



Микропроцессорная техника в приборах, системах и комплексах

Лекция 13

Практические вопросы построения МП систем

Ушаков Андрей Николаевич, старший преподаватель кафедры
303

Рассматриваемые вопросы

- Порты ввода/вывода микроконтроллера
 - Режим альтернативных функций портов ввода/вывода
- Подключение датчиков
 - 2-х проводная схема
 - Делитель напряжения
 - Подключение потенциометрических датчиков
 - Мостовая схема
 - 3/4-х проводная схема
 - Токовая петля
- Гальваническая развязка
 - Реле
 - Оптрон
 - Датчики типа «сухой контакт»

Порт ввода/вывода

Порт ввода/вывода – периферийное устройство процессора, предназначенное для соединения его с внешними устройствами с целью обмена информацией между ними.

Виды портов ввода/вывода

По способу обмена данными порты бывают последовательными и параллельными.

По виду синхронизации порты делятся на синхронные и асинхронные.

А по области применения порты могут быть специализированными и универсальными.

Последовательный и параллельный порты

Последовательный порт имеет одnorазрядный формат и передаёт (принимает) информацию по принципу **«один бит за другим»**.

Параллельный порт имеет формат в несколько разрядов (обычно 8, 16, 32), которые передаются **одновременно**.

AVR-микроконтроллеры в своем составе имеют обычно до шести 8- или 32-разрядных (в зависимости от конкретной модели) параллельных портов ввода/вывода.



Синхронный и асинхронный порты

Синхронными называют порты, передача и приём информации с помощью которых осуществляется с жёсткой временной синхронизацией. Под синхронизацией понимается временное согласование работы устройств передачи и приёма информации.

Асинхронными называют порты, которые передают/принимают информацию с различной скоростью.

Специализированные и универсальные порты

Специализированные порты предназначены для реализации определённых интерфейсов обмена данными (SPI, USB, RS-232/422/285 и т.д.).

Универсальные порты позволяют программно управлять основными параметрами процесса обмена информацией (формат данных, временные характеристики и т.д.).

Способы обмена информацией через порт

Существуют следующие режимы обмена информацией через порт ввода/вывода:

- Программно-управляемый обмен;
- Обмен по прерываниям;
- Обмен в режиме прямого доступа к памяти (ПДП).

Краткое описание способов обмена данными

При **программно-управляемом обмене** (program-driven I/O) все операции ввода-вывода выполняются в соответствии с заложенной программой с проверкой готовности внешнего устройства к обмену.

Обмен по прерываниям (Interrupt-driven I/O) осуществляется с использованием механизма прерываний.

Обмен в режиме ПДП (Direct Memory Access – DMA) осуществляется с помощью аппаратных средств независимо от процессора, который в данном случае только инициирует процесс ввода-вывода и управляет соответствующими ресурсами.

Регистры портов ввода/вывода микроконтроллеров AVR

- В микроконтроллерах AVR каждому порту ввода/вывода соответствуют три 8-разрядных регистра ввода/вывода:
 - DDR – регистр направления передачи данных;
 - PORT- регистр порта;
 - PIN – регистр ввода данных порта.

