

Московский технический университет связи и информатики

Лабораторная работа № 4

**Применение модулей ШИМ и АЦП микроконтроллеров
класса C167 ф. Infineon technologies для формирования и
измерения аналоговых сигналов**

Москва 1999

Лабораторная работа № 4
Применение модулей ШИМ и АЦП микроконтроллеров
класса C167 ф. Infineon technologies для формирования и
измерения аналоговых сигналов

Составитель А. Е. Мамонов

1

Цель работы

Целью данной лабораторной работы является изучение архитектуры модулей ШИМ и АЦП МК С167, а также получение практических навыков в использовании аппаратных средств и программировании указанных модулей в системах связи и управления.

2

Особенности архитектуры модулей ШИМ и АЦП

2.1

Модуль широтно-импульсной модуляции (ШИМ)

Модуль широтно-импульсной модуляции (ШИМ) МК С167 обеспечивает одновременное формирование до 4 независимых сигналов ШИМ. При тактовой частоте центрального процессорного устройства (ЦПУ), равной 20 МГц, частота этих сигналов может изменяться от 4,8 Гц до 10 МГц в режиме модуляции фронта импульса и от 2,4 Гц до 5 МГц в режиме центрированной модуляции.

Модуль ШИМ состоит из 4 независимых каналов. В каждом канале имеется 16-разрядный реверсивный счетчик РТх (здесь и ниже символ х обозначает номер канала ШИМ или АЦП), 16-разрядный регистр периода РРх с теневым регистром-защелкой, 16-разрядный регистр ширины импульса РWх с теневым регистром-защелкой, два компаратора и необходимые управляющие логические схемы. Структурная схема канала приведена на рис. 1.

Работа всех четырех каналов управляется двумя общими для всех каналов регистрами управления PWMCON0 и PWMCON1. Управление прерываниями производится с помощью регистра управления прерываниями PWMIC, который также является общим для всех каналов.

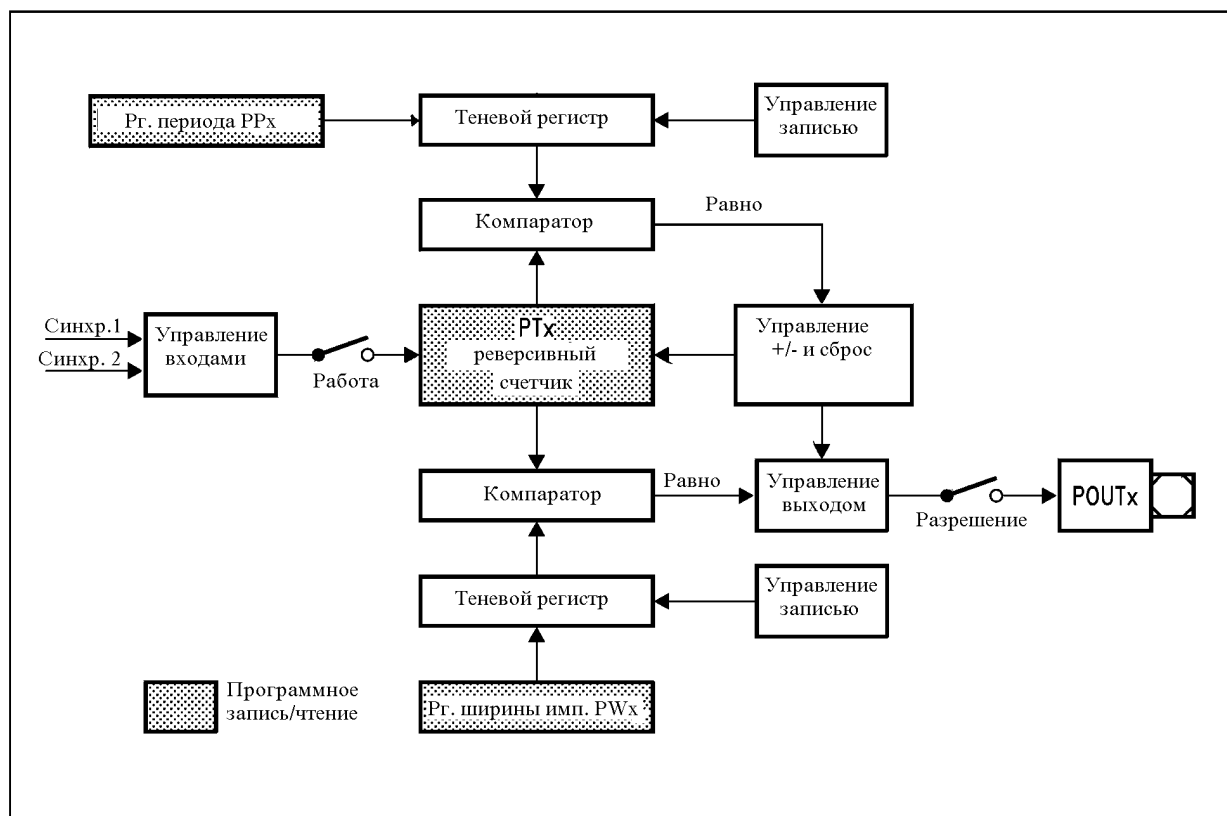


Рис. 1 Структурная схема канала модуля ШИМ

2.1.1 Режимы работы

Модуль ШИМ обеспечивает четыре различных режима работы:
стандартное (классическое) формирование сигнала ШИМ (модуляция фронта импульса), возможное для всех четырех каналов;
симметричное формирование сигнала ШИМ (центрированная ШИМ), возможное для всех четырех каналов;
формирование пачки импульсов, объединяющее каналы 0 и 1;
режим одновибратора, доступный для каналов 2 и 3.

Примечание: Выходные сигналы модуля ШИМ суммируются по модулю 2 с выходными сигналами соответствующих регистров-защелок порта P7. При сбросе МК эти регистры-защелки обнуляются, так что сигналы ШИМ непосредственно поступают на контакты МК. Установка соответствующего регистра-защелки порта в '1' ведет к инвертированию сигнала ШИМ до его поступления на контакт МК. Последующее описание предполагает стандартный вариант работы модуля после сброса МК (неинвертированный сигнал ШИМ).

Рассмотрим подробно режим 0, имеющий наибольшее применение на практике. Желющие могут подробно ознакомиться с режимами 1...3 в [1].

Режим 0 устанавливается сбросом соответствующего бита PMx в регистре PWMCON1 в '0'. В этом режиме счетчик-таймер РТх соответствующего канала ШИМ всегда инкрементируется, пока не достигнет значения, записанного в соответствующий теневой регистр-защелку периода. Следующим счетным импульсом счетчик сбрасывается в состояние 0000H (символ H означает шестнадцатеричное представление слова) и начинает вновь инкрементироваться последующими импульсами.

Выходной сигнал ШИМ переключается в '1', когда содержимое счетчика больше или равно содержимому теневого регистра-защелки ширины импульса. Сигнал переключится обратно в '0', когда соответствующий счетчик возвратится в состояние 0000H, то есть его содержимое будет меньше содержимому теневого регистра-защелки ширины импульса. Период формируемого сигнала ШИМ определяется значением соответствующего теневого регистра-защелки PPx плюс 1, считая в единицах частотного разрешения таймера:

$$PWM_PERIOD_{MODE0} = [PPx] + 1.$$

Скважность выходного сигнала ШИМ управляется значением, записанным в соответствующий теневой регистр-защелку ширины импульса. Этот механизм позволяет устанавливать скважность от 0 % до 100 % (от 0 до 1 в безразмерных величинах), включая обе границы. Для значения 0000H выход будет находиться в состоянии '1', что соответствует скважности 100 %. Для значений, превосходящих значение, записанное в регистр периода, выходной сигнал останется в состоянии '0', которое соответствует скважности 0 %.

Рис. 2, представленный ниже, иллюстрирует работу модуля и формы выходных сигналов канала ШИМ в режиме 0 для различные значений, записанных в регистр ширины импульса. Этот режим характеризуется как режим модуляции фронта импульса потому, что содержимое теневого регистра ширины импульса воздействует только на положение фронта выходного сигнала.

Положение среза импульса выходного сигнала всегда фиксировано и определяется моментом обнуления таймера-счетчика.

