

**Структура микропроцессорной системы
управления.**

**Особенности цифрового управления
техническими процессами**

Ключевым элементом обработки измерительных сигналов является их оцифровка, т.е. дискретизация и квантование. Оцифровка это. представление аналоговых сигналов в виде последовательности значений в дискретные моменты времени.

Преобразование – основная задача интерфейса компьютера с датчиками и исполнительными механизмами:

АЦ-преобразование – преобразование **аналоговых сигналов в цифровые**

ЦА-преобразование – преобразование **цифровых сигналов в аналоговые.**

Перед оцифровкой аналогового сигнала, необходимо убедиться, что он содержит только **частоты, непосредственно относящиеся к измерению**, и что **все посторонние или нежелательные частотные составляющие**, например **высокочастотные шумы**, исключены или **подавлены**. Для этой цели используются **аналоговые фильтры**,

Для извлечения из сигнала полезной информации **после АЦ-преобразования** используются **цифровые фильтры**.

С помощью цифровой фильтрации можно уменьшить посторонние составляющие входного сигнала.

Чтобы обеспечить **качество**, и **правильность** измерительной информации, после АЦ-преобразования необходимо провести верификацию входной информации.

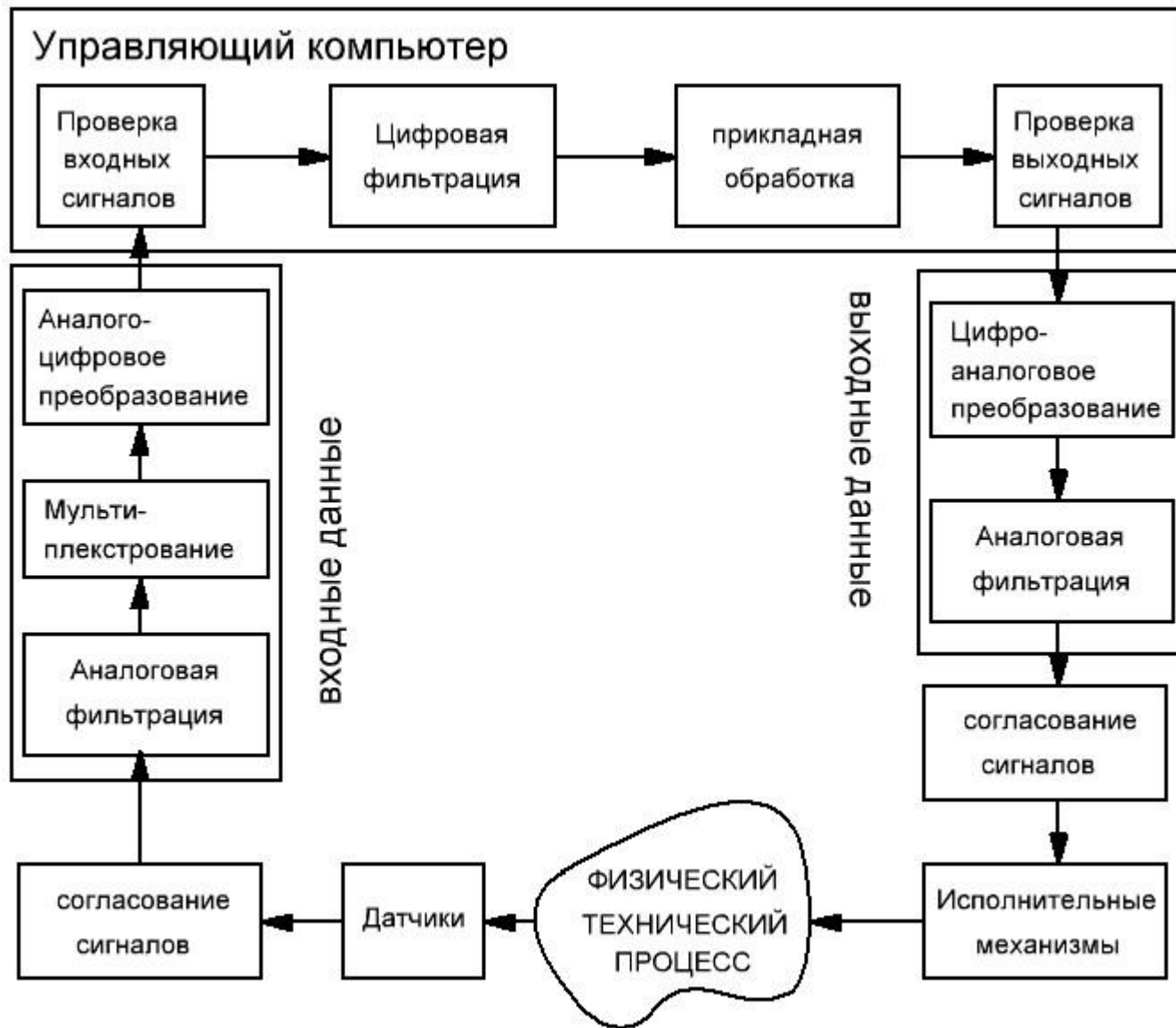


Рис. 1. Схема ввода/вывода в системе "процесс - управляющий компьютер"

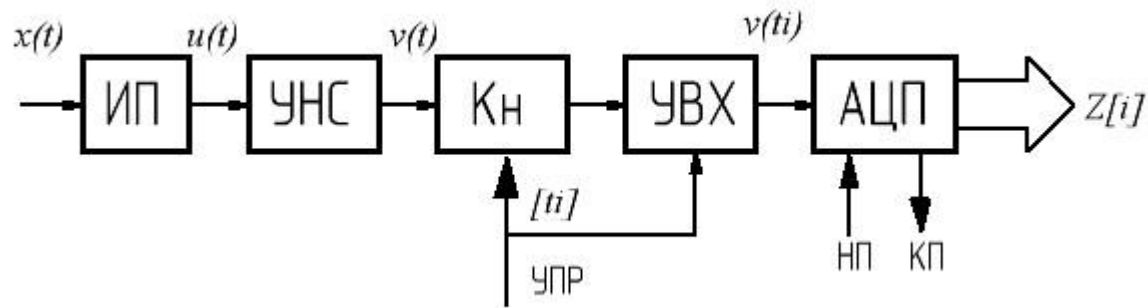


Рис. 2. Структурная схема измерительного канала

Состояние объекта управления характеризуется **физической величиной** $x(t)$, воспринимается **измерительным преобразователем** ИП. Выходной сигнал ИП $u(t)$ нормируется при помощи **устройства нормирования сигнала** УНС. Функция УНС состоит в электрическом согласовании выходного сигнала ИП с последующими устройствами. В состав УНС, как правило, входят мостовые схемы, измерительный усилитель, линеаризатор, образцовые меры, масштабирующие блоки, фильтры и др. Через **ключевой элемент** Кн **нормированный сигнал** $v(t)$ поступает на **устройство выборки-хранения** УВХ, а затем на АЦП. В момент времени t_i (по сигналу УПР) УВХ осуществляет быструю выборку аналогового сигнала и запоминание её значения на время преобразования АЦП устраняя апертурную погрешность АЦП. На выходе АЦП формируется **цифровой код** $Z[i]$, эквивалентный напряжению $v(t_i)$ в момент времени t_i , который поступает в ЭВМ для использования в вычислительном алгоритме.

Датчики измерительных систем и устройства согласования

Основные требования к датчику – это обеспечить необходимую точность измерения с заданным быстродействием при стабильности временных характеристик, помехозащищённости и надёжности.

Выходные сигналы датчиков различаются по **амплитуде, динамическому диапазону, мощности** и т.д.

Для совместной работе датчика с системой измерения его **выходной сигнал должен быть согласован** (унифицирован, нормирован) в соответствии с заранее оговоренными стандартными требованиями.

В соответствии с российскими стандартами (**ГОСТ9895-78, ГОСТ14853-76**) в качестве носителя информации в системах автоматизации используются сигналы постоянного и переменного тока:

- 1. Уровни постоянного тока:** $0 \div 5$ мА; $0 \div 20$ мА; $4 \div 20$ мА; $-0.5 \div 0.5$ мА; $-20 \div 0 \div 20$ мА; $-100 \div 0 \div 100$ мА
- 2. Уровни постоянного напряжения:** $0 \div 10$ мВ; $0 \div 20$ мВ; $0 \div 50$ мВ; $0 \div 100$ мВ; $0 \div 1$ В; $0 \div 5$ В; $0 \div 10$ В; $-100 \div 0 \div 200$ мВ; $-1 \div 0 \div 1$ В; $-5 \div 0 \div 5$ В; $1 \div 5$ В; $-10 \div 10$ В.
- 3. Уровни напряжения переменного тока:** $0 \div 1$ В; $0 \div 2$ В на 50 или 400 Гц.
- 4. Частотные сигналы:** $2 \div 4$ кГц; $4 \div 8$ кГц. Амплитуда сигналов при этом может находиться в пределах $60 \div 160$ мВ; $160 \div 600$ мВ; $0,6 \div 2,4$ В; $2,4 \div 12$ В
- 5. Выход УНС должен обеспечивать нагрузочную способность:** 250 Ом; 1 кОм; 2.5 кОм

Токовые сигналы используются для передачи измерительных сигналов на большое расстояние (десятки, сотни метров).

Потенциальный сигнал применяется в пределах внутрисистемных блоков и устройств.

Частотные сигналы применяются в условиях сильных помех из-за их высокой помехоустойчивости.

