

Применение 32-разрядных микроконтроллеров NEC семейства V850ES / Sx2 в схемах источников электропитания

Евгений БУРКИН
burkin@mail.ru
Геннадий ГОРЮНОВ
gennady.gr@eltech.spb.ru

Наиболее популярные топологии базовых схем и их управляющие сигналы показаны на рис. 1, 2 и 3. В преобразователях постоянного напряжения, основу которых составляют схемы понижающего, повышающего и инвертирующего преобразователей (рис. 1), регулирование и стабилизация выходного напряжения или тока осуществляется путем модуляции тока дросселя (реактора) с помощью двухпозиционного ключевого элемента (на практике обычно это либо транзистор и диод, как показано на рис. 1, либо два транзистора). Путем изменения соотношения времени замкнутого ($t_{и}$) и разомкнутого ($t_{н}$) состояний ключевого элемента осуществляется требуемое преобразование входных напряжения и тока.

Чаще всего используется модуляция на фиксированной частоте работы ключа, известная как ШИМ — широтно-импульсная модуляция ($T=const, t_{и}=var$). Реже применяются частотная (ЧИМ) и комбинированная (ЧШИМ) виды модуляций [1, 2].

В большинстве случаев от системы управления требуется сформировать ряд синхронизированных либо по отношению друг к другу, либо к внешнему сигналу последовательностей импульсов, в которых частота, длительность импульса, паузы или взаимного фазового сдвига изменяется в функции управляющего воздействия.

Микроконтроллеры широко применяются в системах управления источниками питания, причем, в зависимости от требуемой частоты работы силовых ключей, либо весь регулятор строится на основе контроллера, либо он работает в связке с аналоговым ШИМ-контроллером, выступая в качестве «медленной» коррекции в контуре обратной связи. Обобщенная структурная схема первого способа реализации цифрового регулятора показана

Значительная часть источников питания в настоящее время конструируется на основе схем импульсных преобразователей напряжения или тока. В первую очередь это обусловлено более высоким коэффициентом полезного действия (КПД) таких устройств по сравнению с линейными источниками питания, а также более высокими удельными характеристиками: меньшей массой и физическим объемом источника при большей передаваемой мощности.

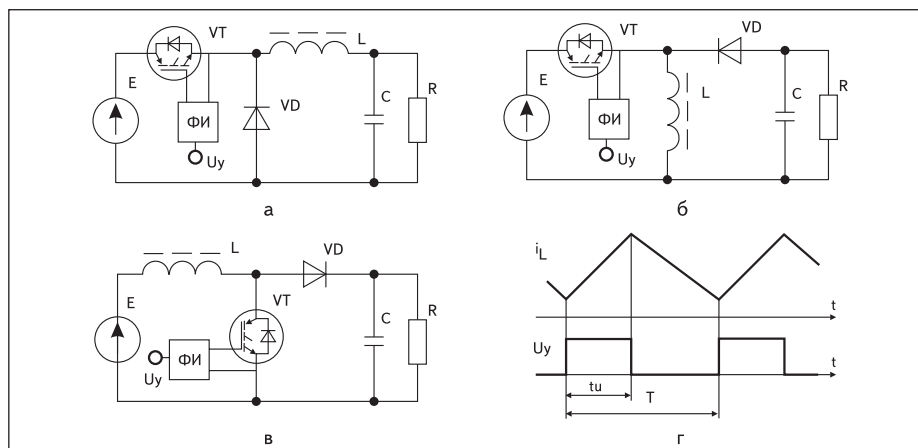


Рис. 1. Преобразователи постоянного напряжения (а — понижающий, б — инвертирующий, в — повышающий, г — зависимость тока индуктивности от управляющего напряжения)

на рис. 4. В зависимости от способа организации обратной связи (по отклонению, по возмущению или комбинированный способ) в системе присутствует ряд датчиков (РА, РV, РТ и др.), нормированный сигнал с которых поступает на входы аналого-цифрового преобразователя (АЦП) управляющего микроконтроллера. С другой стороны, задающее воздействие ($U_{оп}$) поступает в микроконтроллер от внешнего датчика, либо через один из входов АЦП, либо через один из интерфейсов (UART, CAN, SPI и пр.), в случае дистанционного управления. Далее на основе сигналов обратной связи и управляющего воздействия вычисляется отклонение или ошибка выходной величины. После цифровой коррекции и с помощью модулей ШИМ на основе таймеров-счетчиков формируются выходные импульсные последовательности, которые через формирователи импульсов (ФИ) или драйверы управляют работой силовых ключей.

