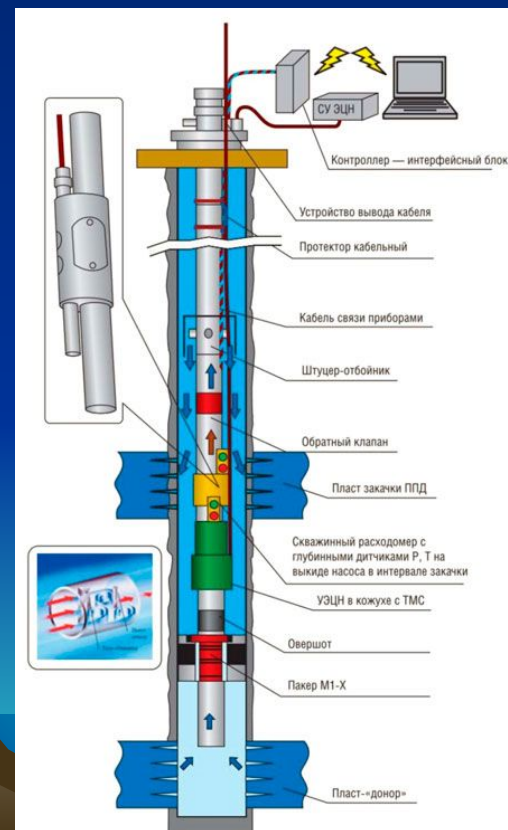


*Лекция 3.*  
*«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ*  
*ДАТЧИКИ*  
*МЕХАНИЧЕСКИХ*  
*ВЕЛИЧИН»*



# «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН»

3.1. Датчики линейного и углового перемещения

3.2. Датчики усилия

3.3. Датчики скорости вращения.



## Датчики линейного и углового перемещения

**Датчик** - это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в сигнал, удобный для дальнейшего использования.

**Датчик перемещения** — это прибор, предназначенный для определения величины линейного или углового механического перемещения какого-либо объекта.

Все датчики перемещения можно разделить на две основных категории — датчики линейного перемещения и датчики углового перемещения (энкодеры).

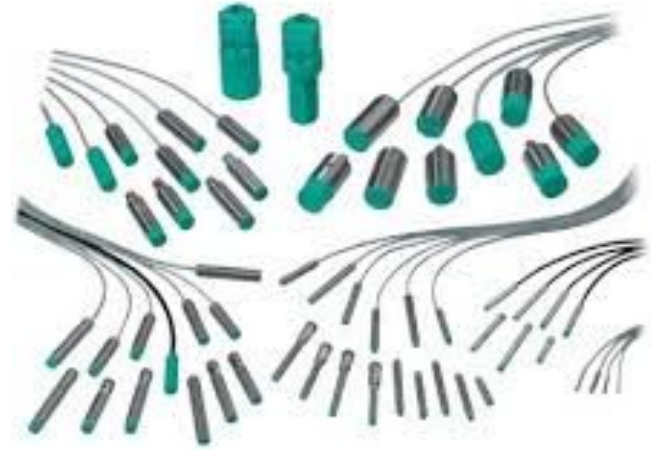


## Датчики линейного и углового перемещения

### Датчики линейного перемещения.

По принципу действия бывают:

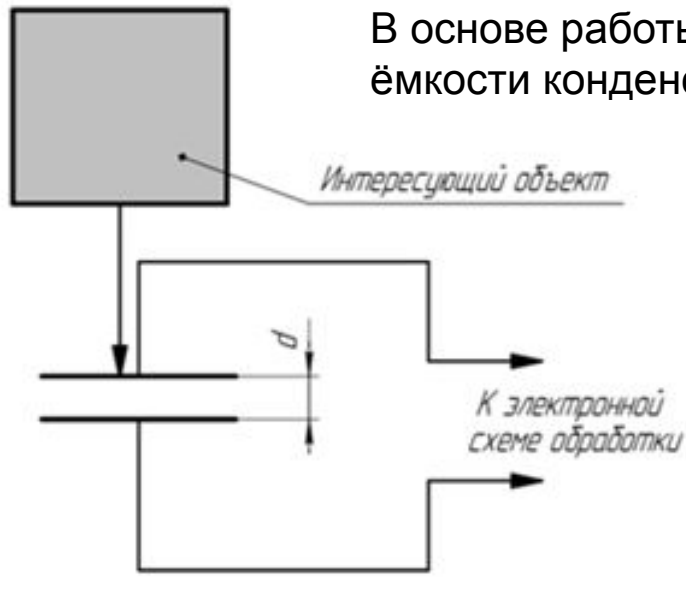
- Емкостными;
- Оптическими;
- Индуктивными;
- Вихретоковыми;
- Ультразвуковыми;
- Магниторезистивными;
- Потенциометрическими;
- Магнитострикционными;
- На основе эффекта Холла.



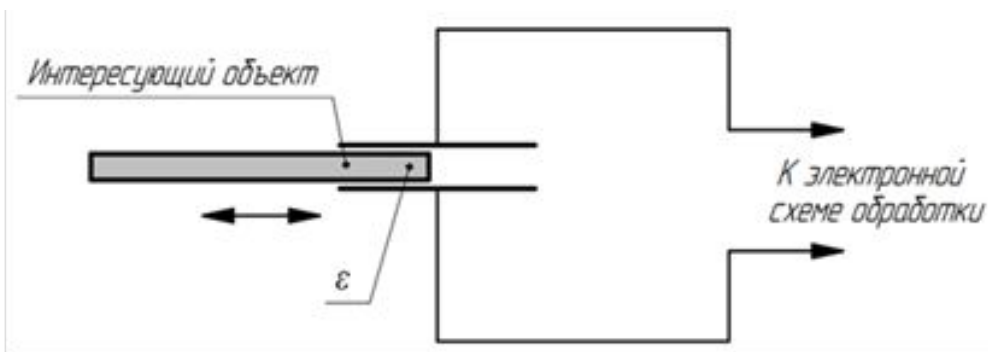
## Датчики линейного и углового перемещения

### Емкостные датчики перемещения

В основе работы датчиков данного типа лежит взаимосвязь ёмкости конденсатора с его геометрической конфигурацией.



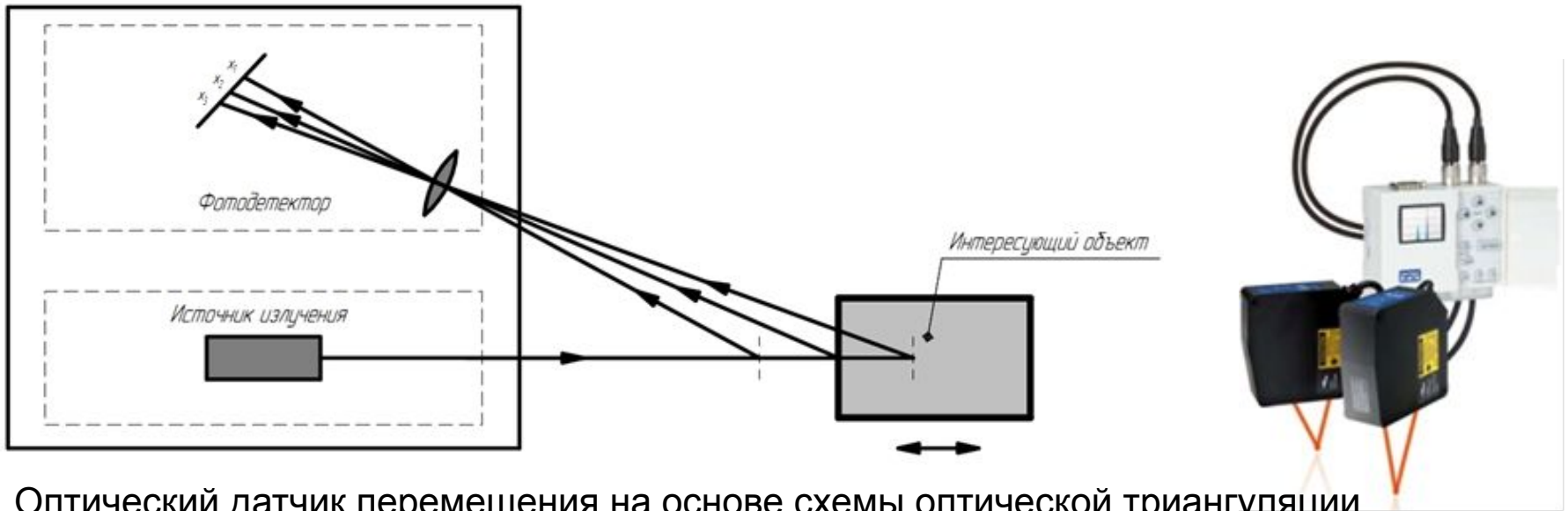
Емкостной датчик линейного перемещения с изменяющейся величиной зазора.