Схема порта ввода/вывода микроконтроллера AVR

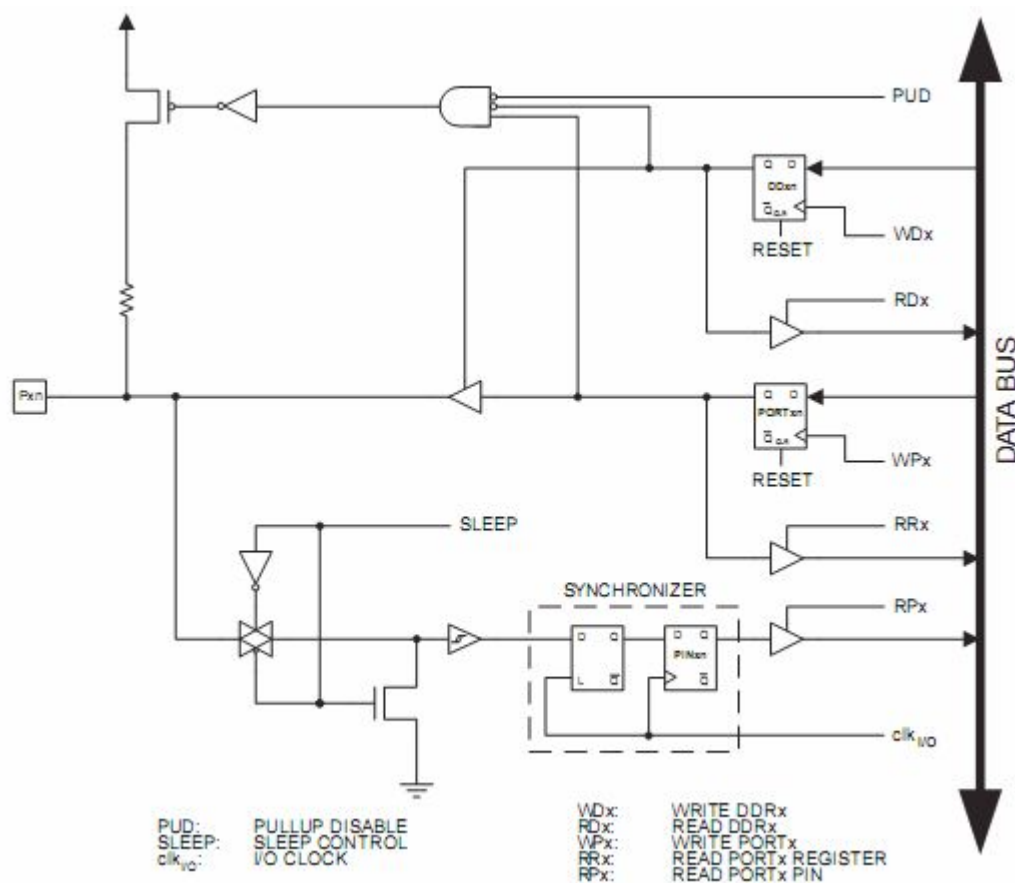
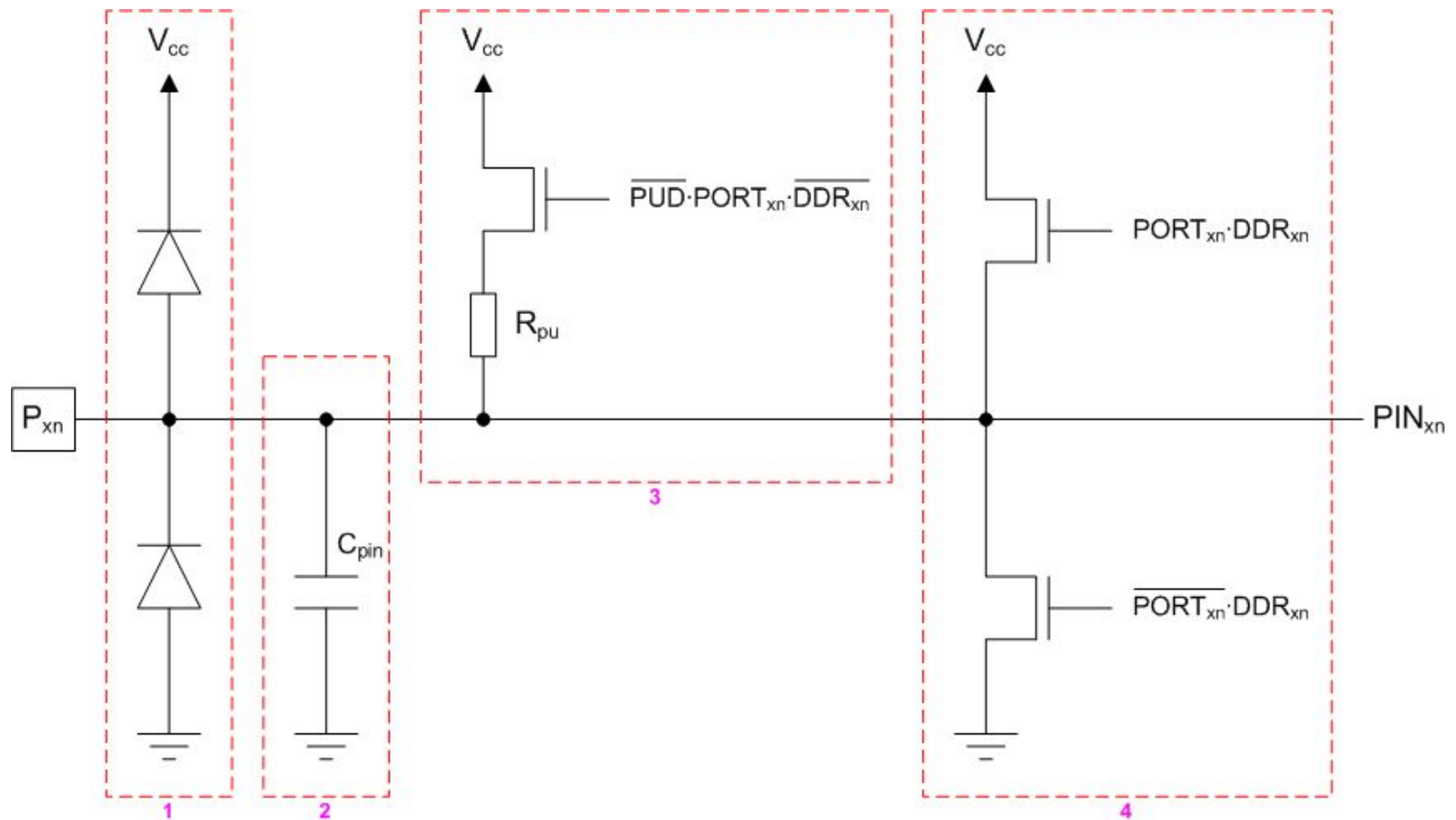
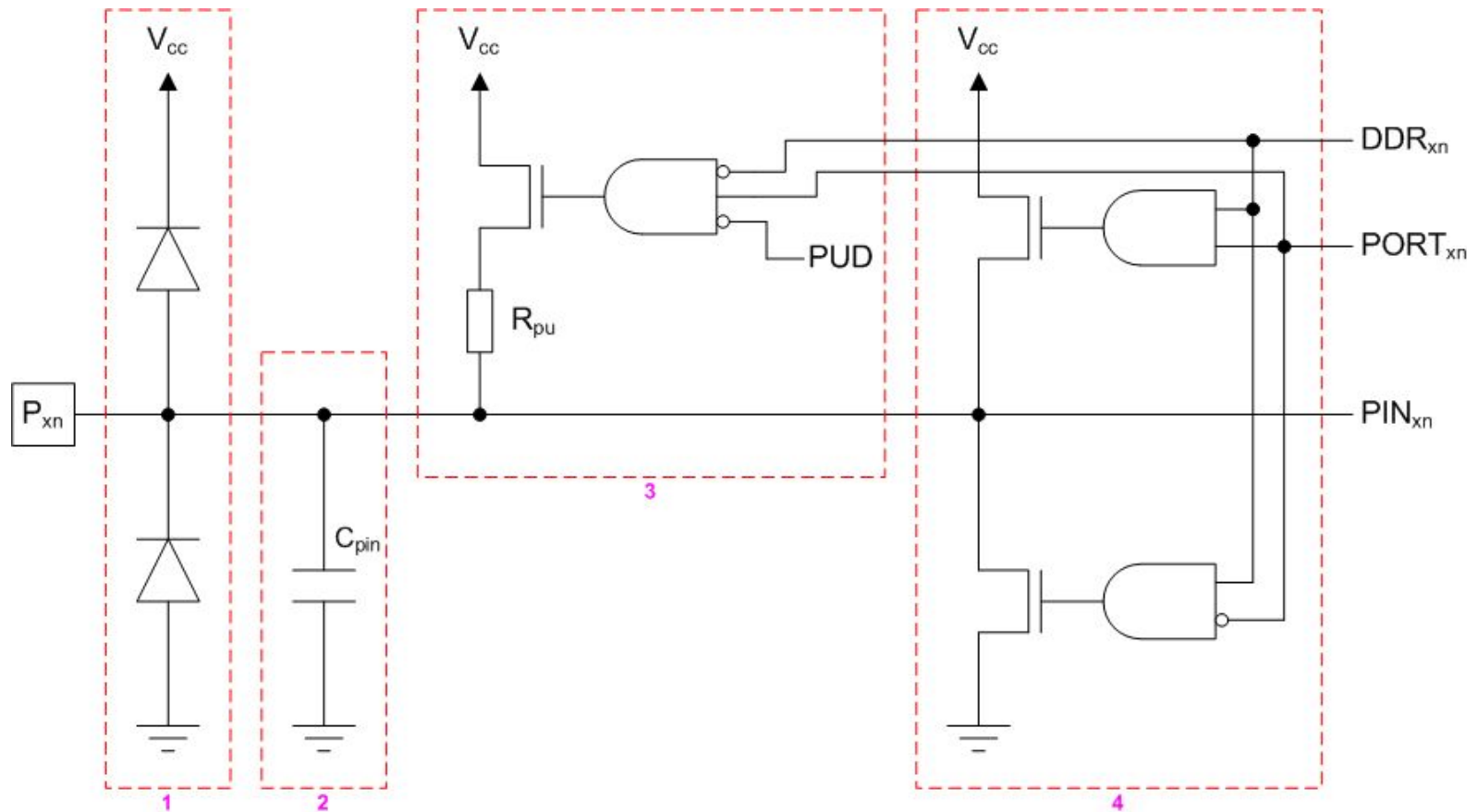


Схема линии порта ввода/вывода из описания микроконтроллера AVR

Упрощенная схема порта ввода/вывода



Упрощенная схема порта ввода/вывода



Состав порта (не полный)

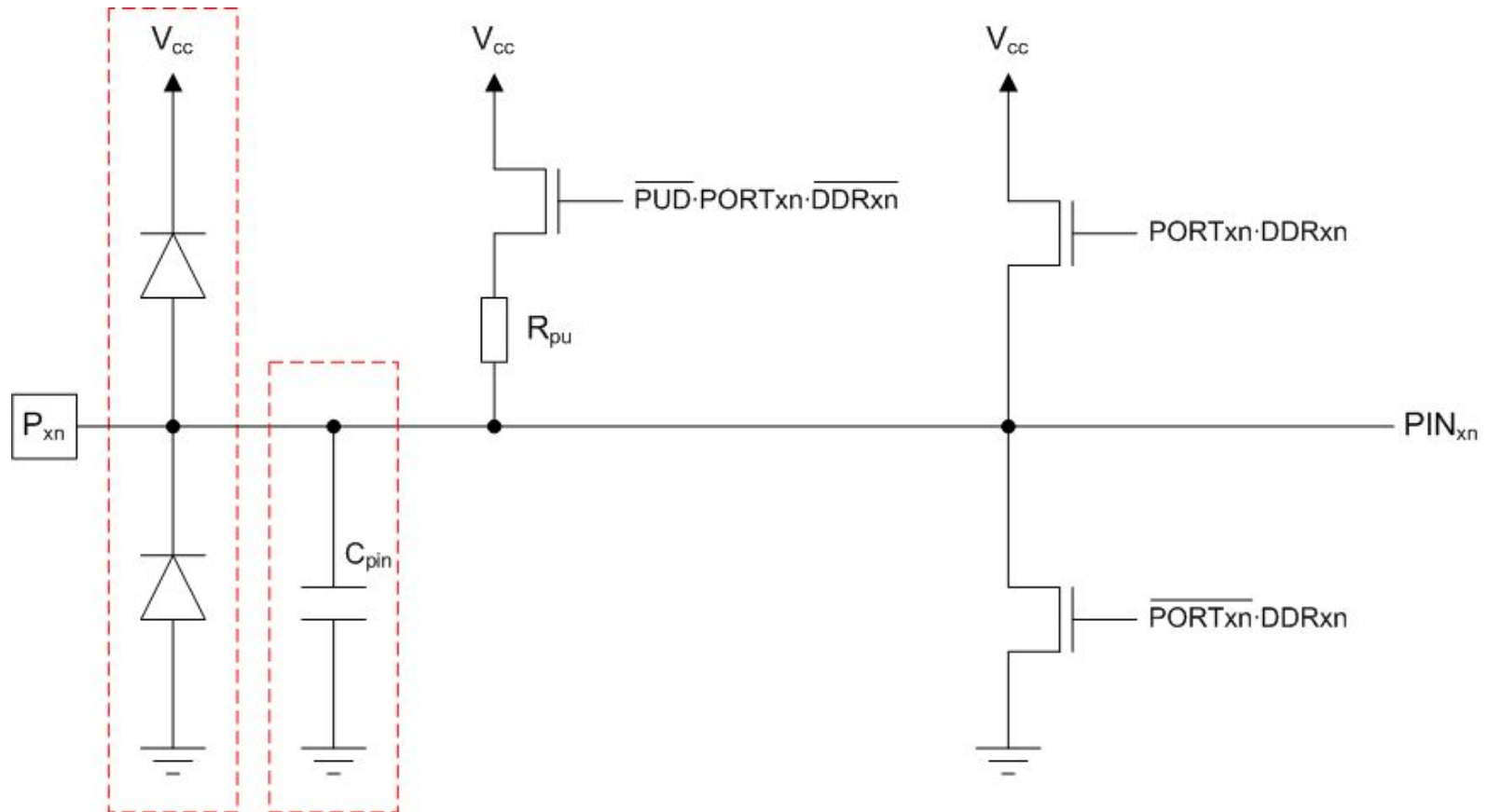
На упрощенной схеме отображены следующие части порта:

1 – защитные диоды;

2 – паразитная ёмкость порта;

3 и 4 – ключи управления порта
(выполнены на полевых транзисторах).

Защита порта ввода/вывода и его паразитная емкость



Назначение защитных диодов и влияние паразитной емкости

Защитные диоды нужны для защиты ввода микроконтроллера от кратковременных импульсов напряжения, превышающих $U_{\text{п}}$. Если напряжение будет выше $U_{\text{п}}$, то верхний диод откроется и это напряжение будет стравлено на шину питания. Если на ввод попадет отрицательное (ниже нулевого уровня) напряжение, то оно будет нейтрализовано через нижний диод и погасится на землю. Однако, такая защита помогает только от небольших превышений напряжения (менее 1 вольта).

Паразитная емкость линии порта не велика, но присутствует всегда и влияет на время задержки при работе порта.

Режимы работы порта ввода/вывода

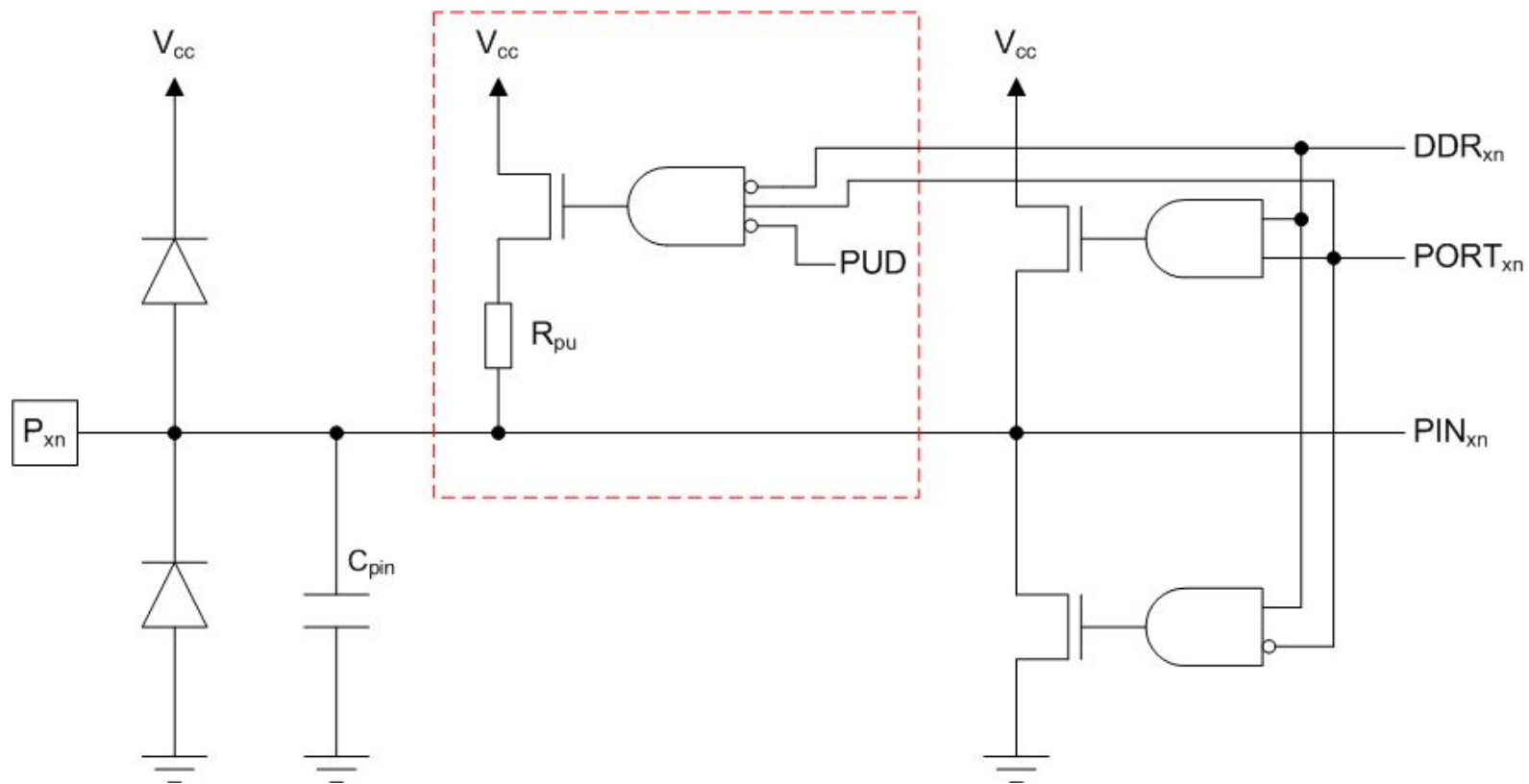
- Существует несколько режимов работы порта ввода/вывода:
 - Высокоимпедансный вход (режим Hi-Z);
 - Вход с подтяжкой (режим Pull Up);
 - Режим выхода;
 - Режим альтернативных функций.

Таблица режимов линии порта ввода/вывода

DDRxn	PORTxn	PUD (SFIOР)	I/O	Pull Up	Режим работы линии порта
0	0	X	Вход	Нет	Высокоимпедансный вход (Hi-Z)
0	1	1	Вход	Нет	
0	1	0	Вход	Да	Вход с подтяжкой
1	0	X	Выход	Нет	На выходе низкий уровень
1	1	X	Выход	Нет	На выходе высокий уровень

X означает, что значение сигнала на соответствующей линии не имеет значения. Это может быть или лог. 0, или лог. 1.

