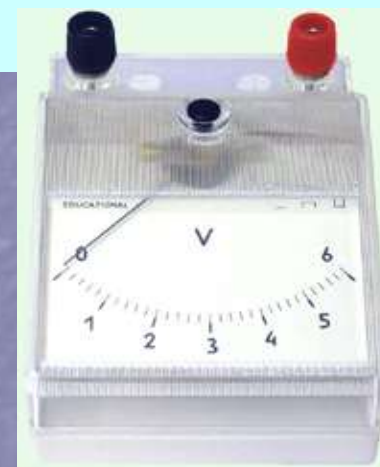


Электроизмерительные

приборы — класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин.



Электроизмерительные приборы — класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин. В группу электроизмерительных приборов и другие средства измерений — меры, преобразователи, комплексные установки.



Амперметр переменного
тока



Вольтметр переменного
тока



Омметр



Мультиметр (тестер)

- **амперметры** — для измерения силы электрического тока;
- **вольтметры** — для измерения электрического напряжения;
- **омметры** — для измерения электрического сопротивления;
- **мультиметры** (иначе тестеры, авометры) — комбинированные приборы
- **частотомеры** — для измерения частоты колебаний электрического тока;
- **магазины сопротивлений** — для воспроизведения заданных сопротивлений;
- **ваттметры и варметры** — для измерения мощности электрического тока;
- **электрические счётчики** — для измерения потреблённой электроэнергии

1733—1737 гг французский учёный [Ш. Дюфе](#) создал [электроскоп](#). В 1752—1754 гг его работы продолжили [М. В. Ломоносов](#) и [Г. В. Рихман](#) в процессе исследования электричества. В середине восьмидесятых годов XVIII века [Ш. Кулон](#) изобрёл [крутильные весы](#) — электростатический измерительный прибор. В первой половине XIX века, когда уже были заложены основы [электродинамики](#) (законы [Био — Савара](#) и [Фарадея](#), принцип [Ленца](#)), построены гальванометры и изобретены основные методы электрических измерений — баллистический ([Э. Ленц](#), 1832 г.), мостовой ([Кристи](#), 1833 г.), компенсационный ([И. Поггендорф](#), 1841 г.). В середине XIX века отдельные ученые в разных странах создают меры электрических величин, принимаемые ими в качестве эталонов, производят измерения в этих мерами, и даже проводят сличение мер в разных лабораториях. В России в 1848 г. академик [Б. С. Якоби](#) предложил в качестве эталона единицы сопротивления проволоку длиной 25 [футов](#) (7,61975 м) и весом 345 [гран](#) (22,4932 г), навитую спирально на цилиндр из изолирующего материала. Во Франции эталоном единицы электрической энергии проволока диаметром в 4 мм и длиной в 1 км (единица Бреге). В Германии таким эталоном являлся столб ртути длиной 1 м и сечением 1 мм² при 0° С. Вторая половина XIX века была периодом роста новой отрасли знаний — [электротехники](#). Создание генераторов электрической энергии и применение их для различных целей привлекли крупнейших электротехников второй половины XIX в. заняться изобретением и разработкой различных электроизмерительных приборов, без которых стало невозможно развитие теоретической и практической электротехники.

В 1871 году [А. Г. Столетов](#) впервые применил баллистический метод для магнитных измерений и исследовал зависимость магнитной восприимчивости ферромагнетиков от напряженности магнитного поля, создав этим основы правильного подхода к расчету магнитных цепей. Этот метод используется в магнитных измерениях и в настоящее время.

В 1880—1881 гг. французские инженер Дебре и физиолог [д'Арсонваль](#) построили ряд высокочувствительных гальванометров с зеркальным отсчетом.

В 1881 г. немецкий инженер Ф. Уппенборн изобрел электромагнитный прибор с эллиптическим сердечником, а в 1886 г. он же предложил электромагнитный прибор с двумя цилиндрическими сердечниками.

В 1894 г. немецкий инженер Т. Бругер изобрел логометр.

В развитии электроизмерительной техники конца второй половины XIX и начала XX ст. значительные заслуги принадлежат [М. О. Доливо-Добровольскому](#). Он разработал амперметры и вольтметры, индукционные приборы с вращающимся магнитным полем (ваттметр, фазометр) и ферродинамический ваттметр.



В первой половине восемнадцатого века один из французских ученых Ш. Дюфе изобрел прибор для изучения электричества в атмосфере, и назвал его электроскоп. Спустя несколько лет, его дело подхватил российский естествоиспытатель М. Ломоносов. Проходит совсем немного времени и в середине 80-х годов восемнадцатого века такая наука, как электростатика совершает рывок вперед, после изобретения Ш. Кулоном его знаменитых крутильных весов (электростатическое устройство).

- Для любого измерения, необходимо оперировать какими-то эталонными величинами. Ученые начинают разрабатывать свои единицы измерений. Российский физик Б.С.Якоби предлагает за одну единицу электрического сопротивления принять сопротивление медной проволоки, длина которой составляла 25 футов (7,62 м), а вес равнялся 345 гран (22,5 г). Французскими академиками принимается несколько другая единица измерения – единица Бреге. Бреге равнялась сопротивлению стальной проволоки длиной 1 км. и диаметром 4 мм. В Германии за единицу сопротивления приняли ртутный столб и т.д.
- В конце 19-го столетия двое французских ученых д'Арсонваль и Депре создают первый высокочувствительный гальванометр. Спустя несколько лет российский физик М. Доливо-Добровольский создает приборы, которые позже лягут в основу современных вольтметров, амперметров и ваттметров.