Наличие цифровой коррекции объясняется необходимостью обеспечения заданных статических и динамических характеристик преобразователя при условии сохранения устойчивости работы преобразователя. С точки зрения реализации цифровой коррекции передаточной характеристики микроконтроллер может быть представлен в виде дискретного фильтра, который осуществляет преобразование входной последовательности чисел (или, в случае многих датчиков и переменных — ряда последовательностей) в выходную ($k=0, 1, 2, \dots$). Если не учитывать квантование по уровню, то есть пренебречь конечностью разрядов аналого-цифрового преобразователя и ограничиться линейными операциями, то разностное уравнение (условную программу микроконтроллера) можно представить в следующем виде:

$$y(kT) = \sum_{n=0}^N a_n x[(k-n)T] - \sum_{n=0}^N b_n u[(k-n)T]. \quad (1)$$

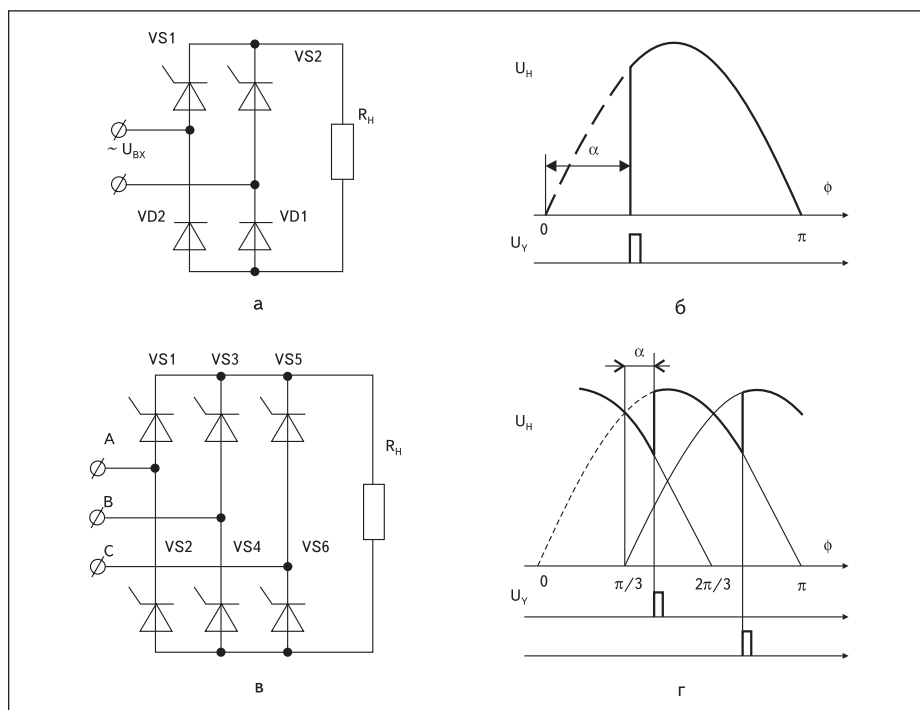


Рис. 2. Преобразователи переменного напряжения в постоянное — выпрямители (а — однофазный, в — трехфазный, б и г — зависимость напряжения нагрузки от напряжения управления)

Рассмотрим в качестве примера реализацию цифрового ПИД-регулятора. Непрерывная передаточная функция такого регулятора описывается следующим выражением:

$$G_c(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + Kd \cdot s, \quad (2)$$

где Kp , Ki , Kd — коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной частей соответственно. Цифровая реализация этого регулятора получается путем замены операций дифференцирования и интегрирования разностными уравнениями. Проведя необходимые математические преобразования, получаем передаточную функцию цифрового ПИД-регулятора в следующем виде:

$$G_c(z) = Kp + Ki \frac{Tz}{z-1} + Kd \frac{z-1}{Tz}. \quad (3)$$

На основании передаточной функции легко получить разностное уравнение, которое описывает алгоритм работы цифрового ПИД-регулятора:

$$y(kT) = \left[Kp + KiT + \frac{Kd}{T} \right] x(kT) - \frac{Kd}{T} x[(k-1)T] + Ki y[(k-1)T]. \quad (4)$$

Легко видеть, что выражение (4) является частным случаем общего выражения (1).