Каскад управления подтяжкой линии порта к $U_{пит}$



Высокоимпедансный вход

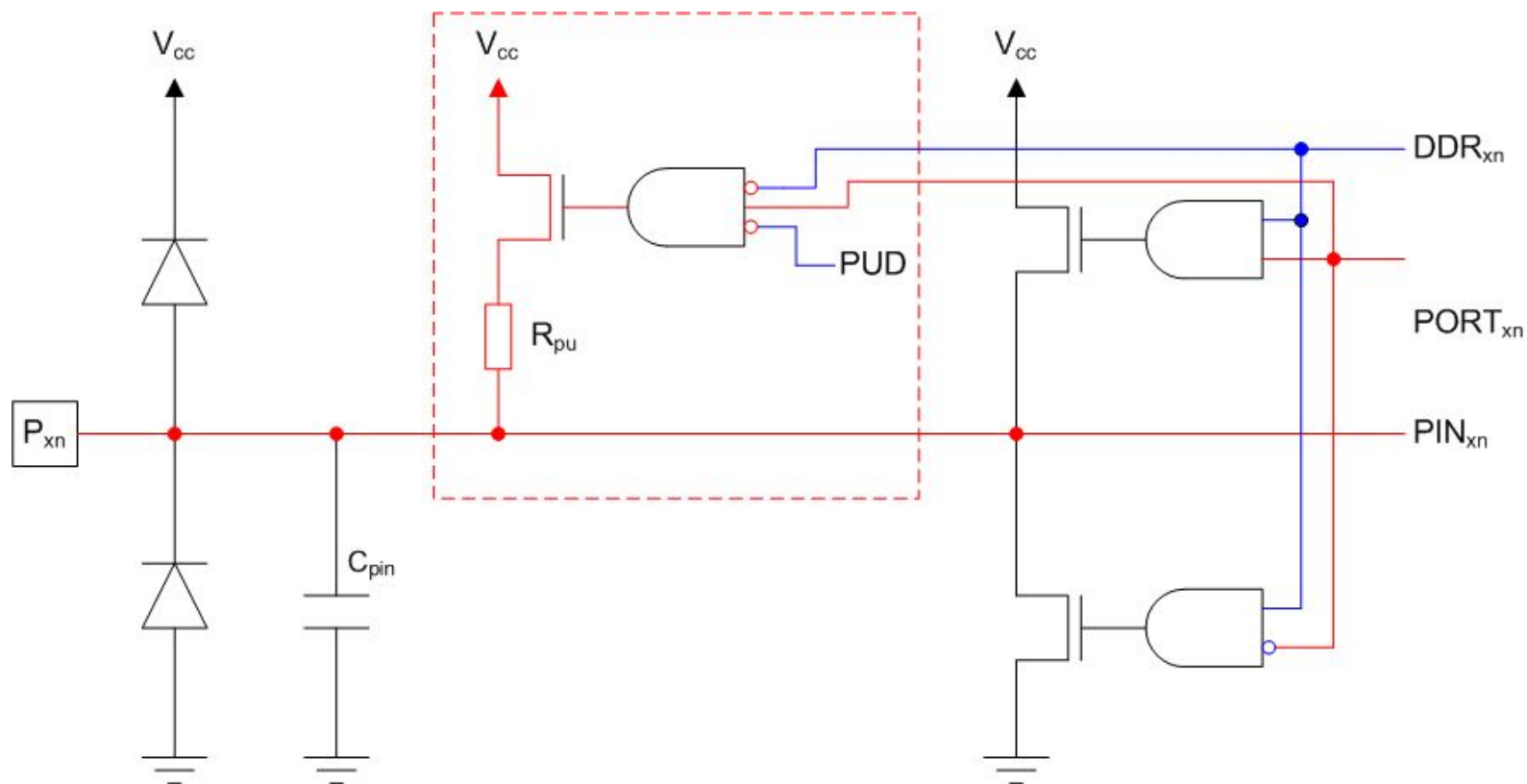
Режим Hi-Z включен по умолчанию. Все ключи разомкнуты, а сопротивление порта очень велико. При этом он постоянно считывает свое состояние в регистр **PINxn**, и всегда можно узнать, что на входе — единица или ноль. Этот режим хорош для прослушивания какой либо шины данных, т.к. он не оказывает на неё никакого влияния. А если вход висит в воздухе, то напряжение будет на нём скакать в зависимости от внешних наводок, электромагнитных помех. Очень часто на порту в этом случае нестабильный синус 50 Гц — наводка от сети 220В, а в регистре **PINn** будет меняться 0 и 1 с частотой около 50Гц.

Вход с подтяжкой (режим Pull Up)

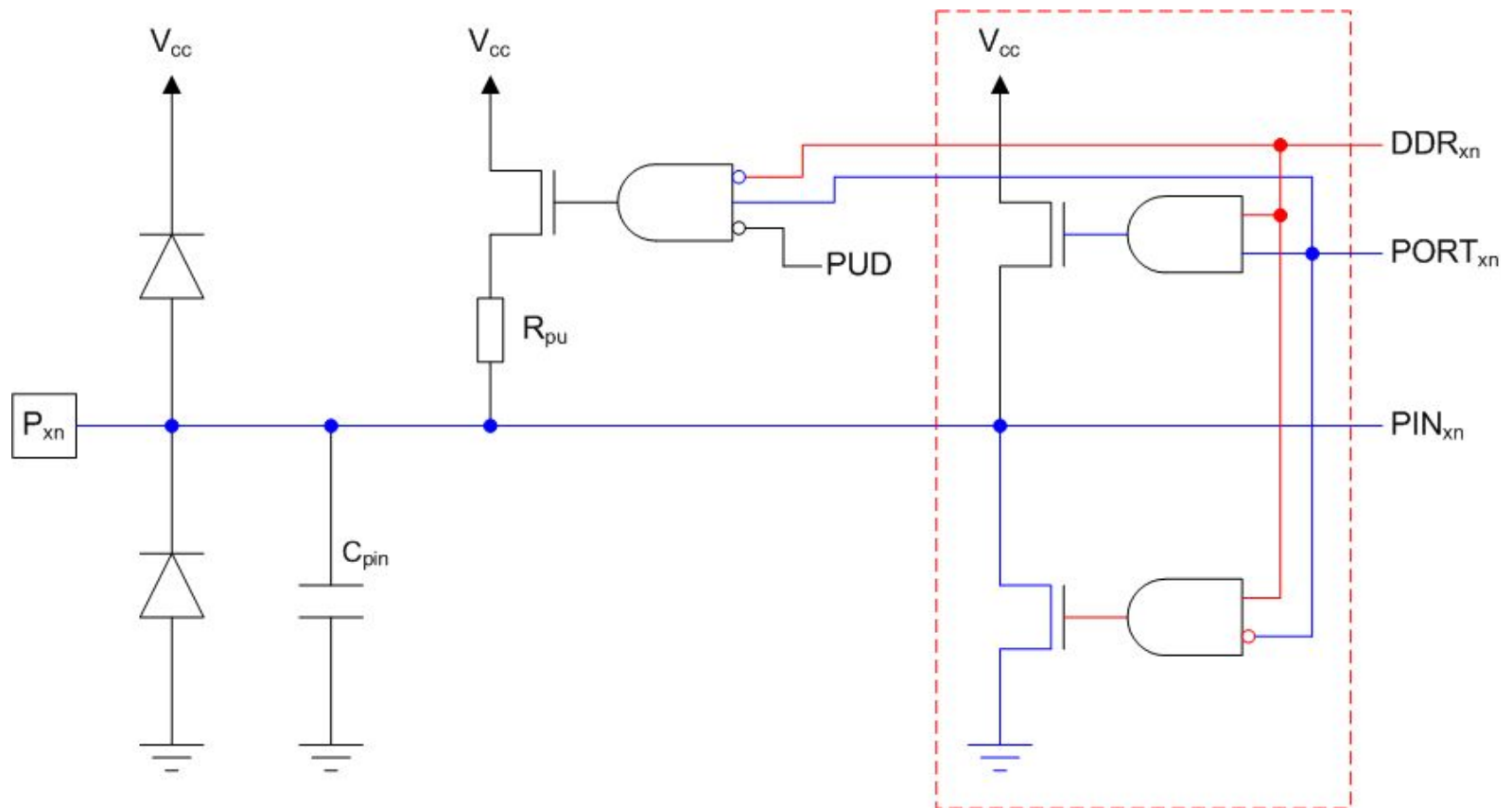
При **DDR_{xn}**=0, **PORT_{xn}**=1 и **PUD**=0 замыкается ключ подтяжки и к линии подключается резистор в 100 кОм, что моментально приводит не подключенную никуда линию в состояние лог. 1.

Цель подтяжки — не допустить хаотичного изменения состояния на входе под действием наводок. Но если на входе появится логический 0 (замыкание линии на землю кнопкой или другим микроконтроллером или микросхемой), то резистор не сможет удерживать напряжение на линии на уровне лог. 1 и на входе будет лог. 0.

