

31 ЭР консультация к экзамену
ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ

Программа экзамена

1. Основные понятия науки метрологии: измерение, мера, измерительный прибор, истинное и действительное значение физической величины, погрешность измерения.
2. Методы измерений: прямые, косвенные. Погрешности измерений, их расчет. Виды погрешностей, способы их уменьшения.
3. Классификация электроизмерительных приборов, условные обозначения на шкале прибора.
4. Измерительные цепи и измерительные механизмы приборов.
5. Вращающий и противодействующий момент.
6. Отсчетное устройство, успокоители.
7. Магнитоэлектрическая система измерительного механизма: устройство, принцип действия, угол поворота подвижной части, логометры и их особенности. Успокоители. Достоинства и недостатки. Применение.

Программа экзамена

8. Электромагнитная система измерительного механизма: устройство, принцип действия, угол поворота подвижной части, логометры. Защита от внешних магнитных полей. Успокоители, астатические системы. Достоинства и недостатки данных измерительных механизмов. Применение.
9. Электродинамическая система: схема устройства, угол поворота подвижной части, логометры, защита от внешних магнитных полей, достоинства и недостатки. Применение.
10. Ферродинамическая система, особенности работы, погрешности измерений. Достоинства и недостатки систем, применение.
11. Индукционная измерительная система: устройство, принцип работы, вращающий момент, достоинства и недостатки, применение.

Программа экзамена

12. Электростатическая система: устройство, угол поворота подвижной части, защита от внешних электрических полей, достоинства и недостатки, применение.
13. Вибрационная, выпрямительная, термоэлектрическая системы. Особенности работы, достоинства и недостатки, применение.
14. Амперметры и вольтметры, основные измерительные системы, точность измерения, схемы подключения. Основные параметры приборов, расчет цены деления.
15. Шунты, применение, расчет величины сопротивления, подключение к амперметру. Расчет цены деления, полученной после подключения.

Программа экзамена

16. Дополнительные сопротивления, применение, расчет величины сопротивления, подключение к вольтметру. Расчет цены деления, полученной после подключения.
17. Измерительные трансформаторы тока и напряжения. Схемы подключения. Выбор по заданным параметрам. Основные данные трансформаторов. Расчет цены деления, полученной после подключения.
18. Омметры, особенности работы, правила пользования.
19. Особенности измерения больших и малых сопротивлений. Методы сравнения, измерение мостом.
20. Измерение мощности в цепях постоянного тока.
21. **Электродинамический ваттметр в цепи переменного тока.**
22. Измерение активной и реактивной мощности в цепях трехфазного переменного тока.
23. Подключение ваттметров через измерительные трансформаторы тока и напряжения. Определение пределов измерения.

Программа экзамена

24. Индукционный, электродинамический счетчики активной энергии.
25. Измерение активной энергии в цепях постоянного тока.
26. Измерение активной и реактивной энергии в трехфазных цепях.
27. Электродинамические и ферродинамические фазометры.
28. Электромагнитный частотомер.
29. Вибрационный частотомер.
30. Виды параметрических преобразователей: реостатные, угольные, терморезисторы и др. Принцип работы, применение
31. Генераторные преобразователи: индукционные, пьезоэлектрические, термоэлектрические. Принцип работы, применение

1. Основные понятия науки метрологии: измерение, мера, измерительный прибор, истинное и действительное значение физической величины, погрешность измерения

- Измерением называют процесс определения значения физической величины с помощью специальных технических средств — приборов
- Мера – средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера
 - однозначная – воспроизводит физическую величину одного размера
 - многозначная – воспроизводит ряд одноименных величин разного размера
 - набор мер – комплект мер, применяемых по отдельности и в различных сочетаниях для воспроизведения ряда одноименных величин разного размера
- Измерительный прибор – средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительный прибор имеет отсчетное устройство или индикатор
- Истинное значение физической величины – полученное с помощью расчетов, сверхточных приборов
- Действительное значение физической величины – полученное с помощью измерительного прибора
- Отличие действительного значения от истинного – погрешность измерения

2. Методы измерений: прямые, косвенные. Погрешности измерений, их расчет. Виды погрешностей, способы их уменьшения

- Прямые измерения – измерения, при которых искомое значение измеряемой величины находят непосредственно из опытных данных, например измерение действующего значения напряжения электрической цепи с помощью вольтметра
- Косвенные измерения – измерения, при которых искомое значение измеряемой величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и исходными величинами, оцениваемыми прямыми измерениями, например измерение мощности на активной нагрузке с помощью амперметра и вольтметра
- Совокупными называют проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин. Искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых в результате прямых измерений различных сочетаний этих величин

2. Методы измерений: прямые, косвенные. Погрешности измерений, их расчет. Виды погрешностей, способы их уменьшения

- Погрешности:
 - Абсолютная – это отклонение результата измерения $A_{и}$ от истинного (действительного) значения измеренной величины A : $\Delta A = A_{и} - A$
(Поправка прибора – абсолютная погрешность, взятая с противоположным знаком)
 - Относительная – отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины, выраженное в процентах:
 $\beta = (\Delta A / A) \cdot 100$
 - Приведенная – отношение абсолютной погрешности прибора к верхнему пределу измерения прибора: $\gamma = (\Delta A / A_{\text{макс}}) \cdot 100$
- Класс точности прибора – основная наибольшая допустимая приведенная погрешность, обозначается на шкале прибора:
 $0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 5,0$
- Погрешности приборов:
 - Основная – погрешность прибора, находящегося в нормальных условиях работы
 - Дополнительная погрешность – погрешность, возникающая вследствие отклонения условий работы прибора от нормальных

2. Методы измерений: прямые, косвенные. Погрешности измерений, их расчет. Виды погрешностей, способы их уменьшения

- Систематическая – погрешности измерения, остающимися постоянными (или закономерно изменяющимися) при повторных измерениях одной и той же величины:
 - Инструментальная (погрешность средств измерений)
 - Установки (неправильная установка прибора)
 - Методическая (несовершенство метода измерения)
 - Погрешность можно определить и устранить ее влияние введением поправки.
- Случайные – погрешности, изменяющиеся случайным образом при повторном измерении одной и той же величины:
 - погрешность округления при отсчете показаний измерительного прибора
 - влияние окружающей среды
 - Обнаруживаются тем, что при повторных измерениях одной и той же величины получаются неодинаковые результаты
- Грубые – это погрешности измерения, существенно превышающие ожидаемую погрешность при данных условиях:
 - Неправильный отсчет по прибору
 - Неправильная запись показаний и т.п.

3. Классификация электроизмерительных приборов, условные обозначения на шкале прибора

- По методу измерения:
 - Приборы непосредственной оценки (показывающие) – приборы, допускающие определение значения измеряемой величины по отсчетному устройству;
 - Приборы сравнения – приборы, предназначенные для непосредственного сравнения измеряемой величины с мерой или с величиной, значение которой известно, например мост для измерения сопротивлений
- По системе отсчета:
 - С непосредственным отсчетом : Показывающие – дают значение измеряемой величины в данный момент времени (амперметр); Интегрирующие – дают суммарное числовое значение измеряемой величины (счетчик электрической энергии)
 - С управляемым отсчетом – для получения показаний требуют воздействия на измерительный механизм или отсчетное приспособление (измерительный мост)
 - Самопишущие – записывают свои показания на бумаге (самопишущий вольтметр)
 - С дискретным отсчетом – цифровые приборы, показания которых выражаются в цифровой форме

3. Классификация электроизмерительных приборов, условные обозначения на шкале прибора

- По роду измеряемой величины: амперметр, вольтметр, ваттметр, счетчик активной энергии и т.п.
- По роду тока: постоянного, переменного, постоянного и переменного, трехфазного
- По принципу действия: магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, ферродинамические, индукционные, выпрямительные, электростатические и т.п.
- По степени точности: приборы классов точности 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 5,0
- По условиям эксплуатации:
 - Группа А – приборы для работы в сухих отапливаемых помещениях при температуре окружающей среды 10 – 35°С и при влажности до 80% при 30°С
 - Группа Б - приборы для работы в закрытых неотапливаемых помещениях при температуре окружающей среды -30 до + 40°С и при влажности до 90% при +30°С
 - Группа В – приборы для работы в полевых и морских условиях
 - Группа Т – приборы, предназначенные для работы в условиях тропического климата
- По характеру применения: стационарные, переносные
- По способу монтажа: щитовые, настольные, пультные

4. Измерительные цепи и измерительные механизмы приборов

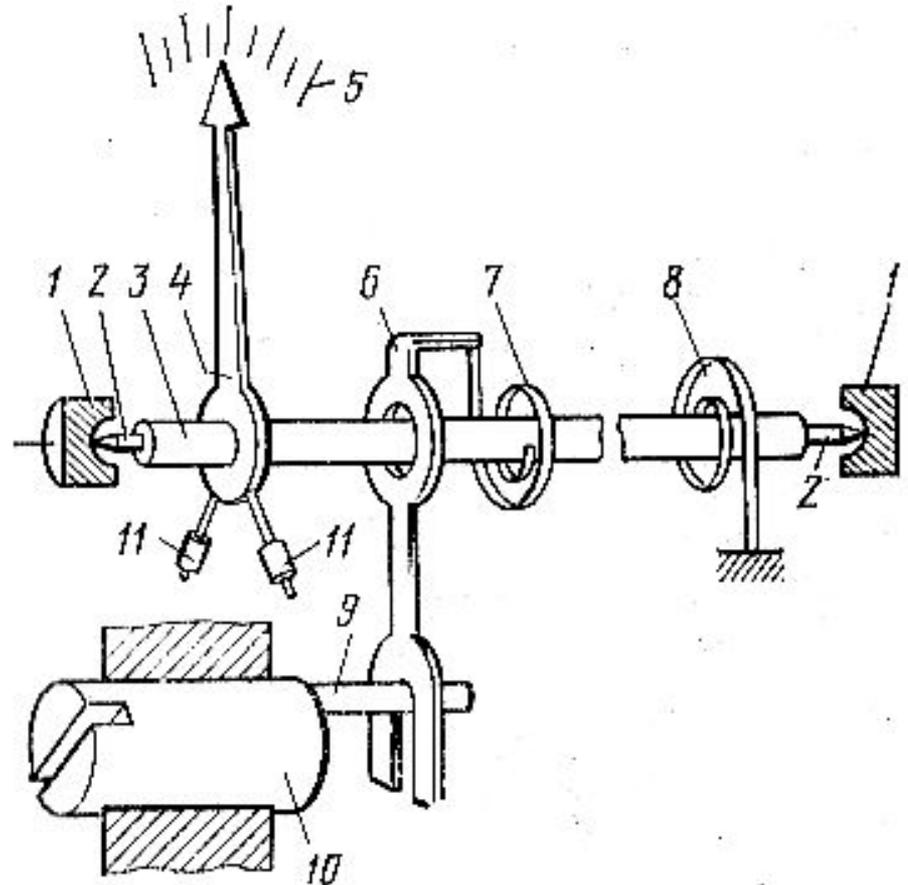
- Измерительная цепь прибора – это совокупность всех преобразовательных элементов прибора, обеспечивающая выполнение всех преобразований сигнала измерительной информации (измеряемой величины)
- Измерительная цепь или один из ее преобразовательных элементов, находясь под воздействием измеряемой величины, вырабатывает сигнал измерительной информации, однозначно зависящий от измеряемой величины
- Воздействие сигнала на измерительный механизм вызывает взаимодействие его элементов и перемещение его подвижной части
- Магнитоэлектрическая
- Электромагнитная
- Электродинамическая
- Ферродинамическая
- Индукционная
- Вибрационная
- Электростатическая
- Термоэлектрическая
- Выпрямительная

5. Вращающий и противодействующий момент

- Установка подвижной части на опорах
- Крепление подвижной части на растяжках (Растяжка – тонкая упругая лента из оловянно-цинковой, бериллиевой или хромистой бронз, платино-серебряного сплава и подобных твердых упругих материалов)
- Крепление подвижной части на подвесе (Подвес изготавливается из тонкой упругой ленты из оловянно-цинковой, бериллиевой или хромистой бронз, платино-серебряного сплава и подобных твердых упругих материалов)
- Устройство для создания противодействующего момента:
 - Механический способ – с помощью пружин
 - Электрический способ – с помощью такой же системы, что и для обеспечения вращающего момента. Приборы называются логометрами

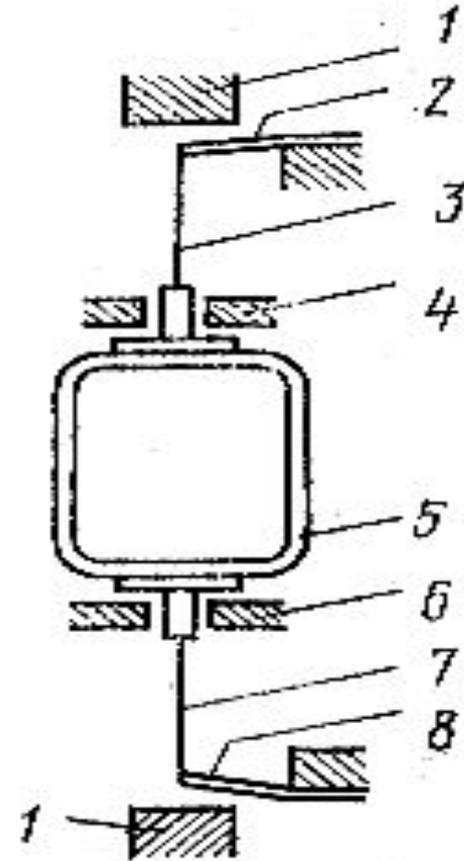
Установка на опорах

- 1 – подпятники
- 2 – керны
- 3 – ось
- 4 – указатель
- 5 – шкала
- 6 – поводок корректора
- 7, 8 – спиральные пружины
- 9 – ось корректора
- 10 – винт корректора
- 11 – противовесы



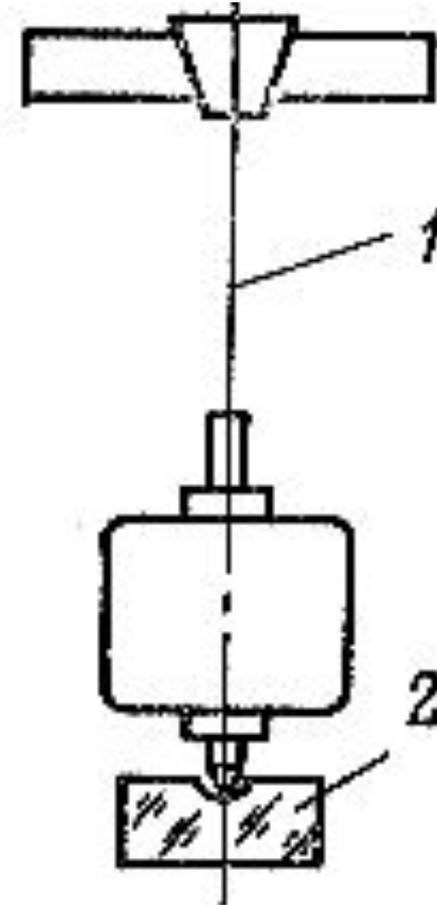
Крепление на растяжках

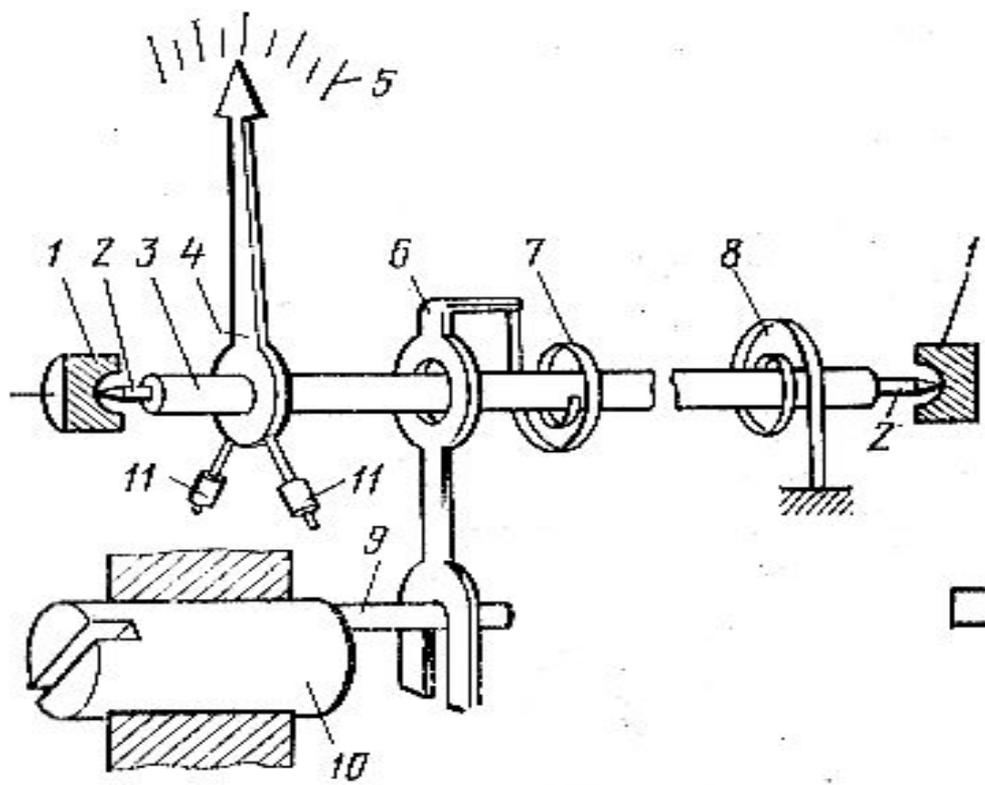
- 1 – ограничители
- 2,8 – плоские пружины
- 3,7 – растяжки
- 4,6 – ограничители осевого и радиального перемещения
- 5 – подвижная часть



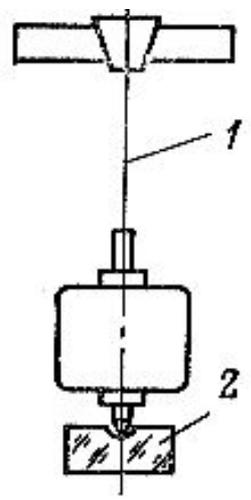
Крепление на подвесе

- 1 – ленточный подвес,
- 2 – нижняя (направляющая) опора

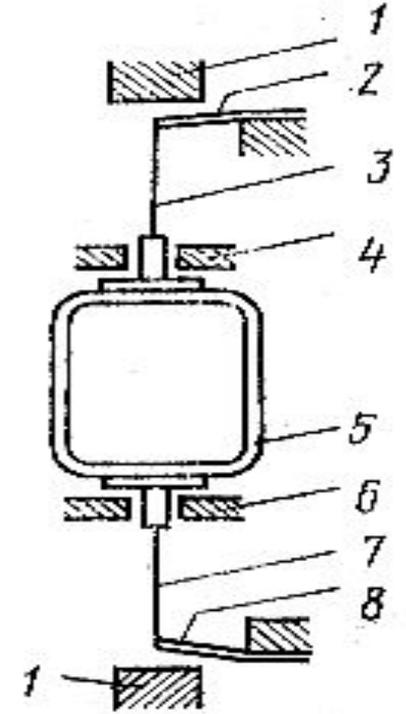




- 1 – подпятники
- 2 – керны
- 3 – ось
- 4 – указатель
- 5 – шкала
- 6 – поводок корректора
- 7, 8 – спиральные пружины
- 9 – ось корректора
- 10 – винт корректора
- 11 – противовесы



- 1 – ленточный
подвес,
2 – нижняя
(направляющая)
опора



- 1 – ограничители
- 2, 8 – плоские пружины
- 3, 7 – растяжки
- 4, 6 – ограничители осевого и
радиального
перемещения
- 5 – подвижная часть

6. Отсчетное устройство, успокоители

Шкала

На *лицевой панели* должны быть указаны:

- Обозначение единицы измеряемой величины
- Условное обозначение системы прибора
- Обозначение класса точности
- Условное обозначение рабочего положения прибора
- Условное обозначение степени защищенности от магнитных или электрических влияний
- Величина испытательного напряжения изоляции измерительной цепи по отношению к корпусу
- Год выпуска и заводской номер
- Материал: листовые латунь, цинк, алюминий
- Покрытие – светлая эмаль с черными отметками и цифрами
- Могут быть:
 - плоскими, выпуклыми
 - равномерными и неравномерными

