

# Применение модуля захвата, сравнения, ШИМ в контроллерах Microchip

В предыдущей части статьи были рассмотрены особенности применения модуля захвата, сравнения и ШИМ (Capture/Compare/PWM — CCP) компании Microchip Technology Inc. — ведущего производителя 8-разрядных микроконтроллеров. Мы продолжаем рассматривать возможные примеры использования модуля CCP в микроконтроллерах PICmicro в практических задачах.

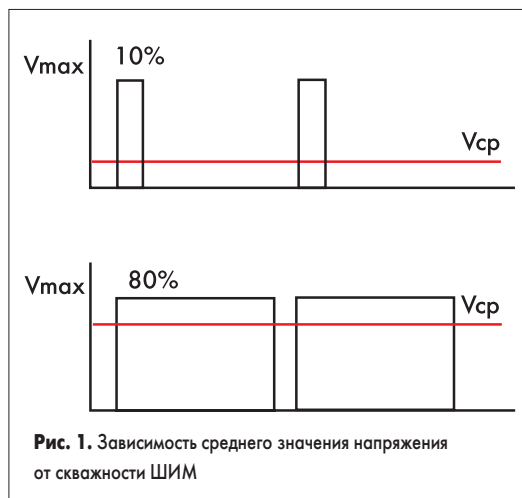
## Применение широтно-импульсной модуляции (ШИМ)

Широтно-импульсная модуляция, рассматриваемая в следующих примерах, используется в разных задачах — от формирования звукового сигнала и управления яркостью светодиодов до управления скоростью вращения электродвигателя. Все эти задачи основываются на базовом принципе ШИМ-сигнала — чем больше скважность импульсов, тем больше среднее значение напряжения (рис. 1). Зависимость среднего напряжения от величины скважности является линейной:

$$V_{CP} = \text{скважность} \times V_{\text{МАКС}}$$

Модуль CCP в микроконтроллерах Microchip может формировать ШИМ-сигнал с 10-разрядной точностью на выводе CCPx-микроконтроллера. Расширенный модуль ECCP может формировать ШИМ на одном из 4 выводов P1A... P1D в следующих режимах:

- одиночный выход (только на выводе P1A);
- управление полумостом (только на выводах P1A и P1B);



- управление мостом (возможность реверсирования двигателя).

В мостовом режиме управления доступны четыре варианта работы:

- P1A, P1C активный уровень «1»; P1B, P1D активный уровень «1»;
- P1A, P1C активный уровень «1»; P1B, P1D активный уровень «0»;
- P1A, P1C активный уровень «0»; P1B, P1D активный уровень «1»;
- P1A, P1C активный уровень «0»; P1B, P1D активный уровень «0».

### Пример #10. Выбор частоты ШИМ

Частота ШИМ зависит от различных факторов. При увеличении частоты увеличиваются потери на переключение, емкость и индуктивность нагрузки влияют на изменение формы сигнала. Поэтому в микроустройствах следует выбирать минимально возможную частоту ШИМ, а в схемах с емкостной или индуктивной нагрузкой выбирать частоту исходя из анализа схемы.

## Управление электродвигателями

ШИМ применяется для управления двигателями в импульсном режиме. По характеристикам двигателя необходимо подобрать значение частоты ШИМ, чтобы обеспечить оптимальные характеристики электропривода. При выборе задающей частоты важным критерием являются акустические шумы, создаваемые двигателем при работе. Коллекторные двигатели могут создавать звуковой шум на частотах от 20 Гц до 4 кГц. Для исключения этого нежелательного эффекта нужно выбирать частоту выше 4 кГц. На таких частотах акустического шума уже не будет, так как механические части имеют более низкие резонансные частоты.

## Светодиоды и устройства освещения

ШИМ часто используется для изменения яркости световых приборов. Эффект мерцания может быть замечен на частотах ниже 50 Гц, поэтому на практике частота ШИМ выбирается около 100 Гц или выше.