Сигналы с подавленным нулём ($4 \div 20$ мА; $1 \div 5$ В) позволяют, наряду с передачей сигналов, осуществлять контроль целостности линии и подачу электроэнергии.

Основным элементом построения УНС является

операционный усилитель ОУ.

Возможно два способа включения:

- 1. Несимметричное включение** (однопроводный вход) используются прямой или инверсный входы ОУ.
- 2. Симметричное включение** (дифференциальный вход) – обеспечивает высокое подавление синфазных помех. Применяется для ввода слабых измерительных сигналов.

Основные электрические схемы согласования датчиков

1. Согласование датчиков с потенциальным выходом.

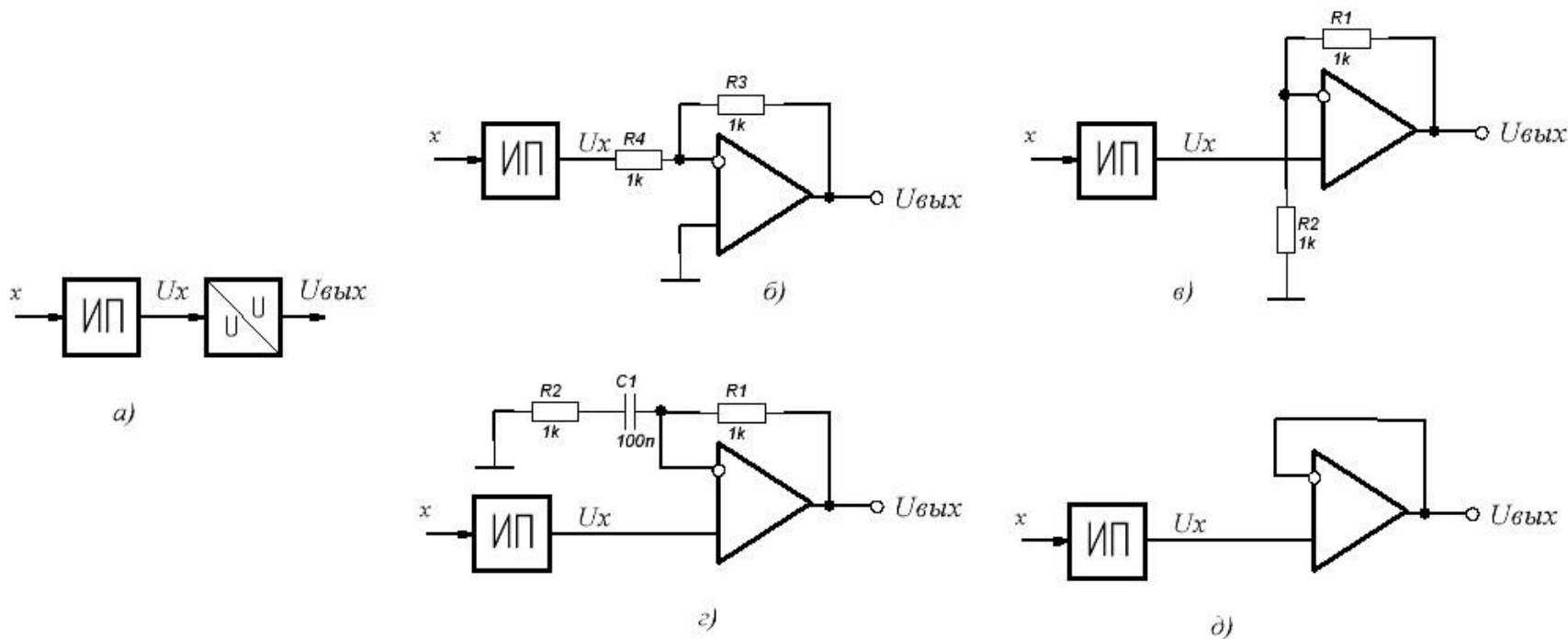


Рис. 3. а) Структурная схема, б) инвертирующее в) неинвертирующее включение ОУ, г) усиление только переменной составляющей сигнала, д) повторитель (согласует высокоомный выход с низкоомной нагрузкой).

$$\text{б) } U_{\text{вых}} = - U_x \cdot (R_{oc}/R); \text{ в) } U_{\text{вых}} = U_x \cdot (1 + R_{oc}/R); \text{ д) } U_{\text{вых}} = U_x;$$

$$\text{г) } U_{\text{вых}}(j\omega) = U_x \cdot (1 + R_{oc}/(R + 1/(j\omega))); \text{ (при } R \gg 1/j\omega \text{ (г) = (в))}$$

1. Согласование датчиков с токовым выходом.
Применяют обычно инвертирующее включение ОУ в режиме преобразователя сопротивления

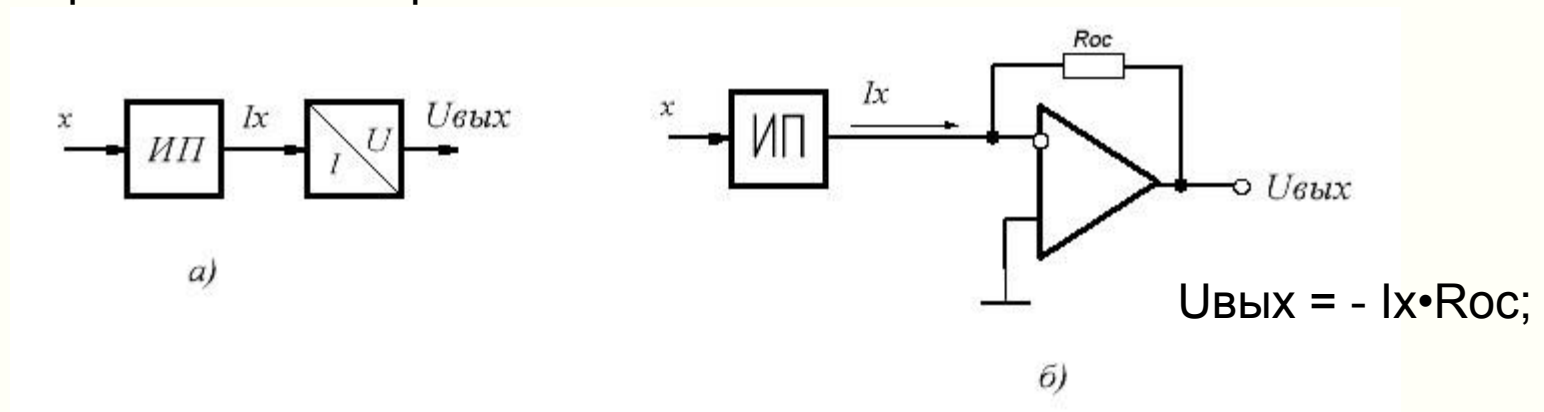


Рис. 4. а) Структурная схема, б) принципиальная схема.

2. Согласование датчиков электрического заряда.

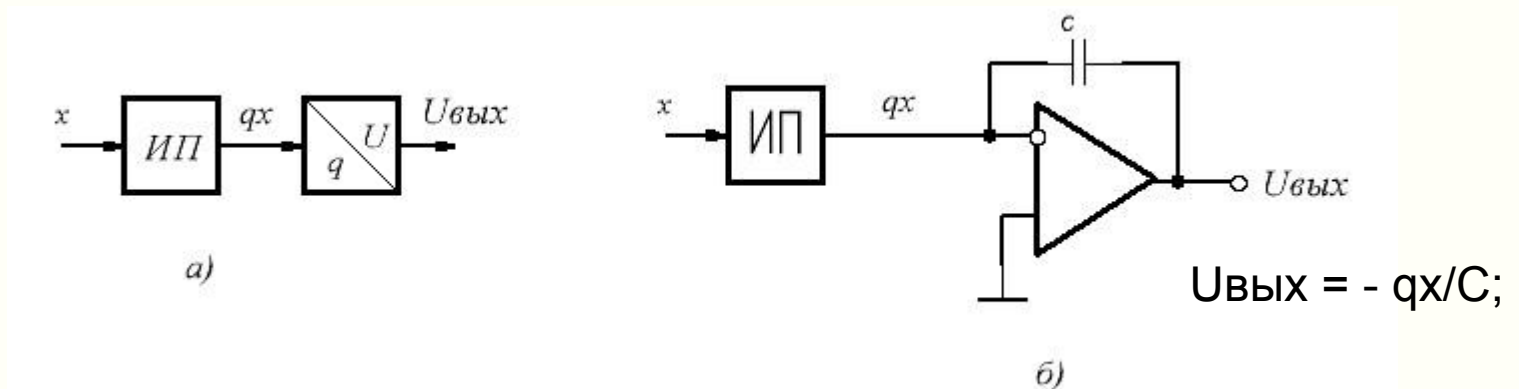


Рис. 5. а) Структурная схема, б) принципиальная схема.

1. Согласование резистивных датчиков.

