
ЛЕКЦИЯ 8

III. Средства автоматизации измерения, контроля и управления

3.1. Датчики измерительных систем

3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

3.1.2. Классификация датчиков

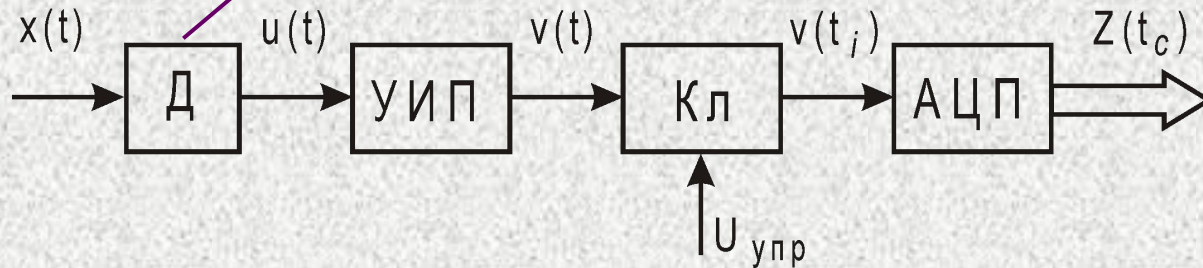
3.1.3. Метрологические характеристики датчиков

3.1.4. Сопряжение датчиков с измерительной системой

3. Средства автоматизации измерения, контроля и управления

3.1. Датчики измерительных систем

Датчик – первый блок любой измерительной системы



Сенсорика (от англ. *sensor* - датчик) – направление, занимающееся разработкой новых типов датчиков физических и электрических величин, на основе новых принципов измерений, новых методов обработки измерительной информации, в различном конструктивном исполнении.

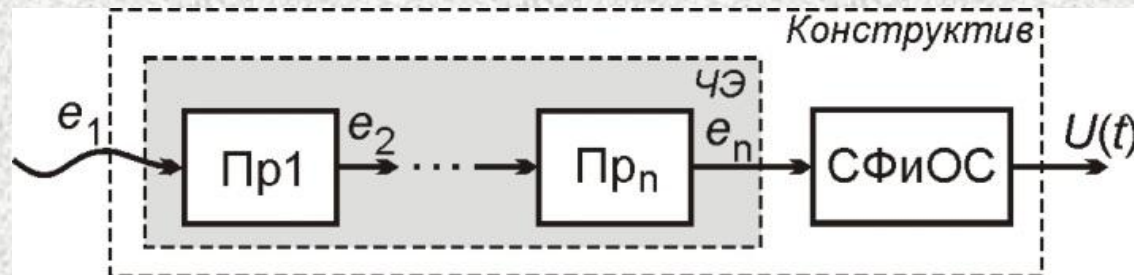
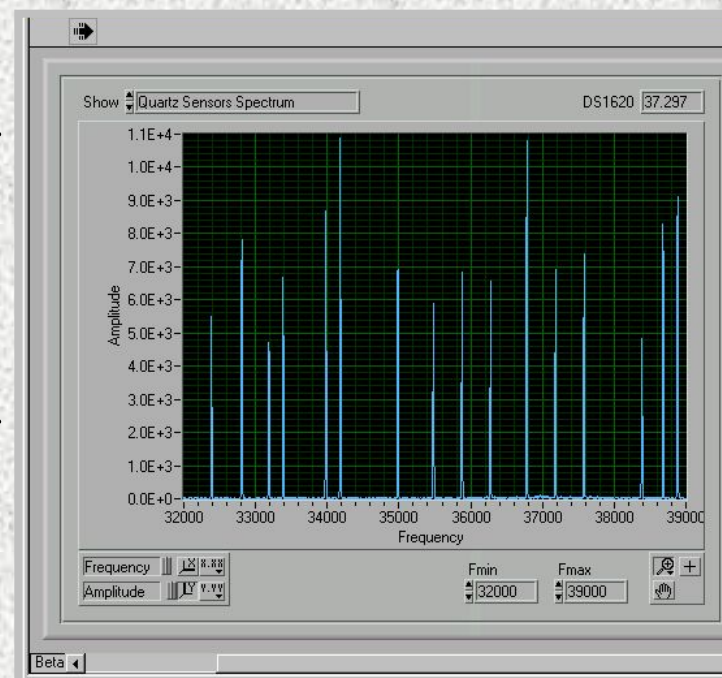
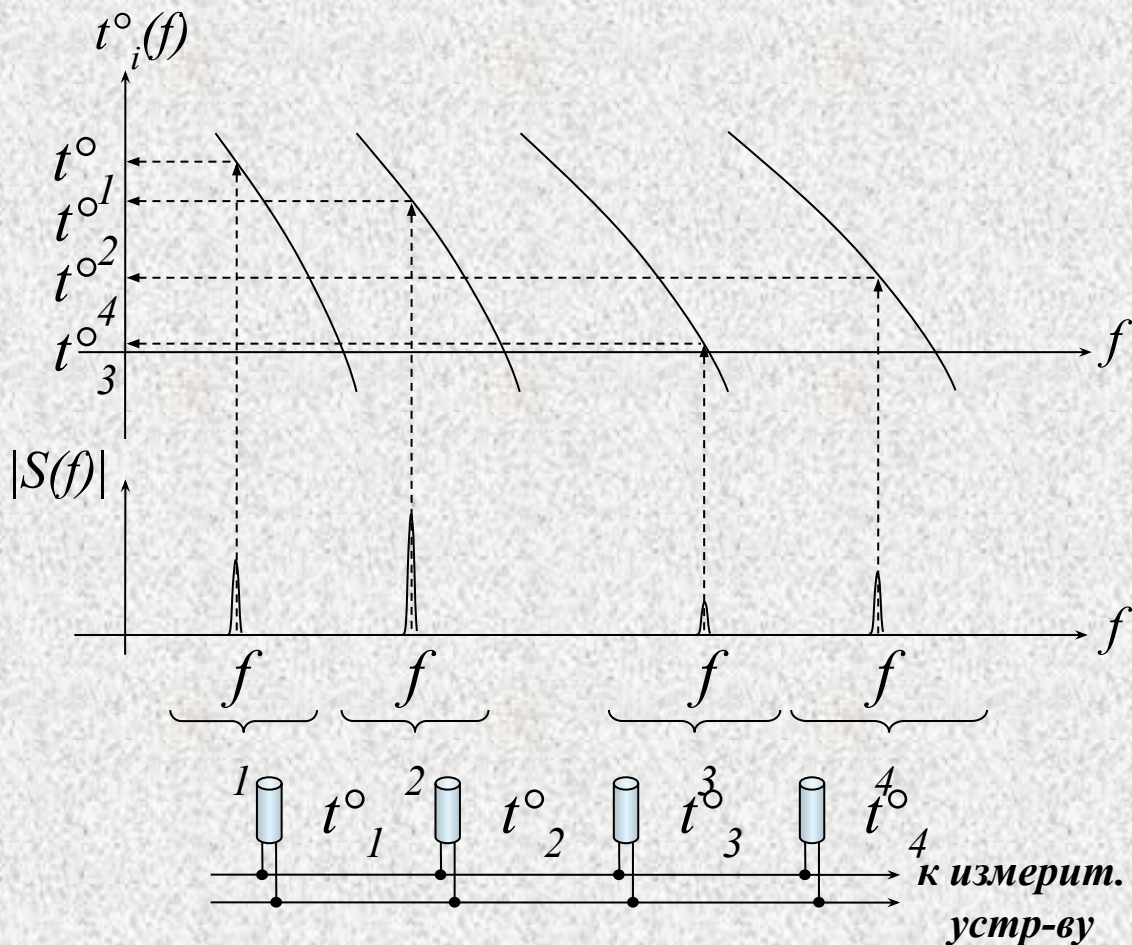


Рис. 1. Обобщенная структурная схема датчика

Пр – преобразователь; ЧЭ – чувствительный элемент; СФиОС – схема формирования и обработки сигнала

3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

Распределенные датчики



Устройство и принцип работы

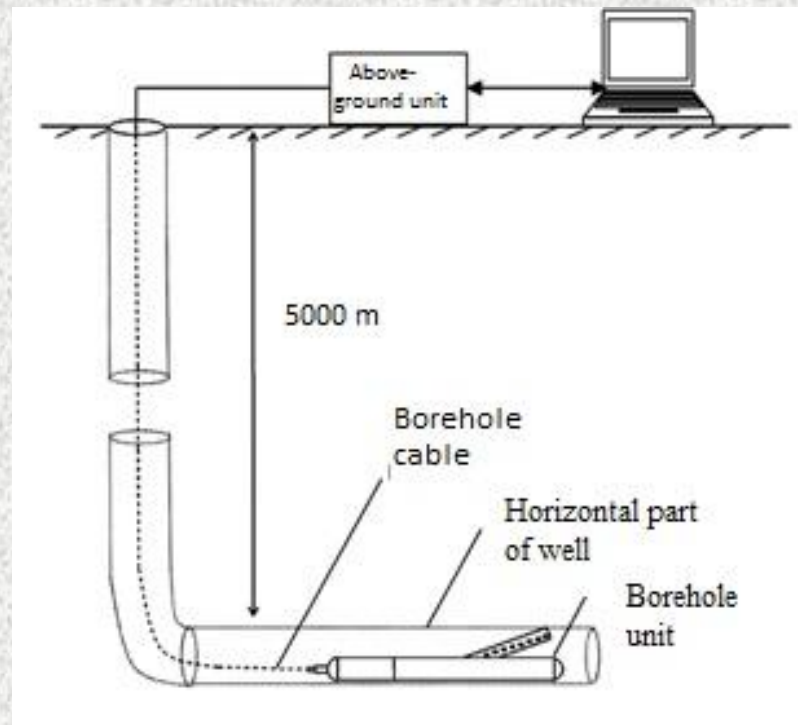
3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

