

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Д.А. Пестунов, В.В. Яковлев

Реализация ШИМ на PIC-контроллерах

Методические рекомендации к выполнению лабораторной работы
по курсу «Основы микропроцессорной техники» для студентов IV курса,
обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и нанoeлектроника» и
201000 «Биотехнические системы и технологии»

Издательство
Томского политехнического университета
2010

УДК 681.325.5-181.48(076.5)

ББК 32.973.26-04я73

П278

Пестунов Д.А.

П278 Реализация ШИМ на PIC-контроллерах: методические рекомендации к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Основы микропроцессорной техники» для студентов, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии» / Пестунов Д.А., Яковлев В.В. – Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 16 с.

УДК 681.325.5-181.48(076.5)

ББК 32.973.26-04я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
Промышленной и медицинской электроники ИНК
«25» ноября 2010 г.

Рецензент

Кандидат технических наук,
Заведующий лабораторией «Микропроцессорной техники»
Пономарев С.В.

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет», 2010

© Пестунов Д.А., Яковлев В.В., 2010

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2010

Реализация ШИМ на PIC-контроллерах

1. Цель работы

Изучение основ работы модуля CCP (Capture, Compare, Modulation – Захват, Сравнение, Модуляция) в режиме ШИМ (Широтно-импульсная модуляция) в микроконтроллерах серии PIC16 и составлении программ. Получение практических навыков по работе с инструментально отладочными средствами отладки микропроцессорных систем.

2. Введение

ШИМ (широтно-импульсная модуляция) представляет собой импульсный сигнал постоянной частоты и переменной скважности, т.е. отношения длительности импульса к периоду его следования. С помощью задания скважности можно менять среднее напряжение на выходе ШИМ, а постоянно меняя скважность – формировать сигнал любой формы, например синусоиду, как показано на рис. 1.

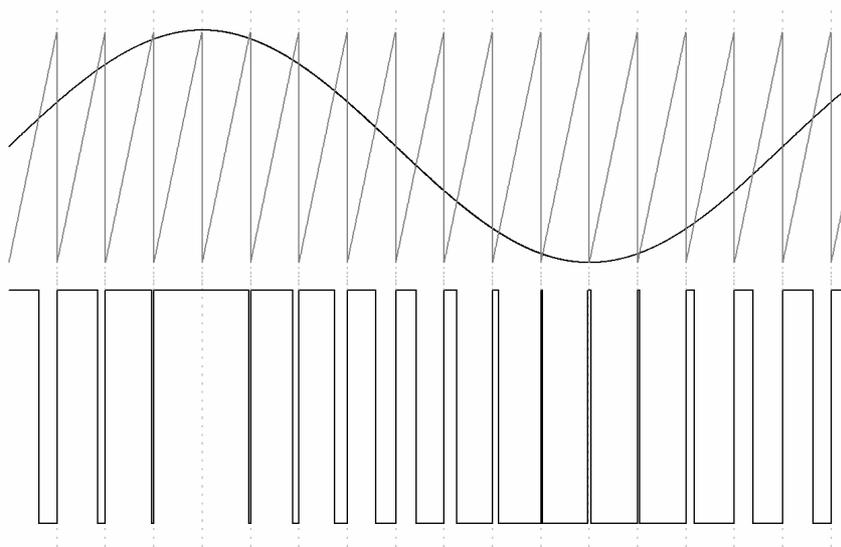


Рис. 1. Широтно-модулированный сигнал можно получить, сравнивая сигнал требуемой формы с «пилой».

Основное достоинство импульсных регуляторов и стабилизаторов напряжения с ШИМ – высокий КПД работы, который достигается за счет работы силовых преобразователей в ключевом режиме. В данном случае силовой преобразователь (обычно в роли преобразователя выступает транзистор) работает не в режиме сопротивления, а в режиме ключей, т.е. транзистор либо полностью закрыт, при этом ток через него практически не течет, либо открыт так, что сопротивление его канала минимальное, и, соответственно, минимальное падение напряжения. В обоих случаях выделяемая на ключе мощность значительно меньше мощности, передаваемой в нагрузку. Однако чтобы на нагрузку подавалось среднее

напряжение, импульсный сигнал сглаживается LC-фильтром (рис. 2), который рассчитывается с учетом частоты работы ШИМ, а также зависит от характера нагрузки.

