

объектом (УСО) для работы с реальным объектом в условиях агрессивной окружающей среды.

1.3.2.1 Порты ввода-вывода

Каждый процессор для встраиваемых применений имеет некоторое количество внешних линий ввода-вывода, подключенных к внешним выводам микросхемы и называемых внешними портами. Одиночные (одноразрядные, состоящие из одной линии) порты ввода-вывода объединяются в группы обычно по 4, 8 или 16 линий, которые называются параллельными портами. Разрядность параллельных портов может быть нестандартной, например, 5-разрядный порт у микроконтроллера PIC16F84.

Через порты процессорное ядро взаимодействует с различными внешними устройствами: считывает значения входных сигналов и устанавливает значения выходных сигналов.

Во встраиваемых системах в качестве внешних устройств чаще всего рассматриваются датчики, исполнительные устройства, устройства ввода-вывода данных оператором, устройства внешней памяти.

По типу сигнала различают порты:

1. Дискретные (цифровые) – используются для ввода-вывода дискретных значений логического «0» или «1».

В большинстве современных процессоров для встраиваемых применений поддерживается как независимое управление каждой линией параллельного порта, так и групповое управление всеми разрядами. Так как схемотехника отдельных линий в рамках одного 4-, 8- или 16-разрядного порта одинакова, то дальше будут рассматриваться устройство и функционирование одиночного разряда.

2. Аналоговые – через них вводятся сигналы на вход АЦП или других аналоговых схем и выводятся выходные сигналы ЦАП или других аналоговых схем.

Аналоговые порты (или перестраиваемые порты в аналоговом режиме) используются подключения внешних сигналов к ЦАП, АЦП или аналоговым компараторам, встроенным приемопередатчикам. В режиме работы с ЦАП, АЦП или компаратором порты обычно позволяют вводить сигнал в диапазоне от 0В- до $U_{пит+}$ (индексы + и – означают чуть больше и чуть меньше, примерно на 200-300мВ). В режиме приемопередатчика параметры сигналов определяются конкретным интерфейсом. В большинстве случаев аналоговые или цифровые линии подключения к приемопередатчикам вообще не называют портами, хотя они по схемотехнике и по месту в структуре процессора близки к универсальным портам ввода-вывода. Реализация входных и выходных каскадов зависит от схемы АЦП, компаратора, ЦАП или приемопередатчика.

3. Перестраиваемые – настраиваются на аналоговый или цифровой режим работы.

По направлению передачи сигнала различают:

1. Однонаправленные порты, предназначенные только для ввода (входные порты, порты ввода) или только для вывода (выходные порты, порты вывода).
2. Двухнаправленные порты, направление передачи которых определяется в процессе программно управляемой настройки схемы.
3. Порты с альтернативной функцией. Отдельные линии этих портов связаны со встроенными периферийными устройствами, такими, как таймер, контроллеры последовательных приемопередатчиков. Если соответствующий периферийный модуль не задействован, то линии можно использовать как обычные порты, если модуль активизирован, то связанные с ним линии автоматически или «вручную» (программно) конфигурируются в соответствии с функциональным назначением и не могут быть использованы в качестве универсальных портов ввода-вывода. В некоторых случаях порты могут использоваться только для связи с периферийным модулем (например, входы АЦП в некоторых процессорах).

По алгоритму обмена различают порты:

1. С программно управляемым (программным) вводом-выводом: установка и считывание данных определяется только ходом вычислительного процесса. Нет защиты от повторного считывания-записи одного и того же (неизменившегося) значения на выводе и считывания-записи во время переходного процесса на выводе.
2. Со стробированием: каждая операция ввода-вывода подтверждается импульсом синхронизации (стробом) со стороны источника сигнала (при выводе – процессор, при вводе – внешнее устройство). Считывание информации приемником происходит только по стробу, что позволяет защититься от приема данных во время переходного процесса входного сигнала. Пример: порт PSP (Parallel slave port) в ОКМЭВМ PICmicro.
3. С полным квитированием. Данный режим чаще всего используется для обмена данными с другой вычислительной системой по параллельной шине. Кроме сигналов синхронизации со стороны передатчика используются сигналы подтверждения (готовности к следующему обмену) со стороны приемника. Это позволяет управлять интенсивностью обмена обеим взаимодействующим сторонам и предотвращает потерю данных, когда одна из них перегружена. Пример порта с квитированием – порт LPT персонального компьютера. Во встроенных модулях процессоров данный режим чаще всего реализуется программно-аппаратно.