Квазираспределенная система измерения температуры на основе кварцевых резонаторов



3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

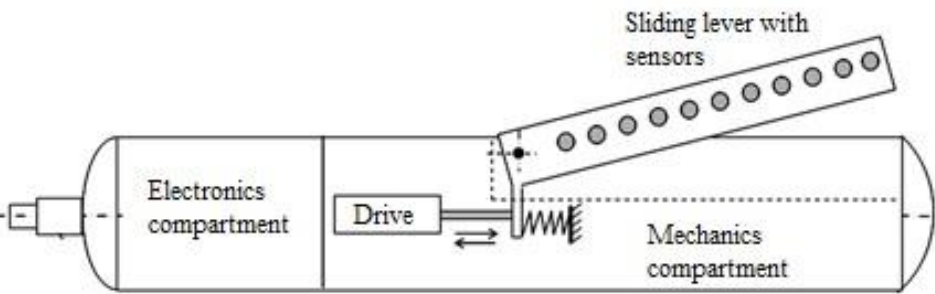
Measurement system of water, oil and gas content in a horizontal oil well



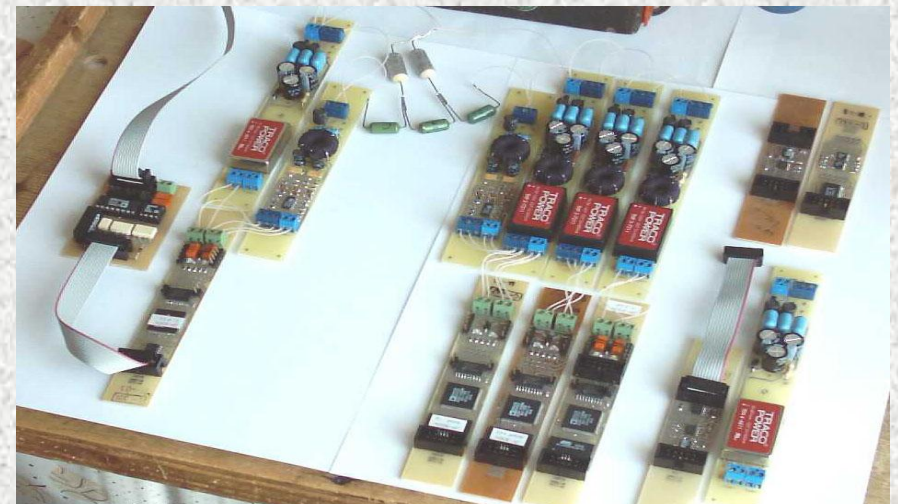
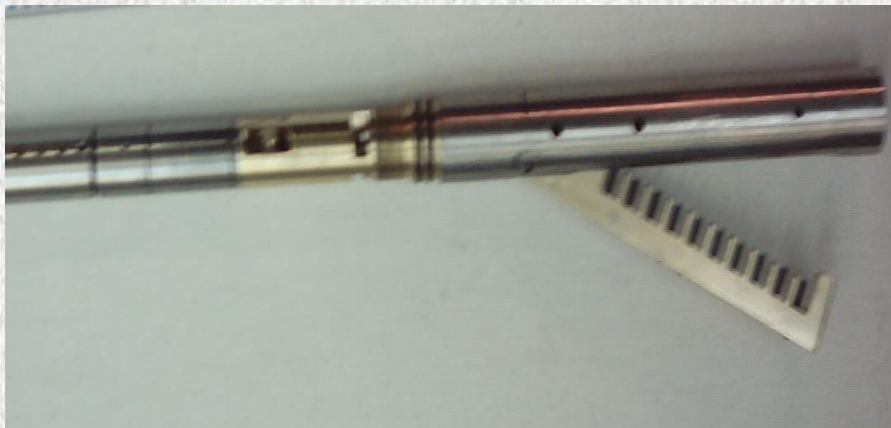
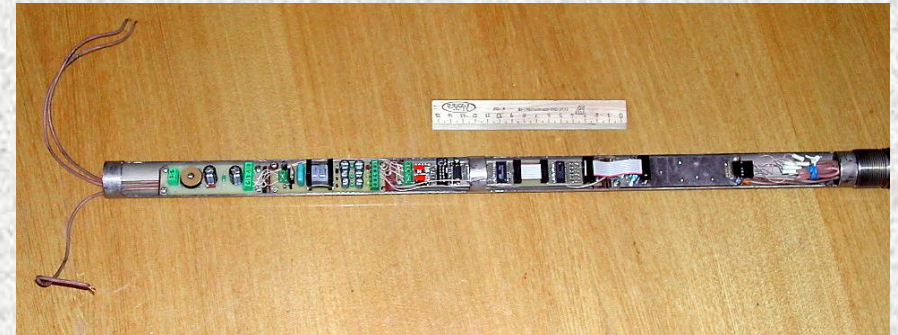
3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

Measurement system of water, oil and gas content in a horizontal oil well

Borehole unit



Printed circuit boards of the borehole unit

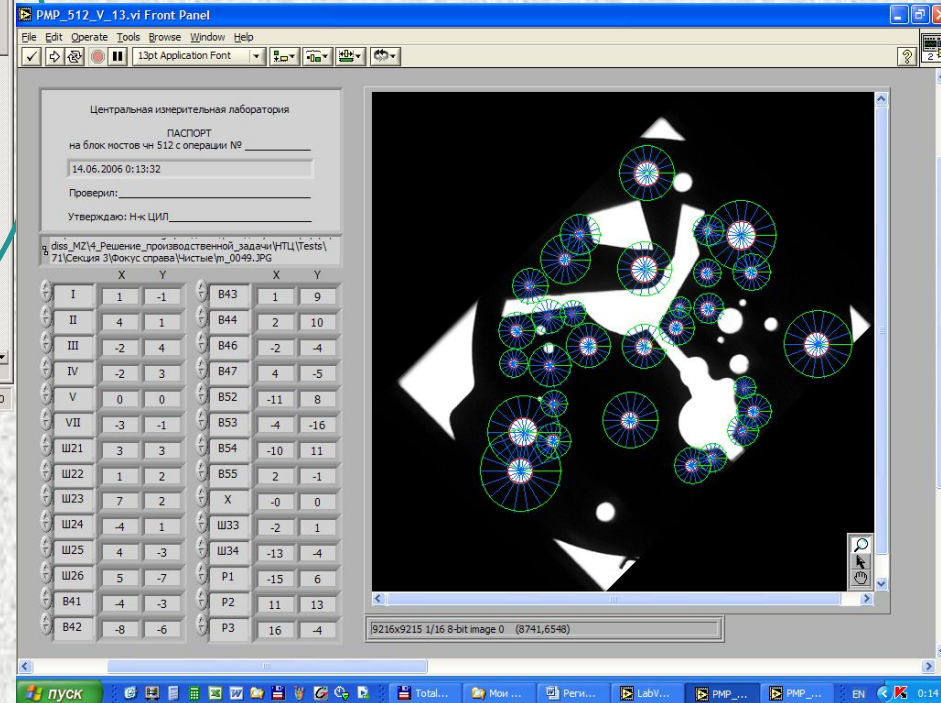
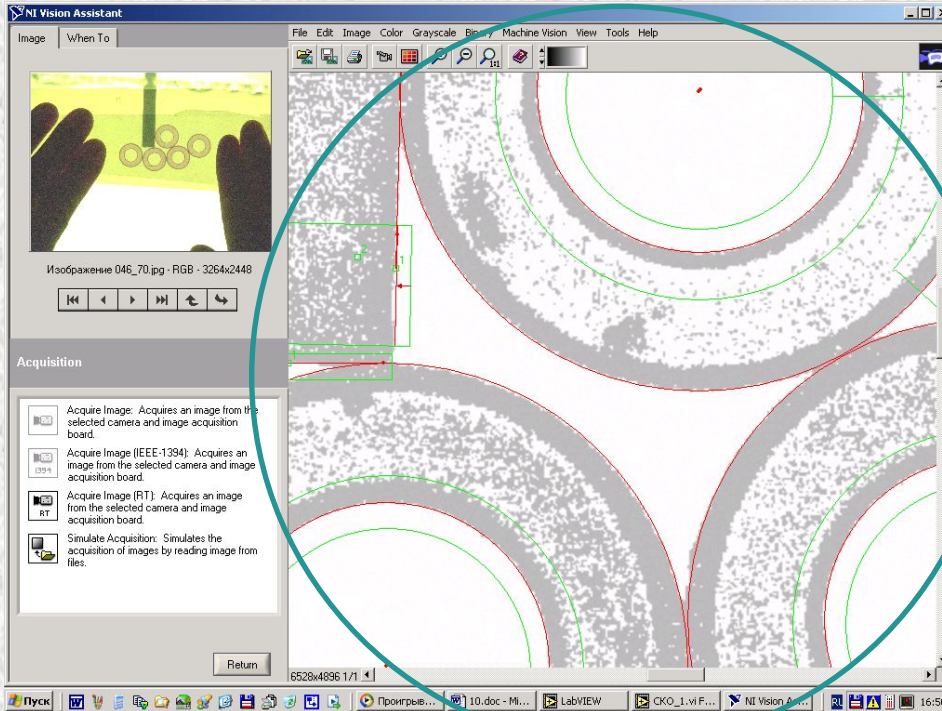


