Лаб. 2 Порты ввода вывода

Цель:

Получить представление о:

- схемотехнике порта В/В

*чтоб понять:*

*- что и как можно подключать*

*- откуда могут появляться задержки*

- подтягивающий резистор

- логический сигнал

- двунаправленная линия

- способах конфигурации порта

- регистры

- режимы работы В/В

- функции SPL(?)

### Параллельный ввод-вывод

Подсистема предназначена для ввода или вывода логических сигналов того же стандарта, что и в МК, т.е. для связи МК с устройствами, которые воспринимают или формируют такие сигналы.

Такие выводы (входы или выходы) весьма универсальны, поэтому в МК их делают много (десятки).

Сколько понадобится выходов и сколько входов, заранее сказать трудно, для разных задач бывает по-разному. Поэтому делают универсальные выводы, которые можно переключать в режим входа или в режим выхода.

Это открывает возможность делать «двунаправленную» линию, которая может соединять два или более устройств. Для этого достаточно соединить между собой два вывода, каждый из которых обладает свойством двунаправленности.

В двунаправленной линии нельзя допускать, чтобы больше одного устройства находилось в режиме «выход», поскольку в этом случае состояние сигнала на линии может быть неопределенным.

К дискретным входам-выходам логических элементов, входящих в состав микроконтроллера, хочется подключать:

Другие логические элементы того же стандарта.

Электрически ничего сопрягать не надо. Есть только ограничения на количество входов, которое можно подключать к одному выходу, а также максимальная длина линии связи. Это вещи взаимосвязанные, поскольку в обоих случаях ограничение на подключаемую к выходу электрическую емкость (см. далее). При соблюдении этих ограничений не происходит искажения логических сигналов, формируемых выходом ЛЭ.

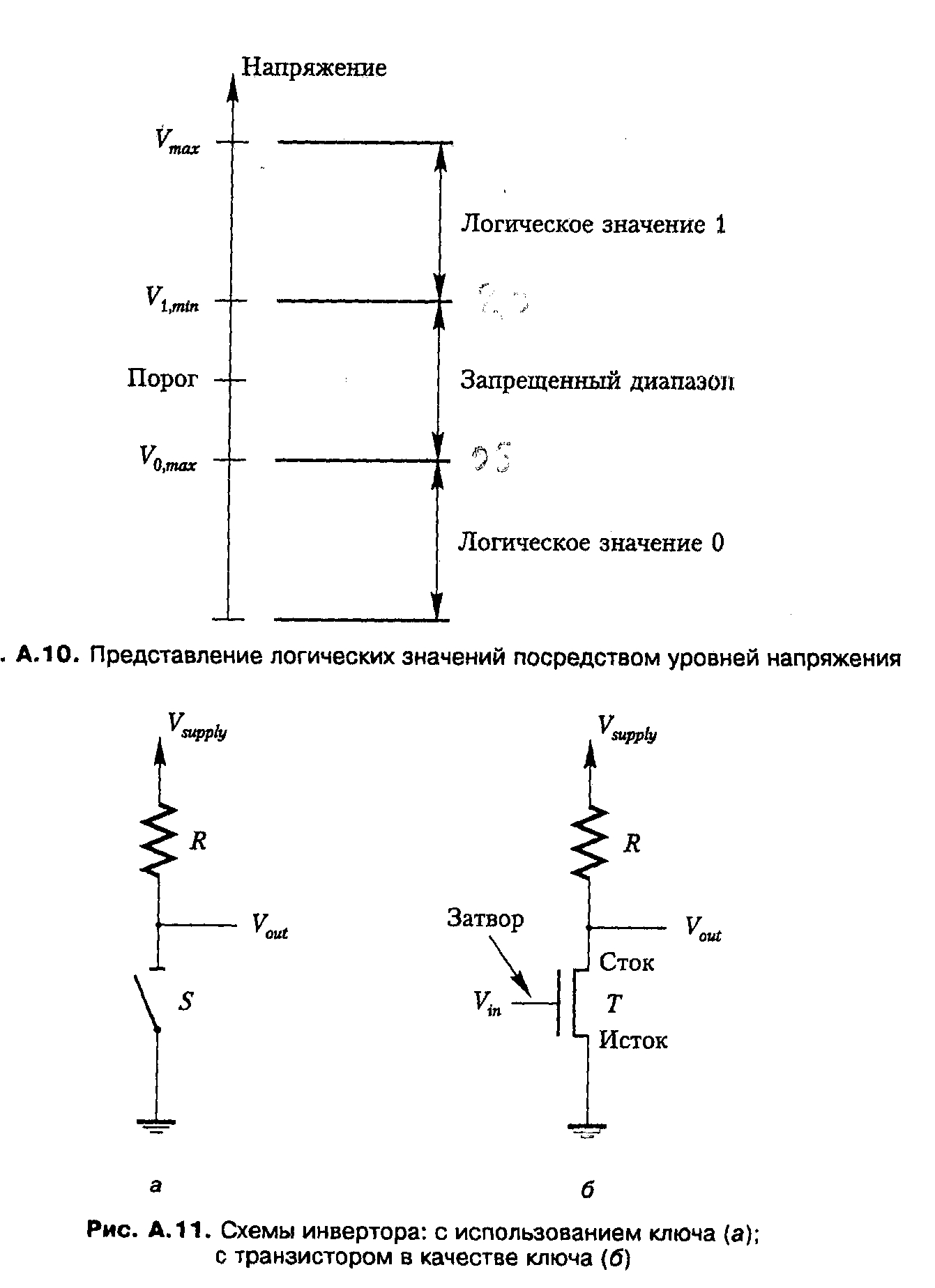
Датчики/исполнительные устройства,   
которые формируют или воспринимают два уровня сигнала с параметрами, отличающимися от стандартных логических сигналов. Требуется сопряжение. При подключении возможно а) искажение стандартных уровней сигналов (не страшно, поскольку для подключенного устройства не требуется стандартных сигналов); б) возникновение режимов, недопустимых для логических выводов (страшно, схемотехника может иногда выйти из строя).