Режим Pull Up: линия порта ввода/вывода «висит в воздухе»

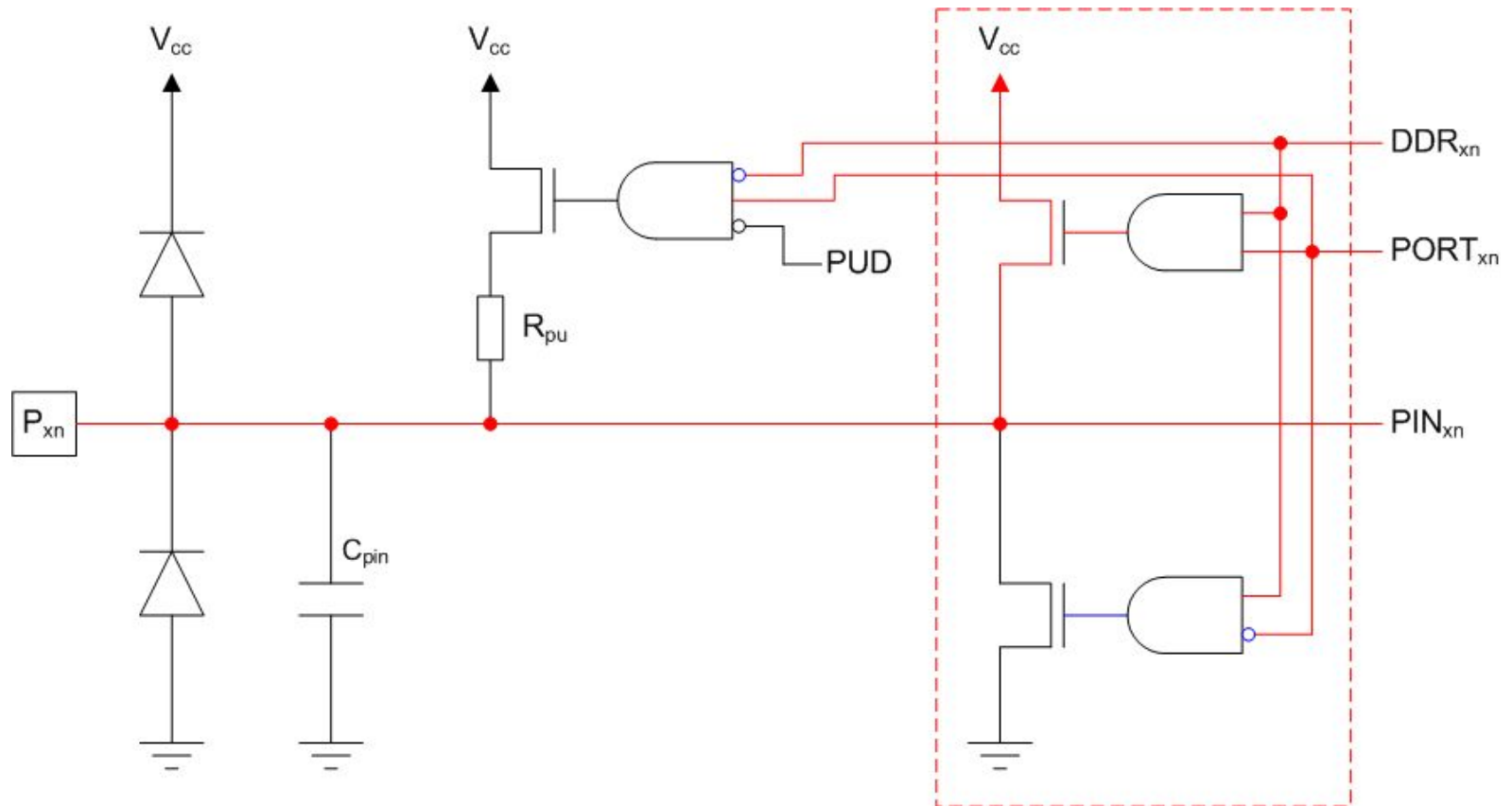


Режим выхода. Вывод 0



DDRxn=1, PORTxn=0

Режим выхода. Вывод 1

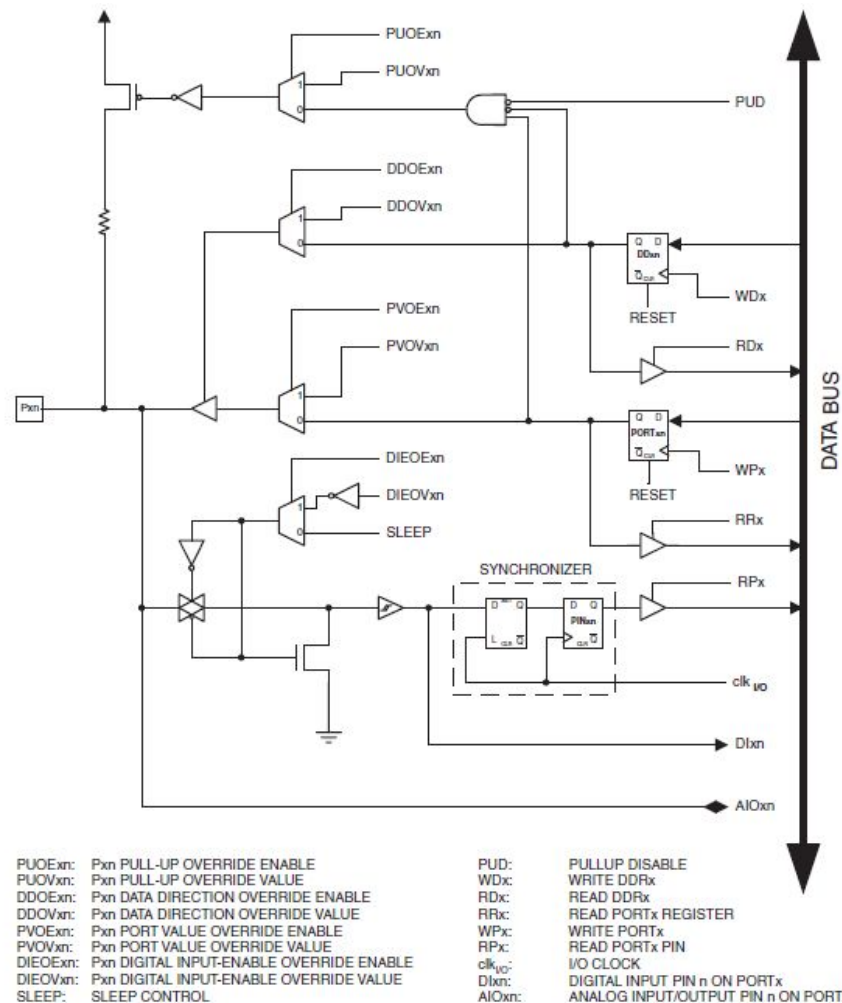


DDRxn=1, PORTxn=1

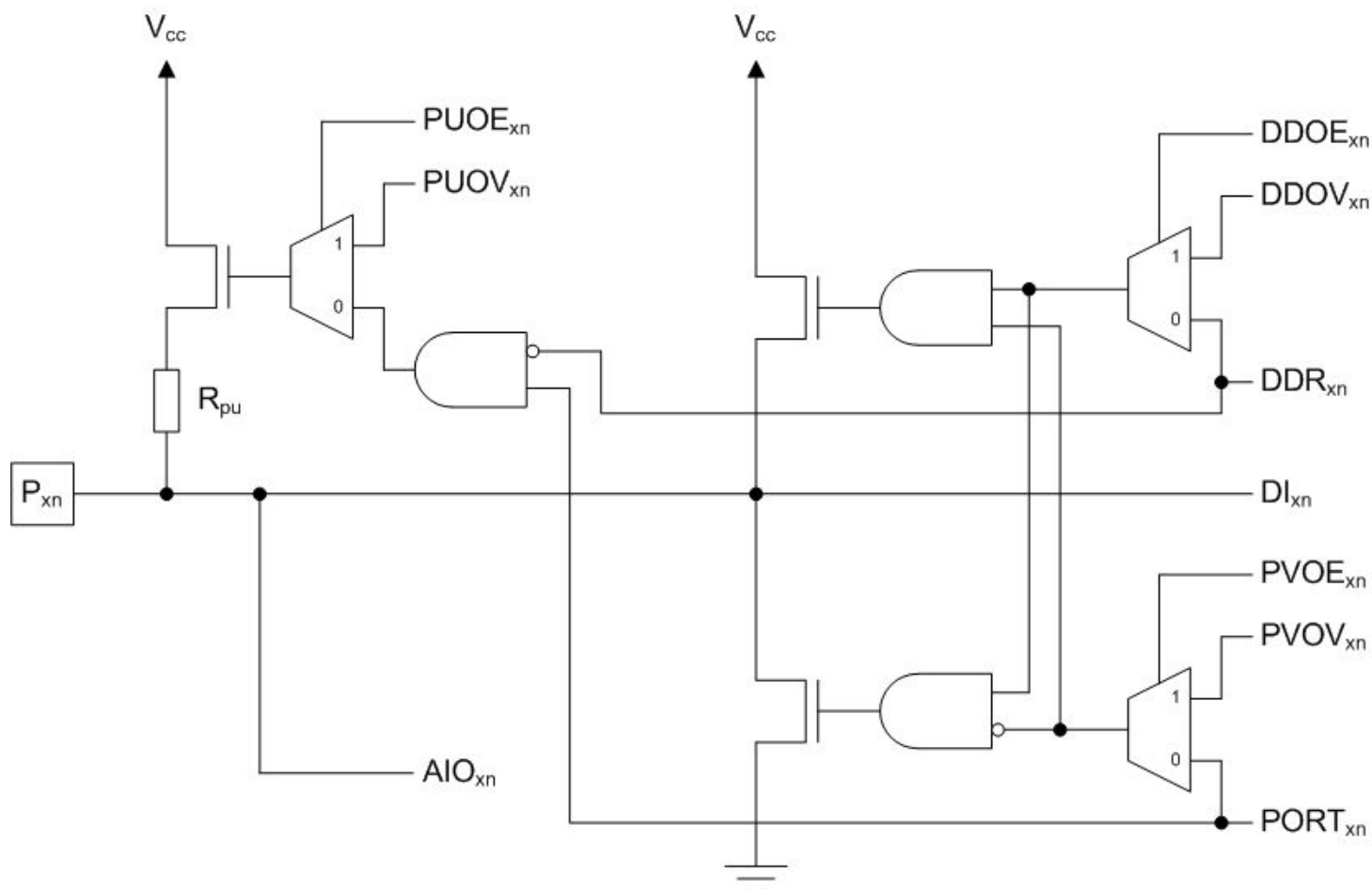
Режим альтернативных функций порта ввода/вывода

В AVR микроконтроллерах каждая линия порта ввода/вывода общего назначения может быть использована для подключения к выводу микроконтроллера того или иного сигнала периферийного устройства, находящегося на кристалле микроконтроллера. Такое подключение и есть режим альтернативной функции порта ввода/вывода.

Схема линии порта МК AVR с альтернативной функцией



Упрощенная схема линии порта МК AVR с альтернативной функцией



Защитные диоды, паразитная емкость, линия сигнала PUD и линия к регистру PIN_{xn} от ножки порта P_{xn} не показаны.

Работа порта в режиме альтернативной функции

Альтернативная функция порта в/в включается, если происходит инициализация периферийного устройства, линии управления состоянием порта в/в которого подсоединены к этому порту через мультиплексоры, управляемые сигналами $XXOE_{xn}$ (P_{xn} XX Override Enable – переопределение сигнала XX на линии P_{xn} порта разрешено).

Если все $XXOE_{xn} = 0$, порт работает как обычный 8-разр. параллельный порт в/в.

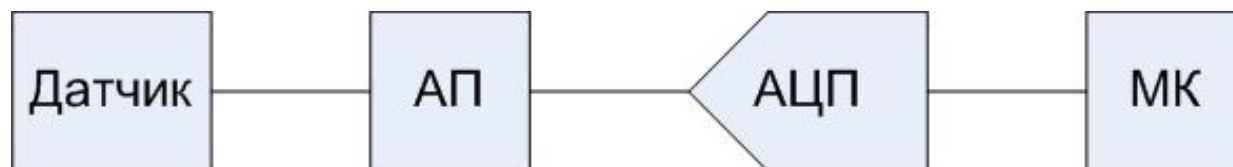
Если все $XXOE_{xn} = 1$, включается альтернативная функция порта.

Активные и пассивные датчики и их питание

Датчики бывают активные (генераторные) и пассивные (параметрические). В первых измеряемая величина вызывает генерацию электрического сигнала, а воздействие на вторые приводит к изменению параметров электрических, магнитных или оптических цепей. Поэтому для подключения пассивных датчиков к МК необходимо использовать источник питания.

Варианты сопряжения датчика и микроконтроллера

Рассмотрим варианты сопряжения датчика с микроконтроллером. В первом варианте датчик выдаёт сигнал на аналоговый преобразователь (АП), а затем на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). После этого полученный в АЦП двоичный код поступает в МК по некоторому интерфейсу.



