



# 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 одноразрядный 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

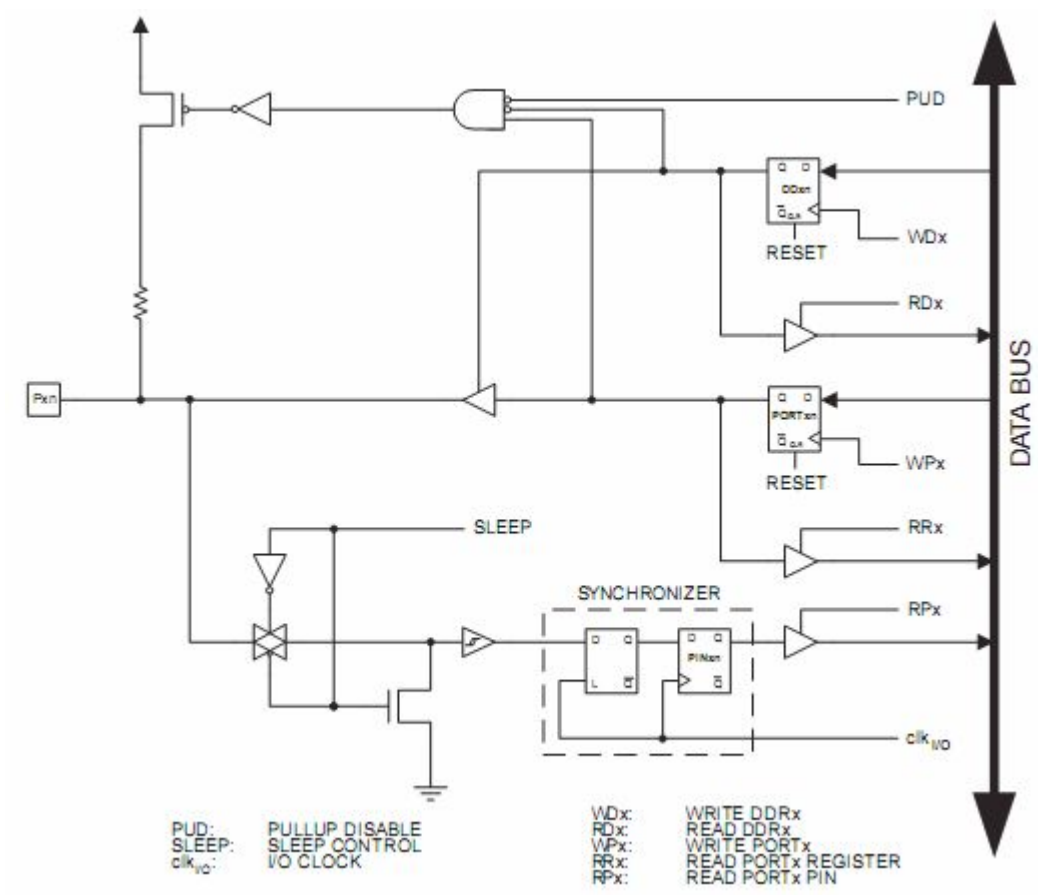
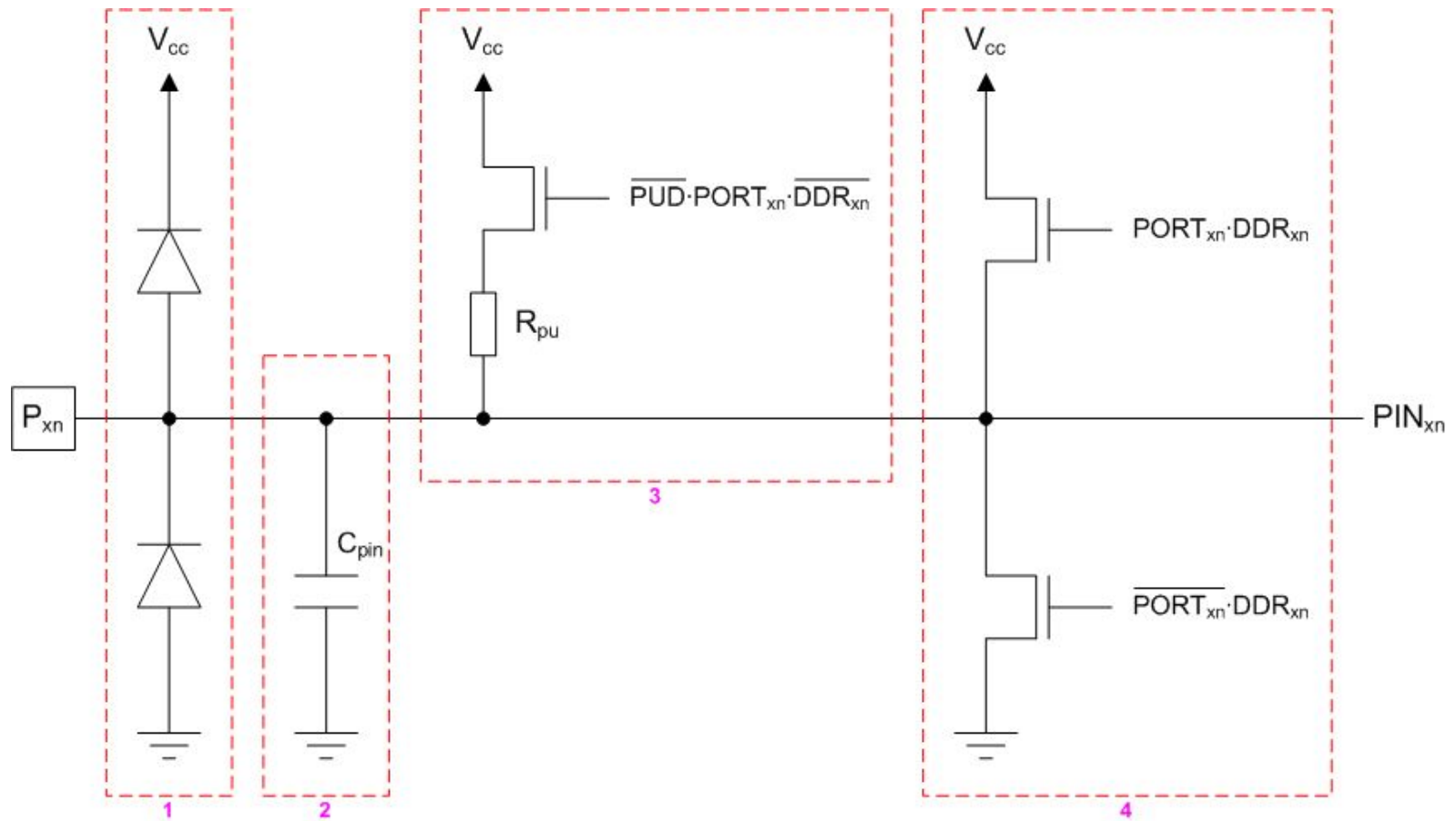
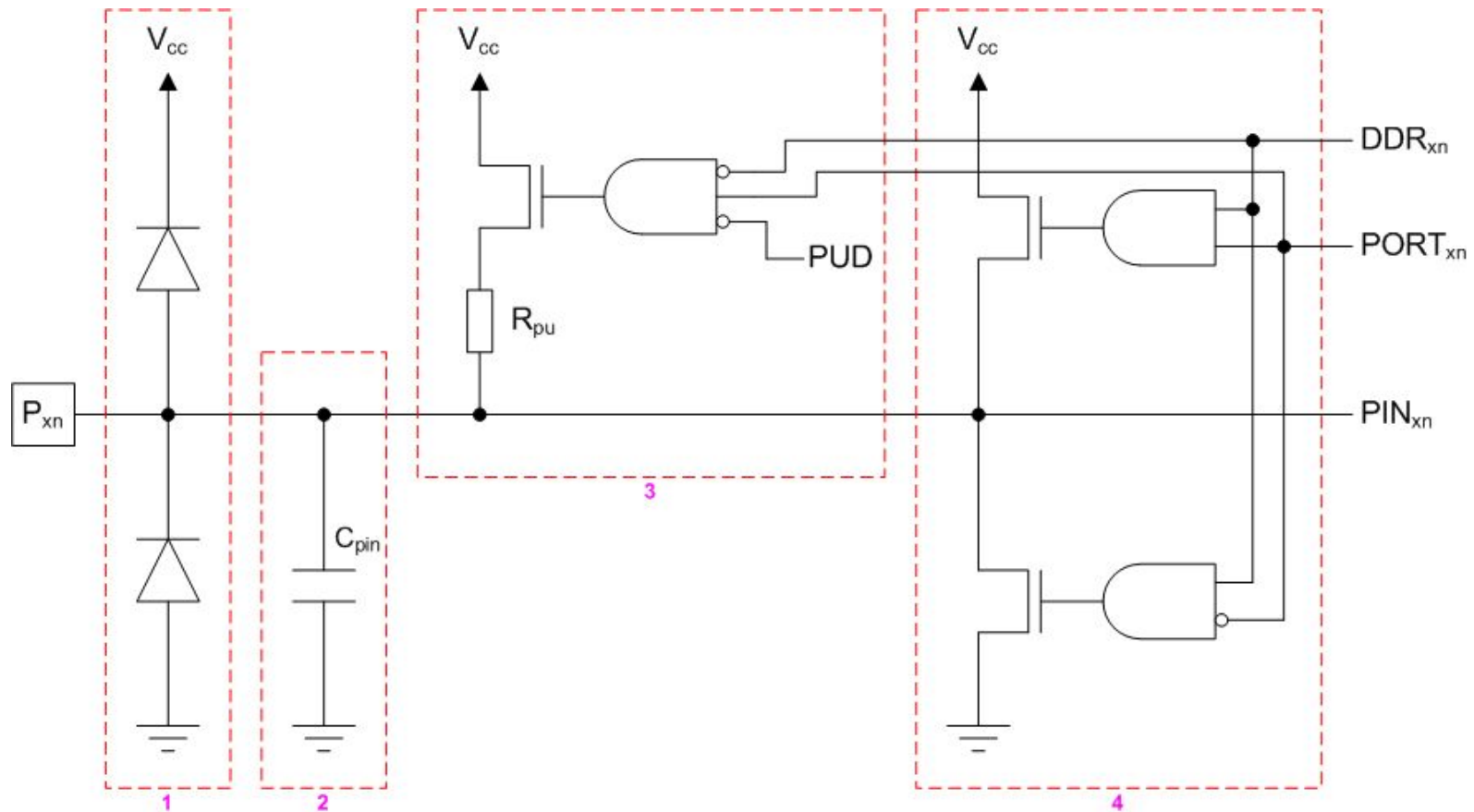