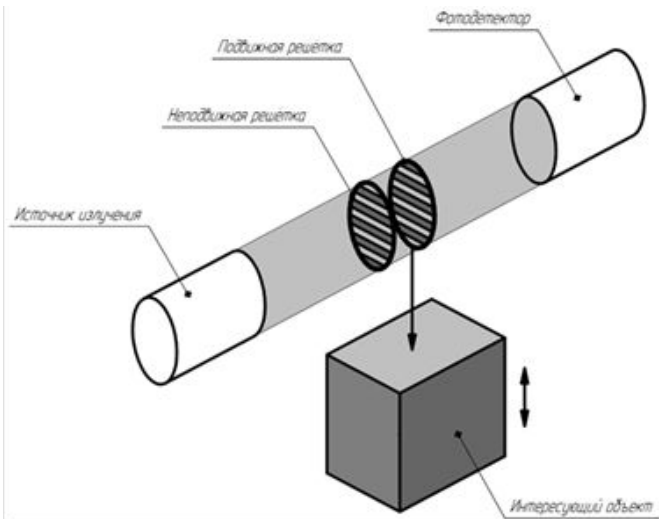
Емкостной датчик линейного перемещения с подвижным диэлектриком.

# Датчики линейного и углового перемещения

## Оптические датчики перемещения

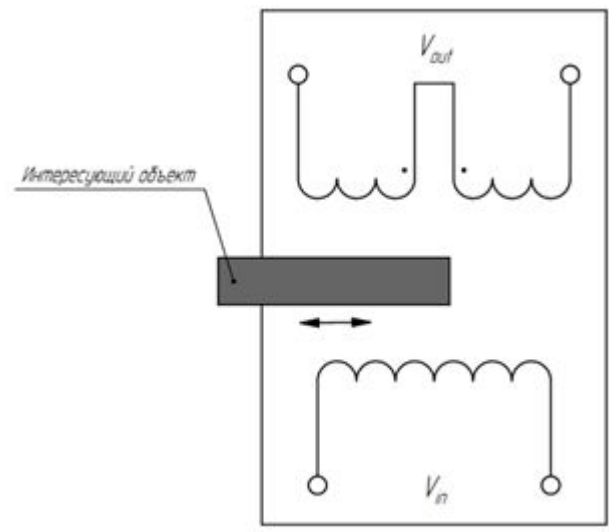


Оптический датчик перемещения на основе схемы оптической триангуляции.



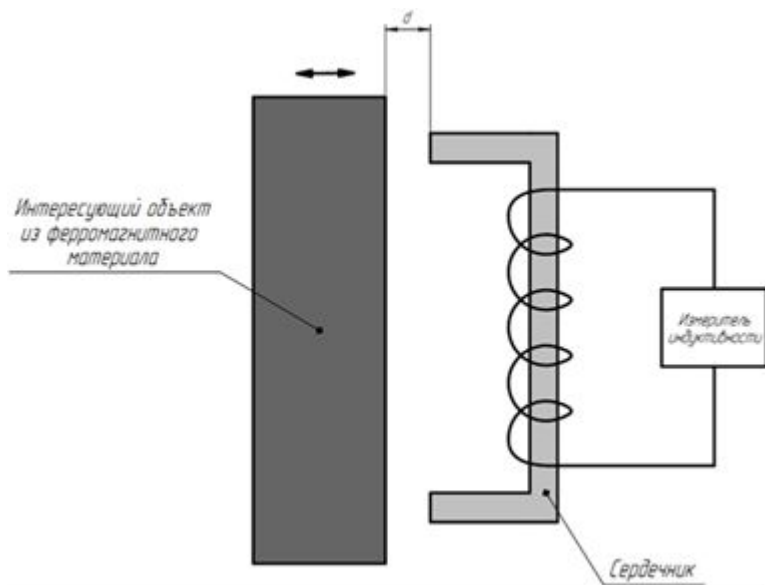
Оптический датчик перемещения на основе дифракционных решеток.

## Датчики линейного и углового перемещения



### Индуктивные датчики перемещения

Индуктивный датчик перемещения на трансформаторе.

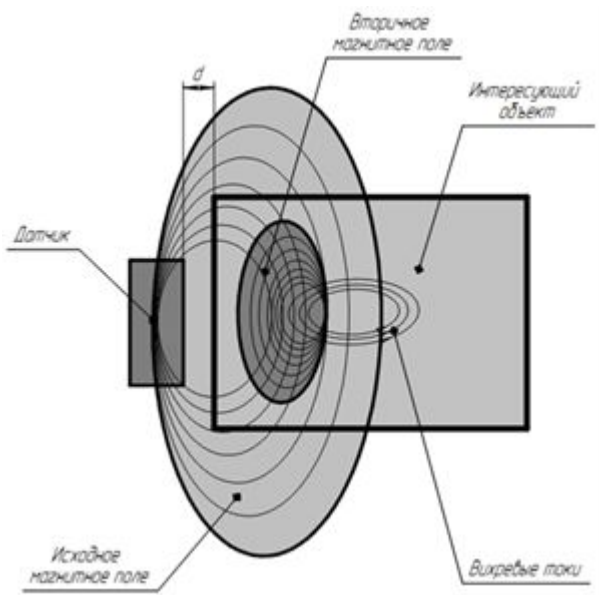


Индуктивный датчик перемещения для объектов из ферромагнитных материалов.

## Датчики линейного и углового перемещения

### Вихретоковые датчики перемещения

Датчики данного типа содержат генератор магнитного поля и регистратор, с помощью которого определяется величина индукции вторичных магнитных полей.