1.3.2.2 Дискретные порты ввода-вывода

В большинстве современных процессоров для встраиваемых применений поддерживается как независимое управление каждой линией параллельного порта, так и групповое управление всеми разрядами. Так как схемотехника отдельных линий в рамках одного 4-, 8- или 16-разрядного порта одинакова, то дальше будут рассматриваться устройство и функционирование одиночного разряда.

1.3.2.3 Однонаправленные порты

Схема однонаправленного порта ввода представлена на рис. ниже.

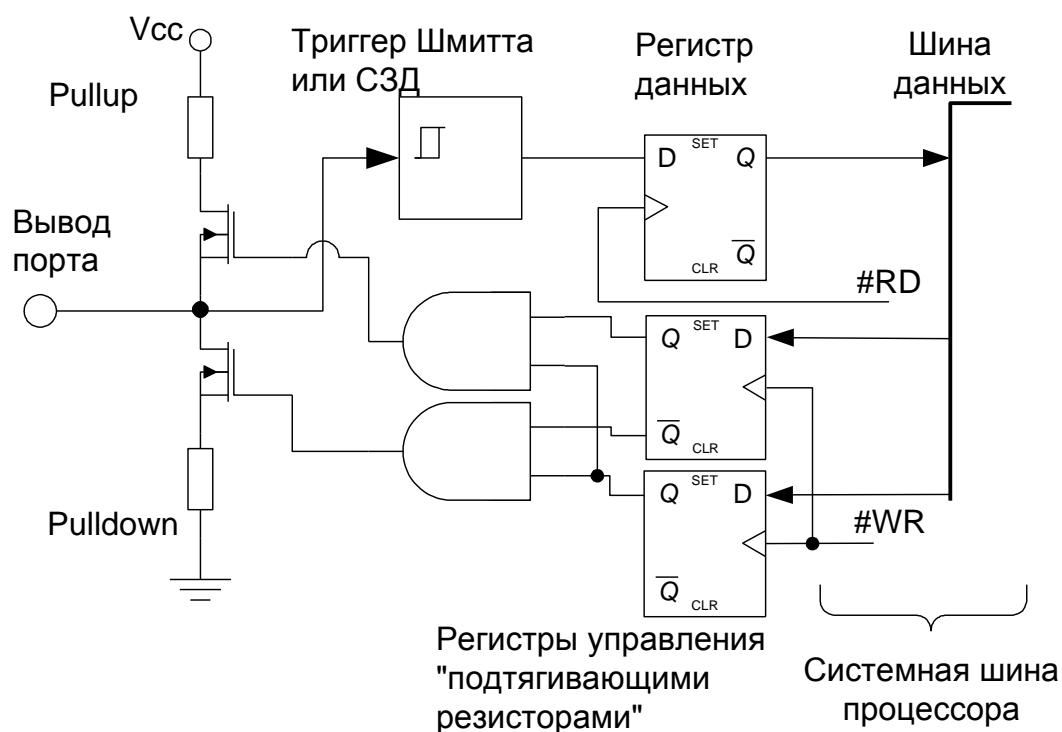


Рис. 7. Однонаправленный порт ввода

Внешние данные считываются через вывод порта (ножку микросхемы), проходят через триггер Шмитта (ТШ) или схему защиты от дребезга (СЗД) и по внутреннему сигналу чтения фиксируются в регистре данных, с выхода которого, в свою очередь, данные считываются процессором.

ТШ (используется в большинстве процессоров для встроенного применения) имеет гистерезис по уровню входного напряжения и предотвращает многократное переключение входных схем при пологом фронте сигнала или помехах.

СЗД (например, в семействе Zilog Z8) вводит инерционность переключения и отсекает реакцию на короткие по длительности импульсы. Используется для защиты от помех.

К входу также могут подключаться так называемые «резисторы поддержки» логической «1» (Pull-up) или логического «0» (Pull-down). Эти резисторы предназначены для перевода входов в устойчивое состояние «0»

или «1» и предотвращения произвольных переключений от помех в моменты, когда на них (входы) не подается внешний сигнал, например, неиспользуемых и не подключенных к внешним схемам входов («открытых входов»). Через специальные управляющие регистры «схемы поддержки» могут быть отключены полностью или включены в режим Pull-up или Pull-down.