3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

Техническое зрение

NI VISION environment

Метод соприкасающихся частей

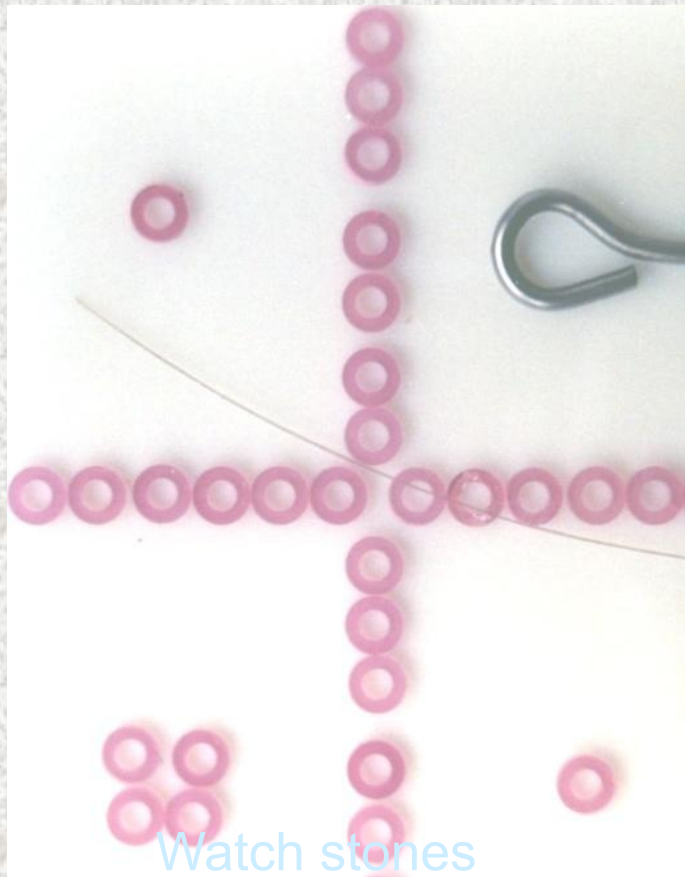


Разработка алгоритма обработки изображений

3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

Техническое зрение

Task: measuring geometrical dimensions of watch components with $\pm 2 \mu\text{m}$ accuracy



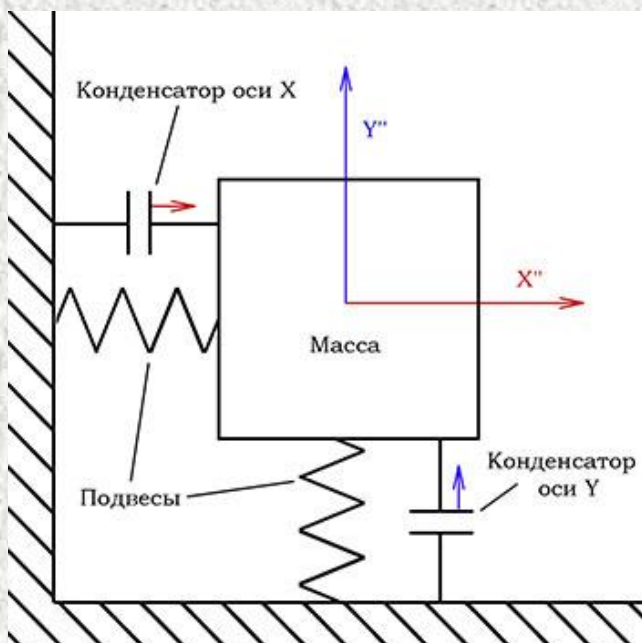
3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

Датчики с использованием MEMS-технологии

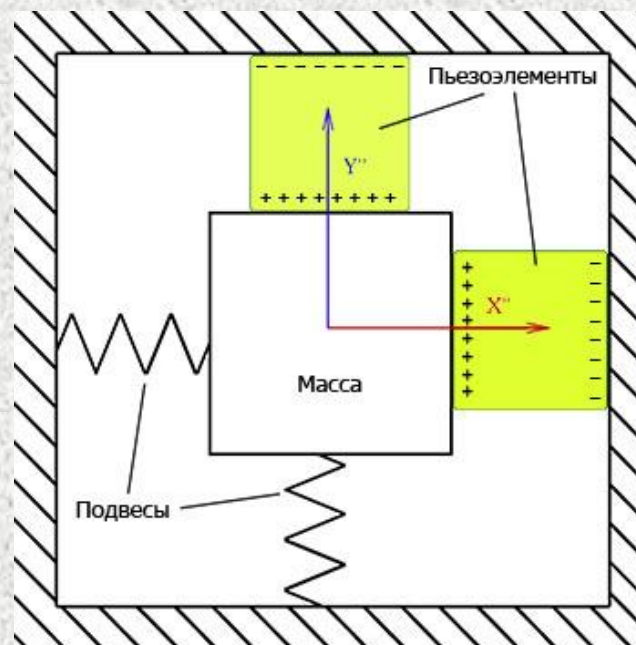
MEMS – *Micro-Electro-Mechanical Systems*

Под технологией MEMS понимают технологию микрообработки, позволяющую изготавливать кремниевые микросхемы с механическими элементами очень малых размеров.

MEMS – это объединение механических элементов, датчиков, приводов и электроники на одном кремниевом основании (подложке).

