ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ

Преподаватель: Дәуренов Ә.Д

Лекция №4. Преобразователи сигналов

На предыдущей лекции были рассмотрены понятия:

- сенсора и датчика;
- роль датчика в системе автоматического управления;
- классификация датчиков;
- аналоговые, дискретные и цифровые датчики;
- контактные и бесконтактные датчики;
- основные характеристики датчиков: диапазон, чувствительность, погрешность, разрешение, линейность и время отклика.

Мы выяснили, что датчик получает информацию о физическом состоянии объекта и преобразует измеряемую величину в сигнал.

Но возникает следующий вопрос:

> **Может ли контроллер непосредственно использовать любой сигнал, полученный от датчика?**

Не всегда.

Именно поэтому между датчиком и системой управления часто необходимы **преобразование, нормализация, усиление, фильтрация или оцифровка сигнала**.

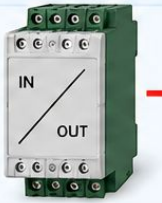
1. Что такое преобразователь сигнала?

Преобразователь сигнала — устройство, предназначенное для преобразования входного сигнала из одной формы или диапазона в другую форму или диапазон, удобный для передачи, обработки, измерения или использования системой управления.

Общая структура:

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИГНАЛА

Входной сигнал X
(например, 0–10 V, термопара, Pt100 и т. д.)



Выходной сигнал Y
(например, 4–20 mA, 0–10 V, цифровой код)

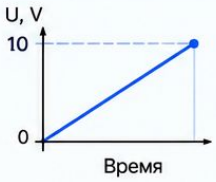
В общем виде:

$$X \rightarrow Y$$

Пример 1. Преобразование напряжения в ток

0 – 10V → 4 – 20mA

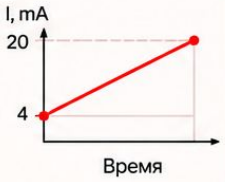
Входной сигнал
0 – 10 V





Преобразователь сигнала

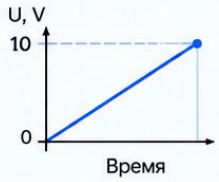
Выходной сигнал
4 – 20 mA



Пример 2. Преобразование напряжения в цифровой код

0 – 10V → цифровой код

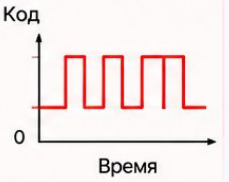
Входной сигнал
0 – 10 V





Преобразователь сигнала (АЦП)

Выходной сигнал
Цифровой код



Вывод: Преобразователь сигнала позволяет согласовать сигнал датчика с требованиями контроллера или системы управления, изменяя его форму, диапазон или тип (аналоговый ↔ цифровой).

2. Зачем нужен преобразователь?

Рассмотрим простую систему. Преобразователь нужен для того, чтобы преобразовать первичный сигнал от датчика в стандартный сигнал, удобный для передачи на контроллер.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА



Температура, давление, уровень, расход и т. д.

ДАТЧИК



Преобразует физическую величину в первичный сигнал.

ПЕРВИЧНЫЙ СИГНАЛ



Например, сопротивление (Ω), мВ и т. д.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИГНАЛА



Преобразует первичный сигнал в стандартный (4–20 мА, 0–10 В, цифровой и т. д.).

СТАНДАРТНЫЙ СИГНАЛ



4 – 20 мА,
0 – 10 В,
цифровой код

КОНТРОЛЛЕР / PLC



Принимает стандартный сигнал и обрабатывает его.

Пример: измерение температуры с помощью Pt100

Температура



Например,
0 ... 150 °C

Датчик Pt100



Изменяет своё сопротивление в зависимости от температуры.

Первичный сигнал



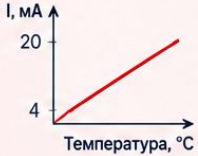
Сопротивление (Ω) (для Pt100: ~100 Ω при 0 °C)

Измерительный преобразователь



Преобразует изменение сопротивления в стандартный сигнал 4 – 20 мА.