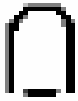
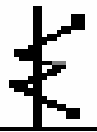
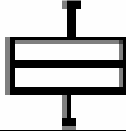
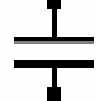
- В развитии электроизмерительной техники конца второй половины XIX и начала XX ст. значительные заслуги принадлежат М. О. Доливо-Добровольскому. Он разработал электромагнитные амперметры и вольтметры, индукционные приборы с вращающимся магнитным полем (ваттметр, фазометр) и ферродинамический ваттметр

Классификация приборов

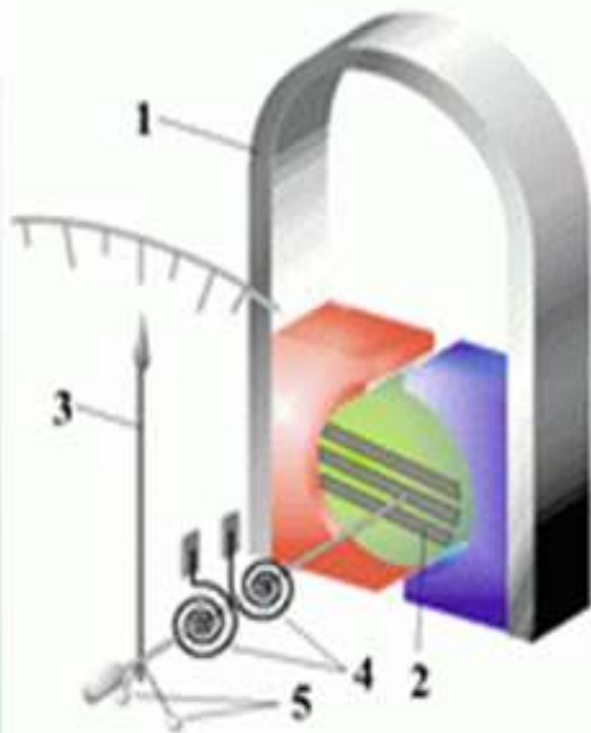
- Приборы магнитоэлектрической системы
- Приборы электромагнитной системы
- Приборы электродинамической системы
- Приборы электростатической системы

Условные обозначения систем приборов

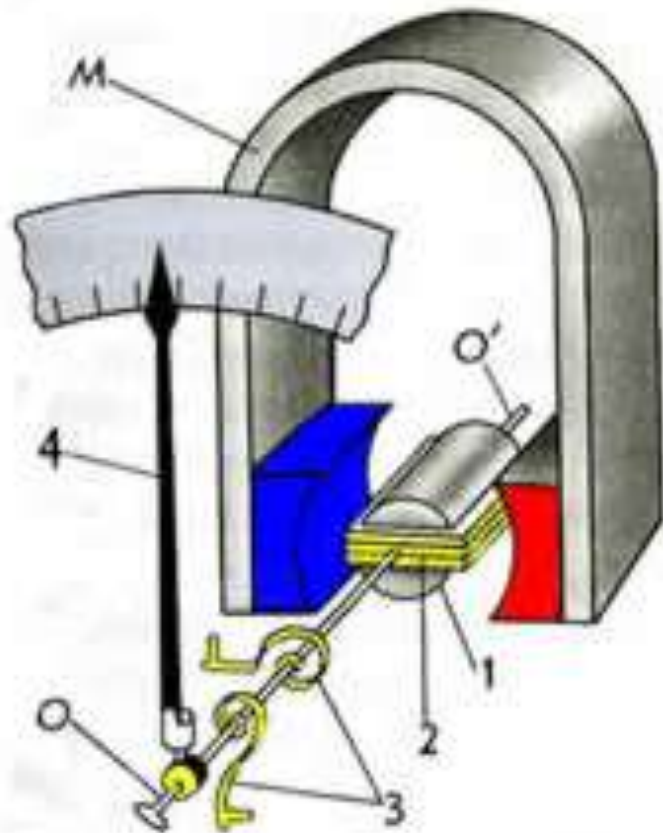
Условные обозначения систем приборов

<i>Система прибора</i>	<i>Условное обозначение</i>
Магнитоэлектрическая	
Электромагнитная	
Электродинамическая	
Электростатическая	

Приборы магнитоэлектрической системы

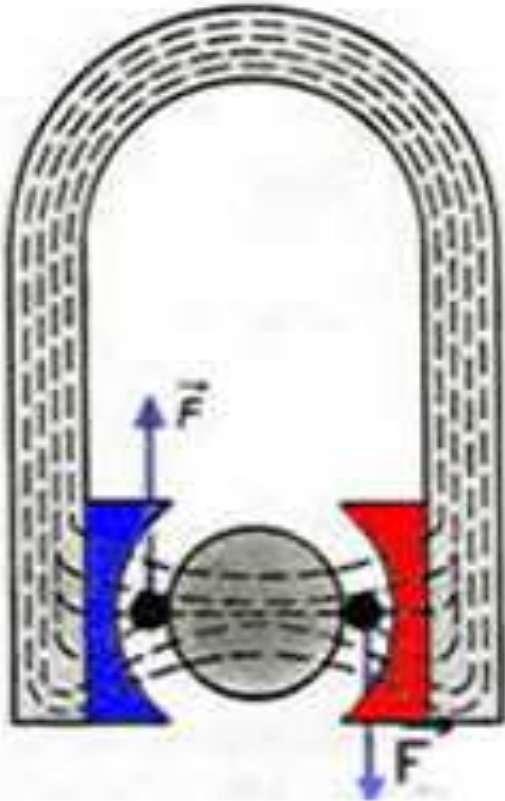


1. Постоянный магнит
2. Подвижная катушка с сердечником
3. Стрелка
4. Спиральные пружины
5. Противовесы