Указатель

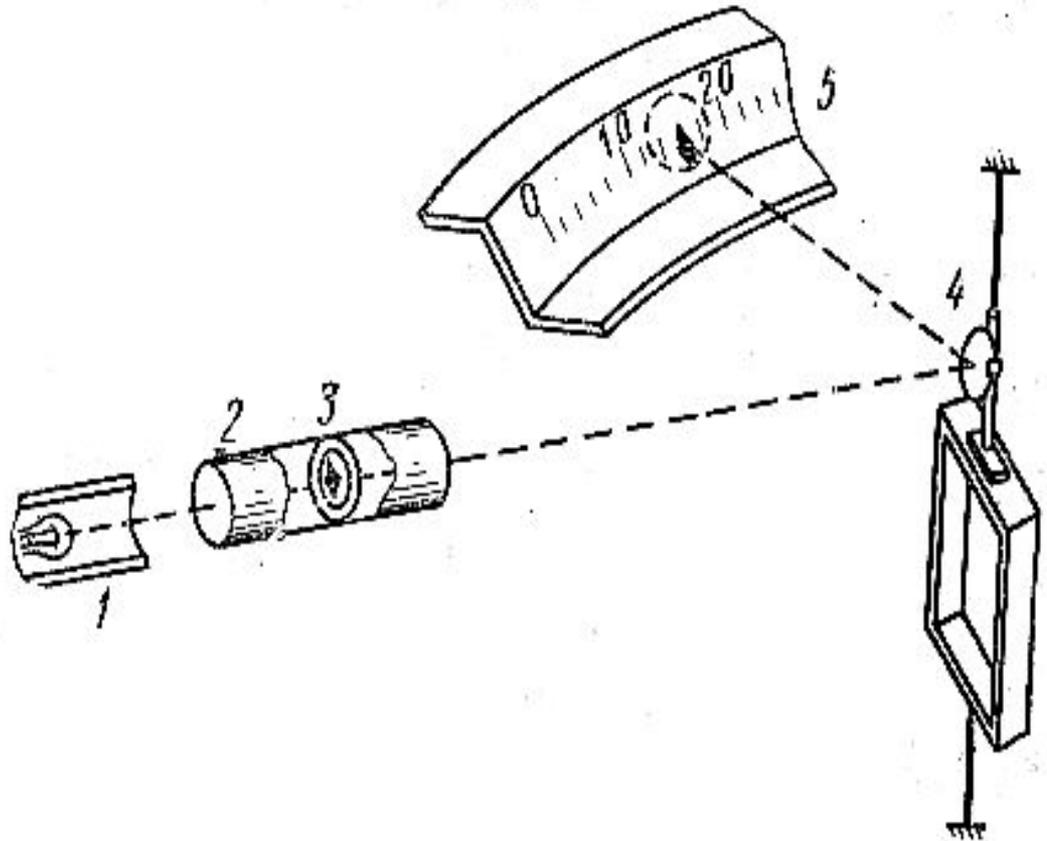
- В виде стрелки:
 - Нитевидная стрелка
 - Копьевидная стрелка
 - Ножевидная стрелка
- В виде светового пятна с темной нитью посередине

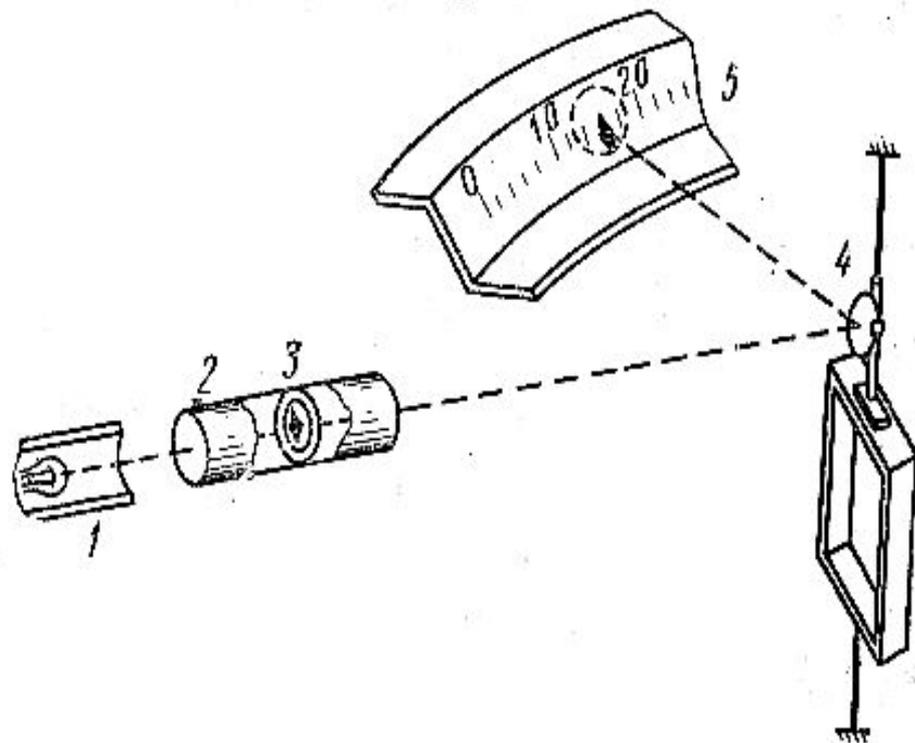
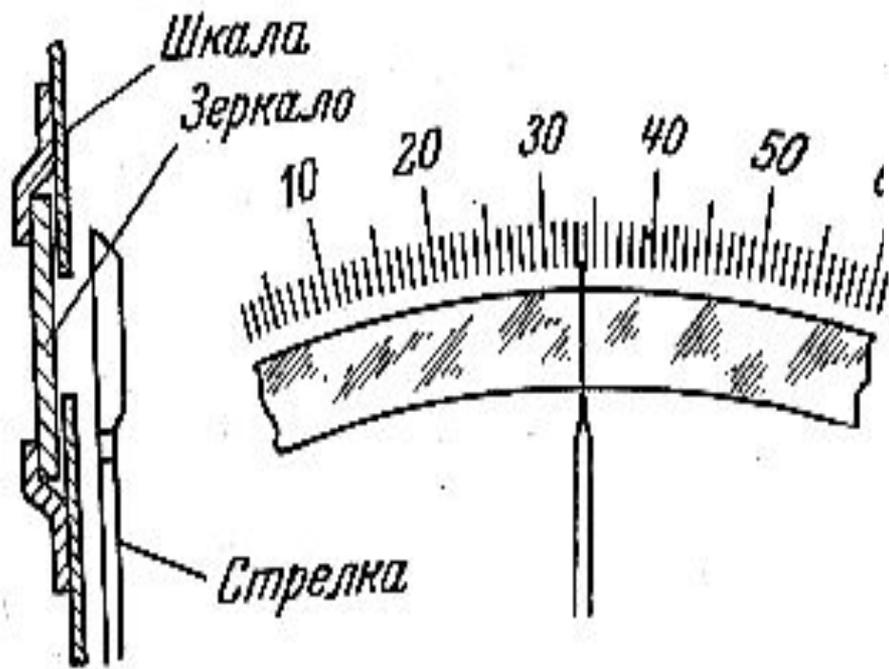
Стрелочный указатель



Световой указатель

- 1 – источник света
- 2 – линза
- 3 – стрелка
- 4 – зеркальце
- 5 – световое пятно





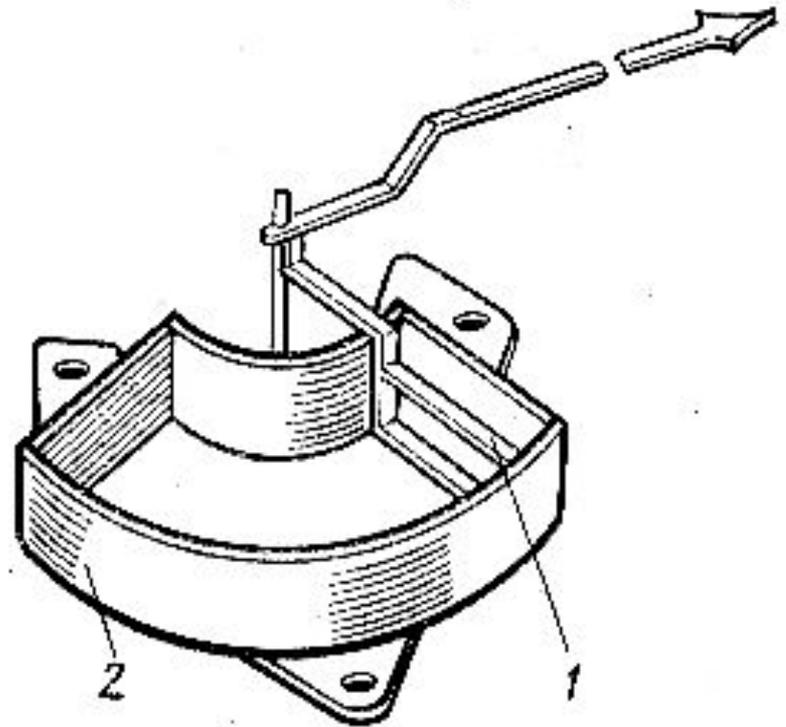
- 1 – источник света
- 2 – линза
- 3 – стрелка
- 4 – зеркальце
- 5 – световое пятно

Успокоитель (демпфер)

- Момент возникает, если подвижная часть находится в движении
- Время успокоения подвижной части прибора не должно превышать 4 с.
- По конструкции и принципу действия:
 - Воздушный демпфер
 - Магнитоиндукционный демпфер
 - Жидкостный демпфер

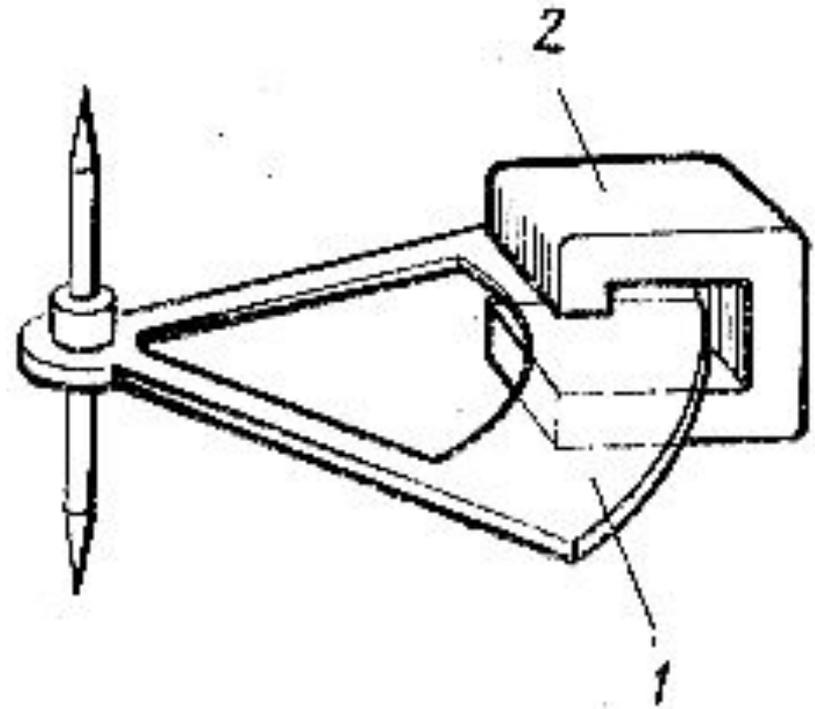
Воздушный демпфер

- Успокоитель крыльчатого типа
- Используется трение о воздух
- Конструкция:
 - 1 – крыло
 - 2 - камера



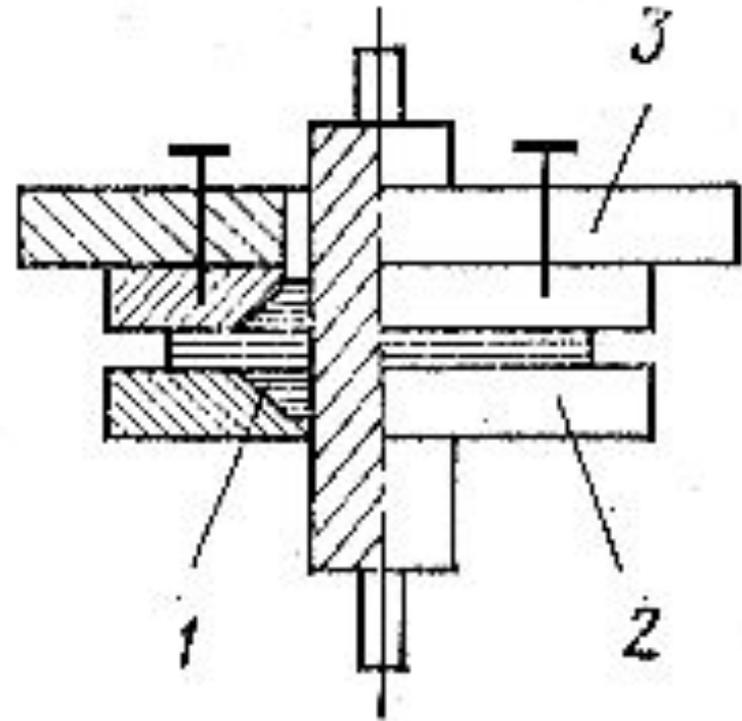
Магнитоиндукционный демпфер

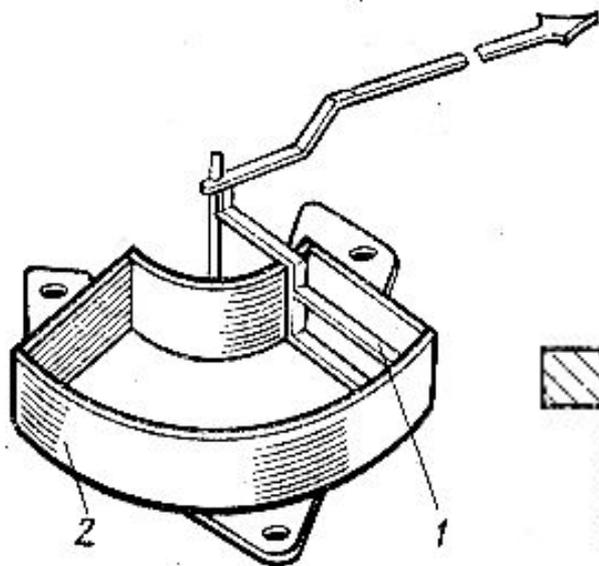
- Успокаивающий момент создается при воздействии вихревых токов, возникающих в секторе при движении в магнитном поле
- Сектор изготавливают из ферромагнитного материала
- Конструкция:
1 – сектор
2 – постоянный магнит



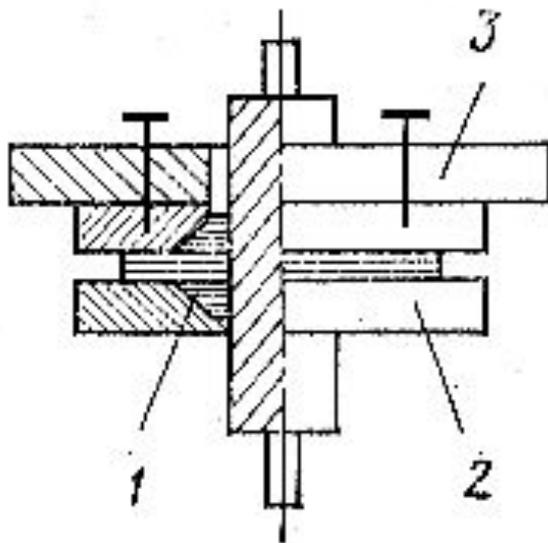
Жидкостный демпфер

- Выбор конструкции зависит от:
 - степени успокоения
 - назначения и конструкции измерительного механизма
 - условий эксплуатации
- Конструкция:
 - 1 – диск подвижный
 - 2 – диск неподвижный
 - 3 - жидкость
- Зазор между дисками 0,1 мм
- Поверхности дисков полируют
- Достоинства – тормозящее действие во всех направлениях, т.е. повышается виброустойчивость

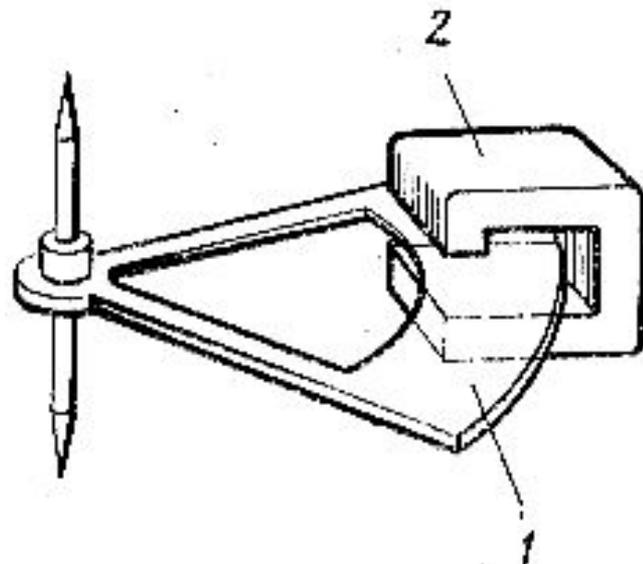




1 – крыло
2 - камера



1 – диск подвижный
2 – диск неподвижный
3 - жидкость

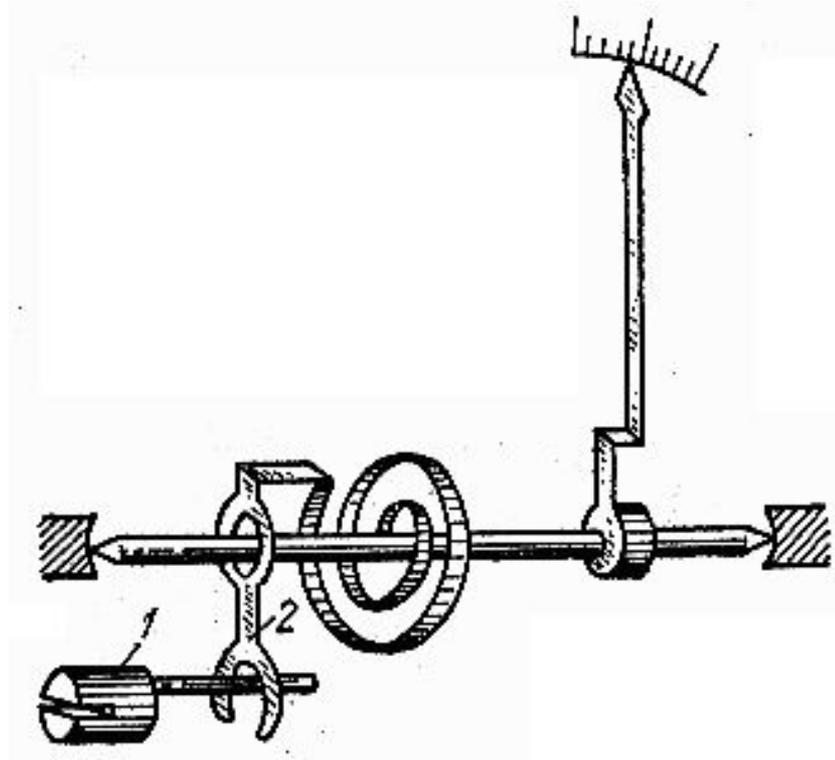


1 – сектор
2 – постоянный магнит

Корректор

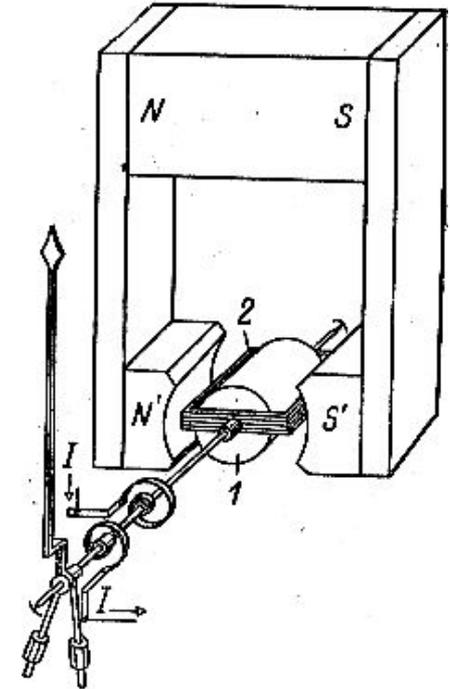
- Устройство для установки стрелки в строго нулевое положение:

1 – эксцентрик,
2 - рычаг



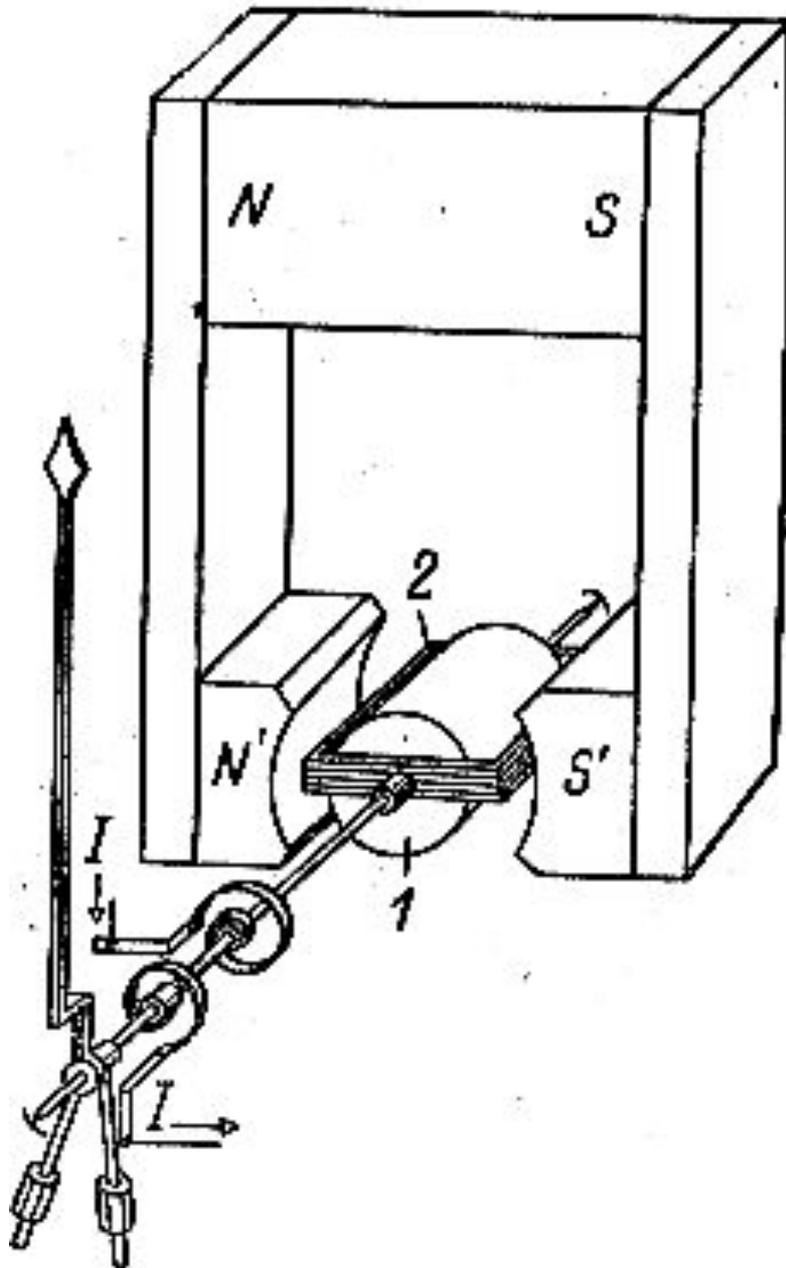
7. Магнитоэлектрическая система измерительного механизма: устройство, принцип действия, угол поворота подвижной части, логометры и их особенности. Успокоители. Достоинства и недостатки. Применение.