Стандартный сигнал 4 – 20 мА



Например,
0 °C → 4 мА
100 °C → 20 мА

PLC (контроллер)



Принимает сигнал 4 – 20 мА и преобразует его в значение температуры для дальнейшей обработки и управления.

Вывод: Преобразователь сигнала необходим для согласования сигнала датчика с требованиями контроллера, так как промышленные контроллеры чаще всего работают со стандартными сигналами (4–20 мА, 0–10 В, цифровые сигналы).

Температура → R → $4 - 20\ mA$

3. Датчик и преобразователь — в чём разница?

Датчик	Преобразователь сигнала
Воспринимает измеряемую физическую величину	Получает уже существующий сигнал
Связан непосредственно с измеряемым процессом	Подготавливает сигнал для дальнейшего использования
Температура → сопротивление	Сопротивление → 4–20 mA
Давление → электрический параметр	0–10 V → 4–20 mA

4. Что происходит с сигналом в САУ?

Сигнал датчика часто проходит несколько стадий подготовки, прежде чем поступает в PLC / микроконтроллер.

1. Датчик



Преобразует физическую величину в электрический сигнал (например, Pt100, 0–10 V, мВ и т. д.).

2. Слабый / нестандартный сигнал



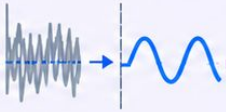
Сигнал от датчика может быть слабым, зашумлённым или нестандартным (например, мВ, сопротивление).

3. Усиление



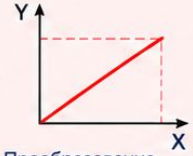
Увеличение амплитуды сигнала до необходимого уровня.

4. Фильтрация



Устранение помех и сглаживание сигнала (аналоговый или цифровой фильтр).

5. Нормализация



Преобразование к стандартному диапазону (например, в 0–10 V или 4–20 mA).

6. Преобразование



При необходимости преобразование аналогового сигнала в цифровой код.

7. PLC / микроконтроллер



Получает стандартный сигнал и обрабатывает его в соответствии с программой управления.

5. Основные функции преобразователей сигналов

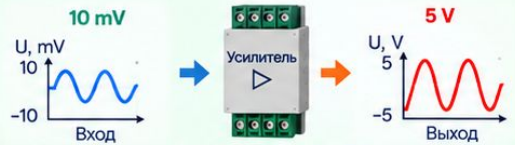
Преобразователи могут выполнять следующие функции:

1. Изменение диапазона сигнала



Например: 0 – 10V → 4 – 20mA

2. Усиление



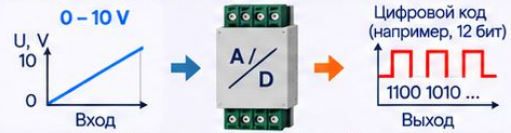
Например: 10 mV → 5V

3. Преобразование физического параметра



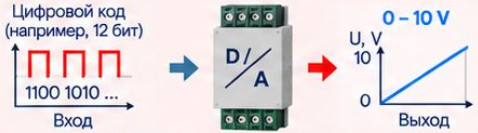
Например: R → U

4. Аналого-цифровое преобразование



Например: U → цифровой код

5. Цифро-аналоговое преобразование



Например: цифровой код → U

6. Гальваническая развязка



Электрическое разделение различных частей системы.

6. Гальваническая развязка

1. Что такое?

Гальваническая развязка — это передача сигнала между двумя электрическими цепями без прямого электрического соединения между ними.

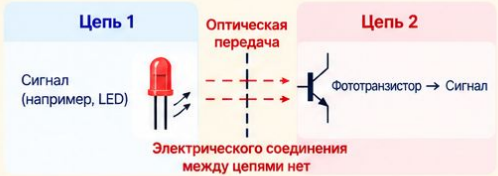


2. Пример: у нас есть датчик и PLC



3. Как тогда передаётся сигнал?

Для этого используют другой физический способ передачи. Например, **оптопару**.



