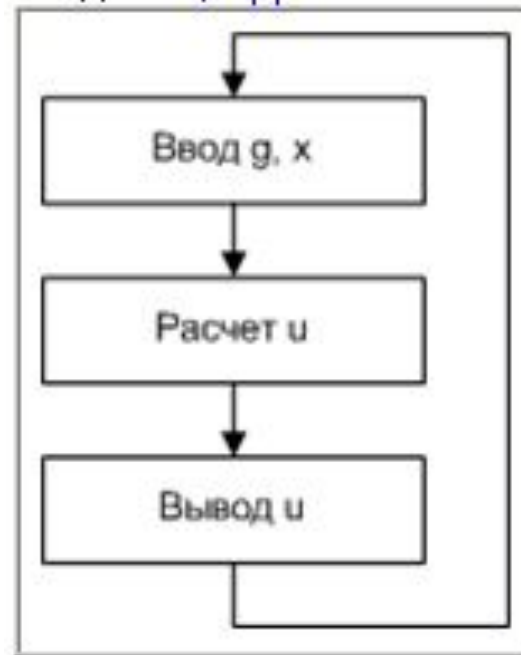


# Теория Автоматического Управления Часть 9

Полулях Антон Иванович, к.т.  
н., доцент кафедры АД, зам.  
начальника отдела  
проектирования систем  
автоматического управления

## 8. Дискретные системы

- Блок-схема алгоритма управления для цифровой системы имеет вид (рис. 6):



**Рис. 6.**

## 8. Дискретные системы

Так как каждый шаг алгоритма состоит из набора команд микропроцессора и выполняется за конечное время, ввод сигнала  $x$  производится в дискретные моменты времени, отстоящие друг от друга на величину  $T$ , которая равна общей длительности выполнения одного цикла алгоритма управления. Следовательно, сигнал  $x_1$  (см. рис. 5) квантован по времени. Поэтому в математической модели КОС должен присутствовать импульсный элемент, отражающий факт квантования сигнала по времени (рис. 7).

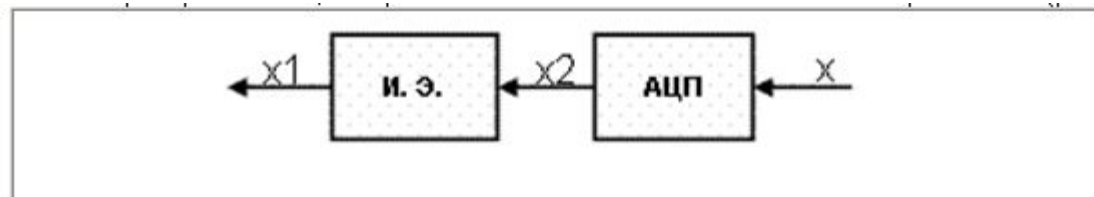


Рис. 7.

Здесь  $x_2$  — сигнал, квантованный по уровню,  $x_1$  — сигнал, квантованный по времени и уровню. Схема на рис. 7 представляет собой математическую модель канала обратной связи с непрерывным датчиком.

## 8. Дискретные системы

- Следует обратить внимание, что физически импульсного элемента не существует. Присутствие его в математической модели лишь отражает факт квантования сигнала по времени. Физически это квантование осуществляет сам микропроцессор, выполняя ввод данных в дискретные моменты времени.
- **КОС с дискретным датчиком**
- В дискретном датчике преобразование непрерывного сигнала в дискретный и соответствующее квантование по уровню происходит внутри самого датчика, сигнал на его выходе представляется уже в цифровом виде. Поэтому мы можем рассматривать дискретный датчик как АЦП, понимая под АЦП здесь любое устройство, осуществляющее квантование по уровню. Следовательно, в случае дискретного датчика КОС также описывается схемой, представленной на рис. 7.

# 8. Дискретные системы

- **АЦП и его характеристики**
- Обычно АЦП рассматривают как статический элемент, то есть предполагают, что запаздывание сигналов, проходящих через него, очень мало. Однако в высокоскоростных системах приходится учитывать конечность времени преобразования в АЦП непрерывного сигнала в соответствующий цифровой код.
- Реальный АЦП имеет следующую характеристику (рис. 8):

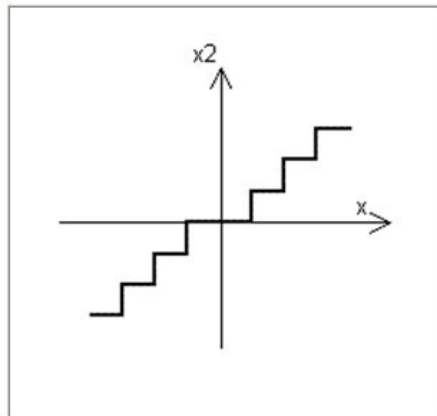


Рис. 8.

## 8. Дискретные системы

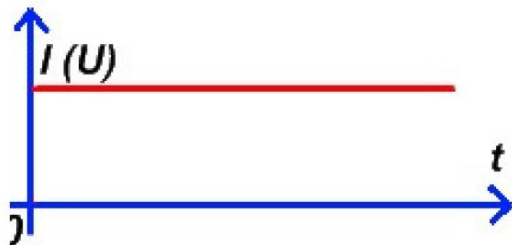
- То есть он является нелинейным элементом. Горизонтальный размер ступеньки на характеристике называется ценой младшего разряда АЦП ( $\delta$ ). Чем меньше цена младшего разряда, тем большее число разрядов двоичного числа необходимо для представления преобразованного значения при одном и том же диапазоне его изменения. На практике цена младшего разряда выбирается исходя из максимально допустимой ошибки (они должны быть примерно равны):  $K_{\text{АЦП}} = \frac{1}{\delta}$
- Наличие нелинейного элемента в цепи обратной связи будет приводить к возникновению автоколебаний, амплитуда которых сравнима с ценой младшего разряда АЦП. Однако колебания могут демпфироваться силами трения в опорах, которые играют роль нелинейного элемента с зоной нечувствительности.

## 8. Дискретные системы

- На практике, для того, чтобы уйти от эффекта автоколебаний, увеличивают разрядность АЦП на 2-3 разряда по сравнению с той, которая необходима для обеспечения требуемой точности системы. В расчетах часто используется линеаризованную статическую характеристику АЦП, представляя его  $K_{\text{АЦП}} = \frac{1}{\delta}$
- усилительным звеном с коэффициентом усиления
- Подобная линеаризация оправдана при условии большого количества разрядов АЦП и малого значения  $\delta$  Влияние нелинейных факторов на работу скорректированной системы оценивается отдельно.
-

# 8. Дискретные системы

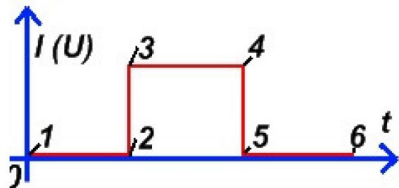
- Виды сигналов
- Виды электрических сигналов.
- Постоянный ток, является постоянно действующим электрическим сигналом. Постоянный ток (напряжение), или постоянный сигнал – не изменяющийся по амплитуде и по знаку в течение продолжительного времени электрический сигнал.
- Источниками постоянного тока служат обычные гальванические элементы - батарейки, аккумуляторы, вторичные источники питания – адаптеры различных бытовых приборов, блоки питания.





## 8. Дискретные системы

- Понятие постоянный сигнал используется, как правило, в элементах автоматики и цифровой логики и обозначает наличие, или отсутствие напряжения на входе, или выходе какого либо устройства.
- Импульс – это кратковременный сигнал. Импульс может иметь различную амплитуду  $I(U)$ , длительность ( $\tau$ ) и форму, вплоть до хаотичной. Все эти параметры определяются источником этого импульса и элементами (электрической цепью) через которую он проходит, изменяясь при этом. На рисунке 2 изображена простейшая схема получения прямоугольного импульса и временной график одиночного прямоугольного импульса.



## 8. Дискретные системы

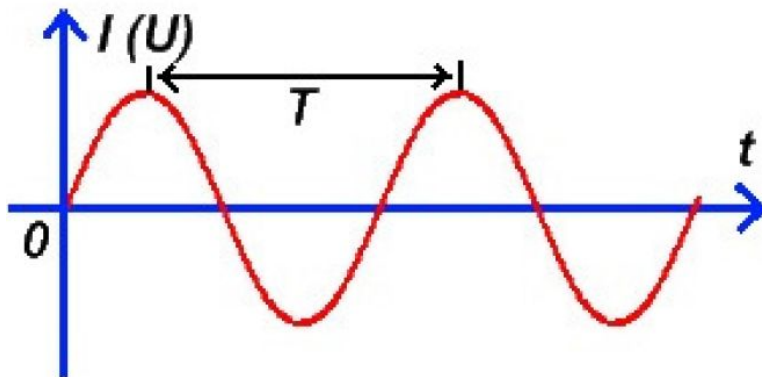
- Импульс, у которого длительность стремится к нулю, называется гамма-импульс. гамма-импульс – может возникнуть в момент включения выключателя. Источником гамма-импульса может быть любое замыкание электрической цепи, в результате которого происходит искровой разряд. Это может быть: природная молния, искра, возникающая при включении и выключении электроприборов, искра от коллектора работающего щёточного двигателя, или замыкающихся (размыкающихся) контактов реле. Из всех видов электрических сигналов, гамма-импульс единственный, который присутствует во всех существующих в природе частотах.
- В световом спектре: - в инфракрасном, в видимом, в ультрафиолетовом;
- В радио спектре: - во всех диапазонах радиоволн;

## 8. Дискретные системы

- В звуковом диапазоне: - на высоких и средних частотах, а с уменьшением частоты (где этим можно пренебречь), амплитуда гамма-импульса уменьшается до нуля.
- Переменный ток (напряжение) – изменяющийся по амплитуде и по знаку с определённым периодом  $T$  (частотой -  $f$ ). Обычно переменным током называют - синусоидальный ток. Все другие виды, которые мы рассмотрим ниже, это тоже переменный ток, но они имеют другие специфические названия. Источниками переменного синусоидального тока являются силовые генераторы различных типов и мощности на электростанциях, источники бесперебойного питания компьютеров, которые преобразуют постоянный ток аккумуляторных батарей в переменный ток.