- Магнитоэлектрическая система:
 - Принцип работы: взаимодействие магнитного поля постоянного магнита с рамкой (катушкой), по которой протекает постоянный ток, угол поворота: $\alpha = K \cdot I$
 - Достоинства: высокие точность и чувствительность, равномерная шкала, малое собственное потребление электроэнергии, малое влияние внешних магнитных полей
 - Недостатки: возможность работы только на постоянном токе, сложность конструкции, чувствительность к перегрузкам, механическим воздействиям, ударам, вибрации, зависимость упругих свойств пружины от времени, зависимость показаний от температуры окружающей среды
 - Применение – амперметры, вольтметры, омметры



Магнитоэлектрическая система:

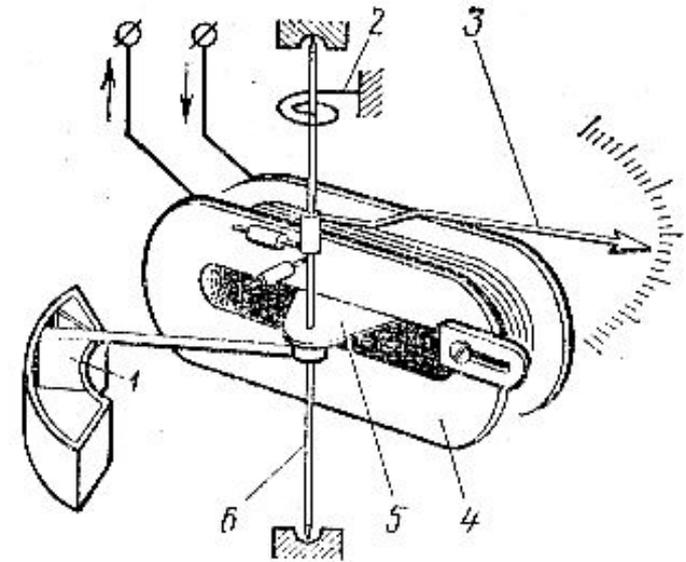
- 1 – цилиндрический сердечник
- 2 – катушка (рамка)



Магнитоэлектрическая система:
1 – цилиндрический сердечник
2 – катушка (рамка)

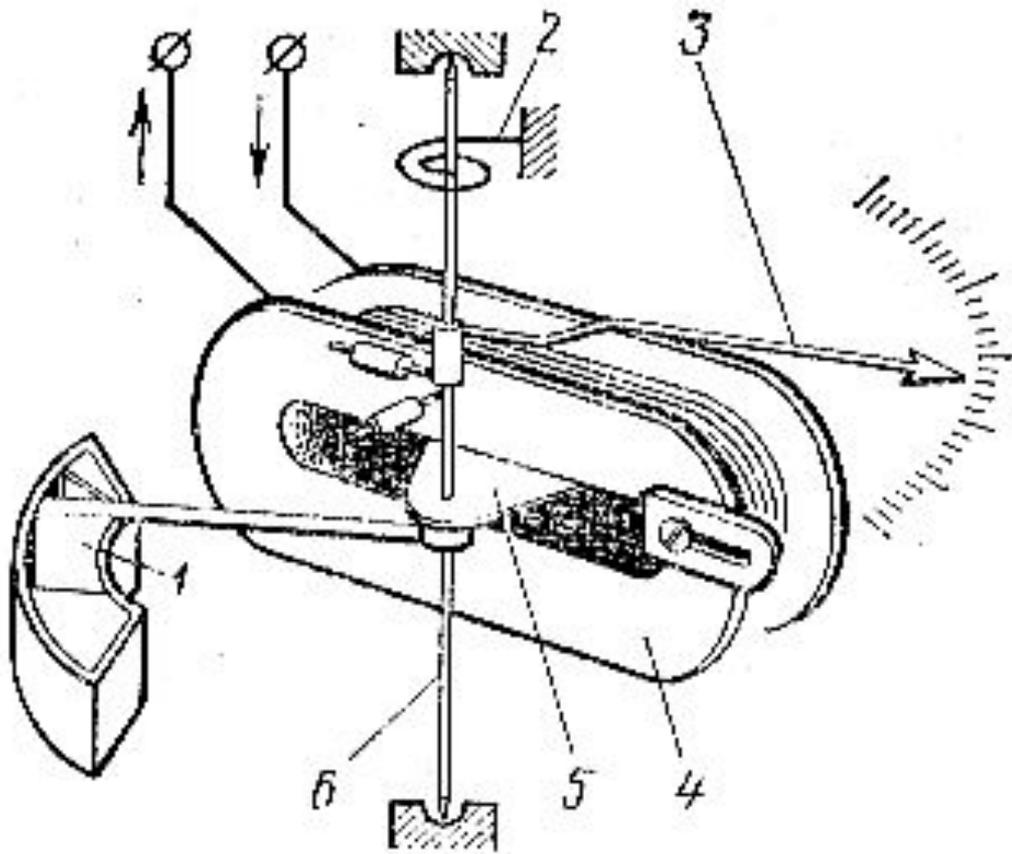
8. Электромагнитная система измерительного механизма: устройство, принцип действия, угол поворота подвижной части, логометры. Защита от внешних магнитных полей. Успокоители, астатические системы. Достоинства и недостатки данных измерительных механизмов. Применение

- Принцип работы – взаимодействие магнитного поля, созданного катушкой, со стальным сердечником
- Угол отклонения указателя : $\alpha = K \cdot I^2$
- Достоинства:
 - Простая конструкция
 - Малая стоимость
 - Надежность в работе
 - Способность выдерживать большие перегрузки
 - Работают на постоянном и переменном токе
- Недостатки:
 - Неравномерная шкала
 - Влияние внешних магнитных полей
 - Большое собственное потребление мощности
 - Зависимость показаний от частоты (вихревые токи)
- Применение: амперметры, вольтметры



Электромагнитная
система:

- 1 – крыло успокоителя
- 2 – спиральная пружина
- 3 – указатель
- 4 – катушка
- 5 – плоский сердечник
- 6 – ось

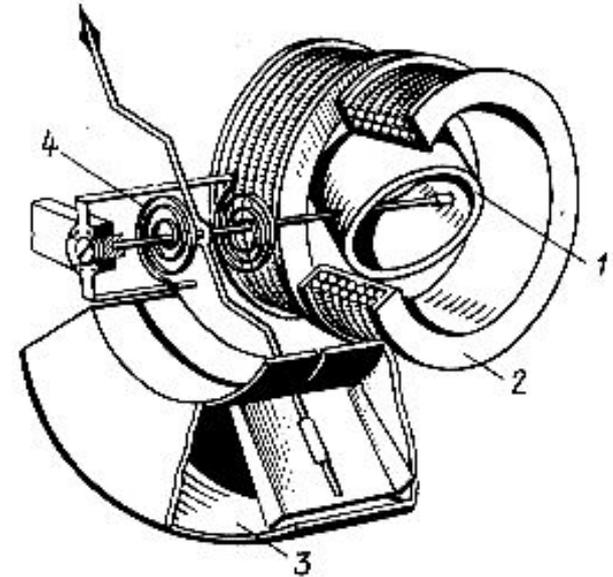


Электромагнитная
система:

- 1 – крыло
успокоителя
- 2 – спиральная
пружина
- 3 – указатель
- 4 – катушка
- 5 – плоский
сердечник
- 6 –

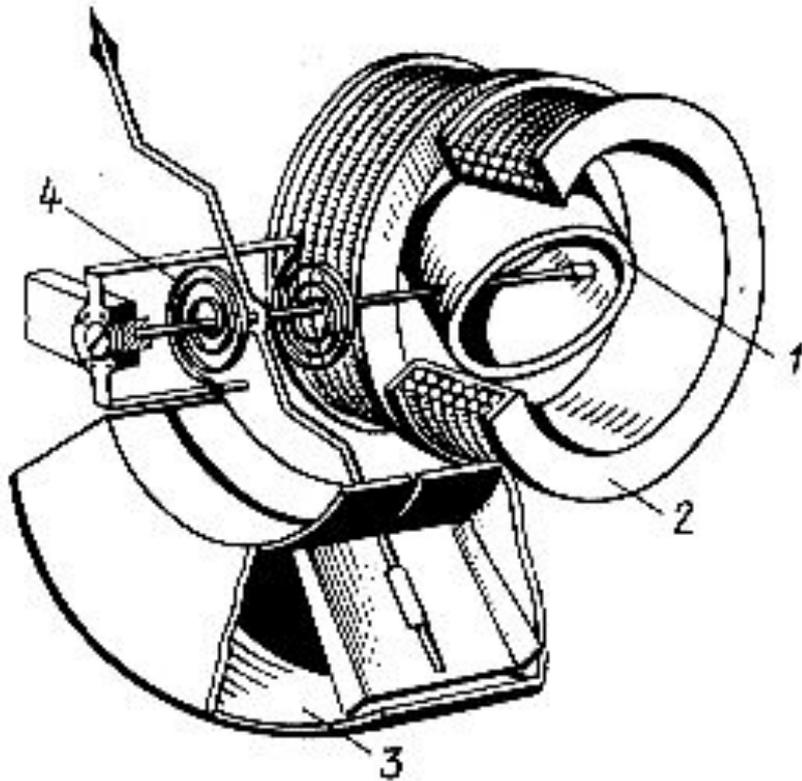
9. Электродинамическая система: схема устройства, угол поворота подвижной части, логометры, защита от внешних магнитных полей, достоинства и недостатки. Применение

- Принцип работы – взаимодействие двух катушек, обтекаемых электрическим током
- Угол поворота: $\alpha = K \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \psi$
- Достоинства:
 - Равномерность шкалы (у ваттметров)
 - Работают на постоянном и переменном токе
 - Относительно высокая точность
- Недостатки:
 - Сильное влияние внешних магнитных полей (применяют экранирование, ферродинамические системы)
 - Чувствительность к перегрузкам и механическим воздействиям
 - Относительно высокая стоимость
- Применение: ваттметры, амперметры, вольтметры, варметры



Электродинамическая система:

- 1 – подвижная катушка
- 2 – неподвижная катушка
- 3 – демпфер
- 4 – спиральные пружины

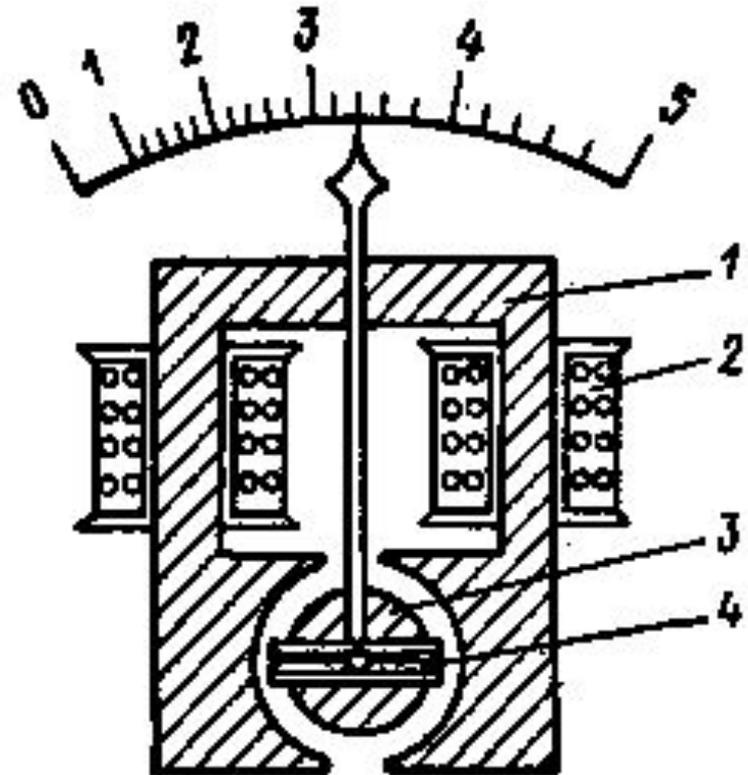


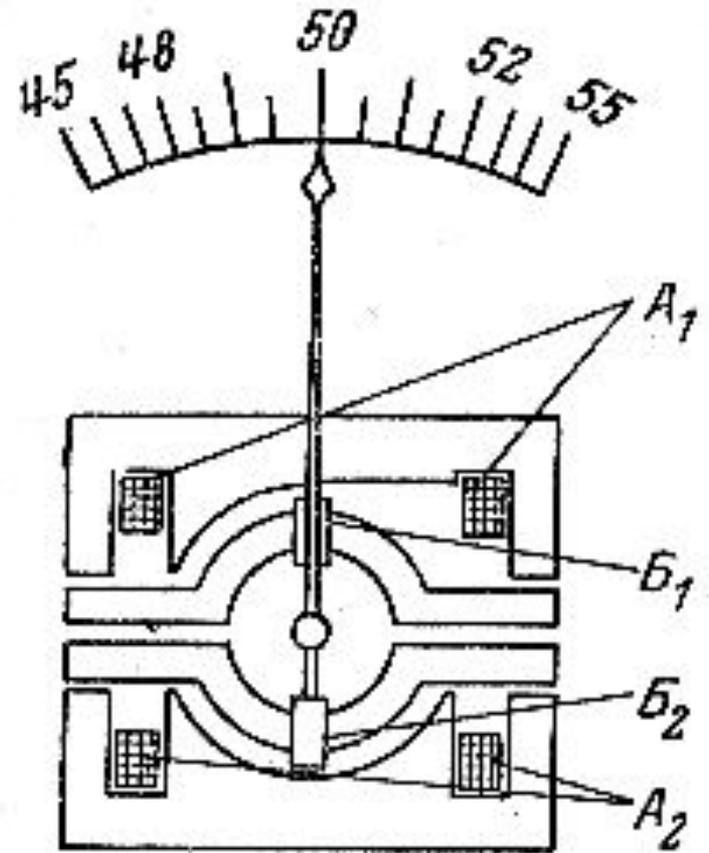
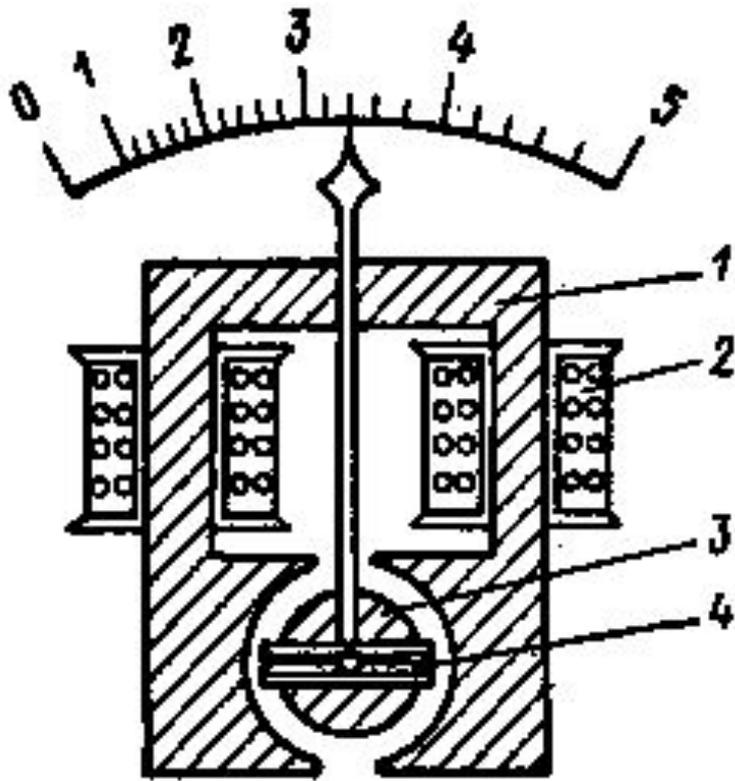
Электродинамическая
система:

- 1 – подвижная катушка
- 2 – неподвижная катушка
- 3 – демпфер
- 4 – спиральные пружины

10. Ферродинамическая система, особенности работы, погрешности измерений. Достоинства и недостатки систем, применение

- 1 – магнитопровод
- 2 – неподвижная катушка
- 3 - цилиндр
- 4 – подвижная катушка
- Защищены от влияния внешних магнитных полей
- Увеличиваются магнитные потоки, возрастает вращающий момент

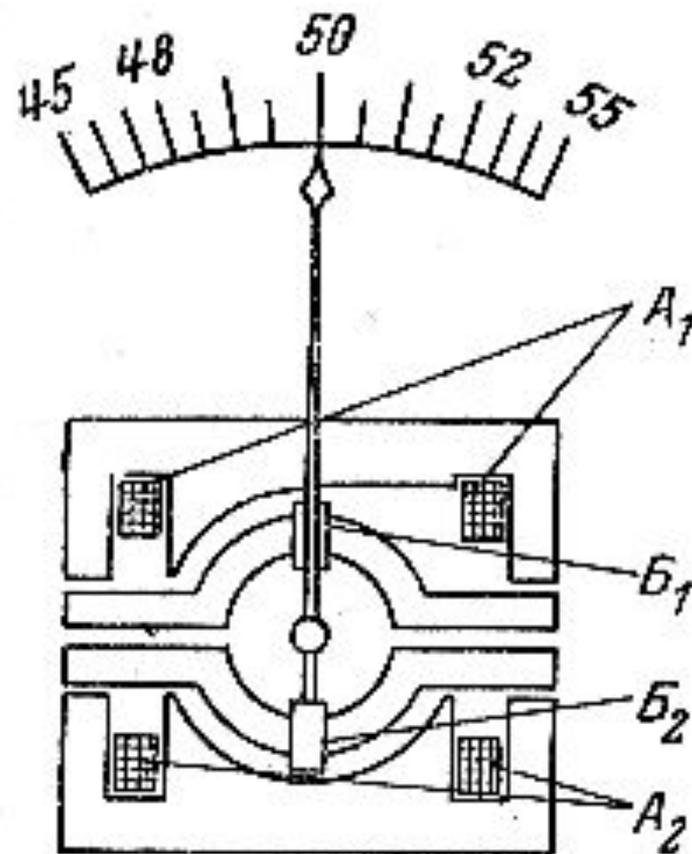




- 1 – магнитопровод
- 2 – неподвижная катушка
- 3 - цилиндр
- 4 – подвижная катушка