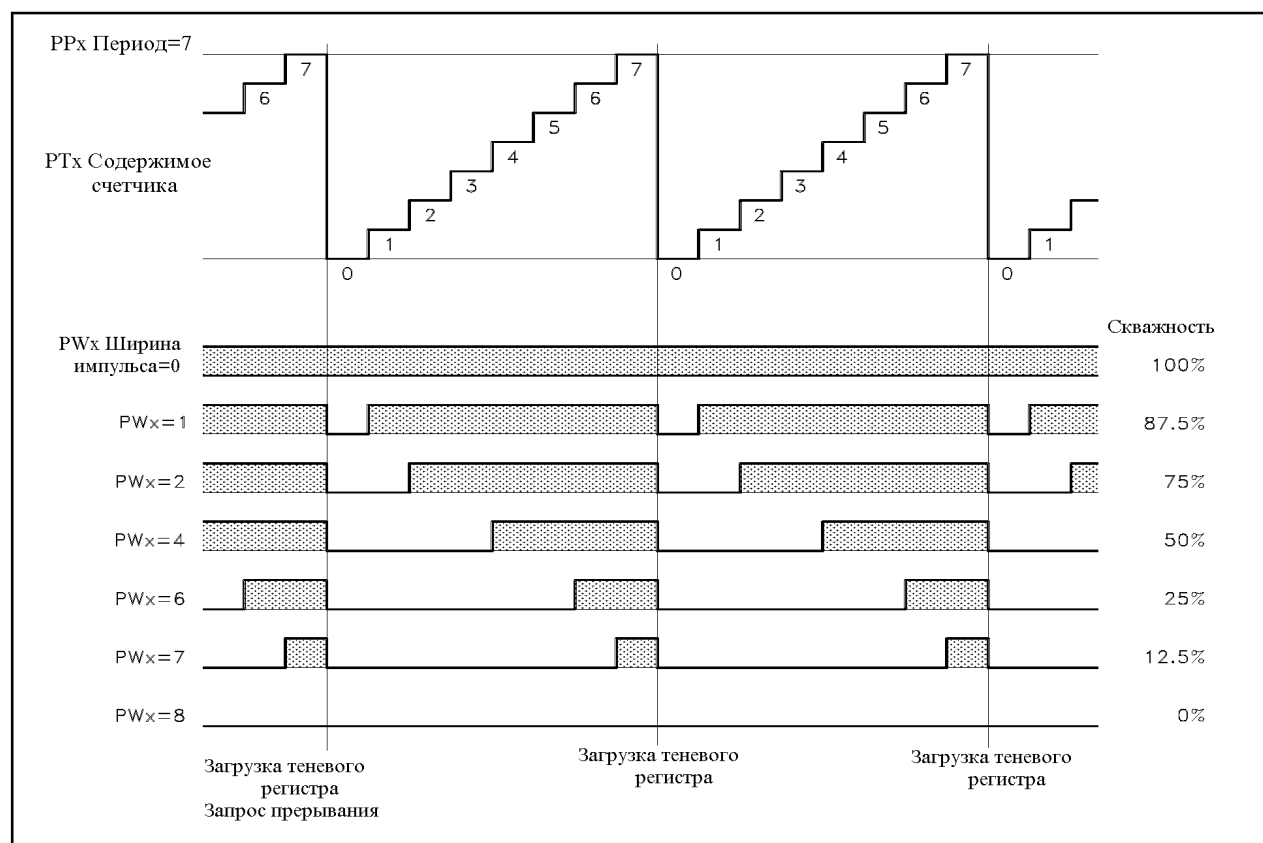


Рис. 2 Принципы функционирования и формы выходных сигналов в режиме 0

2.1.2 Программная модель модуля ШИМ

Модуль ШИМ управляется с помощью двух наборов регистров. Формы выходных сигналов определяются индивидуальными для каждого канала регистрами РТх (счетчик-таймер), РРх (период) и РWх (ширина импульса). Три общих для всех каналов регистра управляют режимами работы и общими функциями (PWMCON0 и PWMCON1) модуля ШИМ, а также прерываниями (PWMIC).

Реверсивные счетчики-таймеры РТх

Каждый счетчик РТх канала ШИМ синхронизируется или непосредственно синхроимпульсами ЦПУ (CLK/1), или синхроимпульсами с частотой $F_{CLK}/64$ (CLK/64). Бит РТх в регистре PWMCON0 выбирает соответствующий источник синхронизации. Счетчик ШИМ инкрементируется или декрементируется (определяется режимом работы), если установлен соответствующий бит PTRх. Таймер запускается программно (PTRх='1'), а останавливается (PTRх='0') либо программно, либо аппаратно в зависимости от выбранного режима работы.

Расположенная ниже таблица вкратце характеризует минимальные частоты сигналов ШИМ, которые определяются различными комбинациями режимов работы, разрешением счетчиков (входная синхрочастота) и разрешением по ширине импульса.

Входная частота и режим работы	8-разр. ШИМ	10-разр. ШИМ	12-разр. ШИМ	14-разр. ШИМ	16-разр. ШИМ
$f_{ЦПУ}$ (50 нс) Режим 0	78,13 кГц	19,53 кГц	4,88 кГц	1,22 кГц	305 Гц
$f_{ЦПУ}/64$ (3,2 мкс) Режим 0	1,22 кГц	305 Гц	76,3 Гц	19,1 Гц	4,77 Гц
$f_{ЦПУ}$ (50 нс) Режим 1	39,1 кГц	9,77 кГц	2,44 кГц	610 Гц	152,6 Гц
$f_{ЦПУ}/64$ (3,2 мкс) Режим 1	610 Гц	152,6 Гц	38,15 Гц	9,54 Гц	2,4 Гц

Регистры периода РРх

16-разрядный регистр периода РРх канала ШИМ определяет период цикла (частоту сигнала) ШИМ. Этот регистр буферизирован теньвым регистром. Теневой регистр загружается из соответствующего регистра РРх в начале каждого нового цикла ШИМ, или после записи в регистр РРх (если счетчик-таймер остановлен). Когда обнаружено совпадение между счетчиком и теньвым регистром РРх, счетчик либо сбрасывается в состояние 0000Н, либо меняет направление счета в зависимости от выбранного режима работы данного канала ШИМ.

Регистры ширины импульса PWx

Этот 16-разрядный регистр определяет значение ширины импульса ШИМ, которая соответствует требуемой скважности сигнала ШИМ. Этот регистр буферизирован теневым регистром. Теневой регистр загружается из соответствующего регистра PWx в начале каждого нового цикла ШИМ или после записи в PWx, если таймер остановлен.

Когда содержимое счетчика больше или равно содержимому теневого регистра, сигнал ШИМ установлен в '1', в противном случае - в '0'. Выход компараторов может быть описан булевой формулой

Выходной сигнал ШИМ = [PTx] ≥ [теневой регистр PWx].

Такой метод сравнения позволяет осуществлять гибкое управление сигналом ШИМ.

Регистр управления ШИМ PWMCON0

Регистр PWMCON0 управляет таймерами четырех каналов ШИМ и связанными с ними прерываниями.

PWMCON0 (FF30 _H / 98 _H)								SFR				Начальное значение: 0000H			
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PIR3	PIR2	PIR1	PIR0	PIE3	PIE2	PIE1	PIE0	PTI3	PTI2	PTI1	PTI0	PTR3	PTR2	PTR1	PTR0
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

Разряд

Функция

PTRx

Управление работой ШИМ счетчика-таймера x

'0' - синхровход счетчика PTx запрещен;

'1' - счетчик PTx разрешен

PTIx

Выбор синхрочастоты для ШИМ счетчика-таймера x

'0' - частота $f_{\text{ЦПУ}}$;

'1' - частота $f_{\text{ЦПУ}}/64$

PIEx

Разрешение флага прерывания канала x

'0' - прерывание от канала запрещено;

'1' - прерывание от канала разрешено

PIRx

Флаг запроса прерывания от канала x

'0' - нет запроса прерывания от канала x;

'1' - имеется запрос прерывания от канала x (должен быть сброшен программно)

Регистр управления ШИМ PWMCON1

Регистр PWMCON1 управляет режимами работы и выходными сигналами четырех каналов ШИМ. Основной режим работы для каждого канала (стандартный = модуляция фронта импульса или симметричный = центрированная ШИМ) устанавливается битами выбора режима PMx. Режим формирования пачки импульсов (каналы 0 и 1) и режим одновибратора (Канал 2 или 3) устанавливаются отдельными управляющими

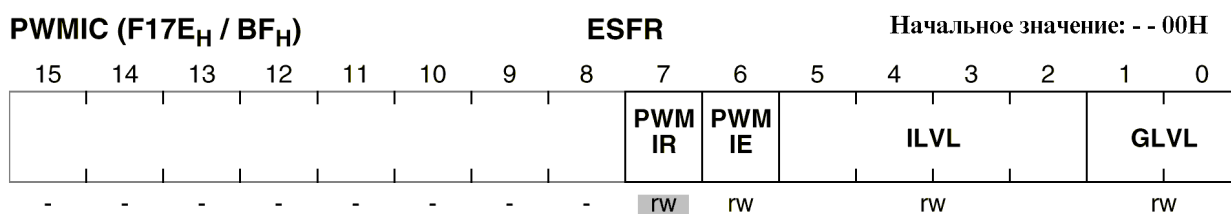
разрядами. Выходной сигнал каждого канала ШИМ индивидуально разрешается разрядом PENx. Если выход не разрешен, то соответствующий контакт может использоваться для операций ввода/вывода общего назначения, а канал ШИМ может использоваться только для генерации запроса прерывания.

PWMCON1 (FF32 _H / 99 _H)								SFR			Начальное значение: 0000H					
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
PS3	PS2	-	PB01	-	-	-	-	PM3	PM2	PM1	PM0	PEN3	PEN2	PEN1	PEN0	
rw	rw	-	rw	-	-	-	-	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

Разряд	Функция
PENx	Разрешение выходного сигнала канала ШИМ x ‘0’- выходной сигнал канала x запрещен, но прерывания генерируются; ‘1’- выходной сигнал канала x разрешен
PMx	Управление режимом работы канала ШИМ x ‘0’- канал x работает в режиме 0 (модуляция фронта импульса); ‘1’- канал x работает в режиме 1 (центрированная ШИМ)
PB01	Управление режимом формирования пачки импульсов каналов ШИМ 0/1 ‘0’- каналы 0 и 1 работают независимо в соответствующих основных режимах; ‘1’- выходные сигналы каналов 0 и 1 подвергаются операции Логическое И в режиме формирования пачки импульсов с выдачей произведения на POUT0
PSx	Управление режимом одновибратора канала ШИМ x ‘0’- канал x работает в соответствующем основном режиме; ‘1’- канал x работает в режиме одновибратора

2.1.3 Генерация запросов прерывания

Каждый из четырех каналов модуля ШИМ может генерировать индивидуальный запрос прерывания. Каждое из этих канальных прерываний может активизировать интегральное прерывание модуля ШИМ, которое прерывает работу ЦПУ. Это интегральное прерывание модуля управляется регистром управления прерывания модуля ШИМ PWMIC. Подпрограмма обработки прерывания может определить активное(ые) прерывание(я) канала путем анализа флажков канальных запросов прерывания PIRx в регистре PWMCON0. Флаг запроса прерывания PIRx устанавливается в начале нового цикла ШИМ, то есть после загрузки теневого регистра. Установка флага указывает на готовность регистров PPx и PWx к загрузке новых значений. Если прерывание от канала разрешено соответствующим разрядом PIEx, то при условии установки разряда разрешения интегрального запроса прерывания PWMIE устанавливается флаг интегрального запроса прерывания PWMIR в регистре PWMIC.