## 8. Дискретные системы

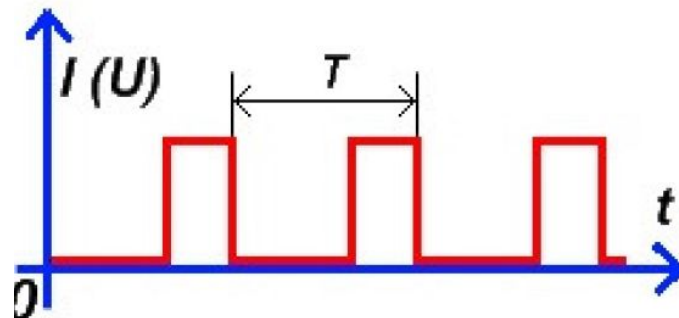
- Переменный ток, а правильнее – переменное напряжение 220 вольт частотой  $f = 50$  Гц имеется в электрической розетке в каждом доме.



- к периодическим сигналам относят все ниже следующие виды сигналов и их разновидности.
- Источниками этих видов сигналов могут быть специальные генераторы или преобразователи.

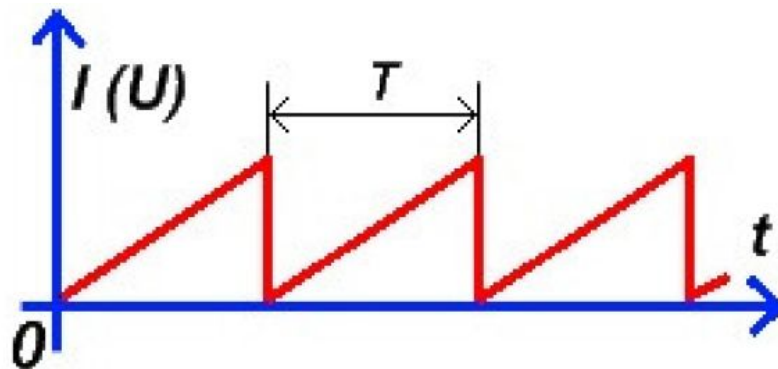
## 8. Дискретные системы

- Периодический прямоугольный сигнал – это сигнал, имеющий прямоугольную форму составляющих его импульсов, амплитуда которых постоянна (одинакова). Частота повторения импульсов  $f$  периодического прямоугольного сигнала так же постоянна.
- Кроме параметров характеризующих синусоидальный сигнал, прямоугольный сигнал характеризуется показателем – скважность импульсов ( $S$ ) – это показатель, характеризующий отношение длительности импульсов к длительности их отсутствия.



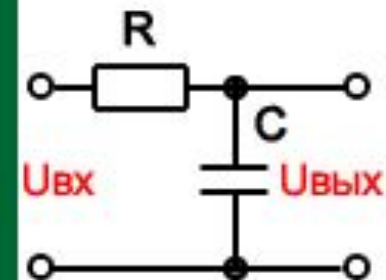
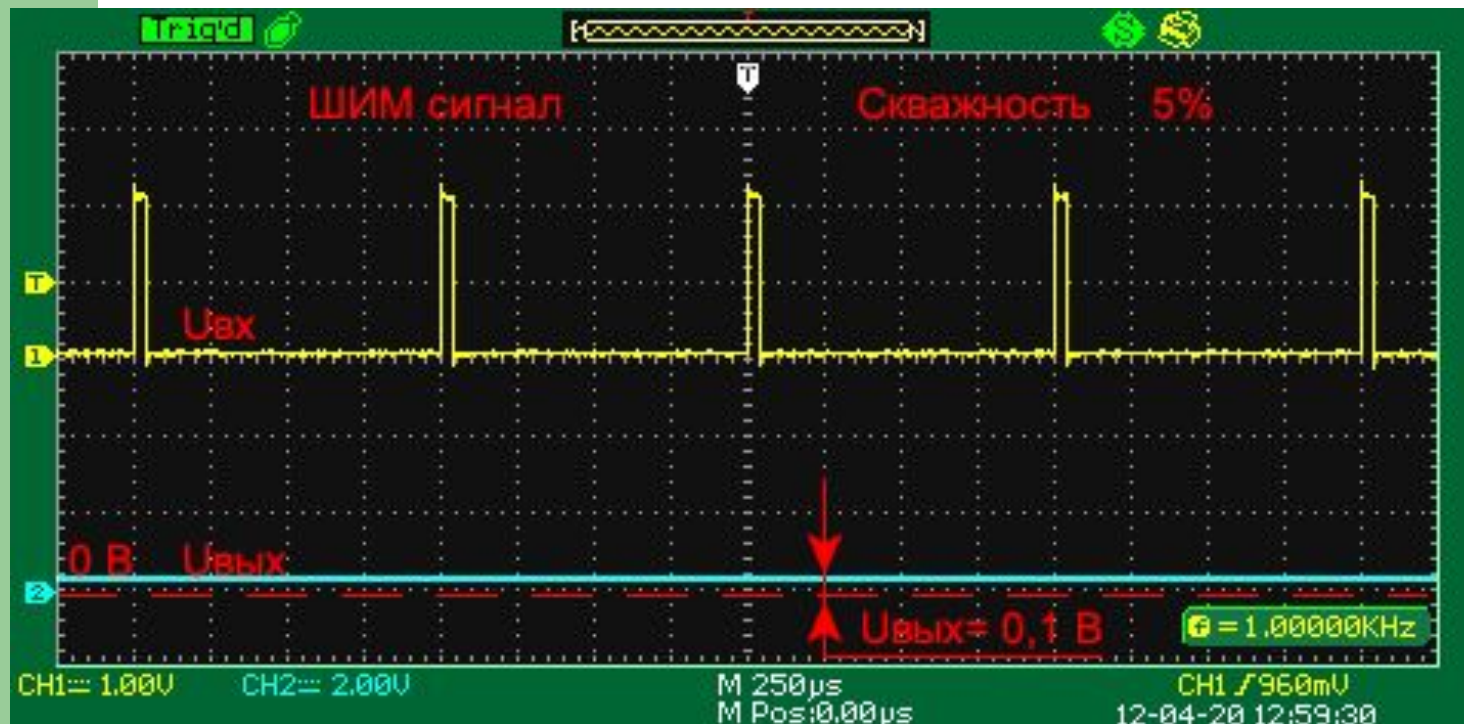
## 8. Дискретные системы

- Меандр – периодический сигнал прямоугольной формы, длительность импульса и длительность паузы которого в периоде равны. Другими словами, меандр — периодический прямоугольный сигнал со скважностью, равной 2.
- Пилообразный сигнал – это сигнал, имеющий пилообразную форму составляющих его импульсов, амплитуда и частота следования импульсов, которого постоянна.