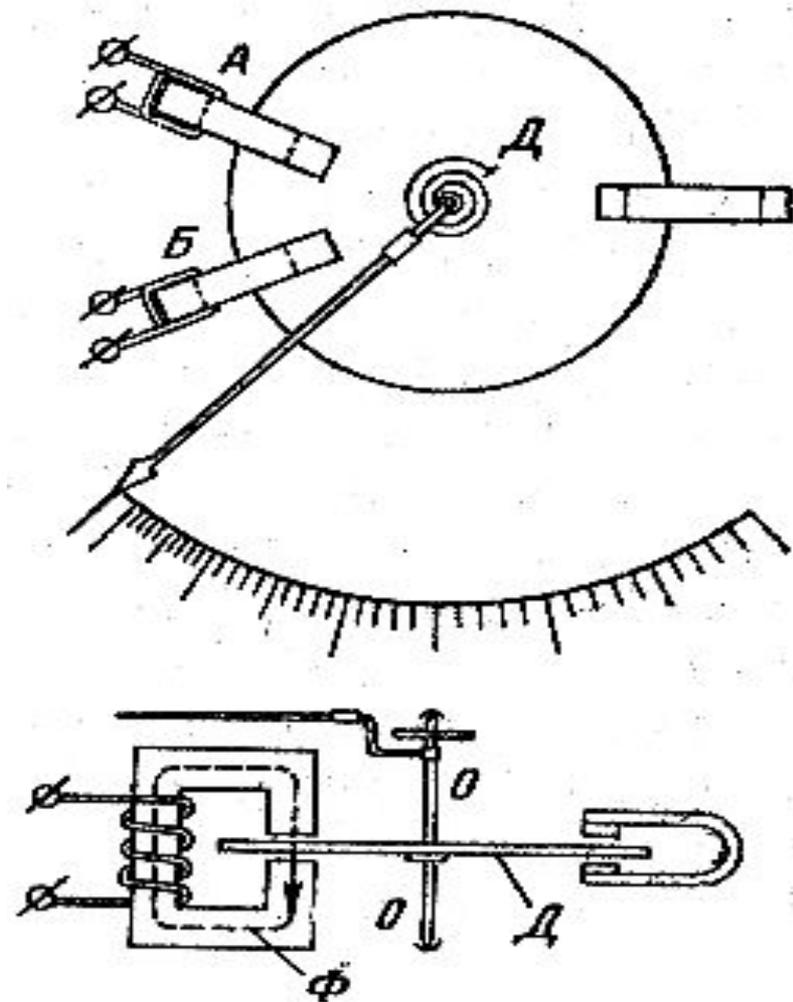
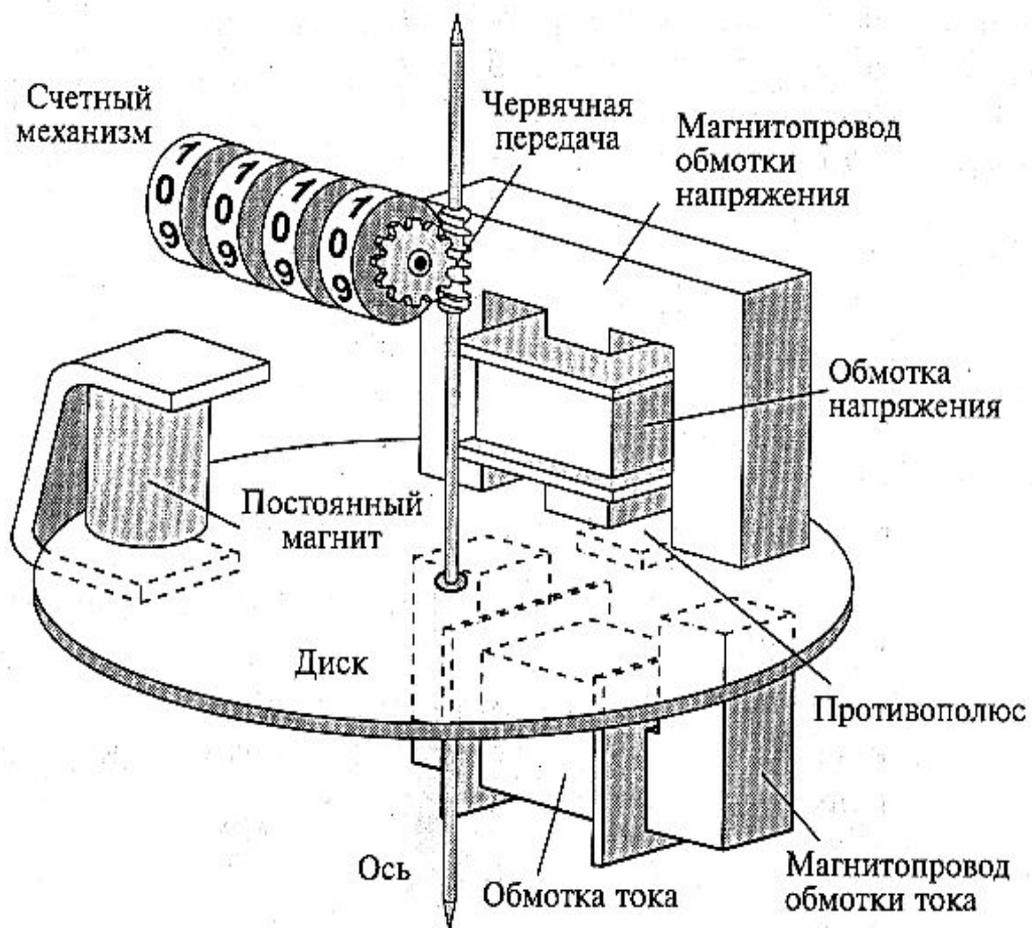
Ферродинамический логометр

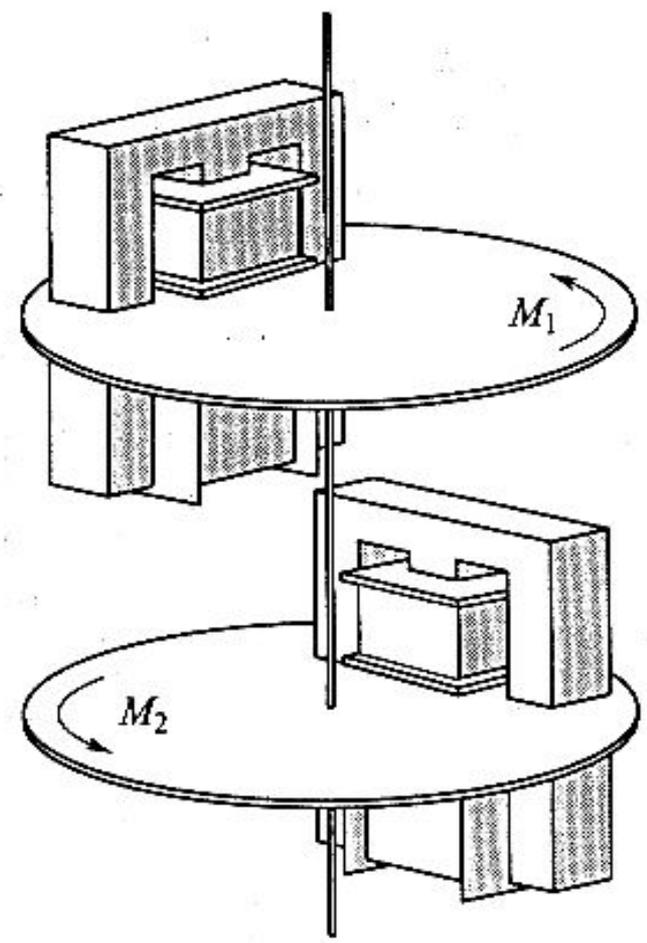
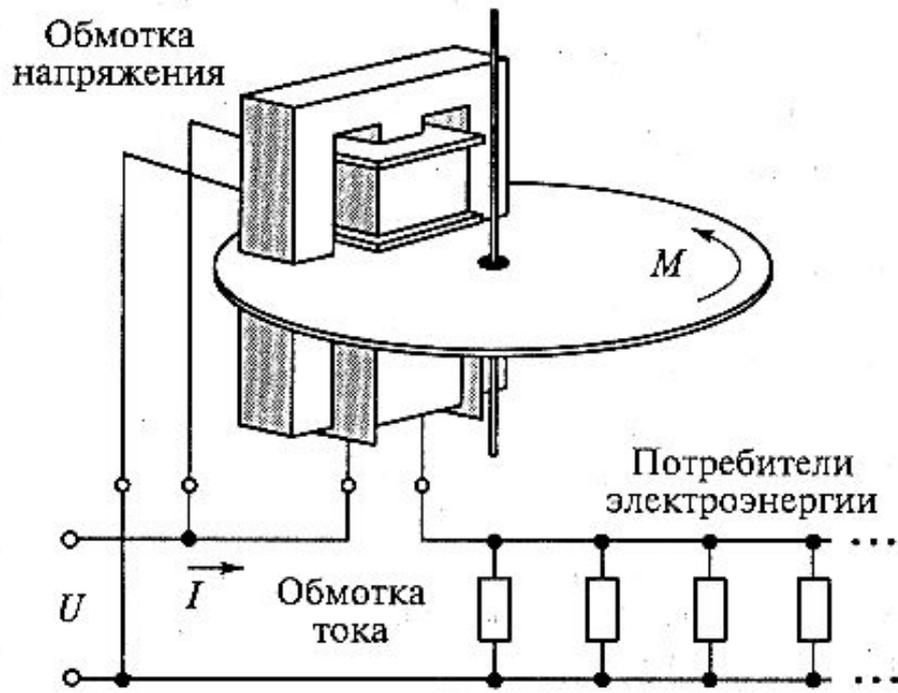
- Две неподвижные катушки A_1 и A_2 укреплены на стальных сердечниках.
- Две подвижные катушки B_1 и B_2 укреплены на оси.
- Ток к подвижным катушкам подводится при помощи безмоментных подводов.
- Катушки A_1 и B_1 , соединенные последовательно, при прохождении тока I_1 создают вращающий момент M_1 , действующий на катушку B_1 .
- Аналогично при прохождении тока I_2 по катушкам A_2 и B_2 создается второй вращающий момент M_2 , действующий на катушку B_2 .
- Разность моментов вызывает поворот подвижной части логометра до тех пор, пока моменты не уравновесят друг друга



11. Индукционная измерительная система: устройство, принцип работы, вращающий момент, достоинства и недостатки, применение

- Принцип работы основан на взаимодействии переменных магнитных потоков с токами, наведенными в диске подвижной части механизма
- Угол поворота пропорционален произведению токов в катушках, частоте и синусу угла между токами: $\alpha = K \cdot f \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \psi$
 - Достоинства:
 - Высокая стойкость к перегрузкам
 - Большой вращающий момент
 - Малая чувствительность к внешним магнитным полям
 - Недостатки:
 - Относительно невысокая точность
 - Работают на переменном токе
 - Зависимость показаний от частоты переменного тока
 - Зависимость показаний от температуры





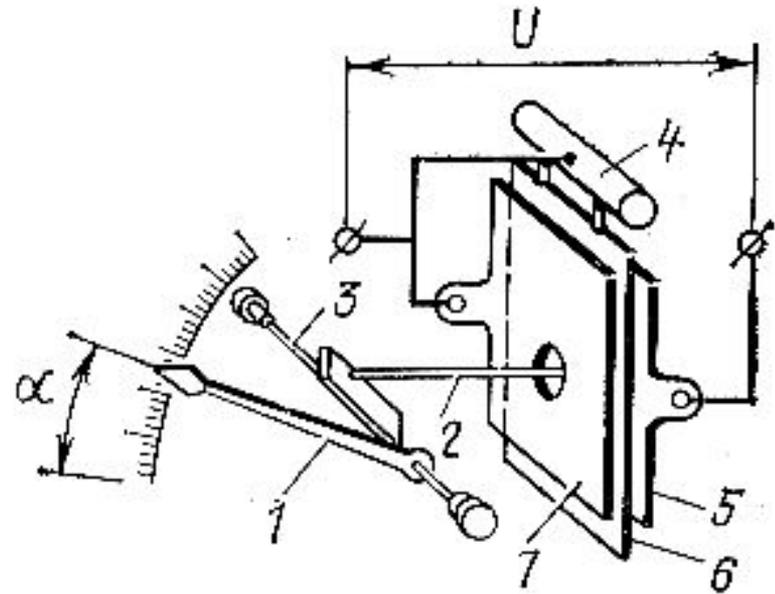
12. Электростатическая система: устройство, угол поворота подвижной части, защита от внешних электрических полей, достоинства и недостатки, применение

- Принцип действия основан на взаимодействии между двумя или несколькими заряженными проводниками
- Емкость плоского конденсатора: $C = \epsilon S / d$
- Угол поворота пропорционален квадрату напряжения: $\alpha = K \cdot U^2$
- Применение:
 - Переносные – экспериментальные, исследовательские работы, требующие высокой точности измерения
 - Щитовые – в стационарных установках высокого напряжения
 - Достоинства:
 - Малое потребление тока из контролируемой цепи
 - Широкий частотный диапазон применения (десятки мегагерц)
 - Недостатки:
 - Малый вращающий момент
 - Малая чувствительность
 - Влияние внешних электрических полей

Электростатическая система

Измерительный механизм с изменяющимся расстоянием между пластинами:

- 1 – указатель
- 2 – тяга
- 3 – ось
- 4 – планка
- 5, 7 – неподвижные электроды
- 6 – подвижный электрод

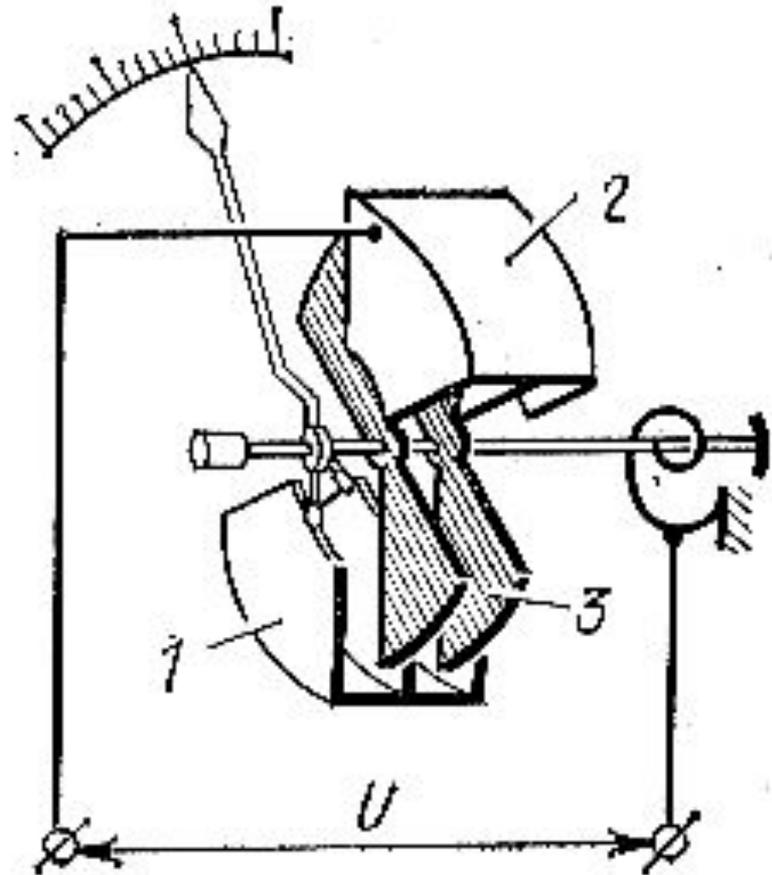


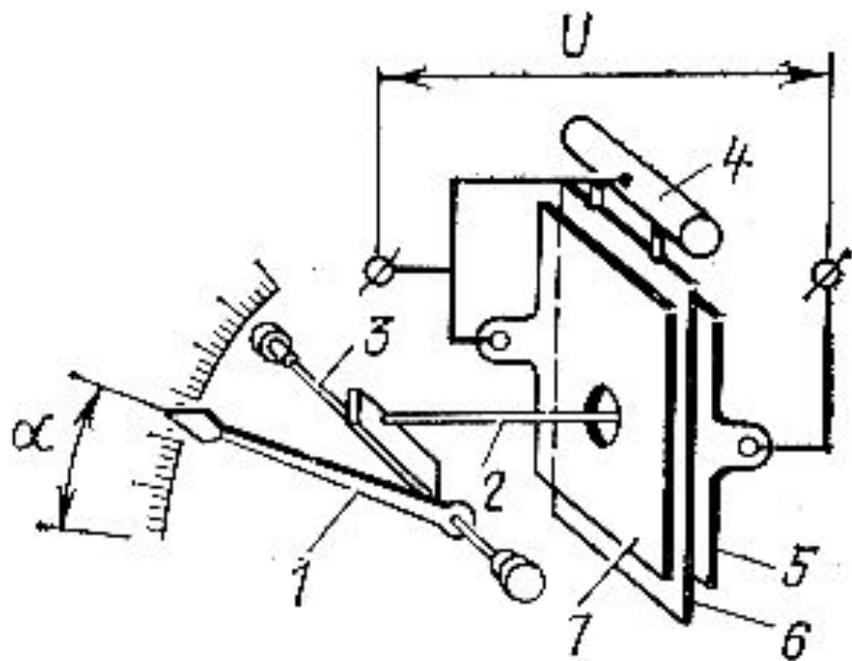
Электростатическая система

Измерительный
механизм с
изменяющейся
емкостью:

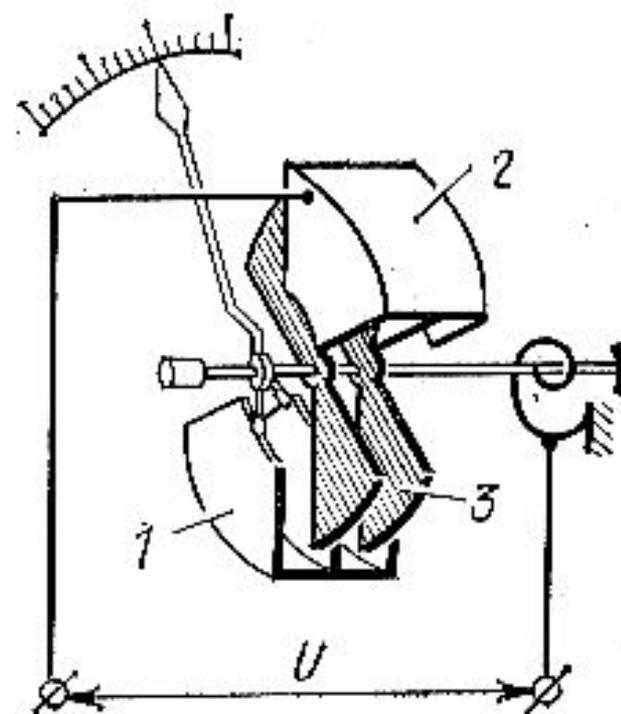
1, 2 – неподвижные
пластины

3 – подвижные
пластины





- 1 – указатель
- 2 – тяга
- 3 – ось
- 4 – планка
- 5, 7 – неподвижные электроды
- 6 – подвижный электрод

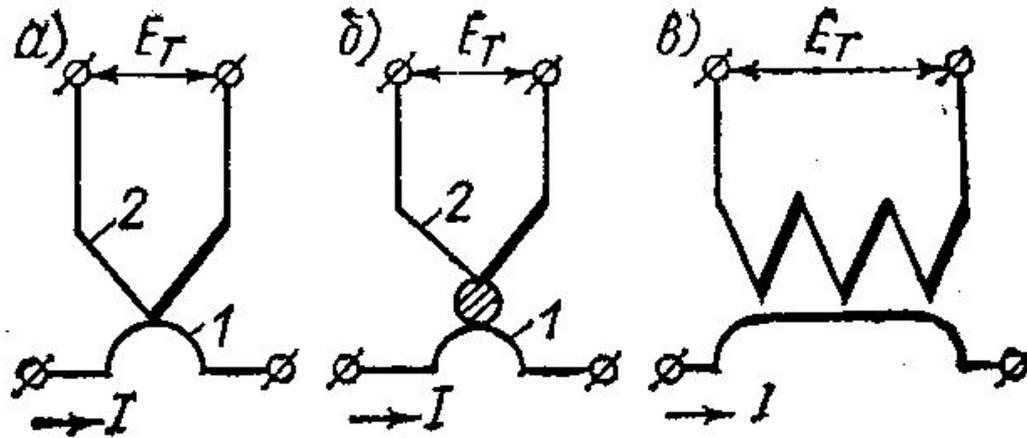


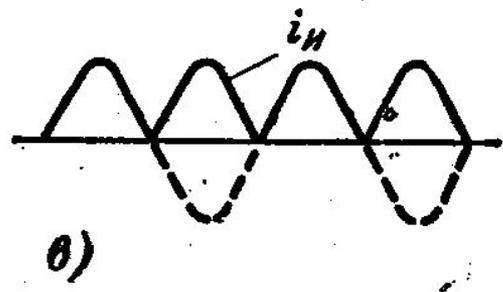
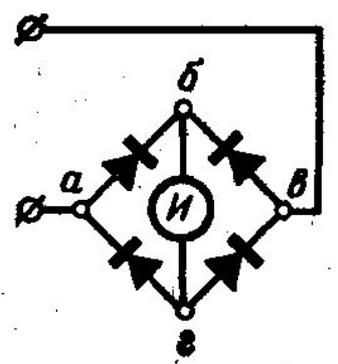
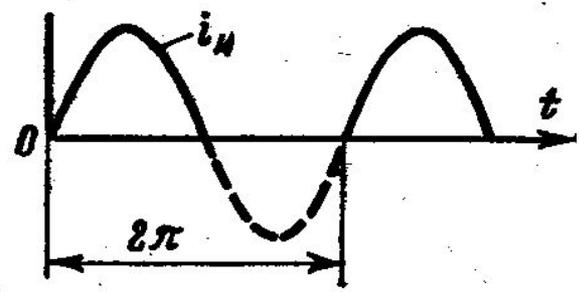
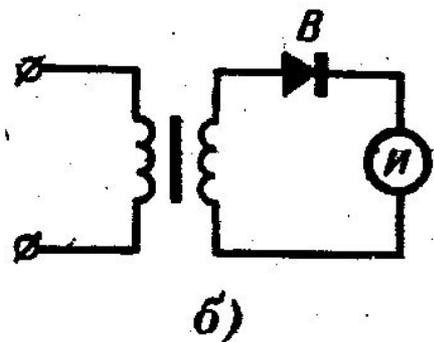
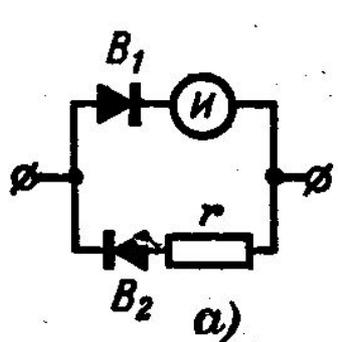
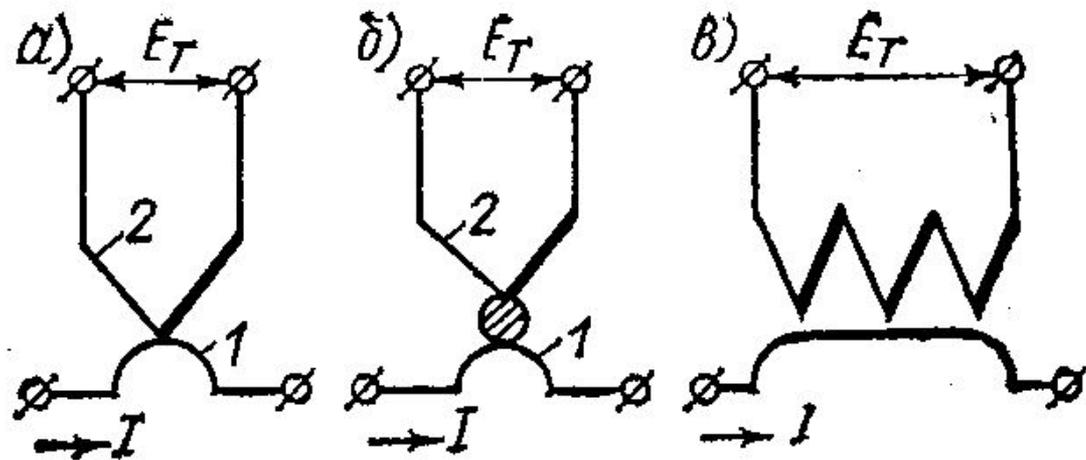
- 1, 2 – неподвижные пластины
- 3 – подвижные пластины

