения на емкости УВХ.

Для уменьшения влияния наведенных помех на сенсор и/или оператора, применяется дифференциальный CVD, состоящий из двух последовательных измерений с помощью CVD, но на второй стадии инвертируем заряды на сенсоре и УВХ (сенсор заряжаем до напряжения питания, а емкость УВХ разряжаем, рис. 46).

Подробно емкостные сенсоры, метод дифференциального CVD и управление защитным проводником рассматривались в [2].

Новый АЦП с поствычислителем для поддержки и автоматизации CVD имеет следующие функции:

- таймер предзаряда (precharge);
- управление последовательностью заряда (нужной полярности), запуск измерения;
- подключение дополнительных внутренних емкостей к УВХ;
- два последовательных измерения;
- вычисление разницы между двумя измеренными значениями;
- управление драйвером «защитным кольцом» (guarding).

Таким образом, АЦП в автоматическом режиме может выполнить дифференциальный CVD и предоставить нам готовый результат.

### Функции поствычислителя

**Фильтрация.** Модуль АЦП может работать в одном из пяти режимов:

**Базовый режим.** В этом режиме АЦП может производить одно или два измерения, после каждого может выставляться флаг прерывания.

**Накопление.** По каждому измерению результат суммируется с аккумулятором и инкрементируется счетчик измерений.

**Усреднение.** По каждому измерению результат суммируется с аккумулятором и инкрементируется счетчик измерений. По достижении заданного числа повторений результат делится и попадает в модуль сравнения, а следующее измерение сбросит счетчик в 1, и значение аккумулятора заменится на результат первого измерения.

**Усреднение очередью.** По запуску АЦП происходит очистка аккумулятора и счетчика измерений и производится серия измерений заданное число раз, после чего результат делится и поступает в модуль сравнения.

**Фильтр нижних частот.** Каждое измеренное значение проходит через ФНЧ. По завершении заданного числа измерений результат попадает в модуль сравнения.

**Вычисление ошибки.** После каждого вычисления результат фиксируется до окончания следующего измерения. Так же вычисляется разница между:

- текущим и предыдущим измерением (первая производная от одиночного измерения);
- двумя результатами в режиме измерения CVD (вычисляется дифференциальный CVD);
- текущим результатом и константой (setpoint);
- текущим результатом и фильтрованным значением;
- текущим и предыдущим фильтрованными значениями (первая производная фильтрованного результата);
- фильтрованным значением и константой (setpoint).

Если вычислять разницу не нужно, можно выбрать вычисление разницы между константой равной нулю.

**Сравнение с пороговыми значениями.** Результат вычисления ошибки сравнивается с верхним и нижним порогом. Дополнительно может формироваться прерывание, если:

- ошибка меньше, чем нижний порог;
- ошибка больше или равна нижнему порогу;
- ошибка лежит между порогами;

- ошибка за пределами порогов;
- ошибка меньше или равна верхнему порогу;
- ошибка больше верхнего порога;
- формирование прерывания происходит вне зависимости от результата сравнения с порогами (этот режим может быть полезен для фиксации самого факта сравнения, то есть когда, например, нужно получить данные фильтрации/усреднения после N-измерений, а не прерывание после каждого измерения).

### Примеры конфигурирования АЦП

Автозапуск, фильтрация. Данный пример показывает конфигурацию АЦП в плагине Mplab Code Configurator (MCC) для выполнения следующих действий:

- таймер Timer2 настроен на срабатывание раз в 1 мс (рис. 47);



Рис. 47. Настройки АЦП с вычислителем

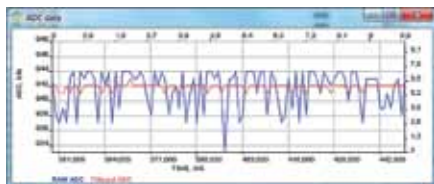


Рис. 48. Считывание «сырых» и фильтрованных данных с АЦП

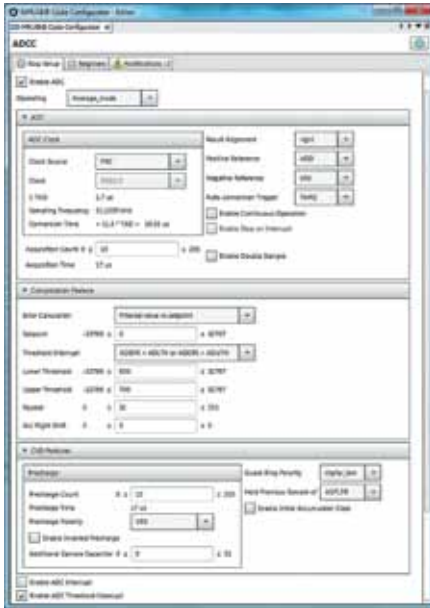


Рис. 49. Настройки АЦП для CVD

- АЦП запускается по срабатыванию таймера. АЦП осуществляет предвыборку и измерение, результат попадает в фильтр. После накопления 32 фильтрованных измерений производится сдвиг на 5 бит (деление на 32) и выставляется запрос на прерывание.

Программе нужно лишь по прерыванию считать из регистра полученное фильтрованное значение (рис. 48).

**Автозапуск, CVD, усреднение, прерывание по сравнению с порогами.** За основу этого примера взята реализация «быстрое создание емкостного сенсора» из [4].

Выбрана следующая конфигурация:

- таймер Timer2 настроен на срабатывание раз в 10 мс (рис. 49);
- АЦП запускается по срабатыванию таймера Timer 2. АЦП производит измерения методом CVD и вычисляет среднее значение 32 измерений. После выполнения этих измерений и накопления результата выполняется деление на 32 (сдвиг на 5), и если итоговое значение лежит вне пороговых значений, то формируется запрос на прерывание, таким образом сообщается о «касании» и «отпускании» сенсорной

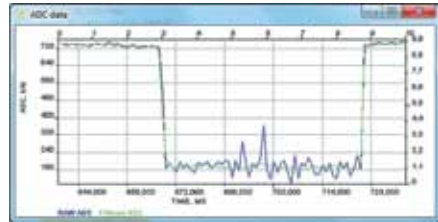


Рис. 50. Реакция на касание сенсорной кнопки при одиночном CVD

кнопки — на самом деле в данном примере прерывание формируется каждый раз, так как кнопка либо нажата, либо нет и не имеет промежуточных состояний (рис. 50).

Настройка порога может дать нам прерывание не по каждому измерению/серии измерений с фильтрацией, а по касанию «кнопки».

Автозапуск, дифференциальный CVD, серия преобразований, усреднение. В данном примере используется следующая конфигурация периферии:

- таймер Timer2 настроен на срабатывание раз в 10 мс;
- АЦП запускается по срабатыванию таймера (рис. 51, п. 1). АЦП производит последовательные измерения (рис. 52) методом дифференциального



Рис. 51. Настройки АЦП для варианта дифференциального CVD



Рис. 52. Диаграмма на входе сенсора с автоматизированным последовательным дифференциальным CVD

CVD (п. 2) с изменением полярности (п. 3), вычисляет производную (разницу между двумя CVD) (п. 4), АЦП настроен на вычисление среднего значения (п. 5) 32 измерений (п. 6). После выполнения 32 пар измерений и накопления результата выполняется деление на 32 (п. 7) и запрос на прерывание (п. 8), последовательные измерения останавливаются (п. 9) до следующего срабатывания триггера запуска (Timer2). Реакция на касание сенсорной кнопки при дифференциальном CVD показана на рис. 53.



Рис. 53. Реакция на касание сенсорной кнопки при дифференциальном CVD

Из сравнения CVD (рис. 50) и дифференциального CVD (рис. 53) видно, что второй отличается более «чистым» сигналом с большей амплитудой.

Вся описанная последовательность действий выполняется полностью автоматически и независимо от ядра — в это время МК может выполнять какие-то другие действия или находиться в режиме микропотребления Sleep. После прерывания остается считать усредненное значение результата измерений.

Мы рассмотрели еще одну часть периферии, независимой от ядра, — АЦП с вычислителем в микроконтроллерах Microchip. Некоторые возможности, например запуск по триггеру или CVD, присутствуют во многих семействах PIC16F1xxx, но новая функция — ADCC (АЦП с вычислителем), появилась впервые в семействе PIC16F188xx (PIC16F18855 и др.).

## ИТОГИ

Периферия, независимая от ядра, интересна сама по себе, но максимальную пользу способна принести возможность синтеза функциональных блоков, то есть совместное применение нескольких периферийных модулей для решения конкретных задач. В этом случае тактовая частота, быстродействие и разрядность ядра уходят на второй план — аппаратная часть выполняет специализированные функции, а ядро занимается программной поддержкой изделия. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. AN1470. Manchester Decoder Using the CLC and NCO. [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
2. Афанасьев И. Технология mTouch. Создание емкостных клавиатур, сенсоров и экранов//Компоненты и технологии. 2013. № 2–4.
3. PIC16 (L)F18855/75 DataSheet. [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
4. BuildaQuickCapacitive Sensor with Conductive Ink. [www.microchip.wikidot.com/xpress:build-a-quick-capacitive-sensor-with-conductive-ink](http://www.microchip.wikidot.com/xpress:build-a-quick-capacitive-sensor-with-conductive-ink)
5. PIC16 (L)F18855/75 Data Sheet. [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
6. TB3140. Programmable Ramp Generator Technical Brief. [www.microchip.com](http://www.microchip.com)



# ПОСТРОЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ MICROCHIP

**З**абегая вперед, хотелось бы отметить, что цель данной статьи не состоит в обсуждении преимуществ или недостатков способов управления, а так же в рекомендациях по выбору оптимальных топологий построения Импульсных Источников Питания (ИИП) и расчету элементов схемы — для этого есть тонны специализированной литературы.

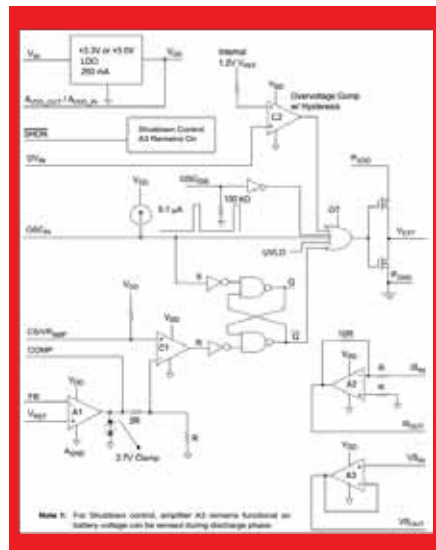
Цель статьи — показать принципиальную возможность реализации большинства топологий ИИП на универсальной периферии микроконтроллеров Microchip, демонстрация преимуществ микроконтроллерных решений по гибкости и универсальности относительно специализированных «аналоговых» ШИМ-контроллеров ИИП.

Ниже будем рассматривать решения на основе микроконтроллеров, но «цифровыми» источниками такие решения назвать нельзя, так как петля обратной связи все же замкнута через аналоговые блоки и параметры ШИМ-сигнала формируются аппаратной петлей обратной связи, а не рассчитываются ядром процессора.

Для полностью цифровых решений Microchip выпускает специализированные 16-разрядные цифровые сигнальные контроллеры (семейства dsPIC33 GS-серий) [1].

## ИЗ ЧЕГО ЖЕ СДЕЛАН ИИП?

Сердцем импульсного источника питания служит ШИМ-контроллер. Структурная схема одного из вариантов специализированного ШИМ-контроллера приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Структура специализированной микросхемы драйвера преобразователя питания

Основным элементом схемы является SR-триггер, который управляет выходным каскадом включения силового ключа.

Триггер запускается по тактовым синхросигналам (вход S, Set). Сбросом (вход R, Reset) управляют сигналы компаратора C1, опорный сигнал для которого формируется операционным усилителем сигнала ошибки A1. Выход триггера управляет выходными ключами, управление которыми может быть заблокировано сигналами перенапряжения (компаратор C2), бланкирования и др.

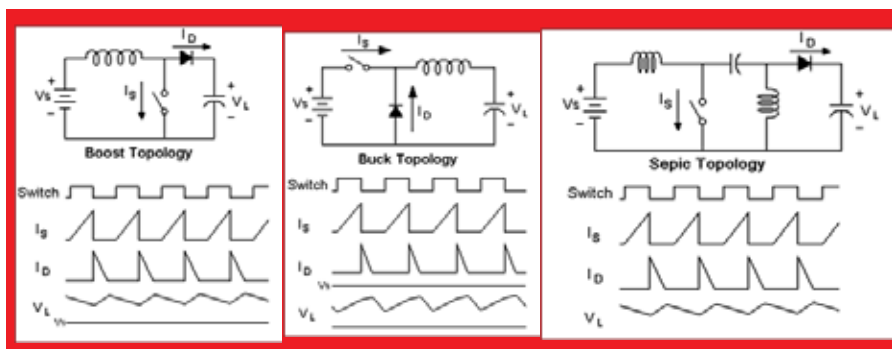


Рис. 2. Основные топологии ИИП

При необходимости управления такой или подобной схемой извне (изменение и измерение параметров, мягкий старт, и пр.), нужно использовать внешние управляющие решения, например микроконтроллер или управляющую логику.

Итого, для построения управляемого интеллектуального источника питания нам нужно иметь микросхему ШИМ-контроллера и микроконтроллер, или же можно совместить — на базе микроконтроллера сделать ШИМ-контроллер преобразователя энергии.

## ТОПОЛОГИИ ИИП

Топология это подключение индуктивности, конденсатора, переключающих элементов схемы для обеспечения преобразования энергии, соотношения входных и выходных параметров.