- Берут лёгкую алюминиевую рамку 2 прямоугольной формы, наматывают на неё катушку из тонкого провода. Рамку крепят на двух полуосях О и О', к которым прикреплена также стрелка прибора 4. Ось удерживается двумя тонкими спиральными пружинами 3. Силы упругости пружин, возвращающие рамку к положению равновесия в отсутствие тока, подобраны такими, чтобы были пропорциональными углу отклонения стрелки от положения равновесия. Катушку помещают между полюсами постоянного магнита М с наконечниками формы полого цилиндра. Внутри катушки располагают цилиндр 1 из мягкого железа. Такая конструкция обеспечивает радиальное направление линий магнитной индукции в области нахождения витков катушки (см рисунок). В результате при любом положении катушки силы, действующие на неё со стороны магнитного поля, максимальны и при неизменной силе тока постоянны.

- Увеличивая силу тока в рамке в 2 раза можно заметить, что рамка повернётся на угол, вдвое больший. Силы, действующие на рамку с током прямо пропорциональны силе тока, то есть можно, проградуировав прибор, измерять силу тока в рамке. Точно так же можно прибор настроить на измерение напряжения в цепи, если проградуировать шкалу в вольтах, причём сопротивление рамки с током должно быть выбрано очень большим по сравнению с сопротивлением участка цепи, на котором измеряем напряжение, так как вольтметр подсоединяют параллельно к потребителю тока и вольтметр не должен отводить большой ток, чтобы не нарушить условия прохождения тока по потребителю тока и не исказить показания напряжения на изучаемом участке электрической цепи.



Принцип действия.

- Подвижная часть перемещается в результате взаимодействия поля постоянного магнита с магнитным полем проводника с током.

- На рамку действуют силы F , направление которых определяют по правилу левой руки. Под действием этих сил рамка поворачивается на угол :

- $$F = B I l N ,$$



- где B – магнитная индукция в зазоре;
 I – сила тока, протекающего по рамке;
 l – длина стороны рамки; N – число витков обмотки рамки.

- Момент сил, действующих на рамку со
- стороны магнитного поля при пропускании через нее
- измеряемого тока, не зависит от положения рамки в зазоре и
- равен
- $$M_1 = I S N B,$$
- где I - сила тока в рамке, S - площадь витка, N - число витков,
- B - магнитная индукция.

- При повороте рамки под действием магнитного поля на
- нее действует в обратную сторону момент сил упругости M_2
- со стороны двух спиральных пружин .
Момент упругих
- сил прямо пропорционален углу поворота рамки A :
- $M_2 = \gamma A$

$$I S N B = \gamma A$$

$$A = I S N B / \gamma,$$

Угол отклонения рамки прямо пропорционален силе тока I , а следовательно, шкала измерительного прибора магнитоэлектрической системы является линейной.

Достоинства:

- высокая чувствительность, обусловленная сильным собственным магнитным полем, поэтому даже при малых токах создается достаточный вращающий момент. Ток полного отклонения: 0,01 мкА;
- высокая точность вследствие высокой стабильности элементов измерительного механизма (ИМ). Класс точности: 0,05 или 0,1;
- малая потребляемая мощность (до десятых долей Ватта).
- незначительное влияние внешних магнитных полей благодаря сильному собственному магнитному полю;
- хорошее успокоение, объясняемое наличием постоянного магнита;
- равномерная шкала (у приборов с подвижной рамкой);
- простая конструкция, устойчивость к перегрузкам (у приборов с подвижным магнитом), так как измеряемый ток протекает непосредственно по катушке, а не по спиральным пружинам;
- чувствительность прибора не зависит от угла поворота рамки.

Недостатки:

) приборов с подвижной рамкой:

- сложность и высокая стоимость конструкции;
- низкая перегрузочная способность, обусловленная перегревом противодействующих (токоведущих) пружин и изменением их свойств;

) приборов с подвижным магнитом:

- большая масса;

- инерционность подвижной части;
- температурные влияния на точность измерения.

Область применения:

- в многопредельных, широкодиапазонных вольтметрах, амперметрах в цепях постоянного тока;
- в гальванометрах – высокочувствительных измерительных приборах с неградуированной шкалой;
- в логометрах (двухрамочных механизмах);