Схема линии порта ввода/вывода из описания микроконтроллера AVR

# Упрощенная схема порта ввода/вывода



# Упрощенная схема порта ВВОДА/ВЫВОДА



# Состав порта (не полный)

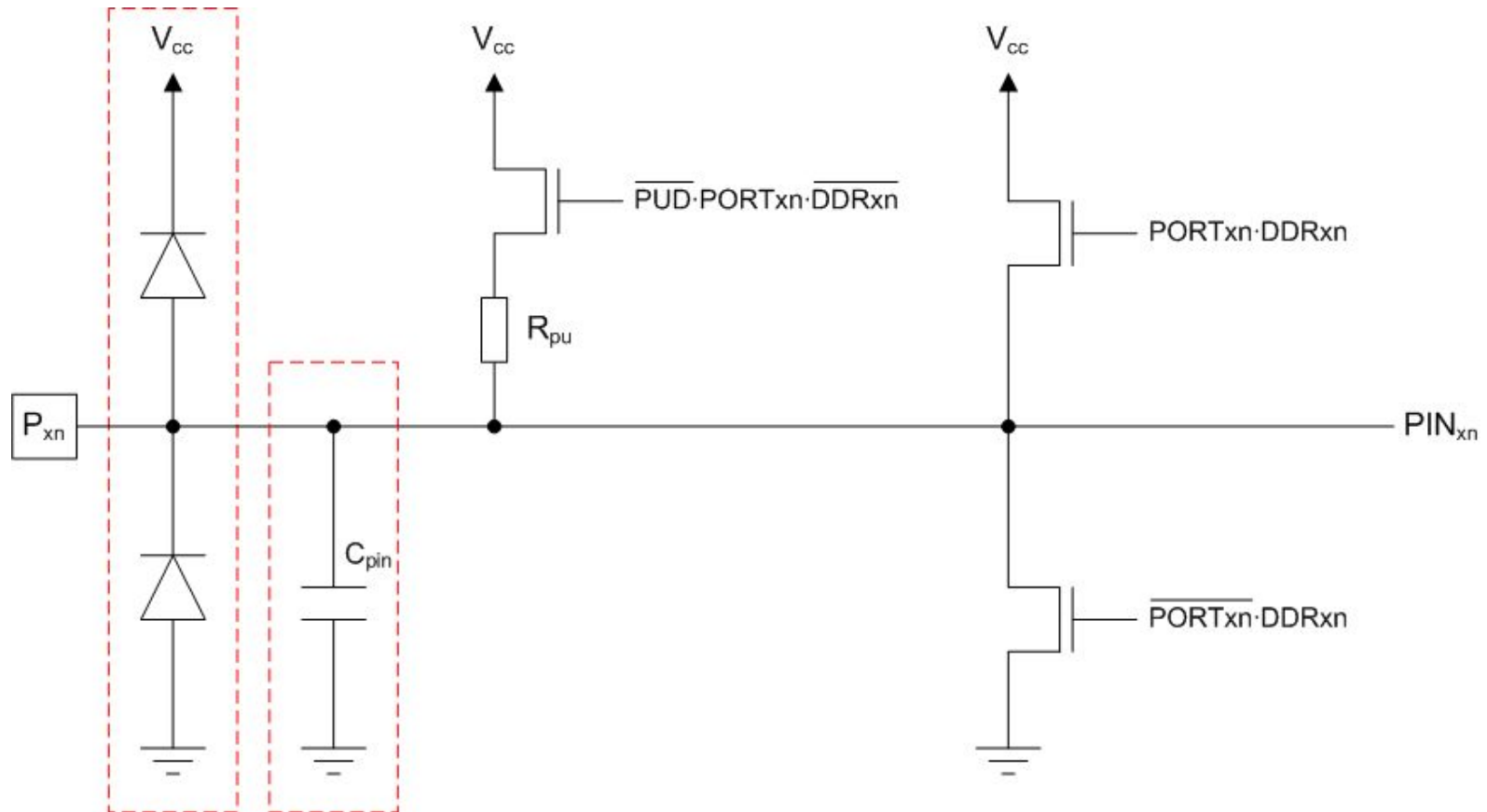
На упрощенной схеме отображены следующие части порта:

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.



# Высокоимпедансный вход

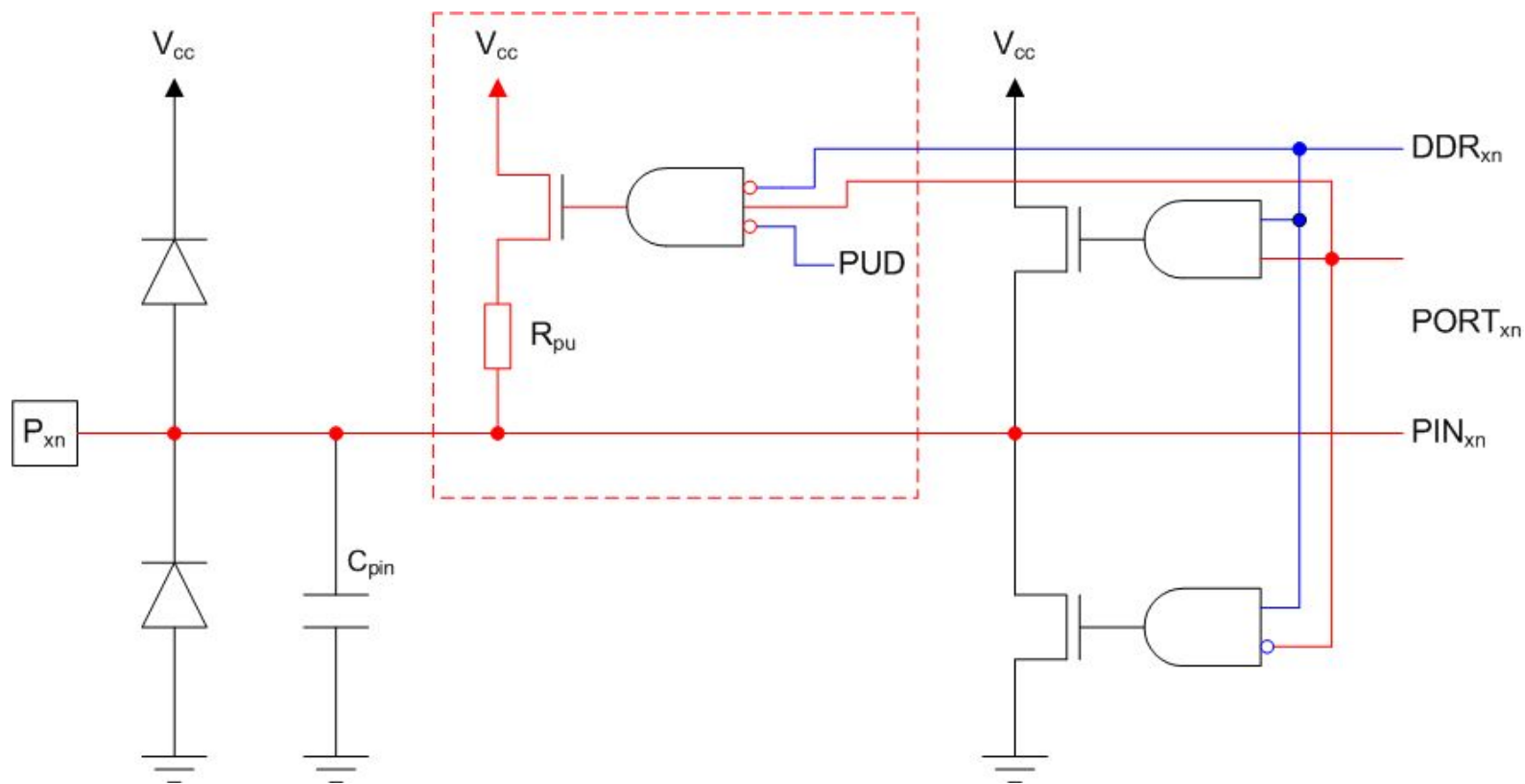
Режим Hi-Z включен по умолчанию. Все ключи разомкнуты, а сопротивление порта очень велико. При этом он постоянно считывает свое состояние в регистр **PINxn**, и всегда можно узнать, что на входе — единица или ноль. Этот режим хорош для прослушивания какой либо шины данных, т.к. он не оказывает на неё 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)