Примечание: Назначение полей ILVL и GLVL объясняется в [1].

2.1.4 Выходные сигналы ШИМ

Выходные сигналы четырех каналов ШИМ (POUT3 ... POUT0) являются альтернативными выходными функциям порта 7 (P7.3 ... P7.0). Выходной сигнал каждого канала ШИМ индивидуально разрешается управляющим разрядом PENx в регистре PWMCON1.

Перед выдачей на контакты МК сигналы ШИМ суммируются по модулю 2 с соответствующими выходными сигналами портовых регистров-защелок. Это позволяет выдавать сигнал ШИМ непосредственно на контакт (P7.x = '0') или после инверсии (P7.x = '1').

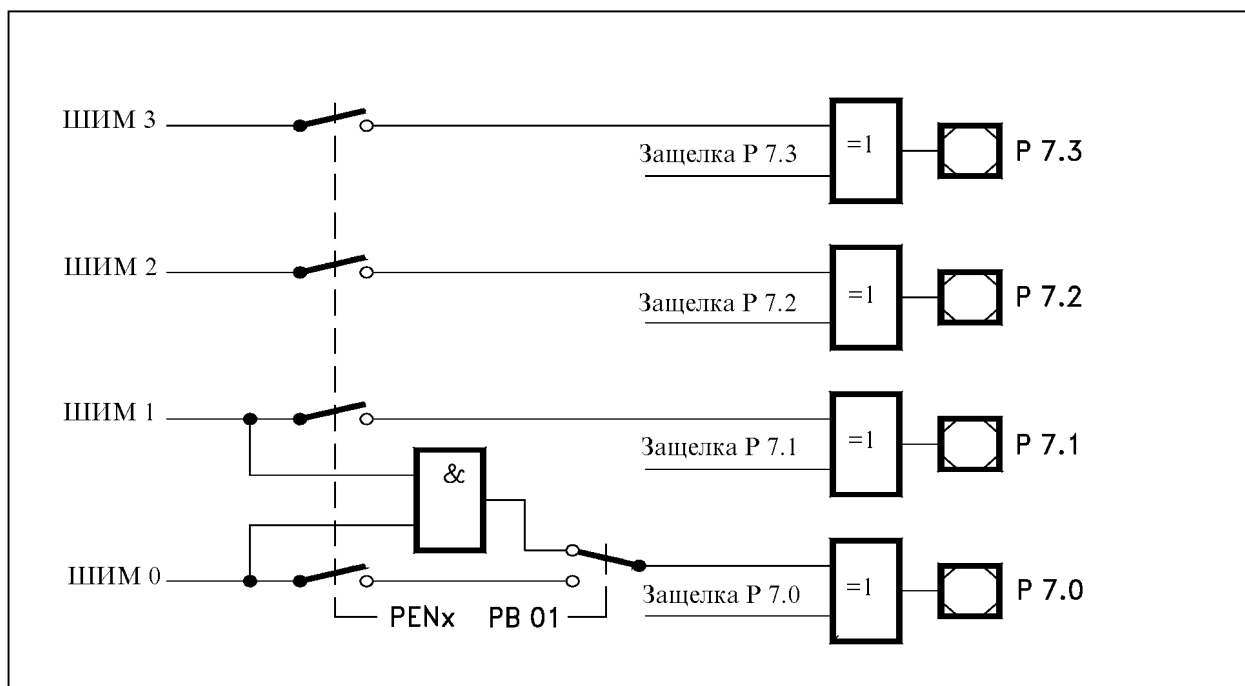


Рис. 3 Формирование выходного сигнала ШИМ

2.2 Модуль аналогового-цифрового преобразования (АЦП)

В состав МК С167 входит 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с встроенной схемой выборки-хранения (СВХ). Мультиплексор (MUX) выбирает один из 16 аналоговых входных сигналов или, другими словами, каналов АЦП (альтернативные функции порта 5) либо программно (режимы фиксации канала), либо автоматически (режимы автосканирования).

АЦП поддерживает следующие режимы преобразования:

однократное преобразование фиксированного канала: для выбранного канала производится однократное преобразование;

непрерывное преобразование фиксированного канала: повторяющееся преобразование выбранного канала;

однократное автосканирующее преобразование: для каждого канала из выбранной группы производится однократное преобразование;

непрерывное автосканирующее преобразование: повторяющееся преобразование для каждого канала из выбранной группы;

ожидание чтения регистра ADDAT: преобразование стартует автоматически после чтения предыдущего результата;

режим инъекции канала: вставка преобразования выбранного канала в групповое преобразование (автосканирование).

Набор регистров специальных функций SFR и контакты порта 5 обеспечивают доступ к функциям управления и результатам аналого-цифрового преобразования.

Для работы АЦП требуются внешние аналоговые опорные напряжения V_{AREF} и V_{AGND} . Отдельное независимое питание для АЦП уменьшает помехи от других цифровых сигналов.

Как время выборки, так и время преобразования программируются, так что АЦП может адаптироваться к различному внутреннему сопротивлению аналоговых источников сигнала и/или аналогового источника опорного напряжения.

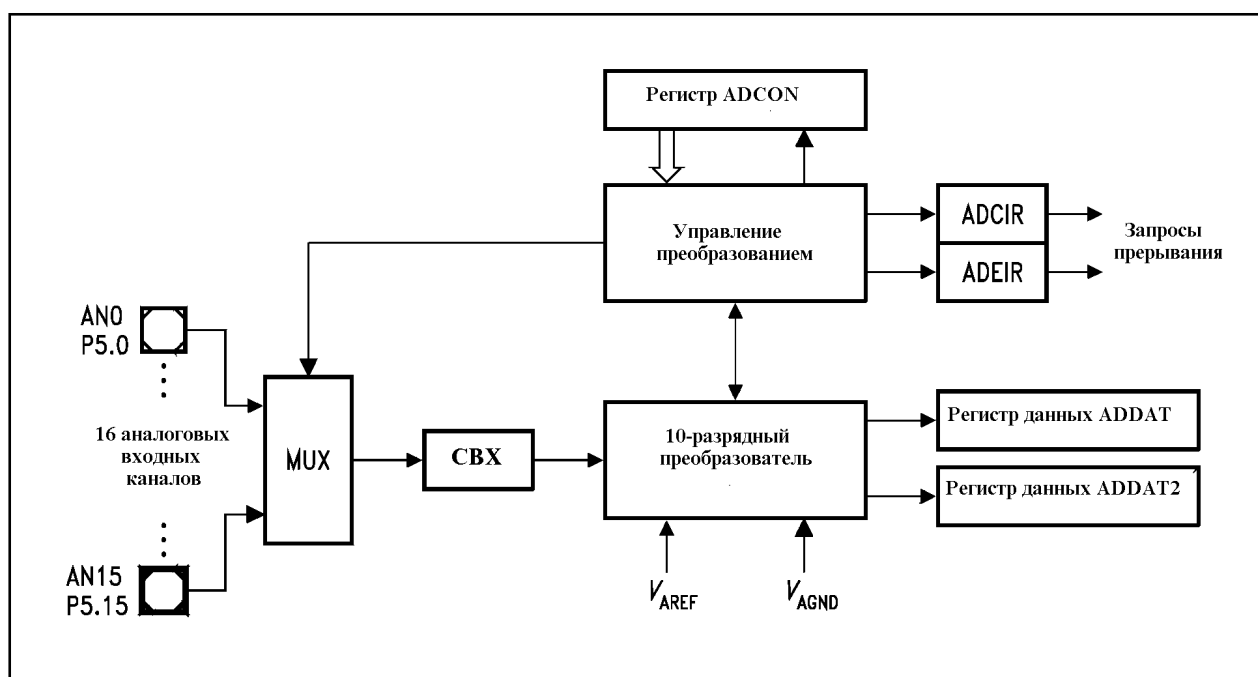


Рис. 4 Структурная схема модуля АЦП

2.2.1 Режимы выбора и работы. Программная модель.

Аналоговые входные каналы AN0 ... AN15 являются альтернативными функциями 16-разрядного порта 5, доступного только на ввод аналоговых или цифровых сигналов. Не требуется каких-либо специальных действий для конфигурирования контактов порта 5 в качестве аналоговых входов.

Функции АЦП управляются бит-адресуемым регистром управлением АЦП ADCON. Его отдельные разрядные поля определяют аналоговый входной канал, подвергающийся преобразованию, режим преобразования, а также отражают состояние самого преобразователя.