Сопряжение через АЦП с встроенным АП

Иногда в микросхеме АЦП присутствует первичный аналоговый преобразователь (АП). Это может быть, например, усилитель сигнала или фильтр. Тогда схема подключения датчика приобретает следующий вид:



Сопряжение с датчиком при наличии в МК встроенного АЦП

АЦП может находиться на кристалле МК, и тогда он называется встроенным. Это даёт экономию места на плате и меньшую потребляемую мощность схемы. Однако, есть и недостаток: АЦП находится в ЭМП окружающих его устройств, создающих помехи, снижающие точность преобразования.



Сопяжение МК с датчиком с встроенным АП

Чувствительные элементы некоторых датчиков имеют очень маленький диапазон выходного сигнала. Поэтому аналоговые преобразователи (усилители) встраивают в корпус датчика.



Сопряжение МК с датчиком с цифровым интерфейсом

Существуют датчики с встроенными АП и АЦП, а иногда даже с дополнительной логикой (или даже вычислителем) и драйвером интерфейса. Таким образом, сопряжение с МК сразу происходит с помощью цифрового интерфейса. Например: SPI, I2C, RS-232, RS-485.



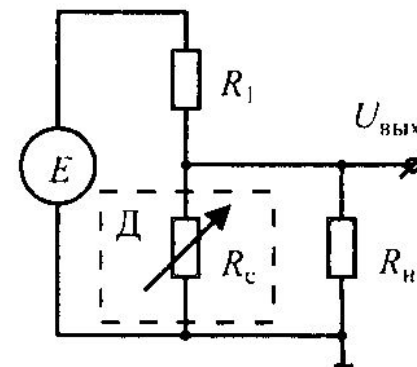
Подключение датчика с помощью делителя напряжения

Пассивными датчиками чаще всего являются резистивные. Одной из схем подключения таких датчиков является делитель напряжения.

Для схемы справа:

$$U_{\text{ВЫХ}} = E \frac{R_c R_H}{R_c R_1 + R_H (R_c + R_1)}$$

Характеристика линейна или на малом участке, или при питании от источника тока. Тогда: $U_{\text{ВЫХ}} = I \cdot R_c$



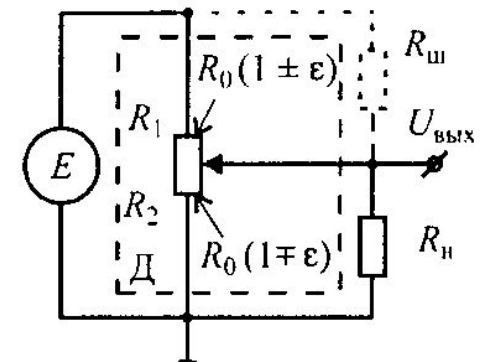
Подключение потенциометрического датчика

Одна из часто используемых частных схем делителя напряжения – потенциометрическая схема. В ней используется дифференциальный резистивный датчик.

$$R_1 = R_0(1 \pm \varepsilon),$$

$$R_2 = R_0(1 \mp \varepsilon),$$

где $\varepsilon = \Delta R / R_0$, R_0 – номинальное сопротивление датчика.