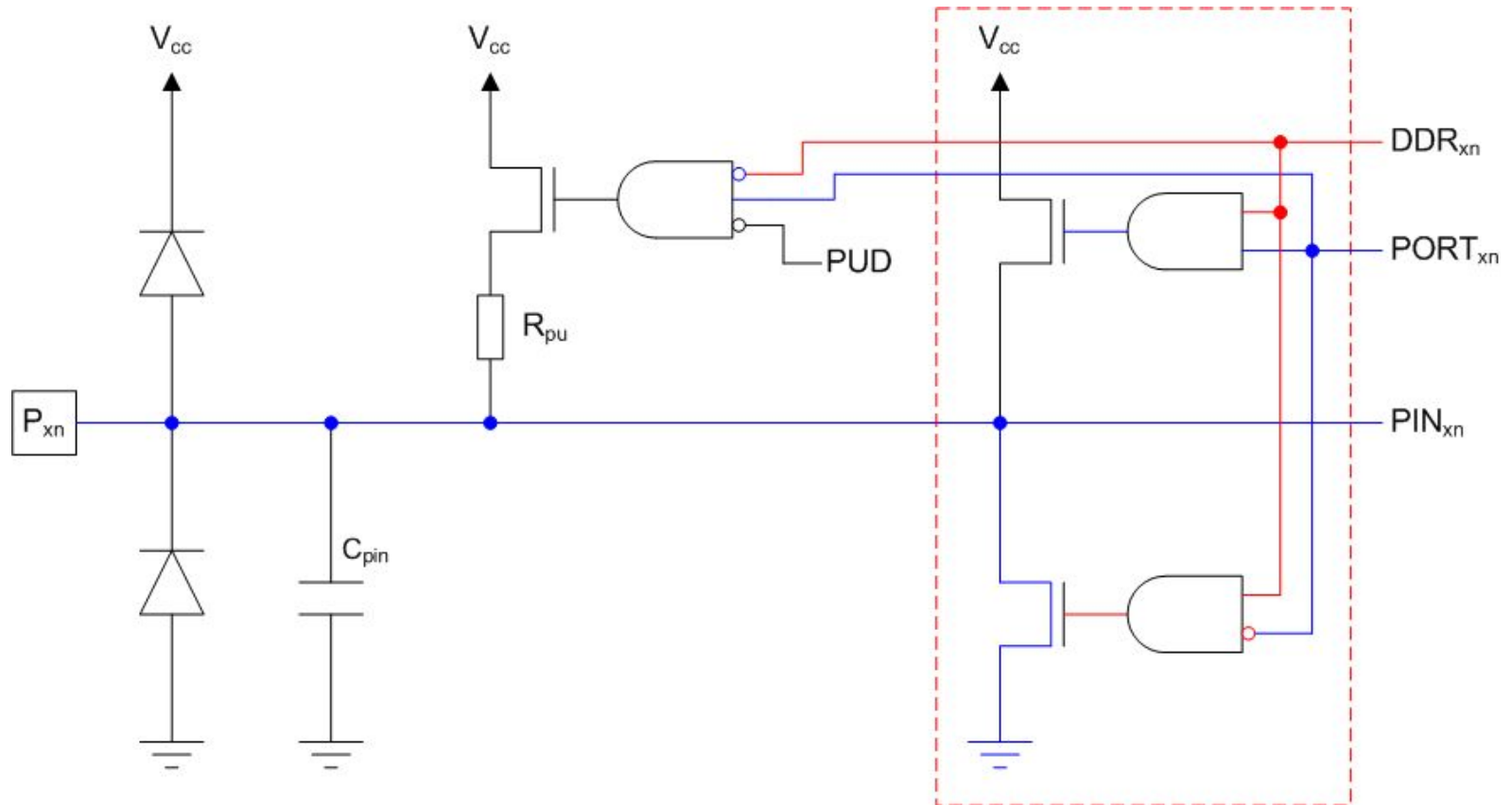
При **DDR<sub>xn</sub>=0**, **PORT<sub>xn</sub>=1** и **PUD=0** замыкается ключ подтяжки и к линии подключается резистор в 100 кОм, что моментально приводит не подключенную никуда линию в состояние лог. 1.

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»