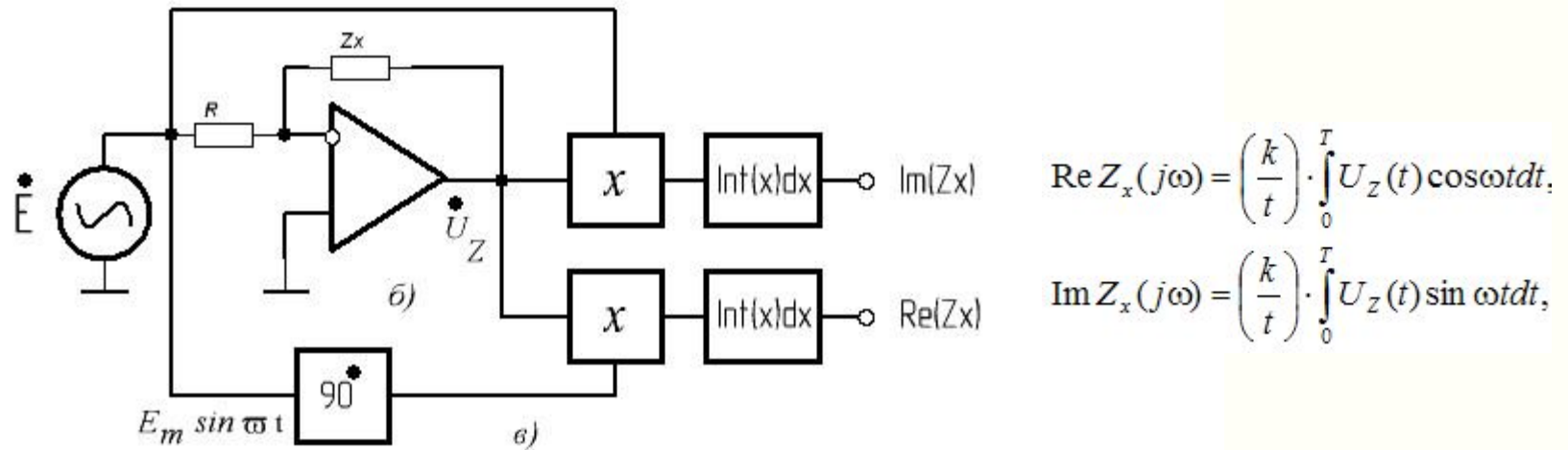
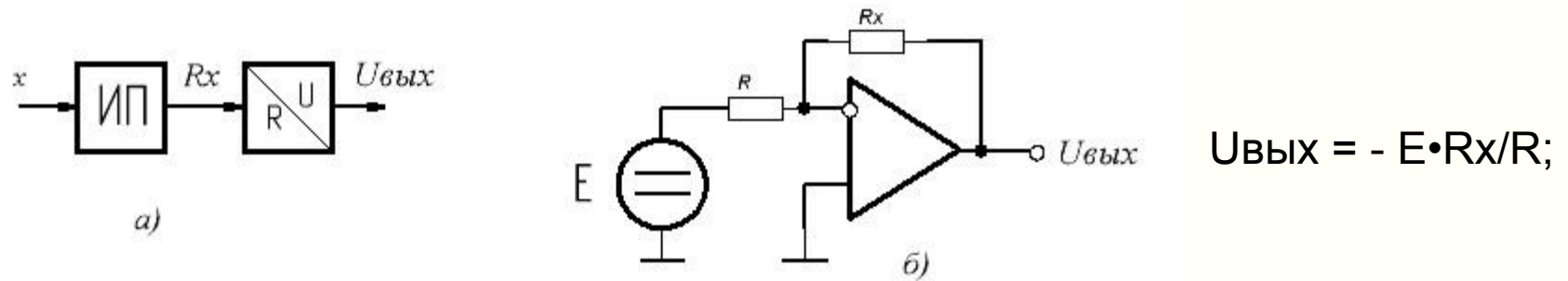


Схема рис.6 в) реализует преобразование Фурье для выделения синфазной и квадратурной составляющей сигнала.

T – период интегрирования, k – коэффициент пропорциональности.

Элементы системы должны совместно использовать некоторые ограниченные ресурсы, например входной порт компьютера или длинный сигнальный кабель, по которому передается информация от нескольких датчиков.

Мультиплексирование (*multiplexing*) **позволяет компьютеру** в любой момент времени **выбирать**, сигнал какого датчика необходимо считать, т.е. мультиплексор это переключатель (коммутатор)

Измерительные коммутаторы – это аналоговые коммутаторы с нормированными метрологическими характеристиками.

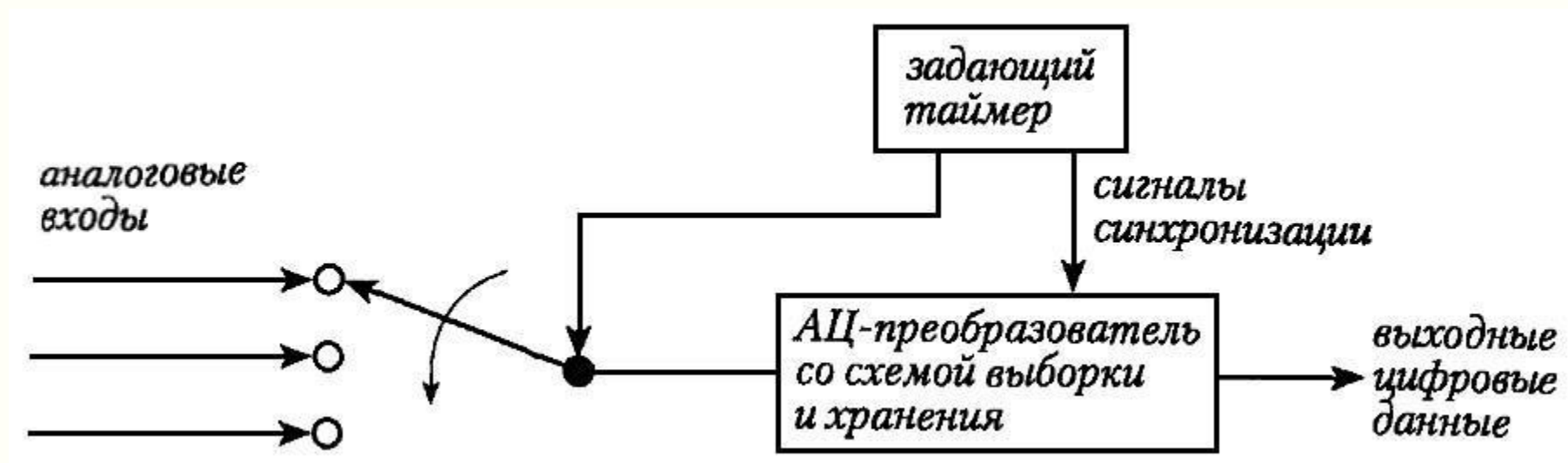


Рис. 7. Мультиплексирование и АЦ-преобразование измерительной информации

Аналоговые мультиплексоры

Мультиплексоры – схемы, которые позволяют выбрать один из нескольких входов по указанию управляющего цифрового сигнала. Такие устройства входят в состав систем сбора данных микропроцессорных регуляторов промышленных и транспортных объектов. Аналоговый сигнал с выбранного входа будет прямо проходить на выход.

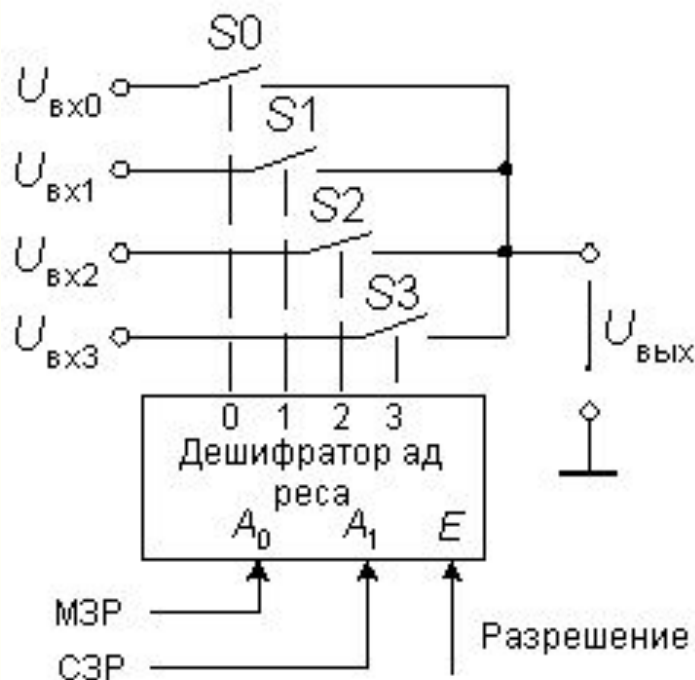


Рис. 8. Схема аналогового мультиплексора

Коммутаторы классифицируют по **точности, быстродействию и количеству каналов.**

Погрешность коммутатора оценивают как:

$$\varepsilon_k = (U_{вых} - U_{вх}) / U_{вх}$$

Низкоточные $\varepsilon_k > 1\%$

Среднеточные $\varepsilon_k = 1 \div 0,05\%$

Высокоточные $\varepsilon_k < 0,05\%$

Низкоскоростные $\Delta t_k > 0,1$ мс

Среднескоростные $\Delta t_k > 0,1$ мкс

Высокоскоростные $\Delta t_k < 0,1$ нс

Мультиплексор (коммутатор) может быть: либо **электромеханическим**, либо **электронным**.

Все входы мультиплексора **пронумерованы**. Переключение производят обычно последовательно в соответствии с порядковым номером; однако применяются и другие алгоритмы.

Электромеханический мультиплексор с язычковым реле — **надежная**, но **медленная** система – до сотни коммутаций в секунду.