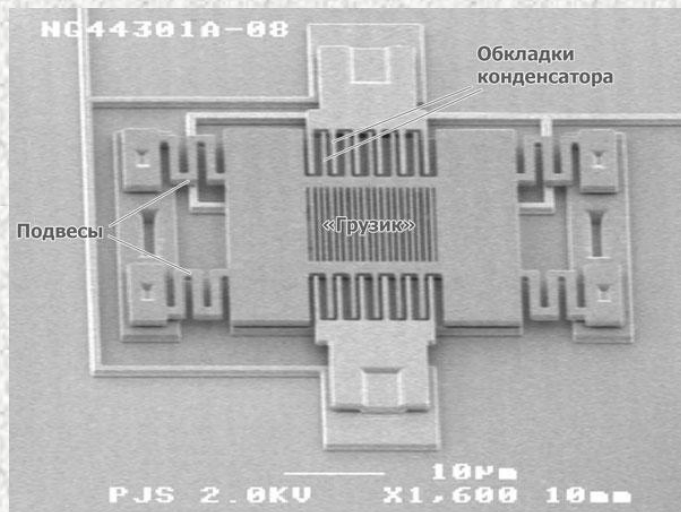


Принцип работы конденсаторных акселерометров

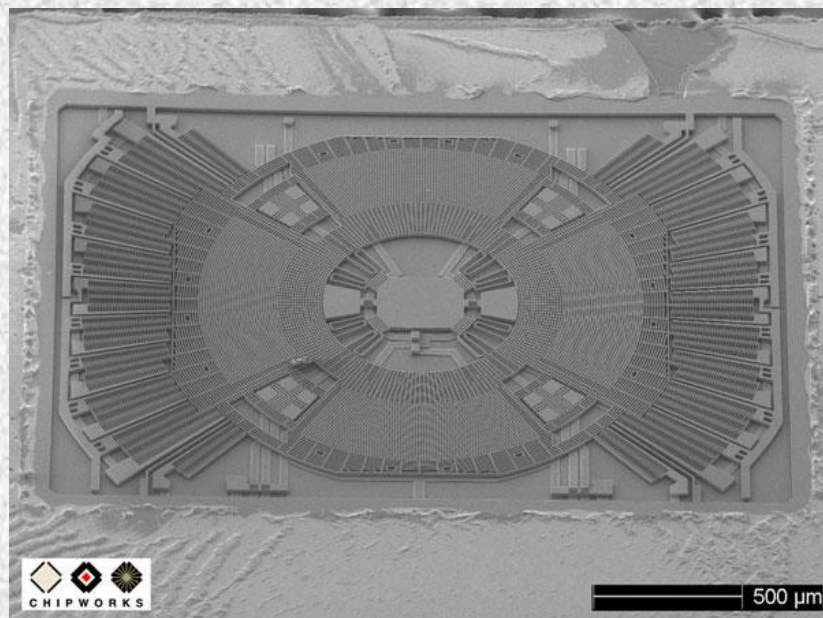


Принцип работы пьезоэлектрических акселерометров

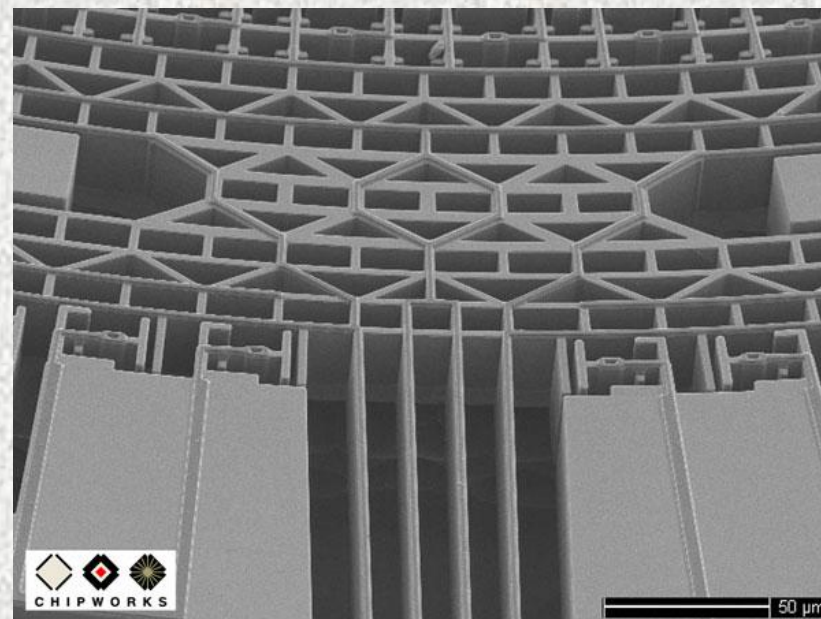
Датчики с использованием MEMS-технологии



MEMS - акселерометр

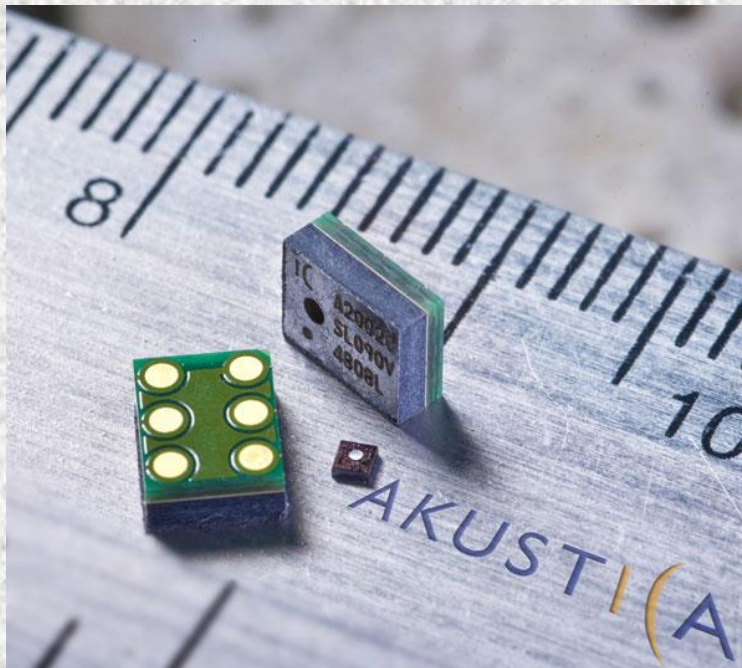
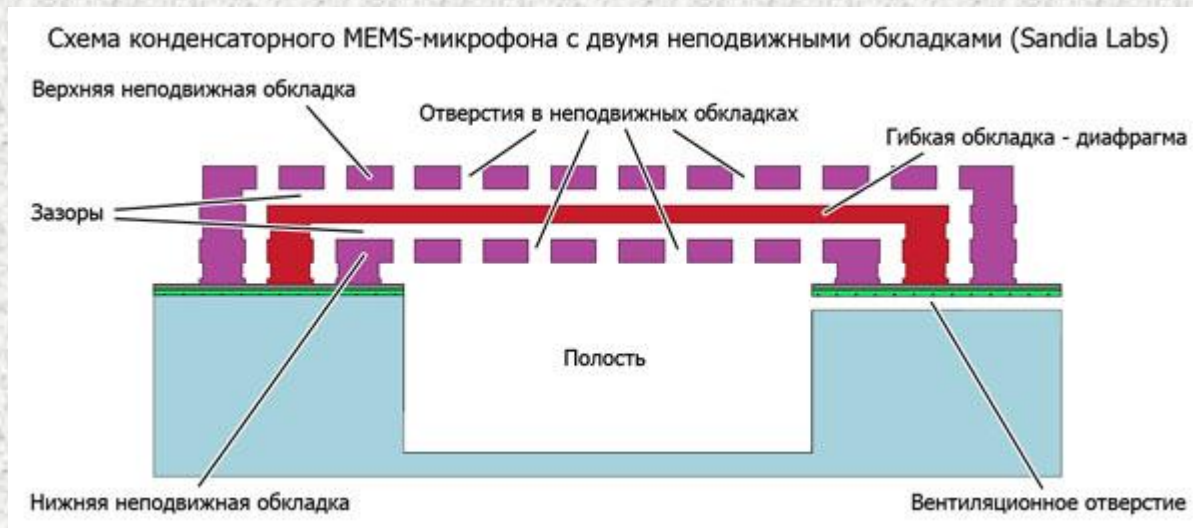


Гироскоп ST Microelectronics – LYPR540AH



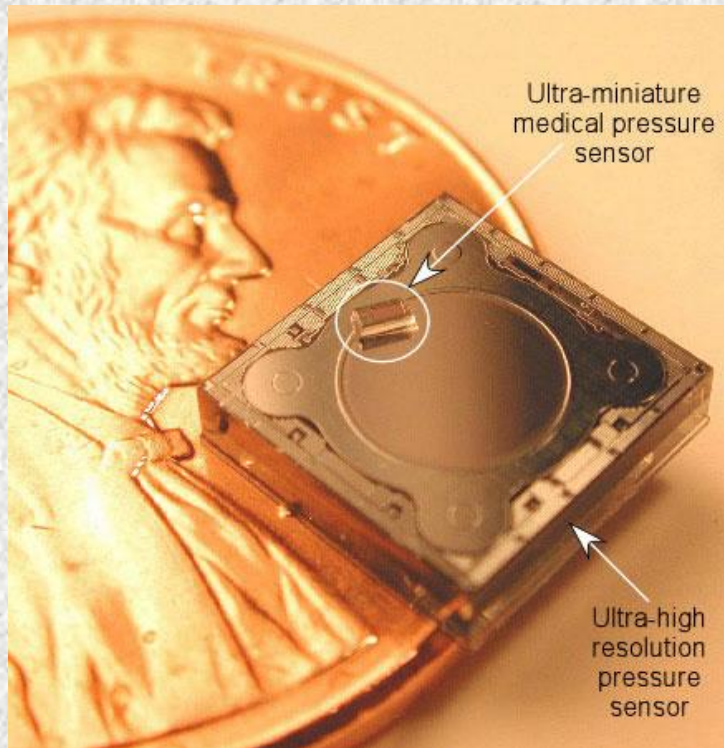
Крупный план конструкции гироскопа STM LYPR540AH

Датчики с использованием MEMS-технологии



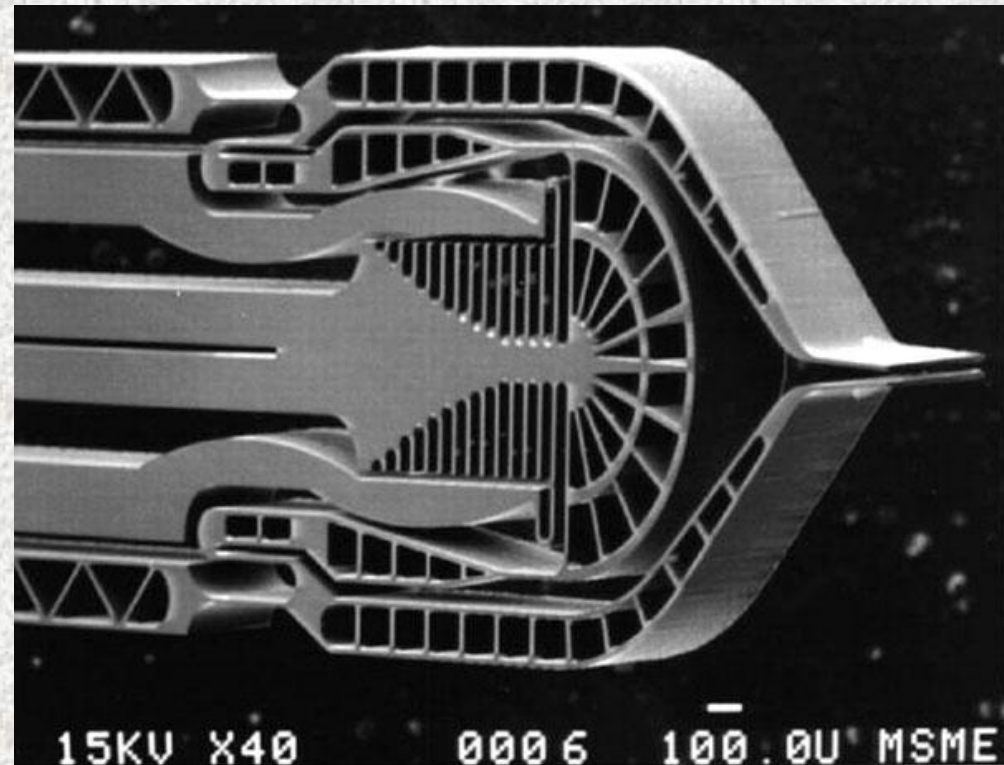
Самый миниатюрный MEMS-микрофон компании Akustica (площадь кристалла – 1 кв.мм)