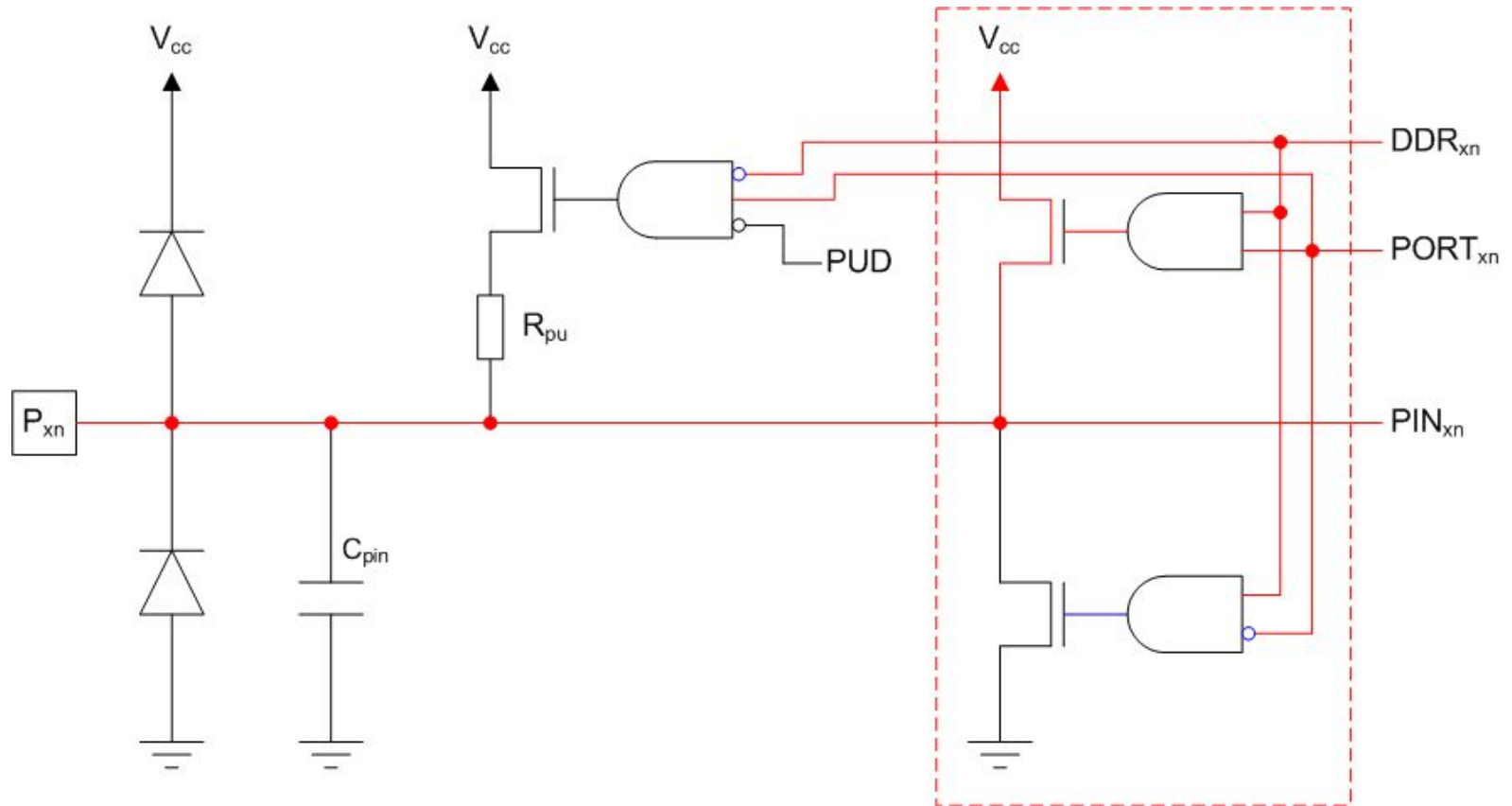


# Режим выхода. Вывод 0



**DDR<sub>xn</sub>=1, PORT<sub>xn</sub>=0**

# Режим выхода. Вывод 1



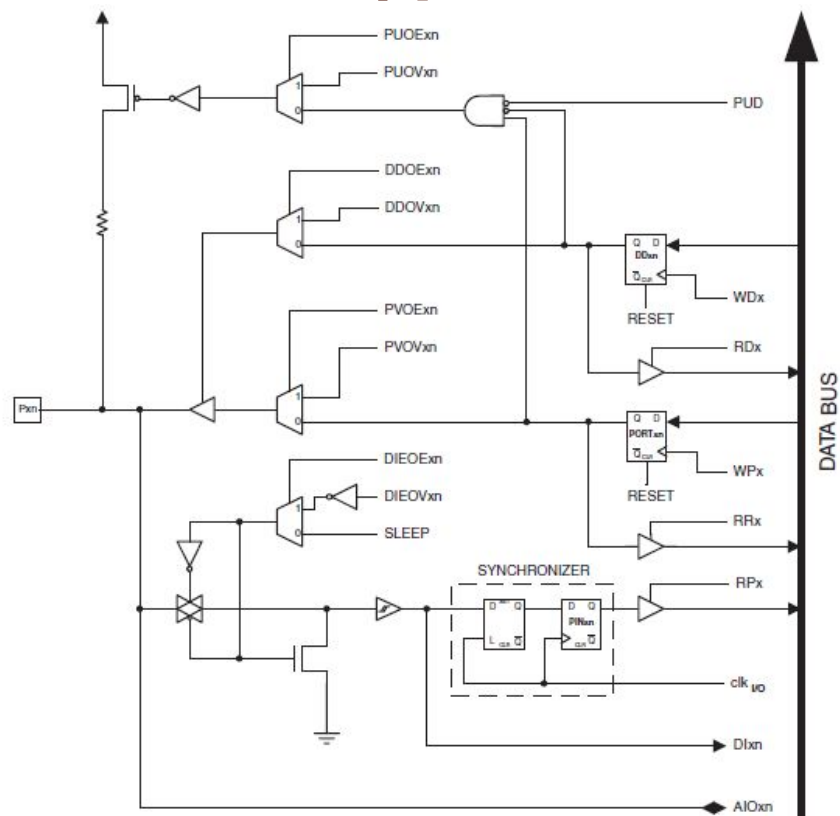
**$DDR_{xn}=1, PORT_{xn}=1$**



## 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.

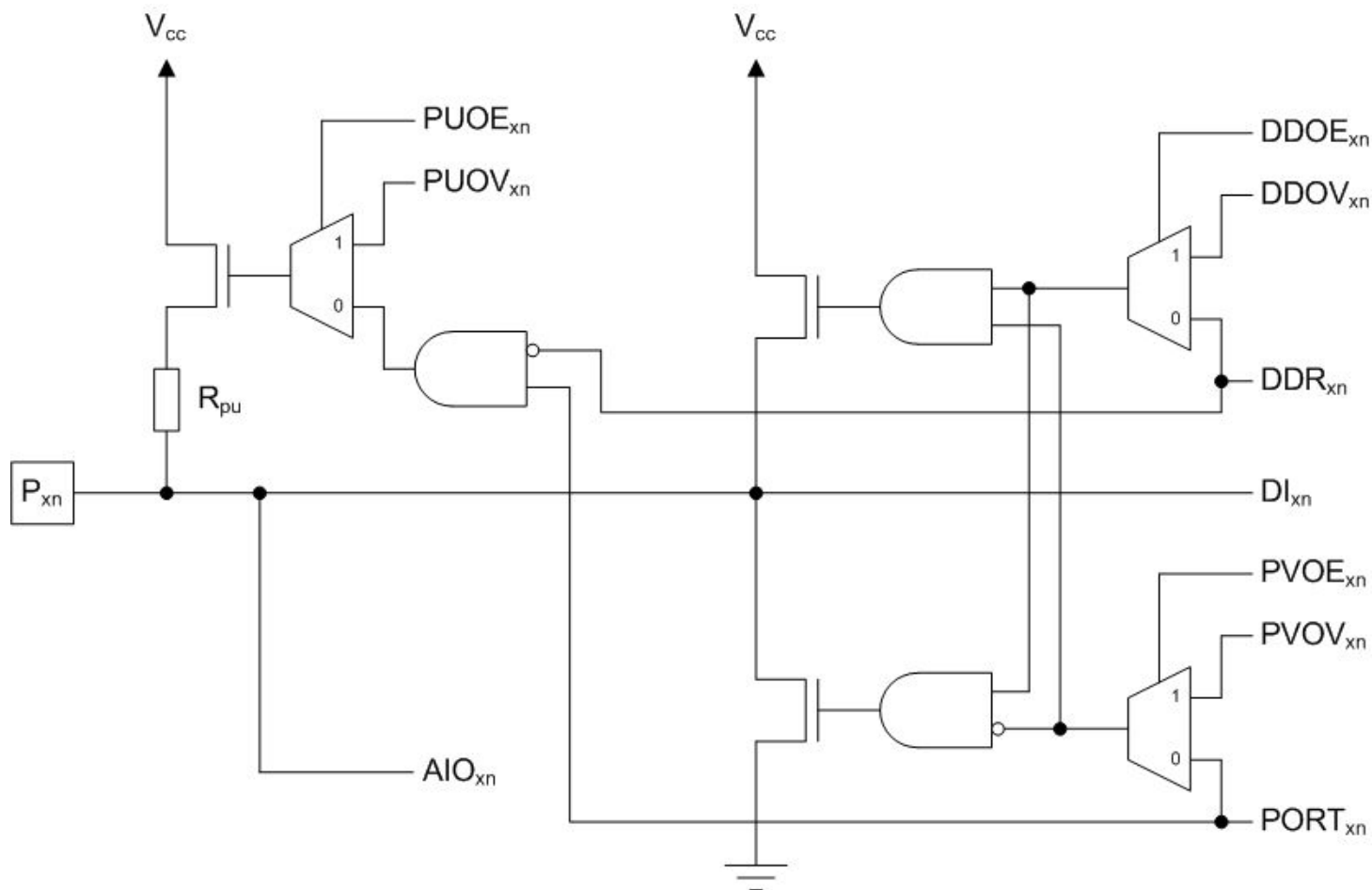
# Схема линии порта МК AVR с альтернативной функцией



PUOExn: Pxn PULL-UP OVERRIDE ENABLE  
 PUOVxn: Pxn PULL-UP OVERRIDE VALUE  
 DDOExn: Pxn DATA DIRECTION OVERRIDE ENABLE  
 DDOVxn: Pxn DATA DIRECTION OVERRIDE VALUE  
 PVOExn: Pxn PORT VALUE OVERRIDE ENABLE  
 PVOVxn: Pxn PORT VALUE OVERRIDE VALUE  
 DIEOExn: Pxn DIGITAL INPUT-ENABLE OVERRIDE ENABLE  
 DIEOVxn: Pxn DIGITAL INPUT-ENABLE OVERRIDE VALUE  
 SLEEP: SLEEP CONTROL

PUD: PULLUP DISABLE  
 WDx: WRITE DDRx  
 RDx: READ DDRx  
 RRx: READ PORTx REGISTER  
 WPx: WRITE PORTx  
 RPx: READ PORTx PIN  
