

Универсальная последовательная шина USB в микроконтроллерах PIC16C745/765

Статья основывается на технической документации DS41124b
компании Microchip Technology Incorporated, USA.

**© ООО «Микро-Чип»
Москва - 2001**

Распространяется бесплатно.
Полное или частичное воспроизведение материала допускается только с письменного разрешения
ООО «Микро-Чип»
тел. (095) 737-7545
www.microchip.ru

Универсальная последовательная шина USB в микроконтроллерах PIC16C745/765

Статья основывается на технической документации DS41124b
компании Microchip Technology Incorporated, USA.

Краткое описание

USB интерфейс в первую очередь предназначен для подключения периферийных устройств к персональному компьютеру. Разработка интерфейса USB велась такими фирмами как Intel, Compaq, Microsoft, Nec и др. Пред разработчиками стояла задача разработать интерфейс с характеристиками пригодными для широкого применения:

- Высокая скорость передачи данных
- Высокая помехозащищенность
- Подключения нескольких устройств на одну линию
- Автоматическое определение и настройка периферийного устройства
- Малое количество соединительных проводов
- Низкая стоимость

Сеть USB строится по топологии звезда с 6-ти уровневой древовидной структурой. В USB может быть только одно «Master» устройство (компьютер) и до 127 «Slave» периферийных устройств. Иницирует передачу только Master, Slave устройства не могут самостоятельно начать передачу в шину USB.

Шины USB поддерживает две скорости передачи данных.

- Высокоскоростной режим 12Мбит/с, предназначен для подключения аудио/видео устройств и др.
- Низкоскоростной режим 1,5 Мбит/с, предназначен для подключения клавиатуры, модема и т.д.

При передаче данных по шине USB используется четыре вида протоколов, которые имеют соответствующие атрибуты.

Для высокоскоростного режима:

- Isoхронный режим. Гарантирует фиксированную скорость передачи данных. В этом режиме нет возможности проверки получения данных адресатом, поскольку нет времени на повторную передачу плохих пакетов. Этот режим используется, когда получение сбойного пакета не катастрофично для системы в целом (например воспроизведение звука).
- Блочная передача. Гарантирует правильную доставку сообщения, но не гарантирует время передачи (работа принтера).

Для высокоскоростного и низкоскоростного режимов:

- Прерывистая передача. Используется для связи с устройствами требующими умеренную скорость передачи данных (например клавиатура). Master шины через определенное время обращается к таким устройства с целью проверки наличия (или передачи) новой информации.
- Команды управления. Используются для настройки периферийных устройств.

Вся передаваемая информация группируется в фреймы. Длительность одного фрейма составляет 1 мс, для поддержания режима многоканальной передачи данных.

Напряжение шины USB 5В. Периферийные устройства с малым током потребления (до 100 мА) могут получать питание непосредственно с шины. Более мощные устройства, должны иметь дополнительный источник питания. Максимальная нагрузка, которая может подключена к шине USB, определяется параметрами Master устройства (обычно не более 500 мА).

В каждом периферийном устройстве есть одна или несколько Endpoint (конечная точка). Endpoint нужно понимать, как дополнительный виртуальный канал передачи данных в устройстве. Каждая Endpoint используется для получения доступа к определенным функциям устройства, и может быть настроена на прием или передачу данных. Каждое устройство должно поддерживать Endpoint 0, для его настройки. Всего в устройстве может быть 15 Endpoint для высокоскоростного режима и 6 для низкоскоростного режима передачи данных.

Инициализация новых устройств на шине USB производится без остановки основного процесса передачи данных.

Для идентификации устройства на шине USB используются 5 типов параметров:

- устройство
- конфигурация
- интерфейс
- Endpoint
- примечания

Параметр устройство

Обеспечивает передачу общей информации: тип изготовителя, номер изделия (программы), регистрационный номер, число поддерживаемых конфигураций.

Параметр конфигурация

Передается информация о возможных конфигурациях устройства по потребляемой мощности, а так же доступные интерфейсы для каждой конфигурации.