Свет проходит через изоляционный барьер и воздействует на фотоприёмник, затем формируется электрический сигнал.

4. Зачем это нужно в автоматике?

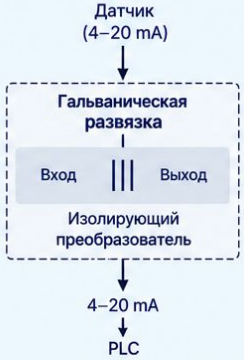
Представьте промышленную систему:



В промышленной среде возникают помехи, разности потенциалов, ошибки подключения или перенапряжения.

Гальваническая развязка защищает одну часть системы от опасного воздействия другой части и повышает надёжность работы.

5. Устанавливаем изолирующий преобразователь



Сигнал 4–20 mA передали, но электрически две стороны разделили.

6. Формулировка для студентов

Гальваническая развязка — это электрическое разделение двух цепей, при котором сигнал между ними передаётся без прямого электрического контакта. Она применяется для защиты оборудования и уменьшения влияния электрических помех.

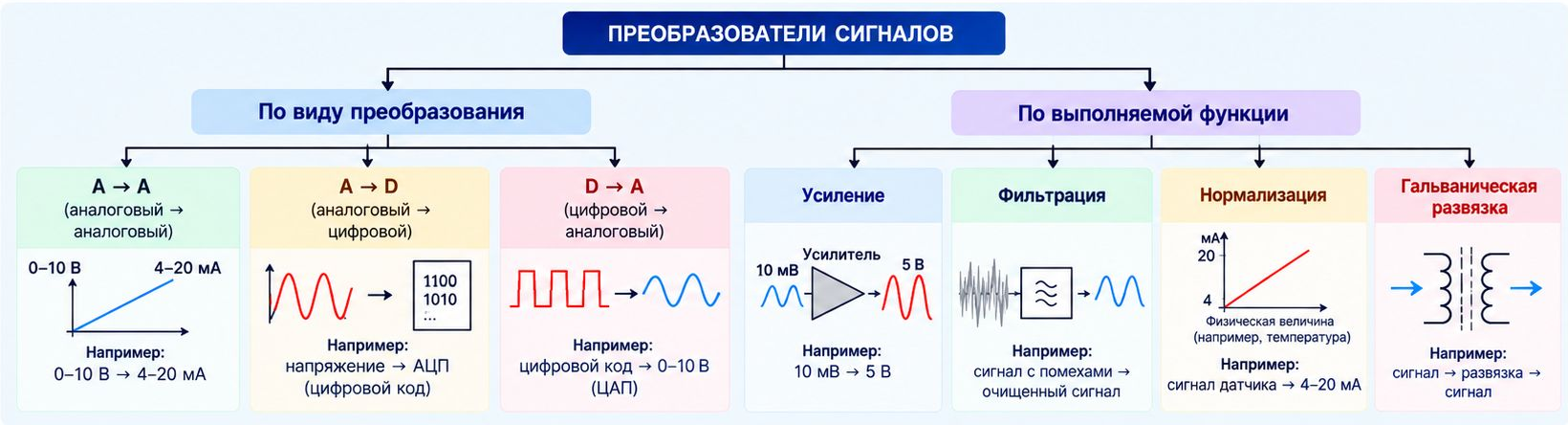
Важно:

Даже если датчик и PLC находятся в одном корпусе, внутри часто используется гальваническая развязка (оптопары, изолирующие усилители и т. д.), например:

- преобразование сигналов (0–10 В, 4–20 mA);
- АЦП и ЦАП.

Классификация преобразователей сигналов

Признак классификации	Виды	Пример
По виду преобразования сигнала	аналоговый → аналоговый	0–10 В → 4–20 мА
	аналоговый → цифровой	напряжение → цифровой код (АЦП)
	цифровой → аналоговый	цифровой код → 0–10 В (ЦАП)
По выполняемой функции	усилительные	10 мВ → 5 В
	нормализующие	сигнал датчика → 4–20 мА
	фильтрующие	сигнал с помехами → очищенный сигнал
	изолирующие	сигнал → гальваническая развязка → сигнал



7. Аналог → аналог

При таком преобразовании входной и выходной сигналы остаются аналоговыми.