Датчики с использованием MEMS-технологии

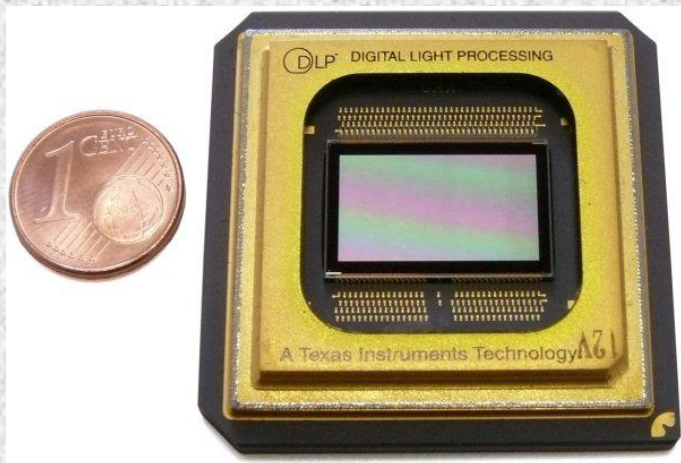


Ультеракомпактный и высокоточный датчики давления

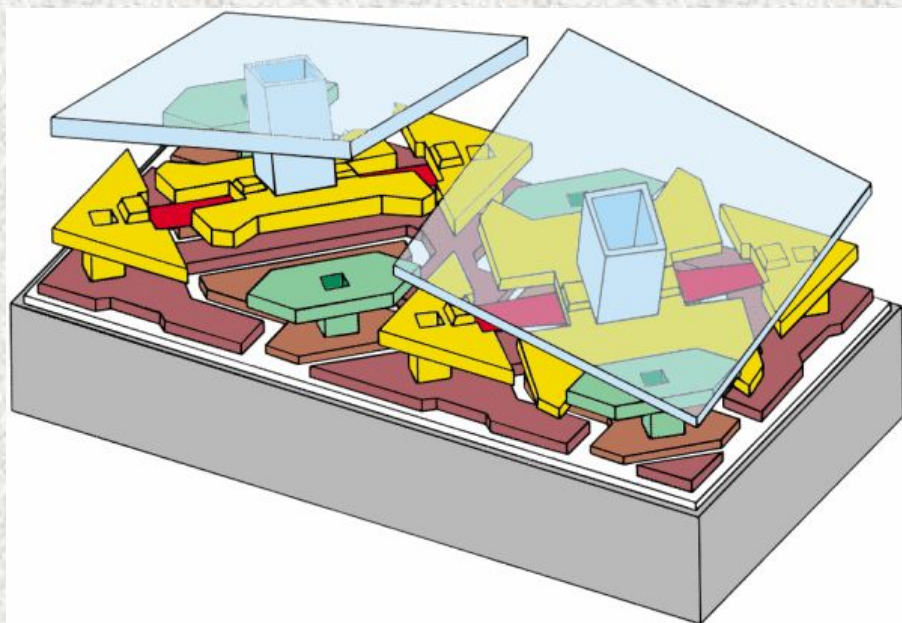
Прототип щипцов для микрохирургии глаза. Размеры головки щипцов – порядка 1,5x1,5 миллиметра. Толщина губ – несколько десятков микрон



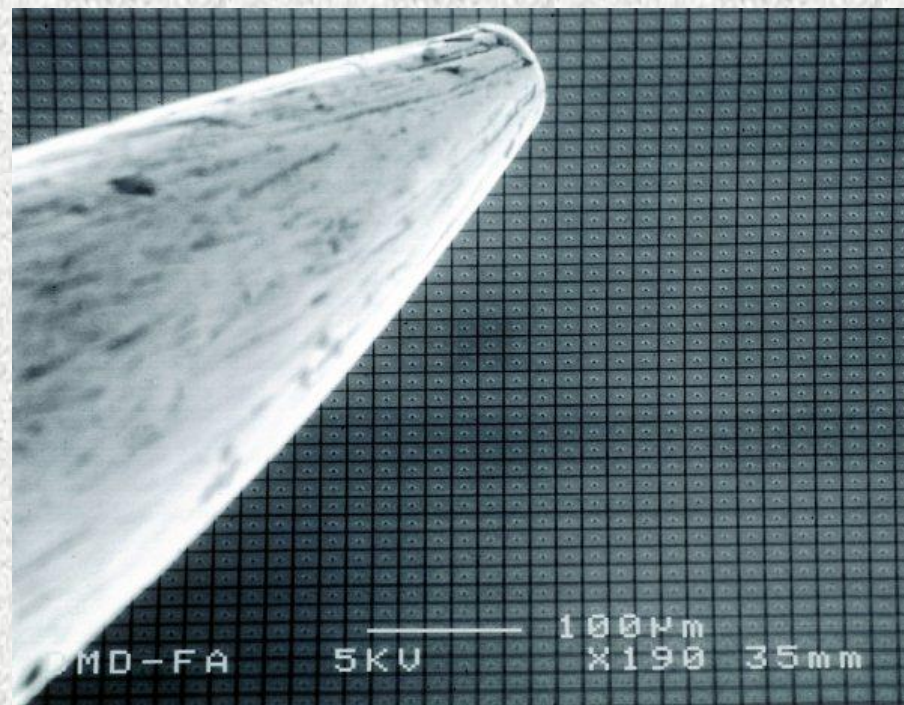
Датчики с использованием MEMS-технологии



DLP-проектор (DLP – Digital Light Processing)

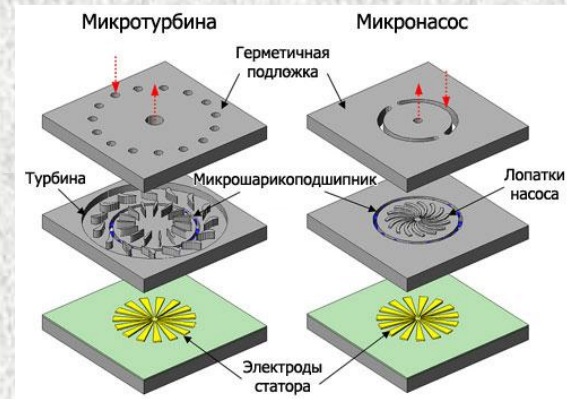
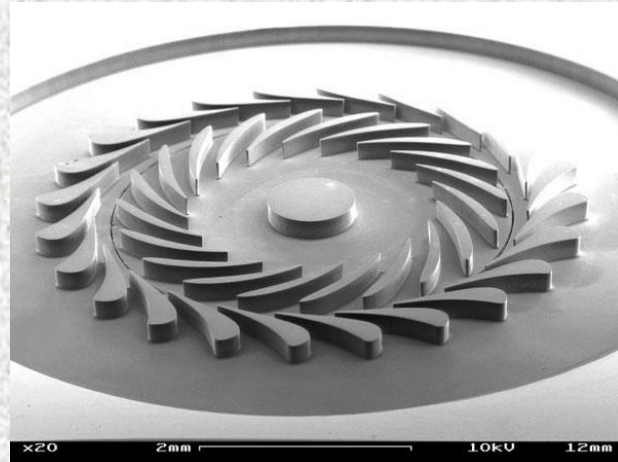