Приборы электромагнитной системы

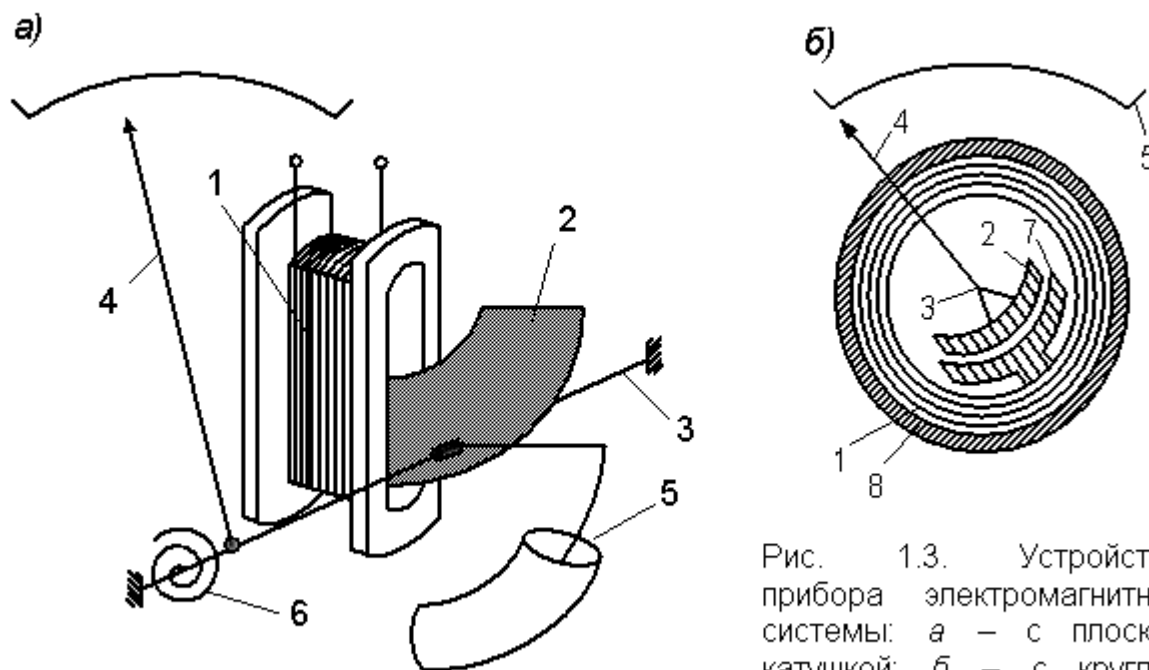
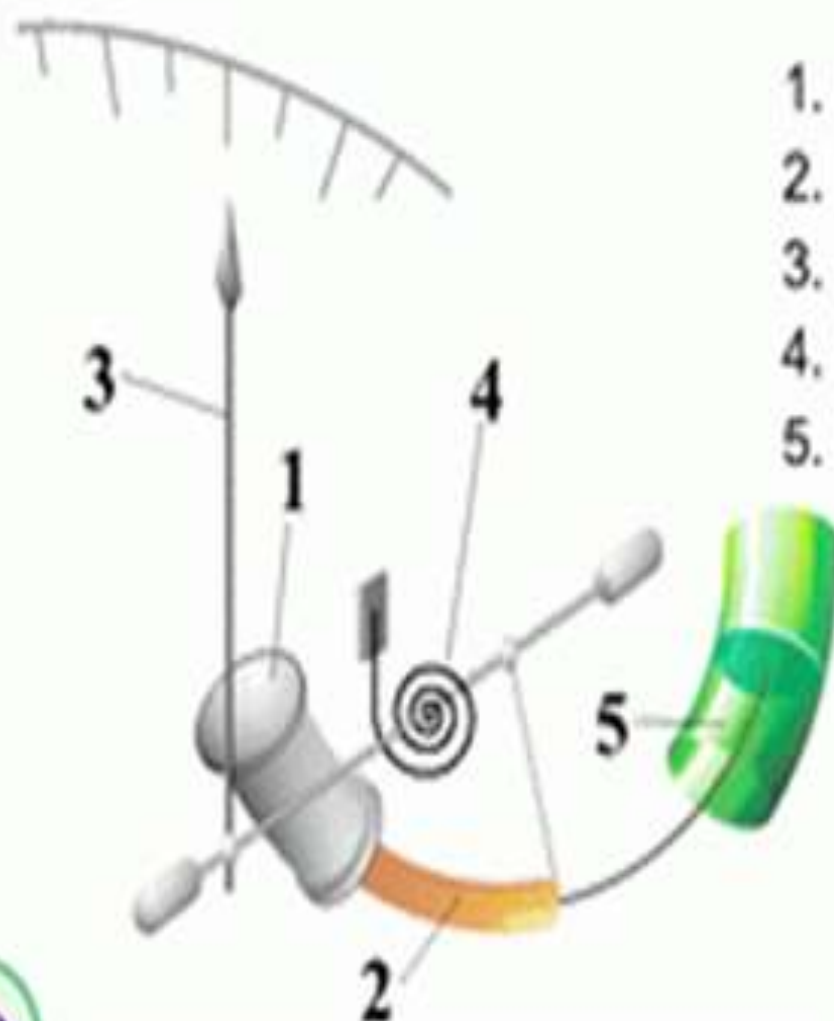


Рис. 1.3. Устройство прибора электромагнитной системы: а — с плоской катушкой; б — с круглой

Электромагнитная система



1. Неподвижная катушка
2. Подвижный сердечник
3. Стрелка
4. Спиральная пружина
5. Воздушный демпфер

Принцип действия.

- Передвижение подвижной части измерительного механизма происходит в результате взаимодействия магнитных полей неподвижной катушки и одного или нескольких подвижных сердечников из ферромагнитных материалов.
- При протекании тока по катушке **в приборах с плоской катушкой** (рис. 1.3, а) возникает магнитное поле, сердечник намагничивается и втягивается в щель каркаса катушки, поворачивая ось со стрелкой.

- **В приборах с круглой катушкой** (рис. 1.3, б) вращающий момент создается при взаимодействии подвижной и неподвижной пластин. При протекании тока по катушке вращающий момент создается при взаимодействии подвижной и неподвижной пластин. Обе пластины намагничиваются одинаковой полярностью и взаимодействуют друг с другом. Подвижной сердечник смещается (отталкивается), поворачивая стрелку
- Противодействующий момент создается спиральной пружиной

Достоинства:

- возможность измерения переменного тока без использования дополнительных преобразователей;
- устойчивость к кратковременным перегрузкам (до стократной перегрузки по току в приборах специальной конструкции);
- простота конструкции, относительная дешевизна.