Пример: 0 – 10 V → 4 – 20 mA



Напряжение от датчика (аналоговый сигнал)

Преобразователь (аналог → аналол)

Токовый стандартный сигнал (аналоговый сигнал)

Зачем это делать?

Например, датчик формирует напряжение **0 – 10 V**, но вход PLC или система передачи рассчитаны на **4 – 20 mA**.

8. Почему используются стандартные сигналы?

В промышленной автоматике распространены унифицированные сигналы:

- 0 – 10 V;
- 1 – 5 V;
- 0 – 20 mA;
- 4 – 20 mA.

Это позволяет подключать оборудование разных производителей через стандартные интерфейсы измерения.

Пример: несколько датчиков → PLC



Важно!

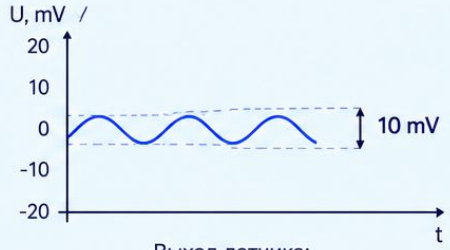
Контроллеру не обязательно знать внутренний физический принцип каждого датчика — он получает стандартизированный сигнал (например, **4 – 20 mA**).

Это упрощает проектирование, обеспечивает совместимость оборудования и повышает надёжность системы.

11. Усиление сигнала

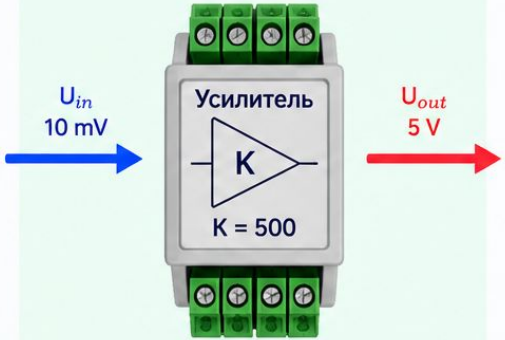
Некоторые датчики создают очень маленький электрический сигнал. Для дальнейшей обработки его необходимо усилить.

Слабый сигнал от датчика

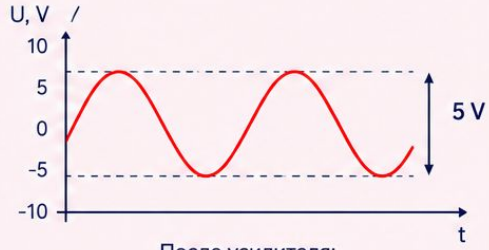


Выход датчика:
очень маленький сигнал
(например, 10 mV)

Усилитель сигнала



Усиленный сигнал на выходе



После усилителя:
сигнал увеличен по амплитуде
(например, до 5 V)

Коэффициент усиления

Показывает, во сколько раз увеличивается амплитуда сигнала:

$$K = \frac{U_{out}}{U_{in}}$$

K — коэффициент усиления (раз)
U_{in} — входной сигнал (В)
U_{out} — выходной сигнал (В)

Пример расчёта

Если:

$U_{in} = 0.01$ V (10 mV)

а на выходе:

$U_{out} = 5$ V

Тогда коэффициент усиления:

$$K = \frac{5}{0.01} = 500$$

Итог

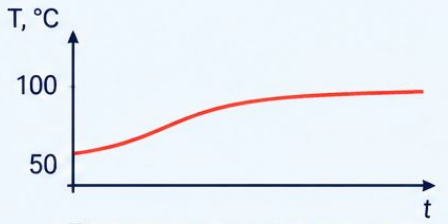
Сигнал усилен в 500 раз.

Усилитель увеличивает амплитуду сигнала, что позволяет дальше использовать его, например, для АЦП контроллера.

