

# СЕРТИФИЦИРОВАННАЯ ФЛЭШ-ПАМЯТЬ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО РЫНКА ПРОИЗВОДСТВА WINBOND ELECTRONICS CORPORATION

**winbond**

В статье рассмотрены новые модели последовательной (W25X, W25Q, W25M512) флэш-памяти, разработанные фирмой Winbond специально для автомобильного рынка и сертифицированные в полном соответствии с международным стандартом AEC-Q100. Описаны основные технические характеристики и различные варианты формфакторов этих моделей. Отмечены особенности интерфейса Quad-SPI, который позволяет повысить быстродействие памяти более чем в 8 раз по сравнению со стандартным интерфейсом SPI. Микросхемы последовательной памяти серии W25Q, поддерживающие режим QPI, являются оптимальным решением для различных устройств автомобильной электроники, использующих приложения XIP. Составные микросхемы серии W25M512, содержащие два кристалла в одном стандартном корпусе SOIC-8, увеличивают объем памяти в ограниченном пространстве миниатюрных корпусов и существенно повышают производительность.

## О фирме Winbond Electronics Corporation

Тайваньская фирма Winbond Electronics Corporation (далее — Winbond) создана в сентябре 1987 года. Штаб-квартира компании находится в Центральном тайваньском научном парке, Тайчунг, Тайвань (Central Taiwan Science Park, Taichung, Taiwan) [1]. В 2008 году из состава Winbond была выделена в самостоятельную организацию фирма Nuvoton Technology, целью которой стали разработка и производство микроконтроллеров, микропроцессоров, специальных интегральных сборок на кристалле для компьютерной техники, аудиокодеков и устройств электропитания для бытовой электроники.

Такое разделение позволило Winbond сосредоточить усилия на создании и выпуске различных типов интегральных схем памяти. На сегодняшний день Winbond Electronics

Corporation является одним из ведущих мировых производителей микросхем памяти. Фирма имеет филиалы в США, Японии, Китае, Гонконге и Израиле. В 2016 году суммарный объем продаж фирмы, включая филиалы, превысил \$42 млрд.



Рис. 1. Фирма Winbond производит флэш-память с объемами 1–512 Мбит в миниатюрных корпусах WSON, USON, WLBGA

Компания Winbond специализируется на разработке высокопроизводительных микросхем памяти DRAM, Mobile DRAM, FLASH с низким энергопотреблением, предназначенных для использования в промышленной, автомобильной и бытовой электронике, специальных системах безопасности, компьютерной периферии, приложениях IoT. Также выпускаются комбинированные модели серии Multi Chip Package (MCP) NAND + DRAM для диапазона 1–4 Гбайт и напряжения 1,8 В.

В настоящей статье рассмотрены только некоторые виды флэш-памяти. На сегодняшний день Winbond выпускает следующие ее типы: Serial NOR Flash, Parallel NOR Flash, Serial NAND Flash, SLC NAND Flash, KGD, TrustME Authentication Flash. По данным [2], Winbond занимает четвертое место в мире по производству SPI NOR флэш-памяти. В линейке продукции Winbond есть флэш-память с объемом 1–512 Мбит в современных миниатюрных корпусах WSON, USON, WLGBA с размерами лишь несколько миллиметров (рис. 1).

Производство с технологией кристаллов 12 дюймов размещено в городе Тайчунг, цеха фирмы оснащены самым современным оборудованием. Технологии, используемые на заводе Winbond, позволяют обрабатывать 300-мм кремниевые пластины, что дает возможность изготавливать любые серии памяти FLASH, DRAM и Mobile DRAM. Особое внимание компания уделяет контролю техпроцессов, что подтверждается сертификатами ISO 9001, TS 16949, QC 080000, ISO 14001 и OHSAS 18001. Все модели памяти проходят процедуру тестирования KGD (Known Good Die) до того, как будут размещены в корпусе.

В линейке продукции присутствуют модели флэш-памяти NOR, NAND TrustMETM, Secure Flash Memories с параллельным и последовательным интерфейсом. Также производятся модели с поддержкой, как SPI NAND, так и SLC NAND.

Предназначенные для систем безопасности, модели памяти TrustME Secure Flash Memory соответствуют стандартам защищенности информационных технологий Common Criteria EAL 5+.

Модели памяти SpiFlash family выпускаются объемами 512 кбайт — 512 Мбайт в миниатюрных 8-контактных корпусах. Кроме того, изготавливаются модели в корпусах 16-SOIC и 24-BGA, предназначенные для работы в широком диапазоне напряжений 1,8–3 В, с быстродействием до 104 МГц. Также следует отметить модели параллельной флэш-памяти с логикой NOR и объемами 32–512 Мбайт, которые полностью соответствуют международному стандарту GL.