Выходной сигнал и погрешность потенциометрической схемы

- Изменение выходного сигнала потенциометрического датчика:

$$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = E \cdot \varepsilon \frac{1}{1 + \frac{R_0}{R_H} (1 - \varepsilon) \varepsilon}.$$

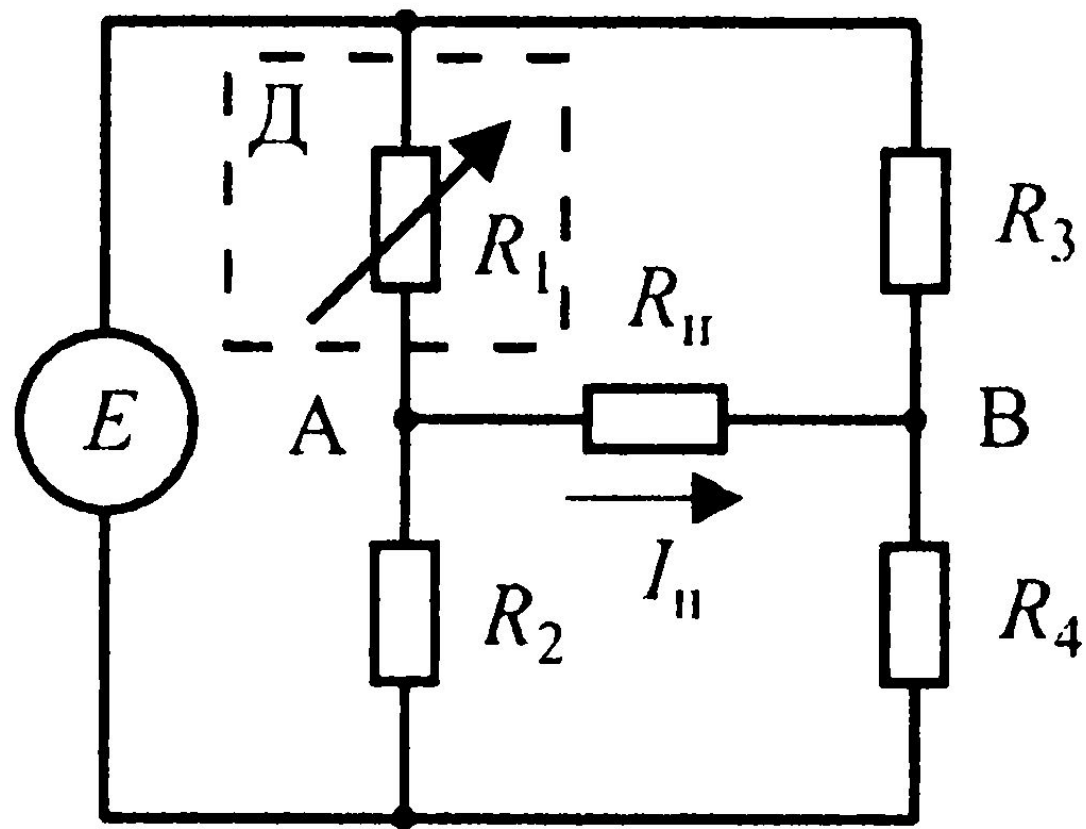
При $R_H \gg R_0$ получается линейная зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = E \cdot \varepsilon$.

Для уменьшения погрешности потенциометрической схемы параллельно R_1 включают $R_{\text{ш}} = R_0$ (изображено пунктиром на рисунке).

Мостовая схема

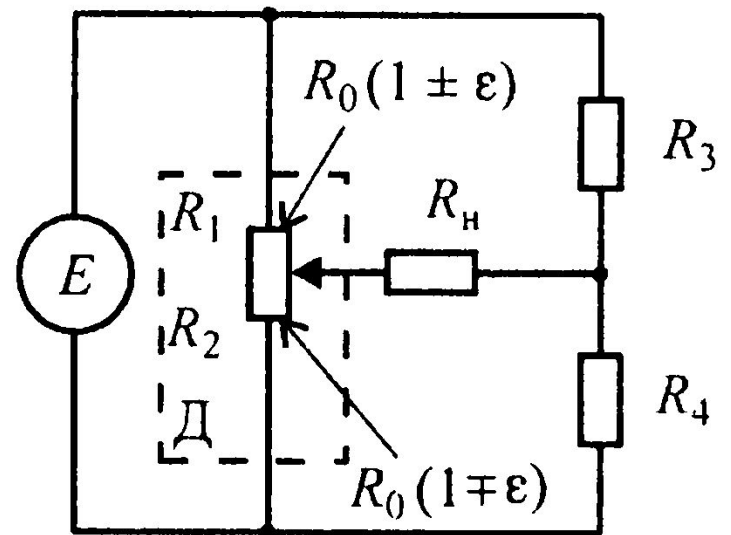
Мостовая измерительная схема содержит два плеча — измерительное, в которое включен параметрический датчик R_1 , и опорное с резисторами R_3 , R_4 . Одна диагональ моста запитывается напряжением E , а с другой на сопротивлении нагрузки R_n снимается выходной сигнал.

Простая мостовая схема



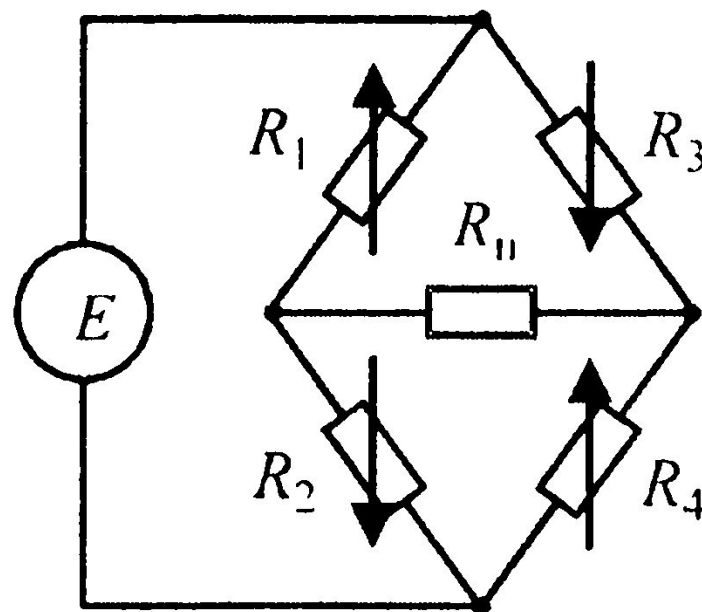
Полумостовая схема

В полумостовой схеме (справа) в смежные плечи моста включается дифференциальный датчик.



Полный мост

В схеме полного моста два дифференциальных датчика (например, два круговых потенциометра) включаются в оба его плеча.



Формула для расчета мостовых схем

● Ток через сопротивление нагрузки:

$$I_H = E \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_H(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2(R_3 + R_4) + R_3 R_4(R_1 + R_2)}. \quad (1)$$

Во многих случаях $R_H \gg R_j$, тогда получим:

$$I_H = E \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_H(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}. \quad (2)$$

Выражение (2) является основным при расчете мостовых схем, при этом по умолчанию полагают, что условие $R_H \gg R_j$ выполняется.

Условие балансировки моста

Если сигнал в диагонали моста равен нулю, то такой мост называется сбалансированным. Условие балансировки моста может быть получено из выражения (2):

$$R_1 R_4 = R_2 R_3. \quad (3)$$

Это условие может выполняться в двух случаях. Во-первых, когда:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_0. \quad (3^*)$$

Это соответствует **симметричному мосту**.

А во-вторых, когда:

$$R_1 = R_2 \neq R_3 = R_4, \quad (3^{**})$$

и тогда это **несимметричный мост**.

Подключение датчиков к мостовым схемам

Во многих случаях датчики территориально удалены от измерительной схемы, а сигналы этих датчиков очень малы, поэтому изменение сопротивления проводов приводит к изменению выходного сигнала и уменьшает точность измерения. Следовательно, при подключении датчиков необходимо принимать меры по компенсации изменения сопротивления соединительных проводов.