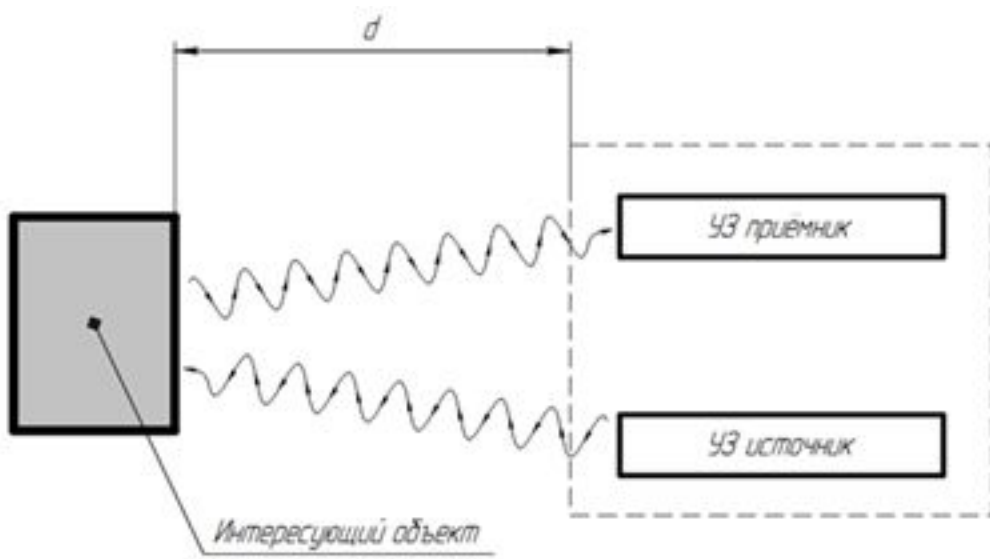


Вихретоковый датчик перемещения



## Датчики линейного и углового перемещения

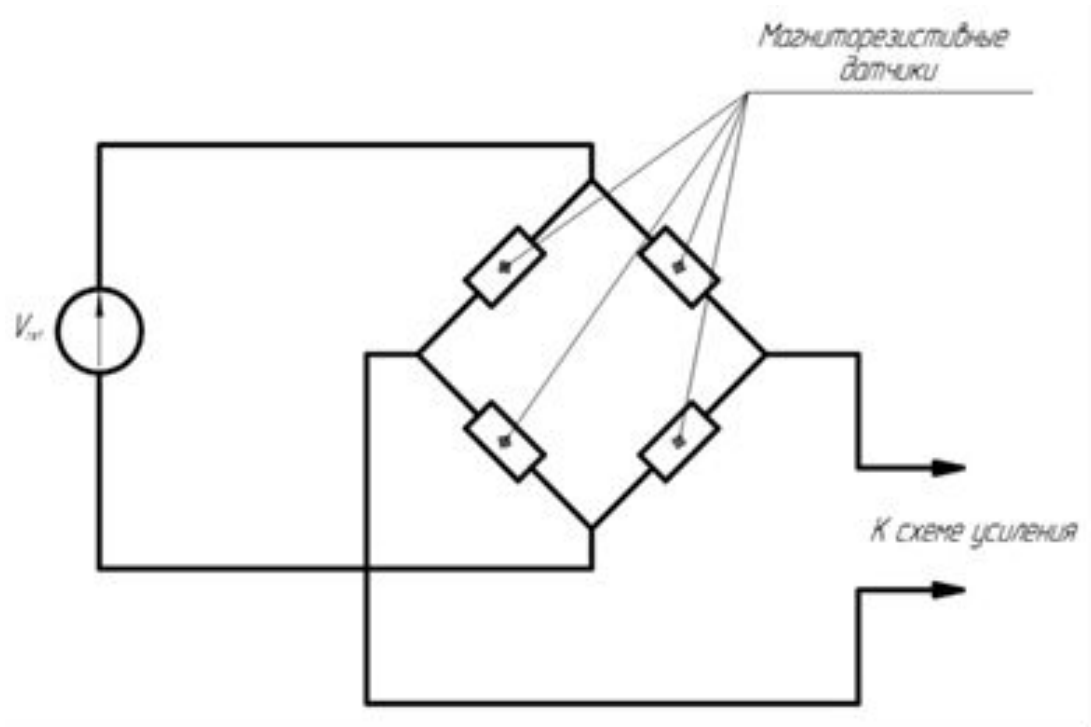
### Ультразвуковые датчики перемещения



В ультразвуковых датчиках перемещения реализован принцип радара – фиксируются отражённые от объекта ультразвуковые волны, поэтому структурная схема обычно представлена источником ультразвуковых волн и регистратором

# Датчики линейного и углового перемещения

## Магниторезистивные датчики перемещения

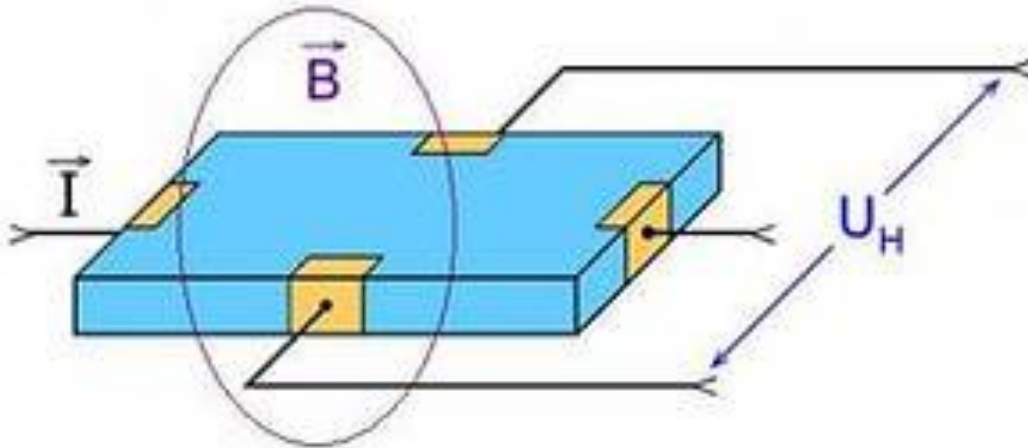


В магниторезистивных датчиках перемещения используется зависимость электрического сопротивления магниторезистивных пластинок от направления и величины индукции внешнего магнитного поля.

# Датчики линейного и углового перемещения

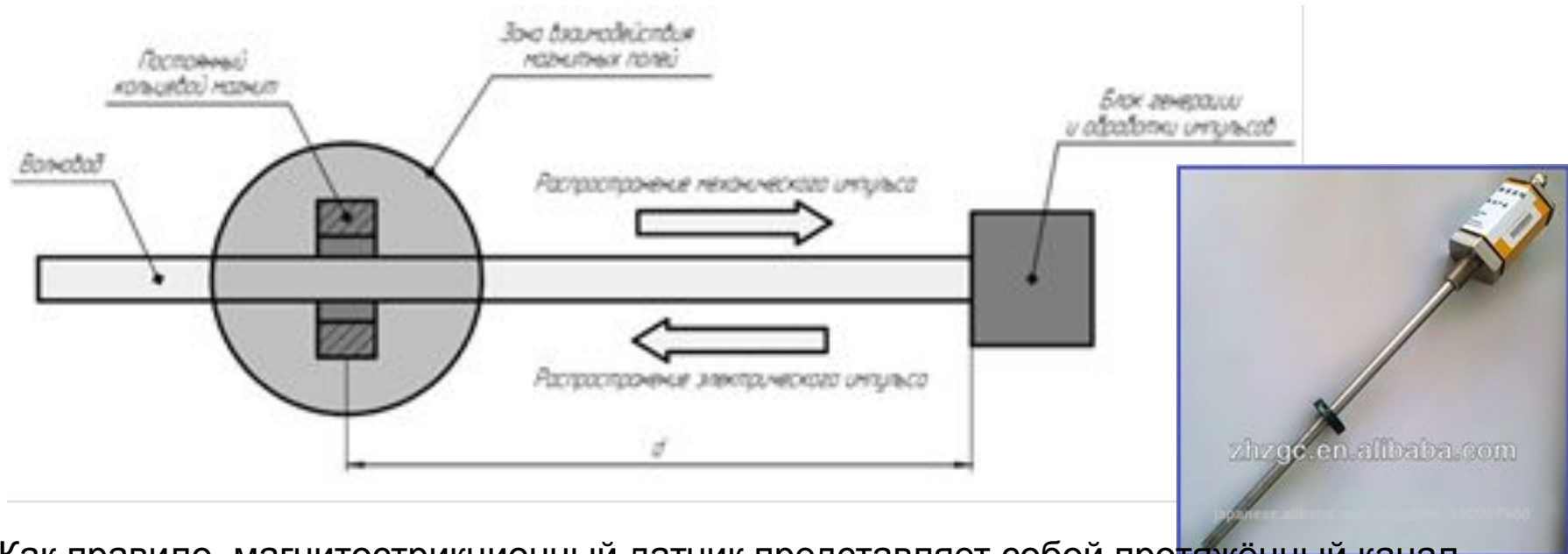
## Датчики на основе эффекта Холла

Датчики этого типа имеют конструкцию подобную конструкции магниторезистивных датчиков, однако в основу их работы положен эффект Холла — прохождение тока через проводник, на который воздействует внешнее магнитное поле, приводит к возникновению разности потенциалов в поперечном сечении проводника. Таким образом, эффект Холла заключается в возникновении поперечной разности электрических потенциалов  $U_H$  в проводнике с постоянным током  $I$ , находящимся под воздействием магнитного поля  $B$ . Этот эффект был обнаружен в 1879 году.



# Датчики линейного и углового перемещения

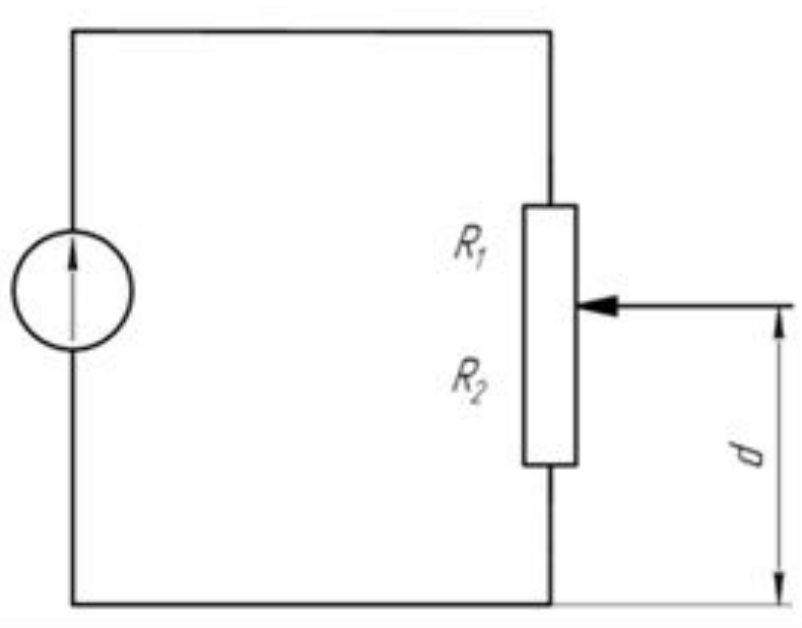
## Магнестрикционные датчики перемещения



Как правило, магнестрикционный датчик представляет собой протяжённый канал - волновод, вдоль которого может свободно перемещаться постоянный кольцевой магнит. Внутри волновода содержится проводник, способный при подаче на него электрических импульсов создавать магнитное поле вдоль всей своей длины. Полученное магнитное поле складывается с полем постоянного магнита, и результирующее поле создаёт момент вращения канала, содержащего волновод (эффект Вайдемана). Импульсы вращения распространяются по каналу в обе стороны со скоростью звука материала канала. Регистрация временной задержки между отправкой эл. импульса и приёма импульса вращения позволяет определить расстояние до постоянного магнита, т.е. определить его положение. Канал может иметь довольно большую длину (до нескольких м), а положение магнита может быть определено с точностью до нескольких микрометров.