При сопряжении с нестандартными устройствами в ходе проектирования иногда приходится учитывать низкоуровневые (схемотехнические, электрические, тепловые ...) свойства элементов. Некоторые из этих вопросов обсуждаются далее.

(Что такое «стандартные логические сигналы»?)

Какие параметры логических сигналов существенны: (где-то надо объяснить, почему существенны)

Напряжения  
 напряжения «нуля» и «единицы», формируемого выходом

  
Рис.1

допустимые величины «нуля» и «единицы», которые можно подавать на вход

Токи  
 токи, потребляемые входом ЛЭ (слишком большое значение этого тока изменяет напряжения   
 «нуля» и «единицы»)  
 допустимые величины втекающего/вытекающего тока выхода

Емкости  
 емкости логических входов. Наличие этих емкостей замедляет процессы переключения и, как следствие, накладывает ограничение на количество входов, которые можно одновременно подключить к выходу.

Времена  
 времена переключения на выходах  
 допустимые времена переключения на входах

Чем в логической микросхеме определяются значения выходных уровней сигналов?

напряжением питания  
 цепями, подключенными к выходу

Простейшая схема выходной цепи логического элемента содержит последовательно соединенные переключательный элемент (МОП транзистор) и резистор *R*. При малом напряжении *Uin* на входе транзистора, отсчитываемом относительно «земли» (логический 0) транзистор закрыт ‑ находится в непроводящем состоянии. На выходе – напряжение *Uout*, близкое к напряжению источника питания, которое изображает «логическую 1».

Если на входе транзистора напряжение соответствует логической 1 (близко к напряжению источника питания), то транзистор находится в проводящем состоянии и соединяет выход элемента с «землей», на выходе напряжение близко к нулю (лог.0).

Такой транзисторно-резисторный элемент выполняет операцию логической инверсии.



а) б)

Рис.2

Элементы на базе транзисторно-резисторной схемы имеют несколько недостатков.

1) Если элементы, подключенные к выходу, потребляют от этого выхода ток *I+*, это приводит к уменьшению уровня «логической единицы»: 

2) При «логическом нуле» элемент потребляет (впустую) от источника постоянный ток, равный . При этом, правда, втекающий ток *I‑* почти не влияет на выходное напряжение, поскольку сопротивление открытого МОП-транзистора составляет 10…30 Ом и величина  не превышает 0,1…0,2 В.

3) Цепи, подключенные к выходу логического элемента, всегда обладают некоторой (паразитной) емкостью. При переключении требуется некоторое время на перезаряд этой емкости. Время перезаряда тем больше, чем больше емкость, чем больше перепад между уровнями 1 и 0, и чем меньше перезаряжающий ток. При переключении из 1 в 0 ток разряда емкости протекает через малое сопротивление открытого транзистора (так же, как и ток *I‑*), и перезаряд происходит быстро. Однако при переключении из 0 в 1 (когда транзистор переходит в непроводящее состояние) емкость заряжается через резистор *R,* который нельзя сделать малым (см. недостаток 2).