12. Фильтрация сигнала

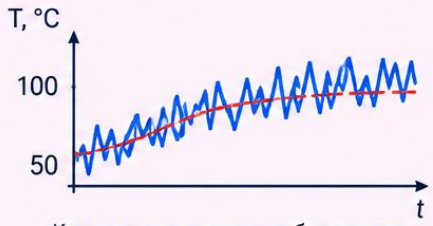
Реальные измерительные сигналы могут содержать помехи. Например, реальная температура изменяется плавно.

Идеальный сигнал (реальная величина)



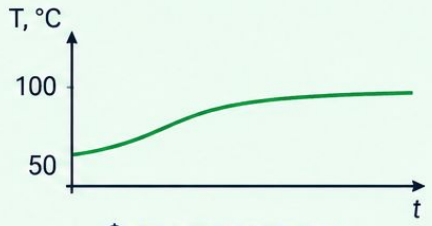
Температура изменяется плавно

Измеренный сигнал с помехами



К полезному сигналу добавляются нежелательные колебания (шум)

После фильтрации



Фильтр подавляет шум и восстанавливает полезный сигнал



Что удаляет фильтр?

- высокочастотный шум;
- случайные колебания;
- электромагнитные помехи;
- кратковременные выбросы.

Как работает фильтр?

Фильтр пропускает полезную (медленно изменяющуюся) составляющую сигнала и подавляет нежелательные высокочастотные компоненты.

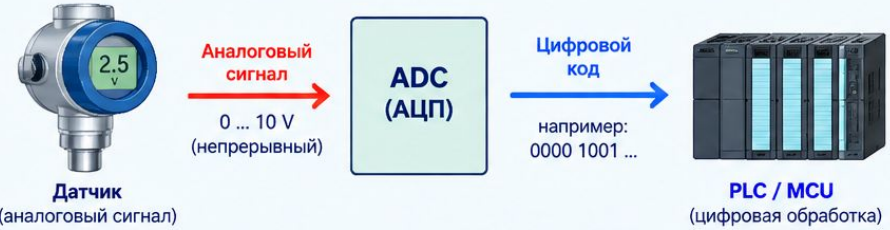
Источники помех

- электродвигатели;
- преобразователи частоты;
- силовые кабели;
- электромагнитные поля;
- коммутационные устройства.

13. Аналого-цифровой преобразователь — ADC

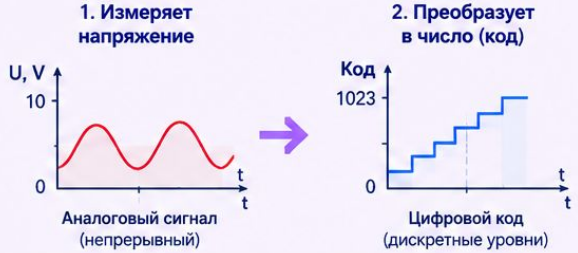
Контроллер или микроконтроллер работает с цифровыми данными, но многие датчики формируют аналоговый сигнал.
Поэтому используется **АЦП (ADC)** — устройство, которое преобразует аналоговый сигнал в **цифровой код**.

Общая схема



Датчик
(аналоговый сигнал)

Что делает ADC?



Другие названия

- АЦП — аналогово-цифровой преобразователь
- ADC — Analog-to-Digital Converter

Пример

Если на вход ADC подано 2.5 V,
то на выходе получится определённое цифровое значение (код).

Основные параметры ADC

- Разрядность (например, 10, 12, 16 бит)
- Диапазон входного напряжения (например, 0–3.3 V, 0–10 V)
- Время преобразования (скорость)

14. Зачем нужен ADC?

Микроконтроллер работает только с цифровыми данными, поэтому аналоговый сигнал нужно преобразовать в число.

Пример: датчик 0–3.3 V → ADC → микроконтроллер



Датчик
(например, температуры)
0 – 3.3 V

Как это работает?

1. ADC измеряет мгновенное значение напряжения.
2. Сравнивает его с опорным напряжением и определяет ближайший уровень.
3. Выдаёт цифровой код, который обрабатывает программа.