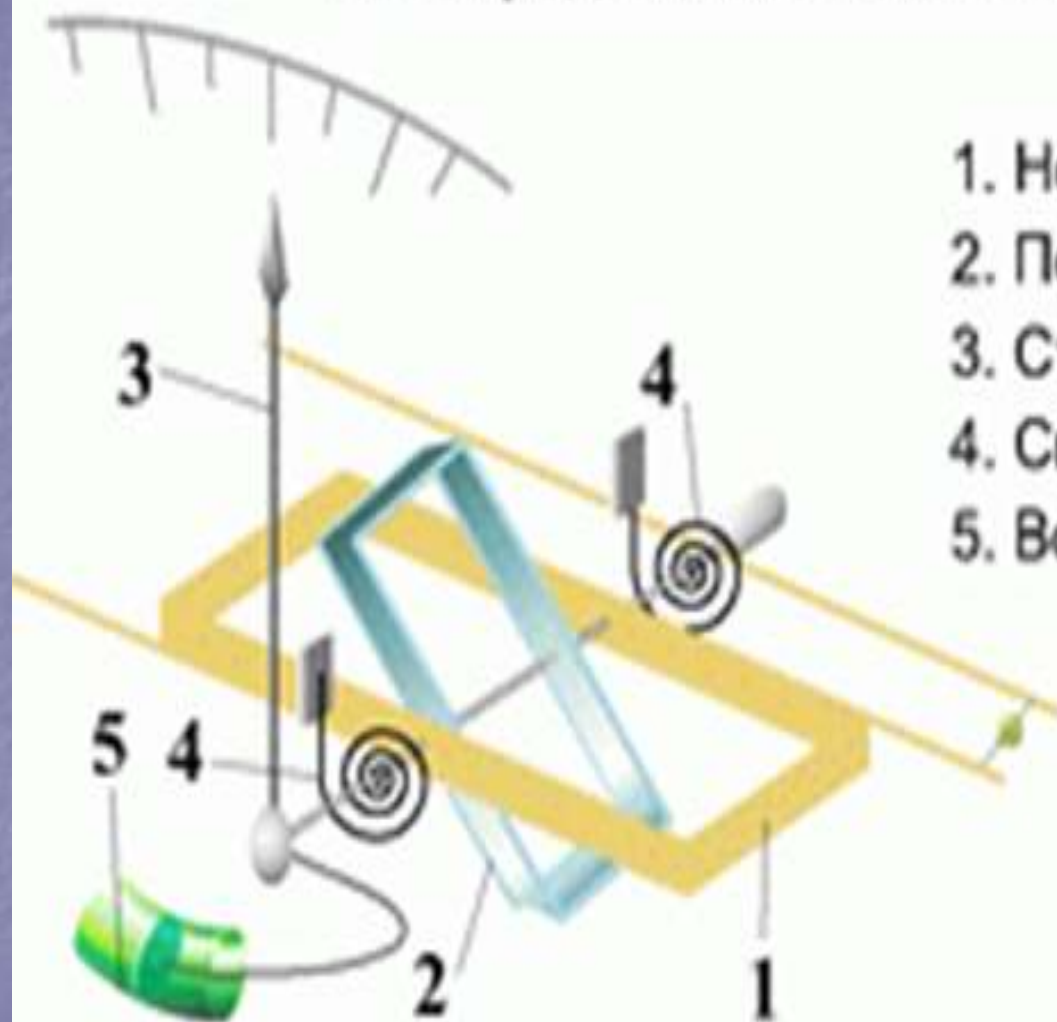
Недостатки:

- неравномерность шкалы;
- восприимчивость к внешним магнитным полям;
- относительно низкая чувствительность;
- невысокая точность показаний;
- большое потребление энергии.

Область применения:

- в щитовых приборах для измерения токов и напряжений на подвижных и стационарных объектах,
- в переносных приборах для измерения токов и напряжений в устройствах автоматики, телемеханики, связи и энергетики,
- в лабораторных приборах для измерения параметров реле автоблокировки и других устройств в контрольно-измерительных пунктах (КИП).

Электродинамическая система



1. Неподвижная катушка
2. Подвижный сердечник
3. Стрелка
4. Спиральная пружина
5. Воздушный демпфер

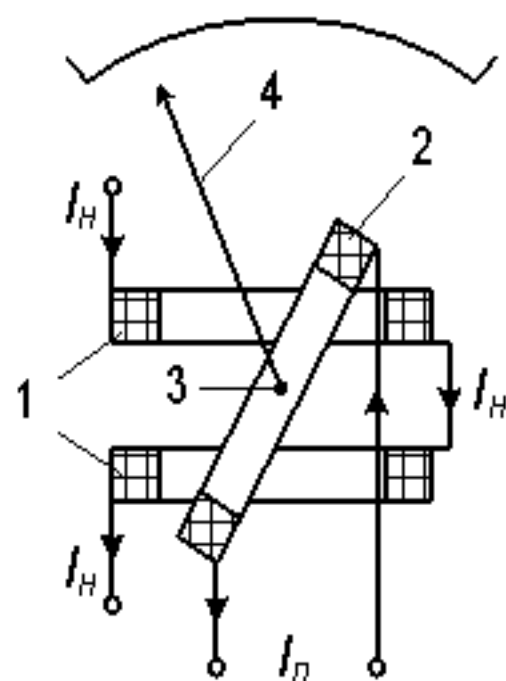


Рис. 1.5. Устройство прибора
электродинамической системы

Устройство: Измерительный механизм (рис. 1.5) [2] включает:

- подвижную катушку 1;
- неподвижную катушку 2, которая разделена на две части, расположенные на некотором расстоянии друг от друга для создания равномерного магнитного поля;
- ось 3;
- стрелку 4.

На оси прибора жестко закреплены подвижная катушка, указательная стрелка с балансными грузиками, магнитоиндукционный или воздушный успокоитель и концы двух противодействующих токопроводящих пружин. Противоположные концы пружин соединены с неподвижной катушкой. Одна из пружин соединена с рычагом корректора для установки стрелки на нуль.