Все три указанных недостатка отсутствуют в «*комплементарной»* схеме формирования выходного логического сигнала – рис. справа

В этой схеме на месте резистора использован еще один МОП транзистор с *обратным* типом проводимости. Он не проводит при управляющем напряжении *Uin-*=0 (измеряемом от напряжения источника питания ‑ см. обозначение на схеме), и начинает проводить при управляющем напряжении меньше приблизительно -1В. Затворы двух МОП транзисторов соединены вместе.

При входном напряжении, равном нулю (лог.0) нижний транзистор заперт, а верхний проводит и подключает выход к напряжению питания (лог.1 на выходе). Если входное напряжение элемента соответствует лог.1 (вблизи напряжения питания), то состояния транзисторов обратные: верхний транзистор закрыт (разрыв цепи), а нижний проводит и соединяет выход элемента с «землей».

Такой элемент не имеет ни одного из упомянутых ранее недостатков:   
 ‑не происходит искажения уровня лог.1,  
 ‑ паразитная емкость заряжается так же быстро, как и разряжается, поскольку сопротивление верхнего транзистора существенно меньше, чем у резистора).   
 ‑ при отсутствии переключений один из двух последовательно включенных транзисторов заперт (состояние разрыва цепи) и ток от источника питания потребляется только на перезаряд паразитной емкости во время переключений.

Такая схемотехника называется *комплементарной* К-МОП, она используется в подавляющем большинстве современных цифровых электронных устройств.

Комплементарный элемент имеет еще некоторые особенности. Во время переключения в части почти во всех реализациях процесс открывания одного из транзисторов протекает быстрее, чем процесс запирания другого. Кроме того, может существовать интервал входных напряжений, при котором оба транзистора оказываются в полуоткрытом состоянии. При нормальной работе такие значения входного сигнала элемента существуют в течение очень короткого времени, соизмеримого со временем переключения элемента (единицы наносекунд), однако в этот короткий интервал сквозной ток через комплементарную пару может быть значительным.

В некоторых микросхемах их производители принимают специальные меры для ограничения величины сквозного тока. Для этого выполняют один из транзисторов таким, что он имеет более высокое сопротивление в открытом состоянии (чаще это верхний транзистор комплементарной пары). Такое решение приводит к тому, что допустимые величины втекающего (в «землю») и вытекающего (из шины питания) тока оказываются различными. Такое свойство приходится учитывать в частности, при подключении к логическому выходу «нестандартных» элементов, например светодиодов.

Этот процесс может вызывать значительные импульсные воздействия (помехи) на соседние элементы, особенно на аналоговые (усилители, АЦП и т.п.). Если же какие-либо из входов элементов никуда не подключены, «висят в воздухе» (незадействованные, «лишние» входы, то на некоторых из них упомянутые промежуточные значения входного сигнала могут существовать в течение долгого времени Это может приводить к повышению тока, потребляемого от источника питания (иногда значительному), и даже в редких неудачных случаях – к выходу элементов из строя.

Поэтому в технических руководствах часто можно встретить рекомендации не оставлять незадействованных входов, а ненужные входы подключать к источникам логического сигнала, которые для них являются неактивными (не вызывают нежелательных действий).

В части микросхем такое соединение делается производителем: внутри кристалла устанавливаются дополнительные высокоомные резисторы, которые обеспечивают на входе определенное значение логического сигнала. Английское название для них: pull-up, если они соединяют вход с шиной питания и задают на входе высокий уровень сигнала, либо pull-down, если они соединяют вход с шиной «земли» (русского эквивалента этих терминов нет). Наличие таких резисторов необходимо учитывать при проектировании. Фактически роль резисторов в КМОП микросхемах выполняют МОП транзисторы, находящиеся постоянно в «полуоткрытом» состоянии.



Рис.3

Иногда логика работы проектируемого устройства такова, что на вход необходимо подать постоянное значение сигнала, противоположного тому, которое обеспечивает внутренний резистор. В этом случае наличие внутреннего резистора вызывает постоянное протекание через него тока, хотя и малого, но в некоторых случаях, существенно увеличивающего потребление от источника питания.

В некоторой части микроконтроллеров существуют дополнительные цепи, позволяющие отключать либо подключать такие резисторы программно на этапе исполнения управляющей программы.