# Датчики линейного и углового перемещения

## Потенциометрические датчики перемещения



В своей основе имеет электрический контур, содержащий потенциометр. Линейное перемещение объекта приводит к изменению сопротивления потенциометра (переменного резистора). Если через потенциометр пропускать постоянный ток, то падение напряжения на нём будет пропорционально величине сопротивления, и, следовательно, величине линейного перемещения интересующего объекта.

## 3.2. Датчики усилия

**Тензометрический датчик силы** представляет собой гибкое тело, которое под влиянием действующей силы подвергается линейной деформации. На подходящих местах тела приклеены чувствительные элементы, так называемые тензометры.

**Тензометр** — это резистивный элемент, электрическое сопротивление которого вследствие механической деформации (растяжения или сжатия) изменяет свое значение. Действующая сила, таким образом, способствует изменению электрического сопротивления.

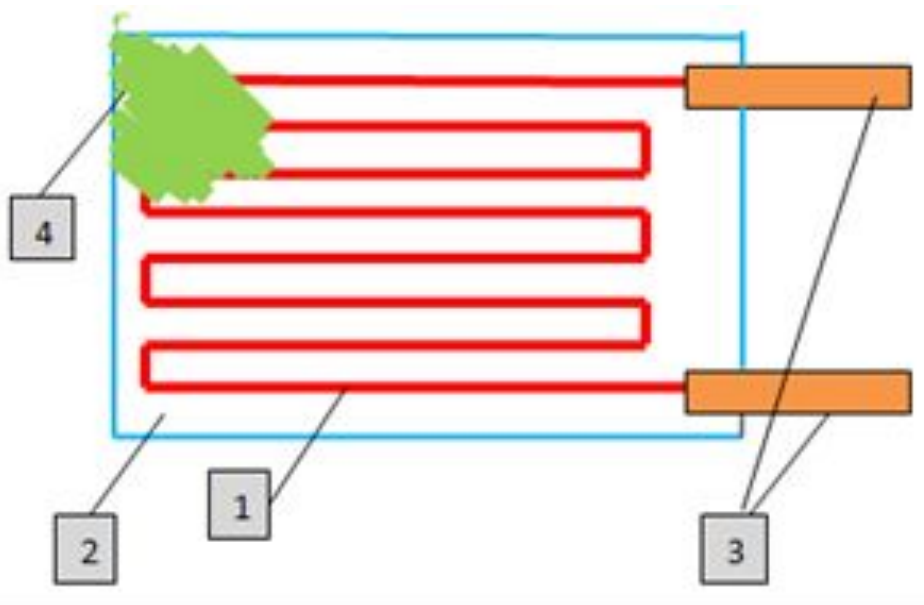
Работа тензометрических датчиков базируется на различных физических явлениях, позволивших создать следующие типы датчиков:

- Резистивные;
- Магнитные;
- Тактильные;
- Пьезорезонансные;
- Емкостные;
- Пьезоэлектрические.

## 3.2. Датчики усилия

### Резистивные датчики силы

Чувствительным элементом датчика является **тензорезистор**. Датчик представляет собой тонкую проволоку 1, жестко закрепленную на гибкой подложке 2.

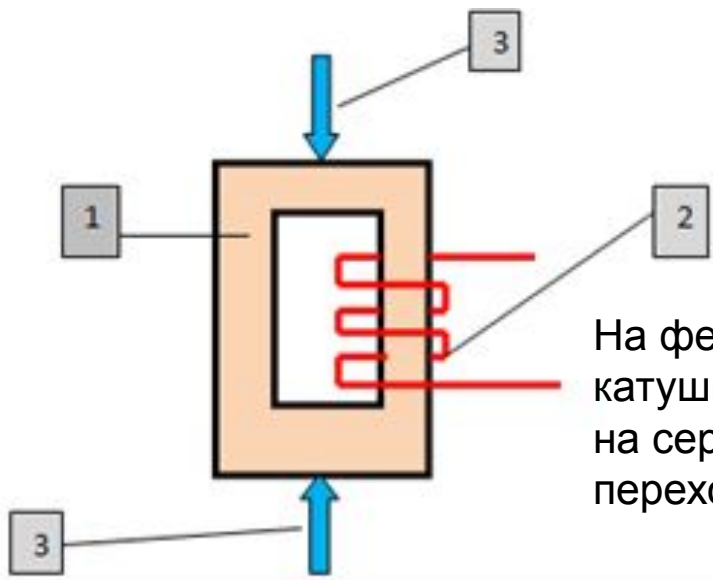


Концы проволоки снабжены выводами 3 для внешних подключений. Зигзагообразно уложенная проволока и места соединения ее с выводами закрыты защитной пленкой 4. Тензорезистор подложкой приклеивается к упругому элементу, воспринимающему нагрузку. Последний под действием силы деформируется и вызывает деформацию тензорезистора. Изменение длины проволоки при действии сил растяжения или сжатия приводит к пропорциональному изменению величины ее сопротивления.

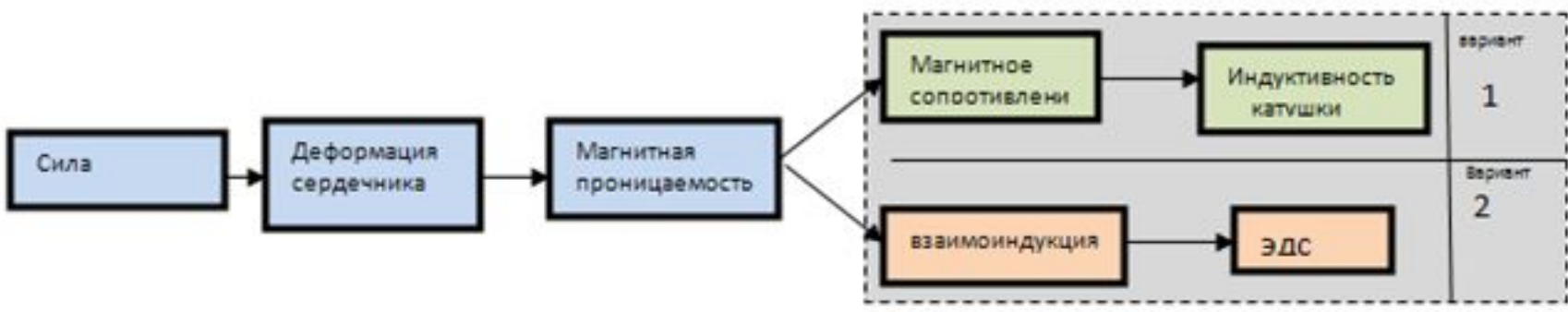
## 3.2. Датчики усилия

### Магнитные датчики силы

Принцип работы магнитных датчиков силы базируется на явлении магнитострикции, точнее - на обратимости этого явления. Магнитострикционный эффект (изменение геометрических размеров) наблюдается при нахождении тела в магнитном поле.



На ферромагнитном сердечнике 1 размещена катушка индуктивности 2. В случае действия на сердечник силы 3 он деформируется и переходит в напряженное состояние.