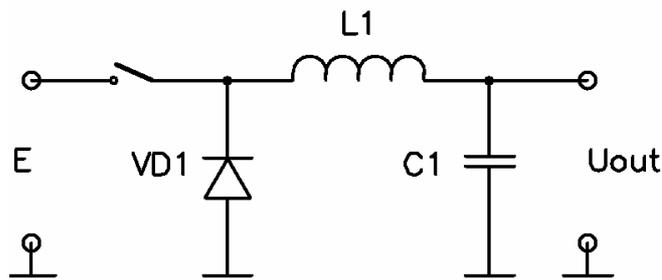


Рис. 2. Схема силовой части понижающего преобразователя постоянного напряжения

Теперь остается сформировать управляющий сигнал для ключевых элементов. В большинстве устройств на долю ШИМ контроллера приходится не просто формирование последовательности импульсов определенной частоты, но и регулировка их скважности для поддержания определенного уровня выходного напряжения U_{out} (рис. 2) в зависимости от изменения входного напряжения E и нагрузки.

TL494 – один из самых популярных ШИМ контроллеров, однако возможности его весьма ограничены. Для построения многофункциональных источников питания или устройств, содержащих в себе импульсные преобразователи, обычно используют микроконтроллеры, в большинство из которых встроен модуль, реализующий ШИМ.

3. Модуль ССР в PIC контроллерах

Функцию широтно-импульсной модуляции в PIC-контроллерах легко реализовать, используя модуль ССР (Capture/Compare/PWM – Захват/Сравнение/ШИМ). В контроллерах серии PIC16F87x имеется два модуля ССР: ССР1 и ССР2, которые используют выходы порта PORTC: RC2/ССР1 и RC1/ССР2. Каждый модуль имеет в своем распоряжении по два 8-ми разрядных регистра ССР1L(0x15)¹ и ССР1H(0x16) для модуля ССР1 и ССР2L(0x1b) и ССР2H(0x1c) для модуля ССР2, которые могут использоваться в качестве:

- 16-разрядного регистра захвата данных;
- 16-разрядного регистра сравнения;
- двух 8-разрядных регистров ШИМ.

¹ в скобках указаны адреса регистров в памяти данных. 0x15 – такая форма записи числа воспринимается компилятором MPLAB как шестнадцатиразрядное, то же самое, что и 15h

В регистрах SSP1CON(0x17) и SSP2CON(0x1D) находятся биты управления текущим режимом работы модулей SSP1 и SSP2, соответственно, а также два младших бита, задающих длительность импульса для режима ШИМ (см. табл. 1).

Таблица 1

Регистр SSPxCON (адреса 0x17/0x1D)								
U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	
-	-	SSPxX	SSPxY	SSPxM3	SSPxM2	SSPxM1	SSPxM0	
Бит 7								Бит 0

Обозначения: R – читаемый разряд; W – записываемый разряд; U - физически бит не существует, при обращении читается как 0; при включении контроллера или после его сброса все биты регистра сброшены в 0.

Назначение битов регистра состояния:

Биты 7-8: **Не используются** – читаются как «0»

Биты 5-4: **SSPxX:SSPxY** – младшие биты скважности ШИМ, восемь старших находится в регистре **SSPxL**.