Типовые характеристики комплементарной схемы – следующие:

Величина тока утечки входа – не превышает 1 мкА (если отсутствует внутренний резистор).

Входная емкость внутренних цепей составляет единицы пФ.

Выходной ток, который способен выдать выход, и при котором не происходит искажения уровней логических переменных, составляет единицы мА (для нуля и для единицы.

Время переключения (без учета влияния паразитных емкостей внешних цепей) имеет величину от единиц до десятков нс, что соответствует рабочим частотам от десятков до сотен МГц.

Дополнительные замечания и уточнения.

Величина тока утечки в нормальных лабораторных условиях на порядки меньше указанной величины в 1 мкА. Однако при комбинации предельных значений эксплуатационных параметров (максимальные температура и напряжение питания, ток может достигать указанного значения).

Входная емкость является основным фактором, который ограничивает количество входов, которые можно подключить к одному выходу (коэффициент разветвления сигнала), а также длину линий связи между входами и выходом. Одновременно, при увеличении этой емкости может расти мощность, потребляемая устройством на максимальных частотах переключения.

Выходной ток. Для многих микросхем ограничивается суммарная величина тока, который потребляет группа выходов. Кроме того, обычно задана максимальная величина тока для отдельного выхода.

Однако, как будет далее отмечено, комплементарная схемотехника, в свою очередь, имеет один существенный недостаток (вернее, ограничение в использовании).

**К выходу** могут быть подключены:  
 а) вход логического элемента  
 б) вход ЛЭ с другим стандартом сигнала (прежде всего, с другим питанием)  
 в) устройства для индикации или сигнализации (светодиод, звукоизлучатель)  
 г) мощные исполнительные устройства (требуется усиление мощности)

Иногда хочется соединить вместе несколько выходов (объединение сигналов в соответствии с «монтажной логикой»), либо это соединение возникает как побочный эффект при определенном режиме использования выходов портов.

**Ко входу**   
 а) выход другого стандартного логического элемента (в том числе датчик, формирующий станд. сигнал)  
 б) выход ЛЭ, формирующего сигнал с другим стандартом (может быть, датчик)  
 в) контактный датчик (пассивный элемент, сам сигнала никакого не формирует, это происходит при подсоединении дополнительных элементов, напр. резисторов на «землю» или на питание)  
 г) ... что-нибудь еще,…

Подключение к логическому выходу светодиода.

Ток, потребляемый маломощными светодиодами широкого применения, составляет от единиц до малых десятков мА. Это позволяет подключать светодиод напрямую к выходу ЛЭ. Необходимо только ограничить ток, чтобы он не превысил величины, допустимой для этого выхода, иначе возможно повреждение схемотехники этого выхода. Для ограничения тока надо включить последовательно со светодиодом обычный резистор.

Светодиод можно подключить к выходу двумя способами (см. рис., на всех последующих рисунках пунктиром обозначена граница микросхемы).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |

Рис.4

При первом варианте включения диод светит при выходном сигнале лог.1, а при втором – при лог.0. Если схемотехника выхода имеет встроенные ограничители тока, то может оказаться, что при одном из способов включения тока окажется недостаточно для свечения диода с нужной яркостью, в то время, как другой вариант будет работоспособен. Иногда можно встретить встроенную реализацию ограничителя тока, специально рассчитанную на подключение стандартного маломощного светодиода без дополнительного резистора. Обычно об этом упоминается в описании подсистемы параллельных портов.

Подключение к логическому входу контактного датчика или кнопки (выключателя).

Датчик или кнопка могут находиться в одном из двух состояний (замкнуто или разомкнуто), при этом схема включения должна обеспечивать при одном состоянии подачу на вход элемента логического 0, а при другом ‑ логической 1. Это можно легко сделать, если кнопка или датчик имеют переключающий контакт и три вывода, как показано на рис.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| а) | б) | в) |

Рис.5

Однако контактные датчики или кнопки чаще всего выполняются однополюсными и имеющими два вывода. В этом случае можно обеспечить вышеописанное условие, добавив дополнительный высокоомный резистор, как показано на рис.5, б) и в).

Некоторый недостаток такого решения состоит в том, что при замкнутом состоянии кнопки через резистор постоянно протекает ток, но при большой величине резистора этот ток можно сделать достаточно малым. Чаще всего именно так и делают. В варианте б) замкнутому состоянию кнопки соответствует лог.0 на входе, разомкнутому – лог.1. Если по каким-то соображениям требуется обратное соответствие, следует поменять кнопку и резистор местами (рис. 5в).