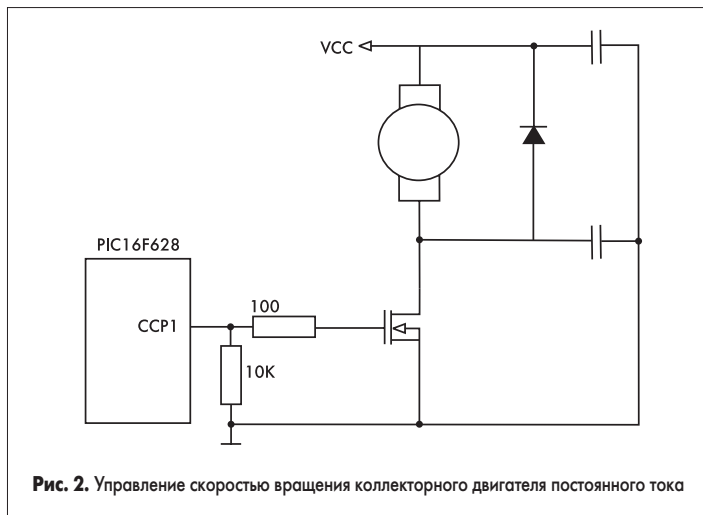


Рис. 2. Управление скоростью вращения коллекторного двигателя постоянного тока

### Пример #11. Управление коллекторным двигателем постоянного тока с использованием модуля CCP

Скорость вращения двигателя пропорциональна скважности ШИМ на выводе контроллера CCP1 (рис. 2). Рассмотрим, как нужно сконфигурировать микроконтроллер PIC16F628 для формирования ШИМ с частотой 20 кГц и 50-процентной скважностью. Тактовая частота контроллера 20 МГц.

1. Выбираем величину делителя Таймера 2:

$$F_{PWM} = F_{OSC} / ((PR2+1) \times 4 \times \text{делитель}) = 19531 \text{ Гц},$$

при PR2 = 255 и делитель = 1.

Полученная частота несколько ниже, чем 20 кГц, таким образом, величина делителя подходит.

2. Вычисляем величину регистра периода PR2:

$$PR2 = F_{OSC} / (F_{PWM} \times 4 \times \text{prescaler}) - 1 = 249$$

3. Вычисляем значение регистра скважности CCP1L и CCPCON<5:4>:

$$\begin{aligned} CCP1L:CCPCON<5:4> &= \\ &= \text{скважность} \times 0x3FF = 0x1FF \\ CCP1L &= 0x1FF \gg 2 = 0x7F, \\ CCPCON<5:4> &= 3 \end{aligned}$$

4. Конфигурируем модуль CCP в режим генерации ШИМ:

$$CCPCON = 'b001111000'.$$

### Пример #12. Реверсивное управление коллекторным двигателем постоянного тока с использованием модуля ECCP

Модуль ECCP имеет опции для управления коллекторными двигателями постоянного тока. На рис. 3 приведена схема подключения мостовой схемы управления двигателем. Выводы модуля ECCP P1A... P1D могут работать в режиме управления мостовой схемой и задавать скорость и направление вращения. Для примера, изображенного на рис. 3, модуль ECCP конфигурируется так: P1A, P1C активный уровень «1»; P1B, P1D активный уровень «1» (CCPCON<3:1>). Это сделано для того, чтобы MOSFET-драйверы (TC428) открывали выходные ключи. В таблице ука-

зана связь между режимами работы двигателя и выходами ШИМ.

Таблица

Режим	P1A	P1B	P1C	P1D	CCPCON
вперед	1	X	X	ШИМ	b01xx1100
назад	X	ШИМ	1	X	b11xx1100
инерция	X	X	X	X	не важно
торможение	X	1	1	X	не важно

### Пример #13. Управление шаговым двигателем в режиме микрошага

Шаговые двигатели занимают уникальную нишу среди всего многообразия применений двигателей. Шаговые двигатели используются в системах измерения (в качестве индикаторов параметров) и в системах управления позиционированием исполнительных механизмов. Часто возникает необходимость управлять шаговым двигателем в режиме микрошага. Применение микроконтроллера дает много преимуществ: возможность управлять скоростью движения вала, то есть варьировать ускорением и торможением, точно позиционировать объект управления. Микроконтроллер PIC16F648 идеально подходит для большинства таких задач управления шаговым двигателем. Этот дешевый 14-выводной контроллер имеет 2К слов Flash-памяти программ, восемь каналов 10-разрядного АЦП, два аналоговых компаратора и модуль ECCP. Таким образом, используя только периферию контроллера, можно управлять шаговым двигателем с помощью специализированного модуля ШИМ — ECCP и реализовать защиту по току с помощью встроенного компаратора.

Подробное описание алгоритма управления шаговым двигателем и пример программы опубликованы на сайте Microchip в документе AN906 «Stepper Motor Control Using the PIC16F684».