Обобщая, можно сказать, что для реализации цифрового регулятора в современных ис-

точниках питания от микроконтроллера требуются: развитая система ШИМ-модулей на основе таймеров, скоростной аналого-цифровой преобразователь и высокая скорость выполнения базовых математических операций.

Всеми этими особенностями обладают современные 32-разрядные микроконтроллеры. Нами были рассмотрены семейство V850ES/Sx2 (S_Series) от NEC и семейство AT91SAM7S с ядром ARM от Atmel. Общая информация о микроконтроллерах семейства V850ES/Sx2 и AT91SAM7S приведена в таблице 1.

Предпочтение было отдано микроконтроллерам NEC, в основном, по двум причинам.

Во-первых, микроконтроллеры ARM ориентированы на работу в ОЗУ, следовательно, менее устойчивы к воздействию сильных электромагнитных полей, характерных для силовой электроники. В отличие от ARM7, ядро V850ES в рассматриваемых микроконтроллерах принципиально исполняет команды, записанные во Flash-памяти, следовательно, является потенциально более стабильным.

Во-вторых, микроконтроллеры NEC имеют более развитую и интеллектуальную структуру таймеров. Особенности периферийных устройств МК семейства V850ES/Sx2 приведены в таблице 2.

В состав микроконтроллеров входят: девять 16-разрядных таймеров, 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь со временем преобразования 2,6 мкс, полный набор последовательных интерфейсов (CAN, UART, SPI, IIC). Большинство математических операций выполняются за один такт (знаковое умножение 1–5 тактов).

Аналогичные характеристики имеют семейства V850ES/Sx3 и V850ES/Jx2. Микроконтроллеры V850ES/Sx3 могут работать на частотах до 32 МГц и имеют объем Flash-памяти от 256 кбайт до 1 Мбайт, а особенностью V850ES/Jx2 является малая цена, отсутствие интерфейса CAN и объем Flash-памяти от 128 до 640 кбайт.

Основные режимы работы и характеристики таймеров показаны в таблице 3.

Легко видеть, что разнообразие функций, режимов и количество таймеров позволяют реализовать большинство управляющих сигналов традиционных схем источников питания.

Для иллюстрации этого на кафедре промышленной и медицинской электроники Томского политехнического университета при использовании Demonstration Kit EV-V850ES/SG2-EE был разработан прототип преобразователя постоянного напряжения понижающего типа со следующими характеристиками: частота работы ключевого элемента — 20 кГц; входное напряжение — 15 В, выходное напряжение (ток) — 10 В (1–2 А). Был реализован П-регулятор. Диаграммы выходного тока и напряжения при скачкообразном изменении нагрузки показаны на рис. 5.

В качестве средств разработки для микроконтроллеров семейства S_Series могут исполь-