Принцип действия.

- Перемещение подвижной части прибора происходит в результате взаимодействия магнитных полей подвижной и неподвижной катушек, по которым протекает измеряемый ток. При этом подвижная катушка стремится изменить свое положение таким образом, чтобы направления магнитных полей совпали.

Достоинства:

- высокая точность;
- пригодность для измерений разных физических величин в цепях переменного и постоянного токов.

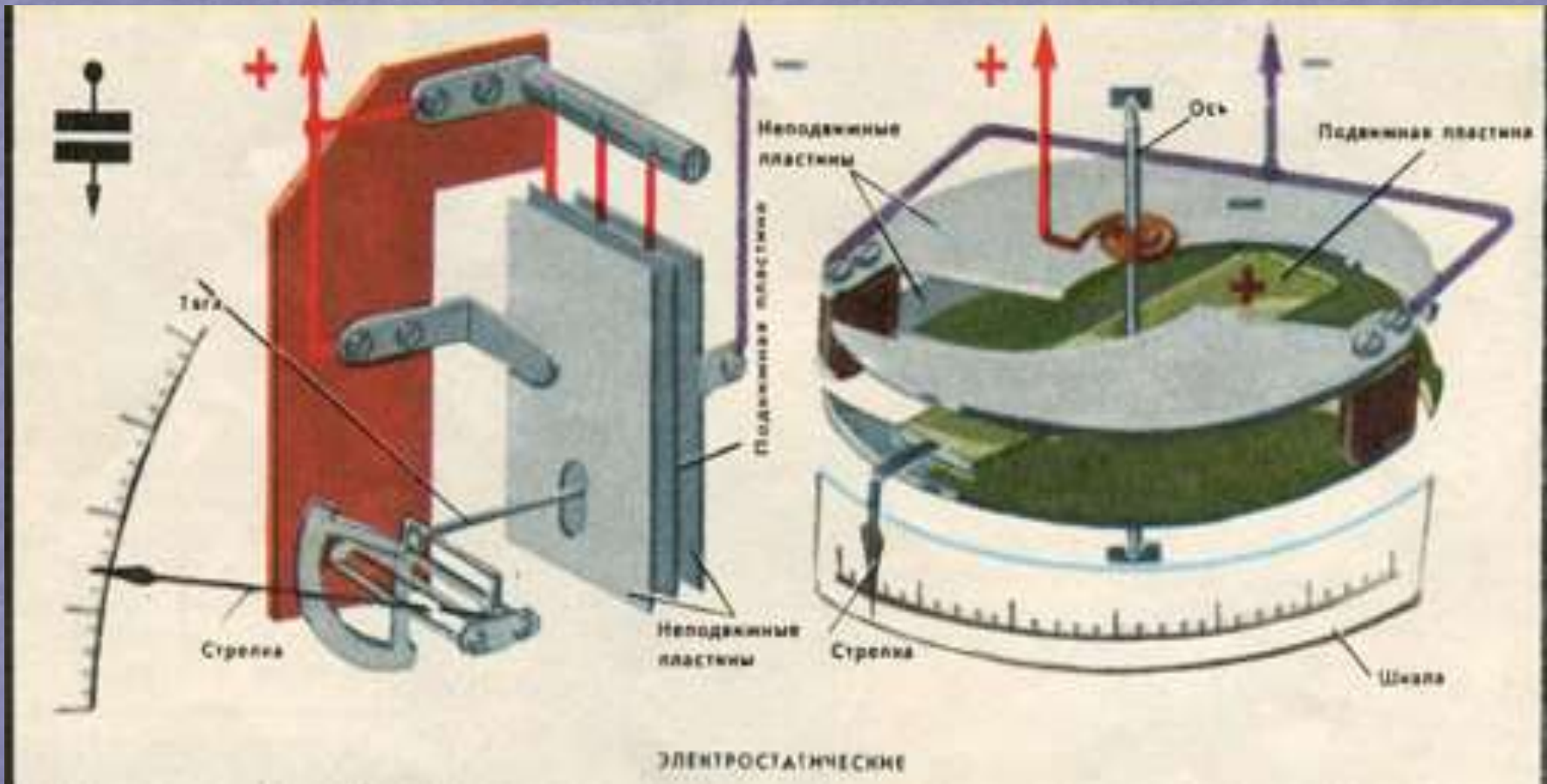
Недостатки:

- малая чувствительность;
- чувствительность к перегрузкам;
- чувствительность к воздействию внешних магнитных полей;
- большая потребляемая мощность;
- ограниченный частотный диапазон (до 1,5 кГц).

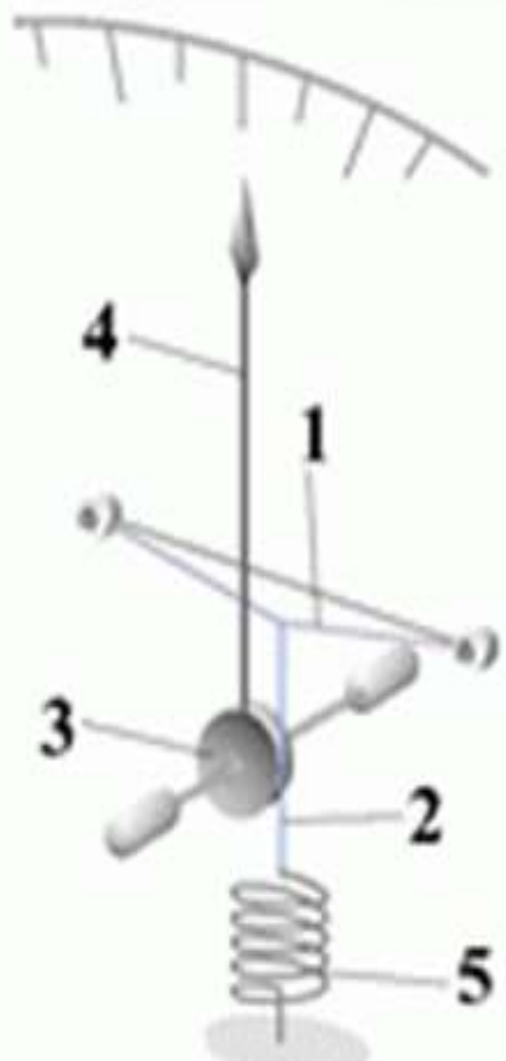
Область применения:

- в приборах для измерения постоянных и переменных токов и напряжений;
- в качестве образцовых приборов (класс точности 0,1; 0,2 и 0,5) при поверке и градуировке.

Приборы электростатической системы



Тепловая система



1. Нагревающаяся электрическим током проволока
2. Оттягивающая нить
3. Ролик
4. Стрелка
5. Пружина

Обозначение по МЭК 51	Наименование	Условное обозначение
B-1	Ток постоянный	
B-2	Ток переменный (однофазный)	
B-3	Ток постоянный и переменный	
C-1	Напряжение испытательное 500 В	
C-2	Напряжение испытательное, превышающее 500 В (например, 2 кВ)	
D-1	Прибор применять при вертикальном положении шкалы	
D-2	Прибор применять при горизонтальном положении шкалы	
F-1	Прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой	
F-3	Прибор магнитоэлектрический с подвижным магнитом	
F-5	Прибор электромагнитный	
F-7	Прибор электродинамический	
F-16	Прибор электростатический	
F-18	Термопреобразователь неизолированный	
F-19	Термопреобразователь изолированный	
F-20	Преобразователь электронный в измерительной цепи	
F-21	Преобразователь электронный в вспомогательной цепи	
F-22	Выпрямитель	
F-23	Шунт	
F-24	Сопротивление добавочное	
F-27	Экран электростатический	
F-28	Экран магнитный	
F-31	Зажим для заземления	

Установка прибора

а) вертикальное положение шкалы



б) горизонтальное положение шкалы



в) наклонное положение шкалы



Прочность изоляции прибора (измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ)



Генераторный зажим



Зажим, соединенный с корпусом



Зажим для заземления



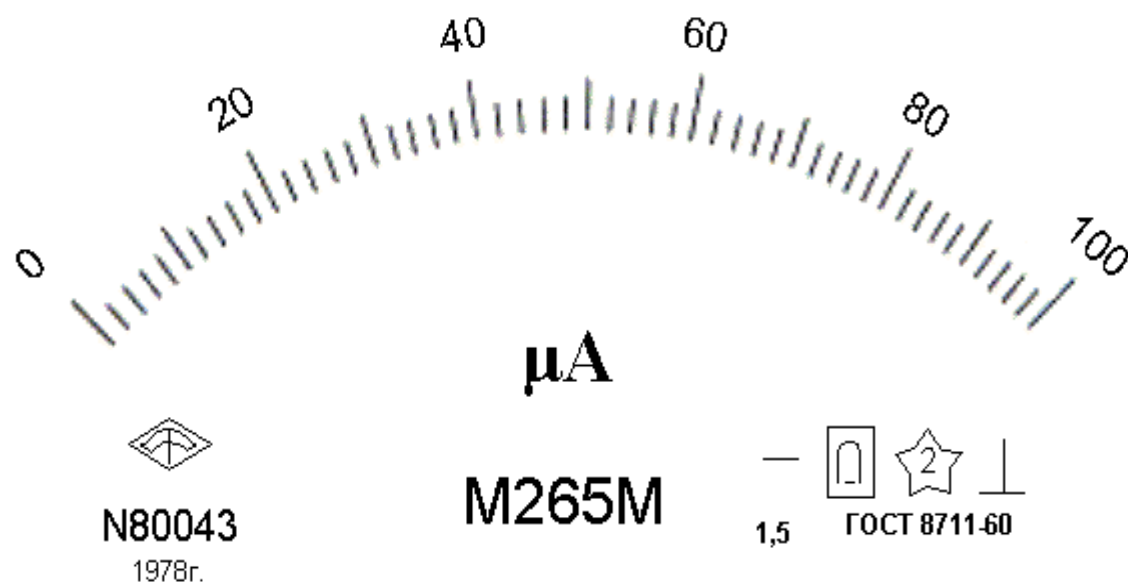
Пылезащищенный корпус

Пз

Герметический корпус

Гм

Ударопрочные	УП
Нечувствительные к вибрации	ВН
Вибропрочные	ВП
Тряскопрочные	ТП
Обыкновенные с повышенной механической прочностью	ОП
Для сухого и влажного тропического климата	Т
Номинальная (нормальная) область частоты	45-500 Гц
Номинальное (нормальное) значение частоты	500 Гц



^

Рис. 12. Шкала измерительного прибора

1. Знак μA означает, что данный прибор является микроамперметром.
2. Максимальное значение шкалы равно 100. Это означает, что предел измерения данного прибора 100 мкА.
3. Определить цену деления можно, разделив номинальное (максимальное) значение шкалы (100 мкА) на количество делений шкалы (50).
4. Знак «—» означает, что прибор предназначен для работы на постоянном токе.

$$C = 100 \text{ мкА} / 50 = 2 \text{ мкА} / \text{дел.}$$

5. Знак  означает, что измерительный механизм прибора имеет магнитоэлектрическую систему.