Два подвижных микрозеркала на подложке

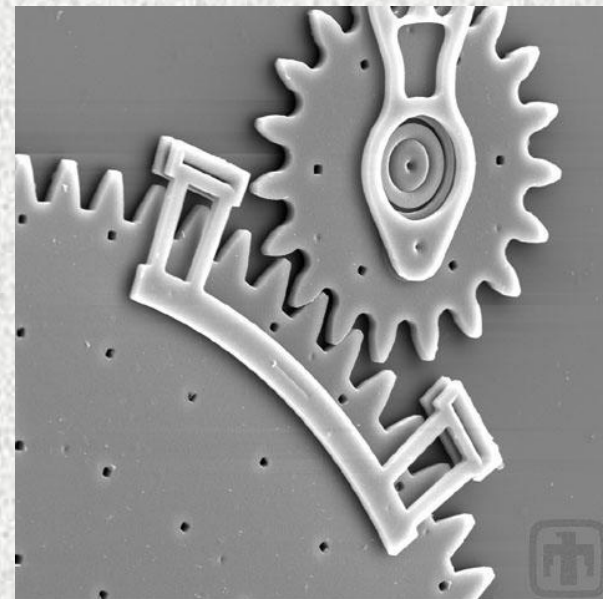
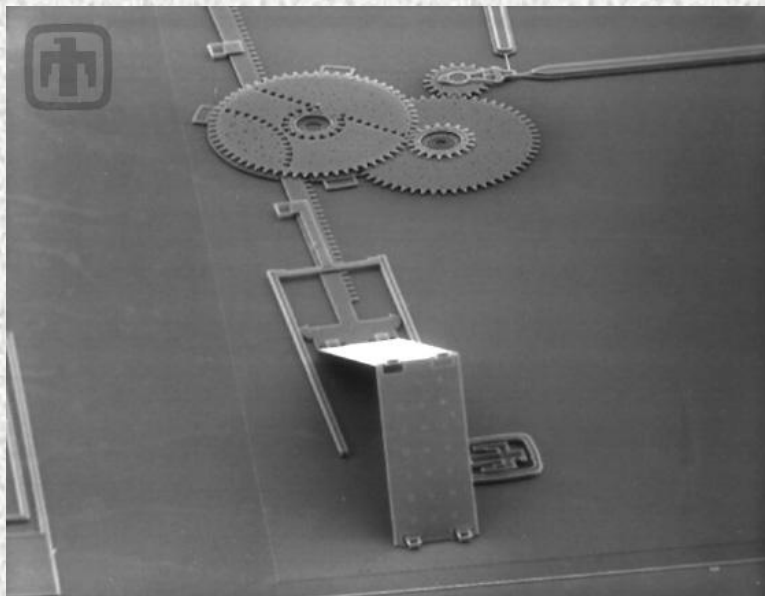


Матрица микрозеркал в сравнении с острием иглой

Датчики с использованием MEMS-технологии



Пример изготовления микротурбин/микронасосов



Микрозеркало с изменяемым углом наклона

3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

Использованные источники:

1. Саленко Д.С. История развития и области применения технологии MEMS/Автоматика и программная инженерия. 2013, №3(5). 68-74с. [Электронный ресурс]:

<http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-3-2013-13.pdf> (Дата обращения: 11.03.2021). Режим доступа: свободный.

2. 3D News/MEMS: микроэлектромеханические системы [сайт]: <https://3dnews.ru/600098> (Дата обращения: 11.03.2021). Режим доступа: свободный.

3.1.2. Классификация датчиков

1. По способу формирования выходного сигнала:

- 1) пассивные;
- 2) активные.

Активные датчики не нуждаются в дополнительном источнике энергии и в ответ на изменение внешнего воздействия на его выходе всегда появляется электрический сигнал.

Примерами пассивных датчиков являются *термопары, фотодиоды, пьезоэлектрические чувствительные* элементы и др.

Пассивный датчик для своей работы требует внешней энергии, называемой сигналом возбуждения.

Примеры: *терморезисторы, тензорезисторы* и др.

2. В зависимости от выбора точки отсчета:

- 1) абсолютные;
- 2) относительные.

Абсолютный датчик определяет внешний сигнал в абсолютных физических единицах, не зависящих от условий проведения измерений.

Выходной сигнал **относительного датчика** в каждом конкретном случае может трактоваться по-разному.

3.1.2. Классификация датчиков

3. По виду преобразуемых величин:

1. Датчики механических величин. Служат для преобразования линейных и угловых перемещений, силовых воздействий (механические силы, моменты, давление, акустические сигналы и т.п.), величин, характеризующих движение (скорость, расход газа и жидкости, ускорение).

Например: *тензорезисторные, пьезоэлектрические, индуктивные, емкостные, реостатные, струнные, трансформаторные.*

2. Датчики состояния вещества. Преобразуют температуру, электрические и магнитные поля, ионизирующее излучение, световую и химическую энергию и т.д.

К их числу относятся: *термопары и пирозлектрические преобразователи, датчики Холла, индукционные, полупроводниковые детекторы излучения, фоторезисторы, фотодиоды и др.*

3. Датчики состава вещества в газообразной, жидкой и твердой фазах. Основаны на физико-химических и физических эффектах.

К данной группе относятся: *хроматографические датчики, тепловые, магнитные и ионизационные датчики, электрохимические датчики.*

3.1.2. Классификация датчиков

Применяемые в настоящее время датчики служат, в основном, для восприятия следующих физических и физико-химических полей:

- 1. Механические поля:** тензорезисторы, тензодиоды, тензотранзисторы, диод Ганна, интегральные мембранные преобразователи давления.
- 2. Акустические поля:** пьезо- и тензопреобразователи.
- 3. Электрические и магнитные поля:** микроэлектроды, датчики Холла, магниторезисторы, магнитодиоды, магнитотиристоры.
- 4. Теплофизические поля:** терморезисторы, диоды, транзисторы, тиристоры.
- 5. Световые поля:** фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фотопреобразователи на ПЗС-структурах.
- 6. Физико-химические поля:** химотронные (электрохимические, электродиффузионные, полярографические) датчики, иончувствительные датчики на полевых транзисторах.

3.1.3. Метрологические характеристики датчиков

На практике наиболее часто распространены следующие МХ СИ.

Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ.

Пределы измерения – наибольшее и наименьшее значения диапазона измерений. Применяются понятия верхний предел измерения и нижний предел измерения.

Функция преобразования (градуировочная характеристика) – это зависимость между информационным параметром y выходного сигнала измерительного прибора и значением измеряемой величины x воздействующей на его вход.

Общий вид функции преобразования:

$$y = f(x) \quad (1)$$

3.1.3. Метрологические характеристики датчиков

1) линейная зависимость

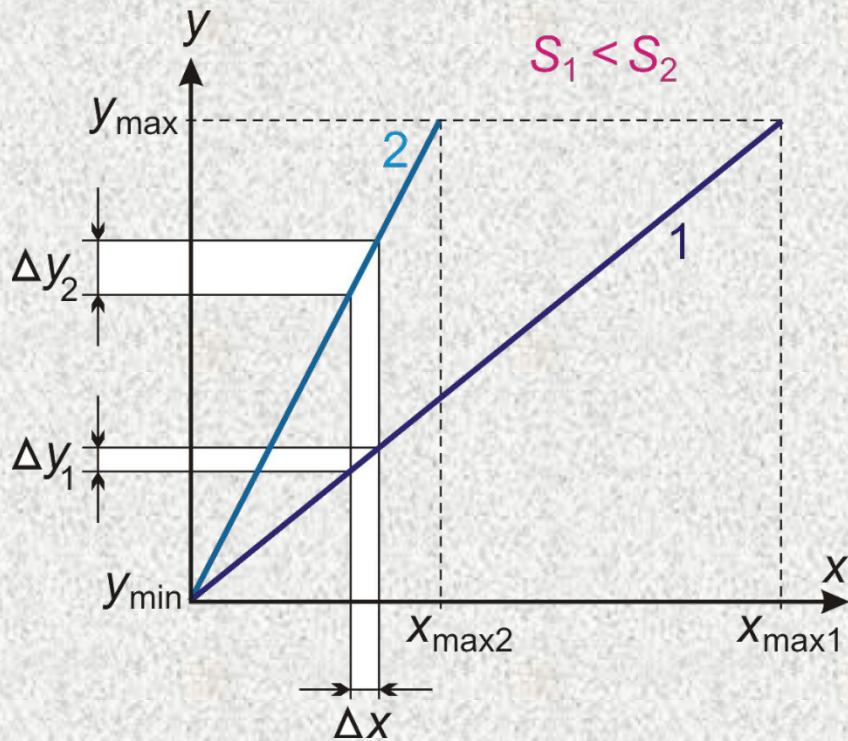


Рис. 1.