 clk<sub>μC</sub>: I/O CLOCK  
 D1xn: DIGITAL INPUT PIN n ON PORTx  
 AIOxn: ANALOG INPUT/OUTPUT PIN n ON PORTx

# 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  $\text{XXOE}_{xn}$  ( $\text{P}_{xn}$  XX Override Enable – переопределение сигнала XX на линии  $\text{P}_{xn}$  порта разрешено).

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

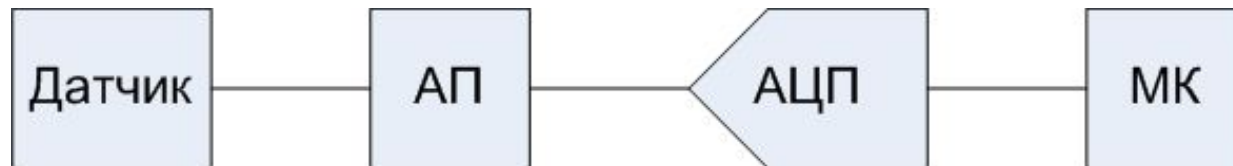
Если все  $\text{XXOE}_{xn} = 1$ , включается альтернативная функция порта.

# 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.



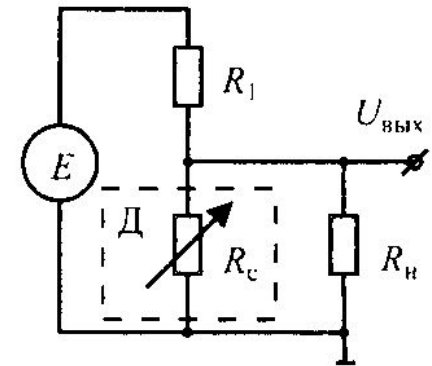
# Подключение датчика с помощью делителя напряжения

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:  $U_{\text{ВЫХ}} = I \cdot R_c$



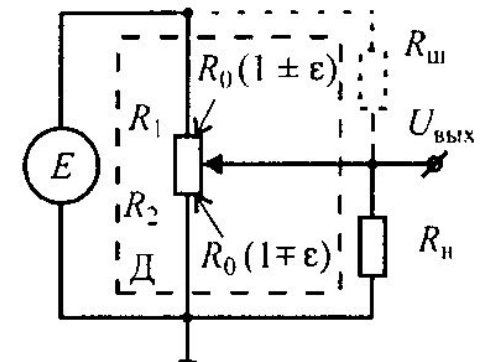
# Подключение потенциометрического датчика

● 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:

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

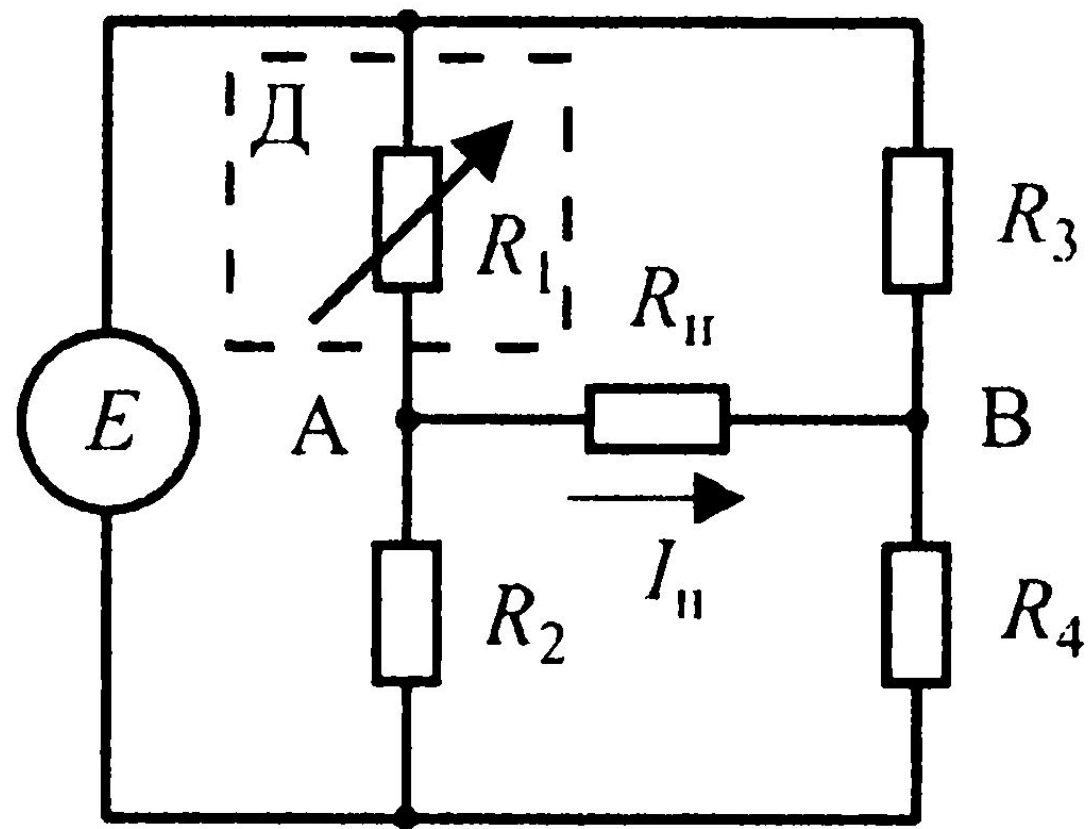
При  $R_H \gg R_0$  получается линейная зависимость  $U_{\text{ВЫХ}} = E \cdot \varepsilon$ .

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

# Мостовая схема

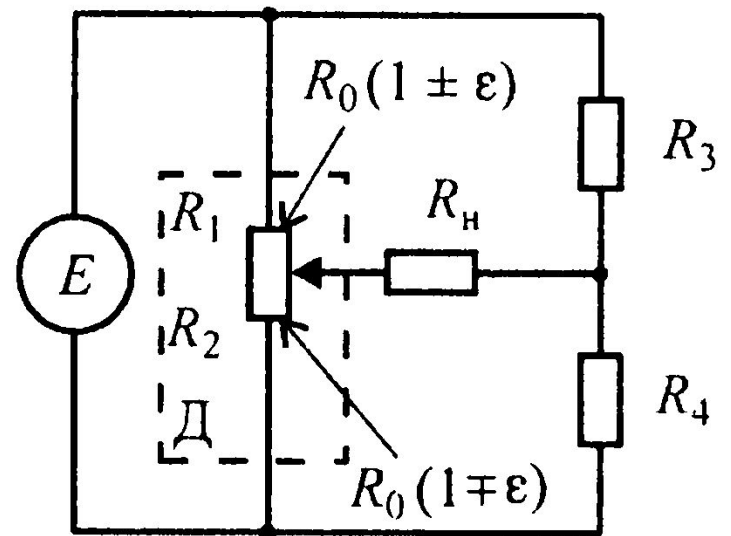
Мостовая измерительная схема содержит два плеча — измерительное, в которое включен параметрический датчик  $R_1$ , и опорное с резисторами  $R_3$ ,  $R_4$ . Одна диагональ моста запитывается напряжением  $E$ , а с другой на сопротивлении нагрузки  $R_H$  снимается выходной сигнал.

# Простая мостовая схема



# Полумостовая схема

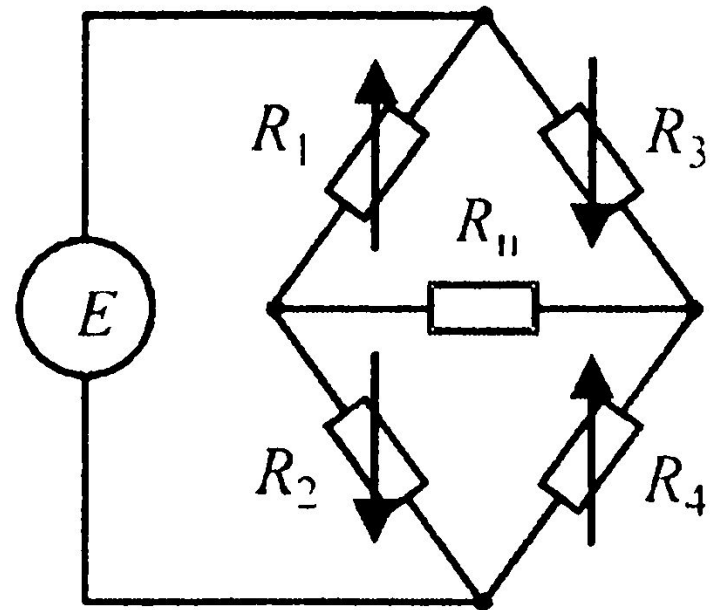
В полумостовой схеме (справа) в смежные плечи моста включается дифференциальный датчик.