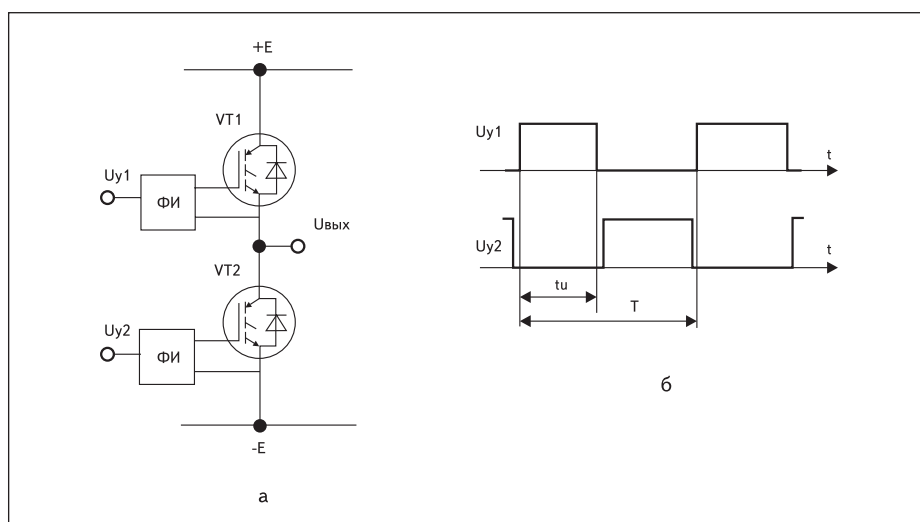


Рис. 3. Двухпозиционный ключевой элемент и диаграммы его работы

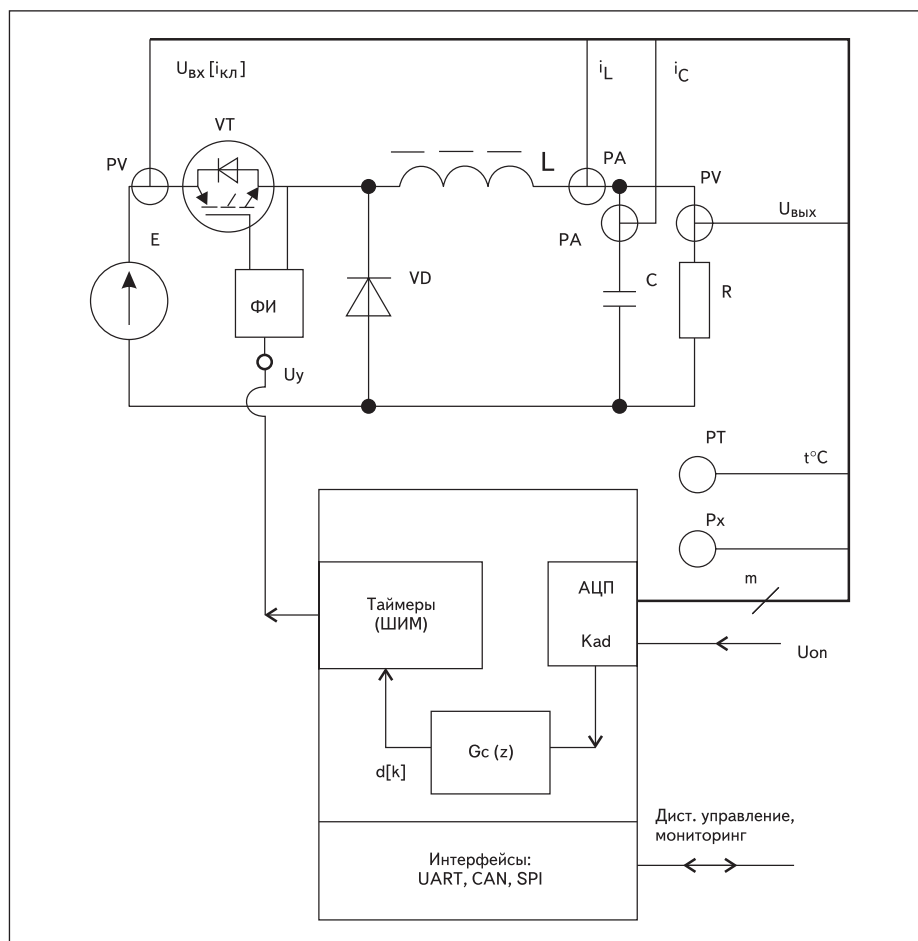


Рис. 4. Обобщенная структурная схема цифрового регулятора на основе микроконтроллера

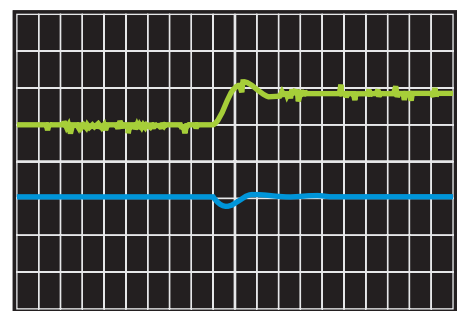


Рис. 5. Верхний луч — ток дросселя, 1 А/дел, ноль в начале координат; нижний луч — напряжение на нагрузке, 5 В/дел., ноль в —3 деления. Временная ось — 2,5 мс/дел

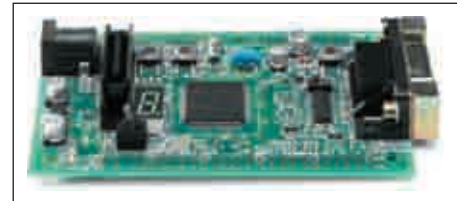


Рис. 6. Оценочный комплект EB-V850ES/SG2-EE

зваться: оценочный комплект EB-V850ES/SG2-EE, JTAG-отладчик QB-V850MINI-EE и полнофункциональный эмулятор QB-V850ESSX2-ZZZ-EE.