В классе памяти с объемами 1–4 Гбайт Winbond выпускает модели, удовлетворяющие требованиям стандартов JEDEC и ONFI. Специально для профессиональных систем безопасности разработаны модели SpiNOR типа Serial NAND с объемами 1–2 Гбайт с функцией непрерывного чтения.

Также следует назвать модели последовательной NAND-памяти, выполненные в конструктиве BGA, со встроенными системами eMMC, определяющими архитектуру, состоящую из интерфейса MMC, флэш-памяти и контроллера. Некоторые модели памяти, предназначенные для промышленных и автомобильных приложений, сертифицированы в соответствии с AEC-Q100, TS 16949, ISO 9001/14001, OHSAS 18001.

### **Модели флэш-памяти для автомобильной электроники с последовательным интерфейсом SPI серий W25X, W25Q и W25M512**

Еще 20–30 лет назад электрика автомобиля предусматривала в своем составе зажигание, фары, звуковой сигнал и радио.

Сегодня автомобильная электроника представляет собой сложную систему диагностики и контроля, которая контролирует такие системы, как управление агрегатами и приборами автомобиля; блоки управления светом; стекло-

подъемники; сигнализация; замки; антипробуксовка и антиблокировка колес; удаленная диагностика работы автомобиля и состояния водителя; удаленная блокировка двигателя и дверей; курсовая устойчивость; управление подушками безопасности; парковка и навигация; панорамное и ночное видение; беспроводная телекоммуникационная связь; аварийные вызовы; системы зарядки батарей; системы управления работой электродвигателей и многое другое.

Для координирования всех этих функций в современном автомобиле используются сотни датчиков и исполнительных механизмов, действующих под управлением центрального компьютера и периферийных микроконтроллеров. Для хранения и обмена данными в таких системах необходимы большие объемы памяти. Многие из перечисленных устройств работают в режиме реального времени, что, в свою очередь, требует высокого быстродействия микросхем памяти. Кроме того, к автомобильным микросхемам памяти предъявляются повышенные требования к рабочему температурному диапазону, устойчивости к вибрациям и ударам, пыли- и влагозащищенности, а также к способности эксплуатироваться в условиях агрессивных сред.

Специально для автомобильных приложений фирма Winbond создала микросхемы последовательной флэш-памяти серии W25X, W25Q и W25M512. Серии W25X, W25Q относятся к классу Serial NOR Flash с логической функцией «ИЛИ-НЕ».

В общем случае последовательная флэш-память Serial NOR — это одна из разновидностей энергонезависимой памяти (nonvolatile memory) с транзисторными запоминающими ячейками, которые программируются электрическим способом. В памяти с логической функцией «NOR — ИЛИ-НЕ» каждая ячейка подключена к двум перпендикулярным линиям — битов (bit line) и слов (word line). Суть логической операции NOR заключается в переходе линии битов в состояние «0». Такая организация ячеек обеспечивает произвольный доступ к данным и побайтную запись информации.

Фирма Winbond производит два типа флэш-памяти: с параллельным (parallel) и с последовательным (serial) интерфейсами. Микросхемы с последовательным интерфейсом предназначены в основном для хранения небольших массивов данных в малогабаритных или специализированных устройствах, где не нужны высокие скорости обмена данными. В параллельных микросхемах скорость обмена значительно больше: здесь обычно хранятся коды BIOS современных компьютеров.

В некоторых типах микросхем флэш-памяти можно выбирать тип порта — последовательный или параллельный с приоритетом передачи различного рода информации по одному из портов.

В категории последовательной флэш-памяти, предназначенной для автомобильного рынка, будут рассмотрены три серии.

Серия W25X поддерживает стандартный, одинарный последовательный интерфейс SPI и двоярный последовательный интерфейс Dual-I/O SPI.

Серия W25Q может работать как с SPI и Dual-I/O SPI, так и со счетверенным последовательным интерфейсом Quad-SPI.

Новая серия W25M512 представляет собой двухкристальную микросхему многофункциональной флэш-памяти.

Архитектура составного чипа (Multi chip package — MCP) позволяет увеличить возможные режимы работы конечного устройства одновременно с его миниатюризацией.

Следует обратить внимание на то, что модели W25Q256JBxJG, W25Q256JBxBG, W25Q256JBxAG, W25M512JBxJG8, W25M512JBxBG8, W25M512JBxAG8 поддерживают режим DTR (Double Transfer Rate). В режиме DTR устройство передает и принимает данные в соответствии с передним и задним фронтами импульсов синхронизации.

Остальные модели серий W25X и W25Q могут работать только в режиме Single Transfer Rate (STR), в котором устройство начинает получать данные по переднему фронту, а передавать по заднему фронту синхроимпульсов.