13. Вибрационная, выпрямительная, термоэлектрическая системы. Особенности работы, достоинства и недостатки, применение

- Термоэлектрическая система – совокупность термоэлектрического преобразователя (термопара) и магнитоэлектрического измерительного механизма
- Возможно применение в электрических цепях с широким диапазоном частот (от нуля до мегагерц)
- Применяются для измерения действующих значений переменных токов от 10^{-2} до 10^{+2} А, напряжений от 1 до 300 В
- Щитовые и переносные термоамперметры и термовольтметры

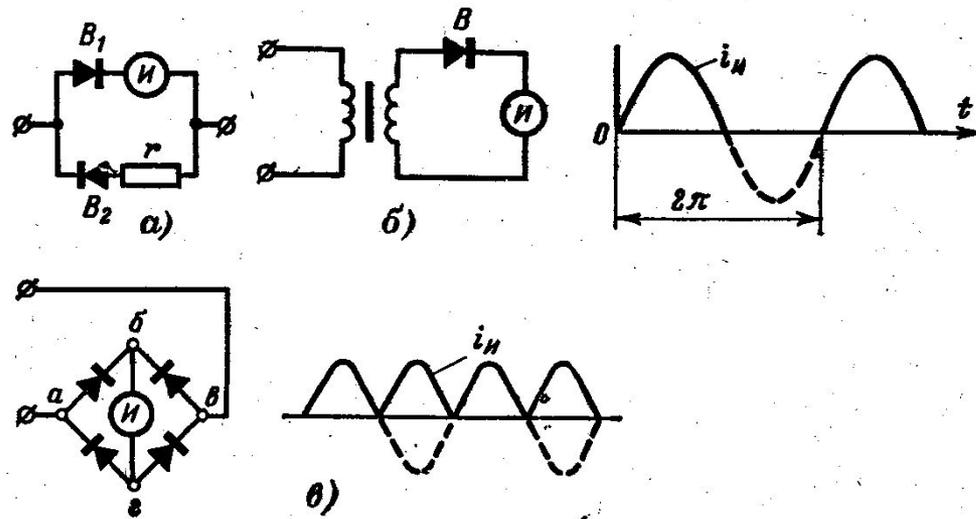
Термоэлектрическая система





13. Вибрационная, выпрямительная, термоэлектрическая системы. Особенности работы, достоинства и недостатки, применение

- Сочетание полупроводникового выпрямителя и магнитоэлектрического измерительного механизма



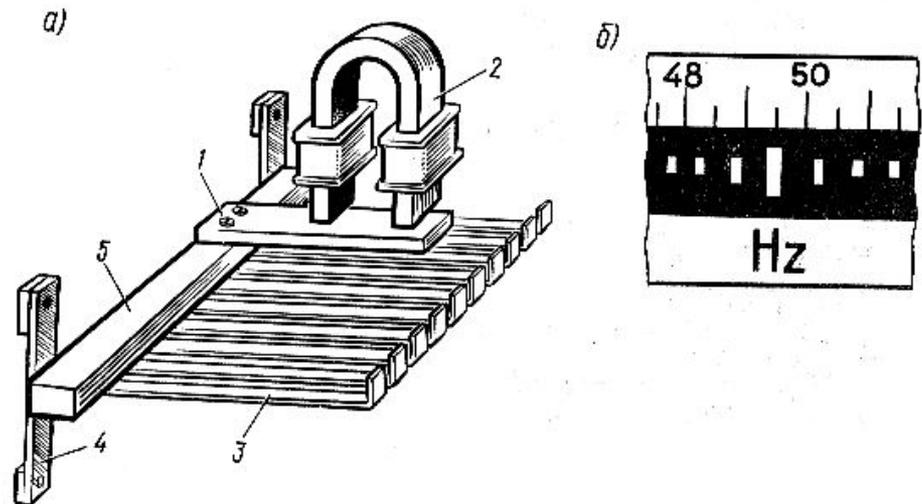
13. Вибрационная, выпрямительная, термоэлектрическая системы. Особенности работы, достоинства и недостатки, применение

- Принцип работы основан на возникновении явления механического резонанса гибких стальных пластин, вибрирующих под влиянием переменного магнитного поля
 - Достоинства:
 - Простая конструкция
 - Малая стоимость
 - Недостатки:
 - Нельзя применять на подвижных установках
 - Небольшая точность (погрешность 1–2,5 %)

13. Вибрационная, выпрямительная, термоэлектрическая системы. Особенности работы, достоинства и недостатки, применение

Вибрационная система с косвенным возбуждением:

- 1 – стальной якорь
- 2 – электромагнит
- 3 – гибкие стальные пластинки
- 4 – упругие пружины
- 5 – стальной брусок



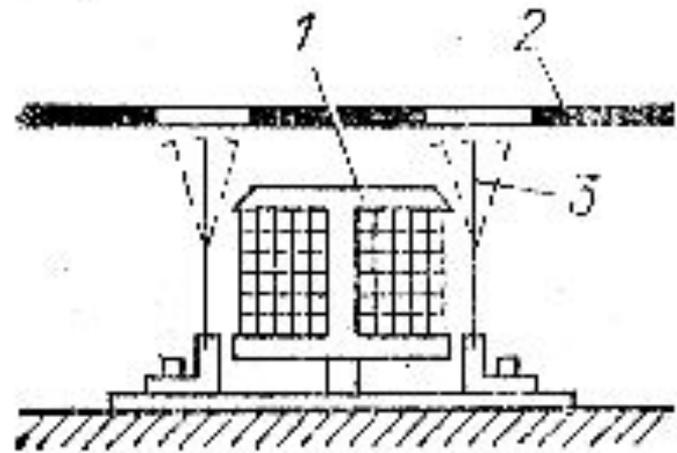
13. Вибрационная, выпрямительная, термоэлектрическая системы. Особенности работы, достоинства и недостатки, применение

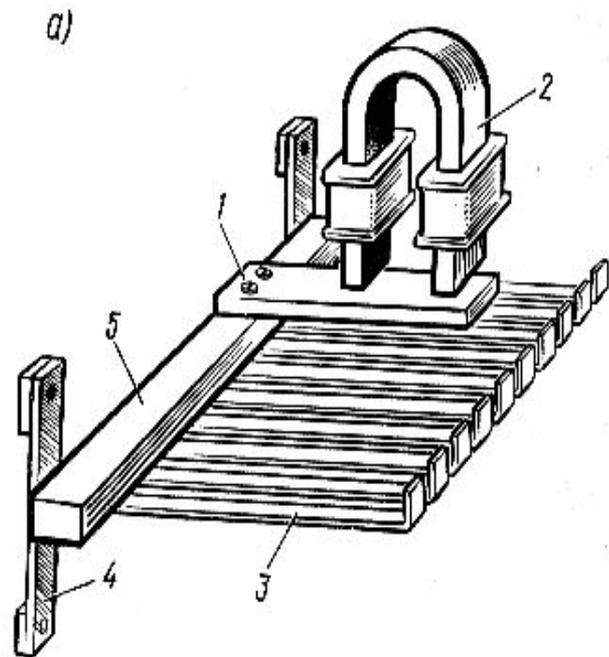
Вибрационная система с непосредственным возбуждением:

1 – электромагнит

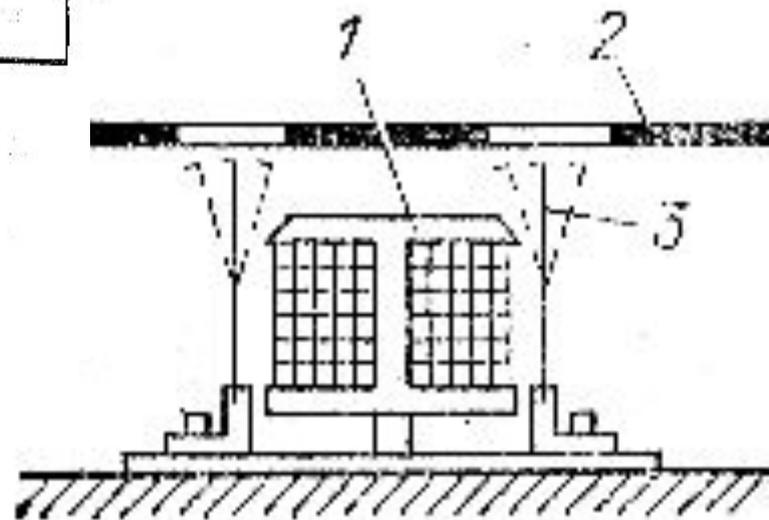
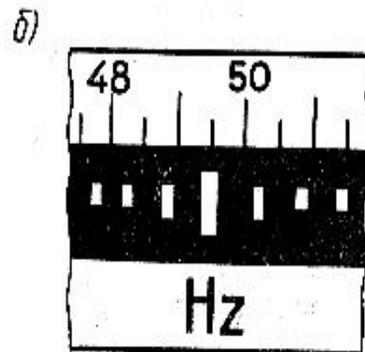
2 – шкала с вырезами

3 – гибкие стальные пластинки



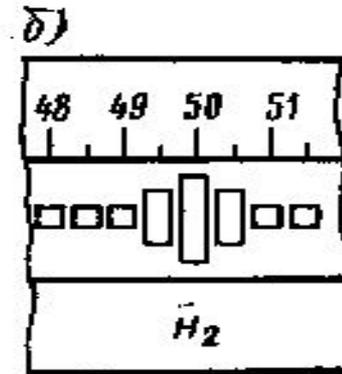
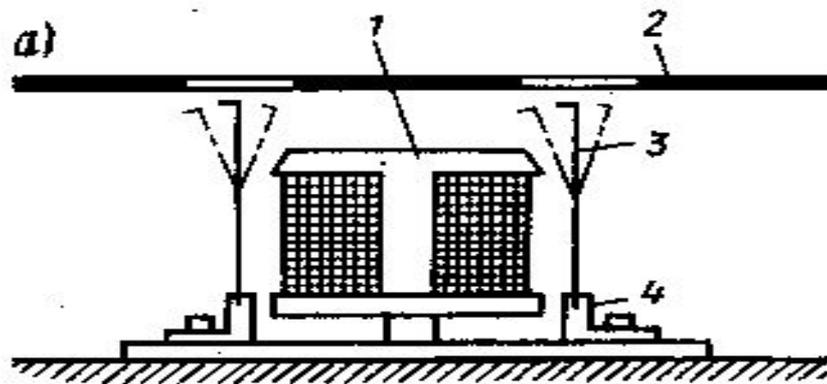


- 1 – стальной якорь
- 2 – электромагнит
- 3 – гибкие стальные пластинки
- 4 – упругие пружины
- 5 – стальной брусок



- 1 – электромагнит
- 2 – шкала с вырезами
- 3 – гибкие стальные пластинки

13. Вибрационная, выпрямительная, термоэлектрическая системы. Особенности работы, достоинства и недостатки, применение



- Вибрационный частотомер:
 - измерительный механизм частотомера с непосредственным возбуждением: электромагнит 1, обмотка которого включается в контролируемую сеть параллельно. В поле электромагнита находятся два ряда гибких стальных пластин 3, закрепленных в основаниях 4. Прибор имеет лицевую панель 2, в окнах которой видны отогнутые края пластин, окрашенные в белый цвет
 - . Под влиянием переменного поля электромагнита, вызванного током, частота которого измеряется, пластины частотомера в момент прохождения тока через амплитудное значение притягиваются к электромагниту и удаляются от него при каждом нулевом значении тока. С наибольшей амплитудой колеблется та пластина, частота собственных колебаний которой равна удвоенному значению измеряемой частоты. Отогнутый конец этой пластины виден в окне шкалы, как прямоугольник, и указывает на шкале значение частоты
 - Резонансные частотомеры электромагнитной системы выполняются на диапазоны частот 45—55 и 450—550 Гц. Их точность соответствует классам 1,0 и 1,5

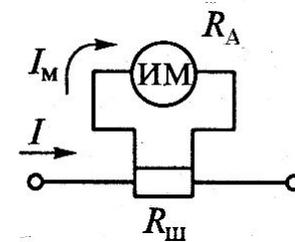
14. Амперметры и вольтметры, основные измерительные системы, точность измерения, схемы подключения. Основные параметры приборов, расчет цены деления

- Приборы – амперметры, вольтметры
- Системы приборов:
 - Постоянный ток: магнитоэлектрическая (большие пределы измерения – с шунтами или дополнительными сопротивлениями)
 - Переменный ток: электромагнитная (большие пределы измерения – с трансформаторами тока или напряжения)
- Амперметры
 - включаются в цепь последовательно
 - должны иметь сопротивление значительно ниже, чем нагрузка
- Вольтметры
 - включаются в цепь параллельно
 - должны иметь сопротивление значительно выше, чем нагрузка

15. Шунты, применение, расчет величины сопротивления, подключение к амперметру. Расчет цены деления, полученной после подключения

- Шунты:

- применяется на постоянном токе
- включается в цепь последовательно с нагрузкой
- показание амперметра необходимо умножить на n

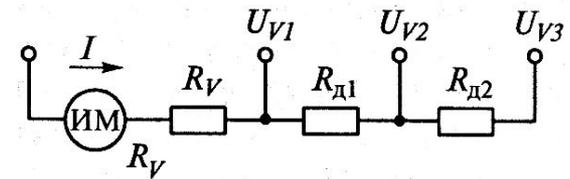


$$R_{ш} = \frac{R_A}{n-1}, \quad n = \frac{I}{I_A}$$

16. Дополнительные сопротивления, применение, расчет величины сопротивления, подключение к вольтметру. Расчет цены деления, полученной после подключения

- **Дополнительные сопротивления:**

- применяется на постоянном токе
- включается в цепь параллельно нагрузке
- показание вольтметра необходимо умножить на m



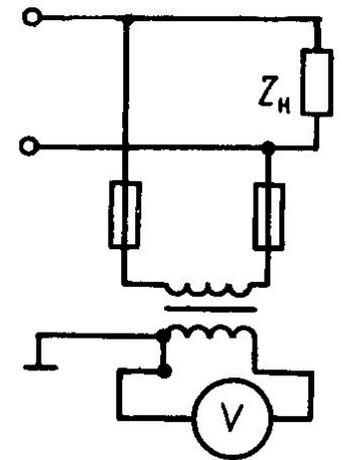
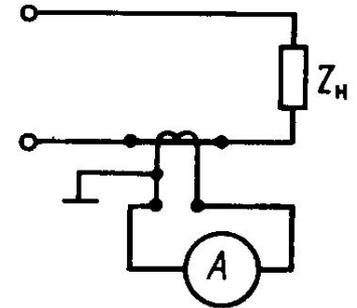
$$R_{Д} = R_V (m - 1), \quad m = \frac{U}{U_V}$$

17. Измерительные трансформаторы тока и напряжения. Схемы подключения. Выбор по заданным параметрам. Основные данные трансформаторов. Расчет цены деления, полученной после подключения

- Измерительные трансформаторы:
 - преобразуют большие переменные токи и напряжения
 - создают безопасные условия работы персонала
- Трансформаторы тока: номинальный вторичный ток 1; 2; 2,5; 5А
- Трансформаторы напряжения: номинальное вторичное напряжение 100; $100/\sqrt{3}$ В
- Коэффициент трансформации трансформаторов тока и напряжения:

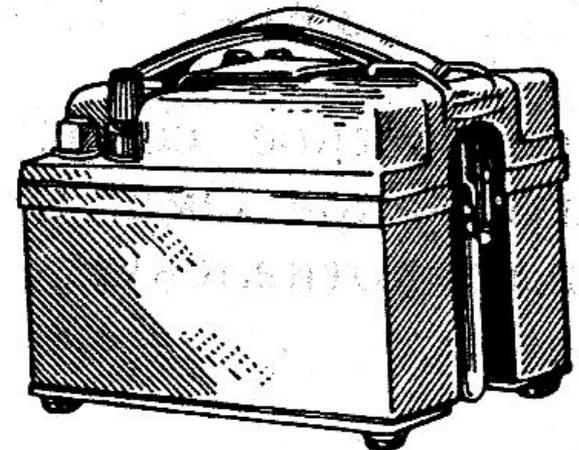
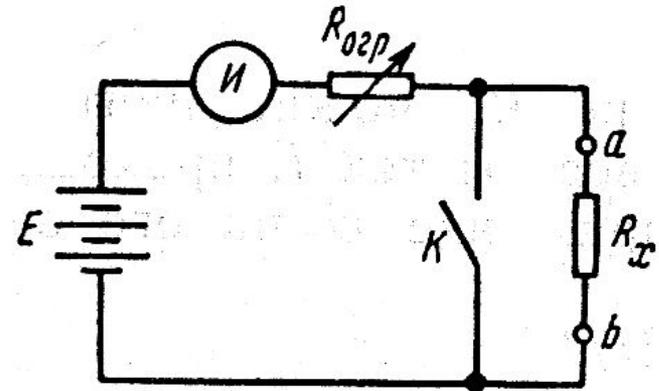
$$K_I = I_1 / I_2, \quad K_U = U_1 / U_2$$

- Для определения тока и напряжения в цепи с нагрузкой показания приборов умножают на коэффициент трансформации
- Правила эксплуатации:
 - Корпус и вторичная обмотка заземлены
 - Трансформатор тока работает в режиме короткого замыкания
 - Трансформатор напряжения работает в режиме холостого хода



18. Омметры, особенности работы, правила пользования

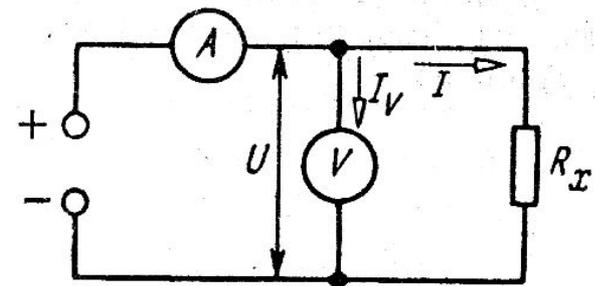
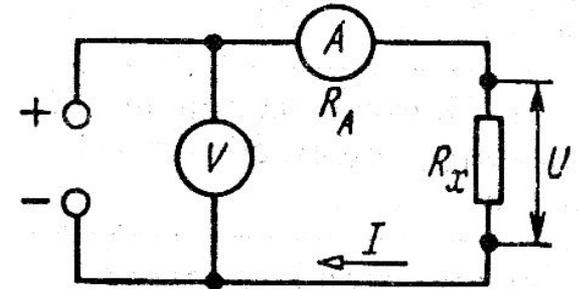
- Омметр – прибор для непосредственного измерения сопротивления
- Измерения проводят на постоянном токе
- Питание:
 - от внутренней батареи сухих элементов
 - от внешней батареи
- Порядок измерения:
 - при присоединенной батарее замыкают ключ K , накоротко замыкая R_x и поворотом рукоятки регулировочного винта ($R_{орп}$) устанавливают стрелку омметра на нулевое деление шкалы
 - размыкают кнопку K
 - производят измерение сопротивления R_x
- Измерение сопротивления изоляции (при отключенном питании) – мегомметр