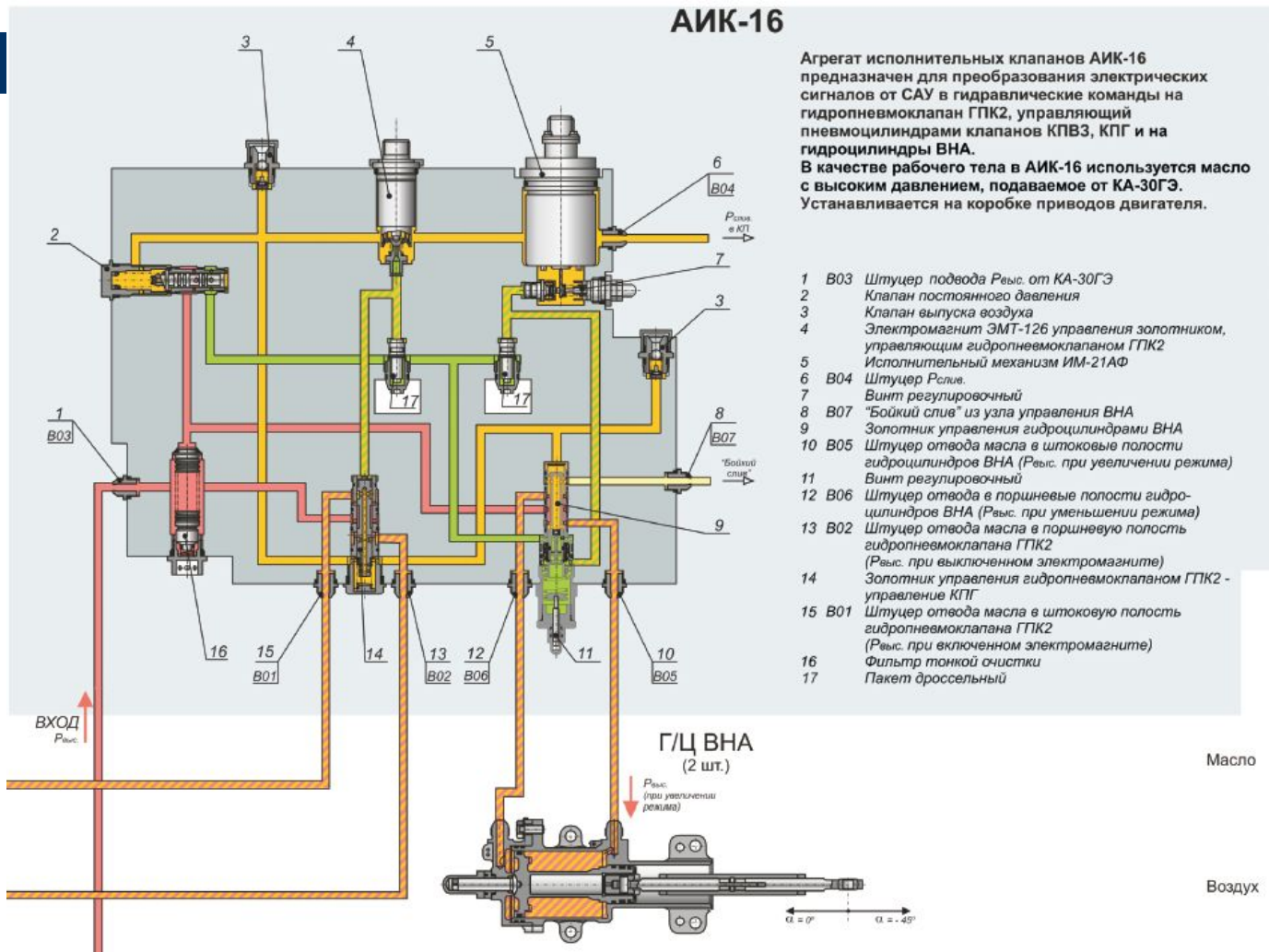


# 8. Дискретные системы

- ШИМ сигнал



# 8. Дискретные системы





# 8. Дискретные системы

- Типы АЦП . Параллельные АЦП

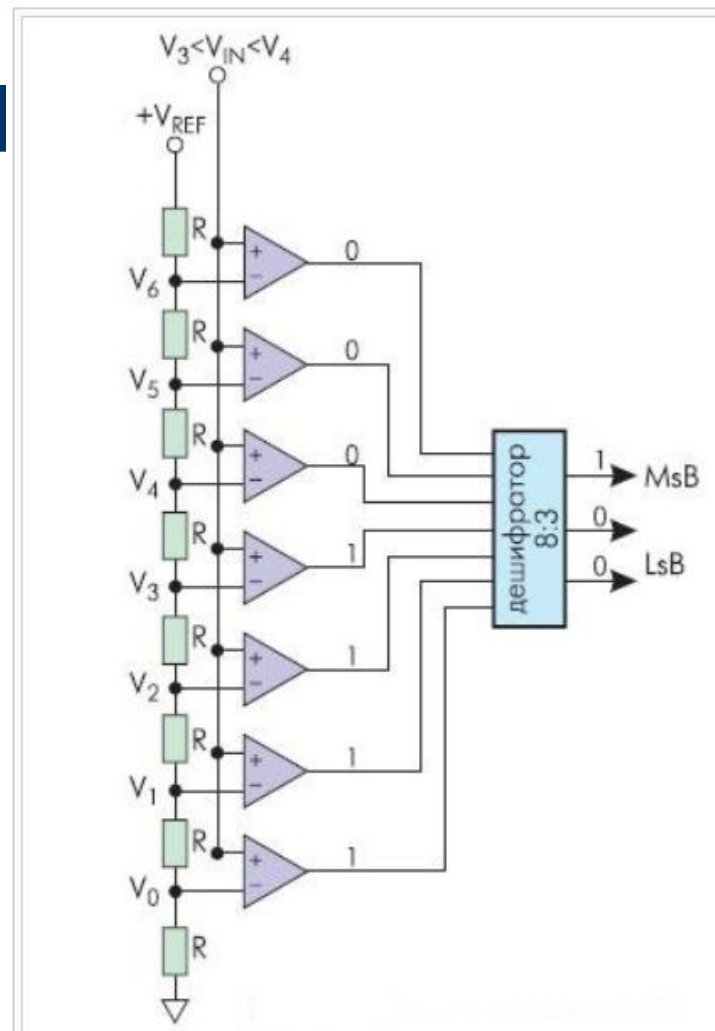


Рис. 2. АЦП параллельного преобразования

# 8. Дискретные системы

- АЦП последовательного приближения

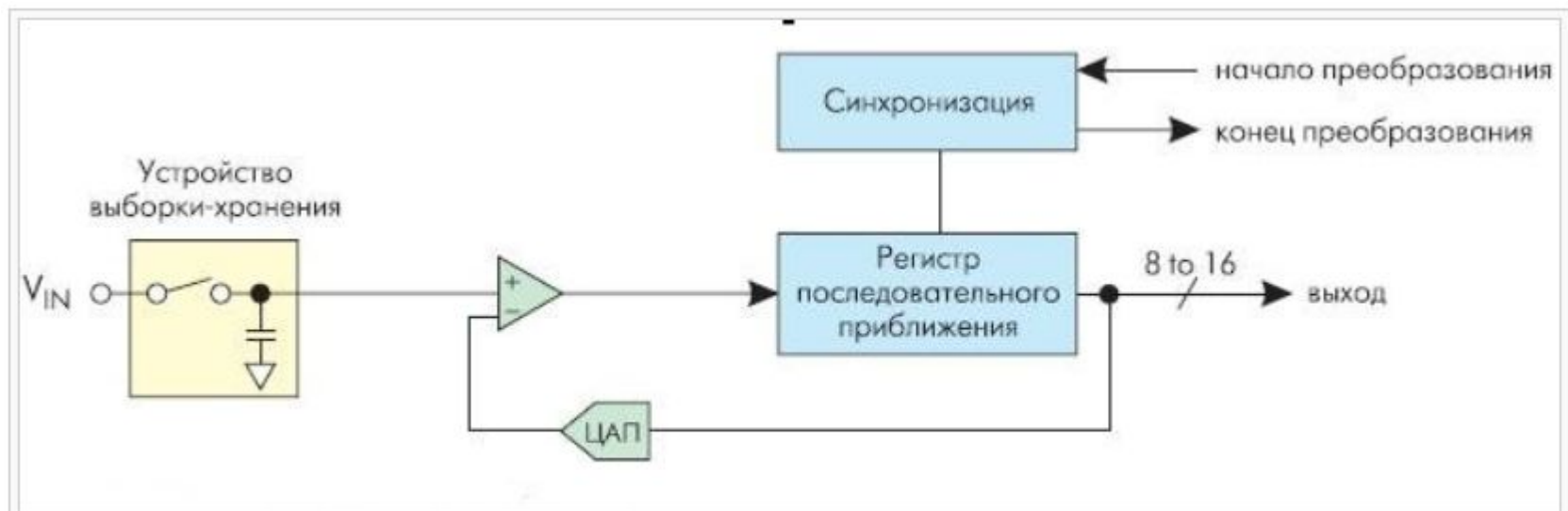


Рис. 3. АЦП последовательного приближения

# 8. Дискретные системы

- АЦП последовательного приближения

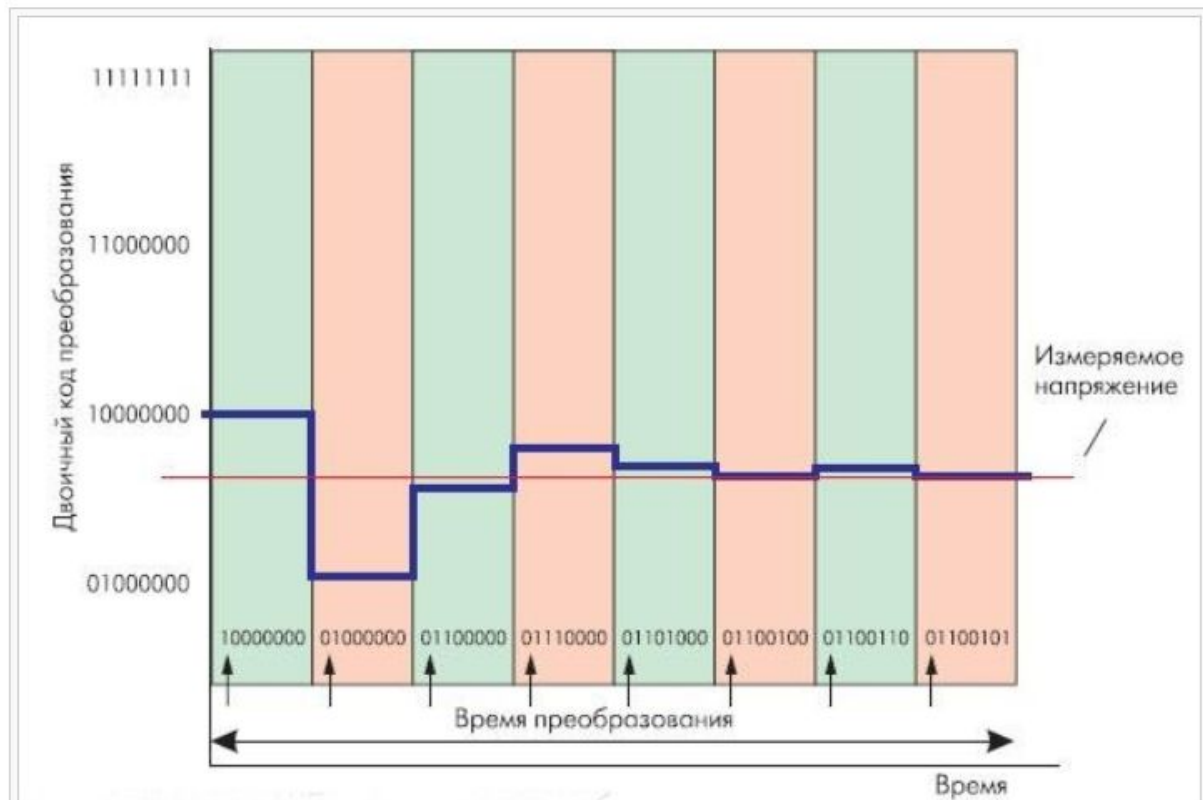


Рис. 4. Преобразование в АЦП последовательных приближений

# 8. Дискретные системы

- Интегрирующие АЦП

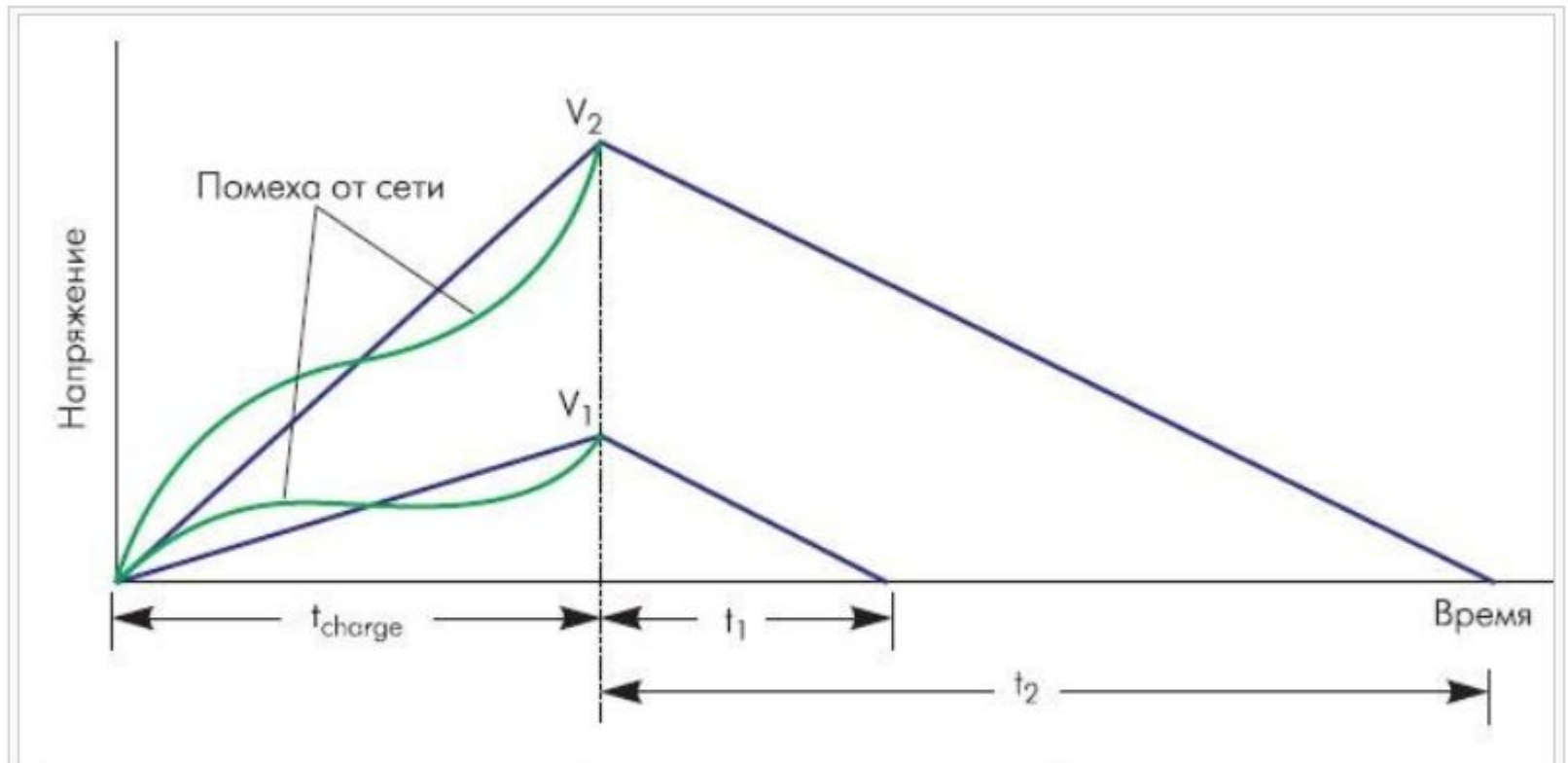


Рис. 6. Интегрирующий АЦП. Зеленым цветом показана помеха от сети (1 период)

## 8. Дискретные системы

- **Канал входных сигналов**
- Если сигнал  $g$  подается на вход МПСУ в непрерывном (аналоговом) виде, структура канала входных сигналов (КВС) такая же, как и КОС (рис. 7).
- Если же входной сигнал передается от другой МПС (ЭВМ), на первый взгляд он является сразу квантованным по уровню, и АЦП в канале не нужен. Но, принимая во внимание, что по своей физической сути сигнал – непрерывная величина (мы рассматриваем цифровой привод), можно сказать, что квантование по уровню все равно имело место (было выполнено в ЭВМ верхнего уровня), а, следовательно, математическая модель КВС должна содержать АЦП (хотя физически — как отдельного устройства — его нет).
- Таким образом, КВС описывается следующей схемой (рис. 9):