### Пример #14. Формирование аналогового сигнала

Выход ШИМ может применяться для цифро-аналогового преобразования с помощью нескольких внешних элементов. Преобразование ШИМ-сигнала в аналоговый осуществляется на основе фильтра ФНЧ (рис. 4). Для исключения появления в выходном сигнале нежелательных гармоник необходимо, чтобы частота модуляции ( $F_{PWM}$ ) была намного выше, чем частота выходного сигнала ( $F_{BW}$ ):

$$F_{PWM} = K \times F_{BW},$$

причем, чем больше значение K, тем меньше гармоник.

Для расчета фильтра применяется следующая формула:

$$RC = 1 / (2\pi F_{BW})$$

Выбрав значение емкости C, вычисляют значение резистора R. Подавление частоты ШИМ в выходном сигнале определяется выражением:

$$-10 \times \log[1 + (2\pi F_{PWM} RC)^2] \text{ (дБ)}$$

Если подавление недостаточное, то увеличивают коэффициент K, увеличивая тем самым частоту модуляции. Подробное описание примера реализации есть в документе AN538 «Using PWM to Generate Analog Output in PIC17C42» на сайте Microchip.

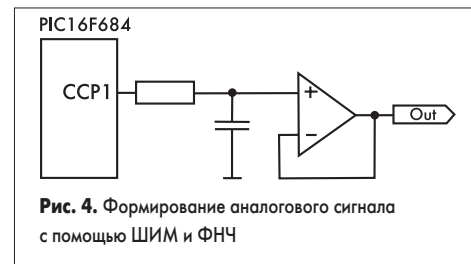


Рис. 4. Формирование аналогового сигнала с помощью ШИМ и ФНЧ

### Пример #15. Повышающий преобразователь напряжения

Широтно-импульсная модуляция используется в преобразователях напряжения, например в повышающих схемах (рис. 5). Работу схемы можно разделить на две фазы. В первой фазе, когда на выходе ШИМ активный уровень, происходит накопление энергии в катушке L1 путем подключения ее вывода на «землю» транзистором T1. Во второй фазе на выходе ШИМ нулевой уровень, который запирает транзистор. Ток из катушки течет через диод D1 на конденсатор накопления C2 и на нагрузку. При этом напряжение на нагрузке получается выше напряжения питания. Расчет необходимых характеристик схемы производится по формулам:

$$U_{вых} / U_{вх} = 1 / (1-D),$$

где D — скважность импульсов ШИМ.

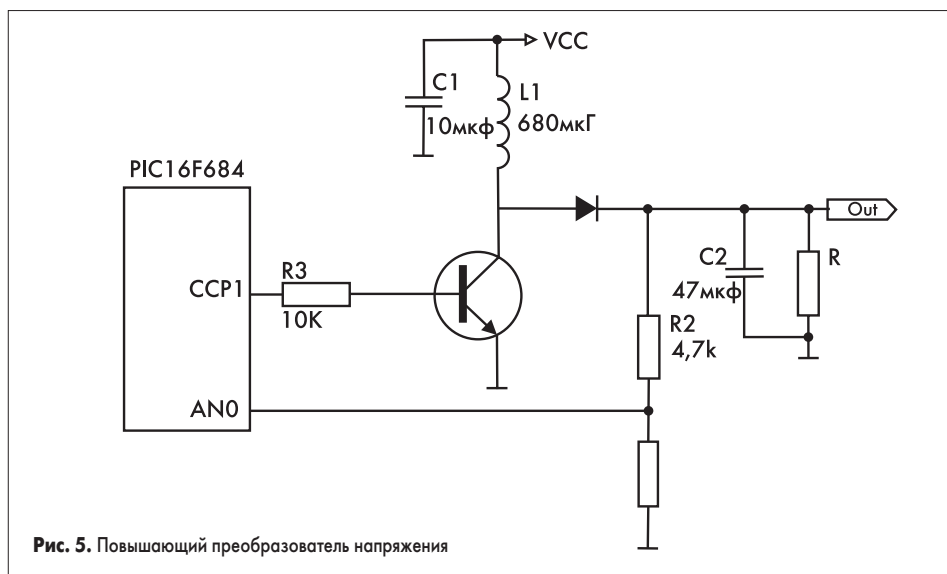


Рис. 5. Повышающий преобразователь напряжения

Выбор значения индуктивности производится на основе максимального выходного тока:

$$L = U_{\text{вх}}(1-D)DT/2I_{\text{вых}}$$

где  $T$  — период ШИМ.