Принцип управления силовым ключом в наиболее часто используемых топологиях ИИП в общем-то одинаковый (см. рис. 2). Регулируется скважность открытия силового ключа, то есть соотношение между состояниями «открыт» и «закрыт». Управление скважностью осуществляется либо в зависимости от выходного напряжения (управление по напряжению, voltage-mode control), либо в зависимости от тока в силовой индуктивности (управление по току, current-mode control).

В каждом из двух режимов управления может быть гистерезисное (Hysteretic Control) или пропорциональное (Proportional Control). При гистерезисном управлении скважность импульсов фиксирована, а регулировка выходного напряжения осуществ-

яется включением или отключением подачи импульсов управления силовым ключом.

При пропорциональном управлении скважность изменяется пропорционально величине рассогласования между фактическим выходным напряжением и требуемым.

Для распространенных топологий ИИП промышленностью выпускаются специализированные ШИМ-контроллеры. Но что делать, если под нужную топологию не существует готового ШИМ-контроллера? В этом случае на помощь так же может прийти микроконтроллер с конфигурируемой периферией.

## МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ С ПНЯ (Периферия Независимая от Ядра).

Рассмотрим состав периферии 8-битных микроконтроллеров Microchip, предназначенных для построения преобразователей энергии.

Контроллеры серии PIC16F176x (см. рис. 3) имеют набор периферийных модулей достаточных для реализации многоканальных ШИМ-контроллеров импульсного источника питания:

- Быстрые компараторы;
- Операционные усилители;
- Формирователь комплементарных сигналов (COG);
- Программируемый формирователь пилообразного напряжения (PRG);
- Источник опорного напряжения;
- ЦАП;
- АЦП;

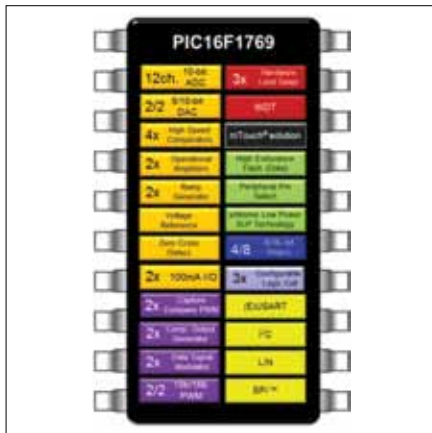


Рис. 3. Периферия контроллеров серии PIC16F1769

- Детектор перехода через ноль (ZCD);
- Таймера с функцией сброса и ограничения, ШИМ;
- Модулятор сигналов;
- Конфигурируемые Логические Ячейки (CLC);
- Датчик температуры.

Периферийные модули могут соединяться внутри микроконтроллера для выполнения определенных функций. Например, рис. 4 иллюстрирует конфигурирование периферии для выполнения функции преобразователя энергии. Причем подобные конфигурированные взаимосвязи периферийных модулей не требуют вмешательства ядра в процессе работы устройства.

Таким образом, на одной микросхеме/микроконтроллере мы можем реализовать ядро импульсного источника питания и управляющую логику (программу), тем самым мы получаем возможность

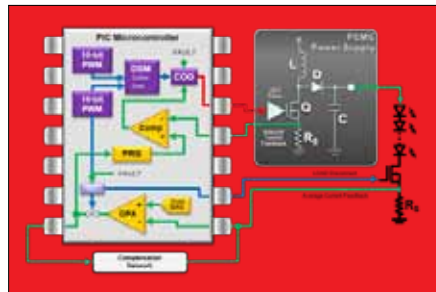


Рис. 4. Повышающий преобразователь питания светодиодов со стабилизацией тока и диммирования

исключить из схемы специализированный драйвер преобразователя питания.

Рассмотрим подробнее различные режимы работы ШИМ-контроллеров и возможность реализации их на периферии микроконтроллеров Microchip.

## УПРАВЛЕНИЕ ПО НАПРЯЖЕНИЮ (VOLTAGE MODE)

В этом режиме скважность ШИМ-сигнала, управляющего силовыми ключами, определяется непосредственно выходным напряжением.

При гистерезисном управлении, если напряжение на выходе ниже нормы — идет «накачка» источника. Если напряжение на выходе больше порога — компаратор блокирует управление силовым ключом, идет разряд выходной накопительной емкости. В англоязычной литературе такой режим называют «hiccup-mode» — «режим с икотой».

Данный режим используется сравнительно редко, так как сопровождается большими пульсациями выходного напряжения и требует накопительного конденсатора сравнительно высокой емкости.

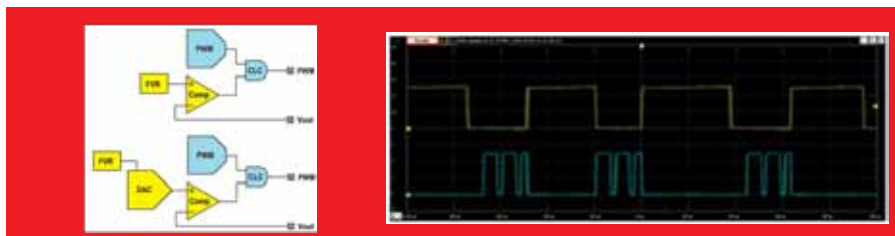


Рис. 5. Первая схема – с фиксированным выходным напряжением, вторая – с регулировкой выходного напряжения. Диаграммы выхода ШИМ и выхода компаратора

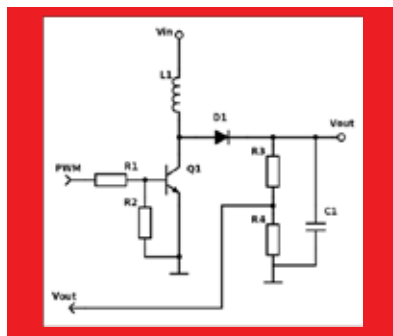


Рис. 6. Пример выходного каскада повышающего импульсного источника питания, подключенного к ШИМ-контроллеру (см.рис.5).

Рис. 5 демонстрирует принцип работы режима управления по напряжению с гистерезисным управлением. Здесь и далее не показана выходная часть источника, так как определяется топологией, выходной мощностью и др. Для иллюстрации принципа работы ШИМ-контроллера иногда будет показан пример с выходной частью.

Конфигурируемые логические ячейки (CLC) на рис. 5 можно включить как элемент И. Для предотвращения высокочастотной генерации от компаратора его выход целесообразно пропустить через еще одну CLC — D-триггер с синхронизацией от сигнала ШИМ. В этом случае получим два «бонуса» — отсутствие возникновения высокочастотной генерации и неизменность скважности управляющего ШИМ (см. пояснения на рис. 7). Подробнее о конфигурируемых логических ячейках см. в статье



Укорочение управляющих ШИМ-импульсов, высокочастотная генерация

Синхронизация сигналов позволяет предотвратить укорочение ШИМ-импульсов

Рис. 7.

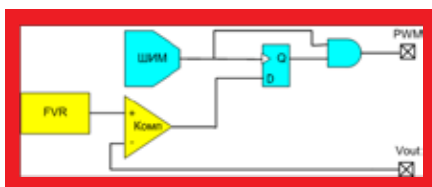


Рис. 8. Синхронизация сигналов для предотвращения генерации и укорочения ШИМ.

«Конфигурируемые логические ячейки в PIC микроконтроллерах» [2].

## УПРАВЛЕНИЕ ПО НАПРЯЖЕНИЮ С ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

При управлении по напряжению с пропорциональным управлением рассогласование выходного напряжения должно вносить поправку в скважность управляющих импульсов. Пропорцию между ве-

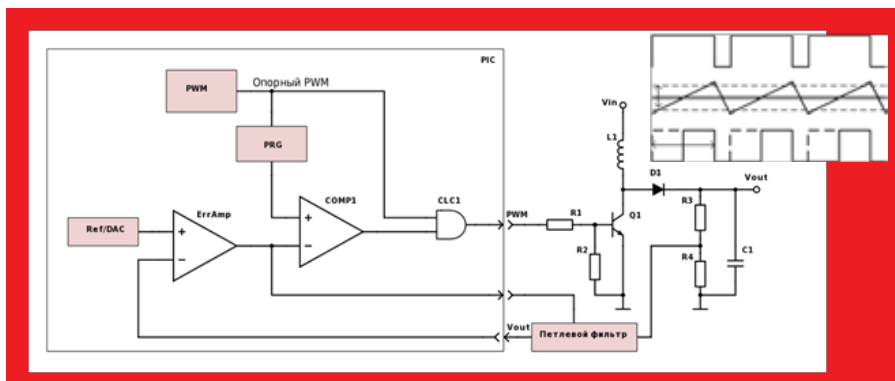


Рис. 9. ШИМ-контроллер ИИП в режиме управления по напряжению с пропорциональным управлением



Рис. 10. Диаграммы работы ШИМ-контроллера с управлением по напряжению

личной рассогласования и величиной коррекции скважности обеспечивает усилитель ошибки и фильтр петли регулирования. Управление по напряжению с пропорциональным управлением используется сравнительно редко, так как при этом методе управления индуктивность может входить в насыщение при запуске источника и при коротком замыкании на выходе, требуется петлевой фильтр второго порядка и есть влияние входного напряжения на коэффициент усиления усилителя ошибки. Управление по напряжению с пропорциональным управлением можно реализовать на встроенной периферии PIC-контроллеров с помощью ШИМ-модулятора — необходим генератор пило (Ramp генератор) и компаратор (реализацию ШИМ-модуляторов мы уже рассматривали в [3]). Генерируемый микроконтроллером опорный ШИМ служит для формирования пилообразного напряжения

и определяет частоту управляющих импульсов, а напряжение обратной связи определяет скважность управляющих импульсов.

Для предотвращения насыщения индуктивности при запуске источника или при коротком замыкании на выходе нужно ограничить скважность управляющего сигнала. Для этого выходной сигнал компаратора (CMP1\_out) подается на CLC (элемент И), а на другой вход — опорный ШИМ формирования пило (сигнал PWM рис. 10). Длительность импульса ШИМ будет служить ограничителем скважности управляющего сигнала DRV (ограничивать сигнал с выхода компаратора).

### УПРАВЛЕНИЕ ПО ТОКУ (CURRENT MODE)

Данный метод устраняет недостаток режима управления по напряжению. В этом методе Контроллер получает вторую петлю обратной связи. Внутренний быстрый контур служит для контроля тока силового ключа (индуктивности) на каждом цикле его включения. При подаче сигнала на открытие силового ключа, ток через индуктивность, а значит и через силовую ключ, начинает линейно расти. При достижении порога силовой ключ размыкается, начинается отдача энергии индуктивности через диод. По времени

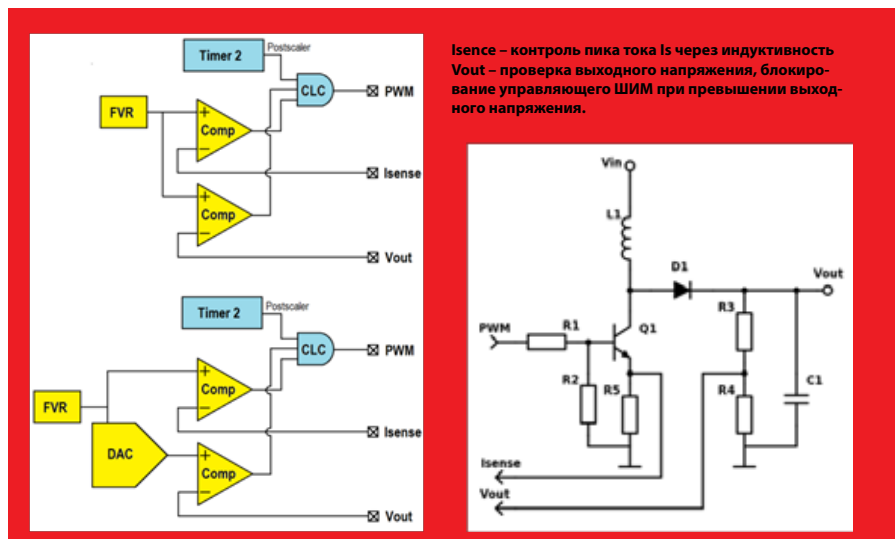


Рис. 11. а) ШИМ-контроллер с управлением по току с гистерезисным управлением, б) Вариант выходной топологии для повышающего преобразователя с контролем пикового тока

или по детектированию нулевого тока в индуктивности (в режиме непрерывного тока или критической проводимости, CCM) цикл повторяется.

Так как силовой ключ размыкается при достижении пикового тока, то обеспечивается постоянство накопленной энергии в индуктивности вне зависимости от входного напряжения (изменение входного напряжения влияет на скорость заряда). Второй контур петли регулирования контролирует выходное напряжение.

Управление по току с гистерезисным управлением: аналогично методу управления по напряжению — осуществляется Вкл/Выкл ШИМ управления силового ключа в зависимости от напряжения на выходе.

## УПРАВЛЕНИЕ ПО ТОКУ С ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

При этом способе управления (рис. 12) переменная скважность ШИМ зависит от выходного напряжения и активного фильтра обратной связи.