Серии W25X, W25Q и W25M512 соответствуют международному автомобильному стандарту AEC-Q100, разработанному Automotive Electronic Committee, куда входят такие мировые лидеры автомобильной индустрии, как Chrysler, Ford Motor, Delco Electronics и другие. В стандарте AEC-Q100 регламентируются температурный диапазон, вибрация, пыле- и влагонепроницаемость, защита от статического электричества, надежность пайки, устойчивость памяти к электромагнитным наводкам и другие параметры. Подробное описание стандарта AEC-Q100 выходит за рамки данной статьи [3].

Отметим только, что в AEC-Q100 выделено пять рабочих температурных диапазонов:

- Grade 0: -40...+150 °C;
- Grade 1: -40...+125 °C;
- Grade 2: -40...+105 °C;
- Grade 3: -40...+85 °C;
- Grade 4: 0...+70 °C.

Требования к системам управления, производства и контроля качества предприятий, занимающихся разработкой, изготовлением, установкой и обслуживанием продукции автомобильной промышленности, описываются в стандарте ISO/TS 16949. Фирма Winbond в своих маркетинговых буклетах и технической документации подчеркивает, что ее предприятия сертифицированы в соответствии с данным стандартом.

В серию W25X входят шесть моделей — W25X20CVxxJG, W25X20CVxxBG, W25X20CVxxAG; W25X40CVxxJG, W25X40CVxxBG, W25X40CVxxAG, которые различаются между собой объемом памяти (2 и 4 Мбит), температурным диапазоном, конструктивом, напряжением питания. Наименования и основные характеристики серий W25X, W25Q, W25M, сертифицированных в соответствии со стандартом AEC-Q100, приведены в таблице 1 [4].

В наименованиях микросхем флэш-памяти Winbond принята следующая символика:

- 1-й символ «W» — производитель Winbond;
- 2-4-й символы «25Q» — серия;
- 5, 6-й символы «16» — объем памяти (16 Мбит);
- 7-й символ «V» — напряжение питания (2,7–3,6 В);
- 8, 9-й символы — тип корпуса: SN = SOIC/VSOP 150 mil, SS/S = SO8 208 mil, SF/F = SO16 300 mil, ZP/P =

WSON8, 6×5 mm, ZE/E = WSON8 8×6 mm, UX = USON 8 pad 2×3 mm, TC/C = TFBGA24 8×6 mm (4×6 matrix), TB/B = TFBGA24 8×6 mm (5×5 matrix), ZT = 8 pin TSSOP 173 mil, WL = 8-ball WLCSP, Y = 32-ball WLCSP.

- 10-й символ «J», «B (I)», «A» — температурный диапазон в соответствии со стандартом AEC-Q100 (Grade 1, 2, 3);
- 11-й символ «G» или «Q» — бессвинцовая технология Green Package (Lead-free, RoHS Compliant, Halogen-free (TBBA), Antimony-Oxide-free Sb2O3).

Микросхемы памяти в корпусах, отмеченных в таблице 1 индексом «\*» (например, ZE\*, TC\*, TB\*), выпускаются по специальному заказу. Также рекомендуется предварительно уточнять у производителя наличие моделей на температурные диапазоны G1, G2.

### Основные характеристики серии W25X

Серия W25X — это хорошо знакомые пользователям микросхемы SpiFlash Family NOR с объемом памяти 512 кбит — 4 Мбит и тактовой частотой 75 МГц. Последовательный интерфейс серии может работать в режимах One Output SPI и Dual Output SPI. Размеры страницы, сектора и блока составляют соответственно 256, 4 и 64 кбайт.

Микросхемы выдерживают до 100 000 циклов записи/стирания и могут хранить информацию в течение 20 лет.

В моделях этой серии реализована гибкая архитектура, позволяющая посекторно (4 кбайт) и блочно (32 и 64 кбайт) стирать информацию.

Запись по страницам размером до 256 кбайт осуществляется менее чем за 2 мс. Напряжение питания 2,7–3,6 В. Ток потребления в нормальном режиме 5 мА.

Температурный диапазон, в соответствии с AEC-Q100, составляет, в зависимости от модели, G1, G2 или G3. Серия выпускается в корпусах SO8 150 mil и SO8 208 mil. Относительно новой в этой серии является простая бюджетная модель, реализуемая в корпусе 8 pin TSSOP 173 mil. Более подробную информацию о микросхемах данной серии можно найти на сайте производителя [5].

### Характеристики серии W25Q

Серия W25Q отличается от серии W25X тем, что, кроме стандартного SPI и сдвоенного Dual-I/O SPI, может работать с Quad-SPI.

В таблице 2 показаны наименование и назначение выводов моделей серии W25Q для корпусов SOIC/VSOP 208-mil WSON 6×5 mm. Для новой модели W25Q10EW в корпусе WLCSP наименования и расположение выводов несколько отличаются от приведенных в таблице 2 [6].

Все модели серий, представленных в таблице 1, поддерживают работу последовательного периферийного интерфейса SPI (Serial Peripheral Interface), через который память (ведомое устройство) подключается к микроконтроллеру, выполняющему роль ведущего устройства.