При расчете максимальная скважность  $D$  принимается не более 75%, а частота ШИМ — 10...100 кГц. Также необходимо рассчитать пульсации тока:

$$I_{\text{пульс}} = U_{\text{вх}}DT/L$$

Если ток пульсаций превышает значение тока насыщения индуктивности, то необходимо выбрать более высокое значение индуктивности.

Скважность ШИМ вычисляется контроллером по закону ПИД, что позволяет поддерживать выходное напряжение при изменении нагрузки. Более подробно данный метод описан в примере AN258 «Low Cost USB Microcontroller Programmer» на сайте Microchip.

#### Пример #16. Управление яркостью светодиодов

Для изменения яркости светодиодов можно использовать ШИМ. Для этого на выход CCP подключается светодиод через резистор, ограничивающий максимальный ток. Изменяя скважность импульсов с помощью регистра CCPRxL в широких пределах (00...FF), можно менять яркость свечения. Необходимо отметить, что частота ШИМ должна быть не менее 100 Гц для устранения мерцания.

#### Пример #17. Протокол передачи данных X-10. Синтез несущей частоты

Для передачи информации по электросетям, например, передачи данных внутри квартиры по силовой проводке 220 В, часто используется протокол X-10. На основную частоту (50/60 Гц) накладывается модулированный сигнал более высокой частоты (120 кГц). Для получения такой частоты в контроллере можно применять модуль CCP в режиме ШИМ. На рис. 6 показана реализация передатчика.

В соответствии со спецификацией X-10 частота 120 кГц должна иметь отклонения не более 2 кГц. Получение точного значения частоты в модуле CCP обусловлено примене-

нием системного кварца частотой 7,68 МГц. Подключение несущей частоты осуществляется в момент перехода сетевого напряжения через ноль.

В примере AN236 «X-10 Home Automation Using the PIC16F877A» можно найти более детальное описание протокола и исходные коды программ.

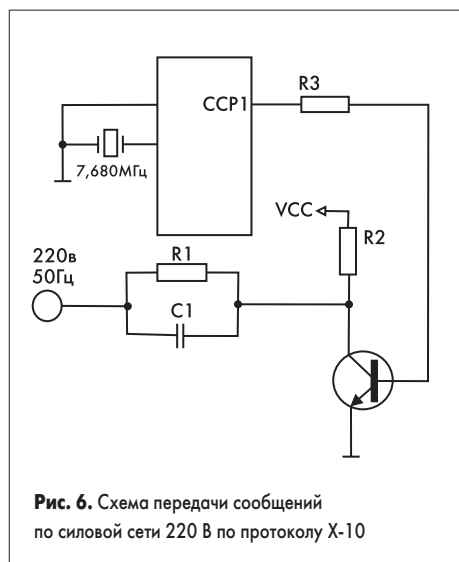


Рис. 6. Схема передачи сообщений по силовой сети 220 В по протоколу X-10

#### Совместное использование модулей захвата, сравнения, ШИМ

Модуль CCP (ECCP) в контроллерах Microchip может программироваться «на лету», за счет чего эти модули могут выполнять различные функции в одном и том же устройстве в зависимости от алгоритма работы. Рассмотрим возможность гибкого изменения функций на конкретных примерах.

#### Пример #18. Автоопределение скорости передачи RS-232

Интерфейс связи RS-232 имеет различные скорости передачи. Возможность устройства

определять скорость связи и автоматически настраивать приемник и передатчик требует наличие в программе устройства соответствующих процедур.

Во многих новых контроллерах Microchip существует аппаратный модуль EUSART с возможностью автоматического определения скорости приема данных и подстройки скорости передачи, возможностью работы в режиме SLEEP и другими функциями, необходимыми для реализации таких протоколов, как LIN.

В тех контроллерах, где нет аппаратного модуля USART, модуль CCP можно использовать в режиме захвата для автоматического определения скорости связи и затем перенастроить в режим сравнения для формирования или приема данных через RS-232. Для работы алгоритма автоопределения скорости необходим калибровочный байт, с которого начинается передача данных от одного устройства к другому. Один из возможных калибровочных символов изображен на рис. 7. Известные временные параметры калибровочного символа позволяют принимающему устройству определить и настроить скорость передачи интерфейса RS-232.