Можно обойтись и без внешнего резистора, если входы микросхемы имеют внутренние резисторы, задающие определенные состояния неиспользуемых выходов.

Мультиплексирование выводов: один и тот же вывод:  
 а) в разные интервалы времени используется то как вход, то как выход.  
 б) используется различными подсистемами (кроме параллельного ввода-вывода) в разные интервалы времени, в различных режимах (т.е. для такого использования придется производить в схемотехнике переключения). Иногда таких переключений производить и не надо.

Такое делается с целью уменьшить количество контактов в микросхеме МК. Рассмотрим схемотехнические приемы, позволяющие осуществить мультиплексирование и их особенности.

Рассмотрим, как организуется двунаправленность вывода параллельного порта.

Для этого внутри микросхемы к внешнему контакту должен быть присоединен как выход ЛЭ, так и вход (другого) ЛЭ. Эти два элемента должны работать в разных режимах использования контакта.



а) б)

Рис.6

Можно ли использовать два таких вывода для организации связи между двумя устройствами, чтобы один вывод работал как выход, а другой как вход?

Разберемся, можно ли соединить два таких вывода, принадлежащих разным микросхемам – связь показана на рисунке. Если не принять дополнительных мер, то связь будет соединять два выхода, которые могут находиться в различных логических состояниях. При этом у одного из выходов (у того, который передает лог.1) открыт верхний транзистор, а у другого (передающего лог.0) – нижний. Через эти два открытых транзистора (и через соединительную линию) от источника питания на «землю» может протекать сквозной ток значительной величины. В этом случае сигнал в цепи оказывается неопределенным, причем, в зависимости от различных электрических факторов, возможны три варианта событий.

1) Может быть так, что один из выходов оказывается «сильнее», и на линии устанавливается сигнал, генерируемый этим выходом (обычно сильнее бывает уровень «нуля»).

2) «Силы» выходов близки, и на линии устанавливается сигнал «ни ноль ни единица».

3) Большой сквозной ток может даже вывести из строя один или оба ЛЭ (если отсутствуют схемотехнические меры по ограничению этого тока, о них упоминалось ранее).

В этом и состоит ранее упоминавшееся ограничение использования (или недостаток) выходов, реализованных по комплементарной схеме – **такие выходы недопустимо соединять между собой**.

Что же можно сделать, чтобы можно было соединить такие выводы?

Логический выход «с тремя состояниями»

Для исключения описанной ситуации в двунаправленный выход добавляют элемент, который отключает выход ЛЭ от внешнего контакта для того вывода, который должен работать как вход. На рисунке эти элементы изображены как выключатели, хотя фактически в микросхеме это тоже МОП транзисторы. Управление этими транзисторами осуществляется программно, путем записи в специальные внутренние регистры конфигурации параллельных портов.

Такую схемотехнику выхода называют «выход с тремя состояниями» или «выход с **Z**-состоянием», поскольку выход кроме двух обычных состояний (передача лог.1 или передача лог.0) может находиться еще в состоянии «отключено» или нулевой проводимости (**Z**ero-State).

Таким образом, **выходы с тремя состояниями можно объединять**, но программист должен перед их использованием обеспечить настройку таким образом, чтобы в любой момент времени только один из соединенных вместе выводов работал как активный выход.

Обсудим отдельно, что будет читаться на входе, если вывод «с тремя состояниями» находится в режиме «выход», а к контакту подключен внешний элемент, например, кнопка (как показано на рис.5б).

Кнопка и выход будут конфликтовать между собой так же, как два выхода, но только кнопка всегда будет «сильнее» ‑ ведь это чистое короткое замыкание с нулевым сопротивлением. Однако, если кнопка разомкнута, то на вход будет поступать (и читаться) сигнал со «своего» выхода. В некоторых случаях это оказывается весьма удобно, поскольку позволяет программно проконтролировать, какой именно сигнал присутствует на выходе (это бывает полезно именно в тех случаях, когда к выводу присоединены еще какие-либо внешние элементы.

В случае комплементарного инвертора такой режим использования не очень-то хорош, но он вполне допустим в схемотехнике «с открытым стоком» ‑ см. след. подраздел.