Параметр интерфейс

Детализируются возможности устройства используемые в данном интерфейсе, а так же класс драйвера используемый для работы с устройством. Возможен только один параметр интерфейса для каждого параметра конфигурации.

Параметр Endpoint

Описываются параметры каждой функции устройства: тип протокола передачи данных, требуемая скорость и интервал опроса, направление передачи данных. В устройстве может быть несколько Endpoint разделенные между различными интерфейсами.

Параметр примечание

Необязательная текстовая информация в формате Unicode о производителе и/или продавце устройства.

Топология шины USB подразумевает, что в системе возможен только одно Master устройство, оно периодически опрашивает периферию чтобы принять или передать данные. Такой способ обмена полностью исключает возможные конфликты на шине.

Для получения более детальной информации относительно USB интерфейса обратитесь по адресу www.usb.org.

Фирма Microchip выпускает микроконтроллеры PIC16C745 и PIC16C765 со встроенным USB интерфейсом. Для поддержки пользователей разработаны библиотеки программы работы с USB интерфейсом на программном уровне, без необходимости обработки сложного USB протокола.

Микроконтроллеры PIC16C745/765 поддерживают только низкоскоростной режим приема-передачи данных и имеют 3 Endpoint из 6 возможных.

Используемое обозначение при описании USB модуля:

MCU – процессорное ядро с программным обеспечением

SIE – последовательный приемный модуль. Выполняет синхронизацию данных и проверку CRC принятой информации.

USB – USB модуль включая SIE регистры.

Наполнение бита – вынуждает произвести синхронизацию переходов на линиях D+, D-.

BD – буфер

BDT – буфер таблицы

EP – Endpoint

IN – прием пакета от Master

OUT – передача пакета Master

USB транзакции

При передаче или приеме данных SIE проверит соответствующую Endpoint, описание буфера и установку бита UOWN. Затем USB поместит/передаст данные в/из буфер(а). После завершения транзакции, USB изменит регистр статуса BD, бит UOWN будет сброшен, изменен регистр состояния USTAT и установлен флаг окончания приема/передачи TOK_DNE.

После получения прерывания от USB (TOK_DNE) необходимо прочитать состояние регистра USTAT, в котором размещается информация о том какую Endpoint необходимо обработать. MCU обработав прерывание должен вновь установить бит UOWN. На рисунке 1 показан пример приема передачи данных.

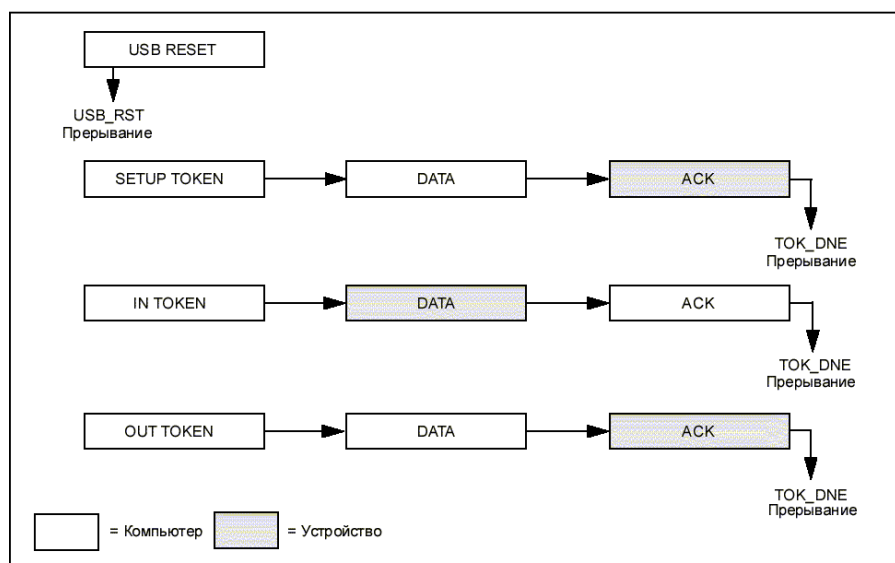


Рис. 1

Регистры управления модулем USB

Все регистры используемые для управления работой модуля USB расположены в 3 банке ОЗУ. Всего используется 9 регистров статуса и управления:

- UIR, регистр флагов прерываний USB
- UIE, регистр разрешение прерываний от USB
- UEIR, регистр флагов прерываний при возникновении ошибок
- UEIE, регистр разрешения прерываний при возникновении ошибок
- USTAT, регистр статуса модуля USB
- UCTRL, регистр управления модулем USB
- UADDR, регистр адреса устройства на шине USB
- USWSTAT, регистр идентификационного номера
- UEPn, регистр Endpoint

UIR (адрес: 190h): регистр флагов прерываний USB

В регистре размещены флаги источников прерываний модуля USB. Каждому флагу соответствует бит разрешения данного вида прерываний в регистре UIE. Все биты регистра объединены по ИЛИ в один флаг прерывания от USB в PIR1 (USBIF). Все флаги прерываний должны быть программно сброшены.

U - 0	U - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	
-	-	STALL	IDLE	TOK_DNE	ACTIVITY	UERR	USB_RST	
бит7								бит0

бит 7-6: **Не используется:** читается как '0'

бит 5: **STALL:** устанавливается при инициализации устройства на шине

бит 4: **IDLE:** устанавливается при обнаружении холостого хода на шине USB в течении 3 мс. Этот флаг может быть использован для начала инициализации устройства шине.

бит 3: **TOK_DNE:** устанавливается при завершении приема или передачи данных. Микроконтроллер должен обратиться к регистру USTAT для определения Endpoint. После обработки данных необходимо немедленно сбросить этот бит.

бит 2: **ACTIVITY:** устанавливается при обнаружении приема/передачи данных на шине. Обычно используется для вывода микроконтроллера из режима SLEEP.

бит 1: **UERR:** устанавливается при обнаружении ошибки. Для идентификации типа ошибки необходимо прочитать содержимое регистра ERR_STA.

бит 0: **USB_RST:** устанавливается при обнаружении сброса USB устройств на шине. Используется для подготовки данных по адресу 00h Endpoint 0. Этот флаг устанавливается только после повторного обнаружения сигнала reset на шине USB через 2,5 мс.

Примечание: биты регистра могут быть изменены только когда UCTRL.SUSPND = 0

UIE (адрес: 191h): регистр разрешение прерываний от USB

С помощью регистра UIE разрешаются определенные виды прерываний. Соответствующие флаги прерываний устанавливаются в не зависимости от состояния битов регистра UIE.

U - 0	U - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	
-	-	STALL	UIDLE	TOK_DNE	ACTIVITY	UERR	USB_RST	
бит7								бит0

бит 7-6: **Не используется:** читается как '0'

бит 5: **STALL:** разрешение прерывания STALL
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено

бит 4: **UIDLE:** разрешение прерывания UIDLE
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено

бит 3: **TOK_DNE:** разрешение прерывания TOK_DNE
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено

бит 2: **ACTIVITY:** разрешение прерывания ACTIVITY
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено

бит 1: **UERR:** разрешение прерывания UERR
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено

бит 0: **USB_RST:** разрешение прерывания USB_RST
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено

Примечание: прерывание разрешены если UCTRL.SUSPND = 1

UEIR (адрес: 192h): регистр флагов прерываний при возникновении ошибок

Флаги прерываний по возникновению ошибок при приеме/передаче данных на шине USB. Все флаги прерываний ошибок объединены в одно прерывание UERR регистра UIR. Установка флагов ошибок происходит вне зависимости от окончания приема/передачи данных. Флаги прерываний должны быть программно сброшены.

R/C - 0	R/C - 0	R/C - 0	R/C - 0	R/C - 0	R/C - 0	R/C - 0	R/C - 0	
BTS_ERR	OWN_ERR	WRT_ERR	BTO_ERR	DFN8	CRC16	CRC5	PID_ERR	
бит7								бит0

бит 7: **BTS_ERR:** устанавливается при обнаружении любой из ошибок

бит 6: **OWN_ERR:** устанавливается при обнаружении полного заполнения таблицы буфера BDT и наличии новых данных в SIE. Предотвращает от переполнения буфера таблицы приемника.