Биты 3-0: **SSPxM3:SSPxM0** – Режим работы модуля SSPx

0000 = модуль SSPx выключен (сброс модуля SSPx)

0100 = захват по каждому заднему фронту сигнала

0101 = захват по каждому переднему фронту сигнала

0110 = захват по каждому 4-му переднему фронту сигнала

0111 = захват по каждому 16-му переднему фронту сигнала

1000 = сравнение, устанавливает выходной сигнал (устанавливается флаг SSPxIF в «1»)

1001 = сравнение, сбрасывает выходной сигнал (устанавливается флаг SSPxIF в «1»)

1010 = сравнение, на выходной сигнал не влияет (устанавливается флаг SSPxIF в «1»)

1011 = сравнение, триггер специальных функций (устанавливается флаг SSPxIF в «1», на вывод SSPx не влияет). SSP1 – сброс таймера TMR1. SSP2 – сброс таймера TMR1, запуск преобразования АЦП (если АЦП включено).

11xx = ШИМ режим.

В режим ШИМ оба модуля используют ресурсы таймера TMR2, при этом в случае одновременной работы, оба ШИМ будут иметь одинаковые частоту и фазу. Работа модулей SSP1 и SSP2 идентична, за исключением функционирования, так называемого триггера специального события (дополнительную информацию по работе модулей SSP PIC16F87x смотрите в технической документации DS30292C Microchip Technology Incorporated,

USA). В ШИМ режиме модуль CCP1 использует вывод RC2/CCP1 в качестве выхода генерации ШИМ, а модуль CCP2 – RC1/CCP2. Далее будет описана работа модуля CCP1 в режиме ШИМ, модуль CCP2 работает аналогично.

Вывод RC2 нужно настроить на выход сбросом соответствующего бита в регистре направления TRISC.

На рис. 3 показана функциональная схема модуля CCP1 в режиме ШИМ.

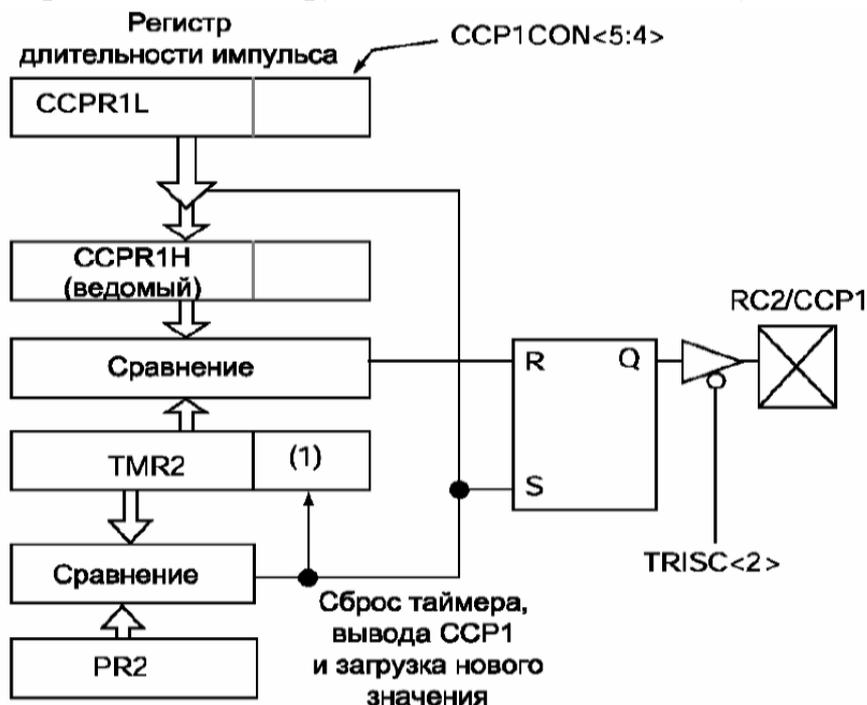


Рис. 3. Структурная схема модуля CCP1 в режиме ШИМ.