В данном методе наблюдается нестабильность петли обратной при скважности выше 50% (появление генерации на частоте  $\frac{1}{2} F_{sw}$ , зависит от шума на  $V_{in}$  или  $V_{out}$ ). Данный процесс хорошо изучен и проблема решается уменьшением усиления в петле обратной связи, что можно обеспечить двумя способами (рис. 13):

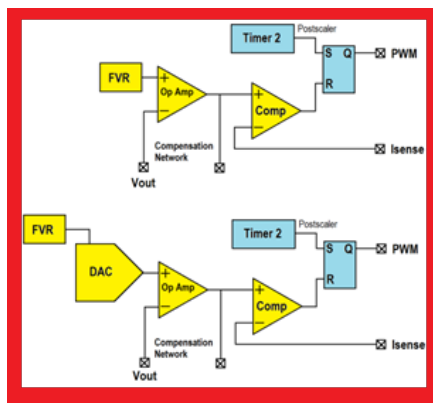


Рис. 12. ШИМ-контроллер с управлением по току с пропорциональным управлением

- добавлением пилообразного напряжения к Isense;
- вычитанием пилообразного напряжения из выхода петлевого фильтра.

Контроллеры Microchip для преобразователей энергии, как составную часть CIP имеют программируемый генератор пилообразного напряжения (Programmable Ramp Generator, PRG или Slope Compensation).

Модуль PRG позволяет формировать пилообразное напряжение с независимой регулировкой фронта и спада, в качестве запускающих сигналов могут использоваться различные внутренние и внешние сигналы.

## СИНХРОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Если выходное напряжение достаточно низкое и становится соизмеримым с падением на диоде, то КПД источника существенно падает. Для улучшения параметров ИИП диод может заменяться на MOSFET, падение напряжения на котором существенно ниже, чем на диоде в прямом включении. Получаем синхронный преобразователь.

Для формирования двух противофазных сигналов ШИМ предназначен периферийный модуль генерирования комплементарных выходных сигналов (Complimentary Output Generator, COG).

Генератор комплементарных сигналов позволяет управлять периодом и скважностью одного или

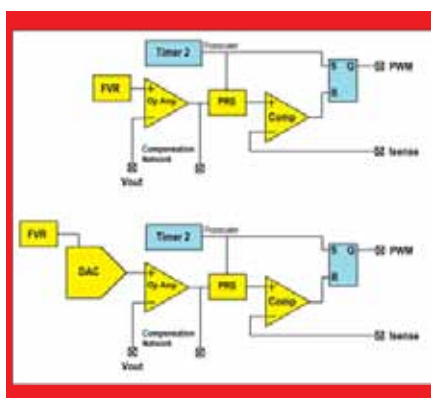


Рис. 13. Добавление модуля формирования пилообразного напряжения (PRG) в ШИМ-контроллер для устранения нестабильности петли обратной связи

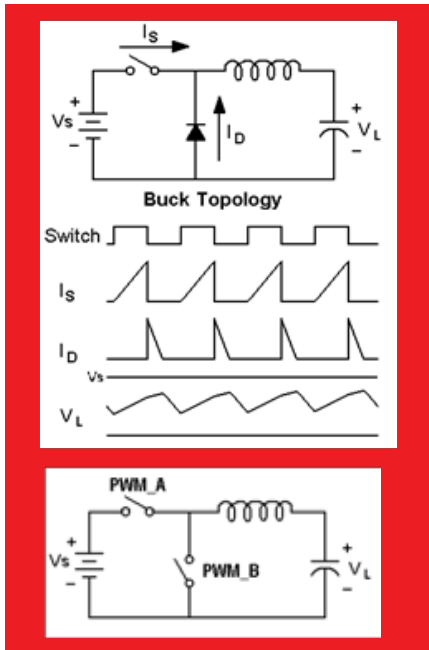


Рис. 14. а) понижающий преобразователь, б) понижающий синхронный преобразователь

двух комплементарных выходов с помощью двух входных источников сигналов. Совместно с возможностью контроля основных параметров, таких как мертвое время, бланкирование, фаза, полярность, автоматическим выключением (auto-shutdown) и авто-восстановлением (auto-recovery), модуль COG предоставляет мощный инструмент для построения ядра ШИМ-контроллера. Генератор комплементарных сигналов в 8-разрядных микроконтроллерах Microchip полностью автономен и не требует вмешательства ядра МК. Для более детального знакомства с COG смотрите техническое описание ТВ3119 [4]. Модуль COG в некоторой степени похож на SR-триггер, так же имеет входы установки и сброса, но работающие по событиям (Rising Event и Falling Event). События фиксируются как по фронтам/спадам, так и по уровням выбранных входных сигналов. Входные сигналы могут быть как внешние (порты ввода), так и внутренние (таймера, ШИМ, компараторы, конфигурируемые логические ячейки и др.). Выходы генератора комплементарных сигналов способны работать в различных режимах: полумост, полный мост, push-pull, ШИМ. Выходные сигналы формируются с учетом задания метрового времени,

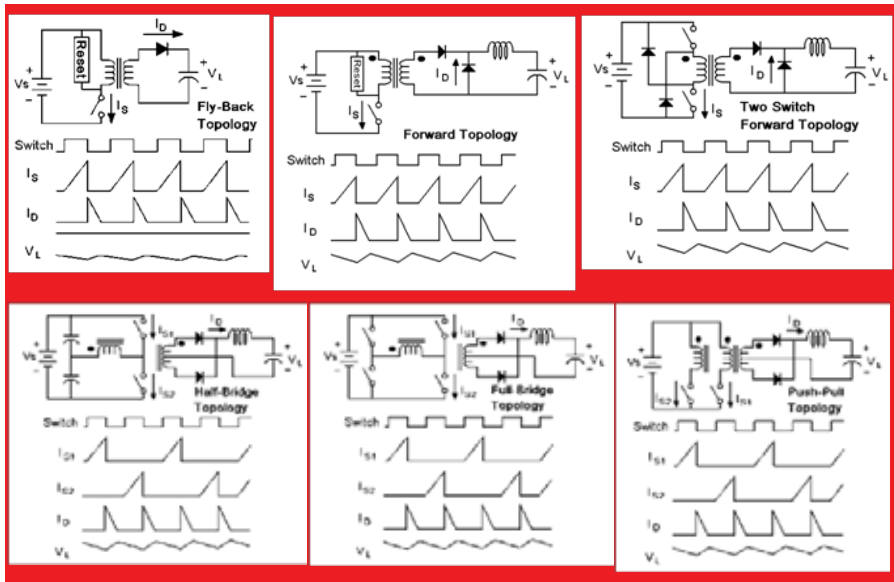


Рис. 15. Топологии ИИП с трансформаторами

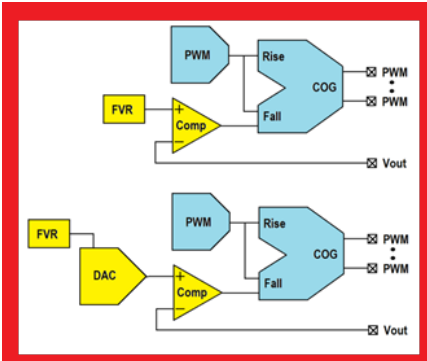


Рис. 16. Режим управления по напряжению с гистерезисным управлением. Вариант с фиксированным и регулируемым выходным напряжением

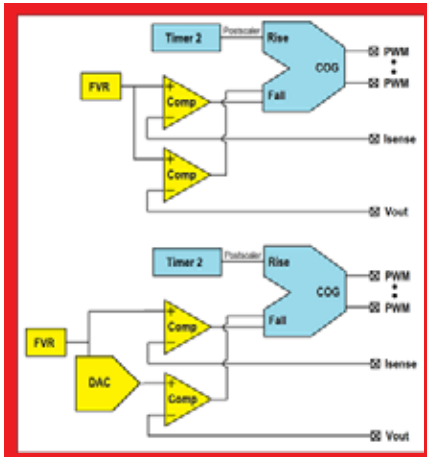


Рис. 17. Режим управления по току с гистерезисным управлением

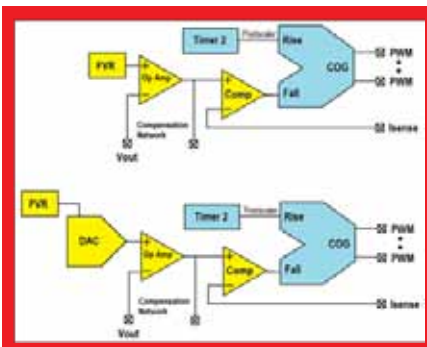


Рис. 18. Режим управления по току с пропорциональным управлением

бланкирования, фазовой задержки и полярности. Как правило, выходные порты модуля COG имеют повышенную нагрузочную способность (50–100 мА). Для защиты выходных силовых каскадов предусмотрены входы отключения, по событиям на которых выходы модуля переводятся в безопасное состояние (0, 1 или 3-е состояние). При пропадании сигнала аварии модуль может быть автоматически включен, либо требуется вмешательство программы. Модуль COG позволяет использовать топологии с трансформатором (рис. 15), которые обычно используются для ИИП с гальванической развязкой. При построении преобразователей с использованием трансформаторов так же применяются режимы управления по напряжению и по току, с пропорциональным или гистерезисным управлением, то есть все то же самое, что рассматривали ранее (рис. 16–18).

## МНОГОФАЗНОЕ ЧЕРЕДУЮЩЕЕСЯ ШИМ УПРАВЛЕНИЕ

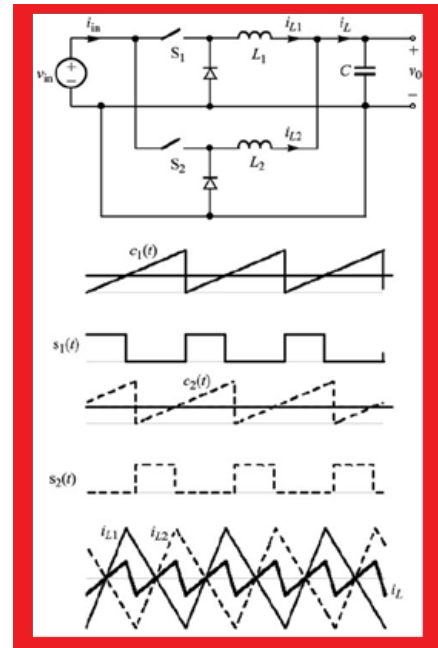


Рис. 19. Иллюстрация принципа работы чередующегося (interleaved) импульсного источника питания



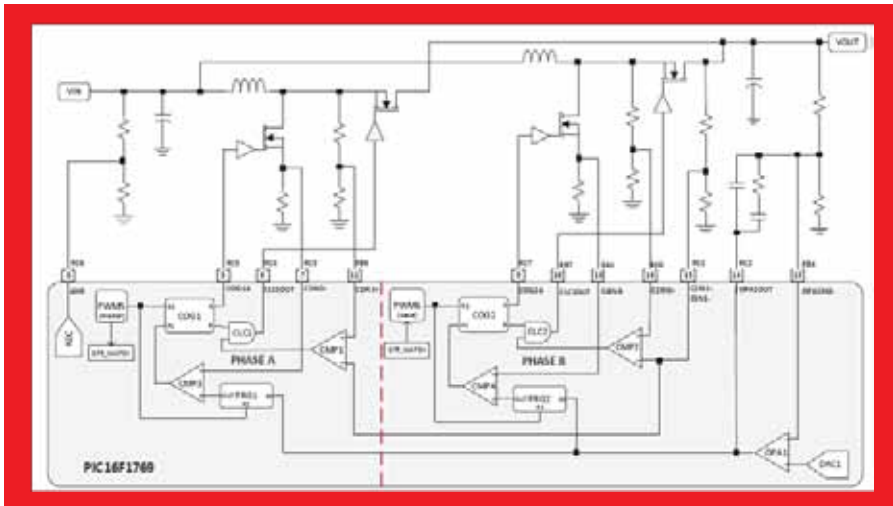


Рис. 20. Двухфазный интерливид синхронный повышающий

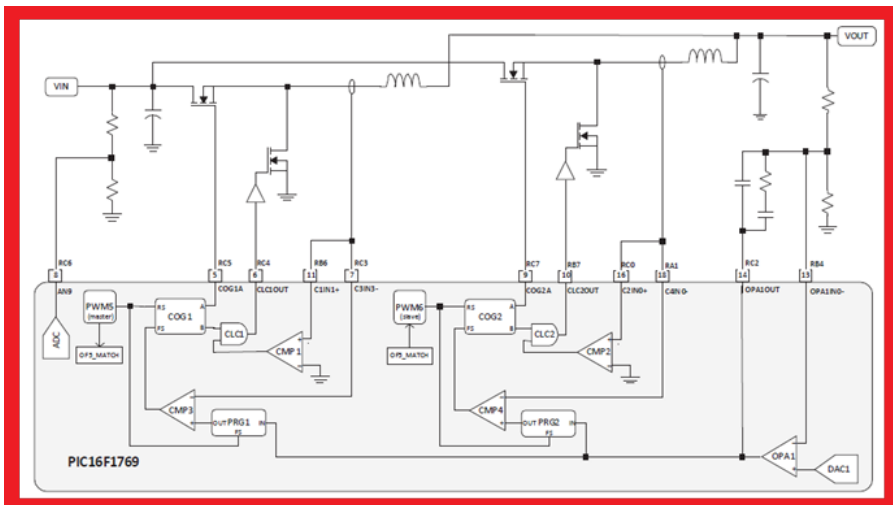


Рис. 21. Двухфазный интерливид синхронный понижающий преобразователь

В многофазных преобразователях часто используются чередующийся (interleaved) режим работы, в котором используется разделение токов между несколькими, идентичными, включенными параллельно топологиями. Такая топология позволяет получить более эффективную фильтрацию (меньше пульсации тока), уменьшить габариты источника (меньше фильтр), и увеличить КПД.