Несколько слов об оценочном комплекте EB-V850ES/SG2-EE. Его внешний вид приведен на рис. 6.

Краткие технические характеристики:

- Семейство микроконтроллеров: S_Series (V850ES/Sx2).
- Микроконтроллер: uPD70F3281YGC-8EU.
- Интерфейс CAN: 1 канал.
- Flash-память: 384 кбайт.
- ОЗУ: 32 кбайт.
- Комплектность:
 - источник питания 12 В;
 - кабель UART;
 - программное обеспечение.

В заключение можно сказать, что 32-разрядные микроконтроллеры семейства V850ES/Sx2 благодаря своим отличным характеристикам позволяют легко и быстро реализовать достаточно сложные алгоритмы цифрового управления источниками питания. ■

Литература

1. Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания / Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат. 1990.
2. Севернс Р., Блум Г. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания / Пер. с англ. под ред. Л. Е. Смольникова. М.: Энергоатомиздат. 1988.
3. Багинский Б. А. Бестрансформаторные преобразователи переменного напряжения в постоянное. Томск: Изд-во Том. ун-та. 1990.
4. Цыпкин Я. З. Основы теории автоматических систем. М.: Наука. 1977.

Таблица 1. Общая информация о микроконтроллерах семейств V850ES/Sx2 и AT91SAM7S

Ядро/семейство	Наименование	Flash-память программ, Кбайт	ОЗУ, Кбайт	Производительность во Flash/MIPS, МГц	Напряжение питания, В	Корпус	Периферия	
V850ES/SG2	uPD70F3261	384	32	29/20	2,85–3,6	LQFP100 QFP100	—	84I/O; 5CSIB; 3UART; I2C; Data8/Address 16; 10TIM; PWM9x16; ADC 12x10bit; DAC2x8bit; LIN, 4-ch DMA; LVI; CM; SV; OCD
	uPD70F3263	640	48				CAN	
	uPD70F3281	384	32					
	uPD70F3283	640	48					
V850ES/SJ2	uPD70F3264	384	32	29/20	2,85–3,6	TQFP144	—	128I/O; 6CSI; 4UART; I2C; Data8/Address 16; 13TIM; PWM12x16; ADC 16x10bit; DAC2x8bit; LIN, 4-ch DMA; LVI; CM; SV; OCD
	uPD70F3266	640	48				CAN	
	uPD70F3284	384	32					
	uPD70F3286	640	48					
	uPD70F3288	640	48					2CAN
ARM7TDMI	AT91SAM7S321	32	8	27/30	1,65–1,95/ 3,0–3,6	LQFP64	32I/O; 4TIM; 1SPI; 1UART; ADC8x10bit; USB; 2-Wire; SSC	
	AT91SAM7S64	64	16					
	AT91SAM7S128	128	32					
	AT91SAM7S256	256	64					

Краткие обозначения:

- ADC — аналого-цифровой преобразователь
- CM — узел слежения за опорной частотой
- CSIB — 3-проводной последовательный интерфейс (аналог SPI)
- DMA — контроллер прямого доступа к памяти
- I/O — порты ввода-вывода
- LIN — интерфейс LIN
- LVI — индикатор снижения напряжения питания
- OCD — возможность JTAG-отладки
- PWM — таймеры, работающие в режиме ШИМ
- SV — одно напряжение программирования (возможность самопрограммирования)
- TIM — Общее количество таймеров
- UART — стандартный асинхронный последовательный порт

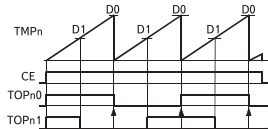
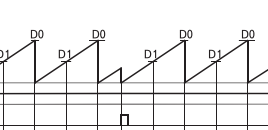
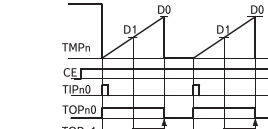
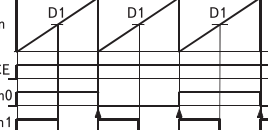
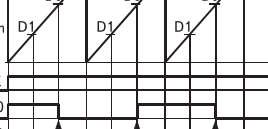
Таблица 2. Особенности периферийных устройств микроконтроллеров семейства V850ES/Sx2