На рис. 4 показана временная диаграмма одного цикла ШИМ. Период ШИМ определяется настройками таймера TMR2 и содержимым регистра PR2 и может быть вычислен по формуле

$$\text{Период ШИМ} = [(PR2)+1]*4 T_{osc} * \text{коэффициент делителя TMR2.}$$

$$\text{Частота ШИМ} = 1/\text{период ШИМ.}$$

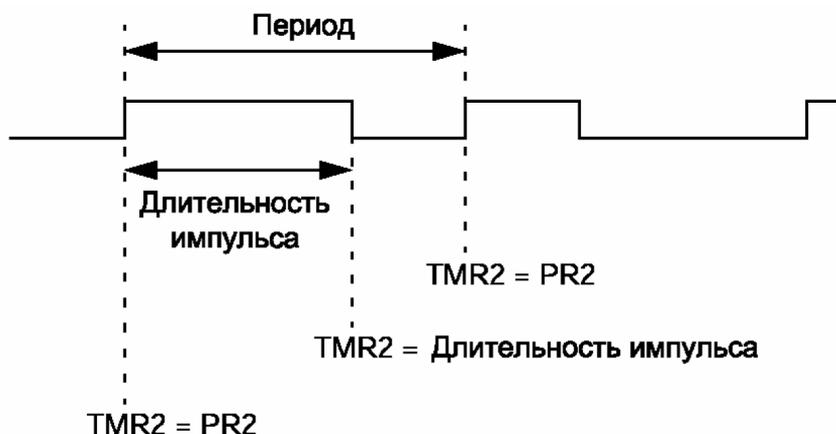


Рис. 4. Временная диаграмма одного цикла ШИМ

Когда TMR2 сравнивается с PR2, выполняются следующие действия:

- TMR2 сбрасывается в '0';
- Устанавливается высокий уровень сигнала на выходе CCP1 (если длительность импульса нулевая, то высокий уровень устанавливаться не будет);
- Модуль ШИМ начинает новый цикл, загружая значение из регистра CCP1L в CCP1H.

Примечание! Выходной делитель TMR2 не влияет на частоту ШИМ. Он может использоваться для отсчета времени, когда необходимо изменить скважность ШИМ.

Скважность ШИМ определяется значениями регистра CCP1L и двух битов CCP1CON<5:4>, причем старшие 8 бит сохраняются в CCP1L. Для вычисления длительности сигнала высокого уровня применяется формула:

Длительность импульса ШИМ = (CCP1L:CCP1CON<5:4>) * 4T_{OSC} * коэффициент делителя TMR2.

Значение CCP1L:CCP1CON<5:4> может быть изменено в любое время, но значение в регистре CCP1H не изменится пока не произойдет соответствие TMR2 и PR2. Регистр CCP1H и внутренняя 2-разрядная защелка образуют буфер ШИМ, который необходим при записи нового значения длительности импульса ШИМ, поэтому в этом режиме регистр CCP1H программно не доступен для записи.

Когда значение CCP1 и внутренней 2-разрядной защелки совпадет по значению TMR2 и внутреннему 2-разрядному счетчику, вывод RC2/CCP1 будет сброшен в '0'.

Примечание! Если длительность импульса ШИМ больше периода ШИМ, вывод CCP1 не будет иметь низкий уровень сигнала.

Рекомендуемая последовательность настройки модуля CCP в ШИМ режиме:

1. Установить период ШИМ в регистре PR2;
2. Установить длительность импульса в регистрах CCP1L и CCP1CON<5:4>;
3. Настроить вывод CCP1 как выход, сбросив бит TRISC<2>;
4. Настроить делитель и включить TMR2 в регистре T2CON;
5. Включить CCP1 в режиме ШИМ.

В таблице 2 приведен регистр управления таймером 2.

Таблица 2

Регистр **T2CON**: регистр управления таймера 2 (адрес 0x12)

U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
-	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0
Бит 7							Бит 0

Обозначения: R – читаемый разряд; W – записываемый разряд; U - физически бит не существует, при обращении читается как 0; при включении контроллера или после его сброса все биты регистра сброшены в 0.

Назначение битов регистра T2CON приведено ниже.