Достоинства. Очень **малое падение напряжения на контактах**, хорошие изолирующие качества и низкая стоимость.

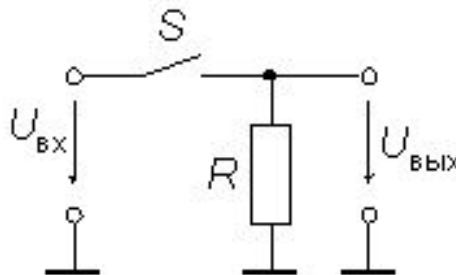
Недостатки. Эксплуатационный период мультиплексоров этого типа ограничен естественным износом подвижных частей,

Электронный полупроводниковый мультиплексор. **Намного быстрее** (коммутация занимает не более чем **несколько микросекунд**). В сочетании с развязывающим усилителем этот тип мультиплексоров имеет **очень хорошие эксплуатационные характеристики**, но он **существенно дороже** релейного мультиплексора.

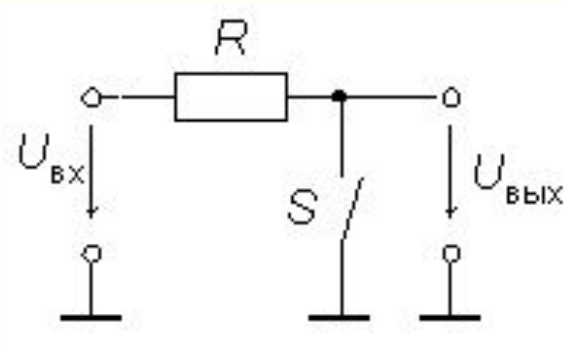
Токовые утечки и **скачки напряжения** на входах мультиплексора могут представлять собой **серьезную проблему**. Развязывающий усилитель между датчиком и компьютером работает с дифференциальным входом, но потенциал сигнала может “плавать” относительно "земли". В этом случае **проводники, подходящие к мультиплексору или АЦП, должны быть гальванически изолированы**.

Общие сведения об аналоговых коммутаторах

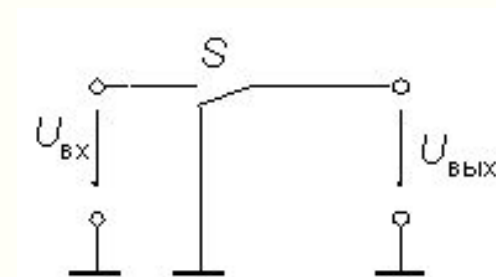
Аналоговый коммутатор служит для переключения непрерывно изменяющихся электрических сигналов. Если коммутатор находится в состоянии "**включено**", его выходное напряжение должно по возможности точно равняться входному; если же коммутатор находится в состоянии "**выключено**", выходное напряжение должно быть как можно ближе к нулю или, во всяком случае, должно как можно меньше зависеть от входного



Последовательный коммутатор. Пока контакт **замкнут**, $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}$. Когда контакт **размыкается**, выходное напряжение становится равным нулю. Все это справедливо, если источник сигнала имеет нулевое выходное сопротивление, и емкость нагрузки равна нулю. При значительном выходном сопротивлении источника сигнала напряжение $U_{\text{вых}}$ делится между этим сопротивлением и резистором R . Поэтому **эту схему не следует применять в случае, если источником сигнала является источник тока, например, фотодиод**. При существенной емкости нагрузки, во время разряда этой емкости при размыкании ключа S выходное напряжение коммутатора снижается до нуля довольно долго.



Параллельный коммутатор. $U_{ВЫХ} = U_{ВХ}$ при разомкнутом ключе, если входное сопротивление нагрузки коммутатора бесконечно велико. Если же оно соизмеримо с сопротивлением резистора R , то на резисторе будет падать часть выходного напряжения источника сигнала. При наличии емкостной нагрузки будет относительно медленно устанавливаться выходное напряжение после размыкания ключа.



Последовательно-параллельный коммутатор. не имеет недостатков двух предыдущих схем. В любом рабочем состоянии он имеет выходное сопротивление, близкое к нулю.

Электронные аналоговые коммутаторы

Аналоговые коммутаторы могут быть реализованы на электронных элементах с управляемым сопротивлением, имеющим малое минимальное и высокое максимальное значения.

Для этих целей могут использоваться **диодные мосты, биполярные и полевые транзисторы**.

Вследствие **неидеальности**, они **вносят погрешности в обрабатываемые сигналы**.

Источниками погрешностей электронных аналоговых коммутаторов являются:

- о **ненулевое проходное сопротивление** электронного ключа во включенном состоянии и конечная его величина в выключенном;
- о **остаточное падение напряжения** на замкнутом ключе, т.е. наличие напряжения на ключе при отсутствии через него тока;
- о **нелинейная зависимость сопротивления** ключа от напряжения (тока) на информационном и управляющем входах;
- о **взаимодействие** управляющего и коммутируемого **сигналов**;
- о **ограниченный динамический диапазон** (по амплитуде и по знаку) коммутируемых токов и напряжений.

Ключи на биполярных транзисторах и, в особенности, **на диодных мостах**:

- **потребляют значительную мощность** по цепям управления и
- **имеют** сравнительно **большое остаточное напряжение**, составляющее единицы милливольт, что **вносит заметную погрешность при коммутации слабых сигналов** (менее 100 мВ).

Такие ключи **имеют высокое быстродействие** (время переключения диодных ключей, выполненных на диодах Шоттки, достигает 1 нс) и **применяются для построения сверхскоростных коммутаторов**.

Наиболее широкое применение нашли **коммутаторы на полевых транзисторах**.

Коммутаторы на полевых транзисторах

Полевой транзистор в области малых напряжений сток-исток ведет себя как резистор, сопротивление которого может изменяться во много раз при изменении управляющего напряжения затвор-исток $U_{зи}$.

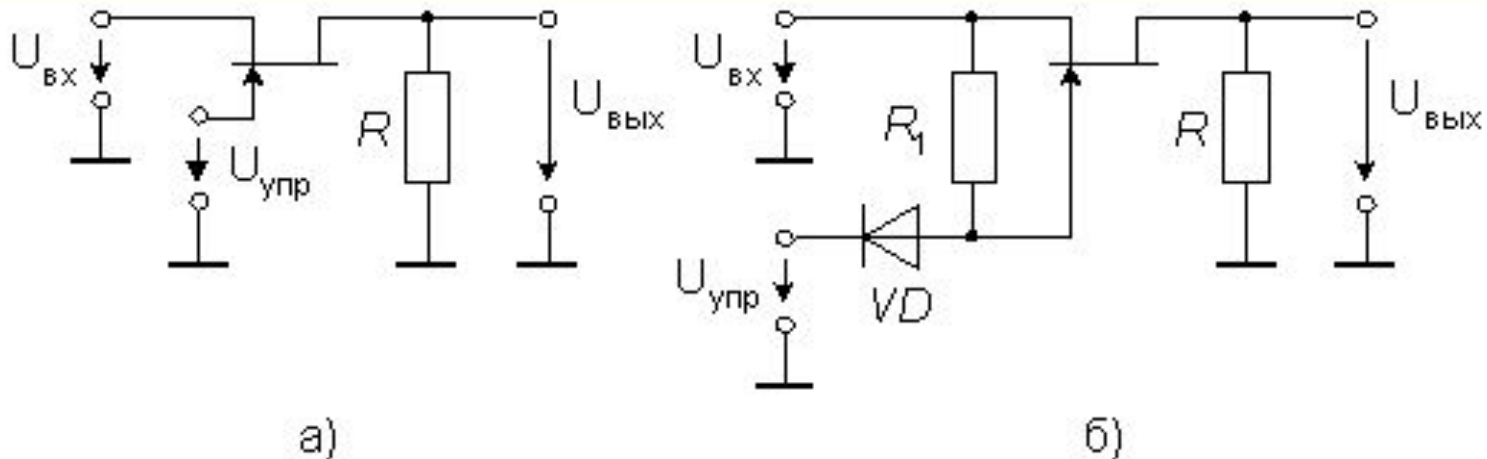


Рис.9.Упрощенная схема последовательного коммутатора на полевом транзисторе с управляющим рп-переходом

Для того, чтобы транзистор был открыт, напряжение затвор-исток $U_{зи}$ следует поддерживать равным нулю, что обеспечивает минимальное сопротивление канала. Равенство нулю $U_{зи}$ непросто реализовать, так как потенциал истока изменяется согласно изменению входного потенциала. Наиболее простой путь преодоления этой трудности показан на рис. 9 б).