Все перечисленные блоки: триггер Шмитта, СЗД и «схемы поддержки» – используются для защиты от случайных переключений в результате помех и помогают снизить энергопотребление, которое резко возрастает в момент переключений входных схем.

Порты вывода бывают:

- С двухтактной выходной схемой (комплементарные).
- С одноктактной выходной схемой и внутренней нагрузкой.
- С открытым выходом (открытым коллектором или стоком).

Порты вывода с двухтактной выходной схемой являются самыми распространенными и реализованы, например, в семействах Atmel AVR, Microchip PICmicro, AMD AM186, Motorola HC08, HC11 и многих других.

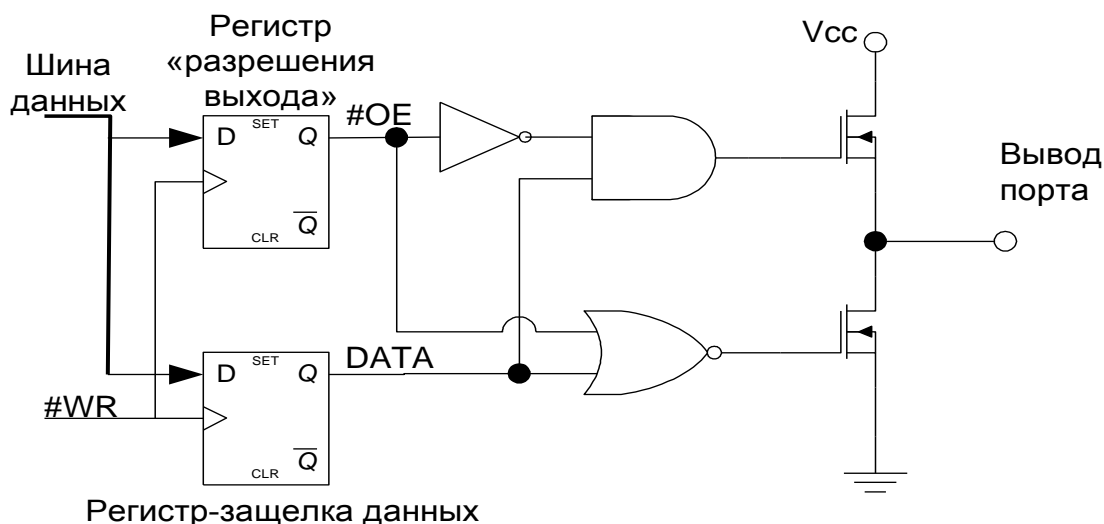


Рис. 8. Порт вывода с двухтактной схемой

Рассмотрим функционирование данной схемы.

Выходные данные записываются в регистр-защелку данных по внутреннему сигналу записи #WR и через простейшую логическую схему управляют выходными транзисторами. Если в регистр записано значение «1», то открыт верхний по схеме транзистор, а нижний закрыт: на выводе порта Vcc (логическая «1»). Если в регистр записано значение «0», то открыт нижний по схеме транзистор, а верхний закрыт: вывод порта соединен с минусовой шиной питания, т.е. там установлен «0».

На схеме верхний регистр управляет сигналом #OE – «разрешение выходов». Если в регистр записан «0», то схема работает, как было описано выше. Если записана «1», то оба транзистора закрываются и схема переводится в «высокоомное» состояние (Z-состояние). В этом состоянии выходное сопротивление порта очень высокое и он фактически «оторван» от микропроцессора. Это необходимо:

- Если к выходному порту подключены выходы других схем и необходимо разделять линии передачи данных с этими устройствами. Например: наш процессор используется как периферийный контроллер и его выходной порт подключен к периферийной шине другого процессора (мастера), к этой же шине подсоединены еще несколько периферийных контроллеров.
- В схемах двунаправленных портов (см. ниже).