19. Особенности измерения больших и малых сопротивлений. Методы сравнения, измерение мостом

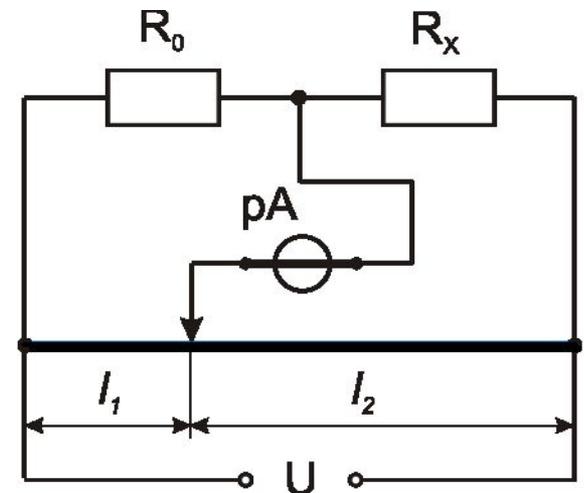
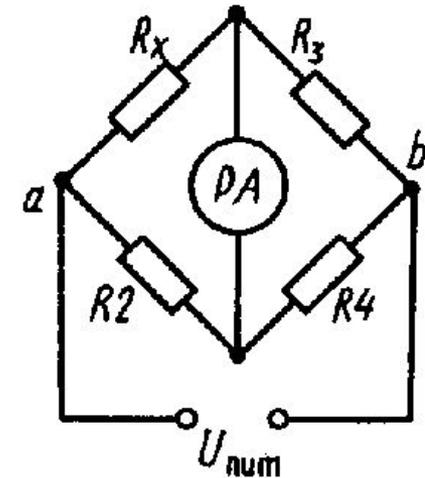
- Метод амперметра-вольтметра – косвенный метод измерения
- Используется закон Ома для участка цепи
- Схема подключения амперметра и вольтметра зависит от величины измеряемого сопротивления
- Схема для измерения больших сопротивлений: $R_x \gg R_A$
- Схема для измерения малых сопротивлений: $R_x \ll R_V$

$$R = \frac{U}{I}$$



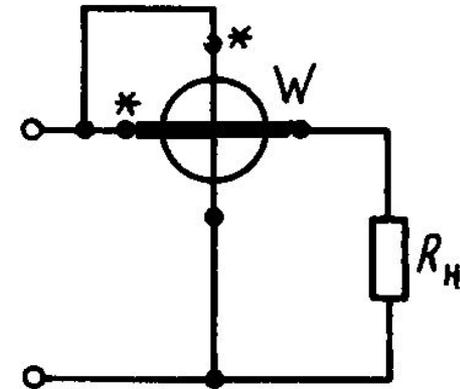
19. Особенности измерения больших и малых сопротивлений. Методы сравнения, измерение мостом

- Мост постоянного тока
- Схема состоит из четырех резисторов, соединенных в виде кольца:
 - к двум противоположным точкам a и b подключен источник питания постоянного тока
 - между другими точками – указатель (индикатор, гальванометр) равновесия схемы
 - резистор R_x и магазины сопротивлений включены в плечи моста
- Условие равновесия моста: указатель показывает ноль
- Порядок измерения:
 - Уравновесить мост
 - Определить сопротивление: $R_x = (R_2 \times R_3) / R_4$
- Реохордный мост :
 - R_0 - постоянное, известное сопротивление
 - Движок реостата перемещают, пока амперметр не покажет ноль (уравновешивание моста)
 - Определяют сопротивление: $R_x = (R_0 \times l_2) / l_1$



20. Измерение мощности в цепях постоянного тока

- Постоянный ток:
 - амперметром и вольтметром ($P = U I$)
 - малая точность
- Ваттметр – прибор электродинамической системы для измерения мощности:
 - Токовая обмотка, подключается последовательно с нагрузкой (толстая линия)
 - Обмотка напряжения, подключается параллельно нагрузке (тонкая линия)
 - * обозначение генераторного зажима – со стороны источника питания
- Достоинства электродинамических ваттметров
 - высокая точность (классы точности 0,1; 0,2; 0,5);
 - пригодность для постоянного и переменного тока частотой 45, 60, 500 Гц и выше
- Недостатки:
 - слабое магнитное поле,
 - небольшой вращающий момент,
 - чувствительность к перегрузкам,
 - высокая стоимость



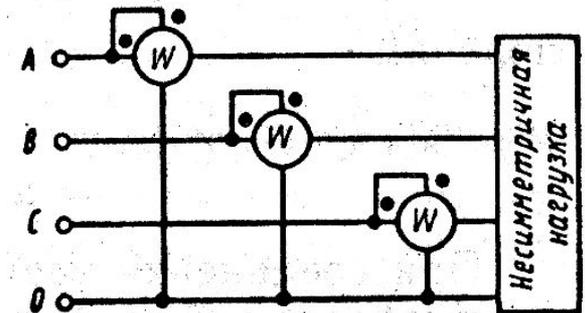
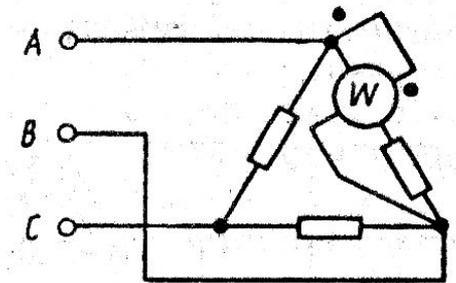
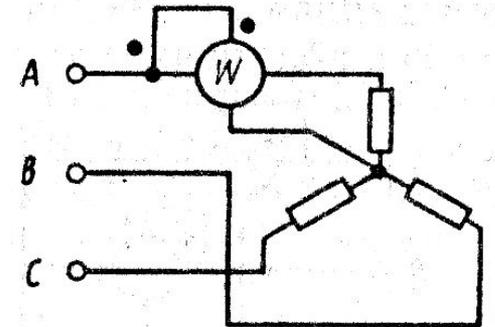
22. Измерение активной и реактивной мощности в цепях трехфазного переменного тока

- Измерение активной мощности
- Метод одного ваттметра:
 - применяется для симметричной нагрузки,
 - измеряется мощность одной фазы P_{ϕ}
 - определяется мощность всей системы

$$P_{3\phi} = 3 P_{\phi}$$

- Метод трех ваттметров
 - применяется для несимметричной нагрузки,
 - измеряется мощность каждой фазы P_A, P_B, P_C
 - определяется мощность всей системы

$$P_{3\phi} = P_A + P_B + P_C$$



Измерение активной и реактивной мощностей, схемы включения

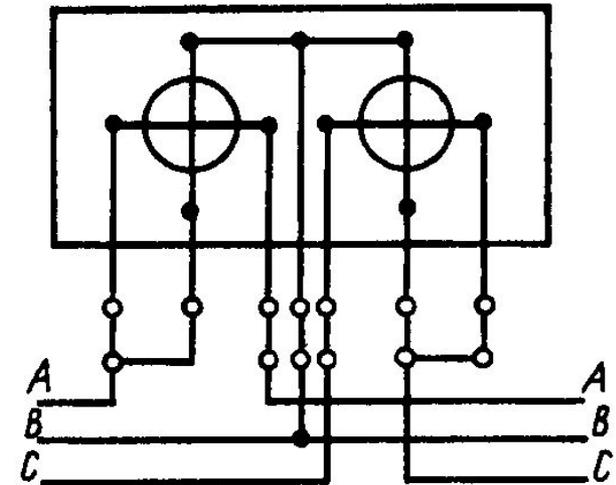
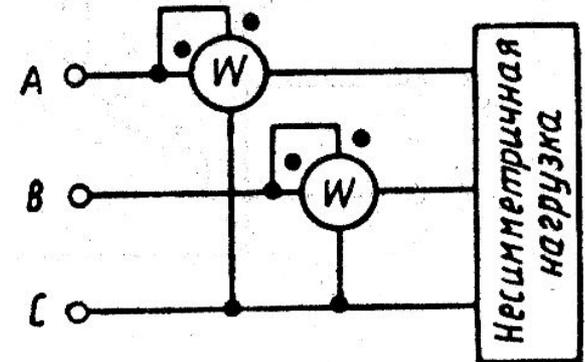
- Измерение активной мощности
- Метод двух ваттметров
 - применяется для любой нагрузки в трехпроводных цепях
 - определяется мощность всей системы

$$P_{3\phi} = P_{W1} + P_{W2}$$

- Особенности метода:
 - Невозможность определения мощности каждой фазы
 - Имеется возможность оценить коэффициент мощности : чем ближе показания приборов друг к другу, тем выше коэффициент мощности
 - Если в цепь подключена симметричная нагрузка (например, электродвигатель), можно определить реактивную мощность:

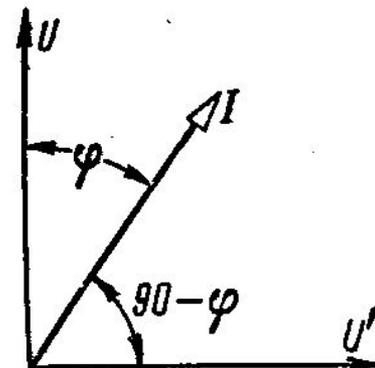
$$Q_{3\phi} = \sqrt{3}(P_{W1} - P_{W2})$$

- Трехфазные ваттметры:
 - Трехэлементный трехфазный ваттметр – на основе метода трех ваттметров
 - Двухэлементный трехфазный ваттметр – на основе метода двух ваттметров



Измерение активной и реактивной мощностей, схемы включения

- Реактивную мощность в трехфазных четырехпроводных цепях можно измерить одним трехэлементным ваттметром активной мощности или тремя одноэлементными
- Мощность, измеряемая одноэлементным ваттметром активной мощности, определяется током I в его последовательной цепи, напряжением U , приложенным к его параллельной цепи, и косинусом угла сдвига фаз между током I и напряжением U
- Если между током I и напряжением U' будет угол сдвига ($90^\circ - \varphi$), то измеряемая ваттметром мощность будет реактивной
- В трехфазных цепях при симметричной нагрузке линейные напряжения U_{BC} , U_{CA} , U_{AB} отстают от соответствующих фазных напряжений U_A , U_B , U_C на углы 90°
- Поэтому при включении последовательной цепи ваттметра на ток I_A и подведении к параллельной цепи его напряжения U_{BC} ваттметр измерит мощность в $\sqrt{3}$ раз большую реактивной мощности фазы А.
- Появление множителя объясняется тем, что приложенное к параллельной цепи ваттметра линейное напряжение U_{BC} больше фазного U_A в $\sqrt{3}$ раз
- Если второй и третий ваттметры (или элементы трехфазного ваттметра) будут включены аналогичным образом, то сумма показаний трех ваттметров, деленная на $\sqrt{3}$, будет равна реактивной мощности трехфазной четырехпроводной цепи



- Векторная диаграмма ваттметра активной мощности, включенного для измерения реактивной мощности

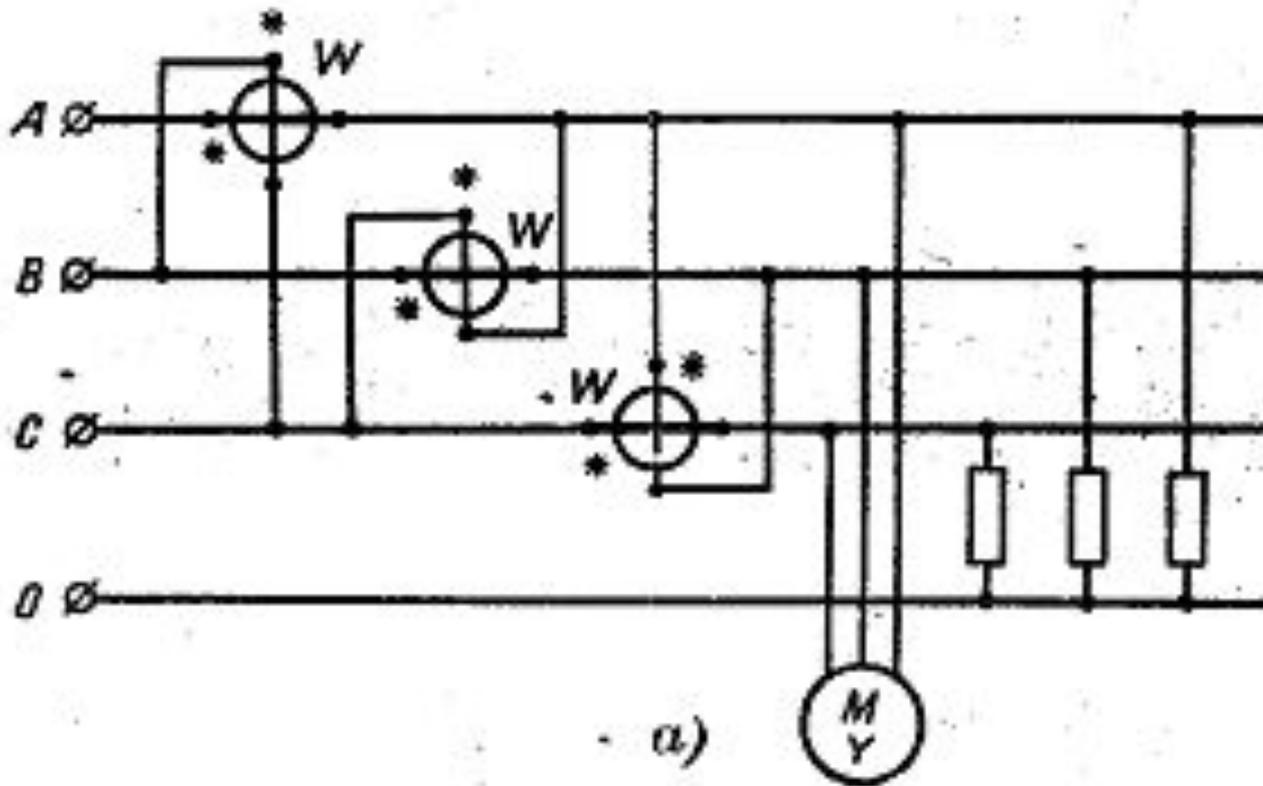
$$IU' \cos(90^\circ - \varphi) =$$

$$= IU' \sin \varphi = Q$$

$$I_A U_{BC} \cos(90^\circ - \varphi) =$$

$$= I_A \sqrt{3} U_A \sin \varphi = \sqrt{3} Q_A$$

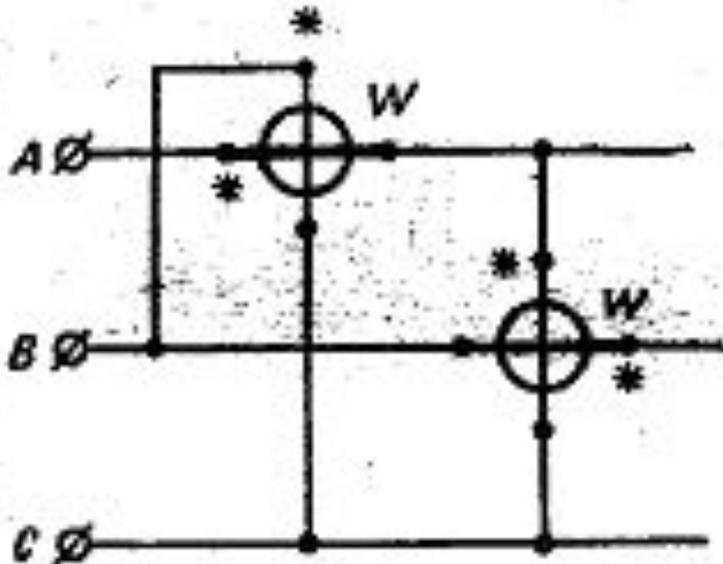
Измерение активной и реактивной мощностей, СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ



- *Включение ваттметров активной мощности для измерения реактивной мощности в четырёхпроводной сети*

Измерение активной и реактивной мощностей, СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ

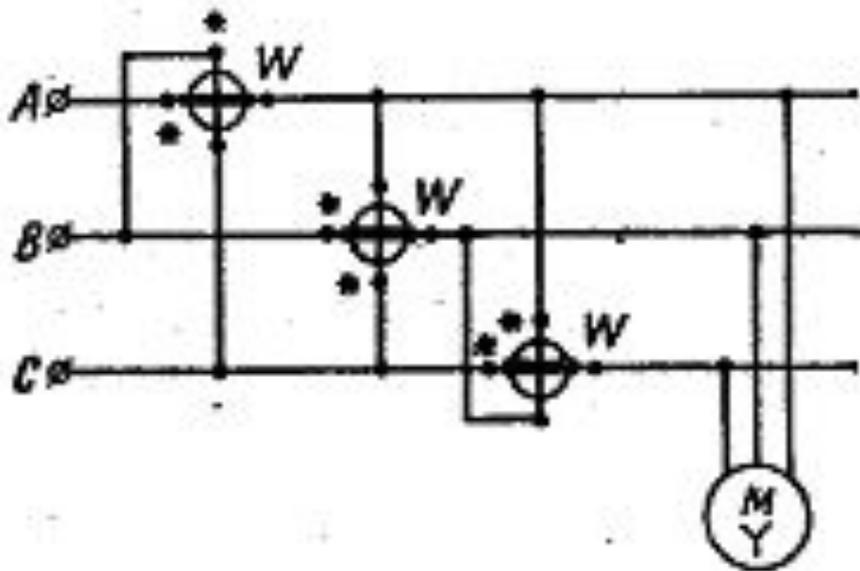
- *Включение ваттметров активной мощности для измерения реактивной мощности в трехпроводной сети*



- **Равномерная нагрузка:**
 - 1. При симметричной системе напряжений и равномерной нагрузке реактивная мощность определяется по схеме двух ваттметров (для измерения активной мощности) как разность показаний ваттметров, умноженная на $\sqrt{3}$.
 - 2. Реактивную мощность можно также измерить двухэлементным ваттметром или двумя одноэлементными ваттметрами активной мощности. Умножив показание ваттметра на $\frac{\sqrt{3}}{2}$, получим реактивную мощность трехфазной цепи

Измерение активной и реактивной мощностей, СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ

- *Включение ваттметров активной мощности для измерения реактивной мощности в трехпроводной сети*



- **Неравномерная нагрузка:**
- Если при симметричной системе напряжений нагрузка неравномерная, тогда мощность можно измерить трехэлементным ваттметром или тремя одноэлементными ваттметрами активной мощности
- Реактивная мощность цепи определяется показанием трехэлементного ваттметра, деленным на $\sqrt{3}$

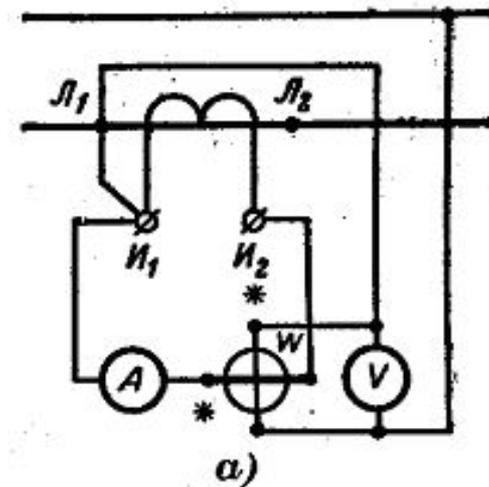
Особенности подключения ваттметра

- Изменение направления тока в одной из катушек вызывает изменение направления вращающего момента и направления поворота подвижной части, что делает отсчет по шкале невозможным, так как шкала прибора односторонняя:
 - Зажим последовательной обмотки, соединяемый с источником питания, называется генераторным
 - Зажим параллельной цепи, соединяемый с последовательной катушкой, также называется генераторным
 - Генераторные зажимы отмечаются звездочками
- Защита от внешних магнитных полей выполняется экранированием или применением астатических измерительных механизмов
- Достоинства электродинамических ваттметров
 - высокая точность (классы точности 0,1; 0,2; 0,5);
 - пригодность для постоянного и переменного тока частотой 45, 60, 500 Гц и выше
- Недостатки:
 - слабое магнитное поле,
 - небольшой вращающий момент,
 - чувствительность к перегрузкам,
 - высокая стоимость

23. Подключение ваттметров через измерительные трансформаторы тока и напряжения. Определение пределов измерения