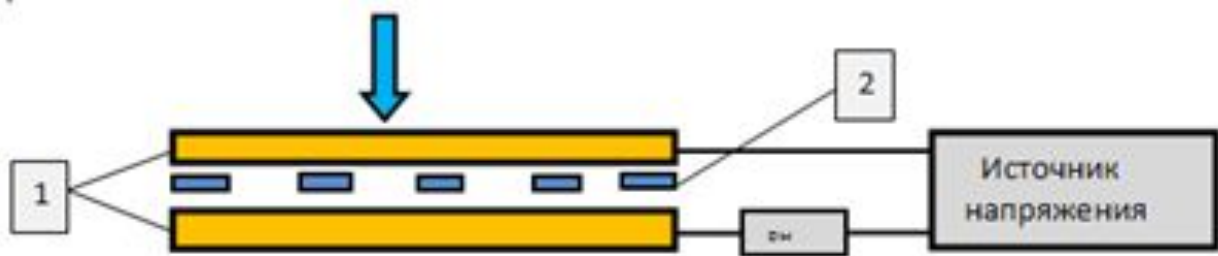




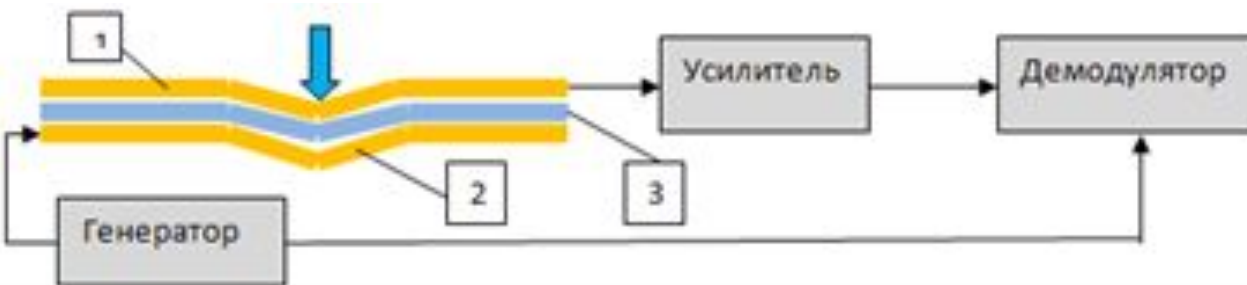
## 3.2. Датчики усилия

### Тактильные датчики силы

Существующая классификация рассматривает три типа тактильных датчиков: касания, усилия и проскальзывания. Первые два типа тактильных датчиков измеряют один и тот же параметр – действующую силу. Отличаются они только видом выходного сигнала. Датчики усилия имеют аналоговый выходной сигнал, а датчики касания – выход релейного типа с регулируемыми уставками.



Пример реализации тактильного датчика, реагирующего на силовое воздействие.



Тактильный датчик с использованием пьезоэлектрического эффекта



## 3.2. Датчики усилия

### Пьезорезонансные датчики силы

В датчиках силы этого типа используются оба эффекта, свойственные пьезокристаллическим материалам: прямой и обратный пьезоэффекты. Чувствительным элементом датчика является механический резонатор. Колебания резонатора, возбуждаемые напряжением питающего генератора (обратный пьезоэффект), обуславливают его напряженное состояние. В свою очередь такое состояние вызывает возникновение соответствующих зарядов на электродах пьезоэлемента (прямой пьезоэффект). Результатом одновременного электрического возбуждения колебаний резонатора и снятия электрического сигнала является возникновение резонансных колебаний.



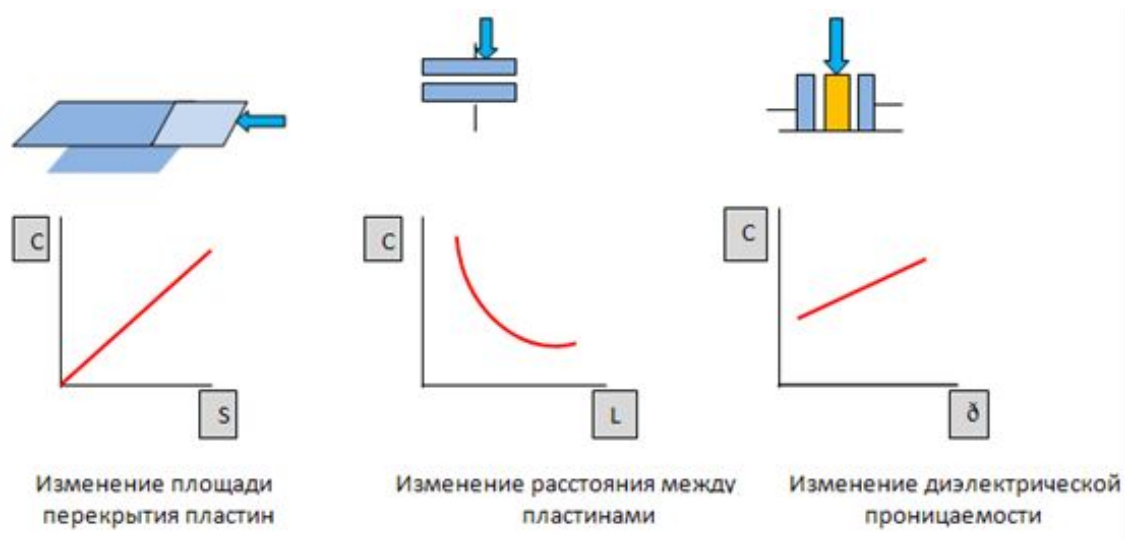
## 3.2. Датчики усилия

### Емкостные датчики силы

Емкостные датчики силы относятся к параметрическим. Конструктивно они представляют конденсатор, состоящий из двух параллельных пластин с зазором между ними.

Емкость такого конденсатора пропорциональна площади пластин, диэлектрической проницаемости материала зазора и обратно пропорциональна расстоянию между пластинами.

Изменение какого либо из перечисленных параметров приводит к изменению емкости, которую можно измерить соответствующей аппаратурой.

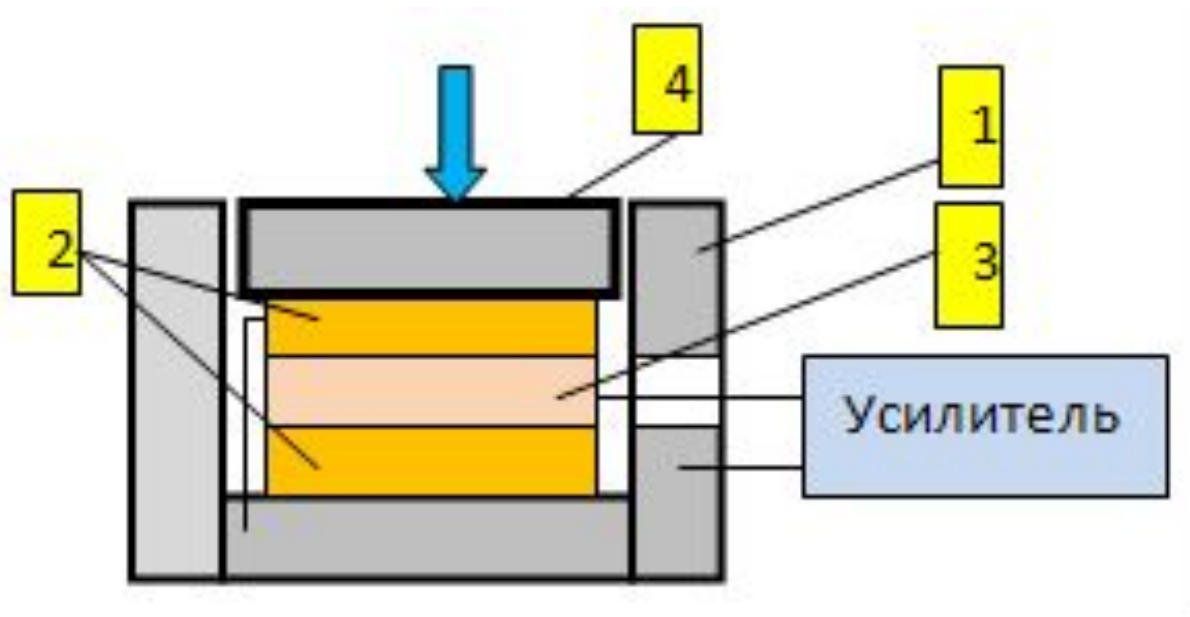


## 3.2. Датчики усилия

### Пьезоэлектрические датчики силы

Суть пьезоэлектрического эффекта заключается в следующем. В момент действия силы на пластину из пьезоэлектрического материала, на ее поверхностях возникают разноименные заряды. Их величина пропорциональна приложенной силе.