Достоинство:

Максимальные значения втекающего (в состоянии «0») и вытекающего (в состоянии «1») тока выхода составляют 2-6мА для каскадов с нормальной нагрузочной способностью (например, Fujitsu MB90) и 5-30мА для каскадов с повышенной нагрузочной способностью (например, PICmicro, AVR). Встречаются отдельные микросхемы со сверхвысокой нагрузочной способностью – до 60-90мА (например, PIC17). Большой выходной ток позволяет непосредственно с ножки, без схем усиления и согласования сигнала, управлять достаточно мощной нагрузкой: светодиодами, реле, мощным электронным ключом (транзистор, тиристор). Это значительно упрощает схему устройств.

Недостатки:

- При программировании необходимо управлять дополнительным битовым регистром «разрешение выхода».
- Значительное энергопотребление и уровень помех при переключении. Последний особенно зависит от скорости переключения. Для ограничения токов в момент переключений иногда используют специальные демпфирующие схемы. Однако они снижают быстродействие портов. Наибольшее применение демпфирующие схемы находят в портах ПЛИС в силу их особо высокого быстродействия.
- Относительно сложная внутренняя схема, повышающая сложность и стоимость микросхемы в целом. Однако на нынешнем этапе, в связи с успехами технологии производства микросхем, это уже не является проблемой.

Порты вывода с одноканальной выходной схемой и внутренней нагрузкой применяются, например, в семействе MCS-51. Они имеют более простую внутреннюю схему.

Когда в регистр-защелку записано значение «1», транзистор закрыт и на выходе через резистор R_L устанавливается V_{CC} – логическая «1». Когда же в регистр-защелку записан «0», открывается транзистор и соединяет выход с минусовой шиной питания, т.е. там устанавливается «0». При этом резистор R_L оказывается подключенным между шинами питания. Во избежание высокого тока через резистор и его перегрева сопротивление делают достаточно высоким 10-100кОм. Высокое сопротивление резистора позволяет непосредственно соединять несколько выходов, не опасаясь их встречного включения, так как если «0» на одном из выходов «подсадит» «1» на другом, то мощность, выделяемая на «подсаженном» резисторе будет мала, он не перегреется и каскад не выйдет из строя.

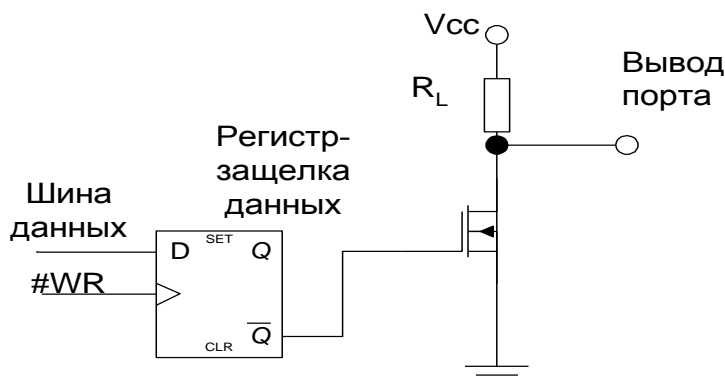


Рис. 9. Порт вывода с одноканальной схемой

Достоинства:

- Необходимо управлять только одним регистром.
- Простая схема.
- Возможность без дополнительных схем организовать подключение на одну внешнюю шину несколько таких выходов. Легко построить квазидвухнаправленный порт ввода-вывода (см. ниже).

Недостаток:

Малый вытекающий ток (в состоянии «1»), ограниченный резистором R_L – сотни мкА. Это не дает управлять относительно мощными нагрузками без дополнительных каскадов усиления либо требует обеспечивать, чтобы активным был сигнал со значением «0» («управление нулем»).

Порты вывода с открытым выходом (открытым коллектором или стоком)

Применяются во многих семействах микропроцессоров, например, AMD Am186 (там это один из режимов порта), PICmicro. Выходной каскад построен

по одноконтурной схеме с внешней нагрузкой. Принцип функционирования аналогичен описанному для одноконтурного выходного каскада.