Таблица 1. Основные характеристики серий W25X, W25Q, W25M

Объем памяти, Мбит	Напряжение питания, В	Конструктив	Температурный диапазон, АЕС-Q100
<b>512 кбит</b>			
W25X05CLxxAG	2,7–3,6	xx = (SN, ZP, ZT)	G3
<b>1 Мбит</b>			
W25Q10EWxxAG	1,65–1,95	xx = (SN, UX, WL)	G3
<b>2 Мбит</b>			
W25X20CVxxJG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, UX*)	G1
W25X20CVxxBG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, UX*)	G3
W25X20CVxxAG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, UX*)	G2
<b>4 Мбит</b>			
W25X40CVxxJG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, UX*)	G1
W25X40CVxxBG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, UX*)	G3
W25X40CVxxAG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, UX*)	G2
W25Q40CVxxJG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, UX*)	G1
W25Q40CVxxBG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, UX*)	G3
<b>8 Мбит</b>			
W25Q80DVxxJG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, UX*, TC*, TB*)	G1
W25Q80DVxxBG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, UX*, TC*, TB*)	G3
W25Q80DVxxAG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, UX*, TC*, TB*)	G2
<b>16 Мбит</b>			
W25Q16DVxxJG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, TC*, TB*)	G1
W25Q16DVxxBG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, TC*, TB*)	G3
W25Q16DVxxAG	2,7–3,6	xx = (SS, SN, ZP*, TC*, TB*)	G2
W25Q16DWxxJG	1,65–1,95	xx = (SS, SN, ZP*, TC*, TB*)	G1
W25Q16DWxxBG	1,65–1,95	xx = (SS, SN, ZP*, TC*, TB*)	G3
W25Q16DWxxAG	1,65–1,95	xx = (SS, SN, ZP*, TC*, TB*)	G2
<b>32 Мбит</b>			
W25Q32BVxxJG	2,7–3,6	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G1
W25Q32BVxxBG	2,7–3,6	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G3
W25Q32BVxxAG	2,7–3,6	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G2
W25Q32FWxxJG	1,65–1,95	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G1
W25Q32FWxxBG	1,65–1,95	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G3
W25Q32FWxxAG	1,65–1,95	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G2
<b>64 Мбит</b>			
W25Q64CVxxJG	2,7–3,6	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G1
W25Q64CVxxBG	2,7–3,6	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G3
W25Q64CVxxAG	2,7–3,6	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G2
W25Q64FWxxJG	1,65–1,95	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G1
W25Q64FWxxBG	1,65–1,95	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G3
W25Q64FWxxAG	1,65–1,95	xx = (SS, SF, ZP, ZE*, TC*, TB*)	G2
<b>128 Мбит</b>			
W25Q128BVxxJG	2,7–3,6	x = (S7, F, E, C*, B*)	G1
W25Q128BVxxBG	2,7–3,6	x = (S7, F, E, C*, B*)	G3
W25Q128BVxxAG	2,7–3,6	x = (S7, F, E, C*, B*)	G2
W25Q128FWxxJG	1,65–1,95	x = (S7, F, E, C*, B*)	G1
W25Q128FWxxBG	1,65–1,95	x = (S7, F, E, C*, B*)	G3
W25Q128FWxxAG	1,65–1,95	x = (S7, F, E, C*, B*)	G2
<b>256 Мбит</b>			
W25Q256FVxxJG	2,7–3,6	x = (F, E, C*, B*)	G1
W25Q256FVxxBG	2,7–3,6	x = (F, E, C*, B*)	G3
W25Q256FVxxAG	2,7–3,6	x = (F, E, C*, B*)	G2
W25Q256JvxxJG	2,7–3,6	x = (F, E, C*, B*)	G1
W25Q256JvxxBG	2,7–3,6	x = (F, E, C*, B*)	G3
W25Q256JvxxAG	2,7–3,6	x = (F, E, C*, B*)	G2
<b>512 Мбит</b>			
W25M512JVFIQ	2,7–3,6	x = (C, B, F, E)	G3
W25M512JVEIQ	2,7–3,6	x = (C, B, F, E)	G3
W25M512JVBIQ	2,7–3,6	x = (C, B, F, E)	G3
W25M512JVCIQ	2,7–3,6	x = (C, B, F, E)	G3

Примечание. \* Выпускаются по специальному заказу.

Протокол SPI реализует алгоритм обмена данными между двумя сдвиговыми регистрами ведущего и ведомого, каждый из которых одновременно выполняет функции и приемника, и передатчика в соответствии с синхронизирующими импульсами, генерируемыми внешним микроконтроллером.

В стандартном варианте одинарного интерфейса S-SPI для обмена данными используются четыре линии: CS, CLK, DO, DI.