Подключение ваттметра через трансформатор тока

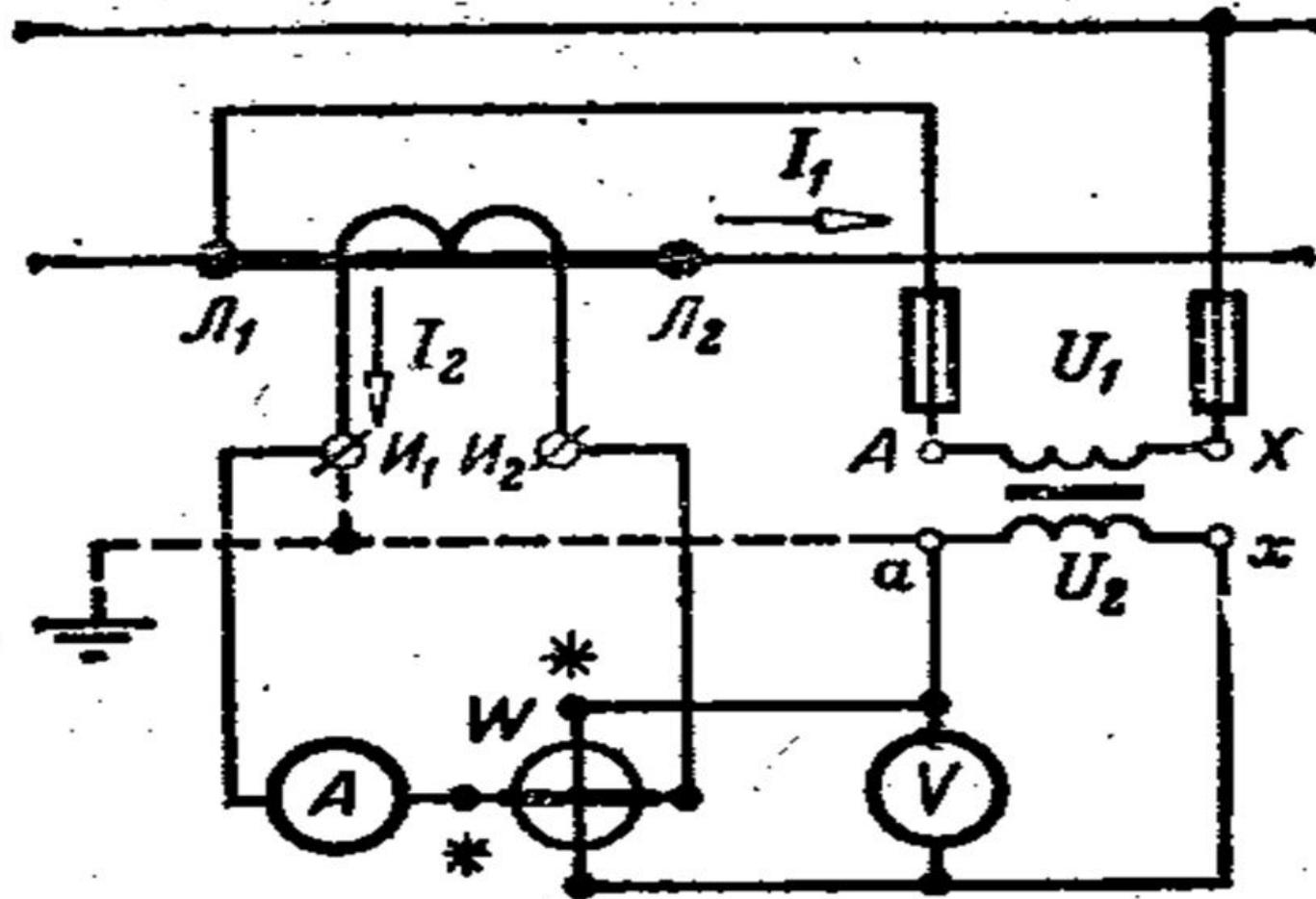
- Измерение мощности в низковольтных цепях с большими токами производится ваттметром с трансформатором тока
- Первичная обмотка трансформатора тока соединяется последовательно с приемником энергии
- К зажимам вторичной обмотки присоединяются последовательно соединенные амперметр и токовая цепь ваттметра
- Параллельная цепь ваттметра и вольтметр присоединяются к проводам первичной цепи
- Зажимы трансформатора Λ_1 и I_1 соединяются между собой так, чтобы генераторные зажимы ваттметра имели один потенциал
- У ваттметров, предназначенных для постоянной совместной работы с определенным трансформатором тока, на шкале наносятся значения мощности первичной цепи и указывается номинальный коэффициент трансформатора тока, с которым произведена градуировка



Подключение ваттметра через трансформаторы тока и напряжения

- Измерение мощности в цепях высокого напряжения производится ваттметром с трансформаторами тока и напряжения
- Первичная обмотка трансформатора тока соединяется последовательно с приемником энергии, к зажимам вторичной обмотки присоединяются последовательно соединенные амперметр и токовая цепь ваттметра
- Первичная обмотка трансформатора напряжения соединяется с проводами первичной цепи, к зажимам вторичной обмотки присоединяются вольтметр и цепь напряжения ваттметра
- Один зажим каждой из вторичных обмоток измерительных трансформаторов и их корпуса заземляются
- Мощность первичной цепи, подлежащей измерению, равна произведению показаний ваттметра и номинальных коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов
- Для облегчения монтажа измерительных цепей зажимы трансформаторов тока размечаются буквами Π_1 и Π_2 (линия) – первичные, I_1 и I_2 (измерение) – вторичные
- Зажимы обмоток трансформатора напряжения размечаются буквами А и Х – первичные, а и х – вторичные

Подключение ваттметра через трансформаторы тока и напряжения

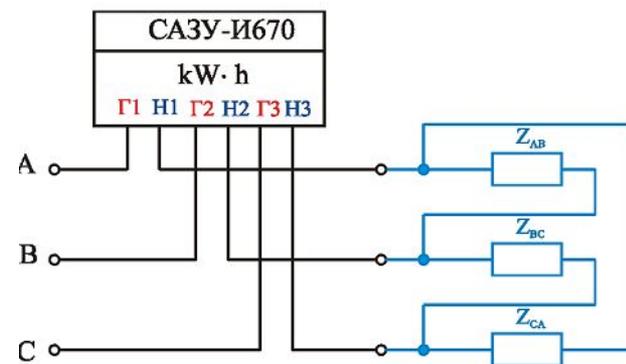
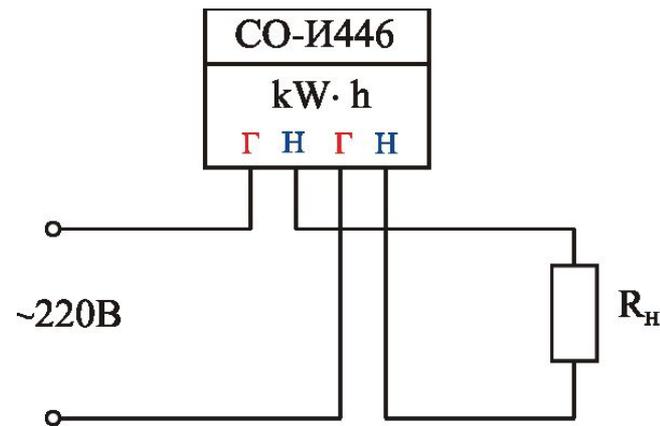


26. Измерение активной и реактивной энергии в трехфазных цепях

- Схемы включения счетчиков электрической энергии в однофазных и трехфазных цепях переменного тока ничем не отличаются от схем включения ваттметров.
- На шкале счетчика активной энергии указываются номинальные напряжения и частота, диапазон токов, у которого меньшая цифра является номинальным током, а верхняя — максимальным током, число оборотов диска на 1 кВт/ч , например, $1 \text{ кВт/ч} = 2500$ оборотов диска.
- Величина потребляемой энергии определяется разностью отсчетов по счетному механизму в конце и в начале временного периода

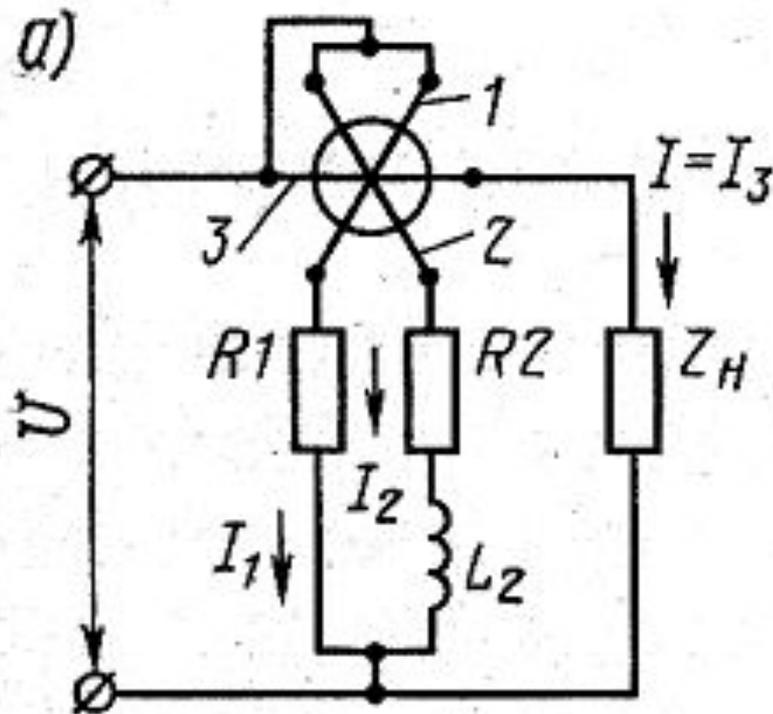
Измерение электрической энергии в цепях постоянного и переменного тока

- Счетчики - интегрирующие приборы для измерения электрической энергии и количества электричества
- Регистрация измеряемой величины производится счетным механизмом (счетчик оборотов)
- Израсходованную энергию можно измерить числом оборотов диска счетчика N
- Постоянная счетчика – коэффициент пропорциональности $k = W / N$, численно равный энергии, израсходованной в сети за время одного оборота диска счетчика
- Схемы подключения счетчиков аналогичны схема подключения ваттметров электродинамической системы



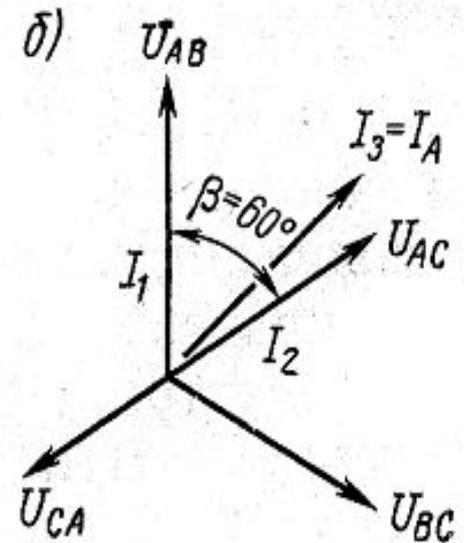
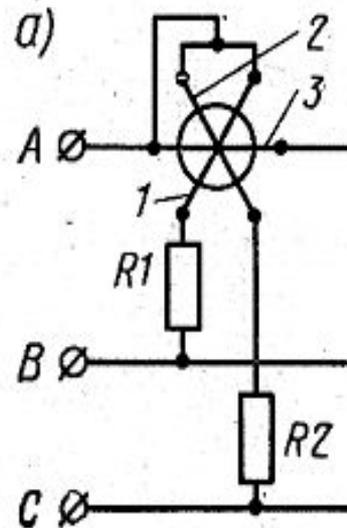
27. Электродинамические и ферродинамические фазометры

- Электродинамический фазометр представляет собой логометр
- неподвижная катушка его является катушкой тока
- подвижные катушки вместе с добавочными резисторами образуют две параллельные ветви цепи напряжения
- в одной из этих ветвей ток совпадает по фазе с напряжением, так как добавочный резистор имеет активное сопротивление
- в другой ветви ток отстает по фазе от напряжения на 90° , так как добавочный резистор имеет реактивное сопротивление
- угол поворота подвижной части фазометра зависит от угла ϕ сдвига фаз между током и напряжением цепи
- шкала фазометра градуируется в единицах угла ϕ или $\cos \phi$
- показания электродинамического фазометра зависят от частоты, так как при ее изменении сопротивление резистора первой ветви остается неизменным, а второй ветви изменяется

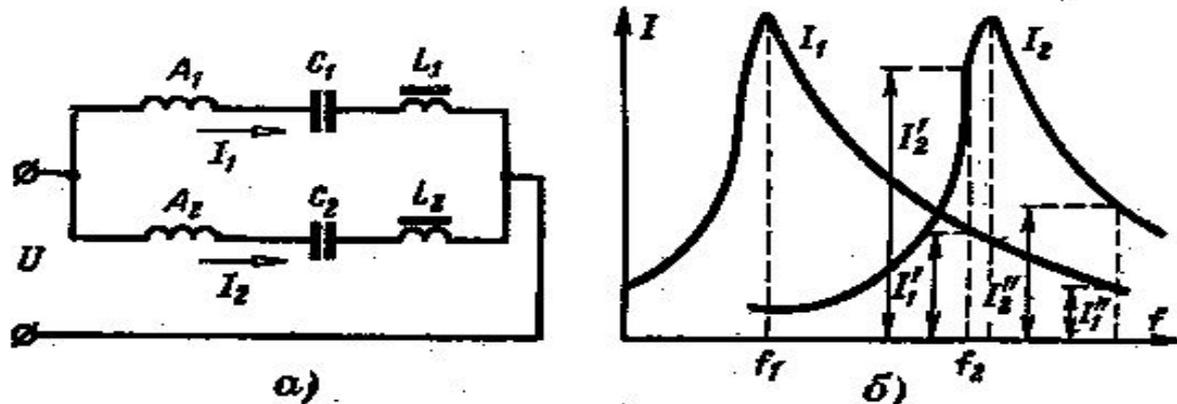


Измерение частоты, коэффициента мощности

- Электродинамические фазометры трехфазного тока имеют аналогичное устройство, но в двух параллельных ветвях их включены одинаковые активные добавочные резисторы, так как эти ветви включаются на линейные напряжения, сдвинутые по фазе на 60° , например U_{AB} и U_{AC}
- По этому принципу устроены электродинамические фазометры типа Д510.
- Фазометры можно применять только при симметричной системе напряжений и токов
- Показания их не зависят от частоты

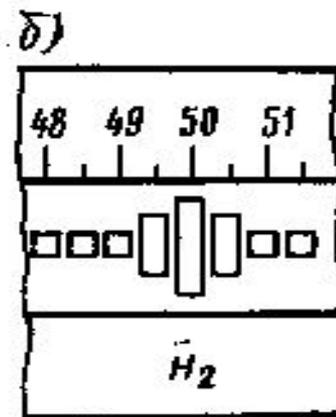
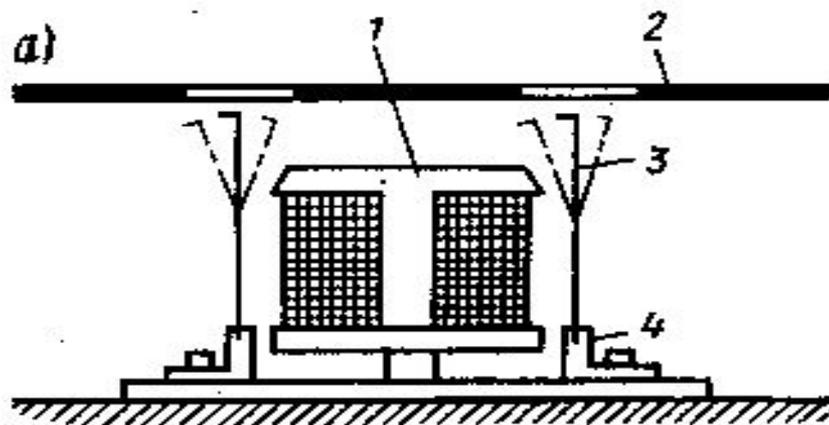


28. Электромагнитный частотомер



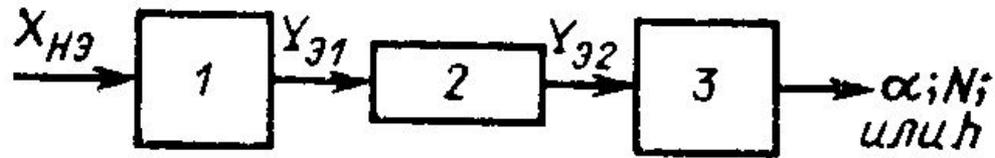
- Электромагнитный частотомер:
 - В одной параллельной ветви прибора соединены катушка логометра A_1 , конденсатор C_1 и катушка L_1 , которые настроены в резонанс при частоте f_1 . Другая параллельная ветвь аналогична первой и настроена в резонанс на другую частоту f_2 .
 - Кривые токов в катушках прибора в зависимости от частоты показывают, что при изменении частоты от f_1 до f_2 каждому значению частоты соответствует определенное отношение токов I_1 / I_2 , а, следовательно, и определенный угол поворота подвижной части. На шкале прибора наносятся значения частоты.
 - Частотомеры типа ЭЧ имеют класс точности 1,5 и 2,5, номинальную частоту от 50 до 1 500 Гц и номинальное напряжение 36, 100, 127 и 220 В.

29. Вибрационный частотомер



- Вибрационный частотомер:
 - измерительный механизм частотомера с непосредственным возбуждением: электромагнит 1, обмотка которого включается в контролируемую сеть параллельно. В поле электромагнита находятся два ряда гибких стальных пластин 3, закрепленных в основаниях 4. Прибор имеет лицевую панель 2, в окнах которой видны отогнутые края пластин, окрашенные в белый цвет
 - . Под влиянием переменного поля электромагнита, вызванного током, частота которого измеряется, пластины частотомера в момент прохождения тока через амплитудное значение притягиваются к электромагниту и удаляются от него при каждом нулевом значении тока. С наибольшей амплитудой колеблется та пластина, частота собственных колебаний которой равна удвоенному значению измеряемой частоты. Отогнутый конец этой пластины виден в окне шкалы, как прямоугольник, и указывает на шкале значение частоты
 - Резонансные частотомеры электромагнитной системы выполняются на диапазоны частот 45—55 и 450—550 Гц. Их точность соответствует классам 1,0 и 1,5

Измерение неэлектрических величин



- Упрощенная структурная схема измерения неэлектрической величины электрическим методом:
 - Первичный измерительный преобразователь 1 воспринимает измеряемую величину $X_{нэ}$ и преобразует ее в электрическую $Y_{э1}$ соответственно функции преобразования
 - Эта величина, называемая аналогом измеряемой неэлектрической величины $X_{нэ}$, с помощью измерительной линии 2 передается на электроизмерительный, показывающий, регистрирующий или интегрирующий прибор 3

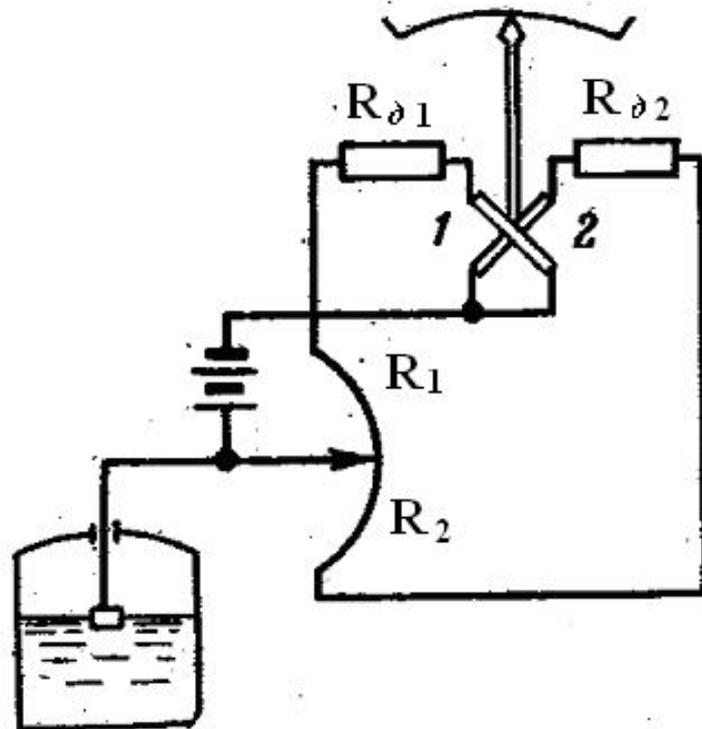
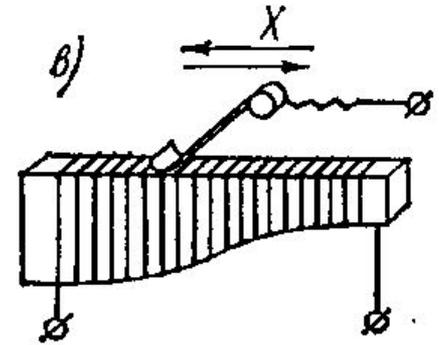
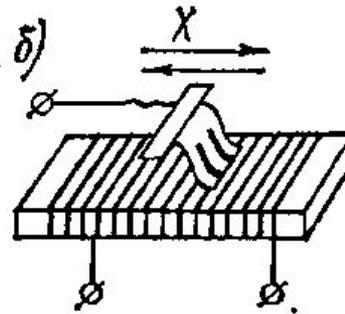
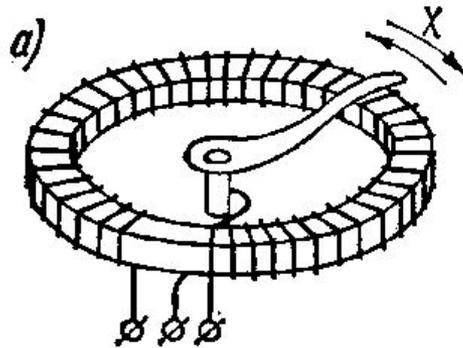
Измерение неэлектрических величин