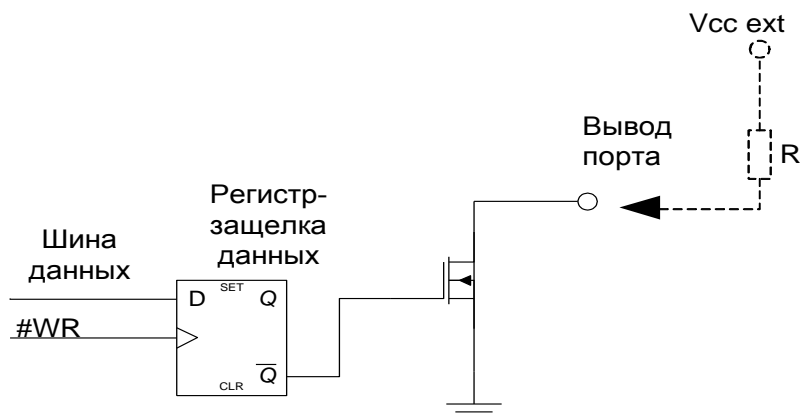


Рис. 10. Порт вывода с открытым выходом

Достоинства:

- Внешнее напряжение питания нагрузки $V_{cc\ ext}$ может быть иным – большим или меньшим, чем питание микропроцессора. Это может быть удобным для сопряжения схем с различными уровнями логической «1», например, 3,3В и 5В. Если внешнее напряжение достаточно высокое, то можно непосредственно управлять высоковольтной нагрузкой. Например, анонсирован микроконтроллер семейства PICmicro допускающий подключение внешнего напряжения $V_{cc\ ext}$ до 15В при питании ядра 2-6В.
- Необходимо управлять только одним регистром.
- Простая схема.
- Возможность без дополнительных схем организовать подключение на одну внешнюю шину несколько таких выходов. При этом можно подбирать требуемое сопротивление R_L , например, стандарт I2C требует чтобы сопротивление было 2.2кОм. Легко построить квазидвухнаправленный порт ввода-вывода (см. ниже).

Недостатки:

- Требуется внешняя нагрузка.
- Малый вытекающий ток (в состоянии «1»), ограниченный внешним нагрузочным резистором.

1.3.2.4 Двухнаправленные порты и порты с альтернативной функцией

Самой простой схемой двухнаправленного порта является квазидвухнаправленный порт со схемой, аналогичной схеме порта вывода с одноконтным выходным каскадом.

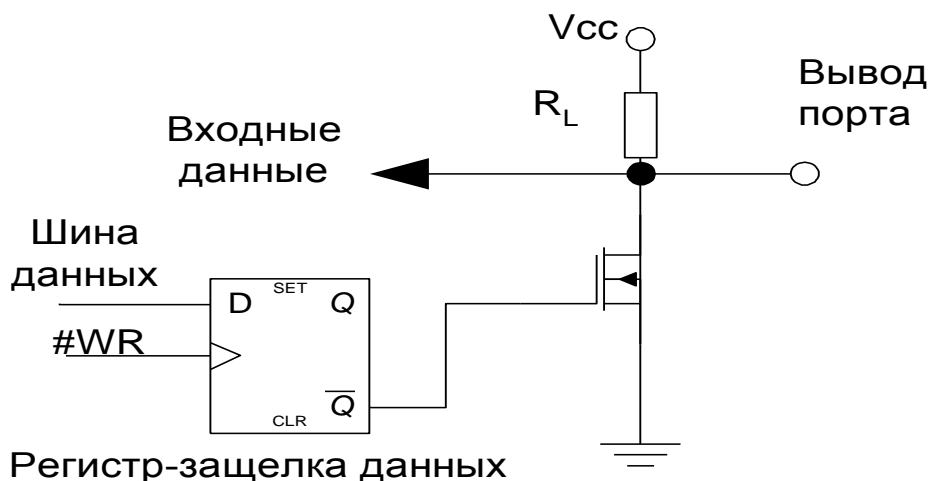


Рис. 11. Квазидвухнаправленный порт

Регистр входных данных (на схеме не показан) подключен к внешнему выводу порта. Перед считыванием входных данных необходимо предварительно записать «1» в регистр-защелку выходных данных. Это закроет транзистор и исключит влияние порта вывода на входной сигнал. Резистор R_L останется подключенным к входному сигналу и будет являться для него дополнительной нагрузкой, но, так как сопротивление резистора велико (10-100кОм), даже на маломощный входной сигнал данная нагрузка не окажет заметного влияния. Схема квазидвухнаправленного порта применяется в семействе MCS-51.

Более часто используется схема переключаемого двухнаправленного порта с комплементарным выходным каскадом.