Interleaved преобразователь состоит из нескольких идентичных каналов, входы и выходы которых объединены, но фазы управления такими преобразователями сдвинуты на  $360^\circ/n$ , где  $n$  — количество фаз. Для двухфазного чередующегося повышающего преобразователя два канала работают в противофазе — два ШИМ-сигнала сдвинуты на  $180^\circ$  относительно друг друга.

Упрощенная схема приведена на рис. 19 [5]. Ключи S1 и S2 открываются поочередно. Когда ключ S1 открыт, S2 закрыт, то L1 заряжается, а L2 отдает ранее накопленную энергию в нагрузку. Далее каналы чередуются.

Ниже приведена схема двухфазного синхронного чередующегося повышающего преобразователя (рис. 20) [6].

Преобразователь работает по контролю пикового значения тока с одним общим контуром обратной связи по напряжению, который обеспечивает управление двумя независимыми контурами по току. Контроллер обеспечивает балансировку тока между фазами, защиту от короткого замыкания и низкие пульсации во время переходов между режимами непрерывной и прерывистой проводимости.

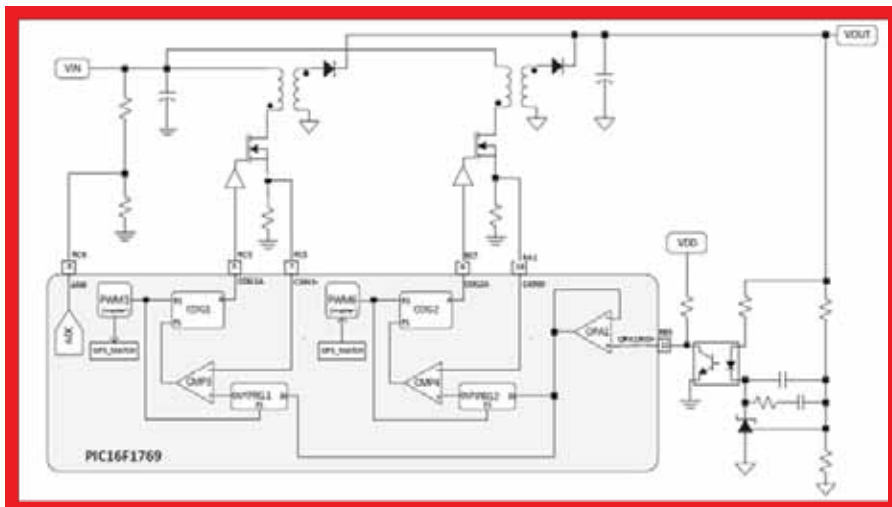


Рис. 22. Двухфазный интерливид обратногоходовой преобразователь

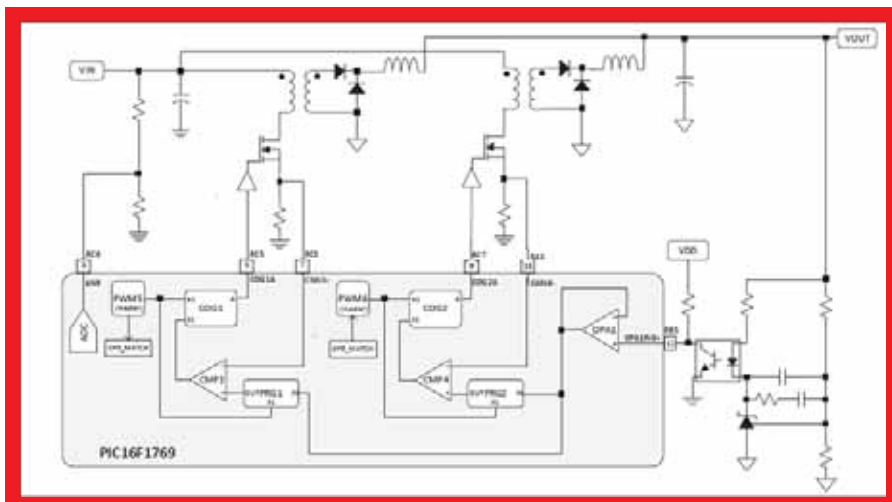


Рис. 23. Двухфазный интерливид прямоходовой преобразователь

Для синхронного выпрямления необходимы дополнительные меры для предотвращения протекания тока обратно на вход, когда индуктивность прекращает разряжаться в режиме прерывистой проводимости (DCM). Верхний ключ синхронного преобразователя должен быть выключен, когда ток в индуктивности становится равным нулю.

Итак, мы рассмотрели некоторые топологии ИИП. Вся необходимая периферия для реализации ШИМ-контроллеров содержится в микроконтроллерах серий PIC16F176x. Любую из описанных топологий мы можем реализовать на независимой от ядра периферии, то есть функционирование описанных ШИМ-контроллеров не зависит от быстрой деятельности ядра.

## ПЕРЕМЕННАЯ ЧАСТОТА УПРАВЛЕНИЯ

В предыдущих примерах частоту запуска ШИМ задает таймер, то есть реализуется управление с фиксированной частотой ШИМ.

Метод управления с фиксированной частотой будет терять эффективность при малых нагрузках, так как имеет фиксированные потери в ключе. Так как мы рассматриваем решения на микроконтроллере, то можем легко обеспечить переменную частоту переключения в зависимости от тока нагрузки и режима работы преобразователя.

В контроллере с фиксированной частотой ШИМ наиболее легко реализуется режим прерывистого тока, когда ток не протекает ни через один элемент преобразователя.

Периферия Независимая от ядра может помочь в реализации режима критической проводимости, когда контролируется достижение тока до нулевого

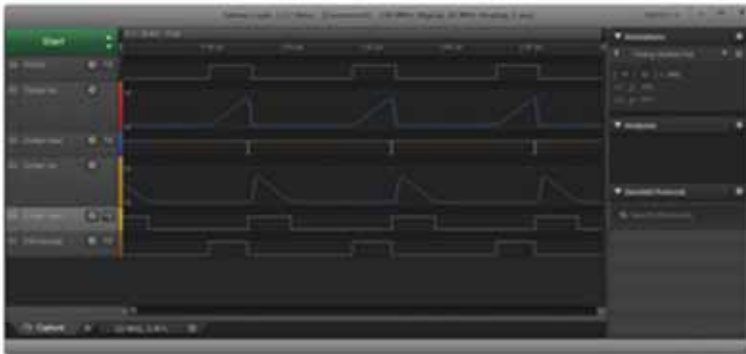


Рис. 24. Режим прерывистого тока

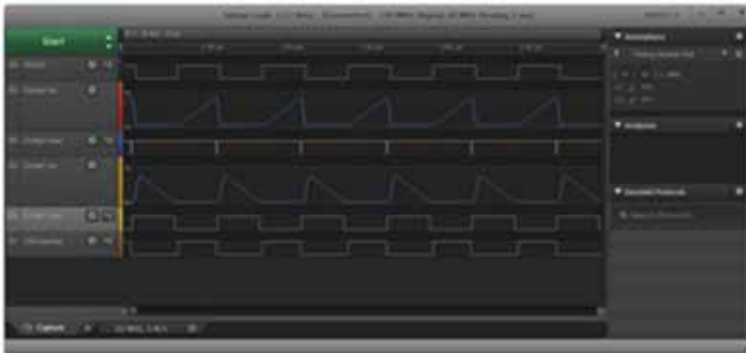


Рис. 25. Режим критической проводимости тока.

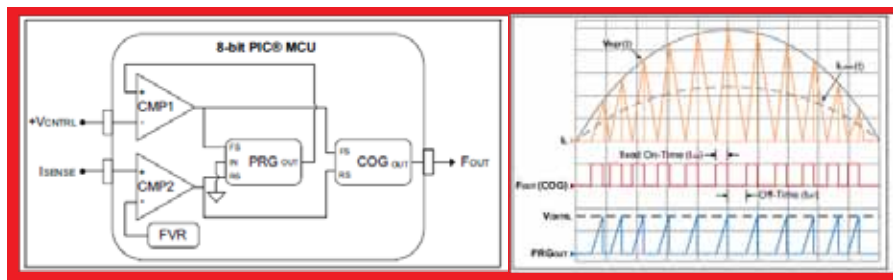


Рис. 26. Управляемый напряжением ШИМ-контроллер в конфигурации с фиксированным временем включения (COT) в режиме критической проводимости

значения. В этом случае ШИМ-контроллер автоматически меняет частоту коммутации для нахождения в режиме критической проводимости.

Конфигурируемая периферия позволяет реализовывать и другие алгоритмы: если сигнал компаратора завести на сброс таймера, то можно реализовать управление с фиксированным временем выключения (Fixed Off Time) или с фиксированным временем включения (Fixed On Time или Constant On Time).

Управление с фиксированным временем включения позволяет построить ИИП с корректором мощности [7].

Ранее показано, как Независимая от Ядра Периферия микроконтроллеров Microchip позволяет строить ШИМ-контроллеры импульсных источников питания из «кирпичиков» путем устанавливания связей между различными периферийными модулями. Если в описанные выше ШИМ-контроллеры добавлять новые «кирпичики», то получим новые функции.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ

### Защита силовой части

Важный вопрос в силовой электронике это обеспечение защитных функций. Если нарушена обратная связь, то возможны ситуации, когда силовой ключ будет открыт на недопустимое время.

Микроконтроллеры PIC с независимой от ядра периферией (CIP) имеют таймера с функцией ограничения (Hardware Limit Timer, HLT).

Рассмотрим пример реализации ШИМ-контроллера с автоматической защитой (ограничение ширины выходного импульса и возможностью автовыключения).

Таймер HLT1 — задает ограничение времени открытого состояния MOSFET, таймер HLT2 — задает время выключенного состояния Toff.

COG — Complementary Output Generator — формируют сигналы управления MOSFET.

Алгоритм (инициализация периферии микроконтроллера):

- Таймер HLT2 инициирует включение COG (то есть силового MOSFET) и взводит HLT1. Ток через индуктивность и напряжение на Rsense нарастает. При совпадении напряжения с Vref — срабатывает компаратор.
- В нормальном режиме компаратор сбрасывает COG, одновременно с COG сбрасывается HLT2 (Toff).
- Сигнал компаратора бланкируется на некоторое время при переключении силового ключа, тем самым предотвращает ложные срабатывания, которые могут возникнуть от возникающей помехи (на рис. 27 сигнал бланкирования заведен для наглядности на компаратор, на самом деле функция бланкирования это особенность модуля COG, на время бланкирования он не воспринимает сигнал от компаратора).

Если компаратор не работает за безопасное время Tзаш., то ограничительный таймер HLT1 сбросит COG и ограничит время открытого состояния силового ключа. Большая длительность открытия ключа может означать обрыв обратной связи, неисправность силового транзистора или индуктивности.

Рис. 28 поясняет работу такого ШИМ-контроллера. Модуль COG имеет функцию блокировки работы, в этом случае программа может снять блокировку.

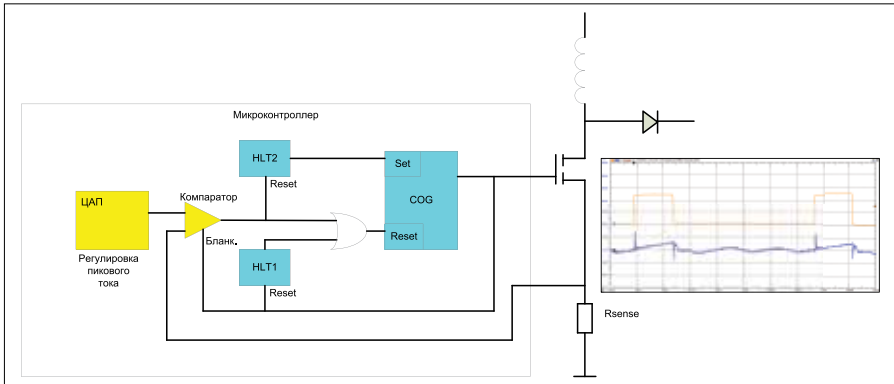


Рис. 27. ШИМ-контроллер

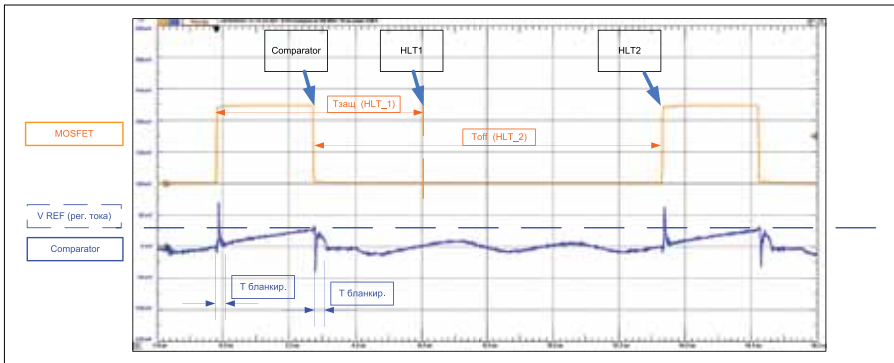


Рис. 28. Диаграммы напряжений, поясняющие работу ШИМ-контроллера (рис. 27).

Это можно использовать для диагностики — если постоянно срабатывает HLT1, то программа может выключить работу ШИМ-контроллера и сигнализировать о неисправности.

### Мягкий старт

Если за период ШИМ в индуктивности остается энергия, то за несколько периодов это может привести к её насыщению. В то же время, при старте источника выходное напряжение равно нулю и обратная связь по напряжению еще не работает. То есть создаются условия для насыщения силовой индуктивности.