Конструктивно пьезоэлектрический датчик силы состоит из корпуса 1, в котором установлены две пьезопластины 2 с расположенным между ними выводом 3. Вторым выводом служит корпус датчика. На его основании расположена нижняя пьезопластина. В момент приложения силы на нажимное устройство 4 пьезоэлектрические пластины сжимаются и генерируют напряжение, которое поступает на вход усилителя.



### 3.3. Датчики скорости вращения.

**Датчики скорости вращения** представляют собой, так называемые, частотные датчики. Их принцип действия состоит в преобразовании скорости вращения (углового перемещения) в частоту изменений потока энергии (электрического тока или напряжения). Скорость вращения в технике представляет собой число оборотов в единицу времени и носит название частоты вращения (измеряется в Гц).

Методы измерения угловых скоростей вращения:

1. абсолютный метод; основан на определении числа оборотов вала и измерении соответствующего промежутка времени;
2. метод сравнения числа оборотов; основан на сравнении при помощи измерительных средств числа оборотов испытываемого вала с известной частотой какого-либо независимого периодического процесса.

Прибор для измерения угловых скоростей в технике называется **тахометром**.

Обычно при помощи тахометров измеряют среднюю скорость вращения, постоянную в заданном промежутке времени.

Тахометры представляют собой современные модули автоматики и могут применяться в системах управления автоматическими линиями, станками и т.д

### 3.3. Датчики скорости вращения.

#### Классификация датчиков скорости вращения

1. По способу воспроизведения показаний: приборы с непосредственным отсчетом и самопишущие.
2. По принципу конструктивного выполнения: механические и электрические.

Механические тахометры: центробежные, часовые, дифференциальные, вибрационные, фрикционные, гидравлические, пневматические, суммирующие и др.

Современные электрические методы измерения скоростей вращения можно разделить на две основные группы:

1. приборы, измеряющие напряжение датчика, пропорциональное измеряемым скоростям,  $U=f(n)$ ;
2. приборы измеряющие частоту переменного тока датчика, пропорциональную измеряемой угловой скорости вращения,  $F=f(n)$ .

### 3.3. Датчики скорости вращения.

Изучим следующие группы датчиков скорости вращения:

1. Индукционные датчики скорости
2. Фотоэлектрические датчики скорости вращения
3. Емкостные датчики скорости вращения
4. Ультразвуковые датчики скорости вращения
5. Магниторезистивные датчики скорости вращения

### 3.3. Датчики скорости вращения.

**1.Индукционные датчики скорости вращения** преобразуют измеряемую неэлектрическую величину в ЭДС индукции.

Принцип действия основан на использовании закона электромагнитной индукции. Согласно закону Фарадея, индуцированное напряжение или электродвижущая сила (э.д.с.) в контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока, сквозь поверхность ограниченную этим контуром, т.е.

$$e = -d\phi/dt$$

Следовательно, магнитный поток, пересекающий контур, описывается функцией вида:

$$\phi(x) = \phi_0 F(x),$$

где  $x$  – переменная углового положения.

Отсюда видно, что относительное перемещение между источником потока и контуром наводит в последнем э.д.с., амплитуда которой пропорциональна скорости перемещения, вследствие чего на выходе датчика формируется сигнал:

$$e = -\phi_0(F(x)/dx) \cdot (dx/dt)$$

В качестве датчиков скорости вращения обычно применяют тахогенераторы, выполненные в виде небольших генераторов



### 3.3. Датчики скорости вращения.

**Тахогенераторы постоянного тока** в зависимости от способа возбуждения выполняют двух типов: магнитоэлектрические (возбуждаемые от постоянных магнитов) и электромагнитные (возбуждаемые от специальной обмотки) (рис. 3.20 а, б).

Напряжение на выходе тахогенератора при постоянном потоке возбуждения  $U_{\text{вых}} = E - I R_{\text{я}} = C_e \omega - I R_{\text{я}}$

где  $C_e = (U_{\text{я}} - I_{\text{я}} R_{\text{я}}) / \omega$  - постоянная машины, определяется из паспортных данных.

На холостом ходу ( $I=0$ ) напряжение  $U_{\text{вых}} = E = C_e \omega$ . Следовательно, статическая характеристика тахогенератора  $U_{\text{вых}} = f(\omega)$  при холостом ходе линейна, так как  $C_e = \text{const}$  (прямая 1, рис. 1, в).

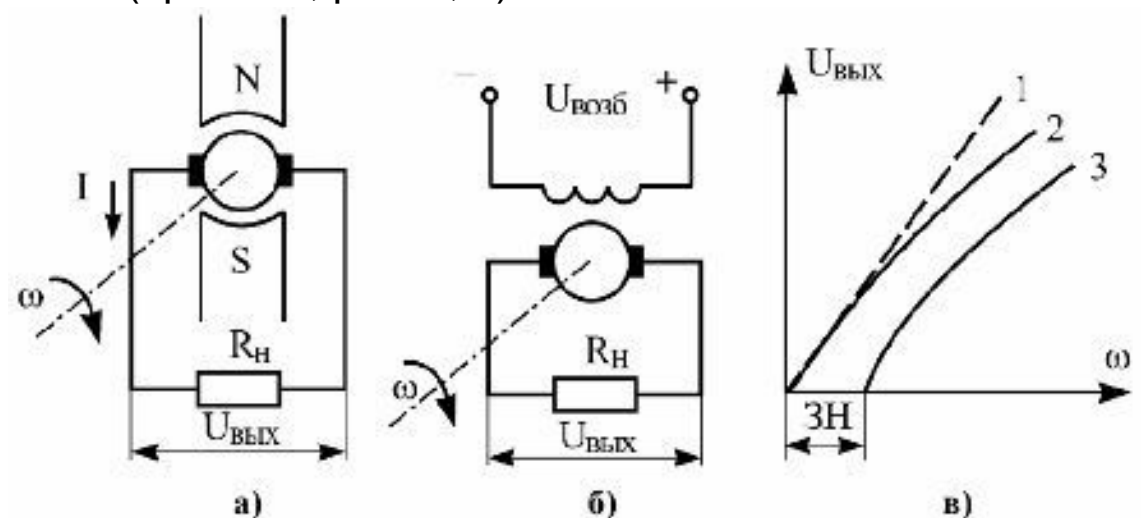


Рис. 3.20. Датчики частоты вращения (тахометрические генераторы постоянного тока): а) с возбуждением от постоянных магнитов, б) с электромагнитным возбуждением, в) статическая характеристика

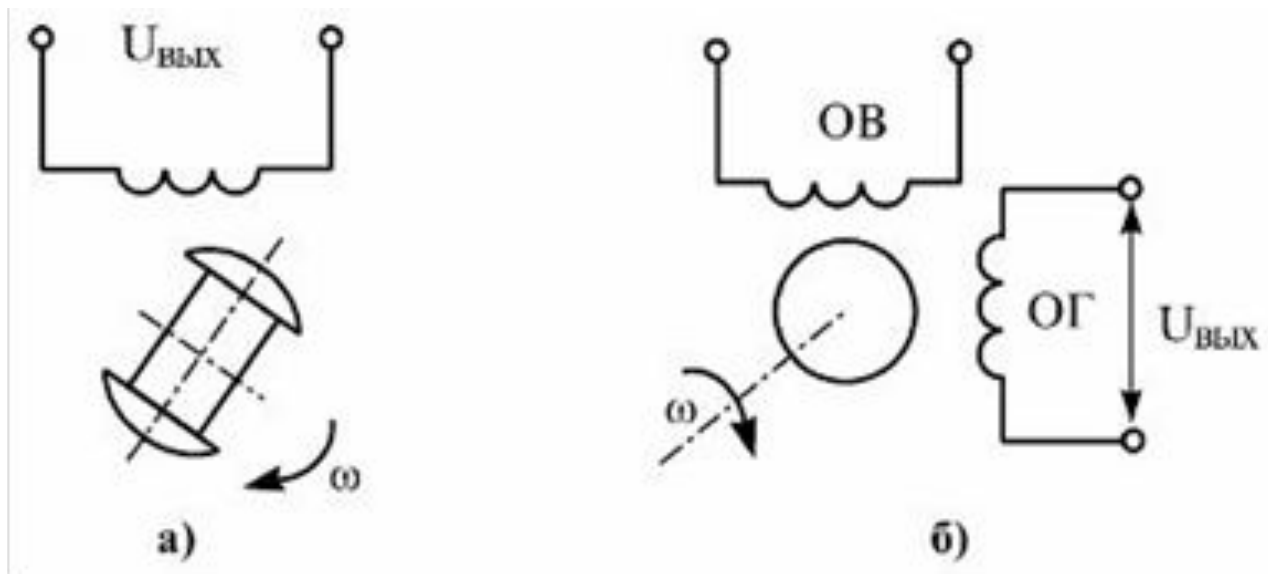
### 3.3. Датчики скорости вращения.