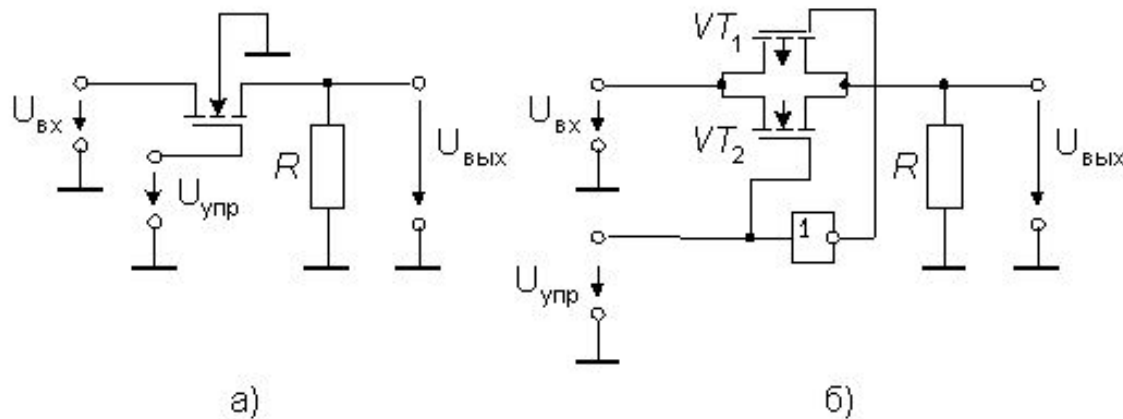
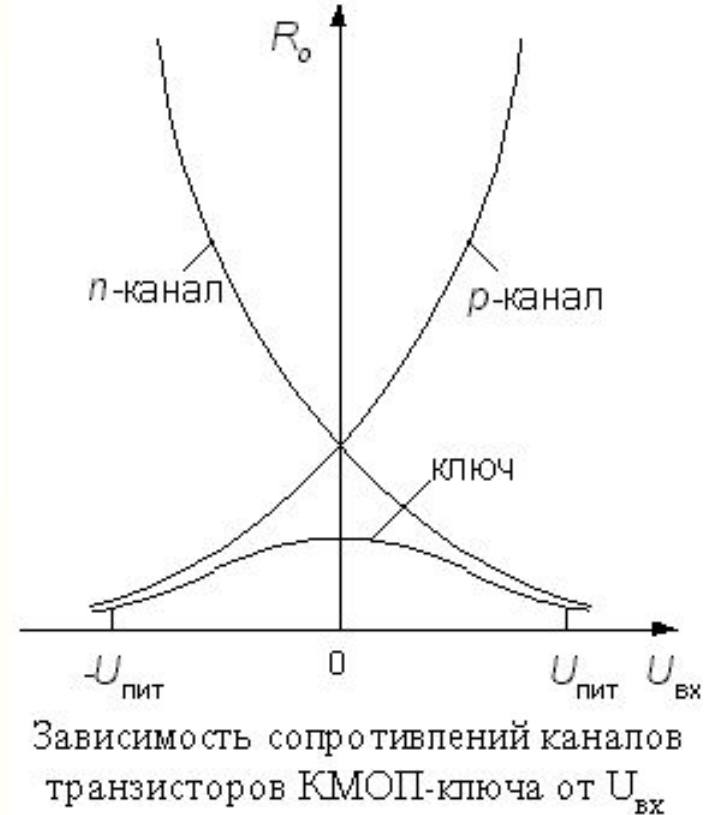


Рис. 10. Последовательные коммутаторы на n-МОП транзисторах



В выключенном состоянии сопротивление канала, как правило, достигает единиц или даже десятков **ГОм**, и сигнал не проходит через ключ. Подача на затвор относительно истока значительного положительного напряжения приводит канал в проводящее состояние с типичным сопротивлением от 20 до 200 Ом для транзисторов, используемых в качестве аналоговых ключей.

Схема (рис. 5, а) будет работать при положительных входных сигналах, которые по крайней мере на 5 В меньше, чем $U_{упр}$;

Если надо переключать сигналы обеих полярностей (например, в диапазоне от -10 до +10 В), то можно использовать такую же схему, соединив подложку с источником -15 В и подавая на затвор напряжения +15 В (включено) и -15 В (выключено).

Эксплуатационные параметры аналоговых коммутаторов

К эксплуатационным параметрам относятся:

- о **номинальные значения питающих напряжений;**
- о **ток потребления;**
- о **максимально допустимое значение тока через коммутатор;**
- о **диапазон допустимых значений входного (выходного) напряжения;**
- о **уровни (высокий и низкий) напряжения управления** (обычно согласованы с уровнями 0 и 1 ТТЛ и КМОП цифровых микросхем, для чего ИМС аналоговых коммутаторов содержат порой довольно сложные схемы управления собственно ключами).

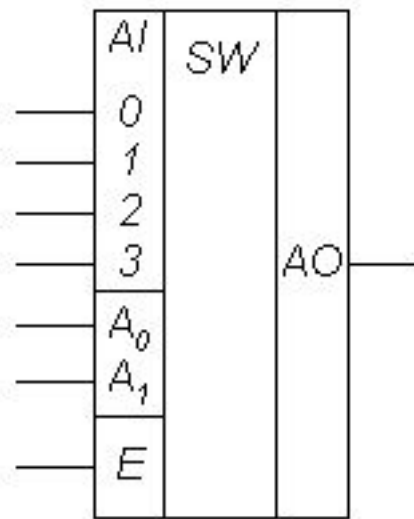
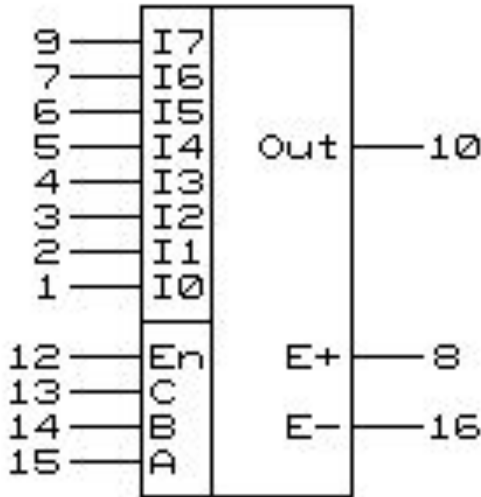


Рис. 11. Условное обозначение аналогового коммутатора

Дешифратор декодирует адрес, представленный в двоичном коде подаваемый на линии $A_0 \dots A_n$ и включает только адресованный ключ, блокируя остальные. Вход разрешения **Е** необходим для наращивания числа коммутируемых источников сигналов; если на этот вход поступает сигнал низкого уровня, то, независимо от состояния адресных входов, все ключи мультиплексора разомкнуты. Так как аналоговые ключи являются двунаправленными устройствами, аналоговый мультиплексор является одновременно и "демультиплексором", т.е. сигнал может быть подан на вход мультиплексора и снят с избранного выхода.

Назначение и расположение выводов некоторых аналоговых мультиплексоров

Микросхема 590KH1



Аналоговый мультиплексор 8 линий в одну.

Назначение выводов:

I0÷I7 – аналоговые входы (выходы).

Out – аналоговый выход (вход).

A,B,C – адрес (выбор соединения).

En – разрешение: **En = L** – выход изолирован от входов;

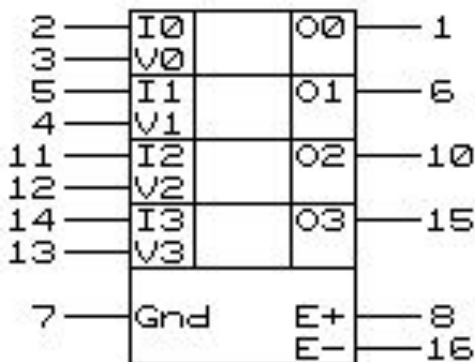
En = H – выход соединен с адресуемым ВХОДОМ.

E+ – положительное напряжение питания (+5 в).

E- – отрицательное напряжение питания (-15 в).

Примечание: вывод 11 не имеет соединений.

Микросхема 590KH2



Четыре независимых аналоговых ключа..

Назначение выводов:

Ii – аналоговый вход (выход).

Oi – аналоговый выход (вход).

Vi – вход управления: **Vi = L** – ключ замкнут;

Vi = H – ключ разомкнут.

E+ – положительное напряжение питания (+12 в).

E- – отрицательное напряжение питания (-12 в).

Gnd – общий вывод (цифровая земля).

Примечание: вывод 9 не имеет соединений.

Процедура аналого-цифрового преобразования

Процедура АЦП, представляет собой преобразование непрерывной функции времени $U(t)$, описывающей исходный сигнал, в последовательность чисел $\{U'(t_j)\}, j = 0, 1, 2, \dots$, отнесенных к некоторым фиксированным моментам времени.

Эту процедуру можно разделить на две самостоятельные операции:

1. **Дискретизация** - преобразование непрерывной функции времени $U(t)$ в непрерывную последовательность $\{U(t_j)\}$.
2. **Квантование** - преобразование непрерывной последовательности в дискретную $\{U'(t_j)\}$.

Ключевой задачей дискретизации является **сбор достаточной информации** для последующей обработки сигнала, например для генерации необходимых выходных сигналов в системе управления с обратной связью.

Дискретизация происходит очень быстро.

Во время АЦ-преобразования не должно быть каких-либо изменений во входном сигнале, которые могли бы повлиять на цифровой выход.

Это обеспечивается операцией **выборки и хранения**.

Схема выборки-хранения

В каждом цикле дискретизации – значение аналогового сигнала считывается в начале каждого интервала и остается постоянным в течении всего времени АЦ-преобразования. Эта операция называется задержкой нулевого порядка.