6. Знак  означает, что изоляция прибора испытана напряжением 2000 В.

7. Знак  означает, что прибор устанавливается вертикально.

8. Число «1,5» определяет класс прибора. То есть относительная погрешность прибора составляет 1,5 %. Прибор соответствует 6 классу точности технических приборов.

ОФОРМЛЕНИЕ ШКАЛ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.

На шкале прибора наносятся следующие символы:

- 1) Фирменный знак.
- 2) Обозначение размерности измеряемой величины:

A, V, W, Ω , kW, kV, Hz

- 3) Условное обозначение класса точности:



- 4) Условное обозначение рода тока:

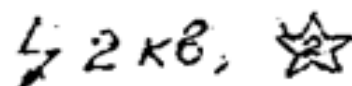


- 5) Условное обозначение системы прибора (табл.№1)

- 6) Условное обозначение нормального положения шкалы прибора, если оно необходимо



- 7) Условное изображение испытательного напряжения изоляции



- 8) Условное обозначение прибора, тип и год выпуска, заводской номер прибора, номер госта.

Таблица 4. Классы точности электроизмерительных приборов.

Число на шкале прибора (его относительная погрешность в процентах)	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0
Класс точности	1	2	3	4	5	6	7	8

Расчет погрешностей прямых измерений.

Погрешность результата одного измерения, обусловленная неточностью отсчета, представляет собой абсолютную погрешность отсчета $\Delta x_{отсч}$, и равна половине цены деления шкалы прибора:

$$\Delta x_{отсч} = \pm 0,5C. \quad (71)$$

Погрешность результата измерения зависит от погрешности, обусловленной неточностью отсчета, и от погрешности, обусловленной неточностью прибора. Полная погрешность результата измерения Δx есть сумма абсолютной погрешности отсчета $\Delta x_{отсч}$ и абсолютной погрешности прибора $\Delta x_{приб}$:

$$\Delta x_{отсч} + \Delta x_{приб}. \quad (72)$$

Абсолютную погрешность прибора $\Delta x_{идеа}$ можно найти, зная относительную погрешность этого прибора \mathcal{E} (ее значение в процентах указано на шкале прибора):

$$\frac{\Delta x_{приб}}{x_{max}} \cdot 100\%, \quad \Delta x_{приб} = \frac{\mathcal{E} \cdot x_{max}}{100\%}. \quad (73)$$

Поскольку, по мере увеличения значения измеряемой величины относительная погрешность измерения значительно уменьшается, то при измерении следует выбирать пределы, чтобы значение измеряемой величины находилось во второй половине шкалы прибора.

Чувствительность прибора

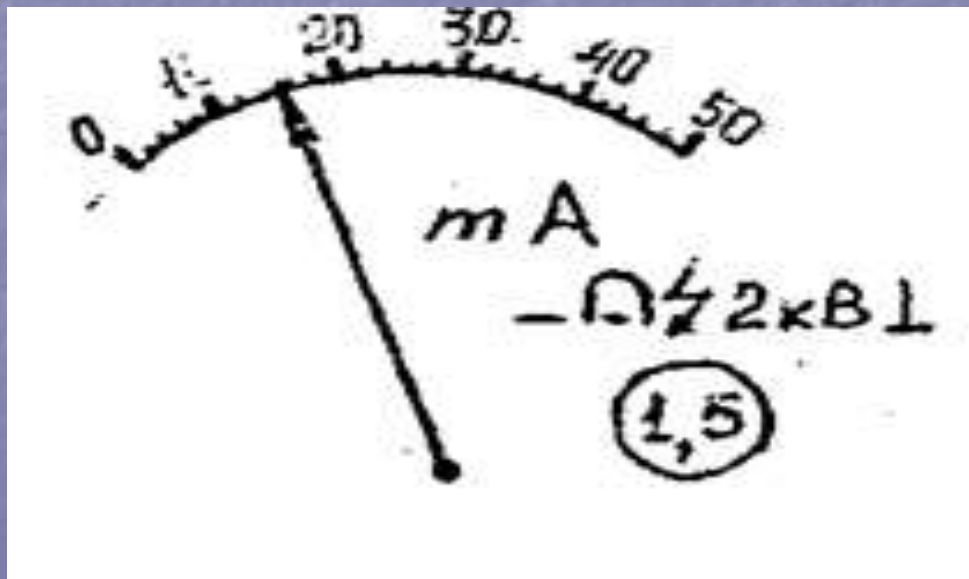
- Величина, численно равная приращению угла поворота подвижной части прибора к приращению измеряемой величины dx называется чувствительностью прибора;

$$C_i = \frac{d\varphi}{dx}$$

Размерность чувствительности зависит от характера измеряемой величины (например, чувствительность прибора к току; чувствительности прибора напряжению).

Цена деления прибора

- Величина $K=1/c$, обратная чувствительности, называется ценой деления прибора.



Цена деления такого прибора равна:

$$K_i = \frac{50 \text{ mA}}{25 \text{ дел}} = 2 \frac{\text{mA}}{\text{дел}}$$

а чувствительность

$$C_i = 0,5 \frac{\text{mA}}{\text{дел}}$$

Подсчет абсолютной погрешности показаний прибора

Например вольтметр класса точности 0,2, шкала которого рассчитана на 5 В, имеет абсолютную погрешность:

$$U = \pm \frac{5 \text{ В} \cdot 0,2\%}{100\%} = \pm 0,01 \text{ В}$$

Амперметр класса точности 1,5, шкала которого рассчитана на 5 А, имеет абсолютную погрешность:

$$\Delta I = \pm \frac{5 \text{ А} \cdot 1,5\%}{100\%} = \pm 0,075 \text{ А}$$