Линия CS активирует или деактивирует работу памяти. Если CS находится в низком состоянии, то данные могут быть записаны в память по линии DI или считаны из памяти по линии DO. Процесс записи или чтения определяется в режиме STR по переднему и заднему фронтам синхронизирующих импульсов (линия CLK). Для некоторых моделей возможен также режим DTR одновременного чтения и записи данных.

Линия WP предназначена для защиты регистра Status Register от начала записи. В зависимости от состояния битов BP2, BP1, BP0 и регистра Status Register Protect вся память или только определенная ее часть могут быть защищены от записи.

Линия HOLD (вывод #7) позволяет удерживать память в режиме паузы, несмотря на то, что устройство активировано и CS находится в низком состоянии. Бит QE регистра Status Register 2 позволяет выбрать назначение вывода #7 — HOLD или RESET. Поэтому микроконтроллер может либо перезапустить память, либо удерживать ее в состоянии ожидания. В микросхемах с корпусом SOIC-16 для RESET предусмотрен отдельный вывод.

На рис. 2 показана диаграмма работы памяти W250Q в режимах S-SPI, D-SPI, Q-SPI, QPI.

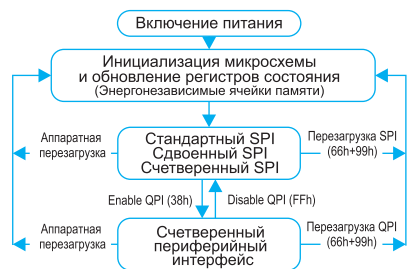


Рис. 2. Диаграмма работы памяти серии W25Q в режимах S-SPI, D-SPI, Q-SPI, QPI

Таблица 2. Назначение выводов моделей серии W25Q для корпусов SOIC/V SOP 208-mil WSON 6x5 mm

Номер вывода	Название	Ввод/вывод (I/O)	Назначение	
1	/CS	I	Chip Select Input	Выбор чипа
2	DO (IO <sub>1</sub> )	I/O	Data Output (Data Input/Output #1)	Вывод данных (Ввод/вывод данных #1 для режимов S-SPI и D-SPI)
3	/WP (IO <sub>2</sub> )	I/O	Write Protect Input (Data Input/Output #2)	Вход защиты записи (Ввод/вывод данных #2 для режима Q-SPI)
4	GND		Ground	Земля
5	DI (IO <sub>0</sub> )	I/O	Data Input (Data Input/ Output #0)	Ввод данных (Ввод/вывод данных #0 для режимов S-SPI и D-SPI)
6	CLK	I	Serial Clock Input	Ввод тактовых импульсов
7	/HOLD or /RESET (IO <sub>3</sub> )	I/O	Hold or Reset Input (Data Input/Output #3)	Ввод/вывод данных #3 для режима Q-SPI
8	VCC		Power Supply	Напряжение питания

В базовом варианте память начинает функционировать в стандартном режиме SPI с разрядностью 1 бит. Данные принимаются по линии DI (Data Input, контакт 5, IO<sub>0</sub>) и передаются по линии DO (Data Output, контакт 2, IO<sub>1</sub>).

Команды Fast Read Dual Output, 3Bh и Fast Read Dual I/O, BBh переводят память в режим Dual SPI, при котором линия DI (IO<sub>0</sub> #5 ввод данных) и DO (IO<sub>1</sub> #2 вывод данных) становятся двунаправленными. Таким образом, линии IO<sub>0</sub> и IO<sub>1</sub> в режиме Dual SPI используются одновременно и для вывода данных (IO<sub>0</sub>), и для ввода данных (IO<sub>1</sub>).

Практически режим Dual SPI увеличивает разрядность обмена данными вдвое. Поэтому режим Dual SPI можно назвать двухбитовым протоколом последовательной передачи данных. Такая схема позволяет читать и записывать данные в 2–3 раза быстрее по сравнению со стандартным режимом S-SPI. Остальные линии в режиме Dual SPI работают так же, как и в обычном режиме S-SPI. Режим Dual SPI является оптимальным для случаев, когда нужно быстро запустить загрузчик сразу после включения питания. Также этот режим полезно использовать для некритичных во времени процессов загрузки непосредственно с шины SPI.

Режим Quad SPI позволяет преобразовать с помощью мультиплексирования однобитовую двунаправленную шину в четырехбитовую шину. В режим Quad SPI микросхемы памяти серии W25Q переводятся командами Fast Read Quad Output (6Bh), Fast Read Quad I/O (EBh), Word Read Quad I/O (E7h), Octal Word Read Quad I/O (E3h). При этом бит Quad Enable регистра Status Register-2 принимает значение (QE=1). Это, в свою очередь, приводит к тому, что DI и DO становятся двунаправленными (IO<sub>0</sub> и IO<sub>1</sub>), линия WP начинает выполнять функции IO<sub>2</sub>, а линия HOLD начинает работать, как IO<sub>3</sub>. Иными словами, технология Quad SPI разрешает увеличить разрядность передаваемых данных до четырех. Таким образом, Quad SPI дает возможность памяти серии W25Q работать в 6–8 раз быстрее по сравнению с вариантом стандартного одинарного интерфейса SPI. Поэтому технология Quad SPI позволяет обрабатывать программы непосредственно из исходного носителя. Этот метод, в котором выполнение программы реализуется непосредственно из исходного носителя, в англоязычной технической литературе получил название Execute In