#### **Тахогенераторы переменного тока**

Синхронные тахогенераторы - однофазная синхронная машина с ротором в виде постоянного магнита (рис. 3.21, а),  $U$  синхронных тахогенераторов с изменением угловой скорости вместе с амплитудой изменяется и частота выходного напряжения.

Статические характеристики нелинейны. В динамической отношении синхронные тахогенераторы являются безинерционными элементами.

Асинхронный тахогенератор - это двухфазная асинхронная машина с полый немагнитным ротором (рис. 3.21, б). На статоре асинхронного тахогенератора размещаются две сдвинутые на 90 обмотки (возбуждения ОВ и генератора ОГ). Обмотка ОВ подключается к источнику переменного тока.

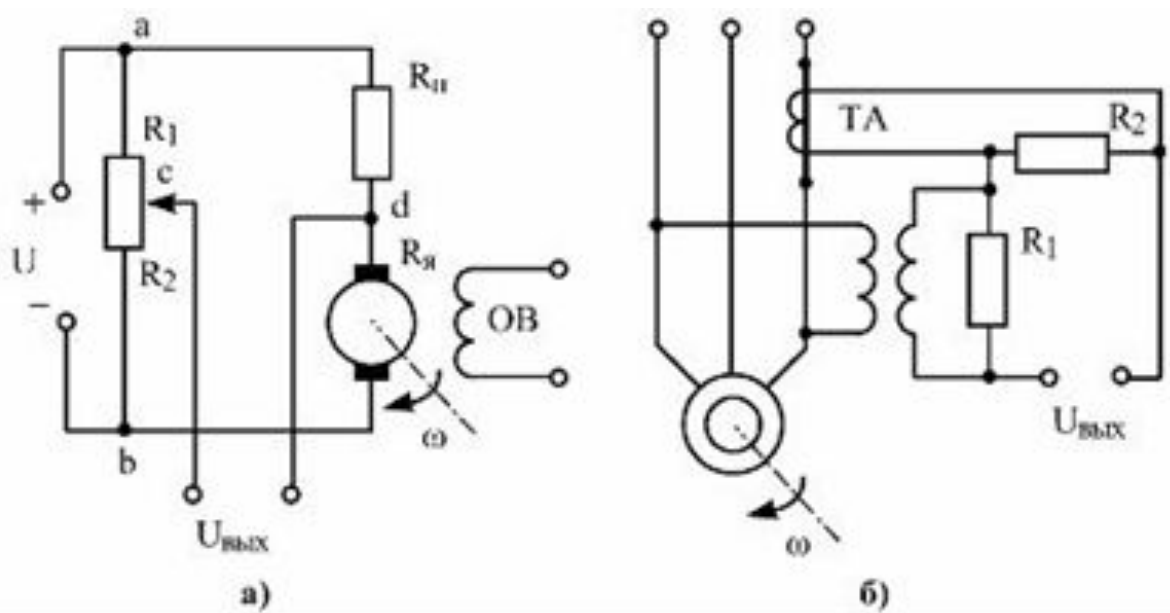


Тахомерические генераторы переменного тока: а - синхронный, б – асинхронный

### 3.3. Датчики скорости вращения.

**Тахометрические мосты постоянного и переменного тока** применяют в системах автоматики для создания обратной связи по частоте вращения электрических двигателей. Это позволяет упростить систему, так как отпадает необходимость в дополнительной электрической машине - тахогенераторе. При этом уменьшаются статические и динамические нагрузки на исполнительный двигатель.

Тахометрический мост постоянного тока представляет собой специальную мостовую схему (рис. 3.22, а), в одно из плеч которой включен якорь двигателя  $R_{я}$ , а в другие - резисторы  $R_1, R_2, R_n$ . К диагонали  $ab$  моста подводится напряжение сети  $U$ , питающее якорь двигателя, а с диагонали  $cd$  снимается напряжение  $U_{вых}$  пропорциональное угловой скорости  $\omega$ .



### 3.3. Датчики скорости вращения.

Если ток в выходной цепи отсутствует, то

$$\begin{aligned} U_{\text{вых}} &= U_{\text{ac}} - U_{\text{ад}}; U_{\text{ад}} = I_{\text{я}} R_{\text{n}}; U_{\text{ac}} = UR1/(R1 + R2) \\ I_{\text{z}} &= (U - E)/(U_{\text{я}} + R_{\text{n}}); \quad E = C_e \omega \end{aligned}$$

Решая совместную систему уравнений, получим

$$U_{\text{вых}} = U[R1/(R1 + R2) - R_{\text{n}}/(R_{\text{я}} + R_{\text{n}})] + (C_e R_{\text{n}} \omega)/(R_{\text{я}} + R_{\text{n}})$$

Напряжение на выходе тахометрического моста

$$U_{\text{вых}} = (C_e R_{\text{n}} \omega)/(R_{\text{я}} + R_{\text{n}}) = k_{\text{ТМ}} \omega$$

где  $k_{\text{ТМ}}$  - коэффициент передачи тахометрического моста.

### 3.3. Датчики скорости вращения.

**Фотоэлектрические датчики скорости вращения** регистрируют изменение светового потока, связанное с изменением положения в пространстве каких-либо движущихся частей механизмов и машин.

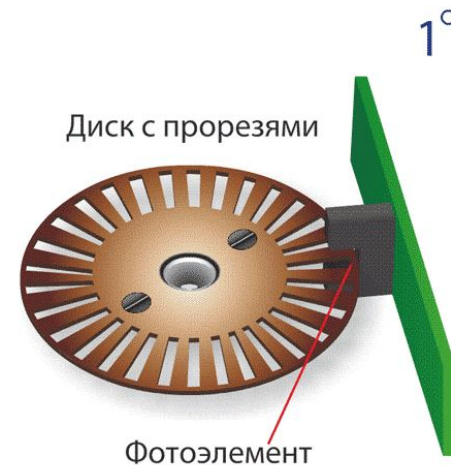
В качестве датчика скорости вращения применяется фотоэлектрический датчик с прерывателем.

Принцип действия: Освещенность рабочей поверхности фотосопротивления прерывается диском с отверстиями (прорезями). Если фотосопротивление не освещено, по нему течет темновой ток  $I_T$ . В случае освещенности фотосопротивления, по нему течет световой ток  $I_C$ . Так как проводимость фотосопротивления при облучении его световым потоком  $F$  растет, то его световое сопротивление  $R_C$  становится меньше темнового сопротивления  $R_T$ . При вращении диска освещенность фотосопротивления модулируется, и в его цепи течет пульсирующий ток. Таким образом, ток, проходящий через фотосопротивление, является функцией светового потока  $F$ . Частота пульсаций тока определяется числом отверстий в диске и его скоростью вращения:

$$F_D = n/60 \cdot S,$$

где  $n$ - скорость вращения диска, об/мин;

$S$ - число отверстий в диске.



### 3.3. Датчики скорости вращения.

**Емкостные датчики скорости вращения** используются для преобразования механических перемещений в изменение емкости.

Устройство: конденсатор переменной емкости  $C$  с воздушным диэлектриком, маломощный трансформатор, со вторичной обмотки которого снимается сигнал, напряжение которого пропорционально скорости вращения. Емкостные датчики питаются переменным напряжением (обычно повышенной частоты - до десятков мегагерц).

В качестве измерительных схем обычно применяют мостовые схемы и схемы с использованием резонансных контуров. В последнем случае, как правило, используют зависимость частоты колебаний генератора от емкости резонансного контура, т.е. датчик имеет частотный выход.

Принцип действия датчиков этого типа основан на изменении зарядного тока конденсатора пропорционально скорости изменения его емкости.