- Основные достоинства измерения неэлектрических величин электрическими методами:
 - *Дистанционность* электрических измерений, т.е. возможность измерения на расстоянии
 - *Простота изменения чувствительности* средства измерения; это позволяет легко устанавливать требуемый минимальный диапазон измерения и дает возможность увеличить точность отсчета значения измеряемой величины
 - *Применение* для регистрации или наблюдения быстро или сложно изменяющихся во времени неэлектрических величин *электрических регистрирующих приборов*, в том числе светолучевых или электронных осциллографов
 - *Удобство* (возможность) *введения измерительной информации* о значениях неэлектрических величин в *устройства автоматического управления и защиты контролируемых объектов*, а также в электронные вычислительные устройства
- Преобразователи делятся на
 - *Параметрические* - представляющие любую неэлектрическую величину в виде активного, индуктивного или емкостного сопротивления
 - *Генераторные* - выходным сигналом является электродвижущая сила

Измерение неэлектрических величин

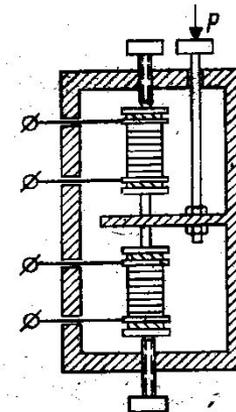
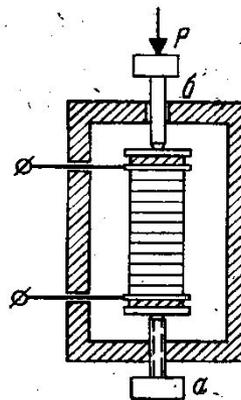
- Выходной параметр реостатных преобразователей – *сопротивление* – измеряется обычно с помощью мостовой схемы
- К достоинствам преобразователей относится
 - возможность получения высокой точности,
 - значительные по уровню выходные сигналы
 - относительная простота конструкции
- Недостатки:
 - наличие скользящего контакта,
 - необходимость относительно больших перемещений движка,
 - необходимость относительно значительного усилия для его перемещения
- Применяются реостатные преобразователи для преобразования сравнительно больших перемещений (угловых, линейных) и других электрических величин (усилия, давления и т.д.), которые могут быть преобразованы в перемещение
- Пример применения реостатного преобразователя для измерения уровня или объема жидкости

Измерение неэлектрических величин



Реостатные преобразователи для угловых (а), линейных (б) перемещений и для функционального преобразования линейных перемещений (в)

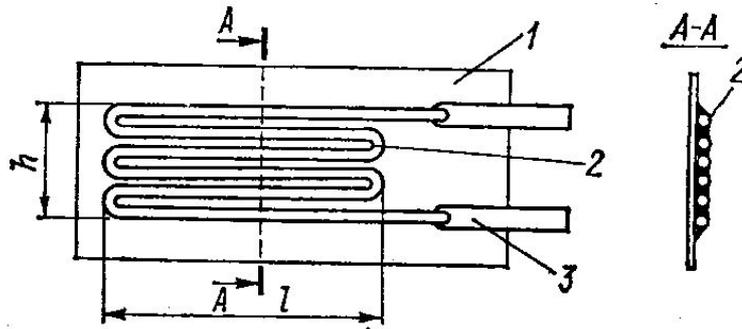
Измерение неэлектрических величин



*Преобразователь
и с угольными
шайбами*

- Преобразователи контактного сопротивления
- Столбик из 10 – 15 угольных шайб (диаметром 0,5 – 1 см), на концах которого расположены латунные диски с выводами для включения в измерительную цепь, зажат между двумя винтами *а* и *б*, изолированными от столбика слюдяными прокладками
- Электрическое сопротивление столбика зависит от его сжатия, так как при этом изменяется переходное сопротивление между шайбами
- Таким образом, по изменению электрического сопротивления столбика можно определить механическую силу *Р*, действующую на винт *б*
- Если применить дифференциальный преобразователь с двумя столбиками, включенными в два смежных плеча моста, то получим:
 - при действии измеряемой силы *Р* увеличение сжатия одного и уменьшение сжатия другого столбика вызовут увеличение отношения их сопротивлений, т.е. увеличение отношения двух плеч моста, что приводит к повышению точности измерения;
 - при таком включении столбиков изменение температуры, вызывающее одинаковое изменение их сопротивлений, не влияет на показание измерителя, что также приводит к повышению точности измерения

Измерение неэлектрических величин

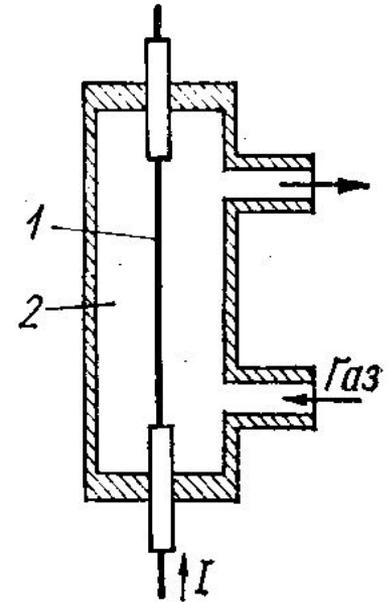


Тензочувствительный
проволочный
преобразователь

- Тензочувствительные преобразователи
- В основу работы тензочувствительных преобразователей (тензорезисторов) положен тензоэффект, заключающийся в изменении активного сопротивления проводника (полупроводника) под действием вызываемого в нем механического напряжения и деформации
- Если проволоку подвергнуть механическому воздействию, например растяжению, то сопротивление ее изменится
- Относительное изменение сопротивления проволоки $\Delta R / R = S \Delta l / l$, где S – коэффициент тензочувствительности; $\Delta l / l$ – относительная деформация проволоки
- Изменение сопротивления проволоки при механическом воздействии на нее объясняется изменением геометрических размеров (длины, диаметра) и удельного сопротивления материала
- Тензочувствительные преобразователи, широко применяемые в настоящее время, представляют собой тонкую зигзагообразно уложенную и приклеенную к полоске бумаги (подложке 1) проволоку 2 (проволочную решетку)
- Преобразователь включается в схему с помощью привариваемых или припаиваемых выводов 3
- Преобразователь наклеивается на поверхность исследуемой детали так, чтобы направление ожидаемой деформации совпадало с продольной осью проволочной решетки
- Достоинства этих преобразователей:
 - линейность функции преобразования,
 - малые габариты и масса,
 - простота конструкции.
- Недостатком их является малая чувствительность
- Используются тензорезисторы для измерения деформаций и других неэлектрических величин: усилий, давлений, моментов и др

Измерение неэлектрических величин

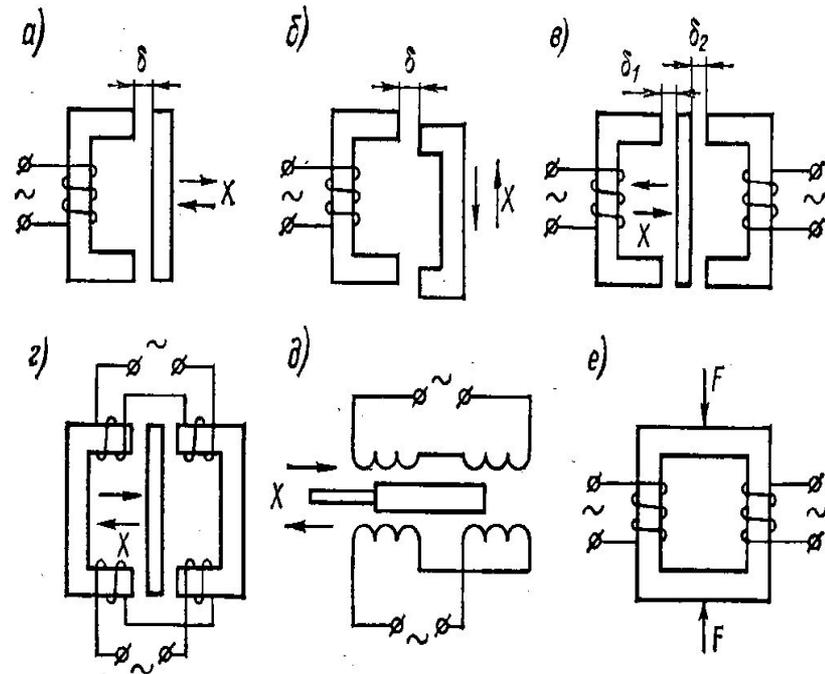
- Термочувствительные преобразователи
- Принцип действия термочувствительных преобразователей (терморезисторов, термосопротивлений) основан на зависимости электрического сопротивления проводников или полупроводников от температуры
- Прохождение электрического тока по проводу сопровождается выделением тепла, которое частично идет на нагревание провода, частично отдается в окружающую среду конвекцией, теплопроводностью и излучением
- При установившемся тепловом равновесии температура провода и его сопротивление зависят от тока в проводе и от причин, влияющих на отдачу тепла в окружающую среду
- К ним относятся размеры провода и среды, скорость движения среды, ее состав, плотность и др.
- Указанные зависимости используются для измерения температуры, скорости, плотности и состава газовой среды по сопротивлению провода
- Провод, предназначенный для указанной цели, является измерительным преобразователем и носит название *терморезистора*
- При применении терморезистора необходимо создать условия, в которых измеряемая неэлектрическая величина оказывает наибольшее влияние на сопротивление терморезистора, а остальные величины, наоборот, по возможности не влияют на него
- В приборах для газового анализа – газоанализаторах – для измерения теплопроводности используется платиновый терморезистор 1, помещенный в камеру 2 с анализируемым газом



Преобразователь газоанализатора, основанный на принципе измерения теплопроводности

Измерение неэлектрических величин

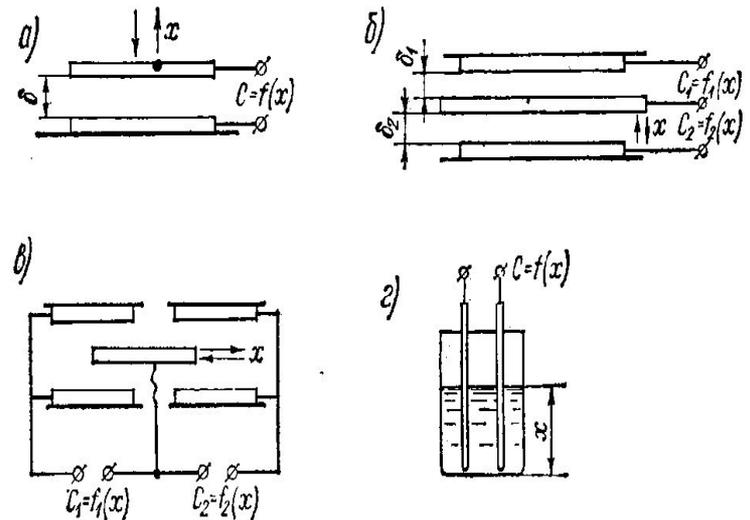
- Индуктивные преобразователи
- Принцип действия преобразователей основан на зависимости индуктивности или взаимной индуктивности обмоток на магнитопроводе от положения, геометрических размеров и магнитного состояния элементов их магнитной цепи
- Индуктивность и взаимную индуктивность можно изменять:
 - воздействуя на длину δ ,
 - сечение воздушного участка магнитопровода s ,
 - на потери в магнитопроводе и другими путями
- Конструкция преобразователя определяется главным образом значением измеряемого перемещения
- Габариты преобразователя выбирают, исходя из необходимой мощности выходного сигнала и других технических требований
- Для измерения выходного параметра индуктивных преобразователей наибольшее применение получили мостовые схемы (равновесные и неравновесные), а также компенсационная схема (в автоматических приборах) для дифференциальных трансформаторных преобразователей
- Индуктивные преобразователи используются для преобразования перемещения и других неэлектрических величин, которые могут быть преобразованы в перемещение (усилие, давление, момент и т.д.)
- Достоинства:
 - значительными по мощности выходными сигналами,
 - простота и надежность в работе
- Недостатки:
 - наличие обратного воздействия преобразователя на измеряемый объект (воздействие электромагнита на якорь)
 - влияние инерции якоря на частотную характеристику прибора



Индуктивные преобразователи с изменяющейся длиной зазора (а), с изменяющимся сечением зазора (б), дифференциальный (в), дифференциальный трансформаторный (г), дифференциальный трансформаторный с разомкнутой магнитной цепью (д) и магнитоупругий (е)

Измерение неэлектрических величин

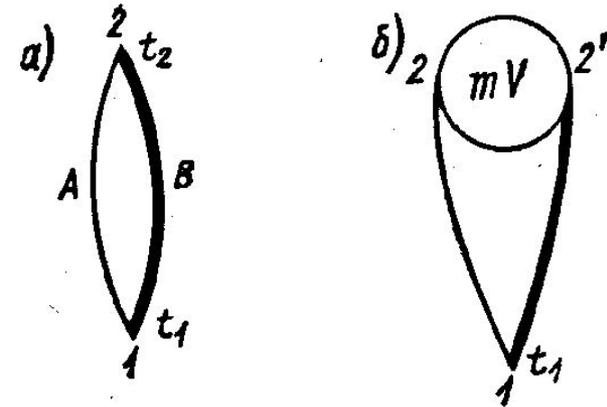
- Емкостные преобразователи основаны на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, взаимного расположения его обкладок и от диэлектрической проницаемости среды между ними
- Устройство преобразователя емкостного уровнемера:
 - Емкость между электродами, опущенными в контролируемый сосуд, зависит от уровня жидкости, так как изменение уровня ведет к изменению диэлектрической проницаемости среды между электродами
- Изменением конфигурации пластин можно получить желаемый характер зависимости показаний прибора от объема (массы) жидкости
- Для измерения выходного параметра емкостных преобразователей применяются равновесные и неравновесные мостовые схемы и схемы с использованием резонансных контуров
- Последние позволяют создавать приборы с высокой чувствительностью, способные реагировать на перемещения порядка 10^{-7} мм.
- Емкостные преобразователи имеют малую емкость, поэтому измерение их емкости производят при повышенной или высокой частоте, применяя при этом электронные усилители
- Достоинства емкостных преобразователей:
 - простота устройства,
 - высокая чувствительность
 - возможность получения малой инерционности преобразователя.
- Недостатки:
 - влияние внешних электрических полей, паразитных емкостей, температуры, влажности,
 - относительная сложность схем включения
 - необходимость в специальных источниках питания повышенной частоты



Емкостные преобразователи с изменяющимся расстоянием между пластинами (а), дифференциальный (б), дифференциальный с переменной активной площадью пластин (в), с изменяющейся диэлектрической проницаемостью среды между пластинами (г)

Измерение неэлектрических величин

- Термоэлектрические преобразователи основаны на термоэлектрическом эффекте, возникающем в цепи термопары
- При разности температур точек 1 и 2 соединения двух разнородных проводников А и В, образующих термопару, в цепи термопары возникает термоЭДС
- Чтобы термоЭДС в цепи термопары однозначно определялась температурой рабочего конца, необходимо температуру свободных концов термопары поддерживать одинаковой и неизменной
- Градуировка термоэлектрических термометров – приборов, использующих термопары для измерения температуры, - производится обычно при температуре свободных концов 0°C
- Градуировочные таблицы для стандартных термопар также составлены при условии равенства температуры свободных концов 0°C
- При практическом применении термоэлектрических термометров температура свободных концов термопары не равна 0°C , и поэтому вводят поправку

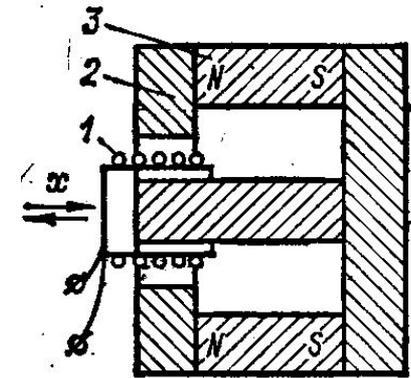


Термопара (а) и способ включения прибора в цепь термопары (б)

Измерение неэлектрических величин

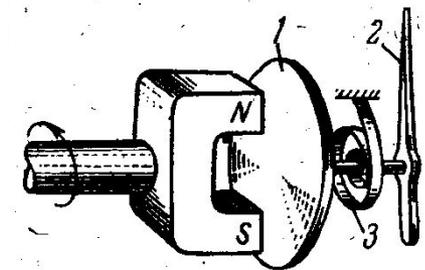
$$e = -\omega \frac{d\Phi}{dt}$$

- Индукционные преобразователи основаны на использовании закона электромагнитной индукции, согласно которому ЭДС, индуцированная в катушке, зависит от количества витков и скорости изменения магнитного потока, сцепленного с катушкой
- Индукционные преобразователи применяются для измерения скорости линейных и угловых перемещений
- Выходной сигнал индукционных преобразователей может быть проинтегрирован или продифференцирован во времени с помощью электрических интегрирующих или дифференцирующих устройств
- После этих преобразований сигнал становится пропорциональным соответственно перемещению или ускорению
- Поэтому индукционные преобразователи используются также для измерения линейных и угловых перемещений и ускорений
- Наибольшее применение индукционные преобразователи получили в приборах для измерения угловой скорости (тахометрах) и в приборах для измерения параметров вибрации, т.е. для измерения линейных и угловых перемещений и ускорений (в виброметрах и акселерометрах)
- Погрешности индукционных преобразователей определяются главным образом изменением магнитного поля с течением времени и при изменении температуры, а также температурными изменениями сопротивления обмотки
- Основные достоинства индукционных преобразователей заключаются в
 - сравнительной простоте конструкции,
 - надежности работы
 - высокой чувствительности.
- Недостаток – ограниченный частотный диапазон измеряемых величин



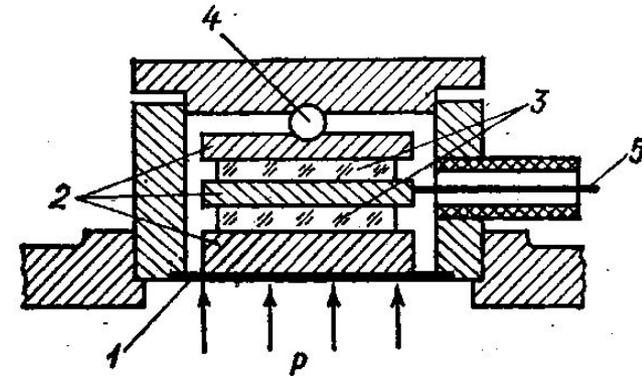
- *Индукционный преобразователь:*
 - 1 – катушка
 - 2 – магнитопровод
 - 3 – постоянный магнит

- *Устройство тахометра с вращающимся постоянным магнитом:*
 - 1 – алюминиевый диск
 - 2 – указатель
 - 3 – пружина



Измерение неэлектрических величин

- Пьезоэлектрические преобразователи основаны на использовании *прямого пьезоэлектрического эффекта*, заключающегося в появлении электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллов (кварца, сегнетовой соли и др.) под влиянием механических напряжений
- Устройство и принцип действия пьезоэлектрического преобразователя для измерения давления газа:
 - Давление p через металлическую мембрану 1 передается на зажатые между металлическими прокладками 2 кварцевые пластинки 3
 - Шарик 4 служит для равномерного распределения давления по поверхности кварцевых пластинок
 - Средняя прокладка соединена с выводом 5, проходящим через втулку из хорошего изоляционного материала
 - При воздействии давления p между выводом 5 и корпусом преобразователя возникает разность потенциалов
 - По разности потенциалов U судят о значении давления p
- В пьезоэлектрических преобразователях главным образом применяется *кварц*, у которого пьезоэлектрические свойства сочетаются с высокой механической прочностью и высокими изоляционными свойствами, а также с независимостью пьезоэлектрической характеристики от температуры в широких пределах
- Размеры пластин и их число выбираются исходя из конструктивных соображений и требуемого значения зарядов
- Заряд, возникающий в пьезоэлектрическом преобразователе, «стекает» по изоляции и входной цепи измерительного прибора
- Поэтому приборы, измеряющие разность потенциалов на пьезоэлектрических преобразователях, должны иметь высокое входное сопротивление ($10^{12} - 10^{15}$ Ом), что практически обеспечивается применением электронных усилителей с высоким входным сопротивлением
- Из-за «стекания» заряда эти преобразователи используются для измерения только быстро изменяющихся величин (переменных усилий, давлений, параметров вибраций, ускорений и т.д.)



Пьезоэлектрический преобразователь для измерения давления:

1 – мембрана

2 – металлические прокладки

3 – кварцевые пластинки

4 – шарик

5 – вывод