Схемы подключения датчиков к мостовым схемам

● Наиболее распространенные схемы подключения:

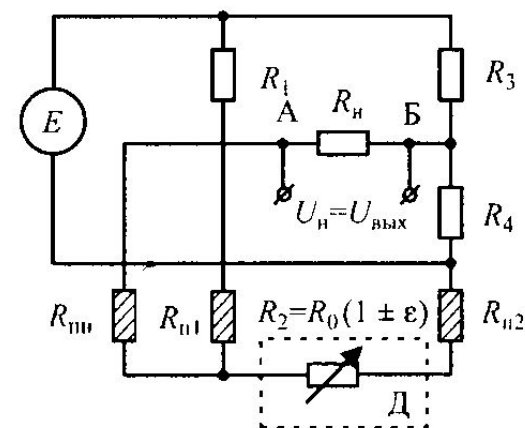
- 1) Трехпроводная (более экономичная).
- 2) Четырехпроводная (более помехоустойчивая).

В основе работы таких схем лежит уравнение, которое связывает $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ с ΔR_j (справедливо только для малых приращений ΔR_j):

$$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = \frac{E}{4} \cdot \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2 - \Delta R_3 + \Delta R_4}{R_0}. \quad (*)$$

Трехпроводная схема

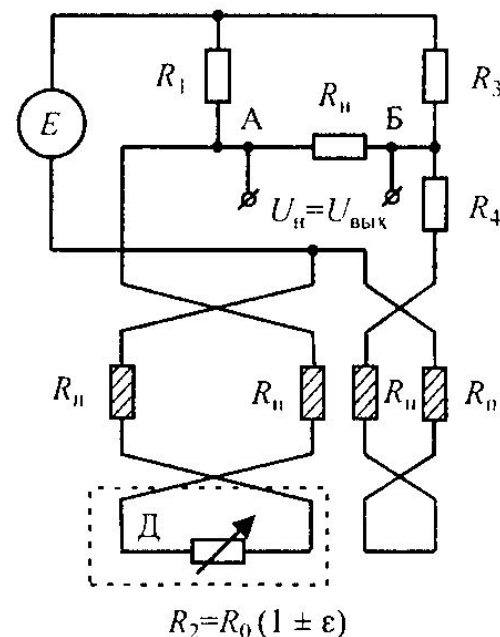
Пусть датчик включен в плечо R_2 и удален от измерительной схемы и соединен с ней проводами с распределенными сопротивлениями $R_{п1}$ и $R_{п2}$. Для компенсации их сопротивления добавлен третий проводник с сопротивлением $R_{пн}$, как показано справа.



Т.к. $R_H \gg R_{п1}$ $U_{ВЫХ}$ не изменяется. Однако, схема не симметрична и подвержена наводкам.

Четырехпроводная схема

Четырехпроводная схема более помехоустойчива. В ней используются две витые пары (справа), которые подавляют синфазные наводки и помехи. Так как одна пара проводов (левая) включена последовательно с R_2 , а другая (правая) входит в плечо R_4 , то, как следует из уравнения (*), они компенсируют друг друга.



Аналоговая токовая петля

Она чаще всего применяется в промышленной автоматизации при сопряжении промышленных контроллеров с датчиками или с исполнительными устройствами.

Аналоговая токовая петля обладает двумя достоинствами:

- 1) Применяется стандартный диапазон измерения измеряемой величины, что обеспечивает взаимозаменяемость компонентов.
- 2) Передача сигнала с высокой точностью возможна на достаточно большое расстояние.

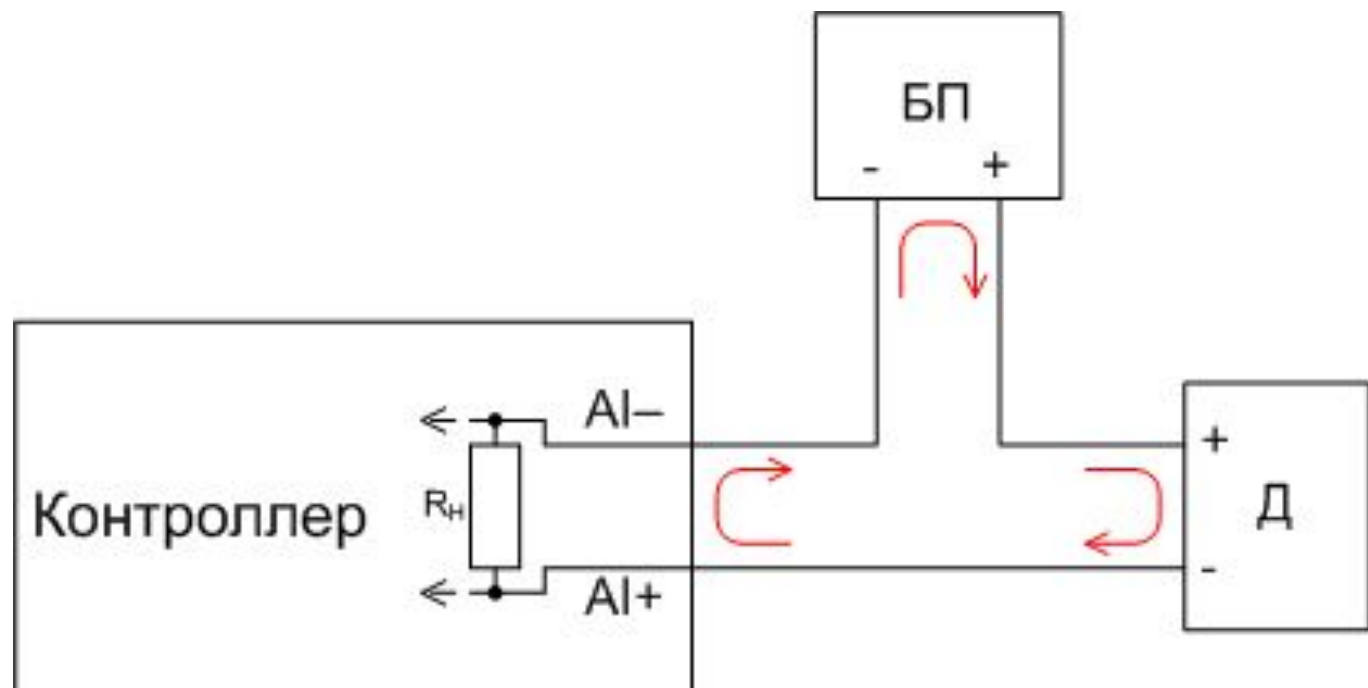
Диапазоны сигнала аналоговой токовой петли

Существует несколько вариантов диапазонов сигнала аналоговой токовой петли: «0–20 мА», «4–20 мА».

Диапазон «4–20 мА» имеет, однако, существенное преимущество. 4 мА соответствуют началу отсчета, а 20 мА – максимальному значению измеряемой величины. Таким образом, нулевое значение тока будет означать обрыв цепи.

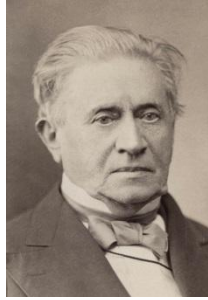
Второе преимущество диапазона «4–20 мА» – возможность подачи энергии для питания датчика.

Схема аналоговой токовой петли



Реле

Джозеф Генри
1797 - 1878



Реле (relay) – устройство, принимающее конечное число значений выходной величины под воздействием некоторого внешнего физического явления.

Изобретено в 1835 г. Джозефом Генри.

Существует большое количество разновидностей реле в зависимости от принципа действия и назначения.

Электромагнитное реле

ЭМ реле – один из наиболее распространенных видов реле. Один из вариантов схемы такого реле показан справа.

При подаче $U_{\text{вх}}$ по катушке начинает течь ток, и возникающее магнитное поле преодолевает силу сжатия пружины и выталкивает сердечник с контактной пластиной, которая замыкает пару выходных контактов. При снятии $U_{\text{вх}}$ пружина возвращает сердечник в исходное положение, размыкая выходные контакты.