Place (XIP). В качестве примера можно привести микросхему памяти W25Q, которая применяется в Intel Compute Stick для хранения кода UEFI BIOS, без копирования кода в оперативную память. Аналогичный подход может быть использован и в автомобильных бортовых компьютерах. Это позволяет говорить о том, что микросхемы последовательной памяти серии W25Q, имеющие сертификат AEC-Q100 и оптимизированные для XIP-приложений, найдут широкое применение в различных устройствах автомобильной электроники.

Следует обратить внимание на то, что в режиме Quad SPI функции WP, HOLD и RESET недоступны, поскольку соответствующие линии заняты под IO<sub>2</sub> и IO<sub>3</sub>.

Режим Quad Peripheral Interface (QPI) включается с помощью команды Enter QPI (38h).

В этом режиме для обмена данными используются те же линии, что и в режиме Quad SPI: IO<sub>0</sub>, IO<sub>1</sub>, IO<sub>2</sub>, IO<sub>3</sub>. Разница между указанными режимами заключается в том, что в режиме QPI, кроме увеличения разрядности шины в четыре раза, оптимизирована передача управляющих команд.

В стандартном варианте SPI командный код передается по линии DI со смещением в восемь тактовых импульсов (рис. 3).

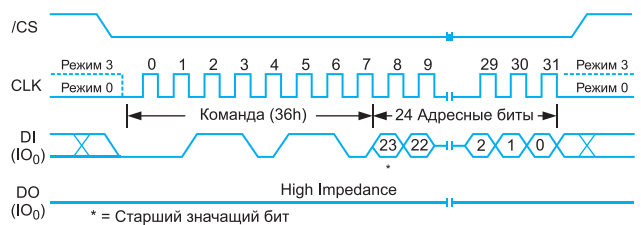


Рис. 3. Структурная схема передачи данных и командных кодов в стандартном варианте SPI

В режиме QPI для передачи командного кода задействованы все четыре линии IO<sub>0</sub>, IO<sub>1</sub>, IO<sub>2</sub>, IO<sub>3</sub>. Поэтому задержка составляет всего два тактовых импульса (рис. 4).

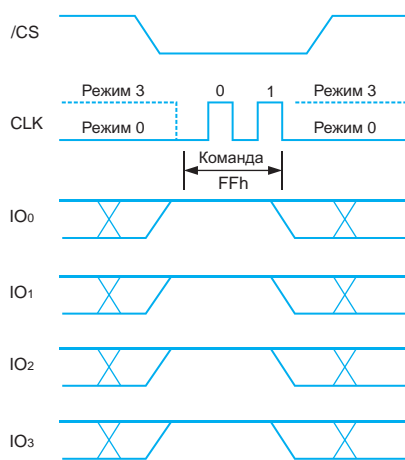


Рис. 4. Структурная схема передачи данных и командных кодов при работе микросхем памяти серии W25Q в режиме QPI

Таким образом 8-битный командный код передается за два такта, что в четыре раза быстрее по сравнению со стандартным вариантом SPI. Следовательно, сокращается и время отработки новой команды.

Режимы SPI Standard/Dual/Quad и QPI несовместимы. Если работает QPI, то SPI Standard, Dual SPI, Quad SPI в этот момент недоступны. Для переключения между этими режимами применяются команды Enter QPI 38h и Exit QPI (FFh). При включении питания или при перезагрузке (RESET — 99h) микросхемы памяти W25Q стартуют в режиме SPI Standard/Dual/Quad.

При использовании XIP приходится иметь дело с условными переходами, выборочным доступом к мелким фрагментам и частым изменением адреса по нерегулярному закону. С этой точки зрения микросхемы последовательной памяти серии W25Q, поддерживающие режим QPI, являются оптимальным решением для различных устройств автомобильной электроники, стартовое время которых не столь критично.

Следует обратить внимание, что не все модели серии W25Q, показанные в таблице 1, поддерживают режим QPI. Поэтому наличие данной опции необходимо уточнять в подробной технической документации производителя [7].

Модели серии W25Q256JV имеют три регистра состояния (Status) и регистр конфигурирования (Configuration Registers). Команды регистров состояния чтения (Read Status Register-1/2/3) используются для контроля параметров состояния памяти, например разрешение или запрет записи, режим работы интерфейса, адресация и т. д.

Команды регистров записи (Write Status Register) предназначены для конфигурирования функции защиты определенных разделов памяти от записи, Quad SPI, OTP, Hold/Reset, а также других отмеченных выше параметров.