Алгоритм определения скорости передачи по калибровочному символу:

1. Настраиваем модуль CCP на захват по спаду (определение стартового бита).
2. Когда стартовый бит определен, сохраняем значение регистра CCPR1.
3. Настраиваем модуль CCP на захват по фронту (определение стопового бита).
4. Когда стоповый бит определен, сохраняем значение регистра CCPR1.
5. Определяем разность между значениями CCPR1, полученными в п. 4 и в п. 2. Это время 8 битовых интервалов.
6. Разность сдвигаем на три бита вправо для деления на 8. Полученное значение — время битового интервала.
7. Сдвигаем еще на один бит вправо. Получаем время половины битового интервала.

Примеры программ для организации приема и передачи информации по последовательному каналу, а также процедуры автоопределения скорости передачи есть в AN712 «RS-232 Autobaud for the PIC16C5X Devices».

#### Пример #19. АЦП двойного интегрирования

Модуль CCP позволяет построить АЦП двойного интегрирования на основе внешнего интегратора. На рис. 8 представлена схема такого устройства. Интегрирование входного сигнала  $U_{\text{вх}}$  осуществляется за фиксированный промежуток времени  $T_1$ . Затем на вход интегратора подается  $U_{\text{оп}}$  и измеряется время, за которое на выходе интегратора появится нулевой уровень. По временам  $T_1$  и  $T_2$ , а также по  $U_{\text{оп}}$  можно вычислить  $U_{\text{вх}}$ .



Рис. 7. Калибровочный символ для автоопределения скорости передачи RS-232

Для задания времени  $T1$  нужно использовать режим сравнения модуля CCP, а для определения  $T2$  — режим захвата. Кратко алгоритм можно представить так:

1. Настраиваем CCP на режим сравнения, используем триггер специального события.
2. Подключаем  $U_{вх}$  на вход интегратора.
3. Отсчитываем  $T1$ . Это время определяется параметрами интегратора.
4. По прерыванию от CCP подключаем на вход интегратора  $U_{оп}$  и задаем режим захвата модуля CCP по спаду.
5. По прерыванию от CCP фиксируем время  $T2$ .
6. Вычисляем величину  $U_{вх}$ .

$$U_{вх} = U_{оп} T2/T1$$

Благодаря большому разнообразию контроллеров Microchip и их программной и аппаратной совместимости все описанные примеры могут быть легко перенесены на тот

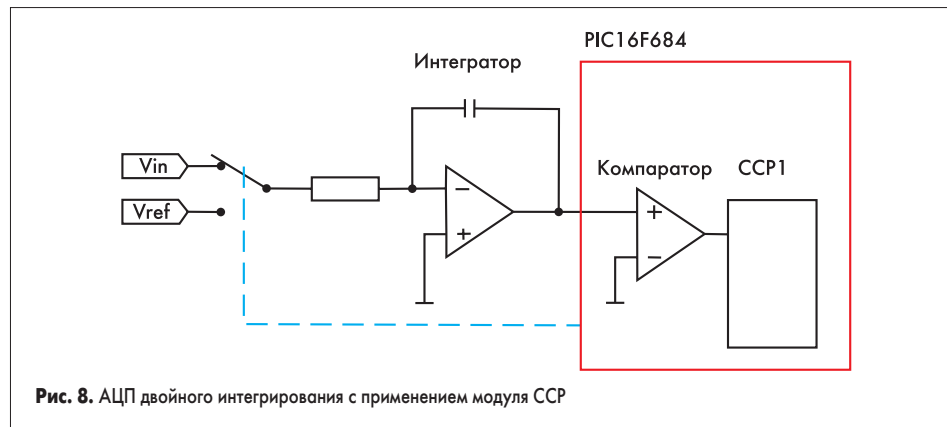


Рис. 8. АЦП двойного интегрирования с применением модуля CCP

или иной контроллер в зависимости от требований разрабатываемой системы. Компания Microchip постоянно расширяет номенклатуру контроллеров как в сторону уменьшения числа выводов и увеличения периферийных устройств, так и в сторону мощных

контроллеров с большим объемом памяти и с максимально возможной периферией. Подробности о новейших микроконтроллерах, а также новые примеры использования можно найти на сайте компании Microchip Technology [www.microchip.com](http://www.microchip.com).