ADCON (FFA0 _H / D0 _H)						SFR		Начальное значение: 0000H							
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ADCTC		ADSTC		AD CRQ	AD CIN	AD WR	AD BSY	ADST	-	ADM		ADCH			
rw		rw		rw	rw	rw	r	rw	-	rw		rw			

Разряд	Функция
ADCH	Код выбранного канала АЦП
ADM	Выбор режима работы АЦП

	0 0: однократное преобразование фиксированного канала;
	0 1: непрерывное преобразование фиксированного канала;
	1 0: однократное автосканирующее преобразование;
	1 1: непрерывное автосканирующее преобразование
ADST	Запуск АЦП
ADBSY	Флаг занятости АЦП
	ADBSY=1 : происходит процесс преобразования
ADWR	Ожидание чтения предыдущего результата
ADCIN	Разрешение инъекции канала АЦП
ADCRQ	Флаг запроса инъекции канала АЦП
ADSTC	Управлением временем выборки *)
ADCTC	Управление временем преобразования *)

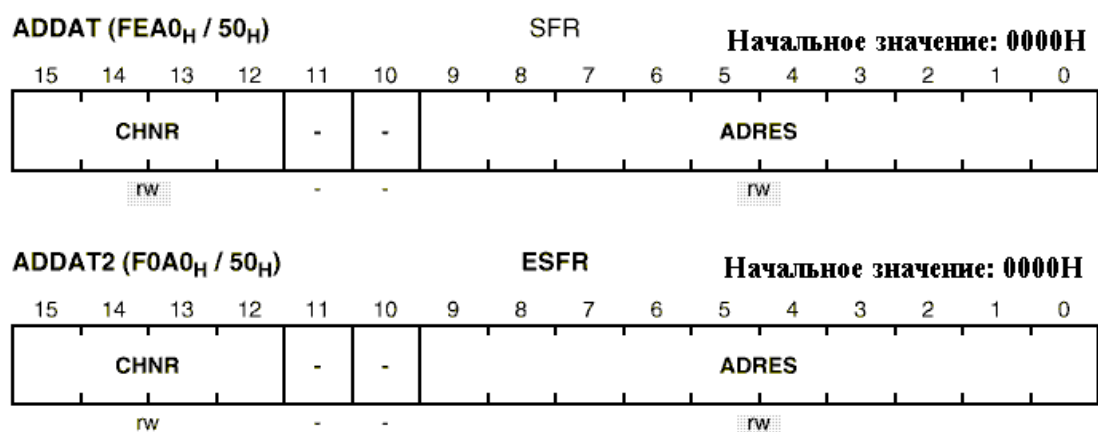
*) Разряды ADSTC и ADCTC управляют временными характеристиками преобразования. См. п. 2.2.2.

Поле ADCH определяет аналоговый входной канал, который должен быть подвергнут преобразованию (первый канал в последовательности преобразований в режимах автосканирования). Поле ADM выбирает режим работы АЦП. Преобразование (или последовательность преобразований) будет запущено(а) установкой разряда ADST. Сброс ADST останавливает АЦП после определенной операции, которая зависит от выбранного режима работы.

Доступный только для чтения флажок ADBSY установлен до тех пор, пока преобразование не закончено.

Результат преобразования сохраняется в регистре результата ADDAT или в регистре ADDAT2 (для инъектированного преобразования).

Поле CHNR регистра ADDAT загружается АЦП для указания номера канала результата. Поле CHNR регистра ADDAT2 загружается ЦПУ для указания инъектируемого канала.



Разряд	Функция
ADRES	Результат преобразования (10 разрядов)
CHNR	Номер канала (4 разряда, идентифицирует канал, подвергнутый преобразованию)

Преобразование запускается установкой разряда ADST. Флаг занятости ADBSY установится и CBX произведет выборку входного канала, который определен полем выбора канала ADCH в регистре ADCON. CBX будет хранить выбранное значение до конца цикла преобразования. Когда преобразование этого канала завершится, 10-разрядный результат вместе с номером канала будет загружен в регистр результата ADDAT, и установится флаг запроса прерывания ADCIR.

Преобразование в режиме фиксированного канала

Эти режимы выбираются программированием поля выбора режима работы ADM в регистре ADCON в '00B' (однократное преобразование) или в '01B' (непрерывное преобразование). После запуска АЦП установкой разряда ADST установится флажок занятости ADBSY, и произойдет преобразование в канале, определенном в поле ADCH.

По завершении преобразования установится флажок запроса прерывания ADCIR.

В режиме однократного преобразования АЦП автоматически остановится и сбросит разряды ADBSY и ADST.

В режиме непрерывного преобразования АЦП автоматически начнет новое преобразование в канале, определенном полем ADCH. Разряд ADCIR будет устанавливаться после каждого завершеного преобразования.

Преобразование в режиме автосканирования

Эти режимы выбираются программированием поля выбора режима работы ADM в регистре ADCON в '10B' (однократное преобразование) или в '11B' (непрерывное преобразование). Режимы автосканирования автоматически преобразуют последовательность аналоговых каналов, начинающуюся каналом, определенным в поле ADCH и оканчивающуюся каналом 0, без дополнительного программного обеспечения для смены номера канала. После запуска АЦП установкой разряда ADST установится флажок занятости ADBSY, и произойдет преобразование в канале, определенном в поле ADCH. По завершении преобразования установится флажок запроса прерывания ADCIR, и АЦП автоматически начнет преобразование в канале с меньшим номером. Разряд ADCIR будет устанавливаться по окончании каждого преобразования. По окончании преобразования в канале 0 текущая последовательность завершится.

В однократном режиме преобразования АЦП автоматически остановится и сбросит разряды ADBSY и ADST.

В непрерывном режиме преобразования АЦП автоматически начнет обрабатывать новую последовательность, начиная с канала, номер которого определен в поле ADCH.

2.2.2 Управление временными характеристиками преобразования

В начале процесса преобразования входные емкости преобразователя заряжаются через соответствующие аналоговые входы до текущего входного напряжения. Время, необходимое для заряда емкостей, определяется как время выборки. Затем дискретное напряжение преобразуется в цифровой код за 10 последовательных шагов, что соответствует 10-разрядному разрешению АЦП. Следующие 4 шага используются

для внутренней автокалибровки модуля АЦП. В течение этих 14 шагов внутренние емкости периодически заряжаются и разряжаются через контакт V_{AREF} .

Вытекающий из источников питания ток, обеспечивающий выборку сигнала и перезаряд емкостей, зависит от времени, отводимого на каждый соответствующий шаг, так как конденсаторы должны зарядиться до конечного уровня напряжения за заданное время, по крайней мере, с некоторым приближением. Однако, максимальный ток определяется внутренним сопротивлением источника.

Время между двумя различными операциями процесса преобразования (выборка сигнала и собственно преобразование) может программироваться внутри некоторого диапазона, определяемого тактовой частотой ЦПУ МК С167. Следовательно, абсолютное значение времени, затрачиваемого на различные шаги преобразования, не зависят от производительности контроллера. Это позволяет подстраивать характеристики АЦП МК С167 под требования к системе:

быстрое преобразование может быть достигнуто программной установкой минимально возможных значений времени, это предпочтительно для обработки высокочастотных сигналов, однако, внутреннее сопротивление источника аналогового сигнала и источника питания должно быть достаточно низко;

высокое внутреннее сопротивление может быть достигнуто программной установкой максимально возможных (или близких к максимально возможным) значений времени, это предпочтительно при использовании источников сигнала и источника питания с высоким внутренним сопротивлением, так как ток можно выбрать настолько низким, насколько это возможно; скорость преобразования в этом случае, однако, может быть значительно ниже.

Временные характеристики преобразования программируются четырьмя старшими разрядами регистра ADCON. Поле ADCTC (управление временем преобразования) выбирает синхрочастоту, используемую для синхронизации 14 шагов преобразования. Время выборки пропорционально периоду этой синхрочастоты и устанавливается полем ADSTC (управление временем выборки). Расположенная ниже таблица 1 перечисляет возможные комбинации. Все времена даны относительно единичного времени TCL, где $f_{ЦПУ} = 1/2TCL$.

Табл. 1 Программирование временных характеристик АЦП

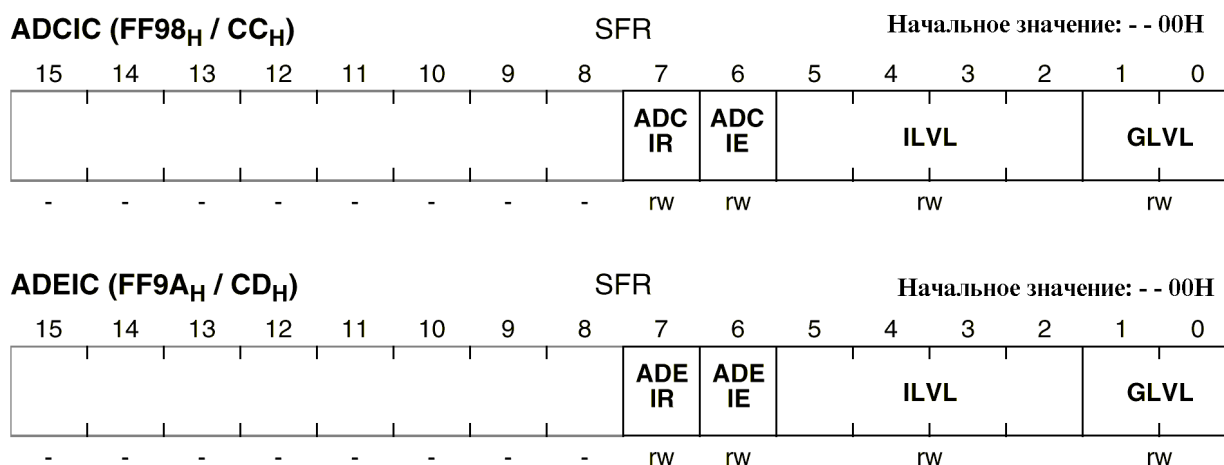
ADCTC	Время шага преобр. t_{CC}	ADSTC	Время выборки t_{SC}
00	$TCL * 24$	00	t_{CC}
01	зарезервировано, не использовать	01	$t_{CC} * 2$
10	$TCL * 96$	10	$t_{CC} * 4$
11	$TCL * 48$	11	$t_{CC} * 8$

Полностью преобразование будет занимать время, равное $14t_{CC} + 2t_{SC} + 4TCL$ (9.7 мкс при $f_{CPU} = 20$ МГц). Это время включает собственно преобразование, время выборки и время, требуемое для загрузки цифрового кода в регистр результата (данных).