Разрешение на запись в регистрах состояния устанавливается в битах Status Register Protect/Lock bits — SRP, SRL. Как уже было сказано, в режимах Standard/Dual SPI функции HOLD/RESET могут контролироваться через соответствующий вывод (WP).

Стандартное ПО для моделей серии содержит 48 команд, которые позволяют полностью контролировать работу в режимах Standard/Dual/Quad SPI. Работа этой группы команд инициализируется при выборе устройства (Chip Select — CS). Режим QPI контролируется с помощью других 35 команд. Структурная схема переходов между различными режимами показана на рис. 2. В каждом отдельном случае структура команд может меняться от одного до нескольких байт. Кроме того, различные команды могут содержать байты адреса, байты данных, а также их комбинации. Основные команды синхронизируются по переднему фронту. Отработка команд для SPI/QPI DTR синхронизируется по переднему и заднему фронтам тактовых импульсов. Подробно регистры и команды памяти серии W25Q описаны в технической документации на каждую модель.

Для программирования памяти серии W25Q можно использовать универсальные SPI-программаторы, такие, например, как Ostorpus или UsbAsp [8].

Из основных технических характеристик серии W25Q можно отметить следующие:

- непрерывное чтение с выборкой 8/16/32/64 байт;
- гибкая архитектура с секторами по 4 кбайт;
- универсальный процесс стирания «Сектор 32/64 кбайт» и «Блок 4 кбайт»;
- страничное программирование 1–256 байт;
- программно-аппаратная защита записи данных;
- защита однократно программируемых регистров (One Time Programmable — OTP) и основного массива данных;
- защита регистров от записи до следующего включения питания;
- стандартная методика SFDP определения параметров SPI Flash;
- уникальный серийный номер — 64 бит;
- стандартный идентификатор ID — JEDEC;
- три дополнительных защитных регистра, каждый по 256 байт;
- минимальное количество циклов «запись/стирание» — 100 000;
- гарантированный срок хранения данных — 20 лет.

Другие технические характеристики серии W25Q в целом аналогичны отмеченным выше для серии W25X. Подробная техническая документация доступна на сайте winbond.com.

Из новых моделей серии W25Q следует обратить внимание на W25Q10EW: 1 Мбит, 1,8 В, конструктив 8 pin SOIC/VSOP 150-mil, 8-pad USON8 2×3 mm, 8-ball WLCSOP. Также представляет интерес модель W25Q256J: 256 Мбит, 3 В, 133 МГц, конструктив WSON8 8×6 mm. Отличительной чертой этой модели является функция Dual Transfer Rate (DTR), которая позволяет существенно улучшить производительность процесса чтения без увеличения тактовой частоты. С помощью специальной команды DTR поддерживаются режимы Standard/Dual/Quad SPI и QPI. В этом режиме чтение входного адреса и выходных данных данных активируется как по переднему, так и по заднему фронту тактовых импульсов.

Также следует отметить, что в модели W25Q256JV используются два типа адресации, позволяющие идентифицировать любой байт во всем массиве памяти: 3 или 4 байт. Режим 3-байтовой адресации совместим с более старыми моделями последовательной флэш-памяти с объемами до 128 Мбит. В моделях с объемами более 256 Мбит необходим дополнительный регистр адресации. Новый 4-байтовый вариант адресации можно использовать с моделями объемом

256 Мбит — 32 Гбит. В этом случае не требуется дополнительный адресный регистр.

Модель W25Q256JV выпускается в корпусах: 16-pin SOIC 300 mil, 24-ball TFBGA 8×6 mm (6×4 Ball Array), 8-pad WSON 8×6 mm, 24-ball TFBGA 8×6 mm (5×5 Ball Array).

### Серия W25M512JV

Серия W25M512JV представляет собой последовательную флэш-память объемом 512 Мбит, в которой в одном стандартном 8-контактном корпусе размещены два кристалла описанной выше модели W25Q256JV. Эта конструкция, получившая название Multi Chip Package (MCP), позволяет увеличить память в ограниченном пространстве корпуса микросхемы (рис. 5).

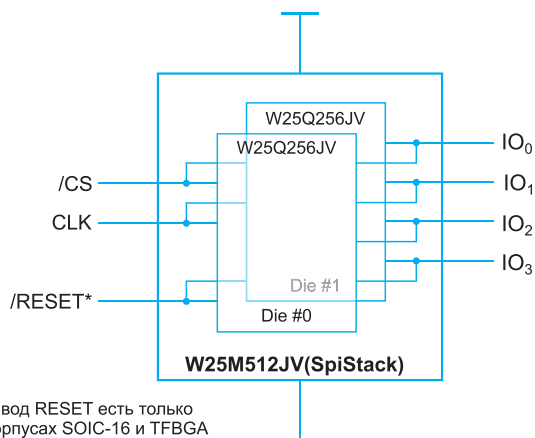


Рис. 5. Структура составной памяти серии W25M512JV

Маркетинговое название данной серии — W25M SpiStack.