бит 5: **WRT_ERR:** устанавливается при попытке записи данных MCU в буфер BD или таблицу буфера BDT, которую в настоящий момент использует SIE.

бит 4: **BTO_ERR:** устанавливается при обнаружении ошибки Time-out.

бит 3: **DFN8:** устанавливается при обнаружении что поле данных было не 8 битовое. Протокол USB подразумевает, что поле данных всегда должно быть 8-ми битное.

бит 2: **CRC16:** ошибка контрольной суммы CRC16.

бит 1: **CRC5:** ошибка контрольной суммы CRC5.

бит 0: **PID:** устанавливается при обнаружении PID ошибки.

Примечание: биты регистра могут быть изменены только когда UCTRL.SUSPND = 0

UEIE (адрес: 193h): регистр разрешения прерываний при возникновении ошибок

R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	
BTS_ERR	OWN_ERR	WRT_ERR	BTO_ERR	DFN8	CRC16	CRC5	PID_ERR	
бит7								бит0

- бит 7: **BTS_ERR:** разрешение прерывания BTS_ERR
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено
- бит 6: **OWN_ERR:** разрешение прерывания OWN_ERR
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено
- бит 5: **WRT_ERR:** разрешение прерывания WRT_ERR
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено
- бит 4: **BTO_ERR:** разрешение прерывания BTO_ERR
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено
- бит 3: **DFN8:** разрешение прерывания DFN8
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено
- бит 2: **CRC16:** разрешение прерывания CRC16
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено
- бит 1: **CRC5:** разрешение прерывания CRC5
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено
- бит 0: **PID_ERR:** разрешение прерывания PID_ERR
1 = прерывание разрешено
0 = прерывание запрещено

USTAT (адрес: 194h): регистр статуса модуля USB

Регистр состояния модуля USB показывает состояние предыдущей транзакции. После установки флага прерываний TOK_DNE MCU должен прочитать этот регистр для определения Endpoint и направления передачи данных. В регистре USTAT данные считаются достоверными только после установки флага TOK_DNE.

Регистр USTAT модифицируется только при изменении BD или BDT. Если начата обработка следующей транзакции, пока предыдущая обрабатывается (флаг TOK_DNE установлен) ее результат будет сохранен в STAT в порядке поступления. Таким образом организован 4-х уровневый буфер FIFO транзакций USB. После очистки бита TOK_DNE, значение USTAT будет обновлено и флаг TOK_DNE будет вновь установлен, в случае корректной информации хранящейся в STAT.

U - 0	U - 0	U - 0	R - X	R - X	R - X	U - 0	U - 0	
-	-	-	ENDP1	ENDP0	IN	-	-	
бит7								бит0

- бит 7-5: **Не используется:** читается как '0'
- бит 4-3: **ENDP1-0:** указывается адрес Endpoint по которой принимались или передавались данные
- бит 2: **IN:** показывает направление последней транзакции
1 = производилась передача данных
0 = производился прием данных или управляющих команд
- бит 1-0: **Не используется:** читается как '0'

UCTRL (адрес: 195h): регистр управления модулем USB

U - 0	U - 0	R - X	R/C - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	U - 0
-	-	SE0	PKT_DIS	DEV_ATT	RESUME	SUSPND	-
бит7							бит0

бит 7-6: **Не используется:** читается как '0'

бит 5: **SE0:** метод синхронизации на шине USB
0 = с использованием потенциалов двух уровней
1 = без возврата к нулю с инвертированием для единиц

бит 4: **PKT_DIS:** указывает MCU, что закончен прием/передача данных в SIE. Сброс этого бита позволяет продолжить обработку данных. Сброс бита может быть сделан только при SUSPND=0.