Биты 6-3: **TOUTPS3:TOUTPS0** – коэффициент деления постделителя

0000 = 1:1

0001 = 1:2

0010 = 1:3

.....

1111 = 1:16

Бит 2: **TMR2ON** – управление таймером 2

1 = таймер2 включен

0 = таймер2 выключен

Биты 1-0: **T2CKPS1:T2CKPS0** – коэффициент деления предделителя

00 = 1:1

01 = 1:4

1x = 1:16

4. Оборудование

- Компьютер IBM PC/AT с установленным ПО MPLAB IDE.
- Программатор-отладчик MPLAB ICD-I.
- Демонстрационная плата MPLAB-ICD с установленным микроконтроллером PIC16F877.
- Источник питания 9В, 0.2 А.

5. Пример использования модуля CCP

```
LIST P=16f877, R=DEC
ERRORLEVEL 0, -302
INCLUDE <p16f877.inc>
```

```
STACK_W EQU 0x71
```

```
STACK_STATUS EQU 0x72
```

*; Директивой EQU можно присвоить любой ячейке памяти
; данных уникальное имя (ячейку с адресом 0x71
; назвали STACK_W)*

*; А почему здесь не использовать ячейку с адресом
; 0x70, 0x20 или 0x21? Какой еще директивой можно
; присвоить имя?*

```
        ORG      0x0
        NOP
MY_RESET CLRF   INTCON
        GOTO    BEGIN
        ORG      0x4
```

*; Директива ORG указывает компилятору на адрес в па-
; мяти, с которого будет располагаться программа, на-
; писанная под ней.*

*; В данном случае с адреса 4! Вам он о чем-нибудь
; говорит?*

```
        MOVWF   STACK_W
        MOVF    STATUS, W
        MOVWF   STACK_STATUS
        BCF     STATUS, RP0
        BCF     STATUS, RP1
```

*; Сохранили содержимое аккумулятора и регистра STATUS
; в памяти данных - т.е. как бы создали свой
; искусственный стек*

```
        ;      ...      ...
        ;      ...      ...
        ;      ...      ...
```

*; здесь Вы можете поместить подпрограмму обработки
; прерываний*

```
INT_RETURN MOVF   STACK_STATUS, W
          MOVWF   STATUS
          MOVF    STACK_W, W
          RETFIE
```

*; После вытаскиваем из стека STATUS и аккумулятор и
; возвращаемся в основную программу*

```
BEGIN
```

*; В начале любой программы производим инициализацию
; периферии: портов и модулей контроллера*

```
        BANKSEL   TRISB           ;BANK1
```

; BANKSEL - это директива выбора банка, в котором

*;находится приведенный регистр. А как переключиться
;между банками иначе? Все ли здесь правильно?*

```
MOVLW 0xFF  
MOVWF PR2  
CLRF TRISC  
CLRF ADCON1
```

;Порт C настроили на вывод. А как настроили АЦП?

```
BCF STATUS,RP0 ;BANK0  
CLRF CCPR1L  
BCF CCP1CON,5  
BCF CCP1CON,4  
MOVLW B'00000100'  
MOVWF T2CON  
MOVLW B'00001111'  
MOVWF CCP1CON
```

*;Настроили модули таймера TMR2 и CCP1. Как настроили
;- см. справочник*

```
MOVLW B'10010001'  
MOVWF ADCON0
```

;Еще поработали с модулем АЦП.

;Может необходимо еще что-нибудь настроить?

;_____BASIC_PROGRAM_LOOP_____

;Когда все настроено, можно с ними работать.