Весь путь сигнала



15. Разрядность ADC

Одной из важнейших характеристик АЦП является **разрядность**. Для n-разрядного ADC количество возможных уровней: $N = 2^n$

Что такое разрядность?

Разрядность определяет, на сколько дискретных уровней АЦП делит диапазон входного напряжения.



Количесто уровней для разных ADC

Разрядность n	Количество уровней $N = 2^n$	Пример кода (диапазон)
8 bit	$2^8 = 256$	0 ... 255
10 bit	$2^{10} = 1024$	0 ... 1023
12 bit	$2^{12} = 4096$	0 ... 4095
16 bit	$2^{16} = 65536$	0 ... 65535

Влияние разрядности на точность измерения



Чем выше разрядность, тем более мелкие изменения входного напряжения система потенциально способна различить.

16. Пример 10-битного ADC

Исходные данные

Опорное напряжение ADC (максимальный диапазон):	$U_{ref} = 5\ V$
Разрядность:	$n = 10\ bit$
Количество кодов:	$N = 2^{10} = 1024$
Диапазон кодов:	$0 \dots 1023$

Расчёт шага квантования

Один шаг ADC (соответствие одного кода по напряжению):

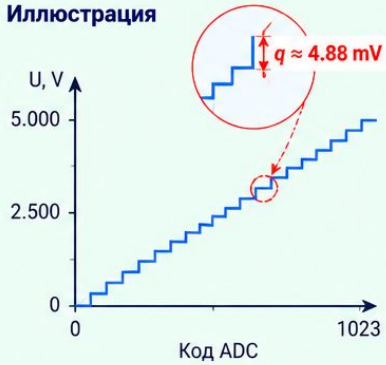
$$q = \frac{U_{ref}}{N}$$

$$q = \frac{5V}{1024}$$

$$q \approx 0.00488\,V$$

$q \approx 4.88$ mV
(один шаг ADC)

Иллюстрация



Итог

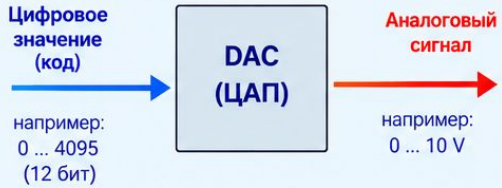
При 10-битном ADC один шаг составляет примерно 4,88 mV.

Это означает, что изменение входного напряжения меньше 4,88 mV не приведёт к изменению цифрового кода (он останется тем же).

17. Цифро-аналоговый преобразователь — DAC

Существует и обратное преобразование — из **цифрового значения в аналоговый сигнал.**

Принцип работы



ЦАП (DAC — Digital-to-Analog Converter) преобразует цифровой код в пропорциональный аналоговый сигнал (напряжение или ток).

Пример преобразования

Цифровой код (12 бит)	Выходное напряжение	Процент диапазона
0	0 V	0%
1024	2.5 V	25%
2048	5 V	50%
3072	7.5 V	75%
4095	10 V	100%

Характеристика DAC



Зависимость между цифровым кодом и выходным напряжением обычно линейная.

18. Где используется DAC?

ЦАП используется, когда контроллер должен управлять реальным устройством через аналоговый сигнал.

Пример: управление скоростью электродвигателя через преобразователь частоты



Пример соответствия значений

Выходное напряжение	Процент диапазона	Назначение (например, скорость)
0 V	0%	Двигатель остановлен
2.5 V	25%	Низкая скорость
5 V	50%	Средняя скорость
7.5 V	75%	Высокая скорость
10 V	100%	Максимальная скорость

Другие применения DAC

- управление клапанами (аналоговые приводы);
- управление нагревателями (мощность);
- задание уставки для преобразователей частоты;
- регулирование освещения;
- генерация аналоговых сигналов в измерительных системах.

Итог

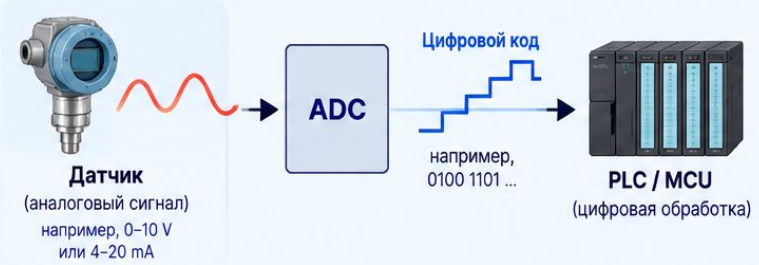
Цифровая команда контроллера превращается в аналоговый управляющий сигнал (например, 0–10 V), который воздействует на реальное оборудование.

19. ADC и DAC

Сравним аналогово-цифровой (ADC) и цифро-аналоговый (DAC) преобразователи.

ADC — Analog-to-Digital Converter

Преобразует аналоговый сигнал в цифровой код.



Направление преобразования	Analog → Digital
Вход	Аналоговый сигнал (напряжение или ток)
Выход	Цифровой код (число)
Используется для	Измерения параметров
Типовая схема применения	Датчик → контроллер

DAC — Digital-to-Analog Converter

Преобразует цифровой код в аналоговый сигнал.



Направление преобразования	Digital → Analog
Вход	Цифровой код (число)
Выход	Аналоговый сигнал (напряжение или ток)
Используется для	Управления исполнительными устройствами
Типовая схема применения	Контроллер → исполнительное устройство (например, преобразователь частоты, клапан)

Можно запомнить:

ADC : Реальный мир → контроллер
(измерение)

DAC : Контроллер → реальный мир
(управление)

21. Полная цепочка обработки сигнала

Теперь объединим всё в одну систему. Сигнал от датчика проходит несколько этапов обработки, прежде чем попадает в контроллер.

Реальный мир
(измеряемая величина)



Температура
0 … 100 °C

Датчик
(преобразование в электрический сигнал)



4 … 20 mA
(аналоговый сигнал)

Обработка сигнала

Усиление



Увеличение амплитуды сигнала

Фильтрация



Подавление шума и помех

Нормализация (масштабирование)



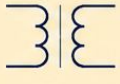
Приведение к нужному диапазону

Преобразование



Преобразование в цифровой код (ADC)

Развязка



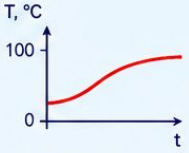
Защита от помех и гальваническая развязка

PLC / Контроллер
(цифровая обработка)



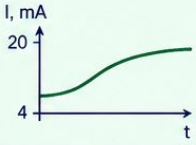
- Чтение значения
- Логика программы
- Отображение
- Управление

Реальный сигнал



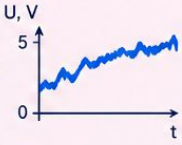
Температура изменяется плавно

Электрический сигнал от датчика



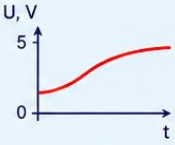
4 … 20 mA
(аналоговый сигнал)

После усиления



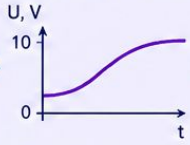
Сигнал увеличен по амплитуде

После фильтрации



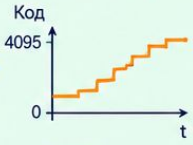
Шум подавлен

После нормализации (масштабирования)



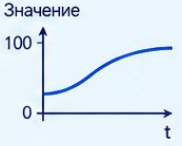
Приведён к нужному диапазону (например, 0–10 V)

Цифровой сигнал (после ADC)



Преобразован в цифровой код (например, 12 бит)

В контроллере



Цифровое значение используется в программе

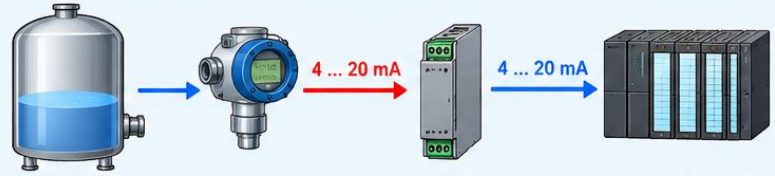
Полная цепочка:

Реальная величина
(температура, давление и т.д.)
→ **Датчик**
→ Усиление, Фильтрация, Нормализация, Преобразование, Развязка
→ **ADC**
→ **PLC / Контроллер**

23. Связь с реальной системой автоматизации

Теперь студент уже может увидеть, как все элементы из предыдущих лекций работают вместе в реальной системе.