Характеристика	Параметры	Краткое описание
Частота, fx	20 МГц	Внутренняя схема PLL: *4/*8
Память RAM Flash (ROM)	24 ... 48 кбайт 384/640 (256—640) кбайт	64 Мбайт линейного адресного пространства для программ и данных. Внешнее расширение памяти: 16 Мбайт (интерфейс внешней шины с раздельной или мультиплексируемой шиной, 8/16-разрядный)
Порты ввода-вывода	84	40 выводов являются 5 В толерантными с возможностью настройки в режим открытого стока.
Таймеры	1—16p — TMM 6—16p — TMP 1—16p — TMQ	8 независимых 16-разрядных таймеров, причем 7 имеют входы-выходы, режим ШИМ и возможность внешней синхронизации.
Watch timer	1	
Watchdog timer	1	
Интерфейсы UARTA/CSIB* UARTA/IIC CSIB*/IIC CSIB*	1 канал 2 канала 1 канал 3 канала	Все интерфейсы традиционные, без буферов. Разделяют между собой выходы контроллера.
Дополнительно CAN ADC DAC DMA	1 канал 12 каналов 2 канала 4 канала	10 разрядов, минимальное время преобразования 2,6 мкс 8 разрядов, время установления 20 мкс

Примечание:

* CSIB — аналог интерфейса SPI

Таблица 3. Основные режимы работы и характеристики таймеров семейства V850ES/Sx2

Таймер	Режим работы	Описание
TMPn 16 бит, n=0...5	Interval timer mode	 <p>С приходом разрешения (CE) таймер начинает считать. В моменты сравнения выходы (TOPn0 и TOPn1), если они разрешены, изменяют свое состояние на обратное, затем вырываются прерывания по сравнению. Автоматический сброс происходит в момент сравнения 0. Возможна независимая инверсия выходных сигналов.</p>
	External event count mode	Синхронизация осуществляется через внешний вывод TIRn0 (или программно). Этот режим характеризуется теми же диаграммами, что и Interval timer mode.
	External trigger pulse output mode	 <p>С приходом разрешения (CE) таймер ожидает прихода внешнего импульса синхронизации TIRn0 (определенного фронта этого импульса), после чего начинает считать. Выходы изменяют свое состояние в моменты сравнения в соответствии с диаграммой. Сброс таймера происходит либо в момент сравнения 0, либо по внешнему сигналу TIRn0.</p>
	One-shot pulse output mode	 <p>С приходом разрешения (CE) таймер ожидает прихода внешнего импульса синхронизации TIRn0 (определенного фронта этого импульса), после чего начинает считать. Сброс таймера происходит в момент сравнения с 0 и дальнейший счет таймера останавливается до прихода очередного импульса синхронизации TIRn0. Выходы изменяют свое состояние в моменты сравнения в соответствии с диаграммой.</p>
	PWM output mode	 <p>С приходом разрешения (CE) таймер начинает считать. На выходе TOPn0 формируется сигнал типа меандр, частота которого определяется значением D0 регистра сравнения и основной частотой контроллера (с учетом делителя). На выходе TOPn1 формируется широтно-модулированный сигнал, длительность импульса которого определяется значением D1 регистра сравнения.</p>
	Free-running timer mode	 <p>В этом режиме таймер циклически непрерывно считает от нуля до FFFFh, при этом в моменты сравнения может изменяться состояние соответствующих выходов (как показано на диаграмме), либо по внешним сигналам будет осуществляться захват текущего значения таймера. Результат сохраняется в тех же регистрах сравнения.</p>
	Pulse width measurement mode	В этом режиме осуществляется захват текущего значения таймера по внешним сигналам TIRn0 и TIRn1. Результат сохраняется в соответствующих регистрах TIRnCCR0 и TIRnCCR1. В моменты захвата вырываются прерывания.
TMQ0 16 бит		Для этого таймера существуют те же шесть режимов, что и для таймеров TMP. Важная особенность этого таймера — четыре регистра сравнения с соответствующими выводами.
TMM0 16 бит	Interval timer mode	Один регистр сравнения и нет внешних выводов. Этот таймер используется только в интервальном режиме.