2.2.3 Управление прерываниями от АЦП

В конце каждого преобразования устанавливается флаг запроса прерывания ADCIR в регистре управления прерываниями ADCIC. Этот запрос прерывания по концу преобразования может либо вызвать прерывание по вектору ADCINT, либо вызвать пересылку данных PEC (периферийный контроллер событий), которая, например, может поместить результат преобразования из регистра ADDAT во внутреннее ОЗУ для последующей обработки.

Флаг запроса прерывания ADEIR в регистре ADEIC будет установлен либо в случае переполнения регистра ADDAT (прерывание по ошибке чтения), когда результат предыдущего преобразования не был прочитан до окончания текущего, либо результат преобразования инжектированного канала был загружен в регистр ADDAT2. Этот запрос прерывания может либо вызвать прерывание по вектору ADEINT, либо вызвать пересылку данных PEC.



Внимание: Назначение полей ILVL и GLVL объясняется в [1].

3 Формирование сигнала постоянного напряжения заданного уровня с помощью модуля ШИМ

Благодаря гибкой архитектуре и большому числу программно-доступных регистров, модуль ШИМ обеспечивает возможность применения МК C167 в различных управляющих системах, таких как схемы управления электродвигателями, электротормозами и т.д. В то же время модуль может использоваться и для построения цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП), требующих минимального числа дополни-

тельных внешних компонентов. Такой ЦАП может использоваться, например, для формирования сигнала постоянного напряжения заданного уровня.

Напомним в связи с этим основные характеристики и свойства ШИМ. ШИМ является одной из разновидностей импульсной модуляции, при которой модулируется ширина (другими словами, длительность) импульса. На практике используется как односторонняя ШИМ (режим 0 модуля ШИМ), так и двусторонняя ШИМ (режим 1). И в том, и в другом видах модуляции амплитуда и период импульса постоянны, в то время как в зависимости от модулирующего аналогового сигнала меняется положение фронта или среза импульса для односторонней ШИМ и фронта и среза для двусторонней. В общем случае спектр сигнала ШИМ состоит из постоянной составляющей, составляющей, пропорциональной модулирующему сигналу, и бесконечного числа гармоник частоты повторения импульсов ШИМ, модулированных по амплитуде. При формировании сигнала постоянного напряжения фактически отсутствует сам модулирующий сигнал, интерес представляет постоянная составляющая, которую необходимо отфильтровать от немодулированных (в данном случае) гармоник.

В наиболее простой схеме (рис. 5) сигнал ШИМ (амплитуда импульса $A_{\text{ИМП}}$) с выходных контактов МК фильтруется пассивным фильтром (интегрирующая однозвенная RC-цепочка), с конденсатора которого снимается сигнал постоянного напряжения с уровнем U_+ , пропорциональным скважности Q сигнала ШИМ:

$$U_+ = Q \cdot A_{\text{ИМП}} \quad (1).$$

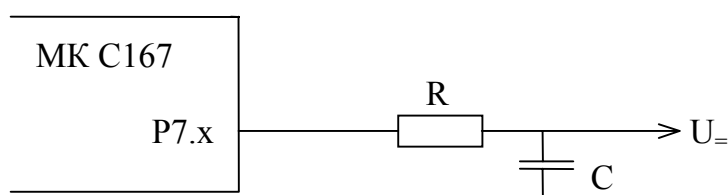


Рис. 5 Формирование сигнала постоянного напряжения заданного уровня

Постоянная времени τ RC-цепочки должна быть много больше (минимум на порядок) периода $T_{\text{ШИМ}}$ сигнала ШИМ. Погрешность результата определяется нестабильностью напряжения источника питания МК, допустимым разбросом выходных уровней напряжения порта 7, конечностью постоянной времени τ (в идеальном случае бесконечна), разбросом значений R и C и ограниченной разрядностью модуля ШИМ (максимум 16 разрядов). Выходные уровни напряжения порта зависят прежде всего от величины втекающего (лог. '0' на выходе) и вытекающего (лог. '1' на выходе) токов, определяемой нагрузкой (в данном случае - RC-цепочкой). Будем полагать, что сопротивление резистора (100 кОм) RC-цепочки достаточно велико для того, чтобы считать уровень лог. '0', равным 0, а уровень лог. '1', равным напряжению питания. Анализ погрешностей позволяет сделать вывод о том, что подобный метод можно использовать при относительно невысоких требованиях к точности формирования сигнала за-

данного напряжения. В противном случае, необходимо повышать требования к источнику питания и использовать внешние буферные схемы.

Исходными данными для программирования модуля ШИМ являются значение напряжения $U_{\text{н}}$, способ формирования сигнала ШИМ (стандартная ШИМ, что соответствует режиму работы 0), значение синхрос частоты канала ШИМ $f_{\text{синхр}}$ ($f_{\text{ЦПУ}}$ или $f_{\text{ЦПУ}}/64$), постоянная времени пассивного фильтра (RC-цепочки) τ , номер канала ШИМ. Расчет параметров осуществляется по следующей методике (все последующие действия производятся из расчета инверсии выходного сигнала ШИМ в порте 7) : из (1) определяем скважность Q ($0 < Q < 1$), принимая $A_{\text{имп}} = 5 \text{ В}$; определяем период сигнала ШИМ $T_{\text{ШИМ}}$ в секундах из соотношения

$$T_{\text{ШИМ}} = \tau / 100 \quad (2);$$

исходя из заданной синхрос частоты канала ШИМ $f_{\text{синхр}}$, рассчитываем значение PPx , загружаемое в соответствующий регистр периода:

$$PPx = \text{ROUND}[f_{\text{синхр}} * T_{\text{ШИМ}}] - 1 \quad (3),$$

где $\text{ROUND}[x]$ - функция округления числа x до ближайшего целого;

исходя из скважности Q , рассчитываем значение PWx , загружаемое в соответствующий регистр ширины импульса:

$$PWx = \text{ROUND}[Q * f_{\text{синхр}} * T_{\text{ШИМ}}] \quad (4).$$

С помощью программы DAvE [2] и отладочной платы kitCON-167 [3] необходимо загрузить рассчитанными значениями (**переведенными в шестнадцатеричную форму**) регистры PPx и PWx . В регистре управления ШИМ $PWMCON0$ должен быть установлен разряд $PTRx$ разрешения счетчика PTx и установлен или сброшен разряд $PTIx$ выбора синхрос частоты. В регистре управления ШИМ $PWMCON1$ должен быть установлен разряд $PENx$ разрешения выходного сигнала канала ШИМ и установлен или сброшен разряд PMx управления режимом работы канала ШИМ. В соответствующий регистр-защелку порта 7 должна быть записана лог. '1', обеспечивающая инверсию выходного сигнала ШИМ.

4 Измерение постоянного напряжения с помощью модуля АЦП

Включение модуля АЦП в состав МК C167 позволяет использовать МК в различных системах автоматики, измерительных приборах и устройствах, т.е. там, где необходимо измерение входных аналоговых сигналов, поступающих с датчиков физических величин, с одновременным переходом от аналоговой формы представления информации к цифровой.

Возможности модуля рассмотрим на самом простом примере: измерении постоянного напряжения. В предыдущем разделе был рассмотрен способ формирования сигнала постоянного напряжения заданного уровня с помощью модуля ШИМ. Подадим теперь этот сигнал на вход одного из каналов АЦП (номер канала АЦП будет соответствовать номеру канала ШИМ). Исходными данными для программирования модуля АЦП являются номер канала, время шага преобразования $t_{\text{сс}}$, время выборки $t_{\text{сб}}$. С помощью программы DAvE [2] и отладочной платы kitCON-167 [3] в регистр $ADCON$ необходимо записать код выбранного канала АЦП $ADCH$, код выбора режима работы АЦП $ADM = '01'$, что соответствует непрерывному преобразованию фикси-

рованного канала, код ADSTC времени выборки, код ADCTC времени шага преобразования, а также установить разряд ADST (“запуск АЦП”). Результат преобразования считывается из регистра ADDAT программным отладчиком [3]. Для преобразования цифрового кода в значение напряжения следует вначале цифровой код из двоичной или шестнадцатеричной формы преобразовать в десятичную U_D , а затем получить значение напряжения $U_{ИЗМ}$ в Вольтах по формуле

$$U_{ИЗМ} = (5 * U_D) / 1024 \quad (5).$$

Следует учитывать, что измеренное напряжение может отличаться от рассчитанного по ф-ле (5) из-за погрешностей, описанных в разд. 3, а также из-за погрешностей, связанных с эффектами квантования сигнала в АЦП. Суммарная погрешность оказывается в пределах $\pm 10\%$ от вычисленного значения.

5 Программирование модулей ШИМ и АЦП с помощью программного пакета DAvE

По окончании процедуры создания проекта и задания общих установок проекта необходимо провести конфигурирование модуля ШИМ (англоязычная аббревиатура PWM). Во вкладке “Control” (рис. 6) следует определить требуемый канал ШИМ, переместив курсор и “щелкнув” левой кнопкой мыши в соответствующем прямоугольнике “Configure Channel x”.