Информационный путь (измерение)



Объект
(процесс, например, давление в резервуаре)

Датчик
(измеряет физическую величину)

Преобразователь
(например, нормирующий преобразователь)

PLC
(аналоговый вход, ADC, обработка)

Процесс → Датчик → Преобразователь → PLC

Путь управления (воздействие)



PLC
(обработка, цифровое значение)

ЦАП (DAC)
(аналоговый выход, 0 ... 10 V или 4 ... 20 mA)

Преобразователь частоты
(управление двигателем)

Исполнительное устройство
(электродвигатель)

PLC → преобразователь → исполнительное устройство → процесс

Полный цикл в реальной системе

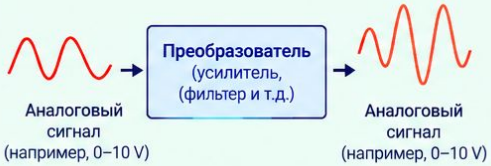


24. Итоги лекции

Преобразователь сигнала обеспечивает совместимость различных элементов системы автоматизации.

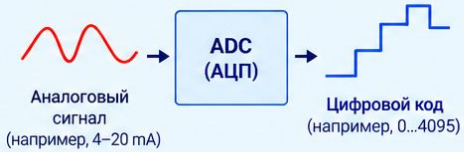
Analog → Analog

Преобразование формы, уровня или типа сигнала.



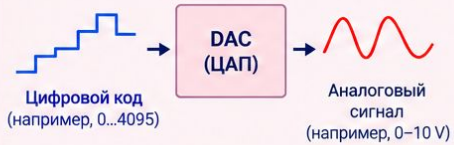
Analog → Digital

Преобразование аналогового сигнала в цифровой код (ADC).



Digital → Analog

Преобразование цифрового кода в аналоговый сигнал (DAC).

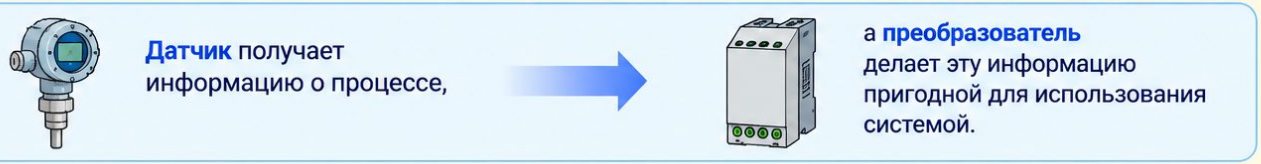


Обработка измерительного сигнала

Обработка измерительного сигнала может включать несколько этапов:



Главная мысль лекции:



Контрольные вопросы

1. Что называется преобразователем сигнала?
2. Для чего преобразователи используются в САУ?
3. Чем преобразователь отличается от датчика?
4. Что называется унифицированным сигналом?
5. Какие стандартные аналоговые сигналы применяются в автоматике?
6. Что означает сигнал 4–20 mA?
7. Для чего выполняется масштабирование?
8. Зачем необходимо усиление слабого сигнала?
9. Для чего применяется фильтрация?
10. Что такое АЦП (ADC)?
11. Для чего нужен ADC в микроконтроллере?
12. Что означает разрядность ADC?
13. Сколько уровней имеет 10-битный ADC?
14. Что такое ЦАП (DAC)?
15. В чём разница между ADC и DAC?
16. Для чего используется гальваническая развязка?
17. Как проходит сигнал от датчика до PLC?
18. Почему контроллер не всегда может непосредственно работать с выходом чувствительного элемента?