Логические выходы «с открытым стоком» ОС (Open-Drain)

Существует другой вариант схемотехники выходов, который позволяет объединять их без необходимости дополнительной настройки. В этом варианте для исключения электрических конфликтов при соединении выходов, из комплементарного инвертора исключен верхний транзистор, как показано на рис. . При этом выходной контакт оказывается внутри микросхемы соединен только со стоком (Drain) единственного (нижнего) транзистора в выходной схеме элемента (отсюда и название «открытый сток -ОС).



а) б)

Рис.7

Если один любой из соединенных выходов передает лог.0, его выходной транзистор открыт и соединяет линию с шиной «земля». Таким образом, в выходной цепи реализуется логика ИЛИ для нулевых состояний, только благодаря объединению выходов. Это свойство рассматриваемого варианта схемотехники называют словосочетанием «монтажное ИЛИ», «проводное ИЛИ», а по английски – Wired Or.

Для того, чтобы обеспечить на линии и на соединенных выходах состояние лог.1 при закрытых транзисторах всех выходов, приходится соединять линию связи с уровнем логической 1 (плюс источника питания) через внешний дополнительный резистор Rod.Получившаяся схема каждого из соединенных по выходам ЛЭ, фактически представляет собой первую рассмотренную нами транзисторно-резисторную схему, с той только разницей, что единственный резистор является общим для всех соединенных по выходам элементов. Этот общий резистор должен иметь сравнительно небольшую величину (не более единиц кОм), чтобы обеспечивать быстрый заряд паразитной емкости линии и объединенных выходов. При этом, если хотя бы один из выходов передает лог.0, через его открытый транзистор и резистор Rod постоянно протекает ток, увеличивающий потребление энергии от источника. Отметим, что даже если объединяемые выводы – двунаправленные, а внутри микросхем установлены резисторы, «подтягивающие» входы к уровню источника питания (лог.1), внешний резистор все равно необходим, поскольку сопротивление подтягивающих резисторов обычно составляет большие десятки, а то и сотни кОм и предназначено лишь для удержания на неиспользуемых входах статического уровня лог.1.

Логические выходы открытым стоком, внутренним pull-up резистором и с транзистором быстрого перезаряда емкости.

Для устранения перечисленных недостатков в некоторых микроконтроллерах выходы с открытым стоком усложняют: Верхний транзистор комплементарного инвертора оставляют, но его цепи управления выполняют таким образом, что этот транзистор открывается лишь на короткое время (десятки наносекунд) во время переключения выхода из 0-го в 1-чное состояние. Единичное состояние линии в статическом режиме поддерживается через подключенный к шине питания резистор, его величина может быть большой (десятки кОм). Этот резистор может быть в микросхеме внутренним, либо подключаться снаружи к соединительной линии. Подобную схемотехнику широко используют в микросхемах памяти (где объединяются вместе шины данных нескольких микросхем) в последовательных интерфейсах, на базе которых допускается организация магистрали со многими абонентами (I2C, LIN) для организации двунаправленных линий и во многих других случаях.

Мультиплексное использование выводов параллельных портов другими внутрикристальными периферийными устройствами.

Количество потребных линий параллельного ввода-вывода в управляющей системе обычно достаточно велико и может составлять несколько десятков. Разработчики микроконтроллеров стремятся выполнить в одной микросхеме все, что необходимо для законченной системы. Поэтому в большей части микроконтроллеров количество линий параллельного ввода-вывода – 20…40. Встречаются изделия, содержащие как меньшее – 6…10, так и большее – 50…80 линий ввода-вывода.

В то же время в микроконтроллерных микросхемах стремятся уменьшить общее количество выводов, чаще всего используются корпуса с числом выводов от 16 до 80 (для сравнения, корпуса универсальных процессоров общего назначения (для «больших» вычислительных систем) имеют число выводов 300…700).

Для уменьшения числа выводов широко используют мультиплексирование. Этим термином называют прием, когда одни и те же выводы могут быть использованы как для параллельных портов, так и для связи с другими подсистемами. Подключение к необходимому узлу выполняется программно, путем записи определенных значений в регистры конфигурации на начальном этапе работы управляющей программы. В ходе последующей работы возможно переключение функций выводов, что дает возможность в разные интервалы времени использовать их для связи с различными внутрикристальными узлами.

Для разработчика это, скорее всего, означает, что при связи вывода с альтернативной подсистемой (а не с параллельным портом), от контакта отключается не только выход параллельного (который бы электрически «конфликтовал» в выходом альтернативной подсистемы), но и его вход, что лишает разработчика возможности программно опросить состояние этого вывода.

## Схема матричной телефонной клавиатуры