## 8. Дискретные системы

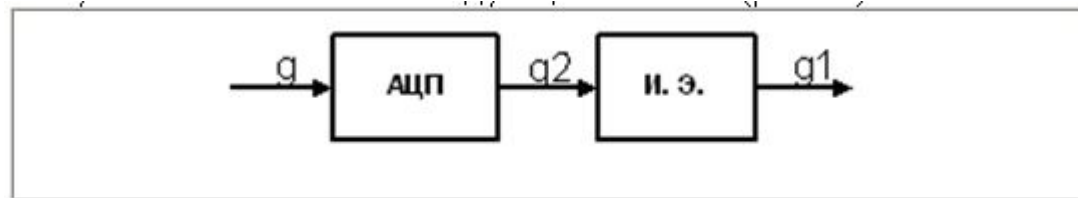


Рис. 9.

Здесь  $g$  — непрерывный входной сигнал,  $g_2$  — входной сигнал, квантованный по уровню,  $g_1$  — входной сигнал, квантованный по уровню и времени.

## 8. Дискретные системы

- **Канал управляющих сигналов**
- На входе этого канала (КУС) всегда находится сигнал, квантованный по уровню. На вход усилителя мощности необходимо подавать непрерывный сигнал. Следовательно, сигнал должен быть преобразован из квантованного по уровню в непрерывный. Для этого используется цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Под ЦАП будем понимать любое устройство, преобразующее квантованный по уровню сигнал в непрерывный.
- Кроме этого, выдача сигнала происходит в дискретные моменты времени в соответствии с алгоритмом работы МПС (см. рис. 10).

## 8. Дискретные системы

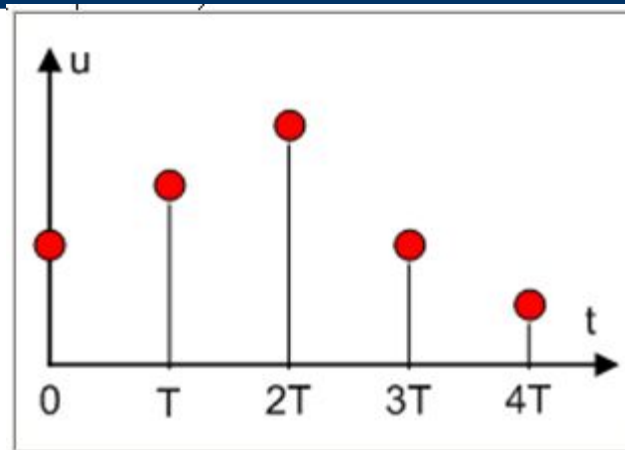


Рис. 10.

- Выдача сигнала на усилитель мощности в дискретные моменты времени может привести к появлению высокочастотных колебаний в приводе. Следовательно, выдаваемый сигнал должен присутствовать на выходе и в промежутках между выдачами рассчитанного значения.



## 8. Дискретные системы

- Для этой цели используется экстраполятор — устройство, преобразующее сигналы, дискретные по времени, в непрерывные. Наиболее часто применяются в МПС экстраполяторы нулевого порядка, заполняющие интервал постоянным значением (рис. 11):

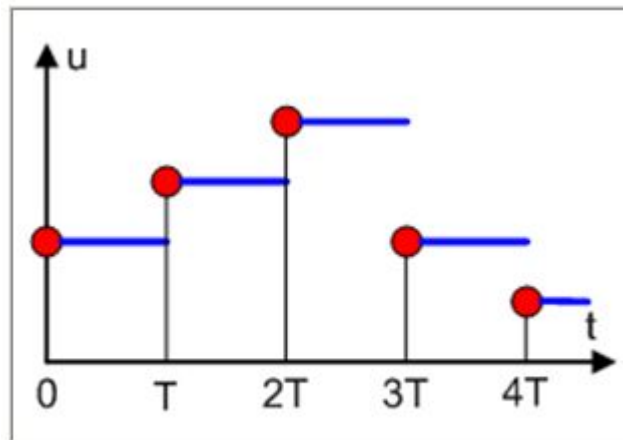


Рис. 11.