Общий вид функции преобразования:

$$y = a \cdot x + b \quad (2)$$

где b – постоянное смещение;
 a – крутизна (S , K - чувствительность)

Для заданной ФП справедливо равенство:

$$a = K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y}{x} = const \quad (3)$$

3.1.3. Метрологические характеристики датчиков

2) нелинейная зависимость

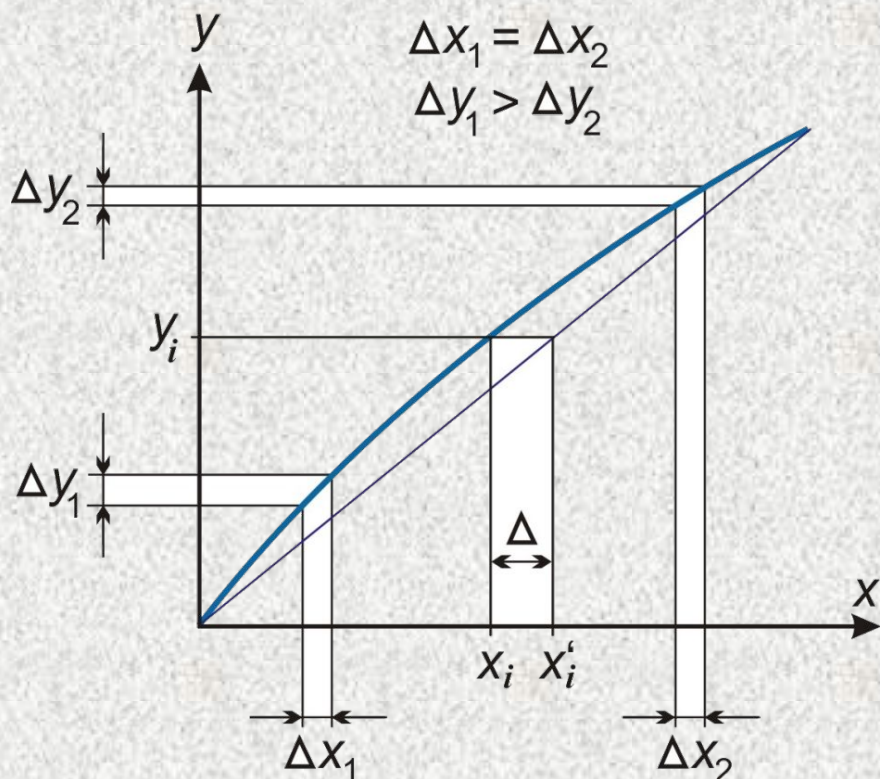


Рис. 2.

Способы описания нелинейной ФП:

1) в виде полинома:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (3)$$

2) с помощью кусочно-линейной аппроксимации.

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \text{var} \quad (4)$$

3.1.3. Метрологические характеристики датчиков

Гистерезис – разность значений выходного сигнала для одного и того же входного сигнала, полученных при его возрастании и убывании (см. рис. 3).

Порог чувствительности прибора – наименьшее значение измеряемой величины x_0 , вызывающее различимое изменение показания прибора (см. рис. 4).

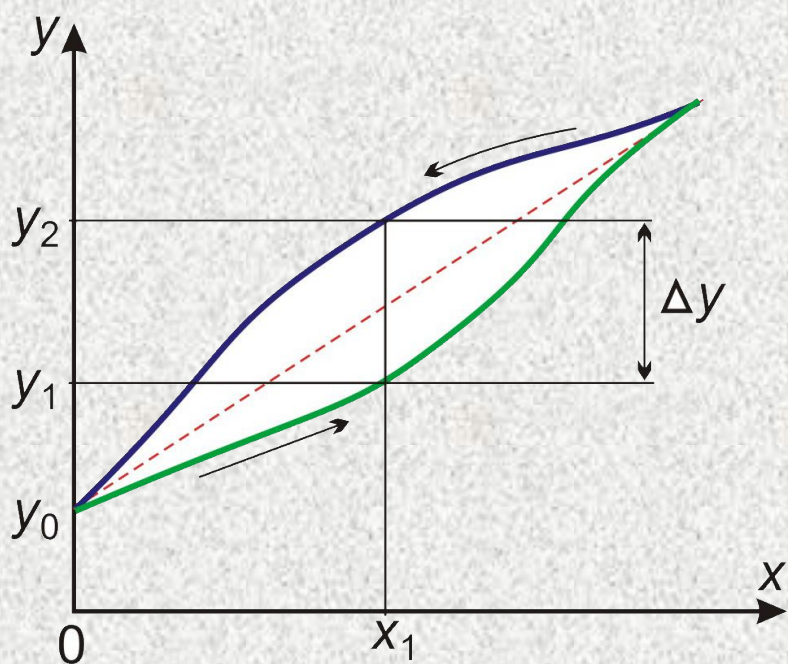


Рис. 3.

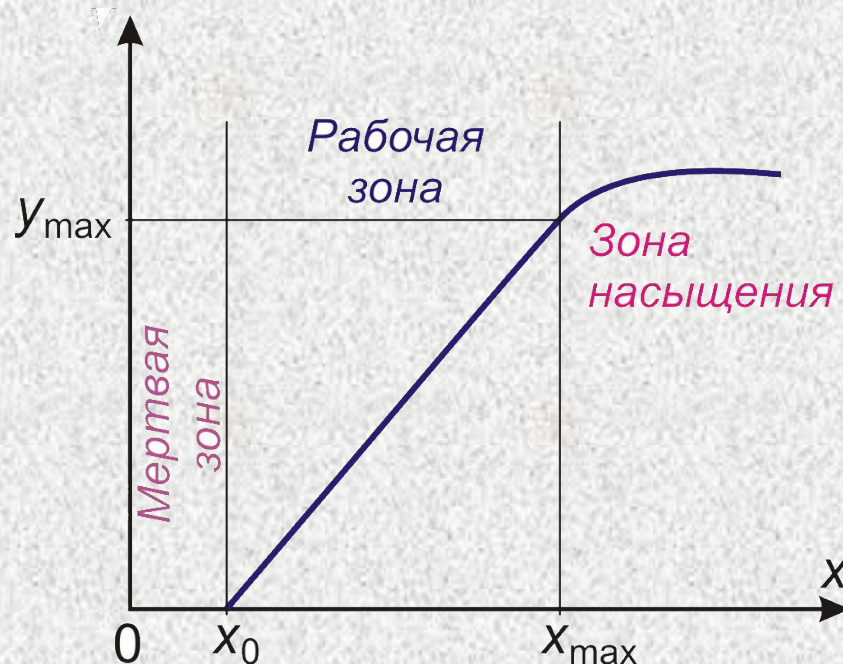
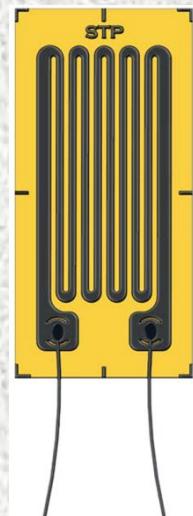


Рис. 4.

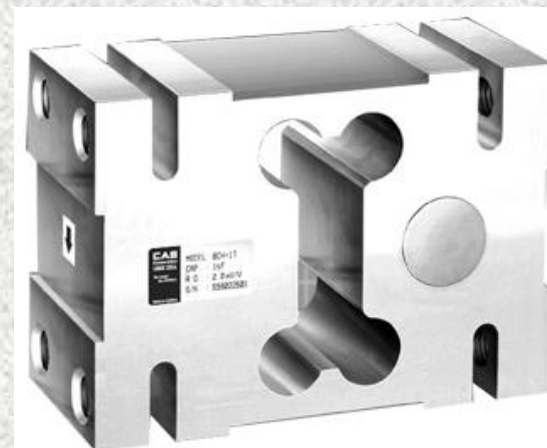
3.1.3. Метрологические характеристики датчиков



Пример тензодатчика
S-образного типа

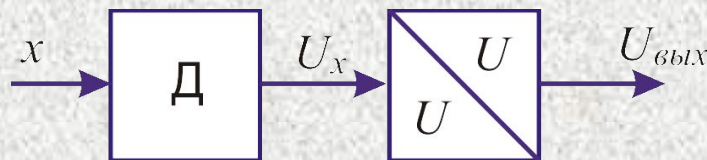
Примеры тензорезисторов

Пример тензодатчика
консольного типа



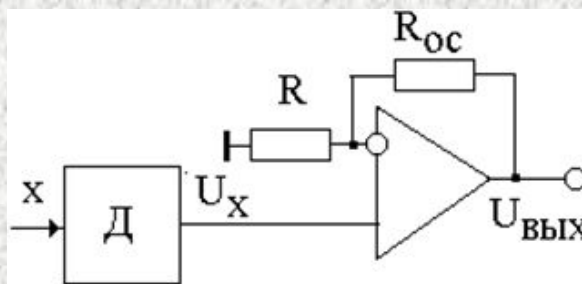
3.1.4. Сопряжение датчиков с измерительной системой

Датчики с потенциальным выходом



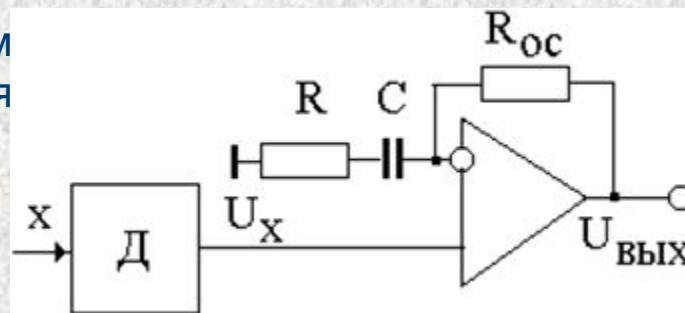
Системное представление устройства сопряжения датчика