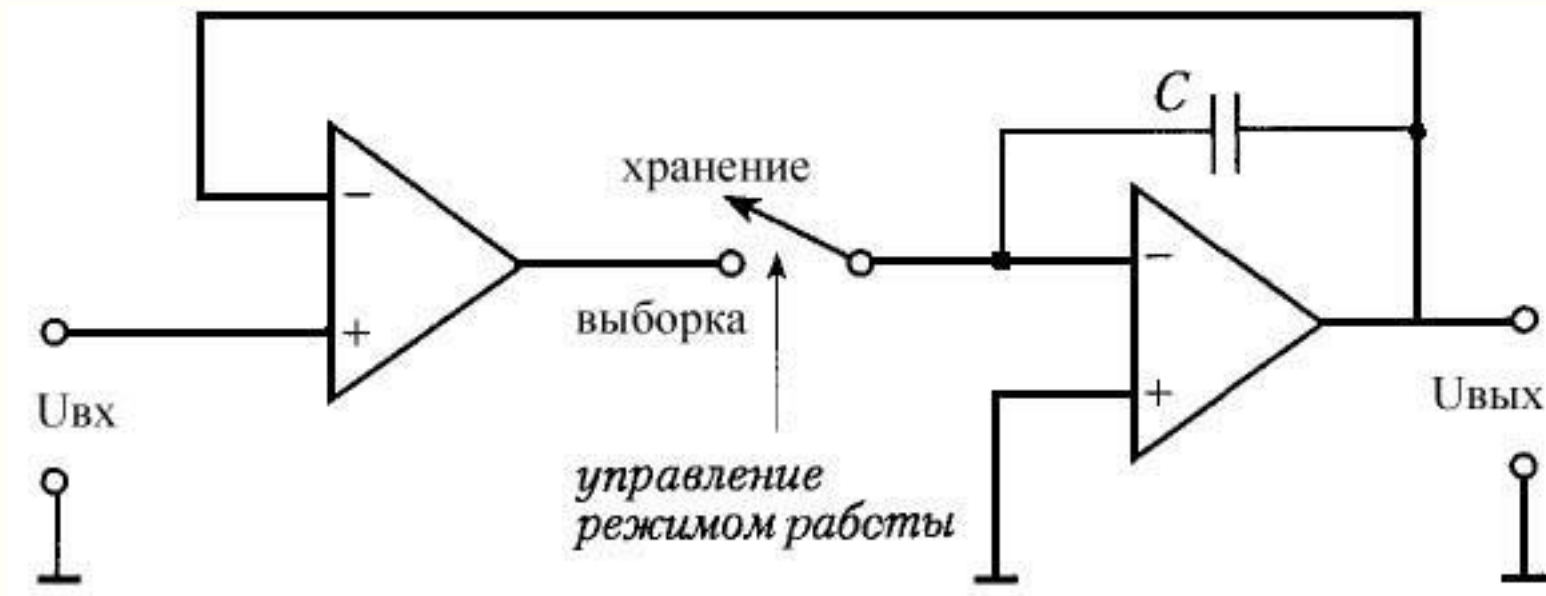


Рис. 12. Схема выборки и хранения с единичным усилением

В режиме **выборки** (*sample*) амплитуда выходного сигнала равна мгновенному значению входного сигнала $U_{вых} = U_{вх}$.

В режиме **удержания** (хранения — *hold*) выходной сигнал постоянен и равен последнему выходному значению, когда цепь функционировала в режиме выборки.

Дискретизация

В основе дискретизации непрерывных сигналов лежит принципиальная возможность представления их в виде взвешенных сумм

$$U(t) = \sum_j a_j \cdot f_j(t) \quad (1)$$

где a_j – некоторые коэффициенты или отсчеты, характеризующие исходный сигнал в дискретные моменты времени;

$f_j(t)$ – набор элементарных функций, используемых при восстановлении сигнала по его отсчетам

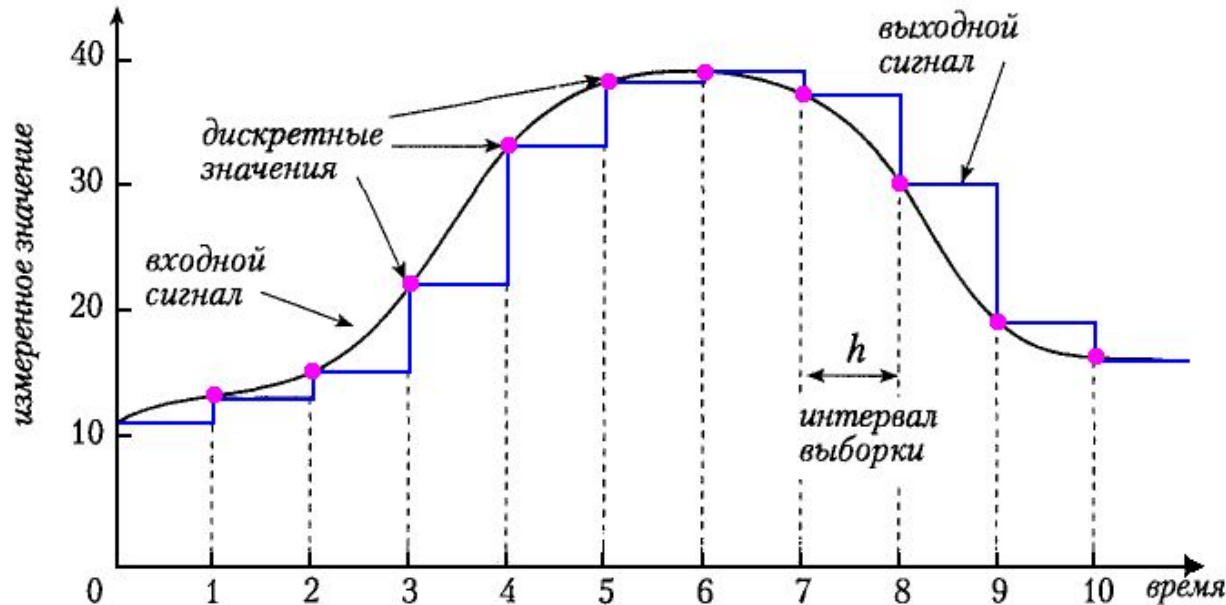


Рис. 13. Дискретизация аналогового сигнала с задержкой нулевого порядка

Определение интервала дискретизации

Очень важно правильно определить интервал дискретизации аналогового сигнала.

Интервал дискретизации h должен быть достаточно коротким, чтобы выходной сигнал с приемлемой точностью описывал изменения аналогового входа. Теоретически **частота дискретизации должна более чем в два раза превышать частоту наивысшей составляющей преобразуемого сигнала**

Если **интервал дискретизации велик**, т.е. **частота выборки мала**, то компьютер получит **неверную картину исходного сигнала**.

Слишком **малый интервал**, т. е. **высокая частота выборки**, приводит к тому, что управляющий компьютер выполняет **неоправданно много вычислений**. Кроме того, **чем больше быстродействие – тем дороже устройство**.

После **выборки об исходном сигнале ничего не известно до следующей выборки**. Период дискретизации должен быть настолько коротким, чтобы **исходный сигнал не успел значительно измениться**.

Частота выборки должна быть достаточной для последующего восстановления аналогового сигнала из дискретного.

Нижний предел частоты, очевидно, связан с динамикой процесса, т.е. насколько быстро измерительный сигнал, а следовательно, и первоначальная физическая величина изменяются во времени.

Равномерная дискретизация

Наиболее распространенная форма дискретизации.

В основе лежит **теорема отсчетов**. Согласно этой теореме в качестве коэффициентов a_j следует использовать мгновенные значения сигнала $U(t_j)$ в дискретные моменты времени $t_j = j \cdot \Delta t$, а период дискретизации выбирать из условия

$$\Delta t = (1/2)F_{max}, \quad (2)$$

где F_{max} – максимальная частота спектра преобразуемого сигнала.

Только при этом условии непрерывный сигнал может быть представлен в виде взвешенных сумм (1).

$$U(t) = \sum_j a_j \cdot f_j(t)$$

$$U(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} U(j\Delta t) \frac{\sin[2\pi F_m(t - j\Delta t)]}{2\pi F_m(t - j\Delta t)} \quad (3)$$

Выбор частоты дискретизации

Для сигналов со строго ограниченным спектром выражение (3) является тождеством.

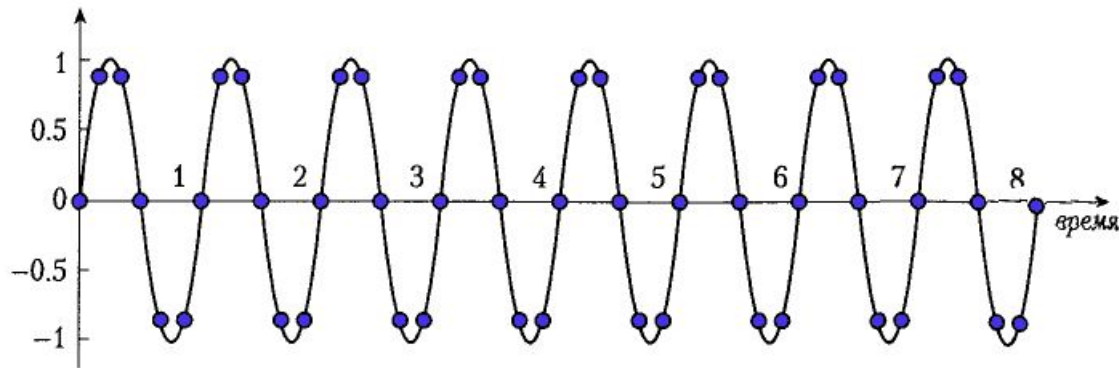
НО! спектры реальных сигналов стремятся к нулю лишь асимптотически.