# 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).

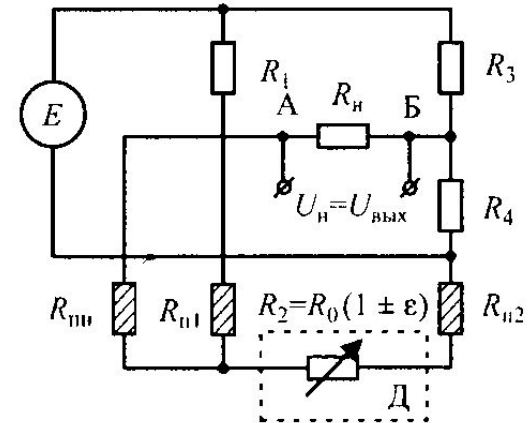
В основе работы таких схем лежит уравнение, которое связывает  $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$  с  $\Delta R_j$  (справедливо только для малых приращений  $\Delta R_j$ ):

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

# Трехпроводная схема

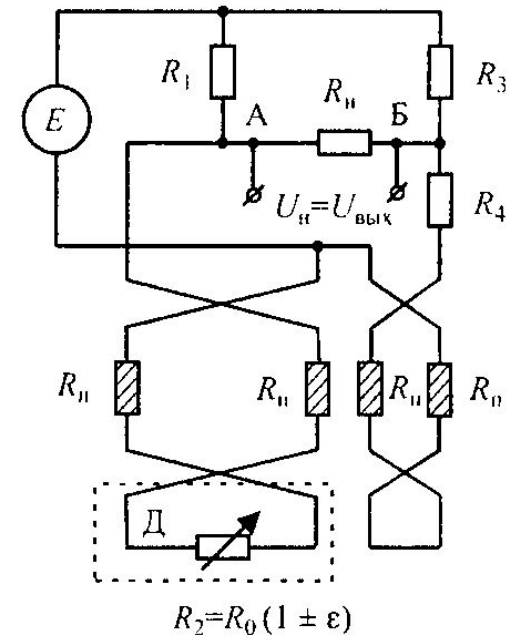
Пусть датчик включен в плечо  $R_2$  и удален от измерительной схемы и соединен с ней проводами с распределенными сопротивлениями  $R_{\text{п1}}$  и  $R_{\text{п2}}$ . Для компенсации их сопротивления добавлен третий проводник с сопротивлением  $R_{\text{пн}}$ , как показано справа.

Т.к.  $R_{\text{н}} \gg R_{\text{п}}$   $U_{\text{ВЫХ}}$  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.



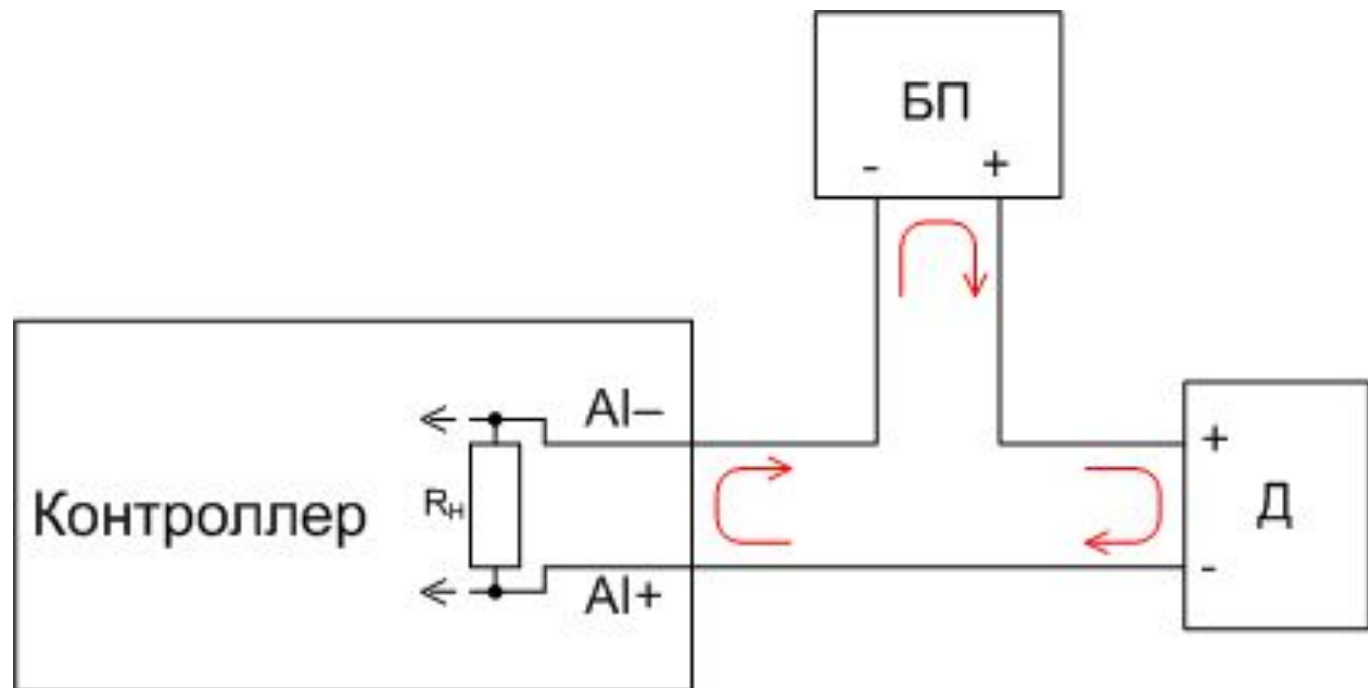
# Диапазоны сигнала аналоговой токовой петли

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.

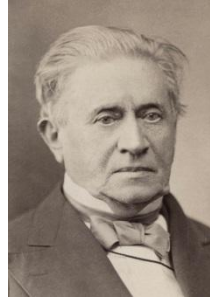
Второе преимущество диапазона «4–20 мА» – возможность подачи энергии для питания датчика.

# 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  $U_{вх}$  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  $U_{вх}$  пружина возвращает сердечник в исходное положение, размыкая выходные контакты.