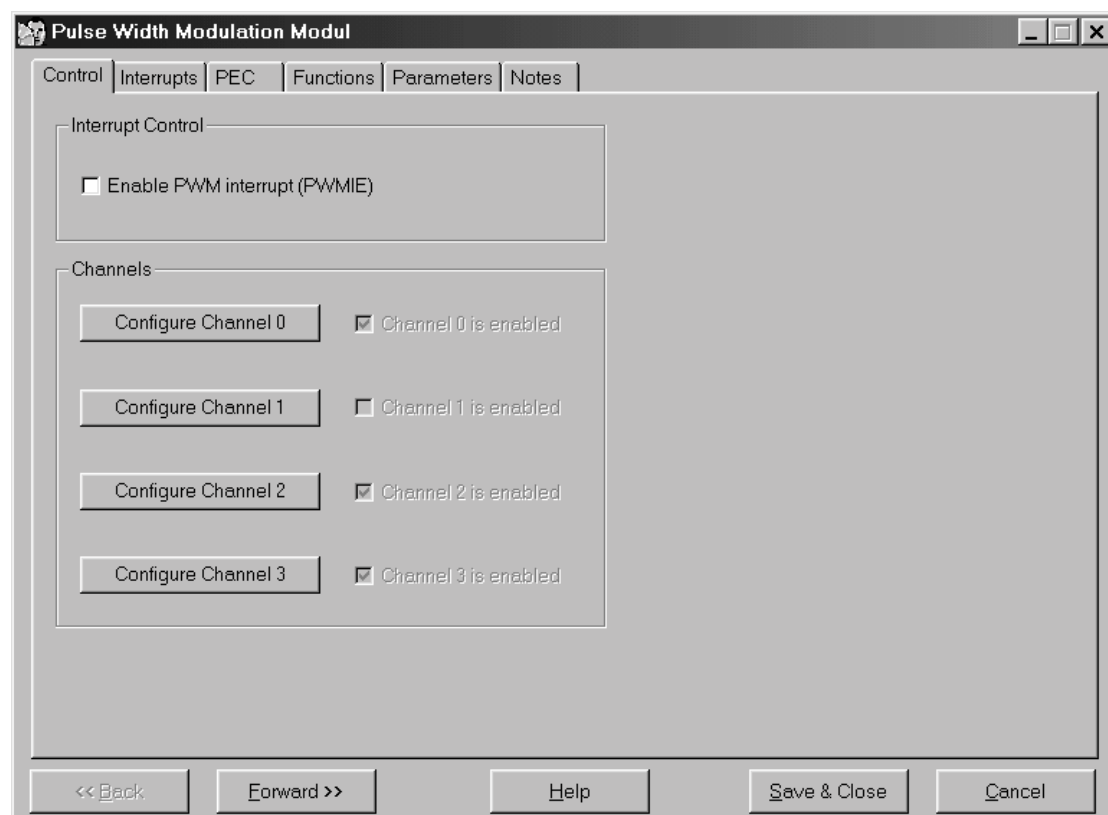


Рис. 6 Конфигурирование модуля ШИМ

После появления вкладки “Channel” (рис. 7) необходимо разрешить выбранный канал в поле “Use PWM channel x”. В поле “PWM Channel Mode Control

(PMx)” устанавливается признак работы в режиме 0: “**Standard PWM generation-edge aligned PWM (mode 0)**”. В поле “**Channel Output Enable (PENx)**” устанавливается признак разрешения выходного сигнала ШИМ “**Enable channel x output signal (use pin P7.x)**”. Выбор синхрочастоты таймера производится в поле “**PWM Timer Input Clock (PTIx)**” установкой соответствующего признака “**Timer PTx clocked with f_{CPU} (или $f_{CPU}/64$)**”. Для запуска счетчика-таймера после инициализации в поле “**PWM Timer Start Control**” необходимо установить признак “**Start PWM Timer x after initialization (PTRx)**”. В поле “**Period**” записывается рассчитанный шестнадцатеричный цифровой код периода сигнала ШИМ (“**Period register (PPx)**”), а в поле “**Duty Cycle**”- рассчитанный шестнадцатеричный цифровой код ширины импульса (“**Pulse width register (PWx)**”). После записи данных значений пакет DAvE произведет расчет действительных значений периода сигнала в мкс (“**Real period [us]**”) и скважности в % (“**Real duty cycle [%]**”) ШИМ, это обстоятельство можно использовать для контроля правильности расчетов. Следует учитывать, что из-за инверсии сигнала в выходном буферном регистре действительная скважность сигнала ШИМ равна разности 100 и скважности, рассчитанной пакетом DAvE.

Рис. 7 Конфигурирование выбранного канала ШИМ

Для создания файла с текстом программы инициализации требуется установить для этого заявку- флажок в квадратике “**PWM_vInit**” поля “**Initialization Function**” на вкладке “**Functions**” (рис. 8). Процедура конфигурации заканчивается при нажатии на панель “**Save & Close**”, расположенной в нижней части окна инициализации.

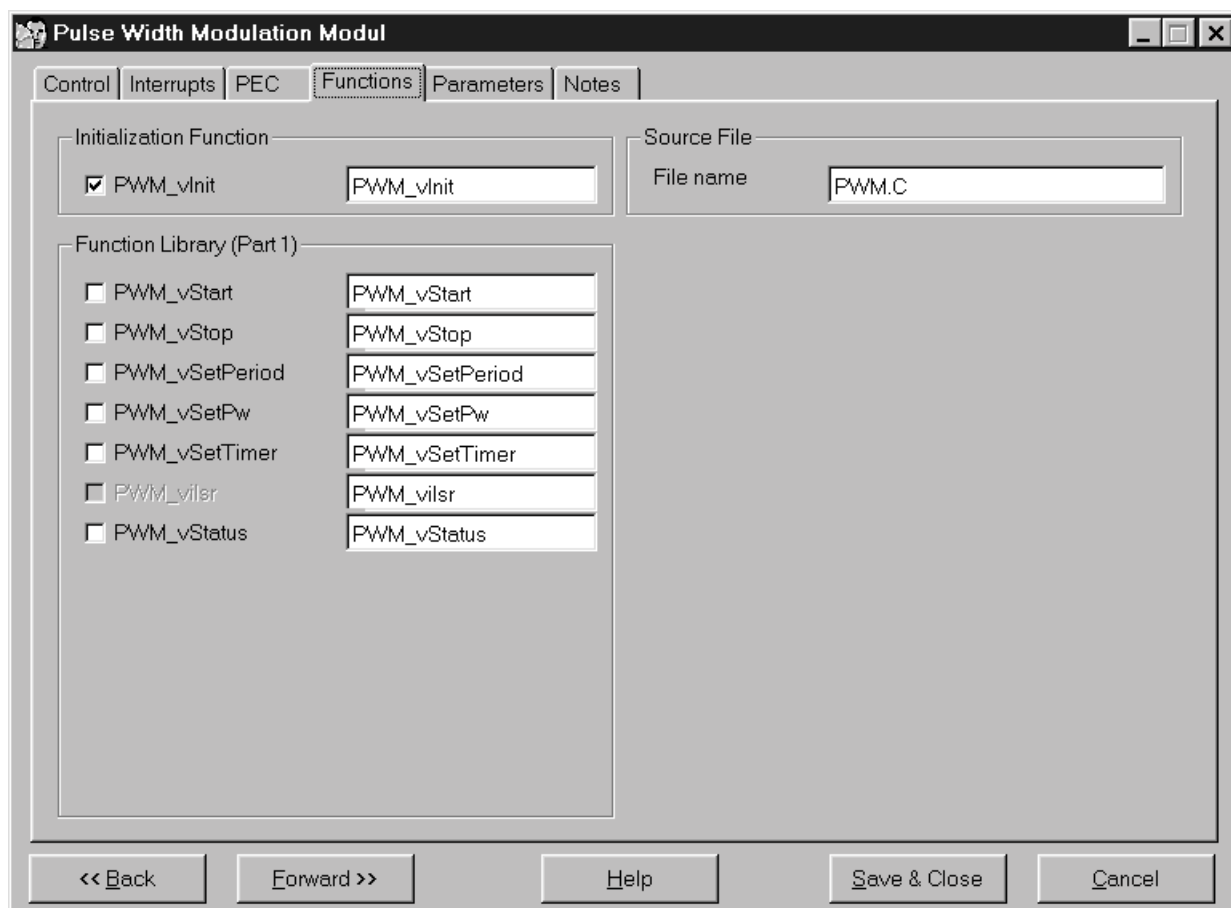


Рис. 8 Установка заявки на генерацию текста функции инициализации

Для инверсии выходного сигнала ШИМ необходимо соответствующим образом провести конфигурирование порта 7. Во вкладке “**Control**” (рис. 9) следует установить лог. “1” (квадратик “1”) в соответствующем разряде порта P7.x. Процедура конфигурации заканчивается при нажатии на панель “**Save & Close**”, расположенной в нижней части окна инициализации. Заявка на генерацию текста функции инициализации порта 7 устанавливается аналогично установке заявке для модуля ШИМ.