бит 3: **DEV_ATT:** подключение к выводу 3.3 В
0 = подключается к выводу Vsub
1 = подтягивающие резисторы к D+, D-

бит 2: **RESUME:** разрешение удаленного управления питанием
0 = поддерживать сигнализацию управления питанием
1 = нормальный режим

бит 1: **SUSPND:** останавливает модуль USB и переводит его в режим малого потребления энергии. Тае же этот бит устанавливается при установке бита UIDLE.
0 = режим сбережения энергии
1 = нормальный режим работы

бит 0: **Не используется:** читается как '0'

UADDR (адрес: 196h): регистр адреса устройства на шине USB

Регистр содержит 7-ми разрядный адрес устройства на шине USB. После включения питания или сброса устройства, в регистре UADDR должен содержаться адрес 00h. По этому адресу Master шины обращается для поиска новых устройств на шине. В процессе инициализации Master присваивает устройству (отличный от 00h) уникальный адрес.

U - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0
-	ADDR6	ADDR5	ADDR4	ADDR3	ADDR2	ADDR1	ADDR0
бит7							бит0

бит 7: **Не используется:** читается как '0'

бит 6-0: **ADDR6-ADDR0:** 7-битный адрес устройства на шине USB

USWSTAT (адрес: 197h): регистр идентификационного номера

Регистр используется для указания необходимого программного обеспечения работы с устройством.

R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0
F5	F4	F3	F2	F1	F0	C1	C0
бит7							бит0

бит 7-2: **F5-F0:** 5-битный функциональный код устройства

бит 1-0: **C1-C0:** 2-битный код статуса конфигурации

UEPn (адрес: 198h-19Ah): регистр Endpoint

Для каждой Endpoint существует свой регистр конфигурации. В PIC16C745/765 поддерживаются буфер BD для следующих Endpoint:

EP0 передача данных
 EP0 прием данных
 EP1 передача данных
 EP1 прием данных
 EP2 передача данных
 EP2 прием данных

Не используемые в устройстве Endpoint должны быть выключены.

Всего для управления Endpoint зарезервировано 6 регистров. Каждую Endpoint можно настроить на прием и/или передачу данных, а так же конфигурацию устройства. После включения питания или сброса устройства в регистре конфигурации Endpoint 0 UEP0 должно быть записано значение 06h.

U - 0	U - 0	U - 0	U - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0	R/W - 0
-	-	-	-	EP_CTL_DIS	EP_OUT_EN	EP_IN_EN	EP_STALL
бит7				бит0			

бит 7-4: **Не используется:** читается как '0'

бит 3-1: **EP_CTL_DIS, EP_OUT_EN, EP_IN_EN:** 3 бита управления типом и направлением передачи данных Endpoint

EP_CTL_DIS	EP_OUT_EN	EP_IN_EN	Описание
X	0	0	Выключено
X	0	1	Прием данных
X	1	0	Передача данных
1	1	1	Прием, передача данных
0	1	1	Прием и передача данных, управление

бит 0: **EP_STAL:** Приостановка действия Endpoint. Имеет высший приоритет по сравнению с другими битами конфигурации Endpoint. Может быть установлен и сброшен SIE. Для более детальной информации обратитесь к описанию протокола USB 1.1

Буферная таблица BDT

Для эффективной работы USB модуля используется буферная таблица размещенная в ОЗУ, которая настраивается 4 регистрами для каждой Endpoint. Для управления выделенной частью ОЗУ используется бит UOWN. Если бит сброшен, то доступ к BDT имеет MCU. Если бит UOWN установлен, доступ к BDT имеет только USB, MCU не может изменить данные в BDT.

Регистр управления буфером имеют различное значение для MCU и USB в зависимости от состояния бита UOWN.

Назначение регистра BDs для USB при UOWN=1:

- PID по 0 или 1
- Синхронизация данных
- Количество переданных или принятых байт
- Размещение буфера

Назначение регистра BDs для MCU при UOWN=0:

- PID по 0 или 1
- Получение PID пакета
- Количество переданных или принятых байт

Основные действия для работы с буфером:

- MCU проверяет, что UOWN=0; устанавливает начала буфера BdndAL; если необходимо заполняет буфер; устанавливает бит UOWN в регистре BDndST
- Когда Master дает команду на выполнение транзакции SIE делает следующее:
 - Получает адрес буфера
 - Читает или записывает в буфер
 - Обновит значение регистра USTAT
 - Обновит значение PID
 - Установит данные 0 или 1
 - Обновит индексный байт
 - Сброс бита UOWN
- MCU читает содержимое регистра USTAT, обращается к необходимому буферу, проверяет PID и индексный байт.