Мягкий старт при управлении по напряжению может обеспечиваться увеличением индуктивности или формированием низкой скважности при старте с дальнейшим увеличением скважности.

Мягкий старт при управлении по току может реализовываться путем ограничения тока петли обратной связи при запуске источника.

Пример (рис. 29): мягкий старт с ограничением максимального тока. ЦАП и компаратор С2 ограничивают минимальный пиковый ток, напряжение ЦАП программно медленно увеличивается. Когда  $V_{out}$  до-

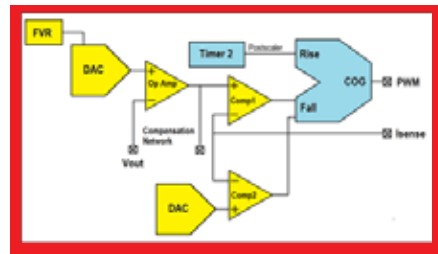


Рис. 29. ШИМ-контроллер с функцией мягкого старта

стигает нормы, то начинает работать компаратор C1, по прерыванию от которого можно отключить цепь мягкого старта и ограничения тока (ЦАП + Comp2).

### Защита от перенапряжения

Добавление компаратора C2 для анализа выходного напряжения поможет выключить модуль COG при увеличении выходного напряжения выше порога Over Voltage (защита от обрыва в нагрузке, см. рис. 30).

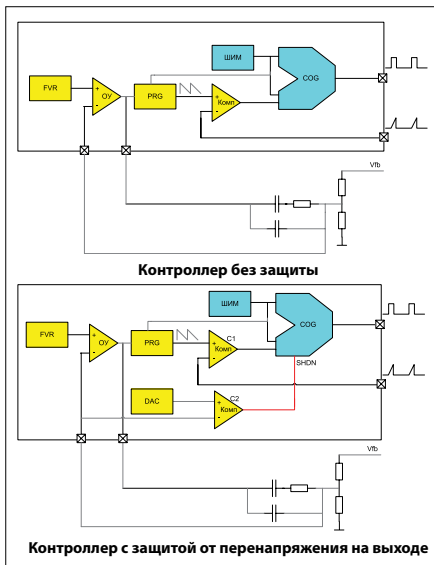


Рис. 30. Защита от перенапряжения

Аналогичным образом можно организовать защиту от превышения температуры и пр.

### Ограничение максимальной скважности

Ранее реализацию такой функции рассматривали в ШИМ-контроллерах с управлением по напряжению, так же вариант реализации см. на рис. 27.

В контроллерах с управлением по току в нормальном режиме выходной ШИМ запускается фронтом входного ШИМ (опорного), а сбрасывается от сигнала обратной связи — токового компаратора. Для ограничения скважности выходных импульсов может использоваться опорный ШИМ, скважность которого выбирается как максимальная, для разрабатываемой топологии

ИИП. Тогда, по спаду опорного ШИМ можно принудительно сбросить модуль COG (см. рис. 31).

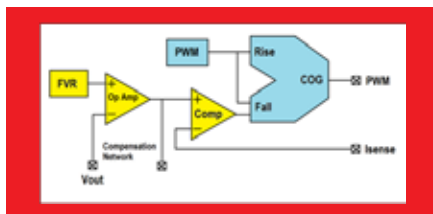


Рис. 31. ШИМ-контроллер с ограничением скважности выходных импульсов.

## ДОСТУП К ВНУТРЕННИМ СИГНАЛАМ И ДИАГНОСТИКА

В то время как Периферия Независимая от Ядра формирует ШИМ-контроллер импульсного источника питания и замыкает обратную связь контура управления, ядро микроконтроллера позволяет осуществлять измерительные, диагностические и связные функции. Микроконтроллер способен измерять пиковый и средний ток через индуктивность, сигнал пилообразной компенсации. Вместе с измерением временных параметров это позволяет ядру микроконтроллера производить математические вычисления и получать информацию, которая не доступна через прямые измерения.

Используя измеренное напряжение ошибки  $V_{err}$ , PRG и  $I_{L_{min}}$ , можно вычислить токи  $I_{L_{peak}}$  и  $I_{L_{avg}}$ . Измерение скважности и знание  $I_{L_{avg}}$  позволяют вычислить  $I_{in_{avg}}$  и  $I_{out_{avg}}$ . Используя  $V_{in}$ ,  $V_{out}$ ,  $I_{in_{avg}}$ ,  $I_{out_{avg}}$  можно оценить мощность и эффективность источника питания.

Интерфейсы связи позволяют осуществлять внешнее управление, передачу данных и диагностическую информацию. Программные ресурсы позволяют реализовывать стеки протоколов связи.

Как пример, микроконтроллер может использоваться в системах генерации мощности от альтернативных источников с накопительными батареями без использования специализированных микросхем преобразователей энергии. Для такого рода применений преобразование энергии и заряд аккумуляторов контролируется микроконтроллером. Функции поиска точки максимума энергии (MPPT) в солнечных конверторах и протоколы связи реализуются программно. Интерфейс взаимодействия с пользователем реализуется через порты ввода/вы-

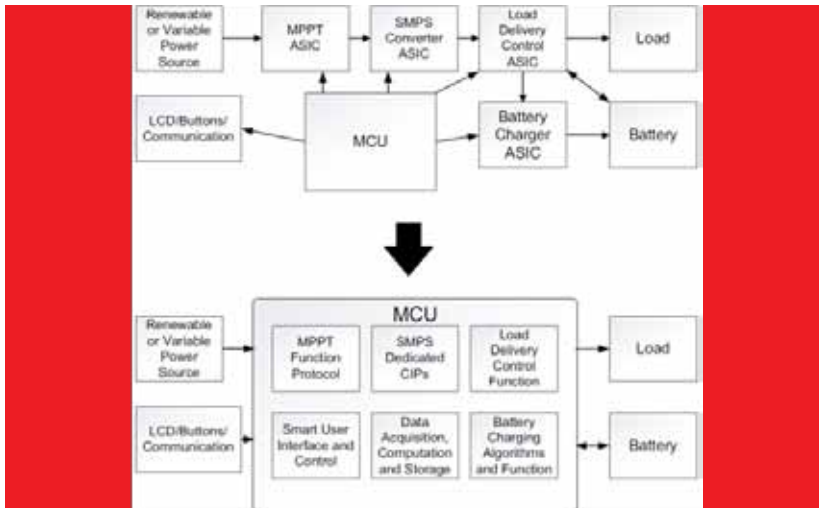


Рис. 32.

вода микроконтроллера. Таким образом, множество функций такой системы можно реализовать на одном микроконтроллере (см. рис. 32), а не применять несколько микросхем и МК.

Независимая от ядра периферия позволяет осуществить ряд других функций: ограничение тока или выключение источника при перегреве, изменение режима работы с прерывистым током в режим с непрерывным током и др., осуществлять контроль последовательности включения ИИП, осуществление дрожания частоты для отстройки частоты переключения и/или уменьшения (размазывания) спектра помех источника.

Выше рассматривались реализации ШИМ-контроллеров на независимой от ядра периферии МК для реализации однокаскадного или одноканального ИИП. Семейства микроконтроллеров PIC16F176x/177x имеют до 4 однотипных наборов периферии, каждый из которых может использоваться в построении преобразователя энергии. Таким образом, контроллеры указанных семейств могут быть ядром многоканальных или многостадийных ИИП и преобразователей энергии.

## ПРОГРАММА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

ИИП с реализацией на независимой от ядра периферии практически не требует вмешательства

со стороны ядра микроконтроллера. Задача микроконтроллера сводится к первоначальной конфигурации периферии, после чего функции/модули работают автономно по сигналам обратной связи. От контроллера может потребоваться минимальное участие при обработке и изменению алгоритма взаимодействия периферии, например при мягком старте, изменению выходных параметров источника, отработка аварийных режимов и др.

Поэтому ядро и программа микроконтроллера могут выполнять ряд присущих им функций — управления, обеспечения интерфейса с управляющим оборудованием, индикации режимов и пр.

На сайте Microchip можно найти реализацию интерфейсов PMbus, DALI, DMX, которые широко применяются в различных системах с преобразователями энергии.

## ОТЛАДКА

Для отладки системы не обязательно начинать с макетирования силовой части. Для некоторых задач ресурсы и периферия МК позволяют формировать как логику управления преобразователем, так и эмулировать сигналы обратной связи выходной топологии преобразователя.

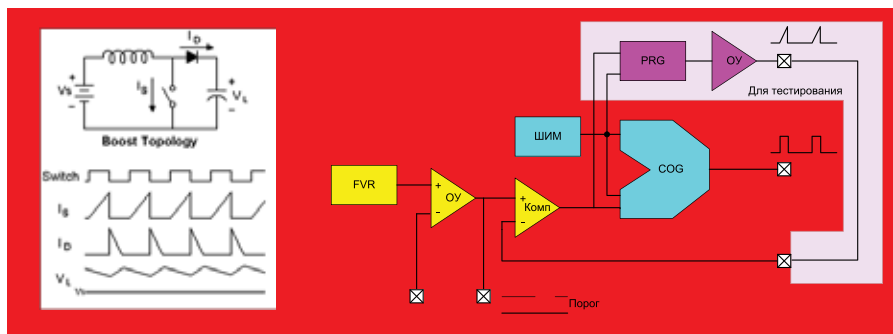


Рис. 33. Пример формирования пилообразного сигнала, для отладки ШИМ-контроллера с измерением пикового значения тока



Рис. 34. Пример формирования пилообразных сигналов, для отладки ШИМ-контроллера с измерением пикового значения тока и детектированием нулевого тока в индуктивности

## ИТОГИ

Возможность гибкого конфигурирования периферии позволяет использовать один и тот же МК общего назначения в разных задачах, в том числе и для создания ШИМ-контроллеров преобразователей энергии.

Периферия независимая от ядра интересна сама по себе, но наибольшую пользу может принести возможность синтеза функциональных блоков, то есть совместное использование нескольких периферийных модулей для решения конкретных задач. В этом случае тактовая частота, быстродействие и разрядность ядра уходят на второй план — аппаратная часть выполняет специализированные функции, а ядро занимается программной поддержкой изделия. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. Microchip web site: <http://www.microchip.com/promo/dspic33-gs-digital-power>.

2. Конфигурируемые логические ячейки в PIC микроконтроллерах <https://geektimes.ru/post/278718/>.
3. Порты ввода/вывода микроконтроллеров Microchip. <https://geektimes.ru/post/279374/>.
4. TB3119. Complementary Output Generator Technical Brief. [www.microchip.com](http://www.microchip.com).
5. Dynamics and Control of Switched Electronic Systems. Chapter 2. Pulse-Width Modulation <http://www.springer.com/978-1-4471-2884-7>.
6. TB3155. Multiphase Interleaved PWM Controller with Diode Emulation Using 8-Bit PIC® Microcontrollers. [www.microchip.com](http://www.microchip.com).
7. TB3153. Sample Functions Implemented with the Programmable Ramp Generator. [www.microchip.com](http://www.microchip.com).
8. Keith Billings, Taylor Morey. SWITCHMODE POWER SUPPLY HANDBOOK.
9. Marty Brown. Power Supply Cookbook.
10. AN2122. Flyback SMPS Using a Microcontroller as Control Unit. <http://www.microchip.com>.
11. 20097 PC7. Designing Intelligent Power converters Using Core Independent Peripherals (CIPs) Microchip MASTERS Training 2016.
12. AN2456. Configurability in a Switched Mode Power Supply Controller. <http://www.microchip.com>.



# РАСШИРЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОТЛАДКИ AVR® И ARM/CORTEX МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

В данной статье покажем возможности расширенной отладки микроконтроллеров (МК) Atmel. В статье не будем рассматривать «обычные» функции отладчика, такие как точки останова, наблюдение за состоянием регистров и т. п. Статья описывает возможности по использованию дополнительных каналов отладки, предоставляемыми EDBG отладчиками в отладочных платах **Xplained PRO**, отладчиках **ATMEL-ICE** и **Power Debugger**.

Схема отладки микроконтроллерного устройства приведена на рис. 1.