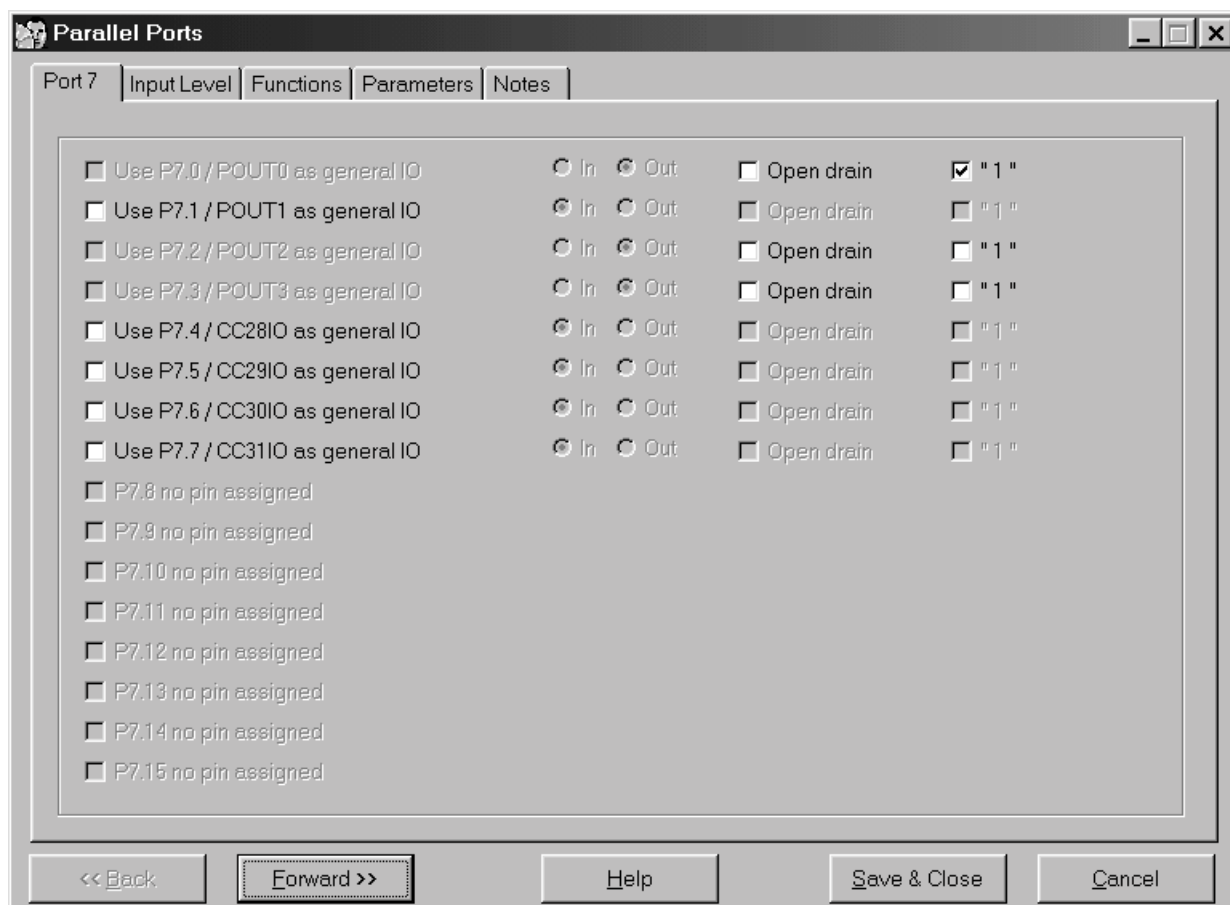


Рис. 9 Конфигурирование порта 7

При конфигурировании модуля АЦП (англоязычная аббревиатура ADC) во вкладке **“Control”** (рис. 10) в поле **“Analog Channel Input Selection (ADCH)”** необходимо определить программируемый канал АЦП (**“Analog Channel x”**, номер которого соответствует номеру канала ШИМ. В поле выбора режима **“Mode Selection (ADM)”** выбирается режим непрерывного преобразования фиксированного канала **“Fixed channel continuous conversion”**. В поле **“Start bit”** устанавливается режим старта преобразования после инициализации **“Start conversion after initialization (ADST)”**.

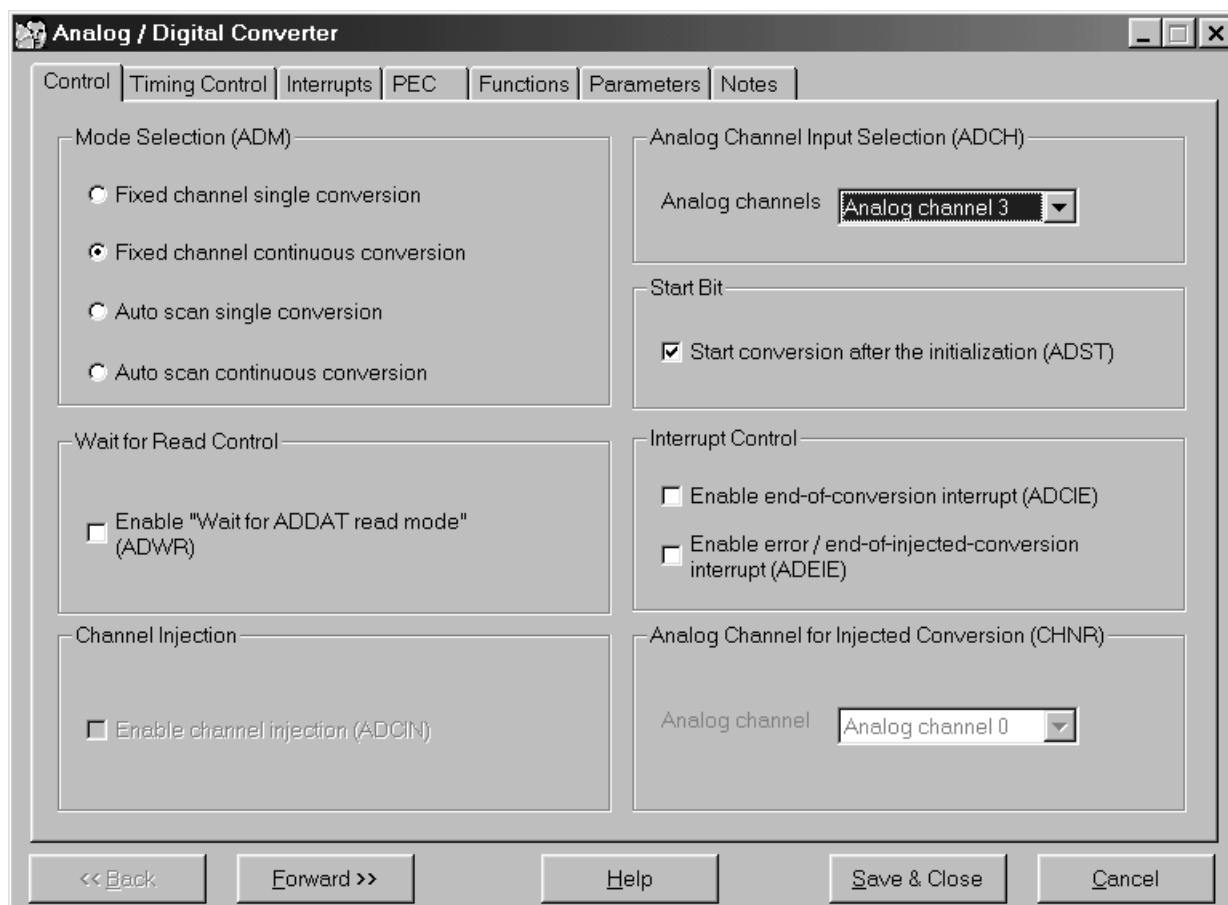


Рис. 10 Конфигурирование модуля АЦП

Заданные времена шага преобразования и выборки устанавливаются во вкладке “**Timing Control**” (рис. 11) в полях “**Conversion Time Control (ADCTC)**” и “**Sample Time Control (ADSTC)**”, соответственно. После записи данных значений пакет DAvE произведет расчет суммарного времени преобразования “**Complete Conversion Time**”.

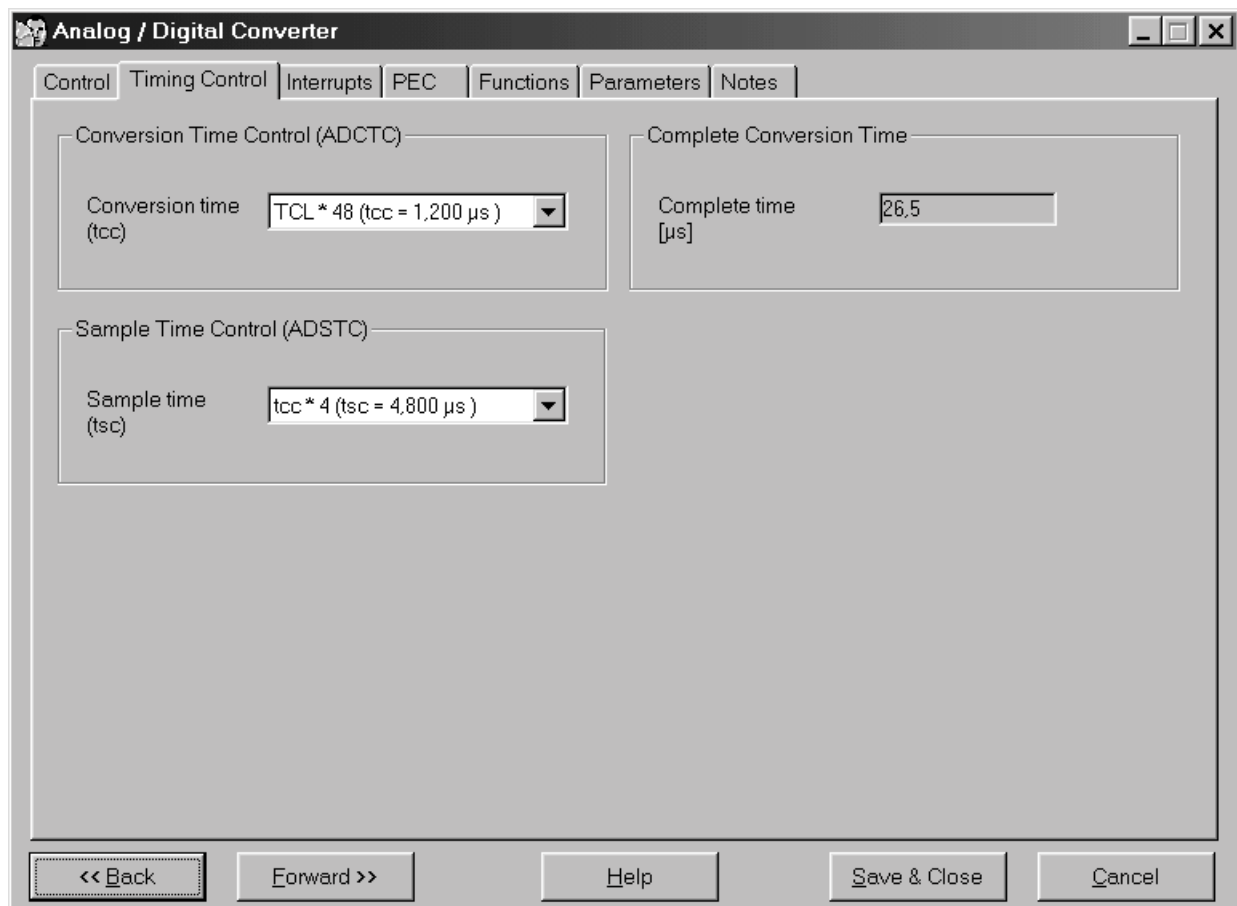


Рис. 11 Задание временных характеристик преобразования

Для создания файла с текстом программы инициализации требуется установить для этого заявку- флажок в квадратике “**ADC_vInit**” поля “**Initialization Function**” на вкладке “**Functions**” (аналогично процедурам, описанным выше). Процедура конфигурации заканчивается при нажатии на панель “**Save & Close**”, расположенной в нижней части окна инициализации.