Применение равномерной дискретизации к таким сигналам приводит к **возникновению в системах обработки информации специфических высокочастотных искажений, обусловленных выборкой.**

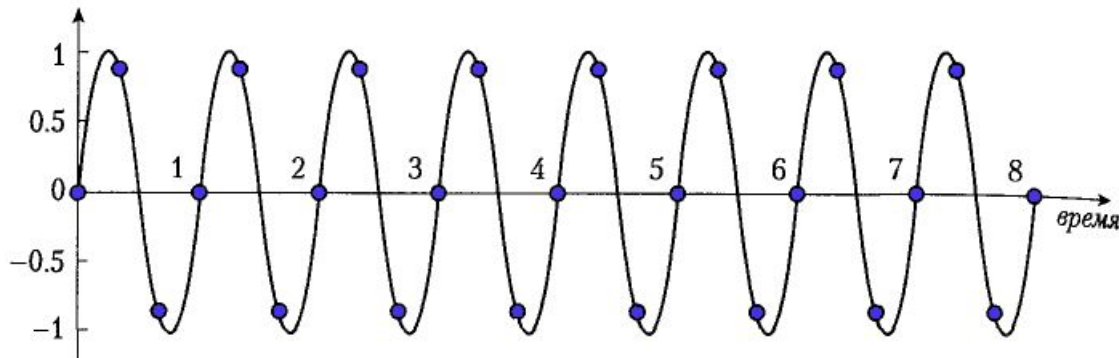
Для уменьшения этих искажений необходимо:

1. либо увеличивать частоту дискретизации,
2. либо использовать перед АЦП дополнительный **фильтр нижних частот**, ограничивающий спектр исходного сигнала перед его аналого-цифровым преобразованием

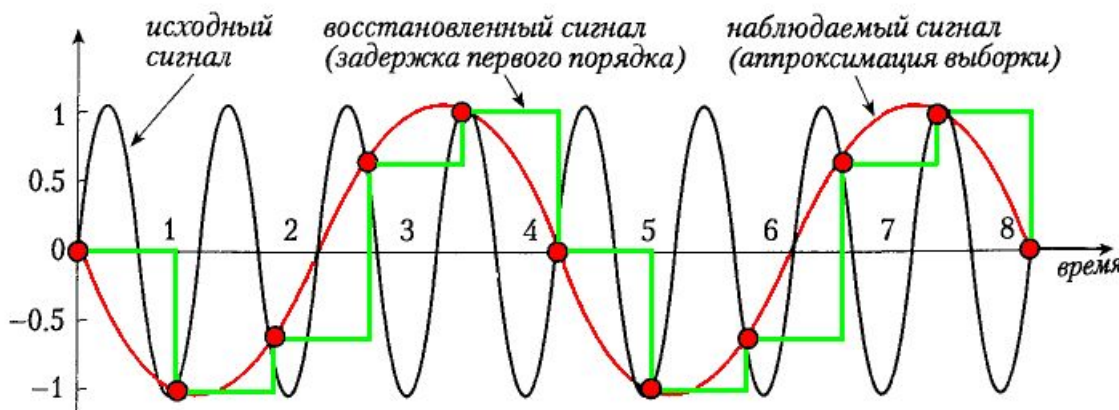
Дискретизация синусоидального сигнала



Дискретизация сигнала
по 6 точкам за период



Дискретизация сигнала
по 3 точкам за период



Дискретизация сигнала
по 5/4 точкам за период.

**Восстановленная синусоида
имеет частоту намного ниже
частоты истинного сигнала**

$$f_0 = 5/4f - f = 1/4f$$

Рис. 14. Дискретизация синусоидального сигнала

Соотношение между реальной и восстановленной (наблюдаемой) частотой сигнала

Эффект: если частота выборки слишком мала по отношению к частотным составляющим исходного сигнала, то **в восстановленном сигнале появляется ложная частота (псевдочастота)**

$$f_0 = f_s - f$$

где f_0 – псевдочастота,

f_s – частота выборки,

f – истинная частота

Если $f_s > 2f$, то частота $f_0 = f$

Если $f_s \leq 2f$, то $f_0 \rightarrow 0$ (Гц) при $f = f_s$

Частота Найквиста

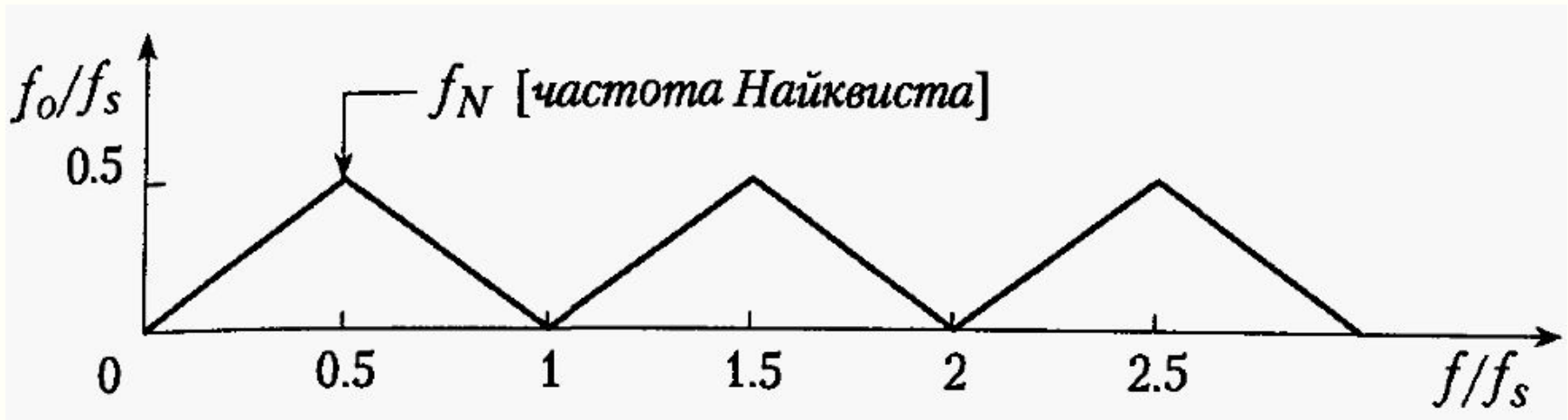
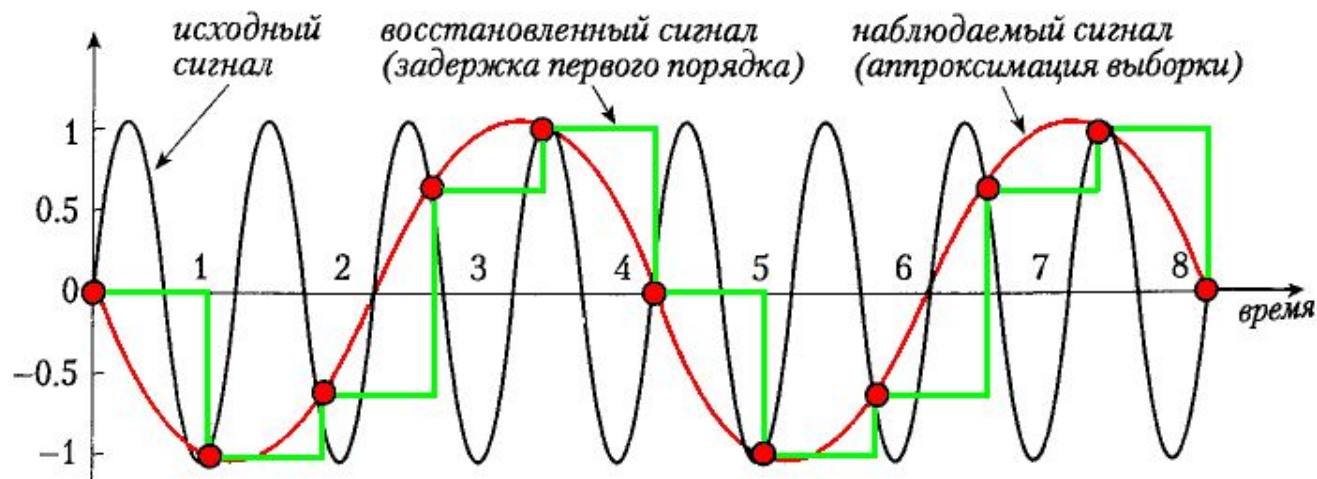


Рис. 15. Зависимость между наблюдаемой (восстановленной) и истинной частотами

При частоте выборки f_s , меньшей удвоенной частоты исходного сигнала f , последний нельзя восстановить без искажений на основании дискретных значений.

Граничная частота называется частотой Найквиста $f_N = 2f$



При дискретизации синусоидального сигнала $5/4$ раз за период **псевдочастота** $f/4$ и истинная частота f лежат симметрично относительно половины частоты Найквиста с шагом $\Delta f = 3f/8$, т. е.

$$\frac{f_N}{2} - \Delta f = \frac{5f}{8} - \frac{3f}{8} = \frac{f}{4}$$

псевдочастота

$$\frac{f_N}{2} + \Delta f = \frac{5f}{8} + \frac{3f}{8} = f$$

истинная частота

После дискретизации **оцифрованные данные уже невозможно исправить** поэтому **истинную частоту f нельзя выделить из псевдочастот $f + n \cdot f_0$** .
Таким образом, **любая из псевдочастот**

$$fs - f, fs + f, 2fs - f, 2fs + f, \dots \quad (4)$$

может появиться в выходном сигнале, если частота f исходного сигнала **выше** половины частоты Найквиста $f_N/2 = fs/2$.

Суть теоремы дискретизации

Если аналоговый сигнал содержит *любые частоты, превышающие $f_N/2$* , то эти высокочастотные компоненты *появляются* в последовательности данных выборки, *как гармоники более низкой (псевдо) частоты*.

Во избежание псевдочастот необходимо, чтобы частота выборки по крайней мере вдвое превышала самый высокочастотный компонент сигнала.

На практике частота выборки должна быть больше частоты Найквиста. Теорема основана на предположении, что **исходный сигнал периодический и дискретизируется неограниченное время**.

В реальных системах это не так, поэтому для сбора информации, достаточной для адекватного описания сигнала и его последующего восстановления, **частота выборки должна быть выше**. Более того, **в случае непериодического сигнала нет теоремы, ограничивающей нижний предел частоты выборки**.

Дискретизация измерительного сигнала содержащего высокочастотные шумы

ПРИМЕР

Пусть имеется измерительный сигнал с шумом 50 Гц (наводка от электросети), который оцифровывается с частотой 60Гц.

Частота Найквиста

$$f_N = 2 * 50 \text{ Гц} = 100 \text{ Гц}$$

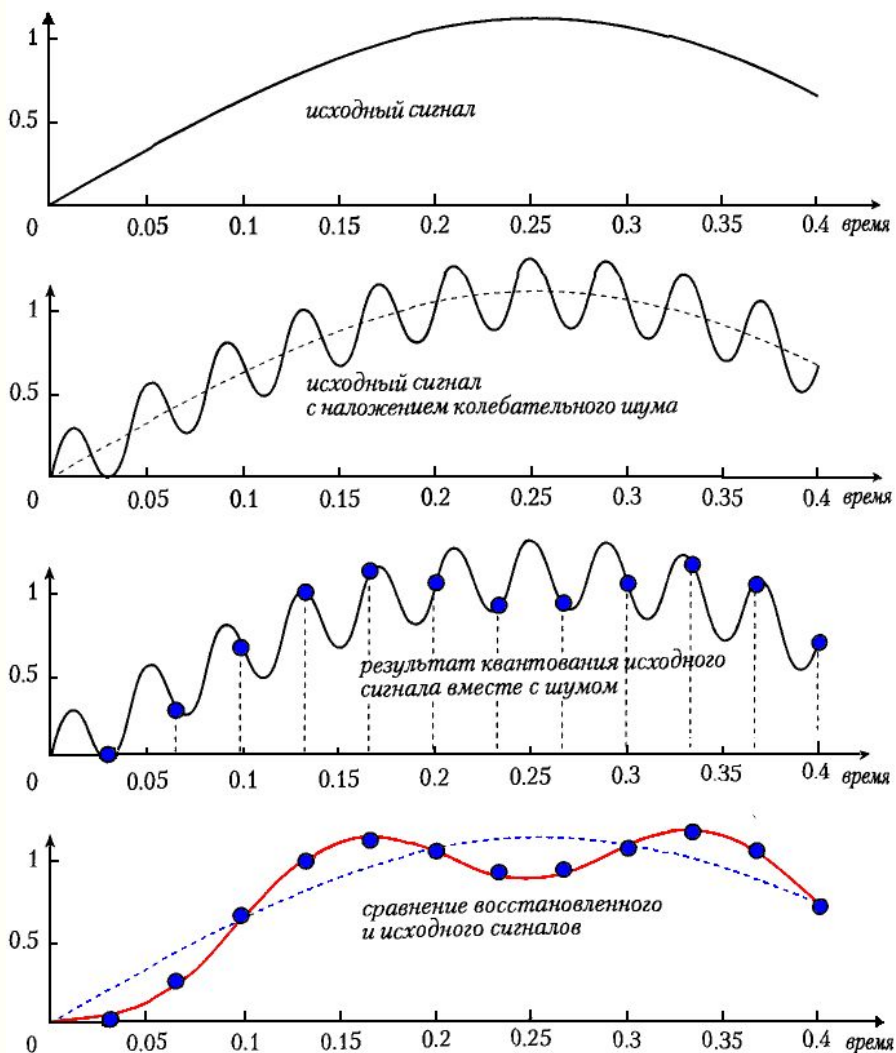
60 Гц < 100 Гц. Следовательно

появятся псевдо частоты,

Псевдо частота

$$60 \text{ Гц} - 50 \text{ Гц} = 10 \text{ Гц}$$

**Восстановленный сигнал
содержит колебания
отсутствующие в исходном!!!**



Обычно аналоговый сигнал содержит высокочастотный шум!

Поэтому частота выборки должна определяться по самой высокочастотной составляющей, присутствующей в исходном сигнале.

Все частоты, превышающие половину частоты Найквиста, должны быть удалены из сигнала до дискретизации, в противном случае они появятся как псевдо частоты в выходном сигнале.

Неверно определять частоту Найквиста только по *интересующей частоте сигнала*.

Все частоты, превышающие половину частоты Найквиста, приводят к появлению псевдо частот, независимо от того, представляют они интерес или нет.

Если высокочастотный шум налагается на низкочастотный сигнал, то выборка с частотой, определенной только по низкочастотному сигналу, даст искаженные значения из-за наложения посторонних компонентов на полезный сигнал.

Высокочастотные компоненты можно подавить либо удалить аналоговым фильтром низких частот (противо-псевдо частотным фильтром).

Оценка системных параметров многоканальных измерительных систем

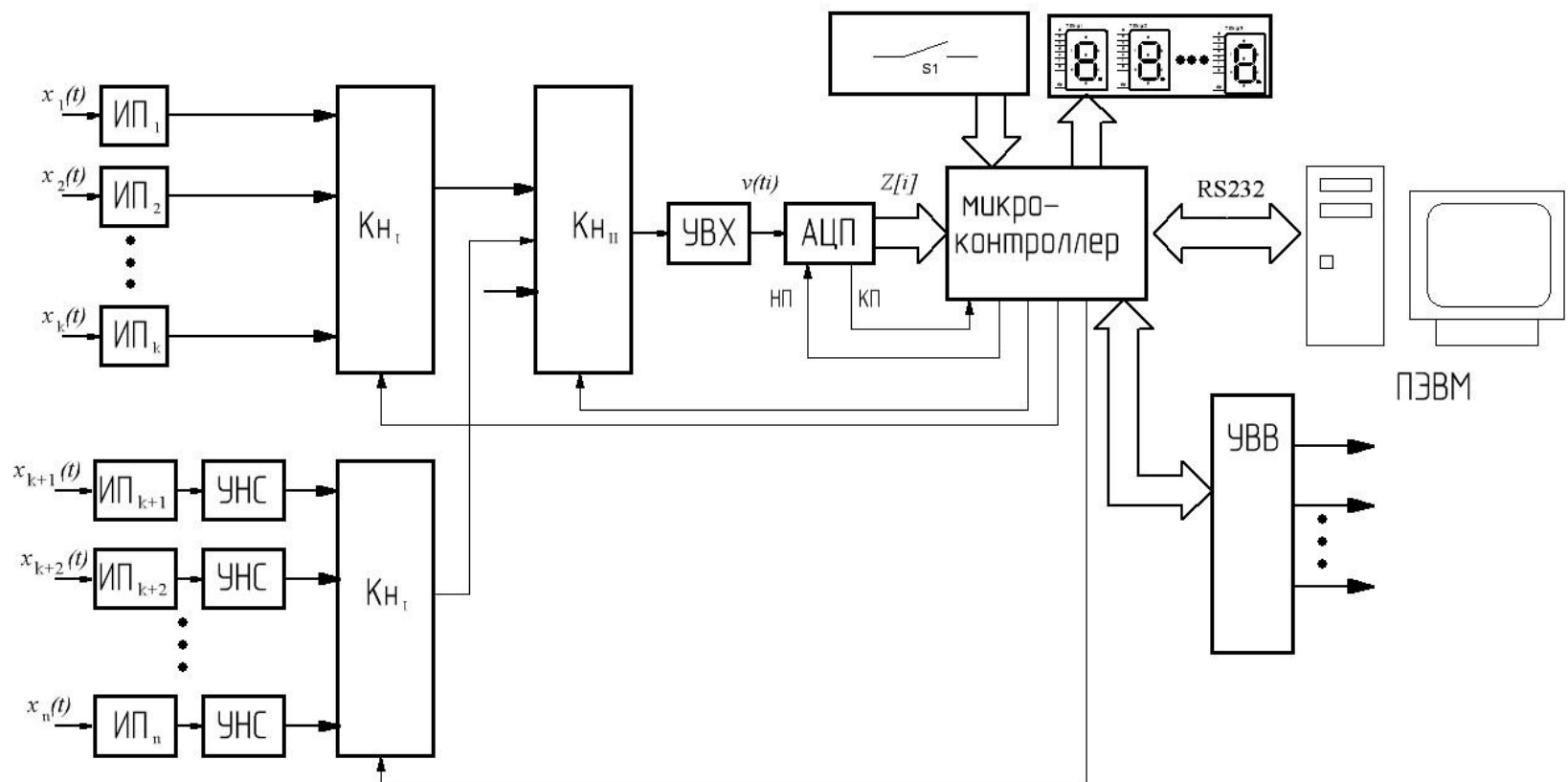


Рис. 16. Структурная схема многоканальной измерительной системы

Наиболее часто в ИС реализуют **циклический** или **программно-управляемый опрос датчиков**.