Программное обеспечение серии содержит новые команды: Software Die Select — C2h (выбор кристалла) и Die ID# (заводской идентификационный номер кристалла). Каждый из кристаллов может работать независимо от другого. Программное обеспечение SpiStack позволяет в каждый момент контролировать работу конкретного кристалла и избегать коллизий на общей шине интерфейса SPI. Модели серии W25M512JV поддерживают все функции, приведенные выше для серии W25Q256JV, в том числе: Standard SPI, Dual I/O SPI, Quad I/O SPI, Serial Clock, Chip Select, Serial Data I/O<sub>0</sub> (DI), I/O<sub>1</sub> (DO), I/O<sub>2</sub>, I/O<sub>3</sub>, MDPE (Multi Die Program/Erase), DTR, SFDP (Discoverable Parameters Register) и другие.

Каждая из двух микросхем имеет структуру памяти, разбитую на страницы по 256 байт (131 072 страниц). Запись осуществляется постранично. Стирание может быть организовано секторами (16×4 кбайт), блоками (128×32 кбайт) или страницами (256×64 кбайт). Также можно одновременно очистить всю память.

В настоящее время выпускаются четыре модели (рис. 6) — W25M512JVFIQ, W25M512JVEIQ, W25M512JVBIQ, W25M512JVCIQ в корпусах SOIC-16 300 mil, WSON-8 8×6 mm, TFBGA-24 8×6 mm (5×5-1 Ball Array), TFBGA-24 8×6 mm (6×4 Ball Array).



Рис. 6. Серия W25M512JV выпускается в корпусах SOIC-16 300mil, WSON-8 8×6mm, TFBGA-24 8×6mm, TFBGA-24 8×6mm

Наличие моделей с другими температурными диапазонами необходимо дополнительно уточнять у производителя.

Как отмечается в статье [9], технология SpiStack имеет большие перспективы. Например, в принципе можно объединять в одном корпусе кристаллы памяти 64 Мбит SpiFlash NOR и 1 Гбит NAND в последовательную память. Различные комбинации NOR и NAND позволяют создавать новые устройства со сложными логическими функциями «ИЛИ-НЕ/И-НЕ».

Преимуществами логики NOR являются быстрый произвольный доступ и возможность побайтной записи. В микросхемах последовательной памяти NAND ячейки подсоединяются к битовой линии сериями, что снижает эффективность и скорость операции чтения. Однако при этом повышается скорость стирания и программирования. Комбинированные системы NOR/NAND предоставляют возможность оптимально использовать преимущества каждого типа устройств.



### Литература

1. [www.winbond.com/hq/about-winbond/company-profile/overview/?\\_\\_locale=en](http://www.winbond.com/hq/about-winbond/company-profile/overview/?__locale=en)
2. [www.technology.ihc.com/572634/mobile-and-embedded-memory-market-tracker-q4-2016](http://www.technology.ihc.com/572634/mobile-and-embedded-memory-market-tracker-q4-2016)
3. [www.aecouncil.com/AECDdocuments.html](http://www.aecouncil.com/AECDdocuments.html)
4. [www.winbond.com/export/sites/winbond/product/files/SerialFlashProductSelectionGuide021116.pdf](http://www.winbond.com/export/sites/winbond/product/files/SerialFlashProductSelectionGuide021116.pdf)
5. [www.winbond.com/hq/support/resources/datasheet/?\\_\\_locale=en&line=/product/code-storage-flash-memory/&family=/product/code-storage-flash-memory/serial-nor-flash/](http://www.winbond.com/hq/support/resources/datasheet/?__locale=en&line=/product/code-storage-flash-memory/&family=/product/code-storage-flash-memory/serial-nor-flash/)
6. [www.winbond.com/resource-files/w25q10ew\\_revh%2001162017.pdf](http://www.winbond.com/resource-files/w25q10ew_revh%2001162017.pdf)
7. [www.winbond.com/hq/support/resources/datasheet/?\\_\\_locale=en&line=/product/code-storage-flash-memory/&family=/product/code-storage-flash-memory/serial-nor-flash](http://www.winbond.com/hq/support/resources/datasheet/?__locale=en&line=/product/code-storage-flash-memory/&family=/product/code-storage-flash-memory/serial-nor-flash)
8. [www.easyelectronics.ru/usb-programmator-avr-usbasp.html](http://www.easyelectronics.ru/usb-programmator-avr-usbasp.html)
9. [www.electronics-eetimes.com/news/winbond-stacks-nor-and-nand-dies-8-pin-memory-package](http://www.electronics-eetimes.com/news/winbond-stacks-nor-and-nand-dies-8-pin-memory-package)