Генерация соответствующего программного кода и просмотр соответствующих файлов детально описаны в [2]. Чтобы работа программы не заканчивалась сразу после выполнения инициализации, необходимо предварительно выбрать с помощью утилиты **File Viewer** (команда “**File Viewer**” в меню “**Project**”) файл MAIN.C, открыть его для редактирования кнопкой “**Open**” и добавить в **самом конце** функции **main()** строку “**for(;;);**”, обеспечивающую “зацикливание” программы, то есть выполнение бесконечно повторяемого “пустого” цикла, которое в нашем случае будет имитировать работу так называемой “фоновой” задачи:

```
//*****
void main(void)
{
...
// USER CODE BEGIN (Main,2)
for(;;);
// USER CODE END
}
```

//*****

После доработки текста программы следует выполнить командный файл PWM_ADC.bat. Подробно процессы компиляции программы инициализации и загрузки полученных машинных кодов в отладочную плату kitCON-167 производятся в соответствии с [3]. Структурная схема лабораторного стенда приведена на рис. 12.

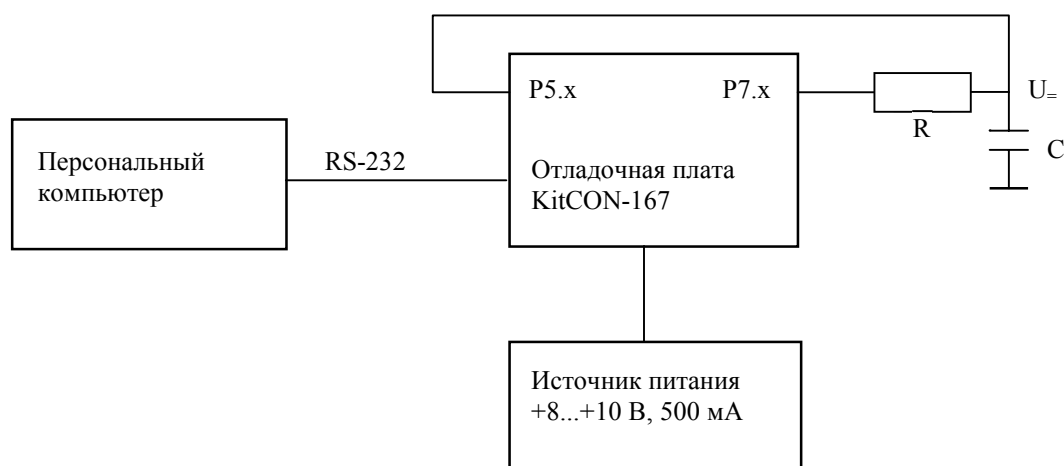


Рис. 12 Структурная схема лабораторного стенда

6 Контрольные вопросы

1. Архитектура и режимы работы модуля ШИМ.
2. Особенности режима 0 модуля ШИМ.
3. Программная модель модуля ШИМ.
4. Чем определяются минимальные и максимальные значения частоты сигнала ШИМ?
5. Основные свойства широтно-импульсной модуляции
6. Возможные области применения модуля ШИМ.
7. Архитектура и режимы работы модуля АЦП.
8. Программная модель модуля АЦП.
9. Адаптация модуля АЦП к параметрам аналогового сигнала и характеристикам аналогового интерфейса.
10. Назначение и структурная схема отладочной платы kitCON-167.
11. Назначение программного пакета DAvE.
12. Принципы организации и функционирования пакета DAvE.
13. Программные и аппаратные средства отладки микроконтроллерных систем на базе C167.
14. Какая программная поддержка необходима для организации непрерывного режима работы модулей АЦП и ШИМ в данной лабораторной работе?

7 Задание

1. До начала занятий рассчитать значения, загружаемые в соответствующие регистры модулей ШИМ и АЦП (принять $f_{\text{ЦПУ}} = 20$ МГц), в соответствии с вариантами задания к лабораторной работе (см. табл. 1 Приложения), а также значение, загружаемое модулем АЦП в регистр ADDAT.
2. Провести загрузку регистров и запуск программы МК с помощью программы DAvE и отладочной платы kitCON-167.
3. С помощью программного отладчика произвести чтение цифрового кода, хранящегося в регистре ADDAT. Сравнить прочитанное значение с рассчитанным (см. п.1 настоящего задания).

8 Содержание отчета

Отчет должен включать:

- название работы;
- схему лабораторного стенда;
- исходные данные для расчета;
- рассчитанные значения величин, загружаемых в регистры модулей ШИМ и АЦП;
- значения периода и скважности сигнала ШИМ, вычисленные пакетом DAvE;
- значение суммарного времени преобразования, вычисленное пакетом DAvE;
- рассчитанное значение величины, загружаемой модулем АЦП в регистр ADDAT;
- перечень С-файлов и содержащихся в них функций, порожденных пакетом Dave;
- прочитанное содержимое регистра ADDAT.

Примечание: При анализе содержимого регистра ADDAT следует помнить о составе данных, записываемых в регистр (см. раздел 2.2.1).

9 Литература

1. Семейство 16-разрядных однокристальных КМОП микроконтроллеров C167. Руководство пользователя.
2. Организация и применение программного пакета обучающей информационно-справочной системы “DAvE”.
3. Стартовый комплект SK-167. Отладочная плата kitCON-167. Руководство по применению.

Приложение

Табл. 1 Варианты задания к лабораторной работе

Порядковый номер	Значение напр. $U_{\text{н}}$, В	Синхрочастота канала ШИМ	Пост. времени τ , мс	Номер канала	Время шага преобр., t_{CC}	Время выборки t_{SC}
------------------	-----------------------------------	--------------------------	---------------------------	--------------	-------------------------------------	-------------------------------

1	2,57	$f_{\text{цпн}}$	10	0	TCL*24	t_{cc}
2	2,62	$f_{\text{цпн}}/64$	470	1	TCL*48	$t_{\text{cc}}*2$
3	1,73	$f_{\text{цпн}}$	100	2	TCL*96	$t_{\text{cc}}*4$
4	3,03	$f_{\text{цпн}}/64$	1000	3	TCL*24	$t_{\text{cc}}*8$
5	1,51	$f_{\text{цпн}}$	10	0	TCL*48	t_{cc}
6	1,76	$f_{\text{цпн}}/64$	470	1	TCL*96	$t_{\text{cc}}*2$
7	2,44	$f_{\text{цпн}}$	100	2	TCL*24	$t_{\text{cc}}*4$
8	3,17	$f_{\text{цпн}}/64$	1000	3	TCL*48	$t_{\text{cc}}*8$
9	2,02	$f_{\text{цпн}}$	10	0	TCL*96	t_{cc}
10	1,96	$f_{\text{цпн}}/64$	470	1	TCL*24	$t_{\text{cc}}*2$
11	2,91	$f_{\text{цпн}}$	100	2	TCL*48	$t_{\text{cc}}*4$
12	4,05	$f_{\text{цпн}}/64$	1000	3	TCL*96	$t_{\text{cc}}*8$
13	3,84	$f_{\text{цпн}}$	10	0	TCL*24	t_{cc}
14	1,52	$f_{\text{цпн}}/64$	470	1	TCL*48	$t_{\text{cc}}*2$
15	1,87	$f_{\text{цпн}}$	100	2	TCL*96	$t_{\text{cc}}*4$
16	2,23	$f_{\text{цпн}}/64$	1000	3	TCL*24	$t_{\text{cc}}*8$
17	1,64	$f_{\text{цпн}}$	10	0	TCL*48	t_{cc}
18	3,27	$f_{\text{цпн}}/64$	470	1	TCL*96	$t_{\text{cc}}*2$
19	3,73	$f_{\text{цпн}}$	100	2	TCL*24	$t_{\text{cc}}*4$
20	1,98	$f_{\text{цпн}}/64$	1000	3	TCL*48	$t_{\text{cc}}*8$
21	2,14	$f_{\text{цпн}}$	10	0	TCL*96	t_{cc}
22	3,71	$f_{\text{цпн}}/64$	470	1	TCL*24	$t_{\text{cc}}*2$
23	1,82	$f_{\text{цпн}}$	100	2	TCL*48	$t_{\text{cc}}*4$
24	2,54	$f_{\text{цпн}}/64$	1000	3	TCL*96	$t_{\text{cc}}*8$
25	3,39	$f_{\text{цпн}}$	10	0	TCL*24	t_{cc}
26	1,47	$f_{\text{цпн}}/64$	470	1	TCL*48	$t_{\text{cc}}*2$
27	3,92	$f_{\text{цпн}}$	100	2	TCL*96	$t_{\text{cc}}*4$
28	2,16	$f_{\text{цпн}}/64$	1000	3	TCL*24	$t_{\text{cc}}*8$
29	2,30	$f_{\text{цпн}}$	100	0	TCL*48	t_{cc}
30	1,74	$f_{\text{цпн}}/64$	470	1	TCL*96	$t_{\text{cc}}*2$