Микроконтроллер принимает и передает информацию внутрисхемному отладчику (дебаггер,

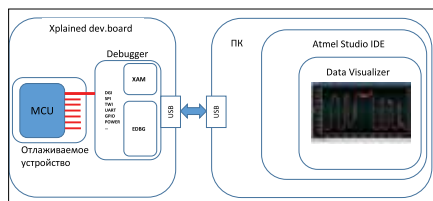


Рис. 1. Схема отладки микроконтроллерного устройства

Debugger) через доступные интерфейсы связи с отладчиком. Внутрисхемный отладчик (в составе отладочной платы или как автономное устройство) через интерфейс связи с компьютером (ПК

Таблица 1. Пример интерфейса: Universal Programming Debugging Interface (UPDI)

Интерфейс	Однопроводный (1-wire), UART
Использование выводов	Отладочный вывод может использоваться для отладки или может быть входом сброса или В/В. Процедура выдачи высокого напряжения требуется для входа в режим отладки
Функции	Программирование, отладка
Максимальная скорость (отладка/программирование)	~750 кбод
Аппаратных точек останова	2
Поддержка программных точек останова	Да, не ограничено
Точек останова по данным	Нет
Доступ к регистрам w	PC, SP
Канал сообщений	Да
Отслеживание Sleep режимов	Да
Отладка с подключением к запущенной программе («горячее» подключение)	Да
Пример МК	Семейство tiny 817 и новее

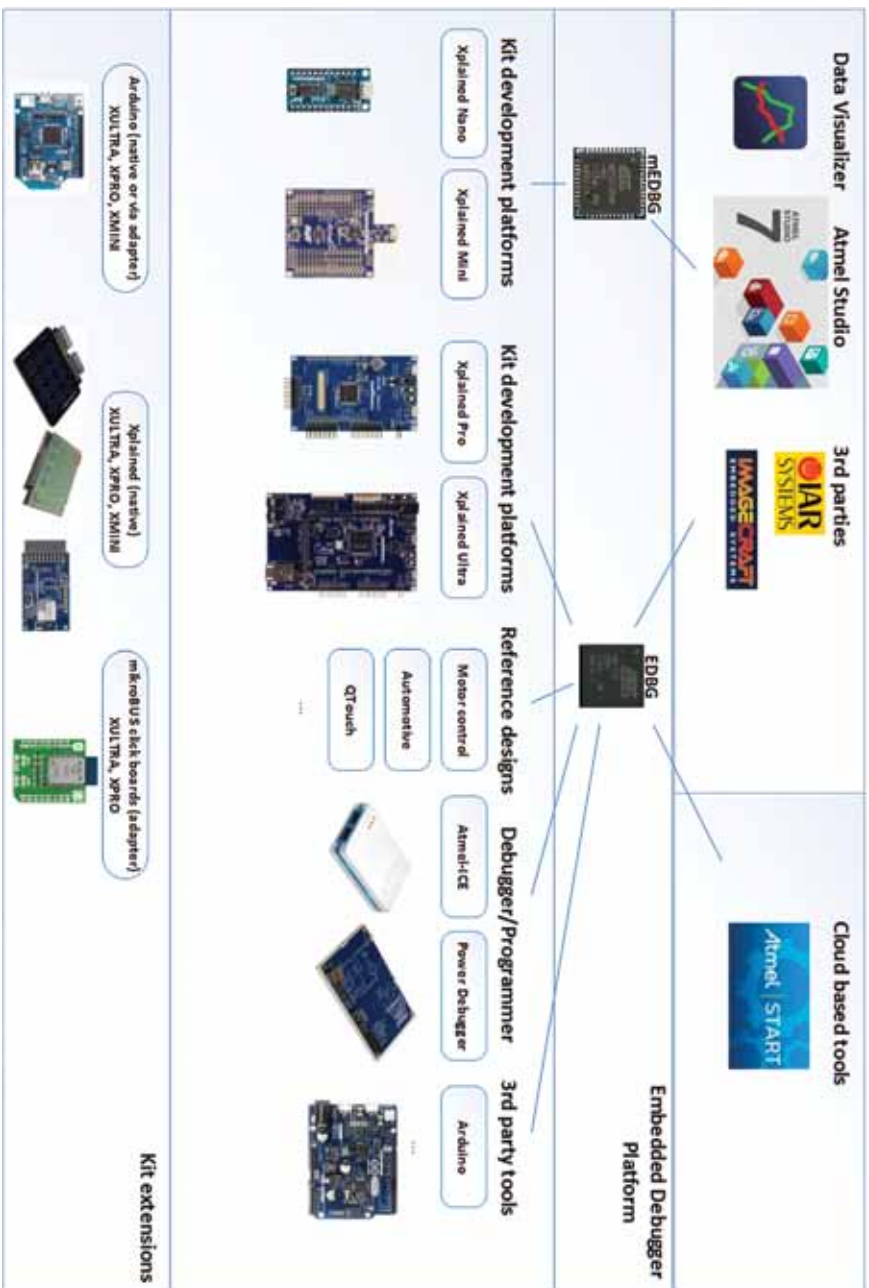


Рис. 2. Экосистема отладочных средств AVR и SAM

передает информацию в программное обеспечение, например в Atmel Studio, где информация обрабатывается и отображается в удобном для пользователя виде.

Большинство микроконтроллеров имеют встроенное Ядро поддержки отладки Микроконтроллера (On-Chip Debug, OCD), но при отладке, при поддержке программных ресурсов контроллера могут использоваться вспомогательные каналы обмена информацией: порты ввода-вывода, интерфейсы связи (I<sup>2</sup>C, SPI, UART). Так же информацию можно получить путем измерения напряжение питания и потребляемого устройством тока.

## ИНТЕРФЕЙС СВЯЗИ МК С ДЕБАГГЕРОМ

Для отладки микроконтроллеров Atmel (AVR, Cortex/ARM), в зависимости от семейства, применяются несколько отладочных (Debug) интерфейсов: PDI, UPDI, JTAG, SWD и др.

## ВНУТРИСХЕМНЫЙ ОТЛАДЧИК/ПРОГРАММАТОР

Ядром внутрисхемного отладчика/программатора могут быть EDBG (Embedded Debugger) или mEDBG. Чип внутрисхемного отладчика EDBG интегрируется в отладочные платы Atmel Xplained PRO. В дополнение к возможностям программирования и отладки через среду разработки Atmel Studio, отладчик EDBG предоставляет вспомогательные каналы связи

между компьютером и отлаживаемым микроконтроллером (рис. 2).

mEDBG — сокращенный вариант EDBG отладчика, mEDBG не имеет канала данных DGI (Data Gateway Interface) об интерфейсе DGI см. ниже.

## МОДУЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА

Некоторые отладочные средства (**Power Debugger** и некоторые отладочные платы серии **Xplained PRO**), то есть имеющие EDBG, могут измерять потребляемый ток микроконтроллера или микроконтроллера и внешней периферии. Для измерения тока служит модуль XAM (Xplained Pro Analog Module), подключаемый к EDGB отладчику.

Схема измерительного блока приведена на рис. 3. Интегрированный в некоторые отладочные платы Xplained PRO модуль **Xplained PRO Analog Module (XAM)** формирует фиксированное напряжение питания и позволяет измерять потребляемый ток (микроконтроллера или микроконтроллера совместно с периферией) с частотой 15,15 кГц.

Внутрисхемный отладчик **Power Debugger** имеет схожие характеристики с модулем XAM в отладочных платах серии **Xplained PRO**, но может измерять ток с большей частотой (62,5 кГц) с разрешением 16-бит по каналу «А» и 12 бит по каналу «В». Дополнительно отладчик **Power Debugger** может генерировать напряжение питания отлаживаемого устройства в диапазоне от 1,6 до 5,5 В с током 100 мА.

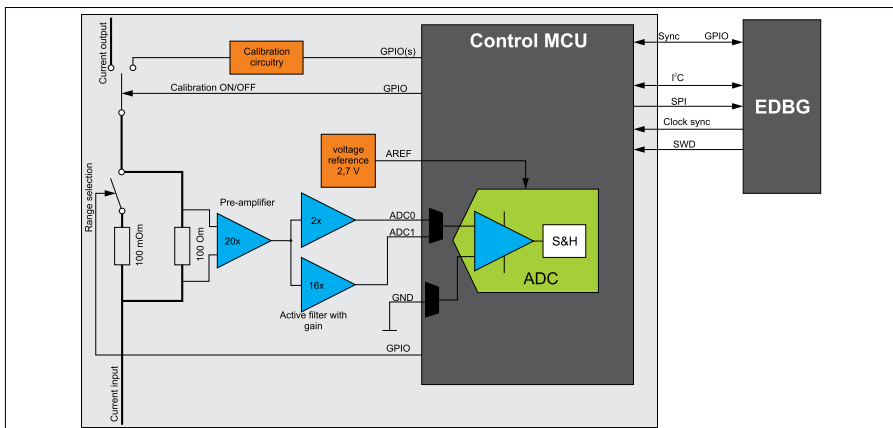


Рис. 3. Схема измерительного блока XAM

Таблица 2. Параметры измерительного модуля XAM

Диапазоны измерений	Разрешение	Точность	Комментарии
Range 1	20 нА	1 LSB ±1%	Ниже 1 мкА точность ухудшается. Типовое значение 1 LSB ±10% при токе 300 нА
Range 2	150 нА	1 LSB ±1%	
Range 3	10 мкА	1 LSB ±1%	
Range 4	100 мкА	1 LSB ±1%	Выше 100 мА точность ухудшается. Типовое значение 1 LSB ±5% при 400 мА. Максимальный ток: 400 мА

## USB

Для связи отладчика с персональным компьютером используется интерфейс USB (рис. 4), который предоставляет несколько логических интерфейсов: HID, Mass Storage, CDC (виртуальный COM-порт), DGI (Data Gateway Interface). По причине ограничения числа конечных точек не все интерфейсы могут быть доступны одновременно.

Интерфейсы связи по USB в отладчиках имеют разные предназначения.

### USB CDC (виртуальный COM-порт):

- Предоставление текстовой информации (printf)
- Терминал
- Канал связи для протоколов:
  - QTouch debug data
  - Wireless performance analyzer
  - Визуализации данных через Data Visualizer
- Загрузчик (Bootloader)

### Mass Storage (Накопитель):

- Определяется как накопитель («жесткий диск»);
- Доступен не для всех отладочных плат;
- Накопитель содержит файлы:
  - Ссылку на описание отладочной платы;
  - Статус операции программирования;
  - Версию прошивки
- Возможность программирования без установки драйверов и ПО (путем копирования hex-файла в «накопитель»).

### Data Gateway Interface (DGI):

- Проприетарный USB bulk интерфейс
- Шлюз для интерфейсов SPI, USART, UART, I<sup>2</sup>C
- Канал передачи данных измерения напряжения и тока;
- Данные Логического анализатора (состояния портов В/В);

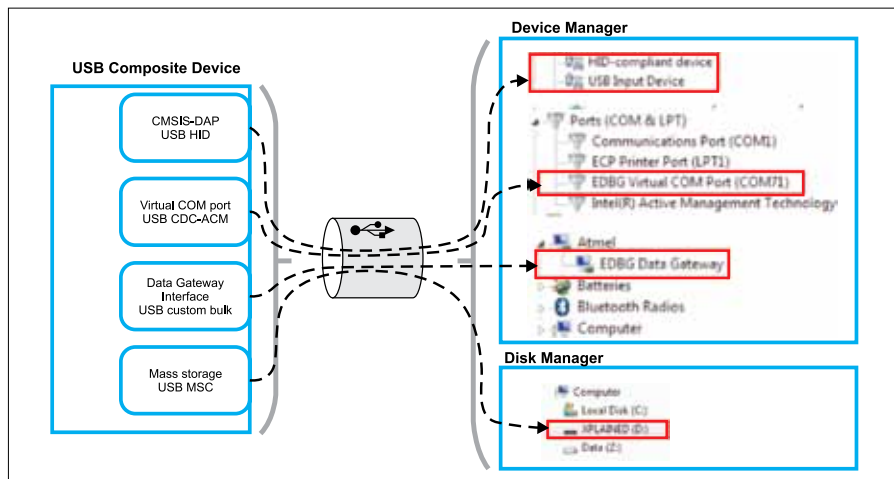


Рис. 4. Интерфейсы USB, используемые в отладочных средствах Atmel



Рис. 5. Возможность использования нескольких каналов получения данных с отлаживаемого устройства

• Предоставляются API для DGI-протокола и библиотеки DGLib.

Благодаря расширенным возможностям отладчик EDBG через различные интерфейсы посредством нескольких каналов передачи через USB дает возможность получить множество данных с отлаживаемой платы.

## DATA VISUALIZER (DV)

Визуализатор данных Data Visualizer позволяет отображать получаемые данные в удобной форме. Визуализатор поддерживает прием данных через интерфейсы DGI и последовательный порт — как от отладчиков EDBG, mEDBG, так и через USB CDC (отладчика или сторонний) и RS-232.

Визуализатор поддерживает прием «сырых» данных, так и основанных на коммуникационных протоколах, позволяет визуализировать данные в реальном времени, с привязкой к временным отметкам. Позволяет наблюдать потребляемый ток с привязкой к выполняемому коду и состоянием портов ввода-вывода.

Визуализатор данных имеет настраиваемую панель инструментов (кнопки, слайдеры, измерительные приборы и др.), что позволяет настроить отображение данных в удобном виде.

Имеет такие инструменты как «осциллограф», терминал, графики, имеет возможность измерения интервалов времени (курсор), а так же мгновенного значения тока, оценку срока службы батареи. Визуализатор данных устанавливается как plug-in для Atmel Studio, но так же доступна автономная версия.

Таблица 3. Типы отображаемых входов и выходов инструментов DV

	Источник данных (штеткер)
	Неподключенный вход для данных (гнездо)
	Подключенный вход данных

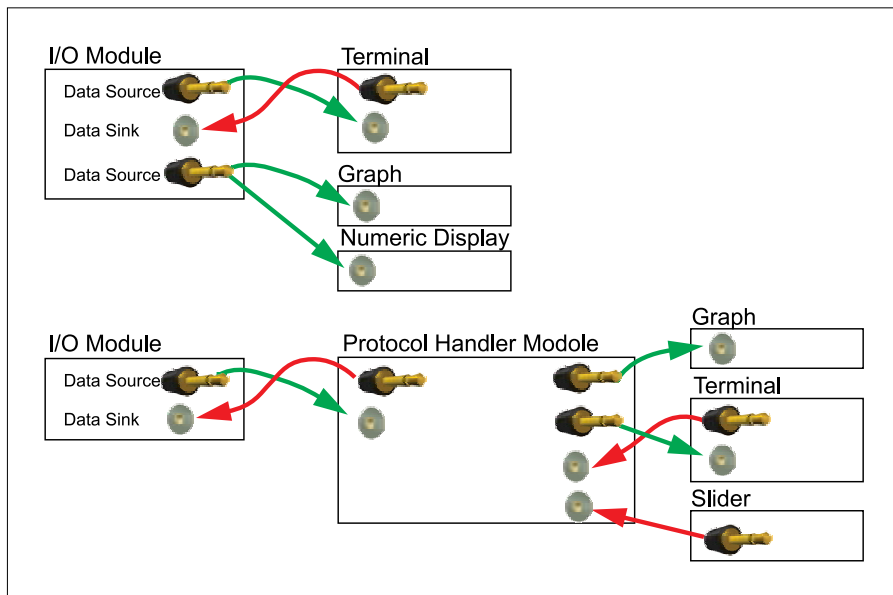


Рис. 6. Подключение выходов к входам инструментов

Элементы визуализатора данных имеют подключаемые входы и выходы, что позволяет разным интерфейсам и элементам общаться для обработки и визуализации данных.