Регистр статуса буфера. Запись данных MCU.

(адрес BDndST: 1A0h, 1A4h, 1A8h, 1ACh, 1B0h, 1B4h)

W - X	W - X	U - X	U - X	W - X	W - X	U - X	U - X
UOWN	DATA0/1	-	-	DTS	BSTALL	-	-
бит7							бит0

бит 7: **UOWN**: доступ к BD. Устанавливается последним при изменении или настройке буфера.
1 = USB имеет полный доступ к BD. MCU не должен изменять BD или его конфигурацию
0 = MCU имеет полный доступ к BD

бит 6: **DATA0/1**: определяет тип пакета который был передан или получен
1 = тип пакета 1
0 = тип пакета 0

бит 5-4: **Не используется**

бит 3: **DTS**: Синхронизация данных. Если будет получен пакет с неправильной синхронизацией, то состояние буфера не изменится
1 = выполнять синхронизацию
0 = синхронизацию данных не делать

бит 2: **BSTALL**: Блокировка буфера. SIE не может изменять буфер

бит 1-0: **Не используется**

Примечание: Не рекомендуется использовать команды BCF, BSF для изменения этого регистра

Регистр статуса буфера. Чтение данных MCU.
(адрес **BDndST**: 1A0h, 1A4h, 1A8h, 1ACh, 1B0h, 1B4h)

R - X	R - X	R - X	R - X	R - X	R - X	U - X	U - X
UOWN	DATA0/1	PID3	PID2	PID1	PID0	-	-
бит7						бит0	

бит 7: **UOWN**: доступ к BD. Устанавливается последним при изменении или настройке буфера.
1 = USB имеет полный доступ к BD. MCU не должен изменять BD или его конфигурацию
0 = MCU имеет полный доступ к BD

бит 6: **DATA0/1**: определяет тип пакета который был передан или получен
1 = тип пакета 1
0 = тип пакета 0

бит 4-2: **PID3-PID0**: Значение идентификатора пакета

бит 1-0: **Не используется**

Регистр размера буфера.
(адрес **BDndBC**: 1A1h, 1A5h, 1A9h, 1ADh, 1B1h, 1B5h)

U - X	U - X	U - X	U - X	R/W - X	R/W - X	R/W - X	R/W - X
-	-	-	-	BC3	BC2	BC1	BC0
бит7				бит0			

бит 7-4: **Не используется**

бит 3-0: **BC3-BC0**: Число байт которые необходимо передать устанавливаемые MCU, или число принятых байт – изменяет SIE.

Регистр адреса начала буфера.
(адрес **BDndAL**: 1A2h, 1A6h, 1AAh, 1AEh, 1B2h, 1B6h)

R/W - X	R/W - X	R/W - X	R/W - X	R/W - X	R/W - X	R/W - X	R/W - X
BA7	BA6	BA5	BA4	BA3	BA2	BA1	BA0
бит7				бит0			

бит 7-0: **BA7-BA0**: Адрес начала буфера Endpoint. 9-й бит адреса (BA8) всегда равен 1. Это значение попадает в диапазон части ОЗУ с двойным доступом (1B8h – 1DFh), и размещается в банке 3.

Примечание: Этот регистр всегда должен содержать значение в диапазоне B8h – DFh.

Буфер Endpoint всегда должен находиться в диапазоне ОЗУ с двойным доступом.

Трансивер

В USB входит модуль для приема/передачи данных по физической линии связи D+,D-.

Между выходом интегрированного стабилизатора (напряжение стабилизации 3.3 В Vusb) и линией D- необходимо установить подтягивающий резистор 1.5кОм, для обозначения устройства с низкой скоростью передачи данных согласно стандарту USB. К выводу Vusb так же необходимо подключить конденсатор 10нФ для лучшей стабилизации.

Статья основывается на технической документации DS41124b
компании Microchip Technology Incorporated, USA.