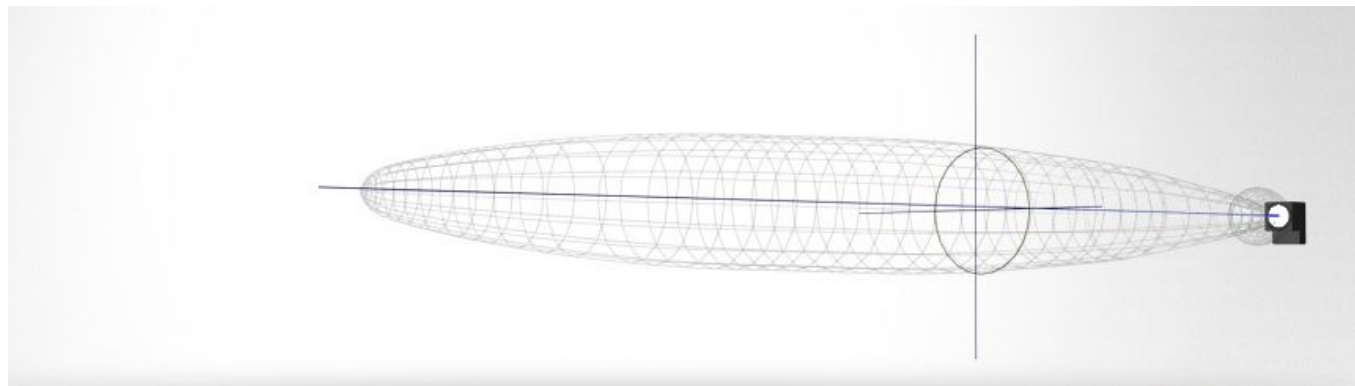


### 3.3. Датчики скорости вращения.

**Ультразвуковые датчики скорости вращения** применяются для измерения скорости вращения деталей, установленных в труднодоступных местах или для измерения в агрессивных средах.

Устройство. Датчик состоит из генератора ультразвуковых колебаний, излучающей головки, вертушки, вращающейся в трубопроводе, принимающей головки и демодулятора.

Принцип действия основан на различном поглощении или отражении ультразвуковых колебаний разнородными средами. При вращении металлической вертушки за счет различной проводящей способности жидкости и металла несущая частота ультразвуковых колебаний модулируется частотой вращения вертушки. С приемной головки сигнал поступает на измерительную аппаратуру. После демодуляции сигнала получается напряжения с частотой, пропорциональной скорости вращения вертушки.



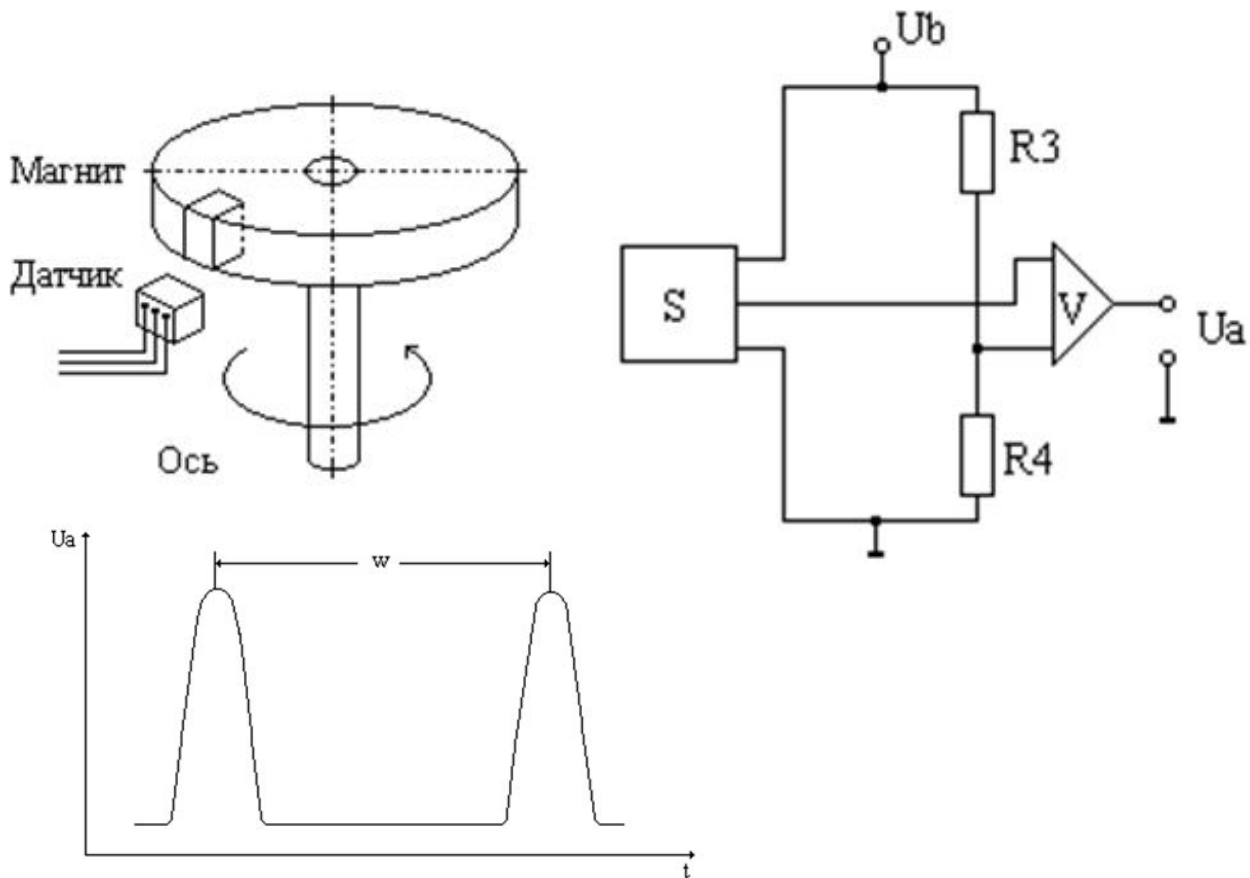


### 3.3. Датчики скорости вращения.

**Магниторезистивные датчики скорости вращения** преобразуют измеряемую неэлектрическую величину в изменение сопротивления ферромагнитных материалов.

Устройство. Датчик состоит из измерительной катушки, которая снабжается магнитным сердечником. Катушка помещена перед диском или перед вращающимся ферромагнитным телом.

Принцип действия основан на магниторезистивном эффекте. Этот эффект заключается в том, что некоторые ферромагнитные материалы изменяют свое электрическое сопротивление при воздействии магнитного поля.





# Приложение: Система обозначения индуктивных, емкостных и магнитных датчиков



- 30** – диаметр, мм
- F1, F9, F11, F17, F23, F24, F25, F29, F31, F33, F41, V3, F46** – прямоугольные корпуса
- M** – VariKont M
- L2** – VariKont L
- U** – VariKont
- FP** – поверхностный монтаж



Рабочий диапазон, мм



Резьба

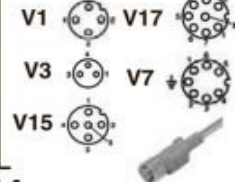
Материал корпуса:

- M** – металл
- K** – пластик
- KK** – пластик

Длина датчика

- C** – устойчивый к магнитным полям
- DW** – контроль скорости вращения
- D** – устойчивый к высокому давлению
- Ex** – взрывозащищенный
- FE** – для материалов из железа
- NE/FE** – железо /не ферромагнетик
- P, NFE** – не ферромагнетик
- SN** – функция безопасности
- T** – температура до 100°C
- 150** } максимальная температура
- 200** } рабочая температура
- 250** }
- Z20** – Зона Z20

Тип разъёма

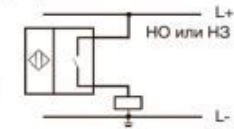


## NBB10-30GM50-E2-C-V1

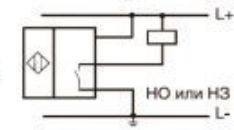
- B** – встраиваемый
- N** – невстраиваемый
- B** – базовая серия
- C** – комфортная серия
- E** – расширенный рабочий диапазон
- J** – инициатор
- M** – металлическая рабочая поверхность
- R** – компенсация эффекта редукции
- C** – ёмкостные
- IA** – индуктивные с аналоговым выходом
- M** – магнитные
- N** – индуктивные
- R** – кольцевые индуктивные
- S** – щелевые индуктивные



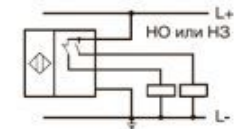
Z/Z0  
Z1, Z2



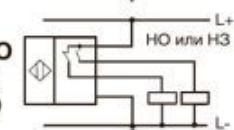
E/E0,  
E1, E2,  
E3



A, A2



WS, WO  
W, W3,  
US, UO



NAMUR  
N, 1N,  
SN, S1N