Пользователь, путем перетаскивания «мышкой» штекера к гнезду может подключать различные источники данных к входам инструментов (рис. 6).

**Внешние подключаемые модули:**

- Data Gateway Interface (DGI);
- Последовательный порт.

**Элементы отображения (инструменты):**

- Терминал;
- График;
- Осциллограф;
- Power Debugging
- Пользовательская панель инструментов.

**Модули обработки протоколов (Protocol handling modules):**

- Поток данных (Data Stream);
- Atmel Data Protocol (ADP).

**Утилиты:**

- Счетчик (Sample rate counter);
- Запись лога (File logger).

**Внешние подключаемые модули. Последовательный порт**

Может выступать источником данных для построения графиков, вход и выход данных для терминала и др.



Рис. 7. Настройка последовательного COM порта

**Внешние подключаемые модули. DGI — Data Gateway Interface**

Интерфейс DGI позволяет подключать интерфейсы SPI, TWI, порты ввода/вывода, информацию о измеряемом потреблении тока и профилирование



Рис. 8. Настройка DGI интерфейса

**Таблица 4.**

Опция	Описание	Ограничения
Code Location	Сэмплирование программного счетчика	SAM и AVR® с интерфейсом UPDI
Stack Monitor	Опрос указателя стека и отображение в мониторе использования стека	AVR с интерфейсом UPDI
AVR MCU OCD messaging	Передача OCD сообщений (через debug-интерфейс) в Data Visualizer (в Atmel Studio)	AVR
AVR MCU sleep monitor	Мониторинг нахождения микроконтроллера в Sleep режиме	AVR с интерфейсом UPDI
Add Memory Location	Memory location(s) to poll and control	SAM

кода (адреса, Sleep монитор, монитор стека, OCD-сообщения, адреса переменных).

Большинство элементов имеют вход и выход, то есть данные могут поступать как от отлаживаемого микроконтроллера, так и передаваться в микроконтроллер.

## ИНСТРУМЕНТЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

### Power Analysis

Окно показывает профиль потребления в реальном времени, дополнительно отображаются Sleep монитор, отображение состояния портов В/В с привязкой к исполняемому коду (рис. 9).



Рис. 9. Окно Power Analysis

### Graph

Отображение графиков. Данные можно получать как через подключенные к микроконтроллеру интерфейсы связи (SPI, UART и др.), так и через отла-

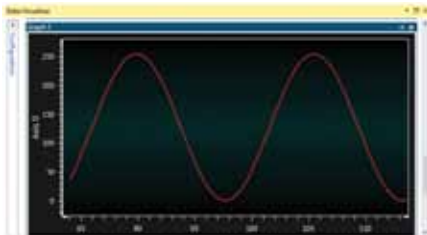


Рис. 10. Пример отображения данных в виде графика

лажный интерфейс (OCD) — On-Board Debugging Message (OBDM).

### Terminal

Служит для отображения информации в текстовом виде и отправки данных в микроконтроллер.

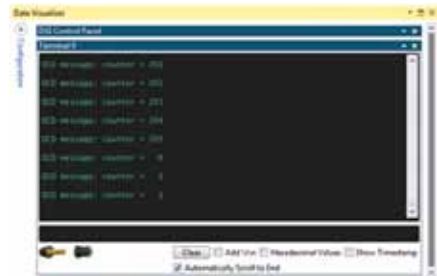


Рис. 11. Окно Терминала

### Настраиваемая пользовательская панель

Позволяет создать панель инструментов с элементами ввода и вывода информации в удобном для пользователя виде.

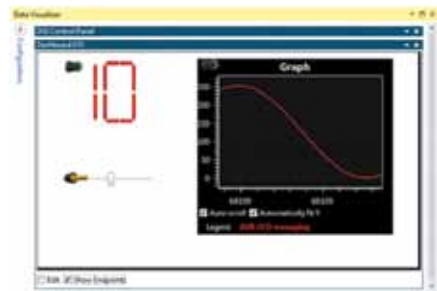


Рис. 12. Настраиваемая панель инструментов

### Поддержка настраиваемых протоколов

Все каналы передачи данных (UART, I2C, SPI) при подключении могут иметь функцию автоматического распознавания протокола. Поддерживаются два протокола: однонаправленный протокол **Data Stream Protocol** и двунаправленный **Atmel Data Protocol (ADP)**.

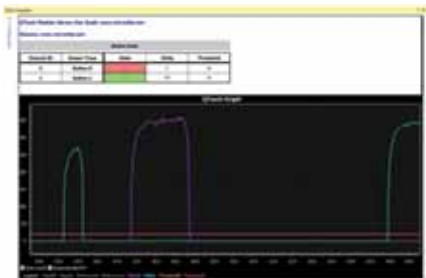


Рис. 13. Получение данных с нескольких каналов сенсорных кнопок

Данные протоколы полностью конфигурируемы и позволяют принимать различные каналы данных для отображения в Data Visualizer.

Внутрисхемная отладка с использованием debug-интерфейса (OCD) совместно с дополнительными каналами отладки позволяет существенно расширить возможности отладчиков, так как предоставляет множество потоков данных.

Описанные возможности присутствуют во внутрисхемных отладчиках Power Debugger, ATMEL-ICE (нет возможности измерения тока) и отладочных платах серии Xplained PRO.

## ОТЛАДОЧНЫЕ СРЕДСТВА ATMEL

### ATMEL-ICE

Atmel-ICE это инструмент для отладки и программирования Atmel ARM Cortex M и Atmel AVR микроконтроллеров с использованием debug-интерфейсов JTAG, SWD, PDI, UPDI, debugWIRE, aWire, TPI и SPI. Связь с компьютером осуществляется посредством USB интерфейса, поддерживается передача данных через Data Gateway Interface (DGI).

Atmel-ICE может формировать напряжение питания для отлаживаемого устройства в диапазоне от 1,6 до 5,5 В с током 100 мА.

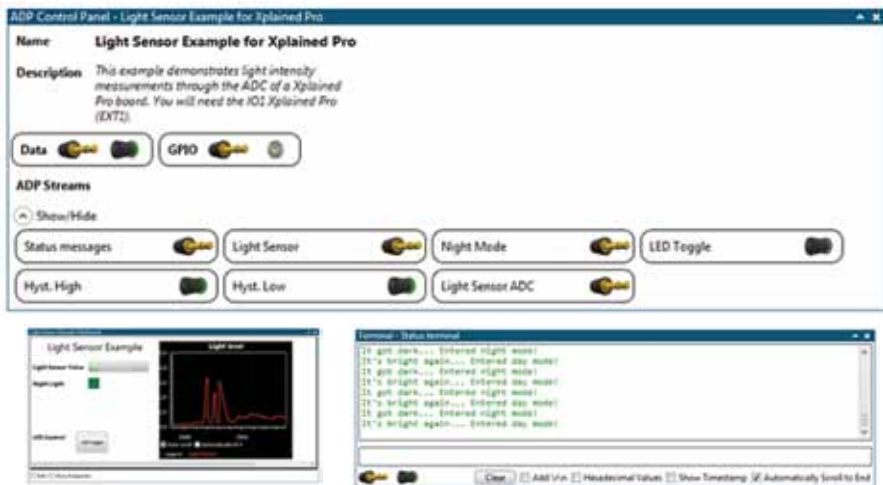


Рис. 14. Использование двунаправленного конфигурируемого протокола



## POWER DEBUGGER

Atmel Power Debugger это инструмент для отладки и программирования Atmel ARM Cortex M и Atmel AVR микроконтроллеров с использованием debug-интерфейсов JTAG, SWD, PDI, UPDI, debugWIRE, aWire, TPI и SPI. В дополнение к каналам программирования Power Debugger имеет два независимых канала для измерения тока потребления отлаживаемых устройств. Связь с компьютером осуществляется посредством USB интерфейса, поддерживаются USB CDC (виртуальный COM порт) и Data Gateway Interface (DGI).



Power Debugger может формировать напряжение питания для отлаживаемого устройства в диапазоне от 1,6 до 5,5 В с током 100 мА.

Power Debugger так же может измерять ток, потребляемый от USB подключенного устройства.



Совместно с Data Visualizer отладчик может отображать график потребления тока с привязкой к выполняемым командам.

Power Debugger это, по сути, это отладчик Atmel-ICE с функцией измерения токов.

## ОТЛАДОЧНЫЕ ПЛАТЫ XPLAINED PRO

Отладочные платы серии Xplained PRO содержат целевой микроконтроллер, разъемы для подключения плат расширения, интегрированный EDGB отладчик (с DGI и USB CDC) и некоторые имеют XAM модуль измерения тока потребления целевого микроконтроллера или общего потребления (МК и подключенной к нему периферии).

EDBG отладчик в платах Xplained PRO под ARM Cortex микроконтроллеры может быть перепрограммирован прошивкой поддерживающей дебаггер J-LINK Segger. Тогда пользователь получает возможность использования неограниченного числа точек останова, увеличенной скоростью программирования и способностью отладки в сторонних средах разработки (emIDE и Eclipse).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Data Visualizer Software User's Guide. [www.microchip.com](http://www.microchip.com).
2. Programmers and Debuggers. Power Debugger User's Guide [www.microchip.com](http://www.microchip.com).
3. Programmers and Debuggers. EDBG User's Guide. [www.microchip.com](http://www.microchip.com).

# МІСRОСНІР ТЕСННОЛОГІ АНОНСІРУЄ ПОЯВЛЕНІЕ НОВИХ МІКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В СЕМЕЙСТВЕ ТІNYAVR®

Microchip продовжує розширяти сімейство мікроконтролеров AVR і запускає в виробництво нові tinyAVR.

Компанія Microchip Technology Inc., лідируючий виробитель мікроконтролеров, аналогових мікросхем і мікросхем смешаних сигналів, а так же Flash-IP рішень, об'явила о дальньому розвитку мікроконтролеров AVR® і появиленні трьох нових контролеров сімейства tinyAVR®. Нова серія контролеров ATtiny1617 має незалежну о ядра периферію (Core Independent Peripherals, CIP), котра дозволяє збільшити виробничість системи при зменшенні енергопотребленія.

Нові контролери с 16 кбайт Flash-пам'яттю розширяють раніше анонсоване сімейство ATtiny817 і підтримуються online інструментарієм Atmel START для конфігурування мікроконтролеров.

Нові мікроконтролери пропонуєть 16 кбайт Flash-пам'яті програм, 2 кбайт ОЗУ в 14-, 20-, і 24-вильовних корпусах, при этом мають ключеві можливості других tinyAVR, включаючи контролер системи подій (Event System Controller), котрий дозволяє різній периферії взаємодіювати між собою без відволеченія ЦПУ і дає можливість розробникам настроїти роботу периферії под виконення специфічних задач. Вбудований периферійний сенсорний контролер (Peripheral Touch Controller, PTC) упрощає розробку систем с емкостними сенсорними кнопками. Нові контролери так же содержать: 20 МГц вбудований генератор, високоскоростної комунікаційний порт с підтримкою USART, SPI, I2C, блоки конфігуруємих логічних функцій, 10-разрядний АЦП с істочником опорного напругенія, мають діапазон напругенія живлення о 1,8 до 5,5 В и вильовнені с примененієм технології рiсoPower®, что дає можливість знизити ток потребленія в Sleep до 100 нА.

*Для отримання подробиної інформації посетіте сайт компанії по адресу: [www.microchip.com/1617series](http://www.microchip.com/1617series)*

## ПОДДЕРЖКА РАЗРАБОТЧИКОВ

Програмна підтримка пропонується екосистемою Microchip, включаючи середу розробки Atmel Studio 7. Нові контролери ATtiny1617, ATtiny1616, ATtiny1614 отримали підтримку конфігуратора Atmel START Code Configurator и ефективної, компакної модульної бібліотеки QTouch. Конфігуратор Atmel START основан на web-технологіях и пропонуєть новіші бібліотеки.

Для начала освоєнія и изучения нових мікроконтролеров Microchip пропонуєть оладочні плати STK600 и ATtiny817-Xplained Mini Kit, котрий сумісний с екосистемою Arduino. Демо плата Xplained Mini Kit може використовуватися как автономна оладочна плата и содержить вбудований оладчик-



программатор, плата поддерживается конфигуратором Atmel START и средой разработки Atmel Studio 7.

## ДОСТУПНОСТЬ

Новые микроконтроллеры ATtiny1617, ATtiny1616 и ATtiny1614 доступны для заказа образцов и в массовых количествах. Семейство содержит 6 микроконтроллеров с объемом Flash памяти до 16 Кбайт, которые доступны в корпусах от 14 до 24 выводов, включая корпуса 14-SOIC, 20-VQFN, 20-SOIC, 24-QFN.