Типовые схемы сопряжения на основе ОУ



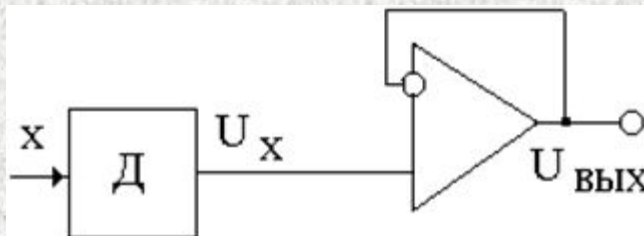
$$U_{\text{вых}} = U_x \left(\frac{R_{oc}}{R} + 1 \right)$$

Сопряжение с усилением переменного напряжения



$$U_{\text{вых}}(j\omega) = U_x \left(\frac{R_{oc}}{R + \frac{1}{\omega C}} + 1 \right)$$

Сопряжение по сопротивлению на основе повторителя напряжения



3.1.4. Сопряжение датчиков с измерительной системой

Датчики с токовым выходом

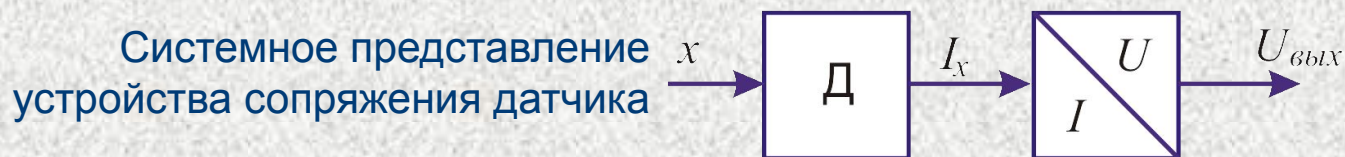
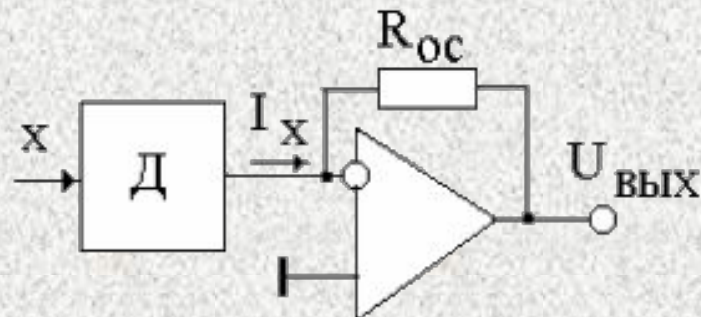
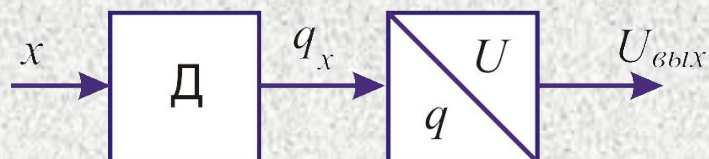


Схема сопряжения на основе ОУ



$$U_{\text{вых}} = -I_x R_{\text{ос}}$$

Датчики электрического заряда



Системное представление устройства сопряжения датчика

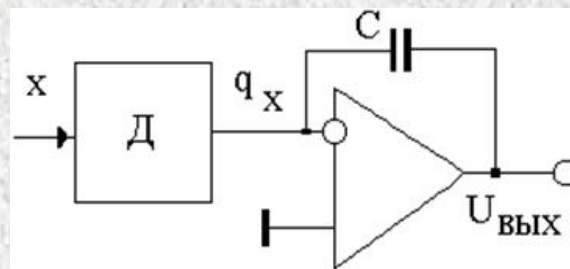


Схема сопряжения на основе ОУ

3.1.4. Сопряжение датчиков с измерительной системой

Резистивные датчики

Системное представление устройства сопряжения датчика

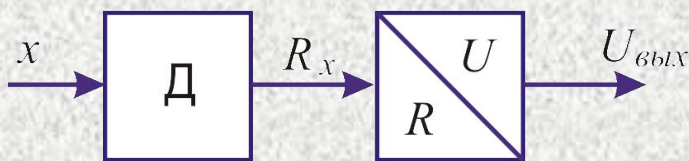
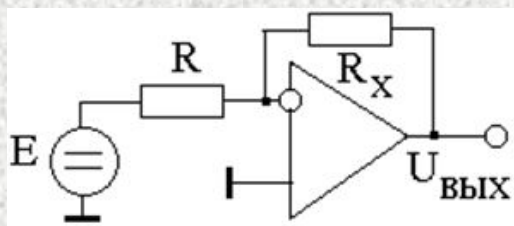
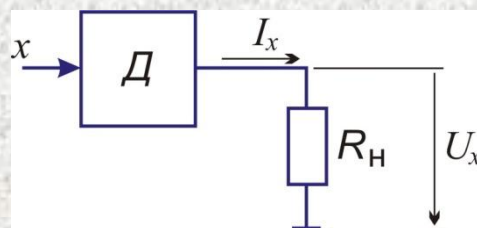
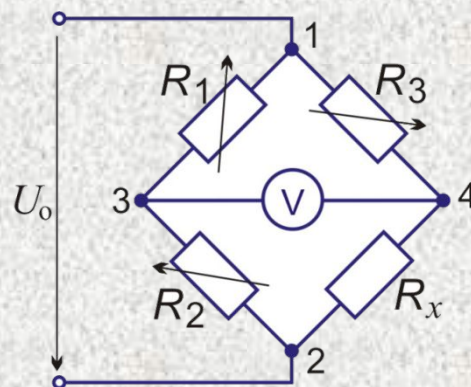
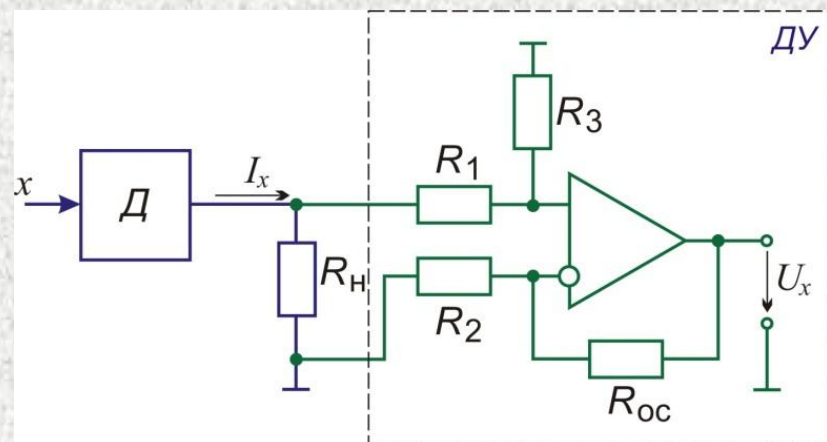


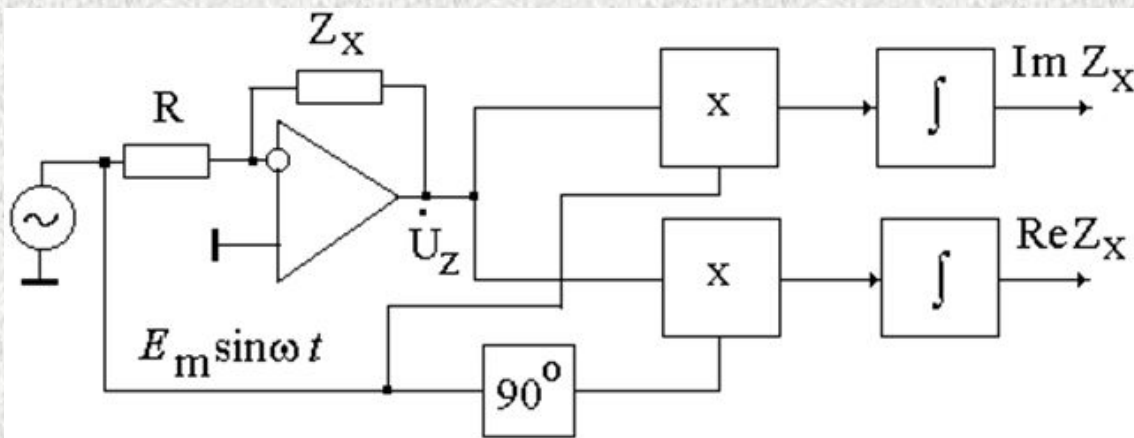
Схема включения резистивного датчика



$$U_{\text{вых}} = -\frac{ER_x}{R}$$



3.1.4. Сопряжение датчиков с измерительной системой



$$\operatorname{Re} Z_x(j\omega) = (k/T) \int_0^T U_z(t) \cos \omega t dt$$
$$\operatorname{Im} Z_x(j\omega) = (k/T) \int_0^T U_z(t) \sin \omega t dt$$

Включение датчика с импедансным выходом

Темы для самостоятельного изучения

- Унифицирующие измерительные преобразователи
- Аналоговые коммутаторы
- АЦП
- ЦАП

2.1.3. Метрологические характеристики датчиков

Конец презентации

Спасибо за внимание!