Она объединяет схемы порта ввода и порта вывода с двухтактной выходной схемой, описанные выше. Переключение порта в режим ввода осуществляется записью «1» в регистр «вход/выход». В этом случае (как было указано при описании порта вывода) оба транзистора переводятся в закрытое состояние и порт вывода не влияет на входной сигнал. В двухнаправленных портах резисторы pull-up и pull-down подключаются только в режиме ввода, для чего на вход соответствующей схемы управления подключается выход регистра «вход/выход» («1» - ввод).

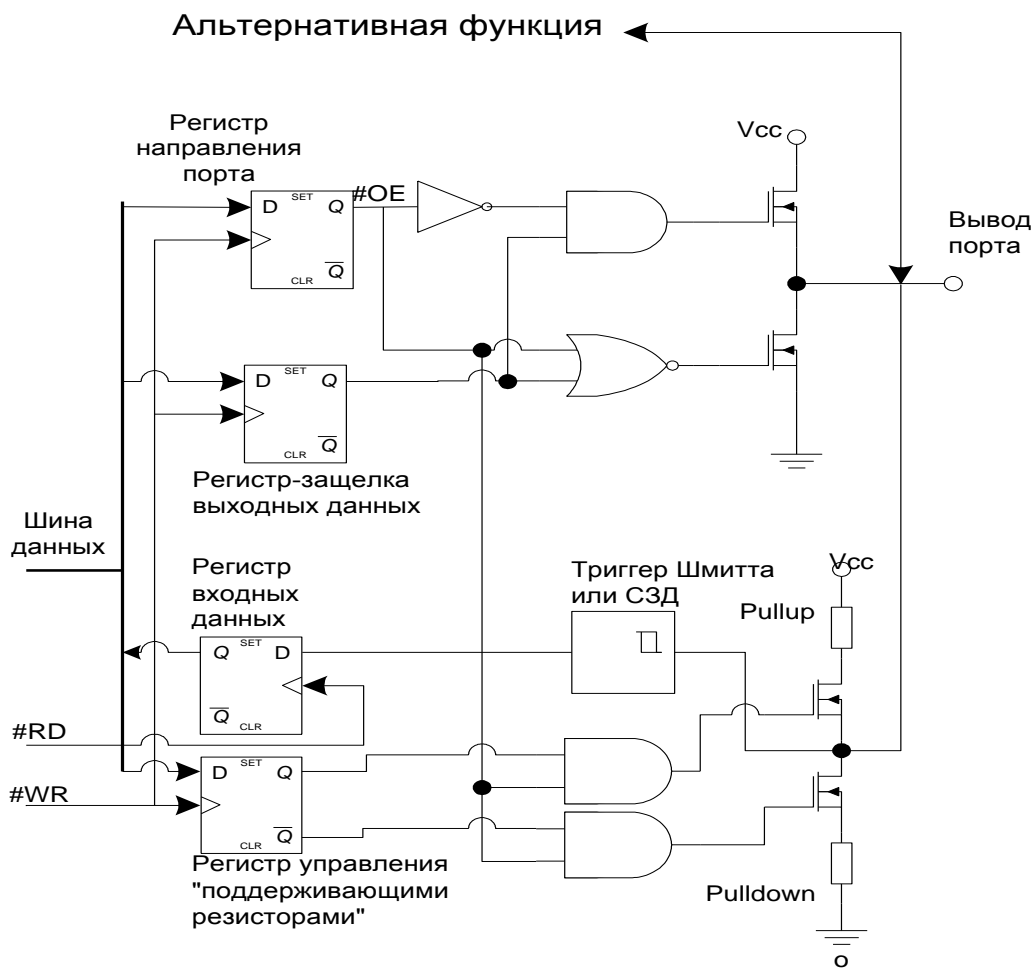


Рис. 12. Переключаемый двунаправленный порт с комплементарным выходным каскадом

Кроме исполнения функции порта ввода-вывода внешние выходы микросхемы могут быть задействованы для связи с внутренними периферийными модулями микропроцессора, а также с подсистемами процессорного ядра, схем памяти и управления (с контроллером прерываний, блоком интерфейса внешней памяти и т.п.). Данные функции называются альтернативными. Обычно, когда вывод порта используется для выполнения альтернативной функции, основные схемы переводятся в состояние ввода или вообще отключаются.