Part Number	Pin Count	Program Flash (B)	Data EEPROM (B)	RAM (B)
ATtiny1614	14	16 K	256	2048
ATtiny1616	20	16 K	256	2048
ATtiny1617	24	16 K	256	2048
ATtiny814	14	8 K	128	512
ATtiny816	20	8 K	128	512
ATtiny817	24	8 K	128	512

# КОМПАНИЯ MICROCHIP ПРЕДСТАВЛЯЕТ СЛЕДУЮЩЕЕ ПОКОЛЕНИЕ ВНУТРИСХЕМНОГО ОТЛАДЧИКА-ПРОГРАММАТОРА ICD-4



Внутрисхемный программатор-отладчик MPLAB® ICD 4 с увеличенной производительностью и увеличенным ОЗУ. Компания Microchip Technology Inc. анонсировала ICD-4 — внутрисхемный программатор, отладчик и средство разработки для всех PIC-микроконтроллеров и контроллеров цифровой обработки сигналов dsPIC. Отладчик MPLAB ICD 4, по отношению к предыдущему ICD-3, получил быстрый процессор, увеличение скорости и объема памяти ОЗУ. MPLAB ICD 4 (номер для заказа DV164045) получил существенное увеличение быстродействия за счет применения 32-разрядного процессора работающего на тактовой частоте 300 МГц и увеличенного до 2 Мб буфера памяти.

## ОСОБЕННОСТИ MPLAB ICD 4:

- Широкий диапазон питания отлаживаемых микроконтроллеров: от 1,2 до 5,5 В;
- Выходной ток питания до 1 А (при использовании внешнего источника питания);
- Выбираемая подтяжка вверх/вниз для интерфейса связи с микроконтроллером;
- Конфигурируемая скорость интерфейса связи для программирования и отладки;
- Интеллектуальный, надежный интерфейс с обнаружением ошибок;
- Возможность отладки по интерфейсу JTAG

Для получения подробной информации о внутрисхемном отладчике MPLAB ICD 4, посетите сайт: [www.microchip.com/ICD4](http://www.microchip.com/ICD4)

# КОМПАНИЯ MICROCHIP АНОНСИРУЕТ НОВОЕ СЕМЕЙСТВО МИКРОПОТРЕБЛЯЮЩИХ КОНТРОЛЛЕРОВ С ДРАЙВЕРОМ ЖКИ



Новое семейство микроконтроллеров PIC16F19197 сочетает возможность микропотребляющего управления ЖКИ, независимую от ядра периферию и интеллектуальную аналоговую обработку.

Компания Microchip Technology Inc. объявила о запуске в производство первых представителей семейства микроконтроллеров для управления ЖКИ сегментными дисплеями с независимой от ядра периферией (Core Independent Peripherals, CIPs) и продвинутыми аналоговыми

функциями. Девять представителей семейства содержат драйвер ЖКИ с интегрированным повышающим преобразователем (charge pump), 12-разрядным АЦП с вычислителем, низкопотребляющим компаратором и возможностью подстройки частоты высокочастотного встроенного RC генератора от микропотребляющего часового генератора. Это новое семейство 8-разрядных микроконтроллеров оптимизировано для применения в батарейных приборах с ЖКИ с возможностью применения сенсорных интерфейсов управления.

Семейство PIC16F19197 содержит контроллеры с числом выводов от 28 до 64 выводов, до 56 кбайт Flash памяти и 4 кбайт ОЗУ. Встроенный преобразователь помогает сохранять контрастность ЖКИ при снижении батарейного напряжения питания. АЦП позволяет автоматизировать измерения и постобработку сигналов, а так же обеспечить надежную работу емкостных сенсоров кнопок и слайдеров. Аппаратная активная подстройка встроенного генератора позволяет достичь стабильной частоты при изменении напряжения питания и температуры без участия программы.

Новые микроконтроллеры имеют часы реального времени с календарем (RTC) с входом резервного питания, порты вывода с высокой нагрузочной способностью для прямого управления подсветкой ЖКИ. Режимы сохранения потребления IDLE/DOZE и возможность отключения неиспользуемой периферии (Peripheral Module Disable, PMD) позволяют продлить срок службы изделий без смены элементов питания. Все это доступно наряду с возможностью управления до 360 сегментов ЖКИ дисплеев, что делает семейство микроконтроллеров PIC16F19197 идеальным выбором для приборов с ЖКИ и батарейным питанием.

*Для получения более подробной информации о новом семействе PIC16F19197, посетите сайт компании по ссылке: [www.microchip.com/pic16f19197family](http://www.microchip.com/pic16f19197family)*

## ПОДДЕРЖКА РАЗРАБОТОК

Как и все микроконтроллеры семейств PIC16, новые контроллеры поддерживаются конфигуратором кода MPLAB Code Configurator (MCC), средой разработки MPLAB X, компилятором MPLAB XC8, внутрисхемным отладчиком-программатором MPLAB ICD 3 и внутрисхемным эмулятором MPLAB REAL ICE™. Для поддержки разработчиков в освоении нового семейства Microchip Technology Inc. предлагает отладочную плату «LCD XLP Explorer Development Board» (номер для заказа DM240314)

	Память			Число выводов	12р АЦП (каналов)	5р ЦАП	Компаратор	Таймера (8р/16р)	ССР/ШИМ(10P)	Лог. ячейки CLC	Температурный датчик	ZCD	EUSART/I2C/SPI	Сегментов ЖКИ
	Flash, Кб	EEPROM	ОЗУ											
PIC16F19155	14	256	1024	28	20	1	2	2/2	2/2	4	Да	Да	2/1	96
PIC16F19156	28	256	2048	28	20	1	2	2/2	2/2	4	Да	Да	2/1	96
PIC16F19175	14	256	1024	36	35	1	2	2/2	2/2	4	Да	Да	2/1	184
PIC16F19176	28	256	2048	36	35	1	2	2/2	2/2	4	Да	Да	2/1	184
PIC16F19185	14	256	1024	44	43	1	2	2/2	2/2	4	Да	Да	2/1	248
PIC16F19186	28	256	2048	44	43	1	2	2/2	2/2	4	Да	Да	2/1	248
PIC16F19195	14	256	1024	64	45	1	2	2/2	2/2	4	Да	Да	2/1	360
PIC16F19196	28	256	2048	64	45	1	2	2/2	2/2	4	Да	Да	2/1	360
PIC16F19197	56	256	4096	64	45	1	2	2/2	2/2	4	Да	Да	2/1	360

## КОМПАНИЯ MICROCHIP АНОНСИРУЕТ ПЕРВЫЕ В ИНДУСТРИИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ 2-D GPU И DDR2 ПАМЯТЬЮ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ С ГРАФИКОЙ

**Новые микроконтроллеры семейства PIC32MZ "DA" упрощают разработку приложений с 24-битной графикой и дисплеями больших размеров с использованием фреймворка MPLAB® Harmony**

Новейшее семейство PIC32MZ "DA" это первые в индустрии микроконтроллеры с интегрированным 2D графическим сопроцессором (Graphics Processing Unit, GPU) и до 32 Мб интегрированной DDR2 памятью. Такая комбинация свойств дает разработчикам возможность увеличить цветовое разрешение и размер дисплеев (вплоть до 12 дюймов). Для ускорения разработок контроллеры поддерживаются средой разработки MPLAB X IDE и фреймворком MPLAB Harmony.

Семейство PIC32MZ DA заполняет пробел по производительной работе с графикой между микроконтроллерами и микропроцессорами и будет полезно тем, кто предпочитает оставаться в привычной среде проектирования микроконтроллеров. Новые микроконтроллеры предоставляют графические возможности подобные процессорным решениям, но с интеграцией и моделью программирования



контроллеров PIC32, средой разработки MPLAB IDE и Harmony. Указанные средства разработки предоставляют возможности проектирования графических интерфейсов, создания драйверов дисплеев, графические библиотеки, графический конвертер, который может использовать пользовательскую графику и оптимизировать её для выбранного размера экрана.

#### **Основные особенности нового семейства:**

- Графический контроллер с поддержкой 3 слоев и поддержкой цвета с глубиной до 24 бит и дисплеев разрешением до 1280×1024 (SXGA, Super eXtended Graphics Array).
- Высокопроизводительный 2D графический сопроцессор (Graphics Processing Unit, GPU).
- Интегрированная DDR2 память с объемом до 32 Мб или возможность работы с внешней памятью объемом до 128 Мб.
- Различные опции по встроенной Flash-памяти, SRAM и интерфейсам.

Добавление большого массива DDR2 памяти, что впервые реализовано в микроконтроллерах, позволяет увеличить производительность и создавать большие графические буферы или хранилища данных для сложных протоколов и алгоритмов связи. В результате можно создавать качественные графические интерфейсы и уменьшить число компонентов в связанных приложениях.

Для получения более подробной информации о семействе PIC32MZ DA, посетите сайт компании по ссылке: [www.microchip.com/PIC32MZDA\\_Main681](http://www.microchip.com/PIC32MZDA_Main681)

## **ПОДДЕРЖКА РАЗРАБОТОК**

Как и все микроконтроллеры PIC32, семейство PIC32MZ DA поддерживается фреймворком MPLAB® Harmony, средой разработки MPLAB X, компилятором MPLAB XC32, внутрисхемным отладчиком-программатором MPLAB ICD 3 и внутрисхемным эмулятором MPLAB REAL ICE™.

Так же доступны несколько отладочных средств:

- PIC32MZ Embedded Graphics with Stacked DRAM (DA) Starter Kit (DM320010).
- PIC32MZ Embedded Graphics with External DRAM (DA) Starter Kit (DM320008).

## **ДОСТУПНОСТЬ**

Новые контроллеры «PIC32MZ DA» доступны для заказов образцов и в массовых количествах. Контроллеры доступны в различных вариантах корпусов, включая 169 BGA, 176-LQFP и 288 BGA для поддержки внешней DDR2 памяти.

### **Общие параметры для всех контроллеров семейства PIC32MZ DA**

Boot Flash – 160 кБ	I <sup>2</sup> C – 5
Переназначаемая периферия:	GLCD - Да
• Переназначаемые I/O – 47	GPU - Да
• Таймера/Захват/Сравнение – 9/9/9	EBI - Да
• UART – 6	PMP - Да
• SPI/I2S – 6	SQI - Да
• CAN 2.0B – 2	SHDC - Да
• Внешние прерывания – 5	RTCC - Да
12p АЦП – 45	Ethernet – Да
Компаратор – 2	I/O выводов – 102
CTMU – Да	JTAG – Да
USB 2.0 HS OTG – Да	Trace - Да

**Таблица 2. PIC32MZ DA, корпуса 169-pin LFBGA**

Контроллер	Память программ, кБ	Память данных, кБ	DDR2 контроллер интерфейса	Встроенная DDR2, Мб	Крипто, RNG	DMA каналы (программируемых/выделенных)		
PIC32MZ1025DAA176	1024	256	Нет	Нет	-	8/24		
PIC32MZ1025DAB176					+	8/26		
PIC32MZ1064DAA176		640			-	8/24		
PIC32MZ1064DAB176					+	8/26		
PIC32MZ2025DAA176	2048	256			Да (встр.)	32	-	8/24
PIC32MZ2025DAB176							+	8/26
PIC32MZ2064DAA176		640					-	8/24
PIC32MZ2064DAB176							+	8/26
PIC32MZ1025DAG176	1024	256	Да (встр.)	32			-	8/24
PIC32MZ1025DAH176							+	8/26
PIC32MZ1064DAG176		640					-	8/24
PIC32MZ1064DAH176							+	8/26
PIC32MZ2025DAG176	2048	256			Да (встр.)	32	-	8/24
PIC32MZ2025DAH176							+	8/26
PIC32MZ2064DAG176		640					-	8/24
PIC32MZ2064DAH176							+	8/26

**Таблица 3. PIC32MZ DA, корпуса 176-pin LFBGA**

Контроллер	Память программ, кБ	Память данных, кБ	DDR2 контроллер интерфейса	Встроенная DDR2, Мб	Крипто, RNG	DMA каналы (программируемых/выделенных)		
PIC32MZ1025DAA176	1024	256	Нет	Нет	-	8/24		
PIC32MZ1025DAB176					+	8/26		
PIC32MZ1064DAA176		640			-	8/24		
PIC32MZ1064DAB176					+	8/26		
PIC32MZ2025DAA176	2048	256			Да (встр.)	32	-	8/24
PIC32MZ2025DAB176							+	8/26
PIC32MZ2064DAA176		640					-	8/24
PIC32MZ2064DAB176							+	8/26
PIC32MZ1025DAG176	1024	256	Да (встр.)	32			-	8/24
PIC32MZ1025DAH176							+	8/26
PIC32MZ1064DAG176		640					-	8/24
PIC32MZ1064DAH176							+	8/26
PIC32MZ2025DAG176	2048	256			Да (встр.)	32	-	8/24
PIC32MZ2025DAH176							+	8/26
PIC32MZ2064DAG176		640					-	8/24
PIC32MZ2064DAH176							+	8/26

**Таблица 4.** PIC32MZ DA, корпуса 288-pin LFBGA

Контроллер	Память программы, кБ	Память данных, кБ	DDR2 контроллер интерфейса	Крипто, RNG	DMA каналы (программируемых/выделенных)
PIC32MZ1025DAG288	1024	256	Да	-	8/24
PIC32MZ1025DAH288				+	8/26
PIC32MZ1064DAG288		640		-	8/24
PIC32MZ1064DAH288				+	8/26
PIC32MZ2025DAG288	2048	256		-	8/24
PIC32MZ2025DAH288				+	8/26
PIC32MZ2064DAG288		640		-	8/24
PIC32MZ2064DAH288				+	8/26

### ДЛЯ ЗАМЕТОК

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---