;Попробуйте разобраться, что делают эти 6 строчек

;программы:)

BASIC_PROGRAM_LOOP

```
BSF ADCON0,GO  
WAIT_ADC BTFSC ADCON0,GO  
GOTO WAIT_ADC  
MOVF ADRESH,W  
MOVWF CCPR1L  
GOTO BASIC_PROGRAM_LOOP
```

*;Попробуйте написать программу, которая выполняет
;эту задачу, не используя ресурсы модуля CCP*

```
END
```

6. Варианты заданий

1. При сбросе контроллера яркость светодиода HL1 (см. схему прил. 3) плавно нарастает.
2. По нажатию кнопки 'RB0' яркость светодиода HL2 плавно нарастает, а при отпускании гаснет, но в 2 раза быстрее.
3. Свечение светодиода HL2 плавно меняется от максимальной до минимальной яркости и наоборот. По нажатию кнопки 'RB0' яркость диода фиксируется.
4. По нажатию кнопки 'RB0' яркость светодиод HL1 плавно нарастает, а яркость светодиода HL2 спадает.
5. Яркость светодиода HL2 меняется в зависимости от положения движка переменного резистора.
6. Яркость светодиодов HL1 и HL2 меняются в зависимости от положения движка переменного резистора, причем обратно пропорционально друг другу.
7. По нажатию кнопки 'RB0' яркость светодиода HL1 устанавливается согласно входному напряжению на входе RA0/AN0, а при отпускании гаснет.
8. По нажатию кнопки 'RB0' яркости светодиодов HL1 и HL2 плавно достигают значения соответствующего входному напряжению на входе RA0/AN0, причем светодиод HL1 с уровня минимальной яркости, HL2 – максимальной.

7. Контрольные вопросы

1. Какой период ШИМ задан программой, показанной в примере?
2. Чем определяется период ШИМ?
3. Какой минимальный коэффициент заполнения ШИМ обеспечивает модуль ССР контроллера?
4. Чем определяется длительность импульса?
5. Возможна ли работа с модулем ССР по прерываниям?
6. Возможна ли работа обоих модулей ССР1 и ССР2 в режиме ШИМ?
7. Какую минимальную скважность ШИМ (>1) обеспечивает модуль ССР контроллера?
8. С какими регистрами работают модули ССР1 и ССР2?
9. Какими могут быть периоды ШИМ, если $F_{OSC}=5\text{МГц}$?

Приложение 1

Карта памяти данных контроллера PIC16F877

Банк 0		Банк 1		Банк 2		Банк 3	
Регистр	Адрес	Регистр	Адрес	Регистр	Адрес	Регистр	Адрес
INDF	00h	INDF	80h	INDF	100h	INDF	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h	-	105h	-	185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h	-	107h	-	187h
PORTD	08h	TRISD	88h	-	108h	-	188h
PORTE	09h	TIRSE	89h	-	109h	-	189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	-	18Eh
TMR1H	0Fh	-	8Fh	EEADRH	10Fh	-	18Fh
T1CON	10h	-	90h	Регистры общего назначения (16 байт)	110h	Регистры общего назначения (16 байт)	190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h				
T2CON	12h	PR2	92h				
SSBUF	13h	SSPADD	93h				
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h				
CCPR1L	15h	-	95h				
CCPR1H	16h	-	96h				
CCP1CON	17h	-	97h				
RCSTA	18h	TXSTA	98h				
TXREG	19h	SPBRG	99h				
RCREG	1Ah	-	9Ah				
CCPR2L	1Bh	-	9Bh				
CCPR2H	1Ch	-	9Ch				
CCP2CON	1Dh	-	9Dh				
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh				
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh				
Регистры общего назначения (96 байт)	20h	Регистры общего назначения (80 байт)	0A0h	Регистры общего назначения (80 байт)	0A0h	Регистры общего назначения (80 байт)	0A0h
			0EFh				16Fh
			Обращение к регистрам 70h- 7Fh банка 0	0F0h	Обращение к регистрам 70h- 7Fh банка 0	170h	Обращение к регистрам 70h- 7Fh банка 0
	7Fh		0FFh		17Fh		1FFh