## 8. Дискретные системы

- Экстраполятор нулевого порядка технически может быть реализован в виде регистра, хранящего последнее рассчитанное значение.
- Таким образом, канал управляющих сигналов может быть описан следующей структурной схемой:

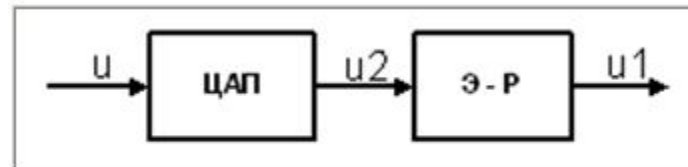


Рис. 12.

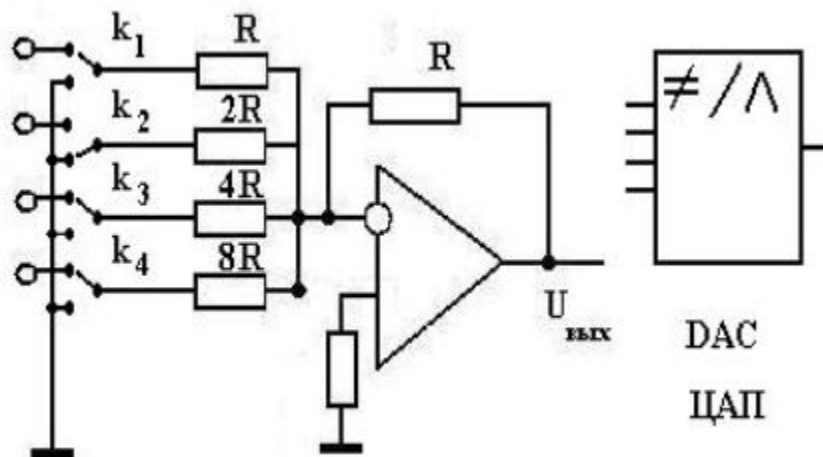
Здесь  $u$  — сигнал, квантованный по времени и уровню,  $u_2$  — сигнал, квантованный по времени,  $u_1$  — непрерывный сигнал на выходе канала.

# 8. Дискретные системы

- ЦАП и его характеристики
- Цифро-аналоговый преобразователь имеет нелинейную характеристику, аналогичную АЦП (рис. 8). Все рассуждения, проводившиеся для АЦП относительно возможности возникновения автоколебания и выборе цены младшего разряда, справедливы и для ЦАП. При расчетах он также условно представляется линейным элементом (усилительным звеном) с коэффициентом усиления  $K_{\text{ЦАП}} = \delta$ .

## 8. Дискретные системы

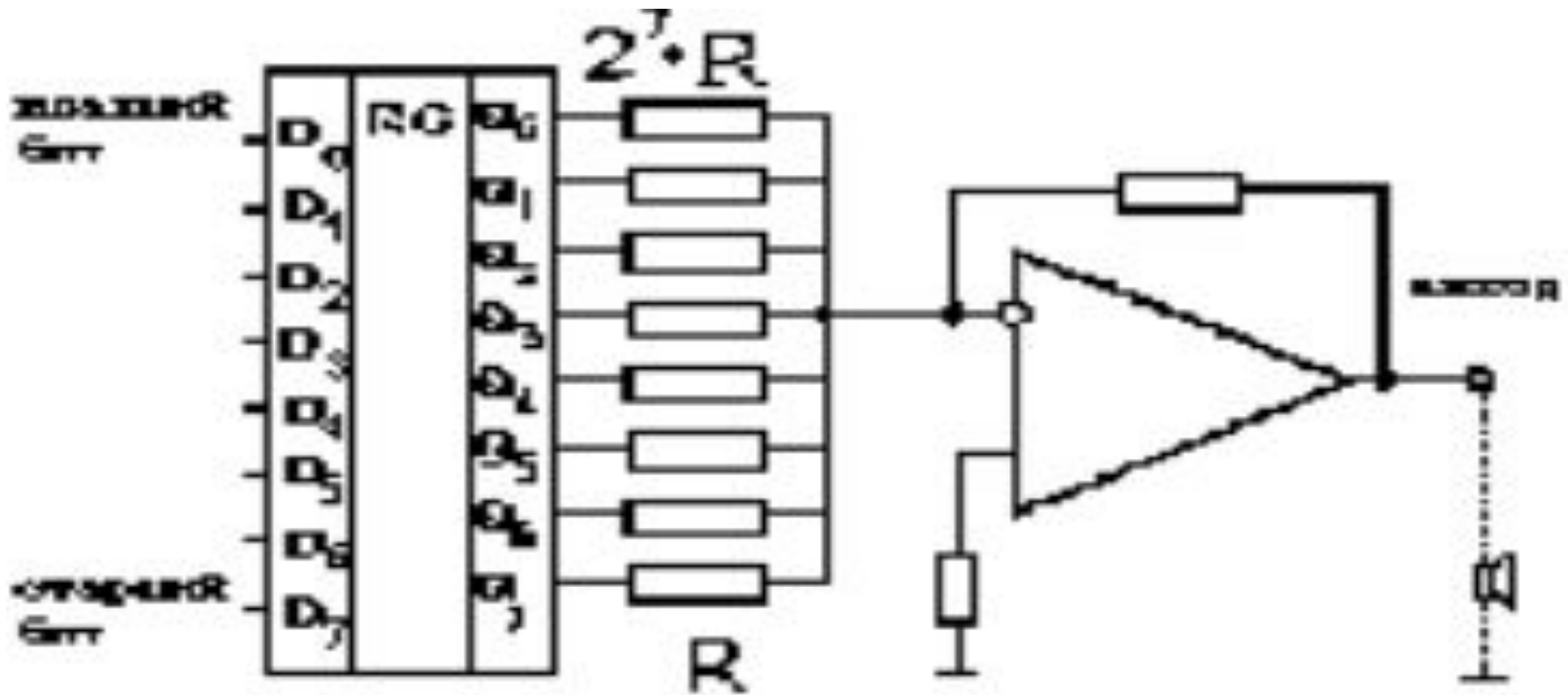
- ЦАП и его характеристики
- Для преобразования цифрового сигнала в аналоговый (например, для вывода информации из компьютера на графопостроитель, динамик или другой аналоговый прибор) служит цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Простейший ЦАП можно построить на основе суммирующего усилителя, если сопротивления на его входах будут отличаться друг от друга в  $2^N$  раз.



## 8. Дискретные системы

- На входы поступают сигналы одного уровня (обычно ТТЛ), но ток через резистор меньшего номинала (на рис. - это верхний резистор  $R$ ) будет протекать - больший. Все токи суммируются в одной точке с разными весовыми коэффициентами. Электронные ключи  $k_i$  управляются сигналами с цифровой схемы типа регистр. Сигнал со старшего бита двоичного числа будет коммутировать напряжение с помощью ключа  $k_1$ , а самый младший бит будет управлять ключом  $k_4$ . Обозначение на схеме данного 4-битного ЦАП показана на том же рисунке справа. Ниже на рисунке вы можете видеть аналогичную конструкцию, состоящую из регистра RG на 8 бит, простейшего ЦАП на ОУ с выходом на высокоомный динамик.

# 8. Дискретные системы



# 8. Дискретные системы

- **Исполнительные устройства (Control Equipment)**
- **Исполнительные устройства, actuator, final control element**
- **Исполнительные устройства — это элементы автоматики, создающие управляющее воздействие на объект управления.** Они изменяют положение или состояние регулирующего органа объекта управления таким образом, чтобы управляемый параметр соответствовал заданному значению.
- **Требования к исполнительным устройствам**
- Требования к исполнительным устройствам — потребляемая мощность, разрешающая способность, повторяемость результата, рабочий диапазон и т. д. — могут существенно различаться в зависимости от конкретного приложения. Для успешного управления процессом правильно выбрать исполнительные устройства так же важно, как и датчики.

# 8. Дискретные системы

- Двигатели в зависимости от вида используемой энергии могут быть электрическими, гидравлическими, пневматическими.
- 1. управление эл. энергией:  $P, U, I$
- /отопление, нагрев, освещение, гальваника, .../
- 2. управление мех. энергией (моторы)
- $\omega, M, F, x, \dots, P, Q [m^3/h], \dots$
- /вентиляторы, насосы, компрессоры,
- режущие инструменты, мельницы, .../
- 3. управление положением (позиционирование, движение)
- - материальные потоки /краны, вентили, .../
- - электро-, пневмо--, гидро ИМ
- В качестве исполнительных устройств, изменяющих состояние регулирующего органа, могут использоваться усилители и реле.



## 8. Дискретные системы

- **Исполнительное устройство или механизм (actuator)** преобразует электрическую энергию в механическую или в физическую величину для воздействия на управляемый процесс. Электродвигатели, управляющие "суставами" промышленного робота, есть исполнительные механизмы.
- В химических процессах конечными управляющими элементами могут быть клапаны, задающие расход реагентов.
- В составе исполнительного устройства можно выделить две части:
- 1). Преобразователь (transducer) и/или усилитель (amplifier),
- 2). Силовой преобразователь (convener) и/или исполнительный механизм (actuator).

## 8. Дискретные системы

- Преобразователь превращает входной сигнал в механическую или физическую величину, например электромотор преобразует электрическую энергию во вращательное движение.
- Усилитель изменяет маломощный управляющий сигнал, получаемый от выходного интерфейса компьютера, до значения, способного привести в действие преобразователь. В некоторых случаях усилитель и преобразователь конструктивно составляют одно целое.
- Таким образом, некоторые конечные управляющие элементы могут представлять собой самостоятельную систему управления — выходной сигнал компьютера является опорным значением для конечного управляющего элемента.

## 8. Дискретные системы

- ИМ в зависимости от вида используемой энергии могут быть электрическими, гидравлическими, пневматическими:
- 1. Для перемещения клапанов часто применяется сжатый воздух.
- 2. Если необходимо развивать значительные усилия, обычно используют гидропривод.
- 3. Электрические: сигнал компьютера и контроллера должен быть преобразован в давление или расход воздуха либо масла.
- 4. Бинарное управление обеспечивается электромеханическими реле или электронными переключателями.

# 8. Дискретные системы

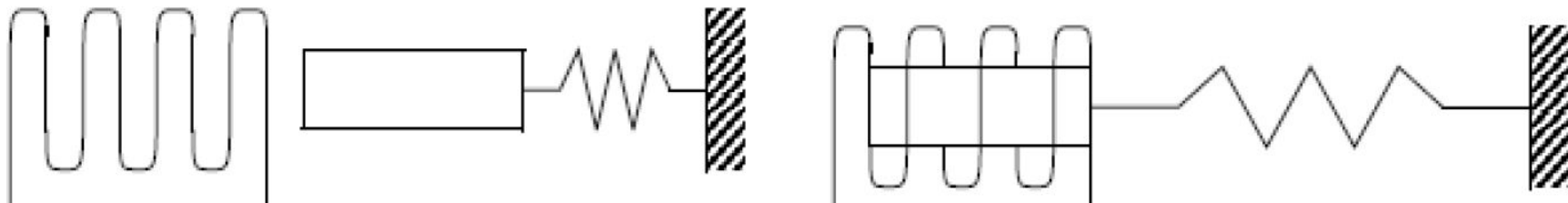
- **Электрические исполнительные устройства:** Соленоиды; Электромагнитные клапаны; DC и AC моторы;
- 3-х и 1- фазные индукционные моторы; Step моторы; Релейные системы; PLC.
- **Бинарные (двухпозиционные) исполнительные устройства**
- Исполнительные устройства, имеющих только два рабочих состояния, называются двухпозиционными или бинарными.
- К двухпозиционным исполнительным устройствам, относятся магнитные клапаны, электромагнитные реле и электронные ключи. Для управления такими механизмами достаточно одного-двух бит, которые легко можно получить на выходе управляющего компьютера или контроллера.

## 8. Дискретные системы

- Бинарные исполнительные механизмы бывают с одним (monostable) и двумя (bistable) устойчивыми состояниями. Исполнительный механизм с одним устойчивым состоянием, которому соответствует отключение питания, управляется только одним сигналом.
- Дистанционный контактор электродвигателя обычно является устройством такого типа. Пока на контактор приходит управляющий сигнал, двигатель получает питание, но как только сигнал пропадает, питание выключается.
- Устройство с двумя устойчивыми состояниями сохраняет свое текущее состояние до тех пор, пока не получит новый управляющий сигнал, изменяющий его. Можно сказать, что исполнительный механизм "помнит" свое последнее положение.

## 8. Дискретные системы

- Например, чтобы привести в движение цилиндр, управляемый магнитным клапаном с двумя устойчивыми положениями, необходимы один сигнал для открытия и другой сигнал для закрытия.
- Распространенными компонентами привода являются **Соленоиды**. Основной принцип работы – это движущиеся поршни, которые будут двигаться внутри катушки, как показано на рис. 1. Когда напряжение прикладывается к катушке, катушка создает магнитное поле, которое притягивает поршень и тянет его в центр катушки.



## 8. Дискретные системы

- **Управляющие вентили, клапаны (Control Valves)**
- Поток жидкости и воздуха можно контролировать с помощью клапана. Например, управляемый соленоидный клапан показан на рис. 2.

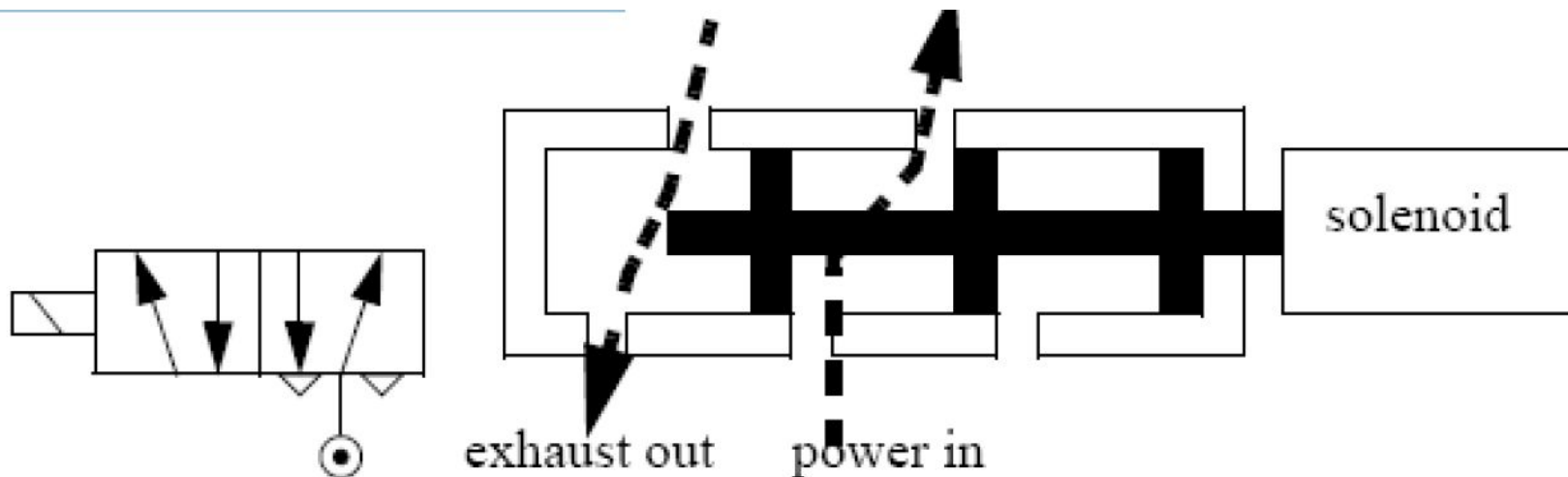


Рис. 2 Положения клапана с электромагнитным управлением

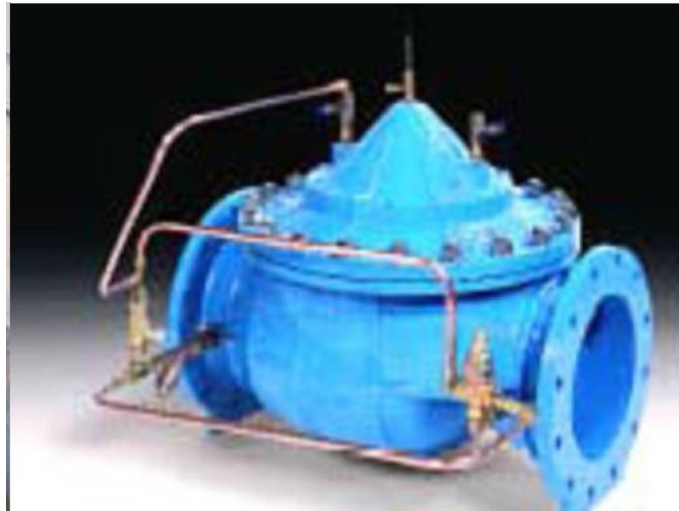
## 8. Дискретные системы

- Клапан состоит из тела клиновидной или цилиндрической формы (иногда называется тарелкой), закрепленного на стержне (штоке), который движется вверх и вниз относительно цилиндрического седла.
- Стержень обычно перемещается под давлением сжатого воздуха на поршень или диафрагму с пружиной. Пружина может либо открывать, либо закрывать клапан в зависимости от того, какое положение требуется в случае прекращения подачи сжатого воздуха. Иногда для управления потоком используется электрический или гидравлический привод.



## 8. Дискретные системы

- Конструкции тела и седла клапана различаются в зависимости от требований к соотношению между производительностью и потерями напора на клапане, типа жидкости и расхода при разных положениях штока. Размер клапана обычно выбирают в соответствии с параметрами трубопровода, в котором он устанавливается.
- устанавливается.



## 8. Дискретные системы

- **Клапаны регулирующие**
- **Клапаны регулирующие** это специальный вид трубопроводной арматуры, предназначенный для управления жидкими и газообразными средами, транспортируемыми по трубопроводам.
- Принцип действия регулирующего клапана основан на непрерывном изменении регулируемого потока рабочей среды путем изменения проходного сечения дроссельного узла. Управление регулирующими клапанами осуществляется вручную, посредством мембранных исполнительных механизмов, поршневых пневмоприводов, электрических приводов, в том числе электромагнитных.

## 8. Дискретные системы

- Основными конструктивными элементами регулирующего клапана являются корпус, дроссельный узел и привод. Дроссельный узел в клапане выполняет функцию регулирования потока рабочей среды. Они подбираются в зависимости от требований к процессу регулирования, параметров и типа рабочей среды. Так
- как регулирующие клапаны зачастую работают в условиях высоких давлений, температур, в агрессивных и абразивных средах, а также в условиях кавитации, происходит интенсивный износ дроссельного узла.

## 8. Дискретные системы

- Иногда регулирующие клапаны изготавливают с дроссельным узлом, выполненным отдельным блоком. Данная конструкция обладает рядом преимуществ:
  - - возможность снятия дроссельного узла для ремонта или замены без демонтажа клапана с трубопровода;
  - - менее трудоемкий процесс финишной обработки, подгонки и сборки узла целиком при изготовлении или ремонте регулирующего клапана;
  - - возможность изготовления дроссельного узла из материалов, отличных от материала корпусных деталей, для обеспечения большей коррозионной и эрозионной стойкости узла регулирующего клапана;
  - - возможность установки в типовой корпус дроссельных узлов различных по конструкции, для применения на конкретных

## 8. Дискретные системы

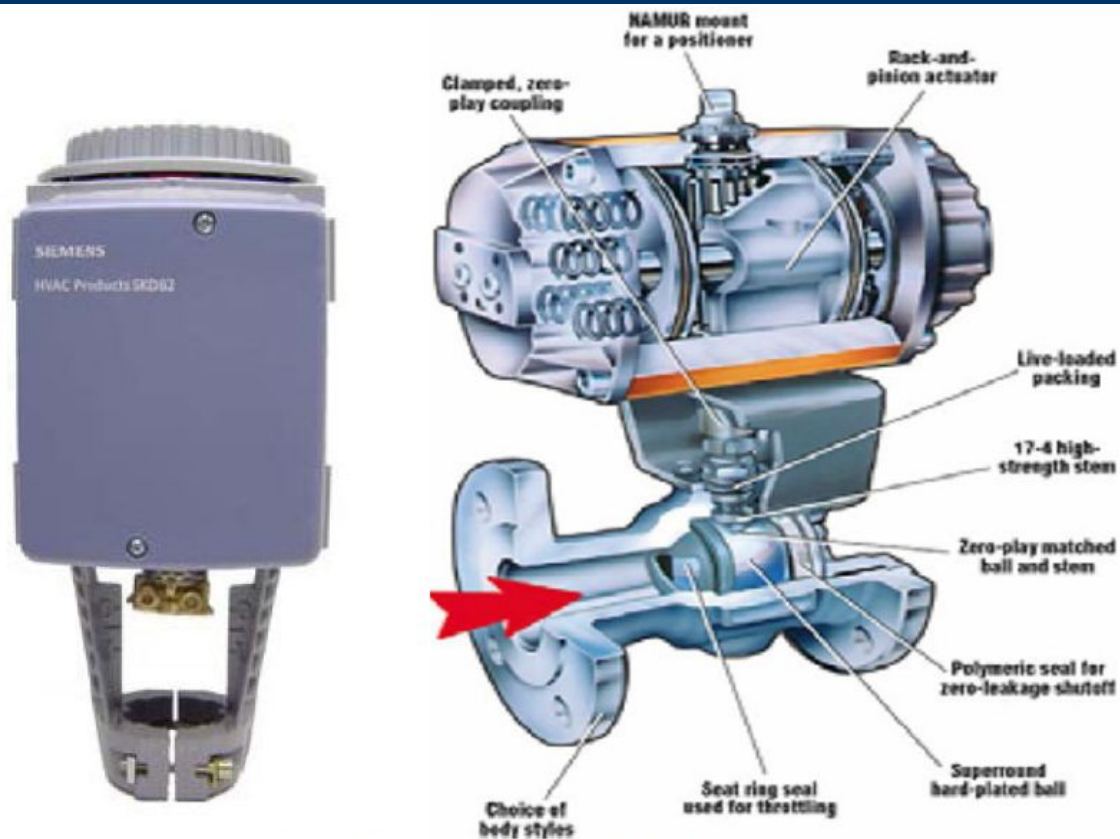


Рис. 3 Electro-Hydraulic Feedwater Valve Actuators

## 8. Дискретные системы

- **Управляемые ключи**
- Уровень мощности выходного сигнала контроллера обычно очень мал: уровень напряжения "мощного" выходного сигнала лежит между +2 В и +5 В, а "маломощного" - менее 1 В.
- Максимальный ток зависит от присоединенной нагрузки, но, как правило, он менее 20 мА. Обычный **выходной порт компьютера** выдает мощность порядка 100 мВт. Это означает, что для управления большинством исполнительных механизмов сигнал компьютера или контроллера нужно усилить. Для этого используются управляемые ключи.
- Управляемые ключи используются для коммутации малых и средних мощностей. Интегральные схемы с транзисторным выходом можно использовать до напряжений порядка 80 В и токов до 1.5А.

## 8. Дискретные системы

- **Управляемые ключи - MOSFET транзисторы**
- Для больших мощностей используются MOSFET транзисторы. Такие цепи могут пропускать токи 5-10 А и выдерживать разность потенциалов более 100 В.
- При управлении большими мощностями (>100 Вт) между выходом компьютера и электронным выключателем не должно быть прямых электрических связей, в противном случае выключатель является источником помех, которые могут повлиять на работу контроллера. Кроме того, при пробое ключа высокое напряжение предназначенное для питания привода, может повредить контроллер через прямую электрическую связь.
- Чтобы избежать указанных проблем, необходима гальваническая развязка.

## 8. Дискретные системы

- **Управляемые ключи - тиристоры**
- Триодный тиристор, или симистор (TRIode AC semiconductor — Triacs), и однооперационный тиристор (Silicon-Controlled Rectifier — SCR).
- После того как тиристор, включенный управляющим импульсом, "поджигается", он будет оставаться включенным до тех пор, пока через него течет ток. В отличие от транзистора тиристор не выключается, когда исчезает управляющий сигнал. Тиристор не отключается, даже если приложенное напряжение падает до нуля.
- Отключение происходит только в том случае, если управляющее напряжение меняет знак – вынужденная коммутация.



## 8. Дискретные системы

- Тиристоры чаще всего используются для отключения переменных токов, потому что изменение полярности через одинаковые промежутки времени, по крайней мере один раз за период, позволяет погасить тиристор при отсутствии управляющего импульса — естественная коммутация.
- Тиристоры могут управлять значительно большими мощностями, чем полевые транзисторы.

## 8. Дискретные системы

- **Электромеханическое реле**
- Типичный ток обмотки реле составляет около 0.5 А при напряжении 12 В, поэтому реле нельзя управлять непосредственно с выхода контроллера; требуется промежуточный выключатель средней мощности, например транзисторный усилитель, который устанавливается между выходом контроллера и реле.
- При проектировании систем с реле всегда необходимо помнить о проблемах энергоснабжения, поэтому при
- снятом питании реле должно принимать безопасное положение. Другими словами, отключение питания
- релейной системы не должно приводить к нежелательному поведению присоединенной нагрузки.

## 8. Дискретные системы

- **Исполнительные механизмы с электроприводом**
- Термин **привод (drive system)** обозначает комбинацию двигателя с управляющей электроникой. Применение управляющих схем значительно улучшает функциональные свойства электродвигателя, позволяя регулировать скорость и момент в широких пределах и с высокой точностью. Большинство исполнительных механизмов используемых в системах управления, являются **аналоговыми**, например, двигатели постоянного тока, синхронные и асинхронные двигатели переменного тока. Широко применяются и шаговые двигатели,
- но их системы управления заметно отличаются от приводов непрерывного действия. Привод может быть
- частью другого механизма, например системы позиционирования клапана, манипулятора робота и т.д.

# 8. Дискретные системы

- В основу работы любой электрической машины положен принцип электромагнитной индукции.
- Электрическая машина состоит из неподвижной части — статора (для асинхронных и синхронных машин переменного тока) или индуктора (для машин постоянного тока) и подвижной части — ротора (для асинхронных и синхронных машин переменного тока) или якоря (для машин постоянного тока). В роли индуктора, на маломощных двигателях постоянного тока, очень часто используются постоянные магниты.
- Ротор может быть:
  - короткозамкнутым;
  - фазным (с обмоткой) — используются там, где необходимо уменьшить пусковой ток и регулировать частоту вращения асинхронного электродвигателя,

# 8. Дискретные системы

- В основу работы любой электрической машины положен принцип электромагнитной индукции.
- Электрическая машина состоит из неподвижной части — статора (для асинхронных и синхронных машин переменного тока) или индуктора (для машин постоянного тока) и подвижной части — ротора (для асинхронных и синхронных машин переменного тока) или якоря (для машин постоянного тока). В роли индуктора, на маломощных двигателях постоянного тока, очень часто используются постоянные магниты.
- Ротор может быть:
  - короткозамкнутым;
  - фазным (с обмоткой) — используются там, где необходимо уменьшить пусковой ток и регулировать частоту вращения асинхронного электродвигателя,

## 8. Дискретные системы

- **Двигатели постоянного тока**
- **Двигатель постоянного тока** — электрический двигатель, питание которого осуществляется постоянным током.
- Электрические двигатели постоянного тока широко применяются в устройствах автоматики в качестве **исполнительных устройств**, преобразующих электрический ток в механическую величину — вращающий момент.

## 8. Дискретные системы

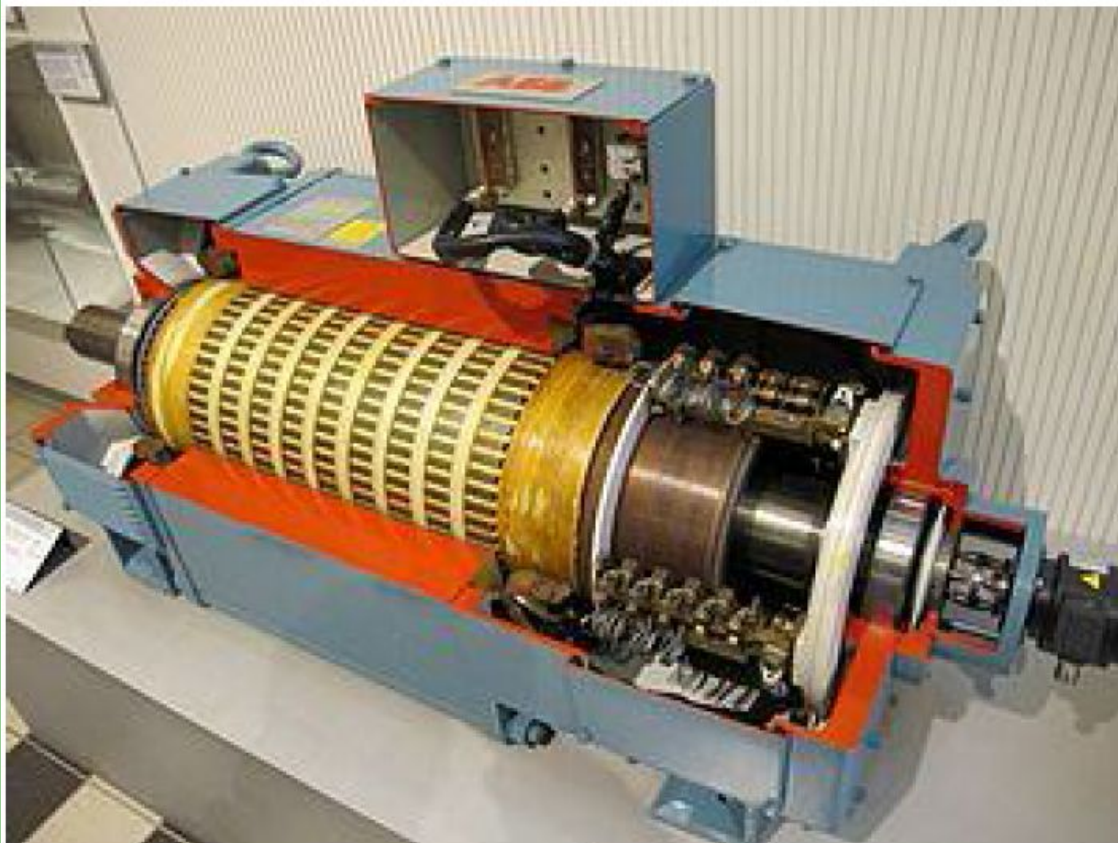


Рис. 5 Двигатель постоянного тока в разрезе. Справа расположен коллектор с щётками.

# 8. Дискретные системы

- **Двигатели постоянного тока**
- **Двигатель постоянного тока** — электрический двигатель, питание которого осуществляется постоянным током.
- Электрические двигатели постоянного тока широко применяются в устройствах автоматики в качестве **исполнительных устройств**, преобразующих электрический ток в механическую величину — вращающий момент.
- Двигатели постоянного тока в свою очередь по наличию щёточно-коллекторного узла подразделяется на:
  - 1. коллекторные двигатели;
  - 2. бесколлекторные двигатели.



## 8. Дискретные системы

- Щёточно-коллекторный узел обеспечивает электрическое соединение цепей вращающейся и неподвижной
- части машины и является наиболее ненадежным и сложным в обслуживании конструктивным элементом.
- По типу возбуждения коллекторные двигатели можно разделить на:
  - 1. двигатели с независимым возбуждением от электромагнитов и постоянных магнитов;
  - 2. двигатели с самовозбуждением.

# 8. Дискретные системы

- Двигатели с самовозбуждением делятся на:
- 1. Двигатели с параллельным возбуждением; (обмотка якоря включается параллельно обмотке возбуждения)
- 2. Двигатели последовательного возбуждения; (обмотка якоря включается последовательно обмотке возбуждения)
- 3. Двигатели смешанного возбуждения (обмотка возбуждения включается частично последовательно частично параллельно обмотке якоря).

## 8. Дискретные системы

- **Бесколлекторные двигатели (вентильные двигатели)** — электродвигатели, выполненные в виде замкнутой системы с использованием датчика положения ротора, системы управления (преобразователя координат) и силового полупроводникового преобразователя (инвертера). Принцип работы данных двигателей аналогичен принципу работы синхронных двигателей.
- В бесколлекторных электродвигателях датчик положения ротора может быть разных видов:
  - Магнитоиндукционный (т.е. в качестве датчика используются собственно силовые катушки, но иногда используются дополнительные обмотки).
  - Магнитоэлектрический (датчики на эффекте Холла).

## 8. Дискретные системы

- **Двигатели переменного тока**
- **Двигатель переменного тока** — электрический двигатель, питание которого осуществляется переменным током.
- Принцип работы у всех двигателей переменного тока основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля, создаваемого обмотками статора (неподвижная часть двигателя), с магнитным потоком, создаваемым ротором (подвижная часть двигателя). Электродвигатели, у которых частота вращения ротора равна частоте вращения магнитного поля статора, называются **синхронными**. Электродвигатели, у которых частота вращения ротора меньше частоты вращения магнитного поля статора, называются **асинхронными**.

## 8. Дискретные системы

- **Синхронный электродвигатель** — электродвигатель переменного тока, ротор которого вращается синхронно с магнитным полем питающего напряжения. Данные двигатели обычно используются при больших мощностях (от сотен киловатт и выше).
- **Синхронные двигатели часто используются в тех случаях, когда необходима постоянная скорость вращения при переменной нагрузке.** В сочетании с современными преобразователями частоты синхронные двигатели могут работать с переменной скоростью вращения. Большое распространение приобретают синхронные двигатели с постоянными магнитами.

## 8. Дискретные системы

- Существуют синхронные двигатели с дискретным угловым перемещением ротора — **шаговые двигатели**. У них заданное положение ротора фиксируется подачей питания на соответствующие обмотки. Переход в другое положение осуществляется путём снятия напряжения питания с одних обмоток и передачи его на другие. Шаговые двигатели можно рассматривать как специальный тип синхронного двигателя.
- Ещё один вид синхронных двигателей — **вентильный реактивный электродвигатель**, питание обмоток которого формируется при помощи полупроводниковых элементов.

# 8. Дискретные системы

- **Асинхронный электродвигатель** — электродвигатель переменного тока, в котором частота вращения ротора отличается от частоты вращающегося магнитного поля, создаваемого питающим напряжением. Эти двигатели наиболее распространены в настоящее время.
- По количеству фаз двигатели переменного тока подразделяются на:
  - однофазные — запускаются вручную, или имеют пусковую обмотку, или имеют фазосдвигающую цепь;
  - двухфазные — в том числе конденсаторные;
  - трёхфазные;
  - многофазные;

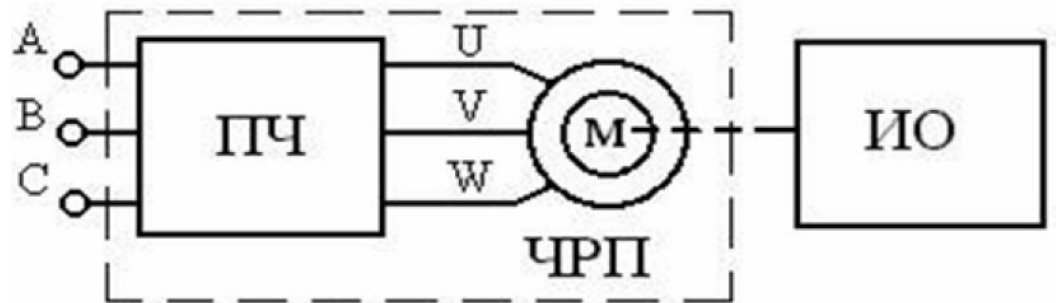
## 8. Дискретные системы

- Однофазные электродвигатели имеют небольшую мощность и используются главным образом в устройствах нерегулируемого электропривода (электропривод маломощных вентиляторов и пр.).
- Трехфазные электродвигатели используются чаще всего в устройствах нерегулируемого электропривода с мощностью от нескольких ватт до нескольких тысяч ватт. Реже они применяются в регулируемом электроприводе, так как он имеет сложную схему (необходимо иметь трехфазные генераторы с изменяющейся частотой и др.).



## 8. Дискретные системы

- **Частотно - регулируемый привод.**
- В настоящее время вопрос энергосбережения очень актуален. Преобразователи частоты снижают потребление электроэнергии и повышают производительность труда.
- Современный частотно-регулируемый электропривод состоит из асинхронного или синхронного электрического двигателя и преобразователя частоты



ПЧ - преобразователь частоты

ИО - исполнительный орган

ЧРП - частотно регулируемый электропривод

## 8. Дискретные системы

- Электрический двигатель преобразует электрическую энергию в механическую энергию и приводит в движение исполнительный орган технологического механизма. Преобразователь частоты управляет электрическим двигателем и представляет собой электронное статическое устройство. На выходе преобразователя формируется электрическое напряжение с переменными амплитудой и частотой.
- Название «частотно-регулируемый электропривод» обусловлено тем, что регулирование скорости вращения двигателя осуществляется изменением частоты напряжения питания, подаваемого на двигатель от преобразователя частоты.