Система команд PIC16F877

№	Мнемокод	Описание	Изм. флаги	Цикл	Прим.
1.	ADDWF f,d	Сложение W с f	C, DC, Z	1	1,2
2.	ANDWF f,d	Логическое И W и f		1	1,2
3.	CLRF f	Сброс регистра f	Z	1	2
4.	CLRW	Сброс регистра W	Z	1	
5.	COMF f,d	Инверсия регистра f	Z	1	1,2
6.	DECF f,d	Декремент регистра f	Z	1	1,2
7.	DECFSZ f,d	Декремент f и пропуск следующей команды, если результат декремента равен 0	—	1(2)	1,2,3
8.	INCF f,d	Инкремент регистра f	Z	1	1,2
9.	INCFSZ f,d	Инкремент f и пропуск следующей команды, если результат декремента равен 0	—	1(2)	1,2,3
10.	IORWF f,d	Логическое ИЛИ W и f	Z	1	1,2
11.	MOVF f,d	Пересылка регистра f	Z	1	1,2
12.	MOVWF f	Пересылка W в f		1	
13.	NOP	Холостая команда	—	1	
14.	RLF f,d	Сдвиг f влево через перенос	C	1	1,2
15.	RRF f,d	Сдвиг f вправо через перенос	C	1	1,2
16.	SUBWF f,d	Вычитание W из f	C, DC, Z	1	1,2
17.	SWAPF f,d	Обмен местами тетрад в f	—	1	1,2
18.	XORWF f,d	Исключающее ИЛИ W и f	Z	1	1,2
19.	BCF f,b	Сброс бита b в регистре f	—	1	1,2
20.	BSF f,b	Установка бита b в регистре f	—	1	1,2
21.	BTFSC f,b	Пропустить следующую команду, если бит b, в регистре f равен нулю	—	1(2)	3
22.	BTFSS f,b	Пропустить следующую команду, если бит b, в регистре f равен единице	—	1(2)	3
23.	ADDLW k	Сложение константы с W.	C, DC,Z	1	
24.	ANDLW k	Логическое И константы и W	Z	1	
25.	CALL k	Вызов подпрограммы	—	2	
26.	CLRWDT	Сброс сторожевого таймера (WDT)	TO,PD	1	
27.	GOTO k	Переход по адресу k	—	2	
28.	IORLW k	Логическое ИЛИ константы и W	Z	1	
29.	MOVLW k	Пересылка константы в W	—	1	
30.	RETFIE	Возврат из прерывания.	—	2	
31.	RETLW k	Возврат из подпрограммы с загрузкой константы в W	—	2	
32.	RETURN	Возврат из подпрограммы.	—	2	
33.	SLEEP	Переход в режим SLEEP	TO,PD	1	
34.	SUBLW k	Вычитание W из константы.	C, DC,Z	1	
35.	XORLW k	Исключающее ИЛИ константы и W	Z	1	

Описание полей кода операции

Символ	Описание
f	Адрес регистра (0x00-0x7F) – файл
W	Рабочий регистр
b	Номер бита в 8-ми разрядном регистре
k	Константа
d	Регистр назначения: d=0 - результат в регистре W d=1 - результат в регистре f По умолчанию d=1

Примечания:

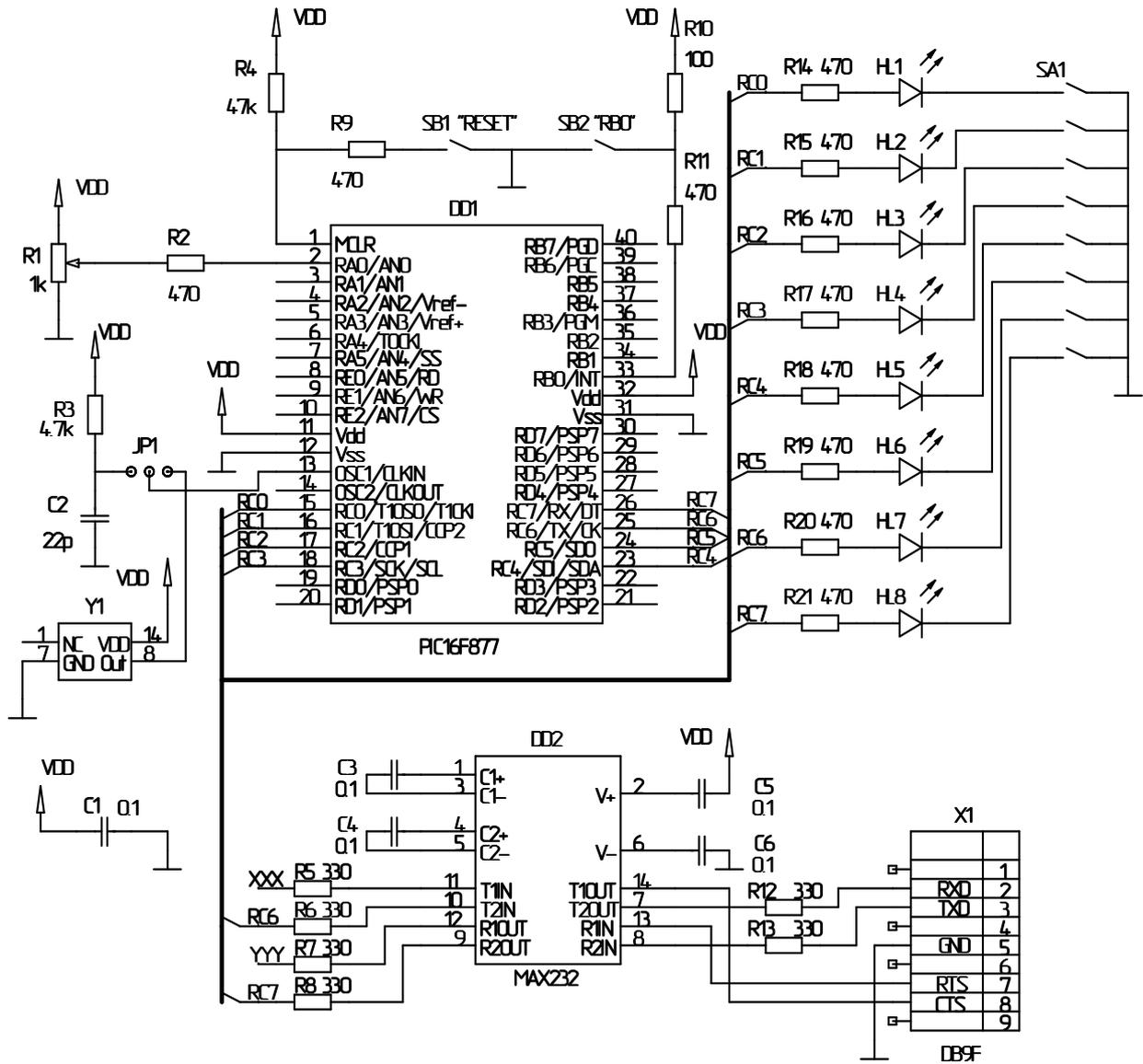
1. Когда модифицируется регистр порта ввода/вывода, (например MOVF PORTB,1), значение считывается непосредственно с ножек микросхемы. Например, если в регистре порта «1», а контакты конфигурированы как входы и внешнее устройство установит низкий уровень, то в регистр данных будут записаны «0».

2. Если команда выполняется над регистром TMR0 (когда d=1, результат записывается в регистр таймера 0), то предделитель, будет обнулен.

3. Если счетчик программ (PC) изменяется или результат проверки условия истинен, то команда выполняется за два цикла. Во втором цикле выполняется команда NOP.

Приложение 3

Фрагменты принципиальной схемы демонстрационной платы



Учебное издание

Пестунов Дмитрий Александрович
Яковлев Владислав Викторович

Реализация ШИМ на PIC-контроллерах

Методические рекомендации к выполнению лабораторной работы по курсу «Основы микропроцессорной техники» для студентов IV курса, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии»

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 25.11.2010. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,84.
Заказ . Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru